



Università degli studi della Tuscia di Viterbo

Dipartimento di studi Linguistico-letterari, storico-filosofici e Giuridici (DISTU)

Corso di Dottorato di Ricerca in

Scienze storiche e dei beni culturali – XXXVII ciclo

**Georeferenziazione e Gamification: strumenti e tecnologie geonarrative per
l'interpretazione del rischio inesplosi nel patrimonio culturale**

Settore scientifico-disciplinare

(GEOG-01/A)

Tesi di dottorato di:

Dott.ssa Miriam Noto

Coordinatore del corso di dottorato:

Prof.ssa Patrizia Mania

Tutor:

Prof.ssa Luisa Carbone

Anno accademico 2023/2024

Indice

Introduzione.....	1
Capitolo 1 Il concetto di rischio: definizioni, valutazione e riconoscimento nei paesaggi di guerra ..	9
1.1 Paesaggio di guerra: rischio e ricostruzione	9
1.2. Rischio di rinvenimento ordigni bellici inesplosi e beni culturali	21
1.3. Quadro normativo italiano	41
Capitolo 2 Metodi e strumenti per la rilevazione del rischio: storia degli studi, esempi applicativi.	46
2.1. Procedure metodologiche e tecnologie per la mappatura del rischio UXO	46
2.2. Il paesaggio nella fotografia aerea storica	62
2.3. Fotogrammetria aerea e interpretazione delle immagini storiche	79
2.4. Sistemi informativi geografici (GIS), georeferenziazione e mappatura del rischio UXO	87
Capitolo 3 Gamification: strategie di ricerca e processi motivazionali nella problematica degli ordigni bellici inesplosi	94
3.1. La gamification nella pratica metodologica di ricerca	94
3.2. Strategie ludiche per interpretare e comprendere	98
3.3. Giocare la memoria: narrazione urbana e beni culturali in tempo di guerra tra GIS e gamification	105
3.4. Progettazione di ‘contesti’ ludici.....	124
Capitolo 4 Georeferenziazione e gamification, il caso di Viterbo.....	131
4.1. Ombre nel paesaggio: memoria e crateri nella città di Viterbo	131
4.2. Fotogrammetria applicata	145
4.3. Mappatura GIS e Web-GIS	157
4.4. Gamification urbana, tra Metaverso, applicazioni di gioco e simulazioni	189
Conclusioni.....	209
Bibliografia.....	217
Sitografia:	234
TABELLA 1	242

TABELLA 2	244
TABELLA 3	247
TABELLA 4	251
TAVOLA 1	255
TAVOLA 2	256
TAVOLA 3	257
TAVOLA 4	258
TAVOLA 5	259
TAVOLA 6	260
APPENDICE 1	261
APPENDICE 2	266
APPENDICE 3	270

Introduzione

Lo studio si prefigge l'obiettivo di espandere le attuali frontiere geografiche della ricerca in merito al rischio latente, ma tangibile, rappresentato dagli ordigni bellici inesplosi (*unexploded ordnances*, UXO), con un particolare focus sui contesti archeologici e sui beni culturali. Partendo da analisi preliminari che hanno solo parzialmente esplorato tale complessa tematica, l'intento primario di questa indagine è di delineare e sperimentare geotecnologie, strumenti, e metodologie innovative per facilitare la comprensione e divulgazione dell'eredità materiale lasciata dai conflitti bellici del Novecento e riconvertirla in un percorso urbano consapevole e fruibile, che promuova la sicurezza e la valorizzazione del patrimonio storico-culturale.

L'epicentro della ricerca è pertanto costituito da un'approfondita analisi territoriale della città di Viterbo. Tale scelta è strategica, data la sua valenza sia simbolica che operativa quale caso di studio paradigmatico per gli ingenti danni subiti durante la Seconda guerra mondiale. L'indagine si concentra specificamente sull'interazione dinamica e complessa tra gli eventi bellici e le conseguenti e profonde trasformazioni che hanno interessato il paesaggio urbano e culturale viterbese, sia durante il periodo del conflitto che nelle decadi successive al termine della guerra. Lo studio si propone quindi di svelare le stratificazioni di queste trasformazioni, fornendo una chiave di lettura essenziale per la gestione dei rischi e la salvaguardia del patrimonio in contesti post-bellici.

L'indagine è stata condotta, sin dalle sue prime battute, adottando un approccio multidisciplinare, fortemente orientato all'impiego di strumenti geotecnologici, in un'ottica di convergenza tra saperi geografici, storici, archeologici e informatici.

Il percorso metodologico impiegato, a partire dal primo capitolo, si avvia con un'analisi approfondita del concetto di rischio. La disamina iniziale si concentra sull'interazione tra il pericolo latente, la complessa gestione territoriale e l'essenziale tutela del patrimonio culturale. Viene conferito un rilievo specifico al caso degli ordigni aerei inesplosi risalenti alla Seconda guerra mondiale, le cui conseguenze continuano a generare implicazioni sia tangibili che intangibili per le comunità e per i territori interessati. Emerge da subito e con chiarezza la complessità dell'argomento, la cui bibliografia di riferimento è composta prevalentemente da contributi di matrice internazionale, sottolineando l'attualità e l'universalità del fenomeno. Tale corpus di studi conferma altresì il ruolo centrale e insostituibile delle tecnologie GIS (*Geographic Information System*) nell'identificazione, nella mappatura precisa e nel monitoraggio continuo delle aree potenzialmente contaminate, offrendo strumenti avanzati per una gestione più efficace del rischio stesso.

Un'ulteriore componente teorica significativa del percorso metodologico è rappresentata dall'analisi del cosiddetto “paesaggio di guerra”, tematica che nella letteratura scientifica attinente ha

frequentemente privilegiato l'esame delle manifestazioni più evidenti e monumentali dei conflitti (trincee, bunker, campi di volo e altro ancora), trascurando la complessa questione del rischio persistente rappresentato dagli ordigni inesplosi.

Nello specifico contesto di analisi, l'archeo-geomorfologia emerge come una delle poche discipline scientifiche capaci di offrire prospettive interpretative genuine e innovative. Questa branca del sapere ha la capacità di considerare, tra i molteplici fattori di rischio per il territorio, anche la presenza di residui bellici interrati, colmando una lacuna significativa negli studi tradizionali. Parte integrante e cruciale della riflessione è il rapporto problematico che sussiste tra gli UXO e i beni culturali. Infatti, sebbene questi ultimi spesso condividano il medesimo spazio fisico e siano quindi esposti agli stessi pericoli, non sempre beneficiano di strumenti adeguati e sufficientemente sviluppati per la loro protezione e valorizzazione.

In un'ottica più generale, è d'obbligo evidenziare come la tutela del patrimonio culturale in relazione al rischio derivante dalla presenza di UXO sia ancora oggi un aspetto marginalmente considerato nella pianificazione territoriale europea. Tale problematica è spesso eclissata e resa meno visibile da altre tematiche ambientali che godono di maggiore risalto e attenzione pubblica. Nonostante l'esistenza di direttive e raccomandazioni a livello europeo volte a salvaguardare il patrimonio in contesti di rischio, la mappatura dei pericoli potenziali per i beni culturali risulta ancora incompleta e frammentaria. In tale scenario, la disciplina geografica si propone di offrire un contributo fondamentale e insostituibile, fornendo una rilettura innovativa del territorio. Ciò si concretizza attraverso la stratificazione di dati eterogenei e la produzione di mappe tematiche multidimensionali, strumenti che consentono di visualizzare e comprendere le complesse interrelazioni tra il passato bellico e il presente paesaggistico e culturale.

All'interno del quadro analitico, il Sistema Informativo Geografico (GIS) si rivela uno strumento di fondamentale importanza. Il GIS permette di sovrapporre e integrare un'ampia varietà di fonti eterogenee, quali fotografie storiche, immagini satellitari contemporanee, e diverse tipologie di cartografie, sia storiche che moderne. Tale capacità di fusione dei dati consente di generare nuove interpretazioni spaziali e di ricostruire con precisione le complesse trasformazioni del territorio indotte dagli eventi bellici.

L'assenza di una mappatura ufficiale e sistemica del rischio derivante dalla possibile presenza e rinvenimento di UXO, unita alle significative implicazioni legali connesse alla persistenza di ordigni inesplosi, rende peraltro impellente l'esigenza di una presa di coscienza geografica e operativa della problematica. L'urgenza è particolarmente sentita nell'ambito archeologico e all'interno dei processi di pianificazione urbana e culturale. La conoscenza approfondita dell'entità del rischio e la geolocalizzazione precisa delle sue manifestazioni possono configurare una forma preliminare ed

essenziale di tutela. Si tratta dunque di una conoscenza cruciale non solo per garantire la sicurezza dei fruitori del territorio, ma anche per la conservazione a lungo termine dei manufatti storici. Nel caso specifico, l'analisi geografica delle modalità di attacco aereo e delle loro conseguenze dirette e indirette permette di identificare le diverse dinamiche territoriali che hanno modellato il tessuto urbano di Viterbo, evidenziando sia le specificità locali derivanti da eventi unici, sia le ricorrenze strutturali osservabili in contesti simili.

A completamento di questa disamina, si procede con un'analisi dettagliata della distribuzione spaziale degli ordigni sull'intero territorio nazionale. La sezione dedicata esplora le logiche militari sottostanti che hanno determinato la dispersione di tali esplosivi, spesso anche in aree apparentemente marginali o non direttamente coinvolte in operazioni strategiche. Vengono altresì illustrate le principali tipologie di bombe aeree impiegate, corredate da una valutazione aggiornata della loro pericolosità residua.

A conclusione del capitolo, viene delineato e criticamente esaminato il quadro normativo italiano in materia di rischio bellico. Si evidenziano in tale contesto sia le potenzialità implicite nella legislazione vigente sia le sue criticità operative. Nonostante la normativa preveda esplicitamente l'obbligo di effettuare una valutazione preventiva del rischio UXO in fase di progettazione di opere e scavi, la sua applicazione sul campo risulta ancora poco diffusa e frequentemente disattesa, palesando una lacuna significativa che richiede un intervento risolutivo per la piena salvaguardia del territorio e del patrimonio.

Dal primo capitolo, pertanto, si evincono le due ragioni primarie che motivano la ricerca: in primo luogo, la mancanza di una mappatura ufficiale e sistematica del rischio associato alla presenza di ordigni bellici inesplosi in numerosi Paesi europei. Una lacuna che persiste nonostante alcune stime ufficiali indichino che una percentuale significativa, approssimativamente tra l'8% e il 10% di tutte le bombe sganciate dagli aerei in tempo di guerra fino agli anni '80, sia rimasta inesplosa. Tale carenza informativa ostacola una gestione efficace e proattiva del pericolo; in secondo luogo, gli obblighi di legge che, sebbene talvolta solo implicitamente, impongono una valutazione accurata del rischio derivante dalla presenza e dal rinvenimento di UXO. La valutazione è richiesta in qualsiasi contesto e attività che preveda scavi, inclusi, ma non limitatamente a, i cantieri edili in aree urbane, i contesti culturali e i siti archeologici. La presenza di una normativa, seppur non sempre esplicitamente focalizzata sugli UXO, crea un imperativo legale per affrontare questa minaccia.

Il secondo capitolo è interamente dedicato all'approfondimento degli studi preesistenti sul tema della presenza di ordigni bellici inesplosi e alla formulazione di un modello operativo innovativo per l'analisi del rischio di rinvenimento. Una particolare e meticolosa attenzione è rivolta all'impiego delle fotografie aeree storiche, le quali vengono riconosciute come risorse di valore documentale e

analitico assolutamente imprescindibile. Tali immagini si rivelano infatti essenziali non solo per la fedele ricostruzione dei paesaggi bellici del passato, ma anche per la localizzazione precisa dei crateri da impatto, segni indelebili lasciati dai bombardamenti aerei.

Le tracce visibili nelle fotografie, interpretate come elementi antropici di natura distruttiva, offrono spunti significativi e approfonditi per l'analisi geografica e territoriale. Esse, infatti, non si limitano a documentare un evento passato, ma rivelano la persistenza dei fenomeni bellici nel tempo e nello spazio, mostrando come le alterazioni prodotte dalla guerra continuino a influenzare il paesaggio attuale. Le fotografie aeree storiche, in quanto fonte primaria, attestano in modo inequivocabile la presenza dei crateri sulla superficie terrestre lasciati dalle bombe sganciate dagli aerei, quali depressioni e tracce di distruzione che hanno inciso profondamente e in modo duraturo il paesaggio urbano e archeologico.

Le cavità originatesi dalle esplosioni delle bombe, oltre a fungere da testimonianza tangibile della violenza del conflitto, hanno frequentemente assunto nuovi e inattesi ruoli funzionali nel paesaggio postbellico. Le depressioni, infatti, sono state adattate e utilizzate in svariati modi, trasformandosi in trincee improvvisate, fosse comuni, riserve idriche temporanee o, in alcuni casi, discariche di macerie. Tale polifunzionalità nel dopoguerra le rende altresì potenziali contenitori di residui bellici inesplosi, aumentando ulteriormente la necessità di un'attenta analisi e gestione del rischio.

Dal punto di vista geografico, queste informazioni permettono una lettura dinamica e approfondita del territorio, focalizzando l'attenzione sulle significative modificazioni morfologiche e funzionali che sono state indotte dagli eventi bellici. La successiva produzione di mappe di calore, realizzata mediante l'impiego di software GIS, consente di visualizzare con chiarezza la densità delle depressioni documentate nelle immagini storiche. Il processo così definito restituisce una rappresentazione sintetica e comparabile dei livelli di rischio all'interno del tessuto urbano, rendendo immediatamente percepibili le aree a maggiore vulnerabilità.

Tuttavia, è fondamentale riconoscere che la qualità e la leggibilità delle fotografie aeree storiche sono fortemente condizionate da una pluralità di fattori tecnici. Tra essi sono inclusi l'altezza di volo al momento dello scatto, le condizioni atmosferiche prevalenti, la stagionalità delle riprese, lo stato di conservazione fisico delle immagini originali e la disponibilità di metadati precisi relativi alla fotocamera e ai parametri di scatto utilizzati. Tale complessità tecnica rende il processo di fotointerpretazione spesso intricato e laborioso, richiedendo l'intervento di operatori altamente esperti e l'utilizzo di strumenti specialistici. Un ruolo cruciale è svolto dalle risorse messe a disposizione da enti come l'Aerofototeca Nazionale di Roma, presso la quale sono stati condotti numerosi e approfonditi studi per affinare le metodologie di analisi.

L'elaborazione di tali immagini ha comportato una serie di passaggi metodologici, che includono la loro digitalizzazione, l'elaborazione fotogrammetrica, la georeferenziazione accurata e la successiva integrazione in ambiente GIS. Il processo lavorativo sulle foto storiche è poi culminato nella produzione di orto-foto-mosaici ad alta risoluzione e di modelli 3D dettagliati, entrambi strumenti indispensabili per la generazione di mappe tematiche di rischio altamente precise e informative.

Gli orto-foto-mosaici, in particolare, estendono il campo di analisi dai singoli fotogrammi a interi paesaggi urbani, offrendo una lettura più articolata e completa delle trasformazioni indotte dal conflitto. Nei casi più complessi, dove l'identificazione dei crateri da bomba risultava ambigua a causa della bassa risoluzione o scarsa conservazione della pellicola fotografica, sono stati invece sviluppati modelli 3D dettagliati a partire dagli orto-foto-mosaici. Sebbene tali modelli possano presentare una risoluzione visiva limitata, essi consentono un avvicinamento virtuale agli edifici colpiti, facilitando una migliore osservazione e comprensione dei danni subiti.

Un'ulteriore e preziosa applicazione resa possibile dal sistema fotogrammetrico è la creazione di modelli digitali di elevazione (DEM), facilmente integrabili nei sistemi GIS. I DEM permettono di condurre analisi spaziali tridimensionali più avanzate, risultando particolarmente utili per identificare con maggiore precisione le variazioni morfologiche del terreno legate agli eventi bellici.

Infine, la georeferenziazione degli orto-foto-mosaici ha permesso di correggere le distorsioni geometriche originarie delle riprese aeree e di assegnare alle immagini coordinate geografiche compatibili con le cartografie moderne, consentendo di ricondurre digitalmente i documenti fotografici al contesto territoriale cui appartengono. Il che dimostra come i GIS possano connettere e rappresentare in modo coerente dati eterogenei, arricchiti da metadati descrittivi, configurandosi come uno strumento analitico e comunicativo di eccezionale efficacia per la comprensione e la gestione del patrimonio storico-geografico.

Pertanto, nella fase della ricerca in oggetto, si desidera enfatizzare nuovamente il ruolo preponderante della fotografia aerea storica non solo come un mero strumento di indagine territoriale, ma anche come un autentico custode della memoria. La sua interpretazione critica consente di ricostruire processi trasformativi che, altrimenti, sarebbero rimasti celati o dimenticati.

Del resto, un risultato complementare, ma di notevole rilevanza, dell'indagine condotta è stata la stessa digitalizzazione delle fotografie aeree storiche in formato raster ad alta risoluzione. Si tratta di un'operazione fondamentale che assicura la continuità e l'accessibilità dei dati nel tempo, rendendoli disponibili per future analisi e conservazione.

Il terzo capitolo si prefigge di introdurre una dimensione innovativa all'interno del lavoro di tesi: l'applicazione della gamification quale strategia multifunzionale. La metodologia scelta è stata

concepita per potenziare la comunicazione scientifica, ottimizzare la formazione professionale, e accrescere la sensibilizzazione pubblica riguardo alla complessa problematica degli ordigni bellici inesplosi.

In questo contesto, il gioco è inteso non come mera attività ricreativa, ma come un efficace strumento educativo, trasformativo e profondamente inclusivo. La sua capacità risiede nel veicolare contenuti di elevata complessità in una modalità che è al contempo accessibile, coinvolgente e partecipativa, superando le barriere della didattica tradizionale.

Il capitolo offre un'ampia e rigorosa ricognizione teorica sul concetto di gamification e sulle sue diverse declinazioni applicative, esplorando ambiti quali i *serious games*, il *playful design* e il *pervasive gaming*. Successivamente, l'analisi si concentra sulle potenzialità cognitive ed emotive del "flow" (lo stato di immersione totale in un'attività) e del "*learning by playing*" (l'apprendimento attraverso il gioco) nella costruzione di esperienze formative che si dimostrano altamente efficaci.

L'attenzione all'argomento culmina nella descrizione dello sviluppo di esperienze digitali immersive. Tra esse spiccano la creazione di una mostra virtuale nel Metaverso, l'implementazione di un'applicazione di gioco, "*Defense Flag*", e ambienti simulativi per operatori nel settore della bonifica bellica come esercito, vigili del fuoco e protezione civile. Le soluzioni sviluppate e proposte si basano su dinamiche di *urban gaming* e sull'integrazione di tecnologie geospaziali, al fine ultimo di trasformare lo spazio urbano in un ambiente narrativo e interattivo, rendendo la conoscenza del rischio UXO parte integrante e dinamica dell'esperienza cittadina.

La mostra virtuale trova collocazione nella piattaforma Spatial® e ospita una ricca varietà di contenuti: fotografie aeree storiche, immagini d'archivio e materiali concessi da collezionisti privati di Viterbo, modelli 3D di bombe d'aereo e bombardieri, carte geografiche, nonché collegamenti diretti al sistema Web-GIS per la consultazione interattiva dei dati storici e geospaziali. Alla mostra si affiancano ulteriori ambienti virtuali, come stanze interattive e un'aula-laboratorio, progettata per ospitare eventi, seminari e lezioni in diretta streaming, accessibili tramite avatar personalizzabili.

L'applicazione di gioco *Defense Flag*, sviluppata in collaborazione con la ditta di gamification Sicheo, utilizza come espediente narrativo elementi e fatti storici realmente emersi durante l'indagine documentale del contesto bellico locale, trasformando il gioco in strumento di apprendimento attivo e narrazione storica partecipata.

Infine, gli ambienti simulativi sono stati concepiti sia in una prospettiva di futura applicazione pratica, per scopi formativi e operativi, sia come ambienti virtuali integrabili nel Metaverso. In entrambi i casi, l'obiettivo è quello di fornire un supporto innovativo e immersivo per l'educazione, l'addestramento e la sensibilizzazione alla bonifica bellica e alla sicurezza urbana.

Il quarto e conclusivo capitolo si dedica all'applicazione concreta dell'intero impianto teorico e metodologico precedentemente delineato, focalizzandosi sul caso di studio emblematico della città di Viterbo.

Oltre a fungere da contesto territoriale di riferimento privilegiato per l'attuale percorso di dottorato, Viterbo è stata protagonista di intensi e devastanti bombardamenti aerei tra il 1943 e il 1944, che hanno determinato la distruzione di circa l'ottanta per cento del suo centro storico, lasciando in eredità una probabile e tuttora persistente presenza di numerosi ordigni inesplosi. La perdurante attualità e rilevanza del fenomeno sono state inequivocabilmente confermate da episodi recenti, quali il cosiddetto "Bomba Day" del maggio 2024. Tale realtà sottolinea l'urgente necessità di una sistematizzazione metodologica per la mappatura del rischio associato alla presenza di UXO, indispensabile per la sicurezza e la pianificazione territoriale.

L'indagine è stata condotta attraverso un'approfondita analisi di 180 positivi fotografici d'epoca, i quali sono stati sottoposti a un attento processo di digitalizzazione. I documenti visivi sono stati poi elaborati mediante l'utilizzo di software fotogrammetrici e sistemi GIS, allo scopo di consentire l'identificazione, la classificazione e la precisa localizzazione dei crateri da bomba.

I dati così acquisiti sono stati meticolosamente organizzati all'interno di un database geospaziale, costituendo una risorsa strutturata e consultabile. Tali informazioni sono state poi rese disponibili tramite una piattaforma Web-GIS, progettata con la finalità specifica di facilitare la consultazione pubblica e di promuovere l'integrazione con strumenti a carattere ludico-formativo. Le mappe elaborate offrono un quadro completo e dettagliato, includendo dati sulla concentrazione dei crateri, la localizzazione di obiettivi militari storici e di siti archeologici e beni culturali che risultano potenzialmente esposti al rischio derivante dalla presenza e dal rinvenimento di ordigni bellici inesplosi.

L'implementazione del software *open-source* QGIS® si è dimostrata essenziale per la creazione di tutte le mappe tematiche elaborate ai fini del lavoro di tesi. Tra esse, di particolare rilievo sono quelle che illustrano l'espansione urbana, la densità dei crateri da bomba e la sovrapposizione tra le aree interessate dai bombardamenti e i siti di interesse culturale. Le rappresentazioni cartografiche dimostrano chiaramente la capacità dei Sistemi Informativi Geografici di integrare una pluralità di dati eterogenei, arricchiti da metadati descrittivi, e di visualizzarli in maniera coerente e leggibile. In tal modo, il GIS si configura simultaneamente come uno strumento analitico per la comprensione del fenomeno e come un mezzo comunicativo efficace per la diffusione delle informazioni.

L'intera infrastruttura del Sistema Informativo Territoriale sviluppata nel corso della ricerca è stata concepita per funzionare come un archivio dinamico dei materiali raccolti e, parallelamente,

come una piattaforma per l'analisi e la visualizzazione interattiva dei dati. Sono state attentamente considerate e affrontate anche le limitazioni inerenti all'utilizzo del Web-GIS, in particolare la necessità di disporre di uno spazio web stabile e di specifiche competenze tecniche per la pubblicazione delle mappe. Tali problematiche sono state efficacemente superate grazie all'adozione di strumenti dedicati, come il plug-in QGIS2Web, che permette l'esportazione diretta delle mappe in formato HTML, facilitandone la pubblicazione e l'accessibilità.

Complessivamente, l'approccio geografico adottato evidenzia come la sinergia tra fonti storiche, tecniche fotogrammetriche e strumenti GIS possa costituire un metodo altamente efficace per l'interpretazione e la gestione del paesaggio urbano segnato dagli eventi bellici. Tale metodologia ha ricadute significative non solo sul piano della conservazione del patrimonio materiale e immateriale, ma anche su quello della pianificazione culturale e territoriale, offrendo un modello robusto per affrontare le sfide poste dalle eredità dei conflitti passati.

L'approccio metodologico si propone, pertanto, non solo di fornire un contributo scientifico significativo al dibattito accademico esistente, ma ambisce altresì a promuovere l'implementazione di nuove pratiche operative, che sono volte a rafforzare la prevenzione dei rischi, a valorizzare il patrimonio culturale e a stimolare una maggiore partecipazione civica. L'integrazione sinergica tra l'analisi storica, l'applicazione delle più moderne geotecnologie e l'introduzione della gamification consente, infatti, di delineare un modello replicabile ed efficace per la gestione del rischio residuo bellico. Tale modello contempla, in maniera olistica, sia la salvaguardia del patrimonio culturale che l'educazione delle comunità, attraverso l'utilizzo di strumenti immersivi, interattivi e accessibili.

In sintesi, il caso di studio di Viterbo si configura come un paradigma metodologico e operativo esemplare per l'elaborazione di una nuova e più efficace modalità di approccio ai rischi derivanti dai conflitti del passato. Tale impostazione è capace di coniugare armoniosamente la ricerca geografica, un'approfondita indagine storica, l'innovazione digitale e un forte senso di responsabilità sociale, offrendo una direzione chiara per la gestione delle eredità belliche.

Capitolo 1 Il concetto di rischio: definizioni, valutazione e riconoscimento nei paesaggi di guerra

1.1 Paesaggio di guerra: rischio e ricostruzione

Il rischio, in ambito di protezione civile, rappresenta la probabilità che un evento dannoso, naturale o indotto dall'uomo, si verifichi in un'area specifica, causando danni a persone, beni e infrastrutture. A differenza del pericolo, che identifica l'evento potenzialmente dannoso in sé, il rischio ne quantifica le possibili conseguenze negative.

Per valutare il rischio, è necessario considerare tre elementi interconnessi: la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione. La pericolosità è legata alla probabilità che un evento di una certa intensità si verifichi in un dato luogo e in un dato periodo. Essa può dipendere da fattori naturali, come terremoti, alluvioni ed eruzioni vulcaniche, o da fattori antropici, come incidenti industriali o rilasci di sostanze pericolose. La vulnerabilità, invece, misura la predisposizione di un elemento, che sia una persona, un edificio o un'infrastruttura, a subire danni in seguito a un evento avverso. Essa dipende da fattori intrinseci, come l'età e la tipologia delle costruzioni, e da fattori esterni, come la densità abitativa o il livello di preparazione della popolazione. Infine, l'esposizione rappresenta il valore dei beni presenti in un'area che potrebbero essere colpiti da un evento dannoso. Maggiore è il numero e l'importanza degli elementi a rischio in una determinata zona, maggiore sarà l'esposizione¹.

Tra i numerosi rischi che possono minacciare un territorio, quello legato alla presenza di ordigni bellici inesplosi riveste un'importanza particolare, come più volte ricordato dagli allarmi lanciati dall'Associazione Nazionale Vittime Civili di Guerra (ANVCG), soprattutto in seguito a eventi calamitosi come alluvioni e smottamenti². I residui bellici, spesso nascosti nel sottosuolo, rappresentano una minaccia latente per la sicurezza delle persone e dei beni presenti in superficie e al di sotto di essa. Eventi e calamità naturali possono, di fatto, destabilizzare gli ordigni, rendendoli ancora più pericolosi. Inoltre, le attività antropiche, come scavi e lavori edili, possono innescare esplosioni accidentali.

¹ La formula $R = P \times V \times E$ sintetizza questa relazione, evidenziando come il Rischio sia direttamente proporzionale alla Pericolosità, alla Vulnerabilità e all'Esposizione. Dipartimento della Protezione Civile, Che cos'è il rischio? <https://www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/che-cos-e-il-rischio-/#:~:text=Ai%20fini%20di%20protezione%20civile,un%20determinato%20periodo%20di%20tempo.> (ultima consultazione 04/11/2024)

² ANVCG, Associazione Nazionale Vittime Civili di Guerra, ONLUS – APS (2023), *Rischio ordigni bellici nelle zone alluvionate, prestare la massima attenzione*, <https://www.anvcg.it/attualita/archivio/item/733-rischio-ordigni-bellici-nelle-zone-alluvionate-prestare-la-massima-attenzione> (ultima consultazione 04/11/2024)

La quantificazione del rischio consente di definire una soglia di accettabilità al di sotto della quale i danni attesi sono considerati socialmente tollerabili. Tuttavia, la valutazione dell'accettabilità del rischio non può basarsi esclusivamente su criteri economici di “costi e benefici”, ma richiede una ponderata valutazione dei valori in gioco e delle implicazioni sociali³.

Nell'ambito in esame, assume particolare rilevanza il concetto di bene irriproducibile, come la vita umana, il patrimonio culturale e l'ambiente naturale, la cui perdita comporta conseguenze irreversibili e mentre le istituzioni si adoperano per rafforzare i sistemi di protezione civile, la comunità scientifica è chiamata a sviluppare strumenti sempre più sofisticati per l'analisi e la previsione dei rischi. In particolare, i Sistemi Informativi Geografici (GIS) si rivelano strumenti di fondamentale importanza per la caratterizzazione dei territori a rischio e la definizione di strategie di prevenzione e mitigazione⁴.

Se ne deduce che la gestione del rischio e, in particolare del rischio derivante dalla presenza di ordigni bellici inesplosi, è una sfida complessa che richiede un approccio multidisciplinare e una stretta collaborazione tra istituzioni, comunità scientifica e cittadini. È fondamentale mappare i territori potenzialmente contaminati, sensibilizzare la popolazione sui rischi connessi al ritrovamento di ordigni e promuovere interventi di bonifica. Tali azioni richiedono una conoscenza approfondita dei fattori che determinano il rischio stesso, una valutazione accurata delle vulnerabilità e l'implementazione di misure di prevenzione e mitigazione adeguate. Pertanto, è necessario investigare paesaggi che ancora oggi ospitano e risultano vulnerabili alla presenza di ordigni bellici inesplosi risalenti nello specifico alla Seconda guerra mondiale.

In relazione a ciò, un primo elemento da considerare riguarda il fatto che ogni conflitto bellico, ridefinendo i confini esistenti, stravolge l'assetto geopolitico preesistente. Le carte geografiche, dopo ogni guerra, subiscono inevitabili modifiche. I confini, in caso di sconfitta, vengono ridisegnati all'interno del territorio del perdente, mentre i vincitori estendono il proprio dominio territoriale. Nonostante ogni trattato di pace cerchi di instaurare un equilibrio duraturo, la storia dimostra che questi accordi rappresentano spesso la premessa per nuovi scontri. Di fatto, l'esistenza di un confine politico tra due Stati implica, in potenza, la possibilità di un conflitto futuro. La frontiera politica, quindi, può essere considerata come un ambiente virtuale di scontro, sempre in attesa di essere attivato, di essere trasformato in fronte di guerra appunto. Anche in periodi di pace apparente, mentre le nazioni si riarmano in vista di futuri conflitti, i confini politici si trovano in una sorta di mobilitazione silenziosa, pronti a spostarsi in base alle mutevoli relazioni di forza tra gli Stati. Dal

³ Azzari *et al.* 2008, p. 3

⁴ *Ibidem*, p. 2

punto di vista strategico, la vera frontiera non è quella stabilita da un trattato, ma quella verso cui i due Stati confinanti sono naturalmente attratti a causa delle loro reciproche ambizioni⁵.

Eppure, l'attività bellica non si esaurisce nello scontro armato, né in quello politico e strategico. Le forze in campo, infatti, danno vita a un intricato sistema di infrastrutture e attività logistiche che modellano profondamente il territorio. Il cosiddetto 'paesaggio militare' o 'paesaggio di guerra', per parafrasa l'opera di Kurt Lewin del 1917, è il risultato della complessa interazione tra l'uomo e l'ambiente, e si compone di una moltitudine di elementi: fortificazioni, accampamenti, reti viarie, sistemi di comunicazione, depositi e centri abitati, ognuno funzionale a specifiche esigenze operative, quali il combattimento, il comando, il controllo, il supporto logistico e il sostentamento delle truppe⁶.

Questi luoghi, testimoni silenti di scontri cruenti e di sofferenze indicibili, conservano la memoria viva di un passato che non può essere dimenticato. Sono, come ha sottolineato Vallerani (2006), veri e propri "tatuaggi di guerra", marchi indelebili che segnano il paesaggio e ne ridefiniscono profondamente l'identità e il significato⁷.

Prima del XX secolo, nessun conflitto aveva lasciato un'impronta così profonda e visibile sul territorio come le due guerre mondiali. I paesaggi di molti Paesi sono stati letteralmente segnati, portando alla nascita di un legame indissolubile tra guerra e territorio⁸.

Per questo, a partire dagli anni '20 e '30 del secolo scorso, si è compresa l'importanza dei resti dei conflitti mondiali come preziosi testimoni del passato. Tuttavia, è stato soprattutto negli anni '70 che si è sviluppato un dibattito più ampio sulla valorizzazione e la tutela di tale paesaggio culturale, rendendolo patrimonio della collettività. La consapevolezza che oggetti, luoghi, documenti contengano una memoria collettiva inestimabile ha portato alla nascita del concetto di "luoghi della memoria", coniato da Pierre Nora (1984). Ogni elemento, materiale o simbolico, diventa così un frammento di un puzzle che ci permette di ricostruire il passato e di tramandarlo alle generazioni future⁹.

In tale ottica, le fotografie attuali, documentando l'evoluzione dei luoghi e dei percorsi, rivelano un paesaggio profondamente mutato rispetto a quello segnato dai grandi conflitti bellici. Le trasformazioni sono il risultato inevitabile dell'interazione tra l'uomo e la natura che modella continuamente il territorio. Il paesaggio, inteso come un'opera d'arte vivente, porta in sé le tracce di ogni cambiamento, dalle evidenze materiali delle due guerre, come i crateri lasciati dall'esplosione

⁵ Del Lago 2006, *Fronti e frontiere. Note sulla militarizzazione della contiguità*. ADIR – L'altro Diritto, <https://www.adir.unifi.it/odv/documenti/frontiere/dallago.htm> (ultima consultazione 04/11/2024)

⁶ Garfi 2019, pp. 1-2

⁷ Passarin 2018, p. 9

⁸ Milone 2018, p. 23

⁹ *Ibidem*, p. 13

di granate e bombe, ormai spesso oscurati dalla vegetazione, fino alle più sottili modificazioni morfologiche, come il rimboschimento di alcune aree un tempo campo di guerra. La comprensione delle alterazioni richiede una lettura attenta del paesaggio a scala territoriale e non solo, che ne sveli la stratificazione storica e la complessità¹⁰.

Pertanto, il paesaggio e, di conseguenza, anche il paesaggio di guerra si presenta e va considerato come un “documento d’archivio”, composto di tracce materiali e immateriali, ma non statico, bensì in continua evoluzione, dove le tracce del passato vengono quotidianamente contaminate dal presente, attraverso l’azione congiunta di uomo e natura. Riconoscendo l'intrinseca connessione tra il paesaggio, la memoria collettiva e l'identità culturale, si evidenzia la necessità di un'azione mirata alla salvaguardia e alla valorizzazione del patrimonio storico che caratterizza il paesaggio di guerra. Il paesaggio, infatti, non è solo un contesto fisico, ma un contenitore di significati e ricordi che definiscono la comunità che lo vive¹¹.

Partendo dall'osservazione che lo studio del paesaggio militare consente di approfondire la «complessità della vita delle persone» (Garfi 2019, pp. 1-2), si è sviluppato un approccio multidisciplinare che, integrando tra le altre discipline anche le metodologie archeologiche, ha dato origine alla moderna 'archeologia dei conflitti'. Una disciplina che si propone di analizzare le vestigia materiali lasciate dai conflitti armati, offrendo un'inedita chiave di lettura della vita quotidiana delle popolazioni coinvolte.

Garfi (2019), in particolare, ha sottolineato la complessità dei paesaggi segnati dai conflitti di epoca moderna, in quanto realtà multistrato, che richiedono un approccio metodologico rigoroso e multidisciplinare. Tale approccio, affermatosi significativamente a partire dagli anni Novanta e attirando l'attenzione di geografi (Rech *et al.*, 2015), archeologi, storici del conflitto (Stichelbaut e Cowley, 2016) e studiosi della geomorfologia e dell'archeogeomorfologia (Harden, 2014; Thornbush, 2012), offre una visione articolata e approfondita di questi contesti e un quadro analitico sofisticato per ricostruire le dinamiche belliche e per delineare una mappatura sistematica delle caratteristiche legate ai conflitti, contribuendo alla comprensione dei paesaggi plasmati dall'azione antropica.

Sebbene Hesse (2014) abbia sottolineato le potenzialità della geomorfologia dei conflitti come branca dell'archeo-geomorfologia (Thornbush, 2012), è evidente che tale disciplina non ha ancora ottenuto un riconoscimento formale e autonomo all'interno della comunità scientifica della geomorfologia. La letteratura scientifica sui paesaggi di guerra (Hupy e Koehler, 2012; Stal *et al.*, 2010; Hupy e Schaetzl, 2008; Hupy e Schaetzl, 2006), infatti, si è focalizzata principalmente sugli effetti visibili dei conflitti, in particolare sull'impatto dei bombardamenti sul suolo e sull'ambiente

¹⁰ Milone 2018, pp. 21-23

¹¹ *Ibidem*, pp. 25-26

(Gorsevski, *et al.*, 2013; Francis, 2011; Hanson, 2011; Hanson *et al.*, 2009; Machlis e Hanson, 2008), trascurando, tuttavia, un'analisi approfondita delle dinamiche geomorfologiche innescate dai conflitti armati.

In contrapposizione a questa prospettiva, Archer *et al.* (2002) sostengono che la letteratura sull'archeo-geomorfologia offre un quadro più ampio, focalizzandosi in particolare sui conflitti di natura 'industriale' che, caratterizzati dalla mobilitazione di ingenti risorse industriali e umane, dall'utilizzo di armamenti sofisticati come artiglieria e aeromobili e dall'impiego su larga scala di esplosivi ad alta potenza, hanno lasciato tracce profonde e distintive nel paesaggio.

Le due guerre mondiali, in particolare, hanno profondamente segnato il paesaggio con vestigia che non comprendono solo elementi architettonici militari (trincee, bunker), ma anche reperti archeologici di natura bellica (ordigni inesplosi, crateri), corroborando l'idea, espressa da Gheyle *et al.* (2018, p. 55), che il paesaggio sia il testimone più duraturo delle vicende belliche. Nello specifico, fu proprio l'impiego massiccio di ordigni esplosivi a conferire ai conflitti bellici industriali la capacità di modificare radicalmente la morfologia dei territori coinvolti, lasciando un'impronta indelebile sul paesaggio.

Nonostante l'obliterazione di gran parte delle tracce belliche a causa delle successive attività antropiche, come l'aratura e l'urbanizzazione, numerosi reperti sono ancora rinvenibili, in particolare nelle aree boschive. La mappatura di tali evidenze morfologiche ha tradizionalmente richiesto l'impiego di strumentazioni sofisticate e costose, nonché l'adozione di metodologie particolarmente complesse, soprattutto in considerazione delle vaste estensioni territoriali coinvolte nei conflitti moderni.

Secondo Hesse (2014, p. 19), una corretta gestione dei siti e dei paesaggi militari richiede, come fase preliminare, un'accurata individuazione e mappatura delle caratteristiche morfologiche legate ai conflitti bellici al fine di avviare un'analisi scientifica approfondita e definire le più opportune misure di tutela e valorizzazione di singoli luoghi di interesse.

L'indagine sui siti del patrimonio culturale mondiale legati ai conflitti ha tradizionalmente privilegiato un approccio di tipo paesaggistico, trascurando spesso lo studio approfondito di specifiche località. Sebbene si tratti di una prospettiva fondamentale per comprendere le dinamiche a larga scala, la gestione dei paesaggi di guerra pone sfide notevoli in termini di tutela e valorizzazione. Al contrario, come sottolineato da Hertzog (2012), lo studio e la gestione di singole realtà, grazie alla loro maggiore specificità, offrono maggiori opportunità di valorizzazione e di coinvolgimento del pubblico.

L'interesse scientifico per i siti bellici si è tradizionalmente concentrato sui contesti urbani, trascurando spesso i luoghi di conflitto situati in aree extraurbane. Tuttavia, come evidenziato da

Capps-Tunwell *et al.* (2015), van der Schriek (2016), Passmore *et al.* (2014) e van der Schriek e Beex (2018, p. 103), le aree periferiche ed extraurbane presentano un notevole potenziale storico-informativo, caratterizzato dalla presenza di fortificazioni, opere di movimento terra e altre tracce materiali dei conflitti. È pertanto necessario un approccio più integrato che consideri entrambi i tipi di contesti, al fine di ottenere una comprensione più completa delle dinamiche belliche e del loro impatto sul paesaggio.

Inoltre, i territori segnati dalle attività belliche rappresentano un ambito di studio di crescente rilevanza, sia per il loro valore intrinseco, sia per la necessità di tutelare e valorizzare un patrimonio culturale e naturale spesso minacciato dalla presenza di ordigni inesplosi (*Unexploded ordnances* - UXO).

In proposito, Dolej *et al.* (2020, p. 2) sottolineano come le tecnologie di telerilevamento, e in particolare i modelli digitali del terreno (DTM) derivati da LIDAR¹², abbiano rivoluzionato l'identificazione dei residui bellici. Nonostante ciò, in contesti complessi come i paesaggi post-minerari, l'applicazione esclusiva di tali strumenti risulta limitata, rendendo necessario un approccio multidisciplinare che integri diverse metodologie.

I sistemi LIDAR, fornendo una rappresentazione tridimensionale ad alta risoluzione dei paesaggi, si sono affermati come strumenti particolarmente efficaci nell'indagine di contesti caratterizzati da una densa copertura vegetale. Le immagini LIDAR, infatti, catturando un istante preciso dello stato attuale del paesaggio, consentono di documentare le trasformazioni avvenute nel tempo, sia in seguito a processi naturali che a interventi antropici, offrendo preziose informazioni per la ricostruzione della storia del territorio.

L'analisi dei paesaggi mediante i dati LIDAR richiede un approccio interdisciplinare che trascenda la mera interpretazione visiva delle immagini. Come sottolineato da Johnsona e Ouimet (2018, p. 32) e da van der Schriek e Beex (2018, p. 94), un'interpretazione accurata e completa dei risultati, infatti, esige l'integrazione dei dati LIDAR con un ampio spettro di informazioni contestuali, ancorate a un solido quadro teorico geografico.

Del resto, la diffusione su larga scala di paesaggi fortemente compromessi dalle attività belliche ha portato alla creazione di una nuova categoria paesaggistica, i “*landscapes of bombing*” (Passmore *et al.*, 2014, p. 1286), oggetto di approfondite indagini in diverse realtà geografiche, quali Francia (Passmore *et al.*, 2013), Belgio (Gheyle *et al.*, 2018; Masters e Stichelbaut, 2009), Slovenia (Breg Valjavec *et al.*, 2018) e Repubblica ceca (Dolejš *et al.* 2020), caratterizzati da una marcata

¹² Il LIDAR (*Light Detection And Ranging*) è una tecnologia di telerilevamento che sfrutta la proprietà della luce laser di propagarsi in linea retta. Grazie a questa caratteristica, il LIDAR consente di acquisire dati tridimensionali ad alta risoluzione, trovando applicazione in numerosi campi, dalla cartografia all'archeologia.

alterazione del territorio, dovuta agli effetti dei bombardamenti. Le ricerche nel settore di riferimento sono finalizzate all'identificazione, alla quantificazione e alla contestualizzazione storica delle tracce belliche, nonché alla valutazione dei rischi connessi alla presenza di ordigni inesplosi, una minaccia concreta per le comunità locali (Fig. 1-2).

Le attività volte alla valutazione del rischio associato agli UXO si basano prevalentemente sull'analisi di fonti archivistiche testuali. In assenza di tali dati, la comunità scientifica ha sviluppato una serie di metodologie, sia manuali che automatizzate, finalizzate all'identificazione dei crateri da bomba attraverso l'interpretazione visiva e l'analisi di immagini aeree storiche (Brenner *et al.*, 2018, p. 94; Merler *et al.*, 2005, p. 735). La metodologia tradizionale, nonostante l'avvento delle tecnologie LIDAR, utili anche alla localizzazione dei crateri di bomba (Breg Valjavec *et al.*, 2018, p. 388; Magnini *et al.*, 2017, pp. 220-22) con percentuali di successo pari all'84%, conserva un'importanza cruciale, in quanto fornisce informazioni dettagliate e certe per il 74% sulla distribuzione spaziale e sull'intensità dei bombardamenti nell'area di studio e limita i costi in termini di strumentazione e formazione all'impiego degli stessi.

Inoltre, il quadro normativo internazionale, rappresentato dai Protocolli I e II aggiuntivi alle Convenzioni di Ginevra, ha sancito il divieto di azioni belliche che possano provocare danni ambientali estesi e di lunga durata. Nonostante tale divieto, la scarsità di una solida base scientifica sugli impatti ambientali dei conflitti armati del passato, unitamente alla complessità dei contesti post-bellici, ha limitato la possibilità di condurre valutazioni ambientali post-conflitto complete e approfondite. La letteratura scientifica esistente, sebbene fornisca importanti indicazioni, si è focalizzata principalmente sugli impatti biologici, sulla degradazione del suolo e sulla contaminazione delle acque (Kiernan, 2013, p. 2), trascurando altri aspetti rilevanti. Di conseguenza, le valutazioni condotte da agenzie come la *United Nations Environment Programme* (UNEP), pur necessarie, presentano spesso un carattere preliminare e parziale.

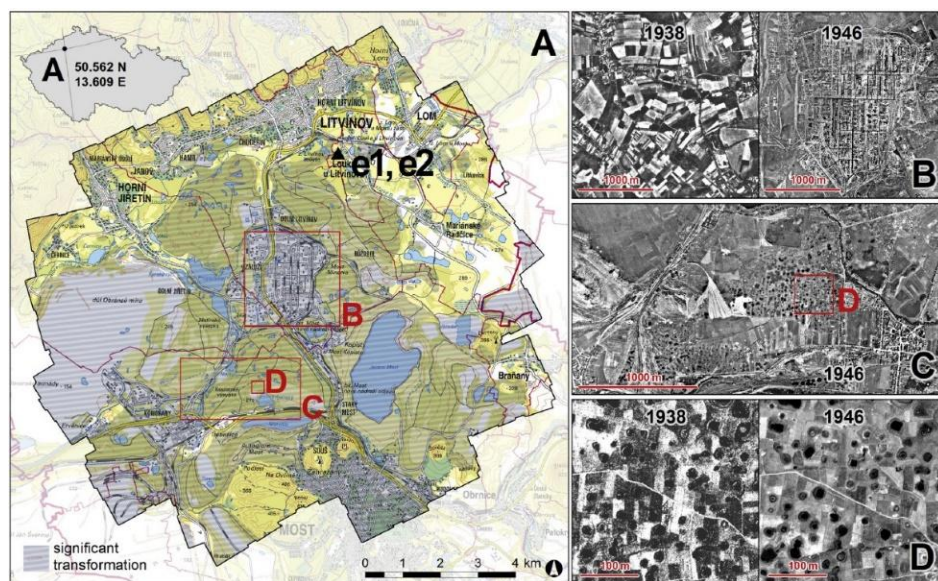


Figura 1 A) Localizzazione dell'area del caso di studio con delimitazione delle aree significativamente trasformate; B) cambiamento nell'uso del suolo intorno alla fabbrica; C) campi dolina delle immagini di riferimento dal 1938 al 1946; D) esempio di campi dolina di Souš. Fonte: Dolej et al. 2020, p. 3

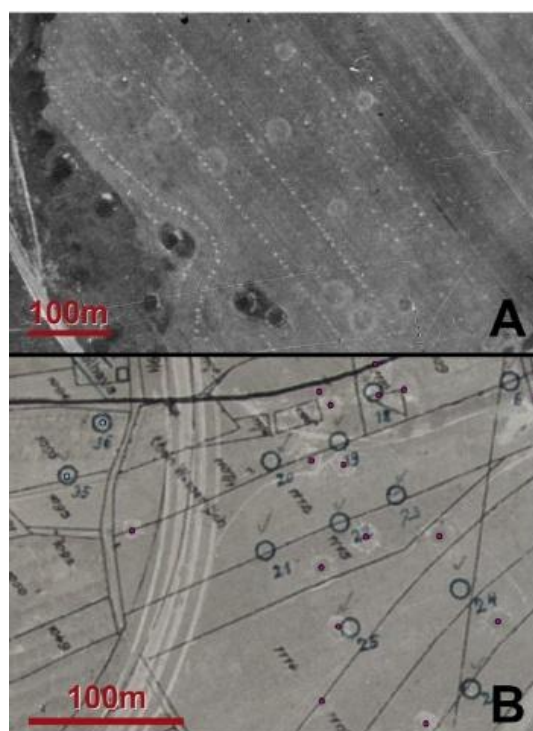


Figura 2 A) Pratica di riempimento del cratere su ortofoto del 1946; B) Ortofoto del 1946 con sovrapposizione del piano di bombardamento. Fonte: Dolej et al. 2020, p. 5

È necessario, però, evidenziare che la morfologia dei crateri da bomba nelle immagini storiche o satellitari odierne è fortemente influenzata dal contesto ambientale e dal tempo trascorso dal bombardamento, come sottolineato da Vad *et al.* (2017, p. 254). Nonostante in condizioni ideali i crateri si presentino come depressioni circolari ben definite, in realtà la loro identificazione può essere ostacolata da una serie di fattori, tra cui la qualità delle immagini, la natura del substrato, la crescita

della vegetazione e le alterazioni antropiche successive al conflitto¹³. In particolare, Kiernan (2013) evidenzia come l'occultamento intenzionale, il riempimento con acqua o la costruzione di nuove strutture, nonché la presenza di crateri in ambienti acquatici, possano rendere estremamente difficile il loro rilevamento (Fig. 3). Di conseguenza, la possibilità di utilizzare i crateri visibili su immagini storiche o recenti per stimare la densità dei bombardamenti risulta significativamente limitata.

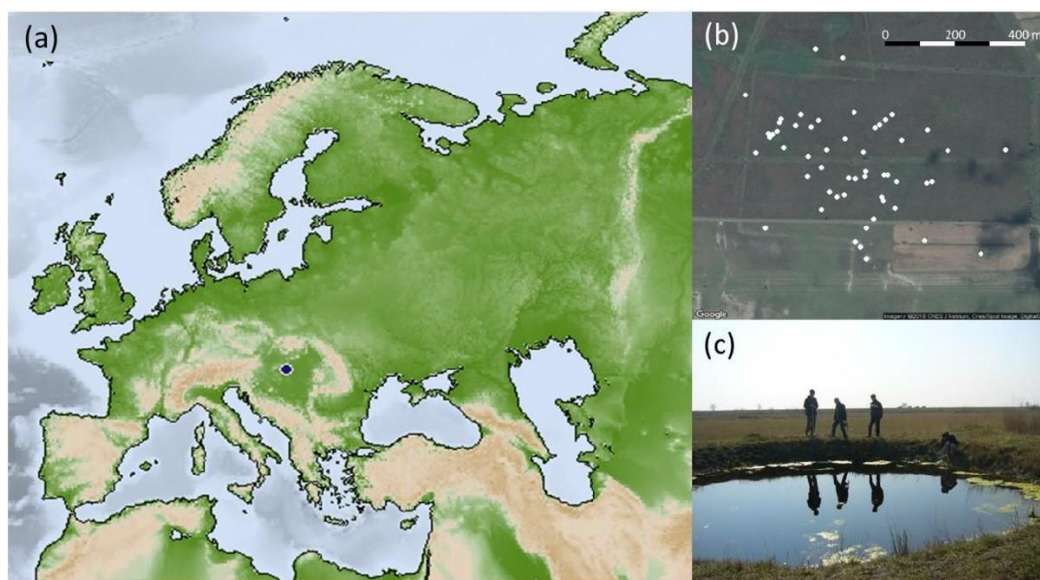


Figura 3 L'ubicazione dell'area di studio in Europa (a), una mappa (b) e un esempio (c) degli habitat. Nel pannello (c), i 54 stagni campionati nell'ambito dello studio sono indicati con cerchi bianchi pieni. Denso gruppo di stagni all'interno di crateri di bombe della Seconda guerra mondiale nell'Ungheria centrale, vicino al villaggio di Apay. Fonte: Vad et al. 2017, p. 254

Anche Gaffney *et al.* (2004, pp. 122-124) riconoscono il valore delle fotografie aeree nell'individuazione di aree di interesse militare, tuttavia ne sottolineano le limitazioni intrinseche. La rappresentazione bidimensionale e statica fornita dalle immagini aeree non consente di rilevare strutture sotterranee o di piccole dimensioni. Per ovviare a tali limitazioni, si rende indispensabile l'integrazione di indagini geofisiche, in particolare la prospezione magnetica, che permette di individuare la distribuzione spaziale di materiali ferromagnetici nel sottosuolo. Inoltre, le indagini di campo consentono di rilevare elementi lineari, spesso invisibili o difficilmente interpretabili nelle immagini aeree, quali strade, ferrovie e piccole strutture difensive.

L'esplorazione di contesti paesaggistici soggetti a significative trasformazioni nel tempo richiede comunque un approccio metodologico rigoroso, basato sull'integrazione di diverse fonti di informazione. Le fonti documentarie, quali documenti d'archivio e rapporti storici, forniscono un quadro di riferimento fondamentale per l'individuazione di trincee, crateri e bunker. Tuttavia, la variabilità nella precisione e nell'attendibilità di tali fonti, sia in termini spaziali che temporali, rende

¹³ Kiernan 2013, p. 6

necessaria l'integrazione di altre tipologie di dati, come le immagini satellitari e i dati geofisici. Già durante il secondo conflitto mondiale, personale militare esperto si dedicava alla mappatura dei crateri da bombardamento sulle immagini di ricognizione. Tali attività, come evidenziato da Furlanello *et al.* (2004, p. 1), avevano lo scopo di valutare l'efficacia degli attacchi aerei e di quantificare i danni inflitti agli obiettivi militari (Fig. 4).

Come riportato in Nocerino *et al.* (2012, p. 86), al fine di soddisfare le esigenze della ricognizione aerofotogrammetrica, specifici velivoli da combattimento, quali il britannico Spitfire, il Mosquito e gli americani P-38 Lightning e P-51 Mustang, venivano sottoposti a significative modifiche. Deprivati delle loro dotazioni offensive, gli aeromobili venivano mimetizzati ed equipaggiati con sofisticati apparati fotografici. I motori venivano ottimizzati per garantire elevate prestazioni in quota, eludendo così le intercettazioni nemiche. Le camere fotografiche, appositamente progettate per l'impiego aeronautico, erano caratterizzate da formati medio o grande, da ottiche a lunghissima focale e da meccanismi di pressatura della pellicola, al fine di ottenere immagini di alta qualità anche in condizioni di volo gravose.

Le immagini di ricognizione bellica svolgono, ancora oggi, un ruolo fondamentale non solo nella mappatura dei crateri da bombe esplose, ma anche degli ordigni inesplosi, un problema di rilevante portata a seguito dei conflitti che hanno interessato l'Europa e l'Asia prima del 1983. L'aumento esponenziale della produzione bellica a partire dalla metà del XIX secolo, non accompagnato da un corrispondente incremento dell'affidabilità delle munizioni, ha infatti determinato la presenza di un'ingente quantità di ordigni non deflagrati. In particolare, le bombe aeree della Seconda guerra mondiale presentavano un tasso di malfunzionamento stimato intorno al 10%, rappresentando ancora oggi una seria minaccia per la sicurezza della popolazione civile locale, come evidenziato da Going (2002, p. 3).

Ne consegue che le immagini di ricognizione aerea, custodite in archivi storici, costituiscono un prezioso patrimonio documentario per la mappatura dei crateri da bombardamento (Fig. 5). Tale attività di ricerca, oltre a fornire un contributo fondamentale alla conoscenza storica, permette di valutare il rischio di presenza di ordigni inesplosi in determinate aree geografiche. La digitalizzazione delle immagini riprese dall'alto e la loro georeferenziazione consentono, inoltre, di effettuare conteggi diacronici dei crateri, offrendo così una visione più completa delle dinamiche belliche e dei relativi effetti sul paesaggio, come evidenziato da Furlanello *et al.* (2004, p. 1-2) e Merler *et al.* (2005, pp. 735-736).

Ciò nonostante, la determinazione esatta del numero di bombe sganciate su ampie zone durante un conflitto è un'operazione che presenta notevoli difficoltà e richiede un approccio analitico e critico. Sebbene le fonti archivistiche ufficiali, come il *The United States Strategic Bombing Survey*

- *Statistical Appendix to Over-All Report (European War), Washington DC 1947*, forniscano dati quantitativi sulle tonnellate di bombe sganciate dai bombardieri alleati durante la Seconda Guerra Mondiale, è importante sottolineare i limiti intrinseci di tali informazioni. In particolare, i dati sulla densità dei crateri ricavati dalle immagini aeree, pur fornendo un'indicazione visiva dei danni subiti dal territorio, tendono a sottostimare la reale portata dei bombardamenti.



Figura 4 Viterbo Marshalling Yard. Fonte: 320th Bomb Group Strike Photographs. 320th Bomb Group, https://320thbg.org/1944_missions.html (ultima consultazione, 05/11/2024)



Figura 5 Foto aerea della RAF sulla città di Viterbo, copia digitale autoprodotta presso Aerofototeca Nazionale di Roma

1.2. Rischio di rinvenimento ordigni bellici inesplosi e beni culturali

I bombardamenti aerei che subì l'Italia durante la Seconda guerra mondiale (1940-1945) sia ad opera degli Alleati sia dei tedeschi¹⁴, iniziarono dal giorno successivo all'entrata in guerra contro l'Inghilterra e la Francia (10 giugno 1940), con l'incursione aerea della notte tra l'11 e il 12 giugno 1940 su Genova e Torino, e terminarono il 4 maggio 1945¹⁵.

Durante i suoi lunghi cinque anni, la Seconda guerra mondiale ha lasciato ai posteri un'enorme quantità di residui bellici inesplosi in quasi tutto il territorio della penisola italiana¹⁶. Le città del sud Italia, come Napoli e Messina, casi espliciti, vennero colpite da più di cento attacchi aerei. Inoltre, con il coinvolgimento diretto del *Mediterranean Allied Photo Reconnaissance Wing* (MAPRW), i bombardamenti vennero ulteriormente intensificati ai fini della preparazione per lo sbarco e l'invasione della Sicilia e della Penisola. Le campagne di bombardamento che seguirono nel 1942, e in particolare nel 1943, di fatto, furono molto più intense rispetto a quelle condotte tra il 1940 e il 1941. Per questo, nel dicembre del 1942, il Ministro della Guerra e degli Affari Esteri, Anthony Eden, scrisse a Winston Churchill dichiarandosi favorevole all'ampliamento degli obiettivi italiani, ma auspicando che fosse evitato l'attacco a città di rilevanza artistica, come Firenze e Venezia¹⁷.

Il coinvolgimento dei beni culturali da parte dei bombardamenti e la perdita del patrimonio storico, artistico, culturale italiano è stato da subito evidente. Nel 1938, il Dipartimento di Guerra italiano rilasciò un opuscolo intitolato "Istruzioni per la difesa dell'aria - protezione del patrimonio artistico e culturale". L'opuscolo recitava: «il nemico eviterà, ove possibile, il lancio di bombe sulle opere d'arte». Le misure di protezione degli edifici avrebbero dovuto «cercare di nasconderle, ma solo per equipaggiarle per resistere agli effetti di bombardamenti non mirati»¹⁸.

Eppure, il 17 gennaio 1940 fu necessaria l'introduzione da parte del "Decreto del Duce del Fascismo Capo del Governo" di una segnaletica specifica per la protezione antiaerea degli edifici pubblici e dei monumenti. Nello specifico, il decreto era rivolto a edifici consacrati ai culti, alle arti, alle scienze e alla beneficenza, nonché ai monumenti storici, gli ospedali civili e altri centri di raccolta di malati e feriti, che si trovavano nel territorio dello Stato e in quello occupato dalle sue Forze armate. Tale segnale, costituito da un rettangolo diviso in due triangoli equilateri, uno nero e uno bianco, all'interno di un campo giallo, doveva essere ben visibile da notevole distanza e quota (Fig. 6).

¹⁴ Shepherd 2015, p.112

¹⁵ *Ibidem*

¹⁶ Furlanello *et al.* 2004; Shepherd 2015, p. 114

¹⁷ Baldoli e Knapp 2012, p. 38; Shepherd 2015, p.112

¹⁸ Baldoli *et al.* 2009, *Bombing, States and Peoples in Western Europe 1940-1945, The Bombing of Italy 1940 – 1945 - Bombing Italy: allied strategies, 1940-1945 exhibition* _ <https://humanities.exeter.ac.uk/history/research/centres/warstateandsociety/projects/bombing/italy/> (ultima consultazione 26 agosto 2024); Coccoli 2010, p. 411

Generalmente applicato direttamente sulle coperture dei palazzi, poteva essere realizzato anche su pannelli¹⁹.

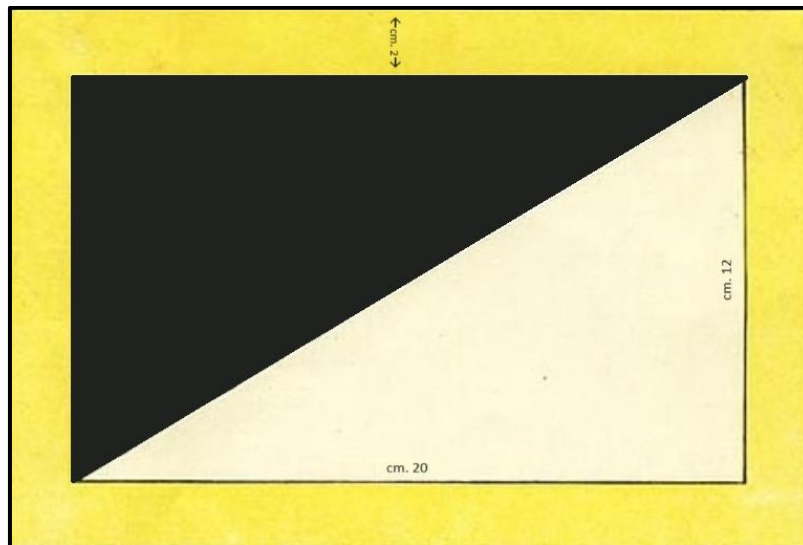


Figura 6 Riproduzione del segno distintivo per la protezione degli edifici consacrati ai culti, alla scienza e alla beneficenza nonché dei monumenti storici ed ospedali civili contro i bombardamenti aerei. L'immagine è stata autoriprodotta sulla base del disegno presente nella fonte: Governo Italiano. (17 giugno 1940). Decreto del Duce del Fascismo Capo del Governo [Determinazione di segni distintivi per la protezione degli edifici e monumenti dai bombardamenti]. Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia (1940), n. 144, 20-VI-1940 (XVIII), chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglefindmkaj/https://www.lorenzograssi.it/archivio/19400617d.pdf (ultima consultazione 23/04/2024)

All'inizio del 1945, Pietro Nenni, partigiano e leader del Partito Socialista, scrisse agli Alleati per chiedere loro di evitare, per quanto possibile, di colpire i monumenti storici. Tale richiesta venne avanzata dopo che i centri di Verona, Vicenza, Padova e Treviso subirono devastanti bombardamenti²⁰.

Nonostante gli sforzi, quindi, numerosi luoghi di rilevanza storica, artistica e archeologica furono gravemente danneggiati dai bombardamenti durante la Seconda guerra mondiale, e le tracce di tali devastazioni sono ancora visibili.

Le fonti disponibili sull'argomento sono numerose e variegata. Si spazia dalla memorialistica, sia privata che di associazioni, ai documenti di archivio italiani, come i registri parrocchiali, gli archivi dei Comitati Provinciali Protezione Antiaerea, gli archivi delle Prefetture, gli archivi di Stato e quelli comunali. All'elenco possono essere aggiunti anche gli archivi stranieri, come gli archivi degli Alleati, che comprendono fonti bibliografiche e documentarie delle forze armate, nonché la

¹⁹ Governo Italiano. (17 giugno 1940). Decreto del Duce del Fascismo Capo del Governo [Determinazione di segni distintivi per la protezione degli edifici e monumenti dai bombardamenti]. Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia n. 144, 20-VI-1940 (XVIII), [canva.com/it_it/strumenti/immagini-trasparenti/](https://www.lorenzograssi.it/archivio/19400617d.pdf) (ultima consultazione 07/11/2024); Franchi 2006, p. 34

²⁰ Baldoli *et al.* 2009, Bombing, States and Peoples in Western Europe 1940-1945, The Bombing of Italy 1940 – 1945 - Bombing Italy: allied strategies, 1940-1945 exhibition <https://humanities.exeter.ac.uk/history/research/centres/warstateandsociety/projects/bombing/italy/> (ultima consultazione 26 agosto 2024); Coccoli 2010, p. 411

diaristica dei soldati. Risultano di interesse anche gli archivi militari contemporanei italiani, come quelli degli Uffici Bonifica Campi Minati (BCM) e i database di associazioni ed enti, tra cui il Comitato Interprofessionale Sicurezza Cantieri (CISC). Si trovano risorse significative anche nella sitografia specializzata, che include siti degli squadroni aerei Alleati, documenti online della Difesa americana e della Royal Air Force (RAF) britannica. Fonti a cui si deve, poi, affiancare un'ampia letteratura specializzata, prevalentemente di produzione americana. Infine, di grande rilevanza, sono le numerose fotografie d'epoca, che documentano le diverse fasi del conflitto, conservate da enti come *the Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Scotland* (RCAhMS), *National Archives and Records Administration* (NARA), Aeronautica Militare italiana e Aerofototeca Nazionale di Roma (AFN)²¹.

Nonostante la cospicua documentazione esistente, come anticipato, calcolare il numero totale di bombe d'aereo sganciate sull'intera penisola italiana durante la Seconda guerra mondiale è un compito estremamente complesso. Tuttavia, è possibile avere un'idea della portata del fenomeno basandosi sui dati ufficiali delle forze armate anglo-americane, resi accessibili grazie alla loro recente declassificazione²². In particolare, le tabelle riportate sul documento "The United States Strategic Bombing Survey – Statistical Appendix to Over-All Report (European War)", pubblicato a Washington D.C. nel 1947, forniscono stime riguardanti la quantità di ordigni sganciati dai bombardieri alleati in ogni paese. Per l'Italia, è riportato un totale di 378.891 tonnellate di esplosivo²³, pari al 13,7% del totale degli ordigni sganciati in Europa (Fig. 7). Tale quantitativo corrisponde, secondo alcuni esperti, a circa 1 milione di bombe²⁴.

Stime ufficiali del Dipartimento della Difesa U.S.A. e stime desumibili dal *Report of the Defense Science Board Task Force on Unexploded Ordnance, Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics, Washington, D.C., 2003* suggeriscono che la percentuale di malfunzionamento degli ordigni bellici precedenti al 1983 (inclusi quelli della Seconda guerra mondiale) sia tra l'8% e il 10%²⁵. Pertanto, alla fine del secondo conflitto mondiale dovevano essere presenti sul territorio nazionale circa 37.900 tonnellate di bombe di aereo inesplose²⁶. Tuttavia, non sono disponibili dati ufficiali che indichino la percentuale del numero di bombe aeree inesplose ancora presenti in Italia. Sebbene, come riportato da Shepherd (2015, p. 114), sembra che i

²¹ Shepherd 2015, p. 118

²² *Ibidem*, p. 112

²³ Furlanello *et al.* 2004; Shepherd 2015, p. 114

²⁴ Shepherd 2015, p. 112

²⁵ «Depending on target and terrain characteristics, dud rates can be well above 10%» in Report of the Defense Science Board Task Force on Unexploded Ordnance, Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics, Washington, D.C. 2003, p. 9, https://www.denix.osd.mil/mmnp/denix-files/sites/46/2016/03/03_UXO_REPORT.pdf (ultima consultazione 07/11/2024)

²⁶ Furlanello *et al.* 2004; Shepherd 2015, p. 114

ritrovamenti effettuati tra il 1945 e i giorni contemporanei ammontano a circa al 60% del totale degli inesplosi. Un dato che comporta la probabile presenza di circa 15.160 tonnellate di bombe d'aereo inesplose ($\pm$ 32.000-40.000 ordigni). Eppure, secondo il Ministero della Difesa circa 60.000 ordigni vengono rinvenuti ogni anno in Italia²⁷, di cui la maggior parte risalenti alla guerra, dimostrando l'inattendibilità dei conteggi appena esposti ed evidenziando la necessità di affrontare la questione del numero di inesplosi ancora presenti nel sottosuolo a livello nazionale²⁸.

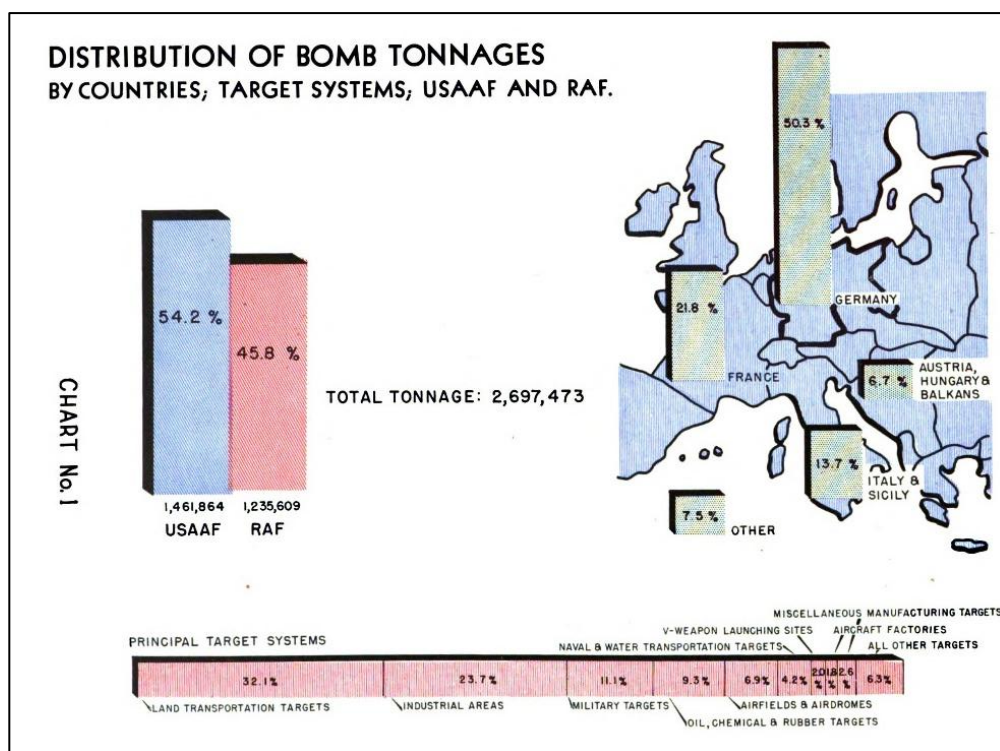


Figura 7 Distribuzione del tonnellaggio di bombe sganciate sui vari paesi. Fonte: Bombing Survey 1947, "The United States Strategic Bombing Survey – Statistical Appendix to Over-All Report (European War)", pubblicato a Washington D.C. nel 1947, <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015049492716&seq=25> (ultima consultazione 06/11/2024), p. 2

Le aree dove si sono combattute le offensive più rilevanti, come la costa siciliana, la costa di Salerno, Cassino e Anzio non sono le uniche dove è maggiore la probabilità di imbattersi in un ordigno inesploso, ma devono essere prese in considerazione anche le città, i porti, le stazioni, i depositi e i ponti ferroviari, le grandi arterie stradali e ferroviarie, in particolare quelle utilizzate dalle colonne tedesche in ritirata dopo l'8 settembre 1943. La situazione si aggrava, se si prende in considerazione anche la prassi dei bombardieri, che per qualche motivo non avevano raggiunto lo scopo di una delle missioni di attacco, di sganciare gli ordigni di cui disponevano per diminuire il peso e poter atterrare in sicurezza al ritorno dalla *sortie*.

²⁷ La cifra qui indicata include ogni tipologia di ordigno esplosivo, non solo bombe di aereo, sia della prima che della Seconda guerra mondiale.

²⁸ Shepherd 2015, p. 114.

Un fattore che comporta la possibilità di poter ritrovare ordigni inesplosi praticamente ovunque, anche in aree lontane dagli scenari di guerra noti. Infatti, nel caso in cui lo sgancio non fosse avvenuto in mare, capitava assiduamente che fosse effettuato in zone al tempo isolate e in aperta campagna, le stesse aree che oggi, grazie all'accrescimento urbano, spesso coincidono con quartieri abitati²⁹.

Pertanto, è necessario studiare in che modalità e dove venissero sganciate le bombe d'aereo durante la Seconda guerra mondiale e quali tipologie di inesplosi sono possibilmente ancora presenti nella penisola italiana.

Al momento dell'ideazione del primo bombardamento aereo, l'aviazione da guerra era ai suoi esordi e le truppe di terra non disponevano ancora di una effettiva difesa contraerea. Pertanto, la prassi dei bombardieri era volare a bassa quota e sganciare bombe su un bersaglio vicino ed esposto. A seguito, però, dello sviluppo dell'artiglieria antiaerea, la quota di volo dei bombardieri aumentò sempre di più e rese l'atto del bombardamento più difficile e meno accurato in termini di precisione sull'obiettivo. Pertanto, vennero costruiti degli ordigni esplosivi più adatti al bombardamento da alte quote e altri migliori per i bombardamenti ravvicinati per le fasi di attacco in cui i velivoli si "tuffavano" sul bersaglio³⁰.

Un ordigno esplosivo, una volta sganciato da un velivolo in movimento, conserva inizialmente la componente orizzontale della velocità del velivolo stesso, descrivendo in caduta libera una traiettoria parabolica. La distanza orizzontale percorsa dalla bomba, definita 'gamma' (*range*), è influenzata da molteplici fattori, tra cui l'altitudine e la velocità dell'aeromobile, nonché dalle caratteristiche aerodinamiche e dal peso dell'ordigno stesso (Fig. 8). Le condizioni meteorologiche, in particolare la presenza di vento, esercitano un'influenza significativa sulla traiettoria della bomba. Un vento frontale o posteriore, ad esempio, modifica la velocità relativa dell'aeromobile rispetto al suolo, mentre un vento laterale induce una deriva laterale dell'ordigno. Tali fattori, unitamente alla resistenza aerodinamica, sono stati spesso causa determinante di un punto d'impatto differente da quello previsto, rendendo necessario considerare tutte le variabili nella valutazione della traiettoria di un ordigno al fine di trovare possibili inesplosi. Del resto, i calcoli balistici, pur basati su modelli semplificati che assumono una velocità orizzontale costante, richiedono l'introduzione di correzioni per tenere conto della resistenza dell'aria e di altri fattori aerodinamici, risultando di notevole complessità ed esulando, quindi, dagli scopi della ricerca di dottorato³¹.

²⁹ Shepherd 2015, p. 115

³⁰ Stribling 1943, p. 38

³¹ *Ibidem*, p. 39

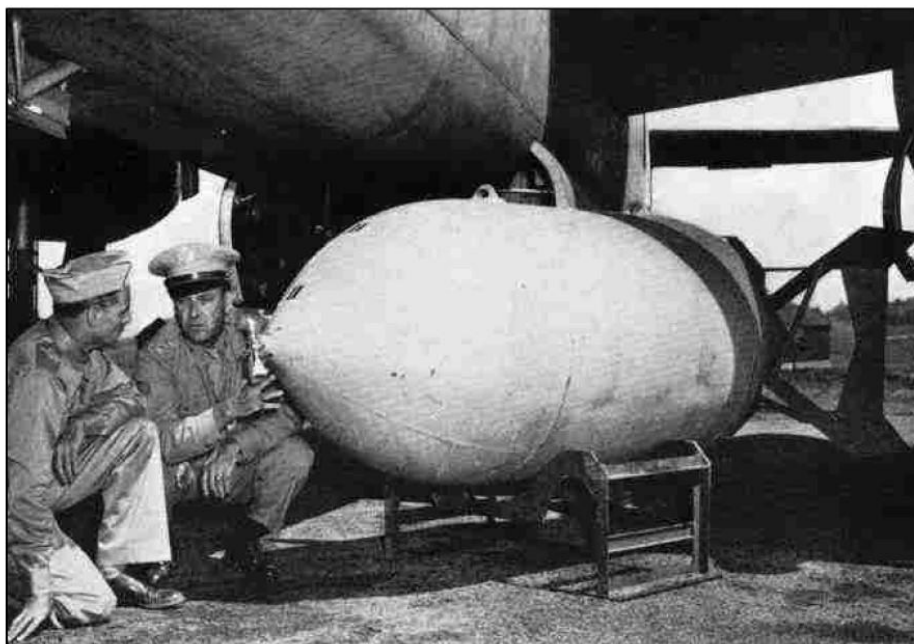


Figura 8 I capi dell'esercito americano esaminano una bomba aerea da 4000 libbre. Immagine risalente al periodo in cui i britannici hanno annunciato l'uso di una bomba da 8000 libbre. Fonte: Stribling 1943, p. 38

Si può dedurre, però, che la precisione nel bombardamento aereo era significativamente limitata da una serie di fattori intrinseci e ambientali. La presenza di difese contraeree, unitamente alle difficoltà inerenti alla navigazione aerea e al calcolo della traiettoria degli ordigni, rendeva necessario effettuare molteplici sortite per assicurare la distruzione completa di un obiettivo. L'analisi delle fotografie aeree, che documentano la dispersione dei crateri prodotti dalla caduta ed esplosione al suolo delle bombe, conferma la scarsa precisione dei bombardamenti. Del resto, il funzionamento degli ordigni esplosivi si basa su un meccanismo a catena noto come 'treno esplosivo', composto da un innesco, detto miccia o *primer*, un detonatore o *booster*, e la carica esplosiva principale (Fig. 9). Tale sequenza reattiva, attivata all'impatto, provoca la detonazione dell'esplosivo. Per ottenere un ritardo nell'esplosione, veniva interposto un elemento di intralcio tra l'innesco e il detonatore³². L'esplosivo utilizzato doveva possedere caratteristiche di stabilità tali da impedire la detonazione prematura durante la penetrazione nel bersaglio o in seguito all'impatto con proiettili. Composti come il trinitrotoluene (TNT) e l'Amatol soddisfacevano pienamente tali requisiti³³.

³² L'intervallo di tempo tra l'attivazione dell'innesco e la detonazione della carica principale poteva essere modulato mediante l'inserimento di un ritardo, realizzato attraverso l'utilizzo di polveri o di micce di lunghezza variabile a combustione lenta. Tali ritardi potevano essere regolati con precisione, consentendo di ottenere tempi di attivazione compresi tra 0,025 e 45 secondi. Le bombe demolitive erano generalmente dotate di due dispositivi di accensione, uno anteriore e uno posteriore, mentre le bombe a frammentazione ne possedevano uno solo. I fusibili erano progettati con meccanismi di sicurezza, collocati nel naso o nella coda, che ne prevenivano l'attivazione accidentale durante le operazioni di manipolazione e carico. Da Stribling 1943, p. 112

³³ Stribling 1943, p. 40

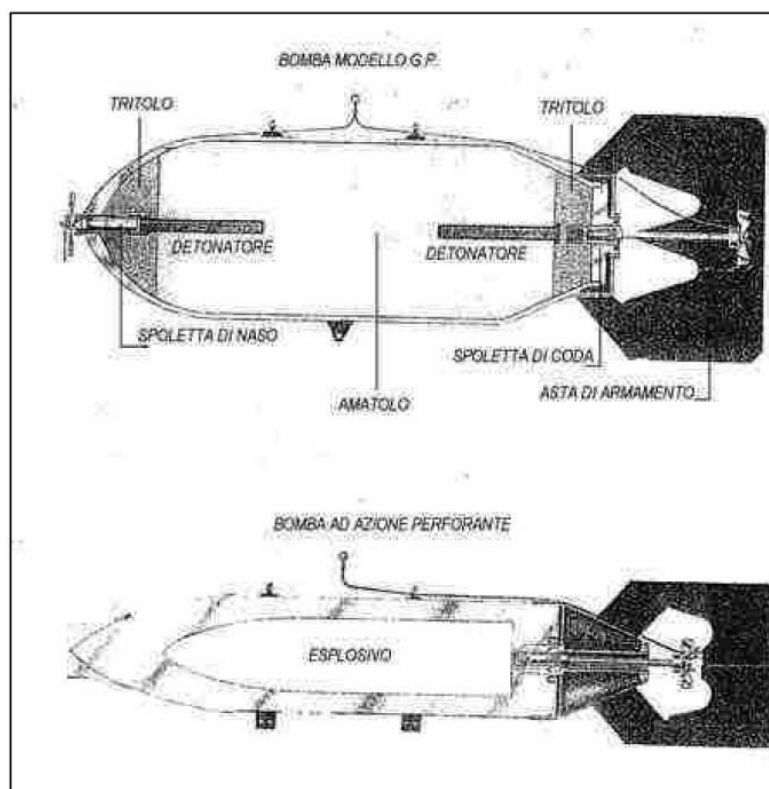


Figura 9 Bombe d'areo americane. Fonte: *Biografia di una bomba, Residui bellici*, <http://biografiadiunabomba.blogspot.it/p/residui-bellici.html> (ultima consultazione 26 agosto 2024)

Il funzionamento dei fusibili era basato su principi meccanici e aerodinamici. Il fusibile ‘di naso’, attivato all’impatto, azionava un percussore che innescava la detonazione. Il fusile ‘di coda’, invece, sfruttava il movimento in avanti del percussore, azionato dalla resistenza dell'aria durante la caduta, per innescare l'esplosione al momento dell'impatto con il bersaglio (Fig. 10). Un sistema di armamento, costituito da un cavo collegato al *rack* di lancio, garantiva il disinnescamento del fusibile durante il trasporto. Solo dopo il rilascio della bomba, il cavo veniva estratto, rendendo il fusibile pronto all'attivazione. Tuttavia, la bomba godeva di un altro meccanismo di sicurezza e restava disarmata (sicura) fino a quando il flusso d'aria, generato dalla caduta dell'ordigno, ruotava delle pale aerodinamiche un determinato numero di volte perché esse svitassero un dispositivo che permetteva al percussore di colpire l'innesco ad una certa distanza sotto l'aereo. I fusibili di naso potevano essere configurati per un'attivazione immediata o ritardata, mentre i fusibili di coda erano generalmente progettati per un'attivazione ritardata. I ritardi, che potevano variare da pochi secondi a diverse ore, erano utilizzati per massimizzare l'effetto distruttivo dell'esplosione e per scopi psicologici³⁴. La presenza di due fusibili in contemporanea, invece, uno anteriore e uno posteriore, offriva una duplice

³⁴ Stribling 1943, p. 112

funzione: garantire la detonazione dell'ordigno anche in caso di malfunzionamento di uno dei due fusibili e consentire una maggiore flessibilità operativa.

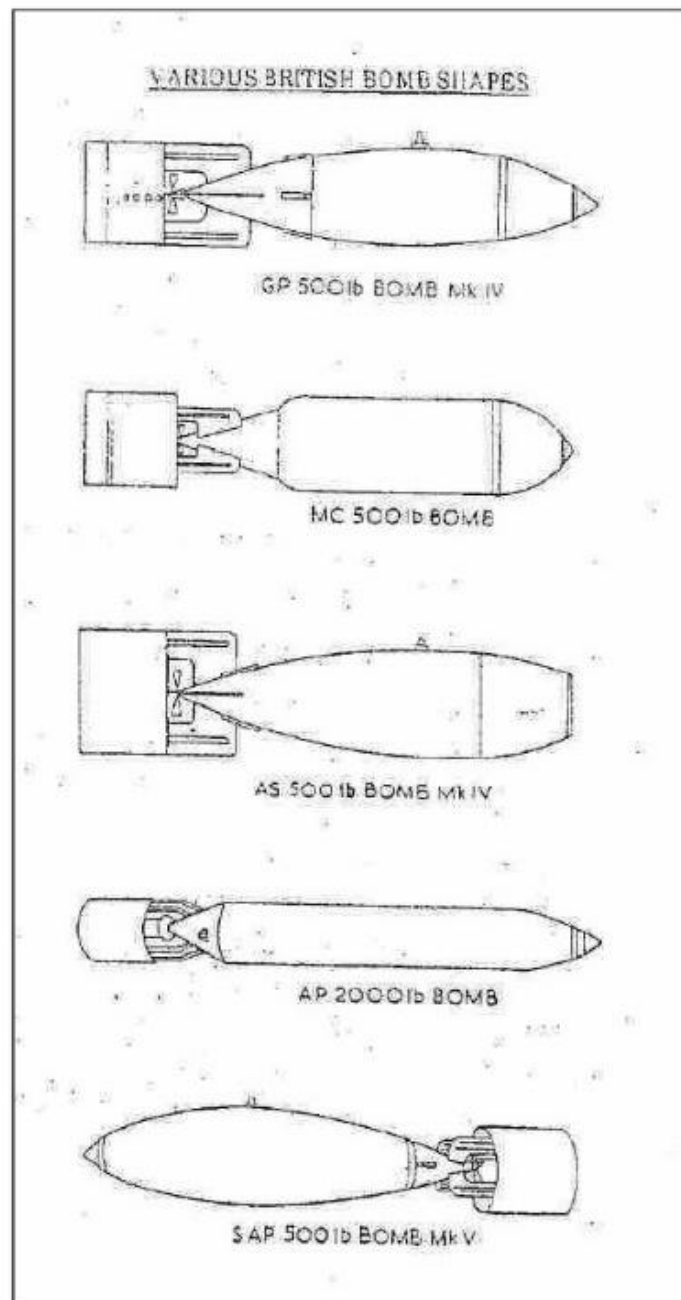


Figura 10 Bombe d'aereo inglesi. Fonte: *Biografia di una bomba, Residui bellici*, <http://biografiadiunabomba.blogspot.it/p/residui-bellici.html> (ultima consultazione 26 agosto 2024)

Nonostante le differenti caratteristiche degli ordigni, le immagini aeree storiche mostrano chiaramente come i crateri da bomba si distribuissero spesso in modo irregolare e lontano dai bersagli prefissati³⁵. Tale dispersione è diretta conseguenza dei limiti intrinseci dei sistemi di puntamento

³⁵ Furlanello *et al.* 2004

utilizzati durante la Seconda Guerra Mondiale. Infatti, l'efficacia di tali sistemi era fortemente condizionata da una molteplicità di fattori esterni, quali le esigenze operative e le condizioni ambientali, rendendo difficoltosa la realizzazione di bombardamenti di precisione. Di conseguenza, la distruzione di un obiettivo richiedeva spesso più missioni aeree.

Per facilitare l'individuazione dei bersagli, soprattutto durante le missioni notturne, venivano impiegati sistemi di segnalazione luminosi, noti come TI (*Target Indicators*), che prevedevano l'utilizzo di razzi o di altri dispositivi luminosi lanciati da aerei o da postazioni a terra. Oltre a indicare gli obiettivi primari, i TI erano utilizzati anche per individuare zone di interesse, per effettuare riprese fotografiche in condizioni di scarsa visibilità e per illuminare le zone di atterraggio³⁶.

Una delle tattiche più efficaci adottate dai bombardieri pesanti strategici dell'*United States Army Air Force* durante la Seconda Guerra Mondiale era la cosiddetta '*combact box*' o 'formazione a scacchiera', nota anche come '*staggered formation*', in italiano 'formazione sfalsata' (Fig. 11). Tale disposizione aerea, caratterizzata da una precisa configurazione degli aerei, offriva notevoli vantaggi sia in termini di difesa che di attacco. Da un lato, la concentrazione di mitragliatrici pesanti sui bombardieri costituiva una potente barriera difensiva contro le incursioni nemiche. Dall'altro, la formazione a scacchiera permetteva di rilasciare il carico bellico in modo rapido e concentrato sull'obiettivo, massimizzandone l'impatto distruttivo³⁷.

La Seconda Guerra Mondiale fu teatro di una serrata competizione tecnologica tra le maggiori potenze. Nel campo dei sistemi di puntamento, i bombardieri della *United States Army Air Forces* fecero ampio uso del Norden³⁸, un sofisticato computer elettro-meccanico stabilizzato giroscopicamente, progettato per determinare con precisione il punto di rilascio delle bombe. Tale dispositivo, mantenuto rigorosamente segreto, rappresentava un elemento di superiorità tecnologica per le forze aeree statunitensi. Tuttavia, l'industria tedesca, con il Lotfernrohr 7, sviluppò già nel 1942 un sistema analogo, dimostrando un notevole livello di innovazione tecnologica³⁹.

³⁶ Lafirenze 2015, p. 77

³⁷ Mantelli e Kittel 2017, p. 106

³⁸ Hill Air Force Base, World War II Norden Bombsight, <https://web.archive.org/web/20090502223120/http://www.hill.af.mil/library/factsheets/factsheet.asp?id=5664> (ultima consultazione 07/11/2024)

³⁹ *Ibidem*, p. 33

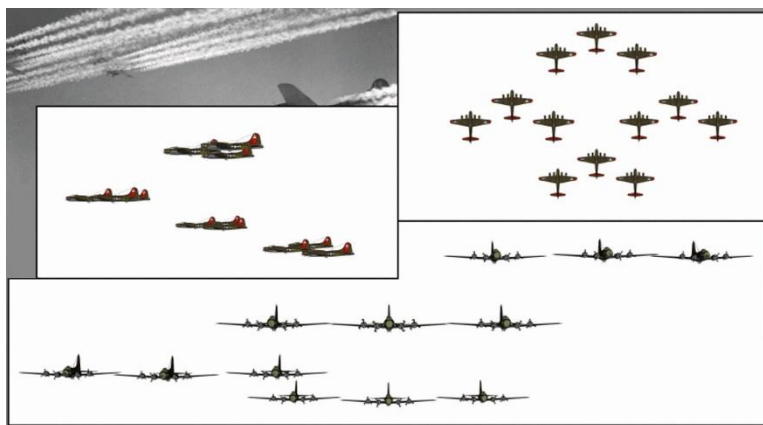


Figura 11 Formazione aerea detta "Combact Box".

Fonte: Combact Box, https://it.wikipedia.org/wiki/Combat_box#/media/File:Combatbox.gif (ultima consultazione 06/11/2024)

Il sistema di radionavigazione GEE⁴⁰ o AMES (*Air Ministry Experimental Station*) Type 7000, sviluppato da Robert Dippy al *Telecommunications Research Establishment* (TRE) di Swanage, nel Dorset, rappresentò un tentativo pionieristico di migliorare la precisione dei bombardieri del *Bomber Command*. Basato sulla triangolazione di segnali radio emessi da stazioni terrestri nel Regno Unito, distanti circa 160 km l'una dall'altra, il GEE consentiva ai bombardieri della *Royal Air Force* di determinare la propria posizione con una certa approssimazione. Le due stazioni secondarie, definite 'slave', trasmettevano impulsi alla stazione principale, detta 'master'. I segnali, a loro volta, venivano captati dagli aeromobili equipaggiati con appositi ricevitori e un tubo a raggi catodici. Il navigatore, sulla base dei dati così ottenuti, era in grado di calcolare le coordinate geografiche dell'aereo. Tuttavia, il sistema GEE non era esente da limitazioni. La precisione del sistema risultava infatti variabile, con un margine d'errore compreso tra gli 800 metri e gli 8 chilometri. Inoltre, la portata del sistema era influenzata da fattori quali l'altitudine di volo, le condizioni meteorologiche e le interferenze magnetiche, limitandosi ad un raggio di azione compreso tra i 480 e i 640 chilometri dalla stazione principale. Un ulteriore punto debole del sistema risiedeva nella sua vulnerabilità alle contromisure elettroniche nemiche, in grado di indurre gli aeromobili su rotte errate⁴¹.

L'Oboe, acronimo di *Observer Bombing Over Enemy* e noto anche come AMES Type 9000, era un altro sofisticato sistema di radionavigazione impiegato dalla *Royal Air Force* durante la Seconda Guerra Mondiale per condurre con maggiore precisione le missioni di bombardamento strategico sul territorio tedesco. Introdotto per la prima volta nel dicembre 1941, il sistema rappresentò un significativo avanzamento tecnologico nel campo della navigazione aerea. Il suo funzionamento si basava su due stazioni trasmettenti terrestri, dislocate in punti strategici del territorio

⁴⁰ GEE è un acronimo tecnico nell'ambito della radionavigazione che può essere sciolto in *Group Equipment Equipment*.

⁴¹ Mantelli e Kittel 2017, pp. 39-40; Carle 2012, A History of RAF SAXA VORD, <http://ahistoryofrafsaxavord.blogspot.com/search?q=GEE> (ultima consultazione 07/11/2024)

britannico. La prima stazione forniva indicazioni di rotta e correzioni di rotta in tempo reale, mentre la seconda segnalava il raggiungimento del punto esatto per il rilascio del carico bellico. Un velivolo De Havilland Mosquito, appositamente equipaggiato, fungeva da indicatore di posizione. Ricevuti i segnali dalle stazioni a terra, l'aeromobile determinava con precisione le coordinate del bersaglio e trasmetteva le informazioni ai bombardieri, garantendo così la massima accuratezza negli attacchi⁴².

Anche L'H2S era un sofisticato sistema di radionavigazione impiegato dalla *Royal Air Force* durante la Seconda Guerra Mondiale su territorio tedesco. Installato nella parte inferiore della fusoliera degli aerei, era in grado di rilevare le caratteristiche delle diversificate tipologie di terreno sottostante sfruttando le riflessioni radar. Il sistema H2S veniva installato a bordo dei bombardieri Avro Lancaster e Handley Page Halifax, i quali, insieme ai velivoli De Havilland Mosquito, costituivano la *Path Finder Force* (PFF). Si trattava di una unità d'élite incaricata di individuare con precisione gli obiettivi a terra durante le missioni di bombardamento strategico sulla Germania nazista, segnalandoli in seguito alle forze principali. Il sistema H2S, integrato con altri sistemi di navigazione, consentiva l'identificazione precisa degli obiettivi. Successivamente, mediante l'utilizzo di razzi illuminanti e del sistema Oboe, si procedeva alla marcatura del bersaglio per le fasi successive dell'attacco. L'H2S, in particolare, offriva il vantaggio di un'operatività autonoma, svincolata da limitazioni di portata, garantendo così una maggiore flessibilità nelle missioni⁴³.

Nonostante l'implementazione di sofisticati sistemi di puntamento e le continue innovazioni tecnologiche, i bombardamenti aerei durante la Seconda Guerra Mondiale presentavano un margine di errore considerevole. In aggiunta, numerosi fattori, tra cui il suddetto obbligo per i bombardieri di sganciare gli ordigni inesplosi in esubero prima dell'atterraggio, spesso in zone considerate sicure come campagne o specchi d'acqua, contribuivano a disperdere le bombe lontano dagli obiettivi prefissati. Tale prassi spiega la frequente scoperta di ordigni inesplosi in contesti inaspettati, come i

⁴² Mantelli e Kittel 2017, pp. 39-40; Brown 1999, p. 440; Mencarelli, *Armi avanzate della Seconda Guerra Mondiale/Appendice 4*, https://it.wikibooks.org/wiki/Armi_avanzate_della_Seconda_Guerra_Mondiale/Appendice_4 (ultima consultazione 07/11/2024)

⁴³ Lafirenze 2015, p.77; Brown 1999, p. 440; Mencarelli, *Armi avanzate della Seconda Guerra Mondiale/Appendice 4*, https://it.wikibooks.org/wiki/Armi_avanzate_della_Seconda_Guerra_Mondiale/Appendice_4 (ultima consultazione 07/11/2024), p. 4

laghi di Garda⁴⁴, Varna (Bolzano)⁴⁵, Bracciano (Roma)⁴⁶ o Bolsena⁴⁷ (Viterbo), solo per nominare alcuni recenti casi di cronaca di rinvenimento ordigni bellici inesplosi risalenti al Secondo conflitto mondiale.

Per avere un'idea sul pericolo "proveniente dal cielo" risulta utile un opuscolo realizzato e distribuito alle famiglie nel 1939 dal dopolavoro provinciale di Torino del Partito Nazionale Fascista, intitolato "L'offesa aerea e la protezione antiaerea". Si trattava di un vademecum sulle "cognizioni e le norme" in tema di protezione antiaerea⁴⁸.

Il primo capitolo dell'opuscolo riportava le tipologie di offese aero-chimiche, divise in quattro categorie (Fig. 12): bombe esplosive (offesa dirompente); bombe incendiarie (offesa incendiaria); bombe 'batteriche' (offesa batterica); bombe chimiche ed irrorazione chimica (offesa chimica). La prima tipologia, 'l'offesa dirompente', consisteva nel lancio di bombe ad alto contenuto esplosivo, sia di piccolo calibro (se di peso inferiore a 50 kg), sia di medio calibro (tra i 50 e i 300 kg), sia di grosso calibro (oltre i 300 kg)⁴⁹. Le bombe di piccolo calibro erano impiegate contro obiettivi come depositi di munizioni, aerei sul terreno, hangar, piccoli edifici, ferrovie e attrezzature ferroviarie, navi, sottomarini, cacciatorpediniere, trasporti, ecc. Le bombe di medio calibro erano progettate per colpire strutture in acciaio e ponti in cemento armato, campate, banchine, ferrovie e imbarcazioni. Gli ordigni più grandi, invece, erano destinati a distruggere infrastrutture massicce come i grandi ponti, le dighe e le navi da guerra⁵⁰. Tali bombe penetravano nel bersaglio provocando una potente azione distruttiva, caratterizzata da un violento spostamento d'aria, smottamenti del terreno e proiezione di schegge. Vi erano, poi, gli 'spezzoni incendiari', di circa 2 kg o poco più, derivanti dalla frantumazione dell'involucro della bomba in molti frammenti al momento dell'esplosione, ma tornavano utili a colpire obiettivi e bersagli mobili come le truppe in marcia e assembramenti di persone⁵¹.

⁴⁴ Peretti 2024, missili nel lago di Garda, *giornaledeltrentino.it*, <https://www.giornaledeltrentino.it/lago-di-garda/sei-missili-sganciati-nel-lago-di-garda-%C3%A8-accaduto-25-anni-fa-ma-restano-ancora-dimenticati-nel-fondale-1.3792744> (ultima consultazione 07/11/2024)

⁴⁵ Ansa.it, Continua bonifica lago Varna, rimosse 6000 bombe da fucile, https://www.ansa.it/trentino/notizie/2020/06/19/continua-bonifica-lago-varna-rimosse-6000-bombe-da-fucile_1bb19f79-57f8-4da9-bb13-bbeb80d45c1a.html (ultima consultazione 07/11/2024)

⁴⁶ Romatoday, Bracciano: residente trova ordigni bellici nel lago, artigiani sul posto, <https://www.romatoday.it/cronaca/lago-bracciano-bombe-seconda-guerra-mondiale.html> (ultima consultazione 07/11/2024)

⁴⁷ Ansa.it, Bolsena, bagnanti trovano nel lago bomba inesplosa del 1944, https://www.ansa.it/lazio/notizie/2024/06/20/bolsena-bagnanti-trovano-nel-lago-bomba-inesplosa-del-1944_b4abe9f4-f6f1-45fe-ab93-3f3a1664fcc3.html (ultima consultazione 06/11/2024)

⁴⁸ Museo Torino, L'offesa aerea. Tipologia di bombe, <http://www.museotorino.it/view/s/857d5c3be36347efb14941d40fcfc3f1> (ultima consultazione 26 agosto 2024)

⁴⁹ *Ibidem*

⁵⁰ Stribling 1943, p. 112

⁵¹ Museo Torino, L'offesa aerea. Tipologia di bombe, <http://www.museotorino.it/view/s/857d5c3be36347efb14941d40fcfc3f1> (ultima consultazione 26 agosto 2024)

Gli ordigni esplosivi ad alto potenziale possono essere categorizzati in due principali tipologie: demolizione (o scopo generale) e frammentazione (Fig. 13). Entrambe le categorie presentano un'elevata carica esplosiva, costituita tipicamente da trinitrotoluene (TNT) o Amatol⁵².

Le bombe a frammentazione, generalmente di dimensioni contenute, presentavano un involucro appositamente studiato per frammentarsi in modo efficiente all'esplosione. La stabilizzazione in volo era garantita da 'pinne' e, in alcuni casi, da paracadute che ne ritardavano la caduta. Tale espediente era utile agli aeromobili per allontanarsi dalla zona d'impatto dell'ordigno e per disperdere uniformemente le bombe sganciate. Le dimensioni ridotte di queste bombe consentivano il trasporto di un elevato numero di unità per ogni missione aerea⁵³.

LIBBRE	kg	TIPO
4	1,8	spezzone incendiario
20	9,1	esplosiva GP, incendiaria
25	11,3	incendiaria
30	13,6	incendiaria
40	18,1	esplosiva GP, incendiaria
250	113	esplosiva GP, TI
500	227	esplosive GP, MC, AP e SAP
1.000	454	esplosive GP, MC, AP e SAP, TI
1.900	862	esplosiva GP
2.000	907	esplosive HC, AP e SAP
2.800	1.270	incendiaria TI
4.000	1.814	esplosive GP, MC e HC
8.000	3.629	esplosiva HC
9.250	4.196	rotante speciale HC
12.000	5.443	esplosiva HC
12.030	5.457	esplosiva MC
22.000	9.979	esplosiva MC

Figura 12 Peso e tipologia delle bombe d'areo inglesi. Fonte: *Biografia di una bomba, Residui bellici*, <http://biografiadiunabomba.blogspot.it/p/residui-bellici.html> (ultima consultazione 2/04/25)

Le bombe da demolizione presentavano un peso variabile tra le 100 e le 4.000 libbre (tra poco più di 45 e 1814 kg)⁵⁴, con alcuni casi eccezionali, come le bombe da 8.000 libbre (3628 kg ca.) utilizzate dalla *Royal Air Force* (RAF⁵⁵). La morfologia degli ordigni poteva essere di due tipi: 'snelle' o cilindriche (più moderne)⁵⁶.

All'inizio del conflitto, le bombe inglesi 'Prestazioni Generali' (G.P.) o ad impiego generico oscillavano tra un peso da 250 libbre (113 Kg ca.) a un peso di 2000 libbre (907 Kg ca.). Gli ordigni in questione presentavano un contenuto esplosivo compreso tra il 27% e il 33% della massa totale, erano verniciati di giallo e caratterizzati da una forma affusolata e da un'eccellente aerodinamicità,

⁵² Di solito la carica esplosiva è circa la metà del peso totale della bomba. Da Stribling 1943, pp. 38-40

⁵³ Stribling 1943, pp. 38 e 40

⁵⁴ I recenti rinvenimenti di inesplosi nella città di Viterbo, di cui si parla più approfonditamente nel capitolo 4, si possono ricondurre a queste tipologie di ordigni definiti bombe da demolizione o *High capacity*.

⁵⁵ Royal Air Force, <https://www.raf.mod.uk/equipment/generalpurposebombs.cfm> (ultima consultazione 26 agosto 2024)

⁵⁶ Stribling 1943, pp. 40 e 112

qualità che ne esaltavano la capacità penetrativa. Tuttavia, queste munizioni si rivelarono inferiori, in termini di potenza distruttiva, rispetto ai corrispettivi ordigni di fabbricazione tedesca. Per ovviare alla problematica, gli ingegneri britannici svilupparono, a partire dal 1941, le bombe ‘*Medium Capacity*’ (MC), caratterizzate da un contenuto esplosivo più elevato, pari al 40% del peso totale, ottenuto mediante l'impiego di una miscela di tritolo e alluminio. Le nuove bombe, pur mantenendo un'efficacia penetrativa inferiore rispetto alle precedenti, erano in grado di infliggere danni più estesi grazie alla maggiore potenza esplosiva. Le versioni iniziali delle MC avevano un peso di 500 e 1.000 libbre (226 e 453 Kg ca.) e, sebbene presentassero un'efficacia notevole, soffrivano di un problema cronico legato all'affidabilità delle spolette, che risultavano difettose in circa un terzo dei casi⁵⁷.

Successivamente, furono sviluppate le bombe ‘*High Capacity*’ (HC), disponibili in versioni da 2000 e 4000 libbre⁵⁸ (907 – 1814 Kg ca.), comunemente denominate ‘*blockbuster*’ (spiana isolati), a causa della loro straordinaria potenza distruttiva, in grado di radere al suolo interi isolati urbani. Queste munizioni presentavano un contenuto esplosivo estremamente elevato, compreso tra il 70% e l'85% della massa totale. Caratterizzati da una forma cilindrica, erano privi di impennaggi per limitare la capacità di penetrazione e rendere più distruttiva la loro azione al suolo. In particolare, la versione da 4000 libbre, lunga 279 cm e con un diametro di 76 cm, soprannominata *Cookie* (biscottino), divenne l'ordigno più utilizzato dal *Bomber Command* e il suo peso totale di 1814 kg conteneva 1525 kg di Ciclotrimetilentrinitroammina (RDX). Successivamente, furono sviluppate versioni di maggior calibro, come la bomba da 8.000 libbre (3628 Kg ca.), introdotta nel 1942, e la bomba da 12.000 libbre (5443 Kg ca.), soprannominata ‘*Factory-Buster*’ (distruggi fabbriche), introdotta nel 1943⁵⁹.

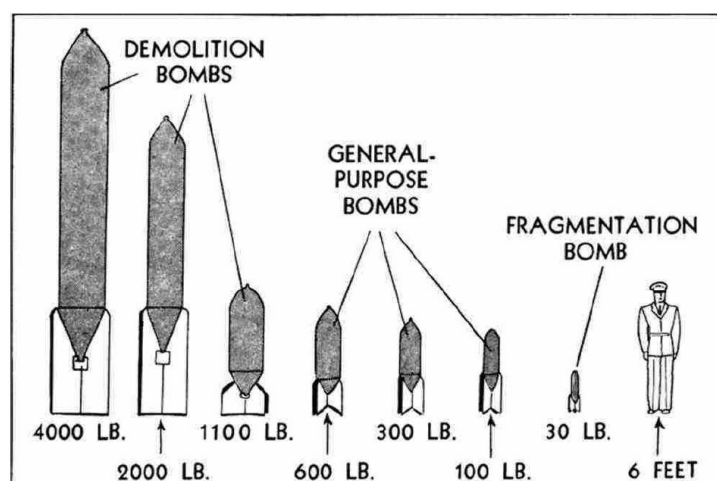


Figura 13 Dimensioni comparative delle bombe aeree. Fonte: *Legends in their own time*, http://legendsintheirowntime.com/LiTOT/Content/1943/Fl_4301_bombs_sizes_p039_W.png (ultima consultazione 26 agosto 2024)

⁵⁷ Lafirenze 2015, p. 83

⁵⁸ *Ibidem*, p. 83

⁵⁹ *Ibidem*, p. 84

Le cosiddette ‘bombe di demolizione’ erano progettate per detonare al momento dell'impatto con il bersaglio. Tuttavia, grazie a specifici meccanismi di innesco, era possibile ritardare l'esplosione in modo da consentire all'ordigno di penetrare più profondamente all'interno della struttura prima di esplodere, amplificandone così l'effetto distruttivo⁶⁰. Però, affinché un ordigno esplosivo potesse penetrare efficacemente strutture in cemento armato, ponti di navi da guerra, o terreno, era necessario incrementare lo spessore delle sue pareti. Per questo, una tipica bomba da demolizione del peso di circa 2.000 libbre, lunga sei piedi e riempita di TNT detonava a una velocità di circa 18.000 piedi al secondo, trasformando istantaneamente l'esplosivo in un gas ad altissima pressione, superiore a un milione di libbre per pollice quadrato (453.592,37 Kg). Tale gas era in grado di disperdersi in tutte le direzioni a una velocità compresa tra 10.000 e 15.000 piedi al secondo nei primi metri dal punto di esplosione. È importante sottolineare che, sebbene la pressione iniziale fosse estremamente elevata, era la velocità di espansione del gas a determinare la potenza distruttiva dell'esplosione⁶¹. In termini più specifici, la detonazione di tali ordigni generava un'onda d'urto paragonabile a un vento che si propaga a una velocità di circa 7.000 miglia orarie. Nel caso di penetrazione all'interno di una struttura, l'esplosione induceva una duplice azione distruttiva: la fase iniziale, caratterizzata da un'elevata pressione, provocava lo sfondamento delle pareti e del tetto; successivamente, si verificava una fase di depressione, durante la quale l'aria veniva risucchiata all'interno della struttura, trascinando con sé detriti e polveri⁶².

In aggiunta, le bombe da demolizione, al momento della detonazione, si frammentavano in un numero considerevole di schegge, stimato tra 1.400 e 6.000 unità. Proiettate a velocità elevatissime, comprese tra 4.000 e 7.000 piedi al secondo, le schegge potevano disperdersi su un'area estremamente vasta, raggiungendo distanze che variavano da 100 iarde (0,09144 Km) a quasi un miglio (1,60934 Km)⁶³.

‘L'offesa incendiaria’, invece, prevedeva l'impiego di bombe contenenti sostanze altamente infiammabili, quali fosforo e termite. Esse erano costituite da un involucro di electron, una lega di magnesio e alluminio, al cui interno era compressa una miscela di alluminio, limatura di acciaio e sesquiossido di ferro. Le bombe al fosforo, invece, erano riempite di fosforo bianco o giallo, un elemento chimico estremamente reattivo che si incendia spontaneamente a contatto con l'aria, provocando gravi ustioni e danni all'apparato respiratorio. Il peso degli ordigni variava considerevolmente, da 1-2 kg fino a 50 kg di media⁶⁴, ma ne esistevano di molto più grandi.

⁶⁰ Stribling 1943, p. 40

⁶¹ *Ibidem*, pp. 40 e 112

⁶² *Ibidem*

⁶³ Stribling 1943, pp. 40 e 112

⁶⁴ Museo Torino, L'offesa aerea. Tipologia di bombe, <http://www.museotorino.it/view/s/857d5c3be36347efb14941d40fcfc3f1> (ultima consultazione 26 agosto 2024)

Il principale ordigno incendiario impiegato della *Royal Air Force* (RAF) era il cluster M9, di fabbricazione statunitense, dal peso complessivo di 230 kg. Tale ordigno era composto di 128 submunizioni, dette 'spezzoni', dalla peculiare forma esagonale, lunghe 54 cm e dal peso di 18 kg ciascuna. Dotato di una base in ferro, progettata per perforare tetti e coperture, l'M9 conteneva una miscela a base di termite e magnesio, in grado di generare una fiamma intensa, con temperature stimate tra i 2000 e i 2500 gradi, della durata di circa 40 secondi⁶⁵. Oltre agli ordigni cluster M9, erano impiegati anche bombe incendiarie di minor calibro, del peso di circa 30 libbre (13 kg), contenenti un combustibile liquido. Sebbene fossero esplosivi più leggeri e maneggevoli, la loro efficacia distruttiva risultava inferiore rispetto a quella delle M9.

In aggiunta, veniva impiegata la bomba incendiaria denominata '*Pink Pansy*', un ordigno da 2800 libbre (1270 kg ca.). Sebbene scarsamente usata in Italia, se non come segnalatore per obiettivi, l'ordigno era caratterizzato da un involucro derivato da una bomba di tipo *Cookie* e da un contenuto altamente infiammabile, costituito da una miscela di termite, alluminio o fosforo⁶⁶.

Inoltre, a partire dal 1943, il *Bomber Command* della *Royal Air Force* (RAF) vide un significativo incremento delle sue capacità operative, grazie all'introduzione di un nuovo tipo di munizionamento: le bombe speciali *Target Indicators* (TI). Queste bombe, del peso di circa 250 libbre (113 Kg ca.), presentavano eccellenti caratteristiche balistiche ed erano progettate per esplodere a un'altitudine predeterminata, rilasciando una cascata di 60 candelotti pirotecnici di vario colore (giallo, rosso e verde). I candelotti potevano essere configurati per accendersi immediatamente durante la caduta, creando un effetto visivo simile a un'esplosione di fuochi d'artificio, oppure per attivarsi al momento dell'impatto con il suolo, generando un ampio cerchio di sfere luminose. Erano inoltre disponibili bombe TI equipaggiate con candelotti a caduta rallentata, mediante l'utilizzo di paracaduti, che permettevano di illuminare gli obiettivi a giorno su vaste aree. Lo scopo primario delle bombe TI era quello di indicare con precisione gli obiettivi strategici, facilitandone il bombardamento da parte degli aerei da combattimento⁶⁷.

Un'ulteriore categoria di munizionamento impiegata in quel periodo era costituita dalle bombe AP (*Armour-Piercing*) e SAP (*Semi-Armour-Piercing*). Tali bombe, caratterizzate da una ridotta percentuale di esplosivo (inferiore al 10% del peso totale), erano dotate di un robusto involucro in acciaio e di un sistema di stabilizzazione aerodinamica (impennaggio). La loro produzione riguardava principalmente calibri da 500, 1000 e 2000 libbre, corrispondenti rispettivamente a circa 226, 453 e 907 kg⁶⁸.

⁶⁵ Lafirenze 2015, p. 84

⁶⁶ *Ibidem*, p. 84

⁶⁷ *Ibidem*, p. 77

⁶⁸ *Ibidem*, p. 84

Sebbene mai impiegata in teatri operativi italiani, è opportuno menzionare anche la bomba rotante, il più celebre tra gli ordigni impiegati durante la Seconda guerra mondiale, ideata specificatamente su richiesta dell'Alto Comando britannico per colpire le dighe della Ruhr in Germania. Si trattava di un potente cilindro di 1,52 metri di lunghezza e 1,27 metri di diametro, dal peso complessivo di 4196 kg, di cui 2994 kg costituiti dalla carica esplosiva di RDX. Sospesa alla parte inferiore di un bombardiere Lancaster, la bomba veniva sganciata a bassa quota sull'acqua (Fig. 14). Un sofisticato meccanismo idraulico le conferiva una rapida rotazione attorno al proprio asse, nella direzione del lancio, consentendole così di rimbalzare sulla superficie d'acqua anziché affondare e di raggiungere con precisione l'obiettivo designato (Fig. 15). Un accurato sistema meccanico-chimico ritardava l'esplosione di alcuni secondi, garantendo una penetrazione ottimale nel bersaglio. Inoltre, a scopo di sicurezza, un meccanismo di autodistruzione era predisposto per attivarsi dopo 90 secondi dall'impatto, nel caso in cui le spolette principali non fossero entrate in funzione⁶⁹.



Figura 14 La bomba rotante veniva agganciata sotto la pancia del Lancaster. Fonte: La battaglia della Ruhr si accende, <http://ww2today.com/4th-may-1943-the-battle-of-the-ruhr-hots-up> (ultima consultazione 25 agosto 2024)

⁶⁹ Lafirenze 2015, p. 85



Figura 15 Avro Lancaster in fase di sgancio su una superficie d'acqua. Fonte: Attacco alle dighe della Ruhr per gli aerei del 617 Squadrone nella notte tra il 16 e il 17 maggio 1943, <https://www.raf.mod.uk/history/bombercommanddambusters21march1943.cfm> (ultima consultazione 25 agosto 2024)

Prima del 1939, l'aviazione dell'esercito statunitense adoperava bombe d'aereo della serie *Mark*. Tuttavia, le prestazioni di tali ordigni si rivelarono ben presto inadeguate, conducendo all'interruzione della loro produzione e al loro successivo abbandono. L'impiego di tali bombe era limitato ad esercitazioni e operazioni di bonifica; pertanto, il ritrovamento di esemplari inesplosi è un evento estremamente raro. La serie M, introdotta in seguito, costituì una significativa evoluzione rispetto alla precedente. Derivata dal modello *Mark I* da 2000 libbre (907 Kg ca.), realizzato in un unico tubo d'acciaio trafilato, la serie M si caratterizzava per un innesco a base di Tetryl posizionato nella coda. Ad eccezione della bomba da 100 libbre (M30), tutte le altre munizioni della serie erano dotate di un innesco ausiliario M104 alloggiato nella cavità anteriore. Inizialmente, tutte le bombe della serie M erano riempite integralmente di tritolo. Tuttavia, a seguito delle carenze di tale esplosivo verificatesi durante il conflitto mondiale, si rese necessario ricorrere a una miscela composta per il 50% da amatolo. Al fine di prevenire i danni causati dal trasudamento dell'amatolo, la zona circostante le spolette continuò a essere riempita esclusivamente con tritolo puro. La serie M comprendeva una vasta gamma di calibri, tra cui le bombe da 100 libbre (M30), 300 libbre (M3), 600 libbre (M32), 1100 libbre (M33) e 2000 libbre (M34)⁷⁰.

Nel tempo, per migliorare l'efficienza operativa e standardizzare le caratteristiche tecniche, le bombe della serie M furono sottoposte a modifiche significative. In particolare, i calibri più grandi furono ridotti per meglio adattarsi alle esigenze specifiche delle missioni aeree⁷¹. Inoltre, venne rivisitato il sistema di aggancio: i due ganci di sospensione originariamente posti su lati diametralmente opposti furono sostituiti da un unico gancio centrale, posizionato in corrispondenza del baricentro dell'ordigno. Anche il tappo di riempimento della base subì delle modifiche.

⁷⁰ Lafirenze 2015, pp. 139-140

⁷¹ Nello specifico si passò da bombe dal peso di 300, 600, 1100 libbre a bombe dal peso di 250, 500, 1000 libbre

Per tutti gli altri aspetti, le bombe della nuova serie conservarono le caratteristiche tecniche della precedente serie M (Fig. 16)⁷².



Figura 16 Bombe d'aereo inglesi. Fonte: Biografia di una bomba, <http://biografiadiunabomba.blogspot.it/p/residuati-bellici.html> (ultima consultazione 25 agosto 2024)

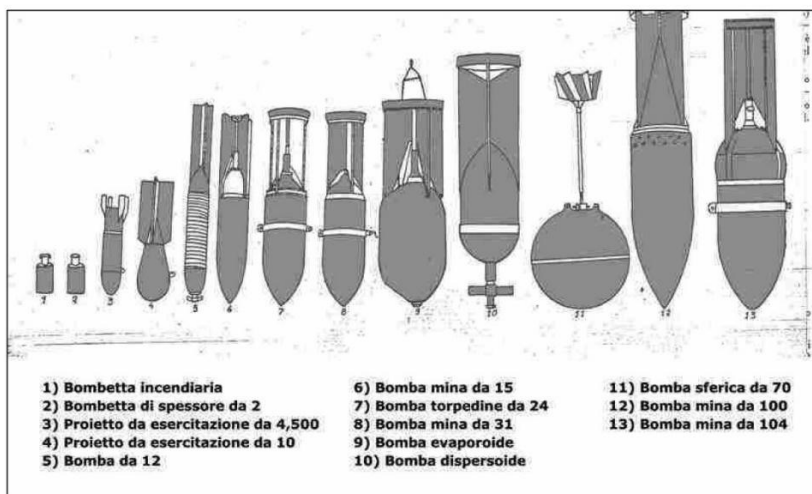


Figura 17 Bombe d'aereo italiane. Fonte: Biografia di una bomba, <http://biografiadiunabomba.blogspot.it/p/residuati-bellici.html> (ultima consultazione 26 agosto 2024)

La precisione in termini di puntamento e direzionamento di caduta degli ordigni era limitata, ma la loro forza distruttrice era considerevole. Come anticipato, si trattava di bombe dell'ordine di peso di 2.000, 4.000, 8.000 e 12.000 libbre. Quest'ultima tipologia, dotata di pinne direzionali, non

⁷² Questa nuova generazione di ordigni fu denominata serie AN-M e comprendeva i seguenti calibri: AN-M30 da 100 libbre, AN-M57 da 250 libbre, AN-M43 da 500 libbre, AN-M44 da 1000 libbre e AN-M34 da 2000 libbre. La variante AN-M-GP, sostanzialmente identica alla serie base, si differenziava per l'adozione di una spoletta di coda di tipo diverso. In particolare, il porta innesco M102 fu sostituito dal modello M115, caratterizzato da un diametro maggiore che consentiva l'alloggiamento della spoletta idrostatica AN-MK 230, rendendo così l'ordigno idoneo all'impiego in missioni costiere. La serie AN-M-GP comprendeva una gamma di bombe di diverso calibro: AN-M-GP64 da 500 libbre, AN-M-GP65 da 1000 libbre e AN-M-GP66 da 2000 libbre. Lafirenze 2015, pp. 140-141.

fu impiegata in operazioni belliche in Italia. Bombe da 8.000 libbre furono invece testate sperimentalmente a Torino dalle forze aeree britanniche (Fig. 17)⁷³.

In definitiva, La diversificazione degli armamenti aerei, frutto di un complesso processo di progettazione e produzione, testimoniava la capacità delle industrie belliche di adattarsi rapidamente alle mutevoli esigenze del conflitto (Tabella 1).

Indipendentemente dalla tipologia, calibro e provenienza, a bordo degli aeromobili, gli ordigni bellici erano alloggiati in appositi supporti, detti *rack*, solidamente ancorati alla struttura del velivolo (Fig. 18). Tali supporti, progettati specificamente per il trasporto di munizioni aeree, consentivano il rilascio immediato delle bombe mediante un semplice comando. Mentre le bombe di grande calibro erano generalmente sospese orizzontalmente, quelle di dimensioni minori potevano essere trasportate sia in configurazione orizzontale che verticale. In generale, per ragioni di sicurezza, i fusibili venivano tipicamente trasportati separatamente dagli ordigni e venivano installati immediatamente prima dell'impiego⁷⁴.



Figura 18 carico di 14 bombe ad alta esplosività MC da 1.000 libbre in un Avro Lancaster del 9 ° squadrone RAF a Bardney, nel Lincolnshire, prima di un'incursione notturna a Stettino, in Germania. Fonte: 4 Motore Lancaster del comando bombardieri Royal Air Force, <http://charlesmccain.com/category/royal-air-force/bomber-command/page/2/> (ultima consultazione 25 agosto 2024)

⁷³ Museo Torino, L'offesa aerea. Tipologia di bombe, <http://www.museotorino.it/view/s/857d5c3be36347efb14941d40fcfc3f1> (ultima consultazione 25 agosto 2024)

⁷⁴ Stribling 1943, p. 40

1.3. Quadro normativo italiano

L'allontanamento nel tempo degli eventi bellici ha generato una diffusa percezione di sicurezza, minimizzando la pericolosità degli ordigni inesplosi risalenti alla Seconda Guerra mondiale. Tuttavia, è fondamentale sottolineare che gli esplosivi conservano la loro potenzialità distruttiva per periodi estremamente lunghi, anche di centinaia di anni. Anzi, il deterioramento delle componenti meccaniche può paradossalmente aumentare la sensibilità degli ordigni, rendendoli ancora più pericolosi. La consapevolezza di tale rischio ha portato alla promulgazione di normative nazionali che impongono la preventiva verifica della presenza di inesplosi prima di avviare qualsiasi attività di scavo o movimentazione di terre⁷⁵.

La rilevanza del rischio connesso alla presenza di residui bellici sul territorio nazionale è ampiamente documentata dalle “Linee guida per la valutazione del rischio da ordigni bellici inesplosi”, approvate dal Consiglio Nazionale degli Ingegneri (CNI) con circolare n. 69 del 26 maggio 2017. Scopo primario del documento è fornire indicazioni operative al Coordinatore della Sicurezza in fase di progettazione (CSP), il quale, a partire dal 26 giugno 2016⁷⁶, è tenuto per legge a valutare preventivamente il rischio di rinvenimento di ordigni bellici inesplosi. Le linee guida in oggetto recepiscono le disposizioni del Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro (D.Lgs. 81/2008⁷⁷), con particolare riferimento alle modifiche introdotte dalla Legge 177/2012, (G.U. n. 244 del 18 ottobre 2012), specificatamente dedicate alla regolamentazione delle attività di bonifica da ordigni bellici. La Legge 177/2012, infatti, già attribuiva al Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione (CSP), figura professionale, tra cui figurano architetti, ingegneri, geologi, geometri e periti industriali, l'obbligo di eseguire una preliminare valutazione del rischio connesso alla presenza di residui bellici, al fine di determinare l'eventuale necessità di interventi di bonifica e di quantificarne i costi.

Le modifiche apportate al Decreto Legislativo 81/2008, in particolare agli articoli 28 comma 1, articolo 91, articolo 100 comma 1 e articolo 104, nonché agli allegati XI e XV punto 2.2.3, hanno introdotto significative novità, tra cui l'obbligo per il CSP di valutare il rischio di rinvenimento ed esplosione di ordigni bellici inesplosi rinvenibili durante attività di scavo, la definizione di direttive tecniche per la bonifica da parte del Ministero della Difesa e l'istituzione di un nuovo sistema di

⁷⁵ Shepherd 2015, p. 115

⁷⁶ Fede *et al.* 2017

⁷⁷ A partire dal 26 giugno 2016, il Decreto Legislativo 81/2008, specificatamente agli articoli 28 comma 1, 91, 100 comma 1 e 104, nonché agli allegati XI e XV punto 2.2.3, costituisce il riferimento normativo fondamentale per la valutazione e la gestione del rischio connesso al rinvenimento di ordigni bellici inesplosi nei cantieri temporanei o mobili.

qualificazione per le imprese specializzate nel settore (in sostituzione dell'ex Albo A. F. A)⁷⁸. L'Allegato XI è stato modificato nello specifico per includere esplicitamente nell'elenco dei lavori comportanti rischi particolari per i lavoratori, il rischio di esplosione di ordigni bellici inesplosi durante le attività di scavo.

La valutazione del rischio connesso alla presenza di ordigni bellici inesplosi è da intendersi obbligatoria per tutte le attività di scavo, indipendentemente dalla loro profondità o tipologia, e deve essere condotta dal Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione (CSP), ai sensi del comma 2 bis dell'art. 91, sulla base di un'accurata analisi preliminare. Tale valutazione può avvalersi di diverse fonti informative, tra cui studi storici, documentazione d'archivio (gli Archivi di Stato, fonti del Ministero della Difesa, Stazioni dei Carabinieri e le ricche collezioni fotografiche dell'Aerofototeca Nazionale di Roma⁷⁹), informazioni provenienti da enti pubblici e analisi strumentali, al fine di identificare le aree potenzialmente interessate da residui bellici come ex infrastrutture strategiche durante la guerra (ferrovie, porti, ponti) o aree precedentemente bonificate.

L'attività di bonifica degli ordigni inesplosi è regolamentata dal Decreto Legislativo 82 del 2015, il quale prevede un rigoroso iter procedurale. Preliminarmente, è richiesta un'autorizzazione da parte dell'autorità militare, basata su una valutazione accurata del contesto territoriale e delle informazioni storiche disponibili. In seguito, qualora il CSP ritenga necessario procedere alla bonifica preventiva, il committente è tenuto ad affidare l'incarico ad una impresa specializzata in Bonifica Campi Minati per l'esecuzione delle indagini preliminari. Se rinvenuti, la neutralizzazione di ordigni bellici inesplosi, sia attraverso lo sminamento in loco che mediante la rimozione e il successivo brillamento, è un'attività riservata esclusivamente agli artificieri del Genio, specificatamente addetti alle operazioni di *Explosive Ordnance Disposal* (EOD). I costi connessi a tali interventi di bonifica sono interamente a carico dell'amministrazione statale⁸⁰.

Nonostante l'esistenza del Sistema Informativo Bonifica Ordigni Esplosivi (SIBOE⁸¹), un database del Ministero della Difesa che raccoglie informazioni geo-referenziate su ordigni rinvenuti

⁷⁸ A completamento del quadro normativo, si segnalano il disciplinare tecnico per l'esecuzione del servizio di Bonifica Bellica Sistemica Terrestre (agg. 2015) e la direttiva n. 001/B.TER./2015 della Direzione dei Lavori e del Demanio. Questi documenti definiscono nel dettaglio le procedure tecnico-amministrative relative al rilascio del parere vincolante, alla sorveglianza e alla verifica di conformità per le attività di bonifica bellica, come previsto dall'art. 22 del D.Lgs. 15 marzo 2010 n. 66 e successive modifiche. Per quanto concerne l'identificazione e la qualificazione delle imprese specializzate, si fa riferimento al D.M. 11 maggio 2015, n. 82, che stabilisce i criteri per l'iscrizione all'albo delle imprese abilitate ad operare nel settore. Infine, l'interpello n. 14 del MLPS del 29 dicembre 2015 fornisce chiarimenti specifici in merito alla bonifica preventiva degli ordigni bellici. Fede *et al.* 2017.

⁷⁹ AFN ha un patrimonio di oltre due milioni di immagini, suddivise in collezioni che vanno dall'Ottocento fino agli anni '90 del Novecento. Tra le collezioni di maggior attinenza alla Seconda guerra mondiale vi sono le foto planimetriche e stereoscopiche del 1943-1945, scattate dai ricognitori della *Royal Air Force* britannica (RAF), della *United States Army Air Force* (USAAF) e della *Luftwaffe* tedesca.

⁸⁰ Shepherd 2015, pp. 115-116

⁸¹ Il sistema informativo S.I.B.O.E. è un portale web dove confluiscono, con l'utilizzo delle mappe di OpenStreetMap (OSM), diverse informazioni geo-referenziate utili alla valutazione del rischio legato alla presenza di ordigni esplosivi.

e basato sulla piattaforma OpenStreetMap, ad oggi non è disponibile una mappatura esaustiva a livello nazionale che indichi la presenza potenziale di ordigni bellici inesplosi. Le ricerche condotte dal Comitato Interprofessionale Sicurezza Cantieri (CISC) della provincia di Udine confermano l'assenza di una documentazione ufficiale completa sui bombardamenti e sulle azioni militari, fondamentale per una valutazione accurata del rischio⁸².

Le regioni italiane che hanno subito intensi scontri durante la Seconda Guerra Mondiale, in particolare quelle interessate dalla Linea Gotica⁸³ e dai bombardamenti anglo-americani, presentano un elevato rischio di presenza di ordigni bellici inesplosi. Le aree maggiormente a rischio includono le grandi vie di comunicazione, le infrastrutture strategiche e i terreni adiacenti. Gli ordigni rinvenuti sono prevalentemente bombe d'aereo, spesso difettose o sganciate erroneamente o conservate in depositi di fortuna, e sono spesso riportati in superficie da attività antropiche come lavori agricoli, edili o di scavo.

Il Ministero della Difesa, in conformità alle disposizioni di cui all'articolo 22 del Decreto Legislativo n. 66 del 2010, è preposto alla vigilanza e al controllo delle attività di bonifica da ordigni esplosivi residuati bellici⁸⁴.

In relazione alla presenza di ordigni inesplosi in aree di rilevante interesse archeologico, il “Disciplinare tecnico per l'esecuzione del servizio di Bonifica Bellica Sistemica Terrestre” introduce specifiche disposizioni volte a conciliare le esigenze di sicurezza con la tutela del patrimonio culturale. In particolare, il Capo J del Disciplinare, “Modalità archeologica concordata con le soprintendenze ai beni architettonici e paesaggistici”, detta precise modalità operative per gli interventi di bonifica in terreni soggetti a vincolo archeologico, prevedendo che le indagini archeologiche preventive siano condotte secondo procedure rigorose e sotto la supervisione diretta della Soprintendenza competente. Tali procedure, che si avvalgono di tecniche di scavo stratificato e di un attento vaglio dei materiali estratti, assicurano la salvaguardia di eventuali reperti archeologici, strutture o manufatti, esclusivamente a seguito della sospensione delle attività di bonifica in corso di esecuzione. A seguito del completamento delle operazioni di bonifica, l'impresa esecutrice rilascia un “Attestato di Bonifica Bellica” con il quale si assume la responsabilità civile per eventuali danni a persone o cose che dovessero verificarsi entro un anno dalla data di emissione del certificato⁸⁵.

A conferma dell'importanza della collaborazione interistituzionale nella gestione di tali attività, conformemente all'articolo 4, comma 2, del Decreto Ministeriale del 28 febbraio 2017, il

⁸² Shepherd 2015, p. 118

⁸³ linea di difesa estesa dalle attuali Massa e Carrara fino alla costa adriatica di Pesaro

⁸⁴ Disciplinare tecnico per l'esecuzione del servizio di Bonifica Bellica Sistemica Terrestre (agg. 2015). Direzione dei lavori e del demanio. Fede *et al.*, 2017, p. 4.

⁸⁵ *Ibidem*

Ministero della Difesa ha emanato la Direttiva tecnica GEN BST 001 (edizione 2020) relativa alle attività di bonifica bellica sistematica terrestre. Tale direttiva, aggiornata al 6 ottobre 2017, definisce le procedure operative da seguire per la ricerca e il rinvenimento di ordigni esplosivi residuati bellici. In particolare, al punto 2.3.6, "Standard di sicurezza", n. 3, la Direttiva specifica che, ai fini del rilascio del parere vincolante, è prevista la presenza in campo, oltre al personale tecnico specializzato, anche di figure non specializzate quali i rappresentanti delle Soprintendenze archeologiche.

Ulteriori modifiche hanno interessato l'Allegato IV della Direttiva, in particolare il punto 12 che definisce le procedure operative da adottare in presenza di scavi archeologici. In particolare, si prevede che le attività di bonifica bellica sistematica (BST) inizino con una fase di bonifica superficiale, fino a una profondità di un metro⁸⁶. Successivamente, le operazioni saranno interrotte per consentire all'azienda archeologica di proseguire gli scavi a mano fino a un ulteriore metro di profondità. Seguirà la ripresa delle attività da parte della ditta specializzata nella BST per effettuare ulteriori controlli e bonifiche.

Nonostante quanto asserito, il quadro normativo italiano in materia di tutela dei beni culturali, sebbene ampio e articolato, presenta una lacuna significativa nella tutela del patrimonio bellico (trincee, bunker, fabbriche di armi, rifugi antiaerei). Mentre il patrimonio archeologico gode di una tutela specifica e circostanziata, come previsto dall'articolo 2.2 del Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, il "Codice dei Beni Culturali e del paesaggio", le strutture legate ai conflitti bellici, pur potendo rientrare nella più ampia categoria dei beni culturali definita dallo stesso decreto, non sono sempre riconosciute e tutelate in modo adeguato. Tale disparità è dovuta alla prevalente associazione della nozione di 'bene culturale' con il patrimonio archeologico, a discapito di altre tipologie di beni, quali quelli di interesse storico-militare, sebbene elencati tra gli altri negli articoli 10 e 11 della legge n. 137 del 6 luglio 2002⁸⁷, secondo cui «sono beni culturali le cose immobili e mobili che (...) presentano interesse artistico, storico, archeologico, etnoantropologico, archivistico e bibliografico e le altre cose individuate dalla legge o in base alla legge quali testimonianze aventi valore di civiltà» e «Sono altresì beni culturali (...) le cose immobili e mobili, a chiunque appartenenti, che

⁸⁶ Le attività di bonifica bellica sistematica possono essere classificate in due tipologie principali: superficiale e profonda. La bonifica superficiale, generalmente estesa a tutte le aree interessate da interventi edilizi, consiste nella rimozione di ordigni esplosivi fino a una profondità di un metro dal piano di calpestio originario. Tale operazione viene condotta mediante l'utilizzo di metal detector su strisce di terreno delimitate. La bonifica profonda, invece, si rende necessaria in caso di interventi su terreni sottoposti a significativi movimenti o per la realizzazione di opere permanenti. In questo caso, la profondità di indagine può variare tra i due e gli otto metri e le tecniche utilizzate includono perforazioni, penetrometria magnetometrica e scavi a sezione aperta o obbligatoria. Disciplinare tecnico per l'esecuzione del servizio di Bonifica Bellica Sistematica Terrestre (agg. 2015). Direzione dei lavori e del demanio. Fede et al., 2017, p. 15.

⁸⁷ Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 45 2004, *Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137 (GU Serie Generale n.45 del 24-02-2004 - Suppl. Ordinario n. 28)*, https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2004-02-24&atto.codiceRedazionale=004G0066 (ultima consultazione 26/05/2024)

rivestono un interesse particolarmente importante a causa del loro riferimento con la storia politica, militare (...)).

Capitolo 2 Metodi e strumenti per la rilevazione del rischio: storia degli studi, esempi applicativi

2.1. Procedure metodologiche e tecnologie per la mappatura del rischio UXO

Le indagini finalizzate alla mappatura di ordigni bellici inesplosi, residuati della Seconda Guerra Mondiale, si sono estese a molteplici contesti territoriali. Tali ricerche si basano su un'attenta analisi di dati storici e di immagini aeree raccolte durante le missioni di ricognizione condotte su aree intensamente bombardate. Al fine di illustrare le metodologie tipiche impiegate nella realizzazione di mappe del rischio, verranno presentati di seguito alcuni casi studio esemplificativi.

Shepherd (2015) propone un'analisi esaustiva di diversi casi studio inerenti alla mappatura degli ordigni inesplosi, tra i quali, di particolare rilievo è il progetto svolto nel 2001 per la città di Alessandria, che ha consentito di individuare le zone ad alto rischio di rinvenimento di UXO attraverso l'interpretazione di immagini aeree e un'approfondita ricerca bibliografica. Il risultato di tale indagine è stato la creazione di un database georeferenziato, contenente informazioni dettagliate sulla localizzazione dei crateri, sulla tipologia degli ordigni e sulla relativa pericolosità, dimostrandosi uno strumento fondamentale per il Servizio di Protezione Civile, ottimizzando la gestione delle emergenze (Fig. 19).

Allo stesso modo, lo studio condotto dal Comitato Interprofessionale Sicurezza Cantieri (CISC) di Udine ha evidenziato l'eccezionale valore scientifico e applicativo delle fotografie aeree conservate presso l'Aerofototeca Nazionale di Roma. Attraverso un'analisi approfondita di due immagini risalenti al marzo-aprile 1945, è stato possibile individuare ben 647 crateri su un'area di 525 ettari, corrispondente ad una densità media di 1,23 ordigni per ettaro (Fig. 20).

Furlanello *et al.* (2004) riportano come il Museo Storico di Trento abbia svolto un ruolo pionieristico nell'ambito della mappatura dei danni bellici, realizzando nel 1997 una cartografia dei crateri da bomba. La ricerca, basata sull'analisi comparata di immagini aeree storiche e un'immagine ripresa su Ala (TN) nel 1993 (Fig. 21), ha contribuito a far luce sugli effetti dei bombardamenti sul territorio trentino e ha aperto la strada a ulteriori studi nel settore.

Il progetto UXO-TN, coordinato da Cesare Furlanello presso la Fondazione Bruno Kessler (FBK) in collaborazione con istituzioni nazionali e internazionali, tra cui si annoverano il Commissario del Governo di Trento, il Genio Militare e la società britannica Cambridge Architectural Research Ltd (CAR), di fatto, si è distinto per l'impiego di tecnologie all'avanguardia nell'ambito della mappatura degli ordigni inesplosi. L'analisi di un vasto fondo di fotografie aeree conservate presso gli archivi nazionali statunitensi (NARA) e britannici (NCAP), congiuntamente alla recente

declassificazione di documenti militari, ha consentito di sviluppare un sofisticato sistema informativo geografico (GIS) integrato con algoritmi di *machine learning*⁸⁸. Tale sistema è in grado di identificare automaticamente i crateri da bomba, di gestire un complesso database delle missioni di bombardamento e di valutare con precisione il rischio associato alla presenza di ordigni inesplosi sul territorio trentino.



Figura 19 Fotografia MAPRW datata 3-9-1944 su Alessandria conservata presso ICCD AFN. Sovrapposta alla restituzione dei crateri visibili nella fotografia, basata sul CTR (Progetto Provincia di Alessandria 2001). Fonte: Shepherd 2015, p. 117

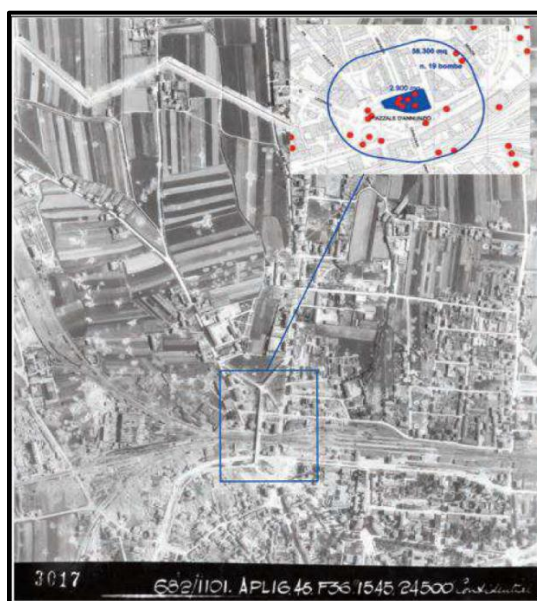


Figura 20 Fotografia MAPRW del 16 aprile 1945 su Udine conservata presso ICCD AFN. In alto a destra, la restituzione di alcuni crateri visibili nella fotografia nell'area evidenziata, basata sul CTR (CISC Udine). Fonte: Shepherd 2015, p. 119, e Shepherd 2016, p. 213

⁸⁸ Per un approfondimento sul *machine learning* applicato a foto aeree storiche per la mappatura del rischio derivante dalla presenza di ordigni bellici inesplosi si veda Merler *et al.* 2005

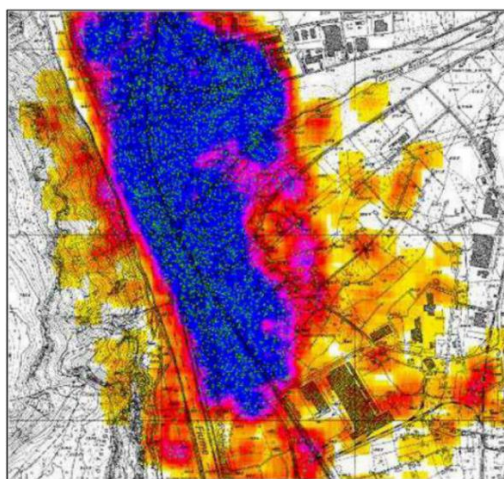


Figura 21 Mappa del rischio inesplosi della Provincia di Trento. Fonte: Furlanello et al. 2004

Tra i progetti esteri, invece, merita sicuramente menzione il progetto '*Bomb Sight*' che rappresenta un'avanzata piattaforma Web-GIS che offre una visualizzazione interattiva dei danni subiti dalla città di Londra durante i bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale⁸⁹. Sviluppato grazie alla collaborazione tra l'Università di Portsmouth e The National Archives, questo strumento consente agli utenti di esplorare una mappa dettagliata della capitale, visualizzando i punti di impatto delle bombe, consultando dati statistici e ammirando fotografie d'epoca (Fig. 22). Finanziato dal Joint Information Systems Committee, *Bomb Sight* si è affermato come un prezioso strumento di ricerca per storici, studiosi e cittadini interessati a comprendere gli effetti devastanti dei conflitti bellici.

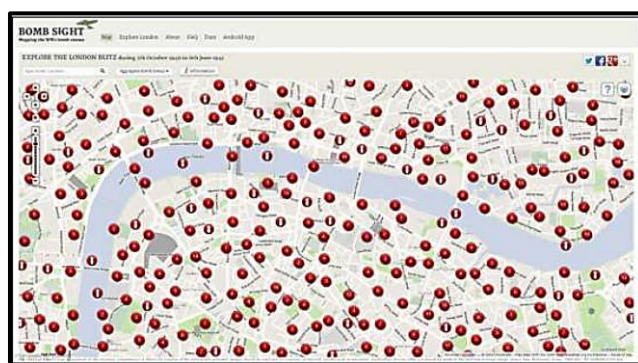


Figura 22 La visuale sulla capitale britannica mostra le aree colpite dai bombardamenti delle forze tedesche durante la Seconda Guerra Mondiale. Fonte: Bomb Sight, <https://www.layersoflondon.org/map/overlays/bomb-damage-1945> (ultima consultazione 29/12/2024)

Ancora per la città di Londra, il progetto '*Layers of London*'⁹⁰, ideato dall'Institute of Historical Research, rappresenta un'ambiziosa iniziativa nel campo della storia urbana digitalizzata.

⁸⁹ Bomb Sight, <https://www.layersoflondon.org/map/overlays/bomb-damage-1945> (ultima consultazione 29/12/2024)

⁹⁰ Institute of Historical Research N.D., Layers of London, <https://www.history.ac.uk/research/centre-history-people-place-and-community/chppc-projects/layers-london> (ultima consultazione 29/12/2024)

La piattaforma web, incentrata sull'utilizzo di mappe storiche interattive, offre un'opportunità unica di esplorare la storia della città di Londra in modo approfondito e coinvolgente.

Attraverso una collaborazione con partner chiave e il contributo attivo della comunità locale, *Layers of London* ha riunito un corpus di mappe storiche digitalizzate, fotografie d'epoca e testimonianze dirette, creando una ricca e dettagliata risorsa di storia sociale. Il sito web, accessibile a tutti gratuitamente, consente agli utenti di navigare attraverso sedici mappe interattive che coprono un arco temporale che va dal 1520 ai giorni nostri.

La piattaforma utilizzata per la realizzazione del progetto è Humap⁹¹, un sofisticato strumento di storytelling basato su mappe. Originariamente sviluppato per il settore accademico e culturale, Humap è in grado di gestire e visualizzare grandi quantità di dati, organizzandoli in *record* multimediali che possono essere posizionati su una mappa interattiva e personalizzati con una varietà di strumenti e funzioni.

Per quanto riguarda l'ambito militare, *Layers of London* offre un'ampia gamma di mappe tematiche e interattive dedicate a diversi periodi storici e aspetti della vita militare a Londra, tra cui la Prima e la Seconda Guerra Mondiale, la Guerra Civile Inglese, la localizzazione di aeroporti, caserme e altri siti militari, le principali battaglie, le forze armate, la difesa civile e le infrastrutture (Fig. 23).

In sintesi, *Layers of London* si configura come un progetto pionieristico nel campo della storia digitale, offrendo un'esperienza immersiva e interattiva nell'evoluzione della città di Londra. Grazie alla sua natura collaborativa e alla ricchezza dei dati disponibili, rappresenta una risorsa inestimabile per studiosi, appassionati di storia locale e tutti coloro che desiderano approfondire la conoscenza della complessa storia della città.

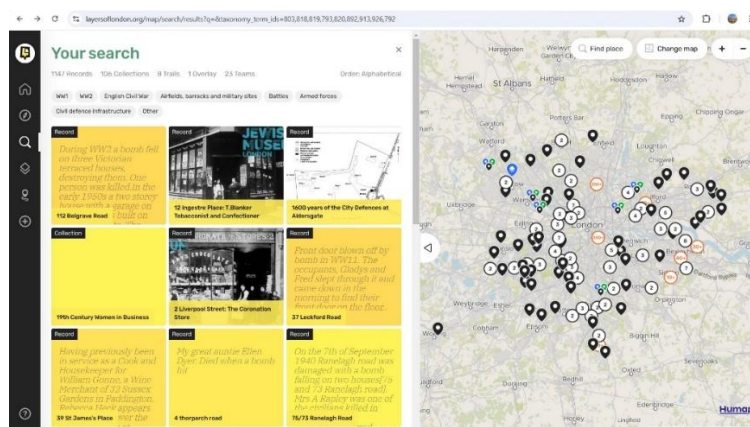


Figura 23 *Layers of London*, schermata per la ricerca tematica in merito alla guerra. Fonte: *Layers of London*, https://www.layersoflondon.org/map/search/results?q=&taxonomy_term_ids=803,818,819,793,820,892,913,926,792 (ultima consultazione 29/12/2024)

⁹¹ Humap, <https://humap.me/?ci=in-app&cs=layersoflondon&cn=humapFooter> (ultima consultazione 29/12/2024)

Higginbotham (2016) ha evidenziato come anche il territorio tedesco continui a ospitare un numero significativo di ordigni bellici inesplosi, residuati della Seconda Guerra Mondiale. La mancata catalogazione sistematica delle aree bonificate, dovuta all'urgenza della ricostruzione postbellica, ha reso infatti estremamente complesso e rischioso il processo di riqualificazione urbana. Tuttavia, nel 1986, si aprì una nuova prospettiva con la decisione del governo di Amburgo di concedere agli stati tedeschi occidentali l'accesso a un vasto archivio fotografico aereo, conservato presso l'*Allied Central Interpretation Unit* in Inghilterra, contenente oltre 5,5 milioni di immagini.

Quasi contemporaneamente, il geografo Hans-Georg Carls⁹² fondò la società Luftbilddatenbank che, grazie a una proficua collaborazione con archivisti britannici e statunitensi, riuscì a rintracciare e recuperare un ingente patrimonio documentario composto da film, fotografie e mappe storiche realizzate durante missioni di ricognizione aerea. Attraverso un meticoloso lavoro di comparazione tra le fotografie aeree, le testimonianze locali e i registri storici, tra cui quelli dettagliati delle missioni di bombardamento custoditi presso l'*Air Force Historical Research* di *Maxwell Air Force Base* in Alabama, Carls ricostruì una cronologia precisa degli eventi bellici che avevano interessato ciascun territorio tra il 1939 e il 1945. Utilizzando uno stereoscopio per analizzare le immagini in tridimensionalità, lo studioso fu in grado di individuare con precisione i punti di impatto delle bombe, le zone di esplosione e quelle in cui gli ordigni erano probabilmente rimasti inesplosi. Sulla base di analisi accurate, egli compilò le prime *Ergebniskarte* o 'mappe dei risultati', delineando in rosso le aree a elevato rischio di presenza di ordigni inesplosi, al fine di fornire un servizio consulenziale a una clientela diversificata dai consorzi internazionali ai privati cittadini.

L'analisi delle immagini aeree è divenuta, a livello nazionale, un elemento imprescindibile nelle operazioni di bonifica degli ordigni inesplosi sul territorio tedesco. L'ampio corpus fotografico fornito da Carls ha contribuito in modo determinante al processo, fornendo un supporto essenziale anche al *Kampfmittelbeseitigungsdienst* (KMBD), il servizio incaricato della bonifica degli ordigni negli stati orientali della Germania e del Brandeburgo. In aggiunta, nel suo studio, Higginbotham cita un'indagine commissionata nel 2006 dal Ministero dell'Interno dello Stato al professor e ingegnere Wolfgang Spyra dell'Università Tecnologica di Brandeburgo⁹³. Lo scopo di tale ricerca era quantificare la presenza di ordigni inesplosi nella città di Oranienburg per uno studio di fattibilità della bonifica. I risultati del rapporto di Spyra, pubblicati nel 2008, rivelarono dati allarmanti:

⁹² Carls e Müller 2007; Carls *et al.* 2000

⁹³ Per ulteriori approfondimenti in merito alla ricerca di vedano: van der Kraats M. 2015, *Unexploded WWII bombs still set sirens going in city near Berlin*, *GULF TIMES*, <https://www.gulf-times.com/story/434723/unexploded-wwii-bombs-still-set-sirens-going-in-city-near-berlin> (data ultima consultazione 03/09/2024); Holm C. 2012, *Germany's WWII Duds Get Deadlier*, *SPIEGEL International*, <https://humanities.exeter.ac.uk/history/research/centres/warstateandsociety/projects/bombing/italy/> (ultima consultazione 26 agosto 2024)

un'elevatissima densità di bombardamenti aerei sulla città il 15 marzo 1945 e, di conseguenza, un altrettanto elevata percentuale di ordigni che non detonarono. In particolare, Spyra evidenziò come un numero considerevole di bombe penetrò “di muso” nel terreno sabbioso con un angolo tale da curvare verso l’alto e rimanere inesplose sottoterra, impedendone l'esplosione (Fig. 24). Sulla base dei suoi calcoli, Spyra stima che ben 326 bombe, equivalenti a 57 tonnellate di esplosivo, giacciono ancora sepolte sotto le strade di Oranienburg.

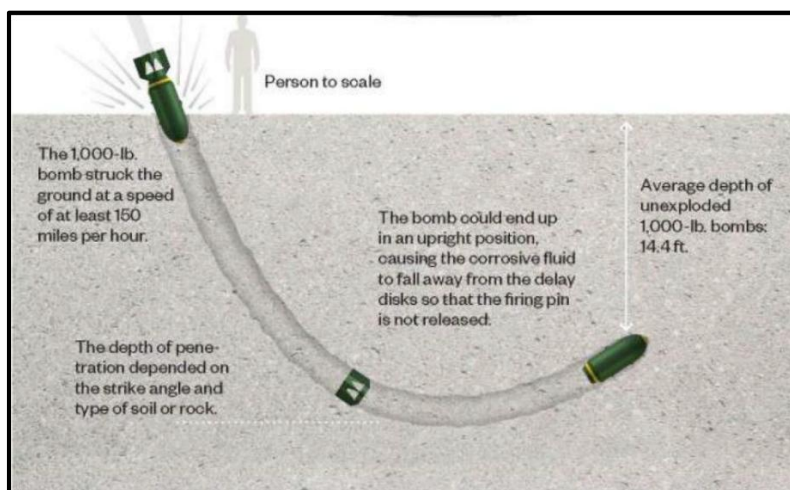


Figura 24 Illustrazione di Hasaim Hussein. Fonte: Higginbotham 2016, <https://www.smithsonianmag.com/history/seventy-years-world-war-two-thousands-tons-unexploded-bombs-germany-180957680/> (ultima consultazione 29/12/2024)

Mahling *et al.* (2013, p. 181) hanno ulteriormente investigato e raffinato le metodologie precedentemente adottate per stimare la percentuale esatta di ordigni inesplosi in determinate regioni della Germania. Attraverso l'applicazione di diverse formule matematiche, gli autori hanno cercato di quantificare con precisione la distribuzione spaziale di tali dispositivi bellici, evidenziando come non tutti gli UXO siano necessariamente confinati all'interno delle cosiddette “aree a rischio”, ovvero le zone circoscritte dai crateri visibili nelle fotografie aeree d'epoca.

Si deduce che gli ordigni inesplosi costituiscono tuttora una minaccia significativa per la sicurezza nelle regioni dell'Europa centrale. Al fine di quantificare il rischio associato alla presenza di tali dispositivi bellici, sono state istituite apposite società specializzate nell'analisi di immagini aeree storiche, risalenti ai periodi immediatamente successivi ai bombardamenti. Tali immagini, pur fornendo preziose indicazioni sulla dislocazione di artiglieria, trincee e crateri, richiedono un'elaborazione manuale estremamente accurata da parte di esperti. Sia la georeferenziazione delle fotografie aeree sia l'individuazione sul terreno delle tracce lasciate dal conflitto rappresentano infatti operazioni laboriose e soggette a un elevato margine di incertezza.

Al fine di superare le limitazioni intrinseche dei metodi tradizionali di mappatura degli ordigni inesplosi, è stato avviato nel periodo 2015-2017 il progetto *Detection and Visualization of Unexploded Ordnance Risks* (FFG-Bridge DeVisOR), realizzato in collaborazione con la Luftbilddatenbank del Dr. Carls. L'obiettivo primario di tale iniziativa consisteva nello sviluppo di algoritmi e tecniche innovative per automatizzare il processo di individuazione e mappatura dei crateri da bomba, garantendo così una maggiore efficienza e precisione nelle attività di bonifica. Nell'ambito del progetto, è stato sviluppato un innovativo approccio di apprendimento automatico (*machine learning*), basato su reti neurali convoluzionali (CNN), con l'obiettivo di automatizzare l'identificazione dei crateri da bomba nelle immagini aeree storiche. A tal fine, è stato realizzato un apposito plug-in per il software ArcMap GIS. Sebbene i risultati ottenuti siano promettenti, è importante sottolineare che la tecnologia di riconoscimento automatico dei crateri è ancora in fase di sviluppo e affinamento. La presenza di elementi artificiali quali edifici e alberi, infatti, può indurre i sistemi di *machine learning* a commettere errori di classificazione, generando falsi positivi. È interessante notare come l'applicazione di tecniche simili per l'identificazione di crateri da impatto su corpi celesti abbia prodotto risultati più accurati, in assenza di elementi terrestri che possano interferire con il processo di riconoscimento⁹⁴.

Garber (2012), invece, descrive il lavoro del tenente colonnello dell'Air Force Jenns Robertson, che ha intrapreso l'ambizioso progetto di compilare un database esaustivo sulle missioni di bombardamento condotte dalle forze armate statunitensi a partire dalla Prima Guerra Mondiale. Iniziato come un'attività di ricerca personale, il progetto "THOR: *Theatre History of Operations Reports*" è diventato un'opera di fondamentale importanza per gli storici militari, offrendo un repertorio dettagliato e accessibile di informazioni sulle operazioni aeree⁹⁵. Grazie alla sua meticolosa ricerca, il tenente colonnello Robertson è riuscito a individuare e catalogare circa mille rapporti originali relativi ai *raid* aerei della Prima Guerra Mondiale. Inoltre, ha digitalizzato oltre diecimila pagine di registrazioni concernenti i bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale. Il database THOR rappresenta uno strumento di inestimabile valore per la protezione civile, consentendo di individuare con maggiore precisione le aree contaminate da ordigni inesplosi e di pianificare interventi di bonifica mirati. La piattaforma permette agli utenti, con un semplice clic sulla mappa del globo, di ottenere informazioni dettagliate sulle attività di bombardamento svolte quasi in qualsiasi luogo nel corso dell'ultimo secolo (Fig. 25).

⁹⁴ Brenner *et al.* 2018, pp. 94-96

⁹⁵ THOR 2024, <https://www.generalstaff.org/THOR/THOR.htm> (ultima consultazione 29/12/2024)

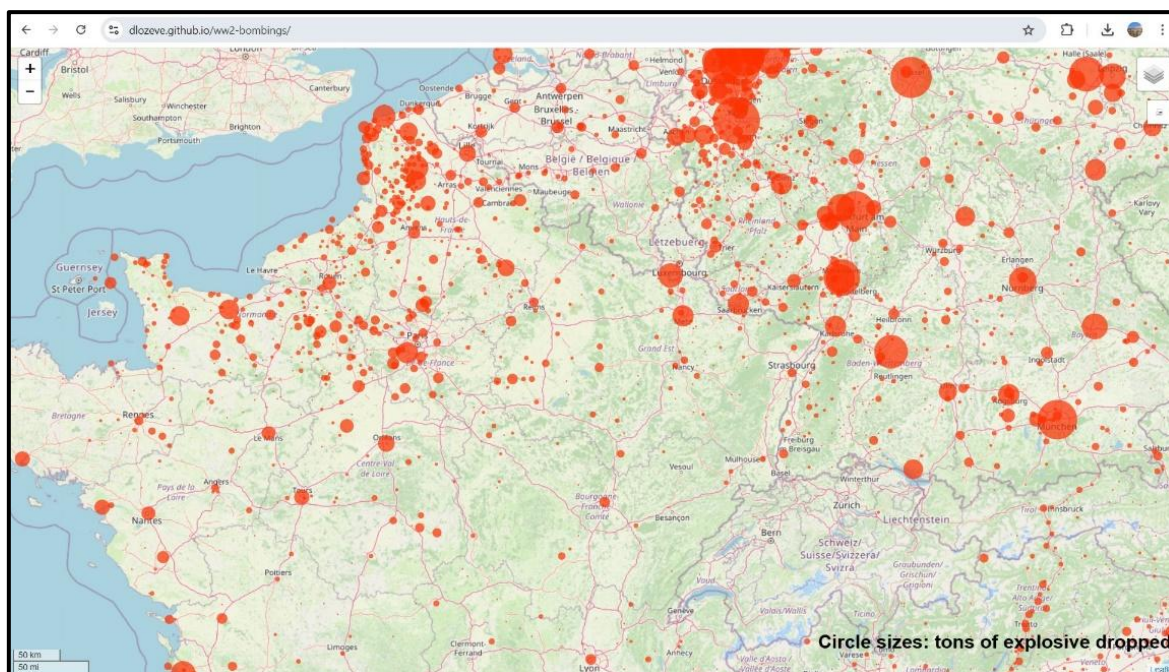


Figura 25 Il database THOR è stato utilizzato per creare questa mappa grafica dei bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale da parte dell'USAAF. Fonte: THOR database, <https://dlozeve.github.io/ww2-bombings/> (ultima consultazione 29/12/2024)

Recenti studi, inoltre, si sono focalizzati sulla rappresentazione cartografica dei teatri bellici spagnoli attraverso l'analisi di fotografie aeree d'epoca. In particolare, Garfi (2019) sottolinea l'originalità delle ricerche che si avvalgono di un corpus fotografico, unico nel suo genere, risalente alla Guerra Civile Spagnola (1936-1939). La mappatura dei danni e del rischio di presenza di inesplosi risalenti alla Guerra Civile in questione, sebbene ricca di potenzialità, è ancora un campo relativamente inesplorato nel panorama accademico locale. Tuttavia, come evidenziato da Barreira (2019), alcuni professionisti, come gli architetti Luis de Sobrón ed Enrique Bordes della Scuola Tecnica Superiore di Architettura della UPM, stanno compiendo notevoli progressi nella mappatura degli effetti dei bombardamenti sulla città di Madrid, offrendo così un prezioso contributo alla comprensione delle trasformazioni urbanistiche indotte dal conflitto (Fig. 26).

La mappa elaborata dallo studio è frutto di un'accurata ricerca finalizzata a ricostruire la cronologia e la localizzazione degli impatti causati dalle bombe sugli edifici del centro storico di Madrid. Per tracciare con precisione le ferite inferte al tessuto urbano, i due studiosi hanno intrapreso un'indagine complessa, che ha richiesto la raccolta e l'analisi di un vasto corpus documentario. Oltre a un'ampia raccolta di fotografie storiche raffiguranti più di 1600 edifici danneggiati, sono state

consultate fonti archivistiche di varia natura, tra cui documenti pubblici, registri militari e, in particolare, l'Archivio Storico dei Vigili del Fuoco di Madrid.



Figura 26 Madrid bombardata. Fonte: Barreira 2019, https://www.elespanol.com/cultura/historia/20190316/mapa-bombas-franco-devastaron-madrid-capital-zonas/383462984_0.html (ultima consultazione 29/12/2024)

La Generalitat Valenciana ha realizzato, a sua volta, un Sistema Informativo Geografico Web, denominato "Patrimoni Valencià de la Guerra Civil", che integra una vasta gamma di dati cartografici. La cartografia di base si fonda sui servizi *Web Map Tile Service* (WMTS) dell'Istituto Cartografico Valenciano (ICV), comprendenti ortofoto recenti e storiche (come la serie americana "Flight Series B", 1956-57), oltre a cartografia catastale, modelli digitali del terreno e mappe topografiche nazionali (Fig. 27). Tale Sistema accoglie anche la mappatura vettoriale dei beni culturali colpiti o interessati dal conflitto degli anni '30. Lo strumento, pur rappresentando un'importante tappa nella valorizzazione del patrimonio storico valenciano, si presenta come un progetto in costante evoluzione, aperto al contributo della cittadinanza. Tuttavia, è fondamentale sottolineare che le immagini aeree utilizzate per la geolocalizzazione dei beni culturali risalgono a un periodo immediatamente successivo al conflitto e non contemporaneo allo stesso.

Le riprese aeree effettuate dagli Stati Uniti sulla Spagna durante gli anni '40 e '50, note come Serie A e B⁹⁶, costituiscono di fatto un prezioso patrimonio documentario ora accessibile al pubblico

⁹⁶ Le missioni di ricognizione aerea statunitense sulla Spagna, note come Serie A (1946) e Serie B (1956-1957), si inseriscono in un complesso quadro geopolitico segnato dalle tensioni della Guerra Fredda. Mentre la Serie A, condotta alla fine della Seconda Guerra Mondiale, può essere interpretata come una misura precauzionale in vista di un possibile conflitto con l'Unione Sovietica, la Serie B risponde in modo più esplicito alle esigenze di intelligence legate alla nuova

grazie al servizio di fototeca online dell'Istituto Geográfico Nacional spagnolo. L'istituto conserva gli originali dei voli fotogrammetrici sin dagli anni '30 e ha avviato un ambizioso progetto di digitalizzazione per garantire la conservazione a lungo termine del materiale e facilitarne la consultazione. Le immagini, disponibili tramite il Web-GIS (Fig. 28), offrono una prospettiva unica sulla geografia e l'urbanistica della Spagna del XX secolo (Fig. 29).



Figura 27 Web-GIS "Heritages Valencià de la Guerra Civil". Fonte: Generalitat Valenciana, <https://patrimonigc.gva.es/va/> (ultima consultazione 29/12/2024)

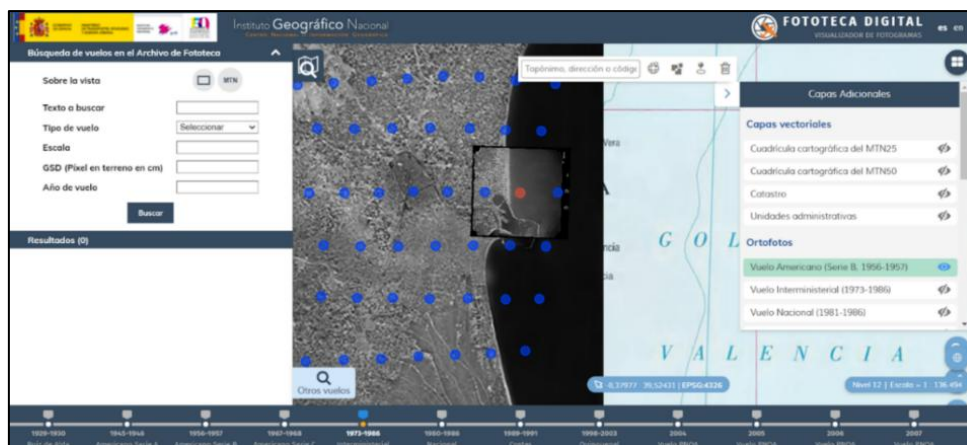


Figura 28 American Flight (Serie B, 1956-1957). Fonte: Instituto Geográfico Nacional, <https://www.ign.es/web/ign/portal/sc-cnig-fototeca> (ultima consultazione 29/12/2024)

configurazione bipolare del sistema internazionale. Come sottolineato da Fernández García 2015, pp. 233-237, la persistenza di queste missioni fotografiche, anche in un contesto di condanna internazionale del regime franchista, evidenzia l'importanza strategica attribuita alla Penisola Iberica dagli Stati Uniti.

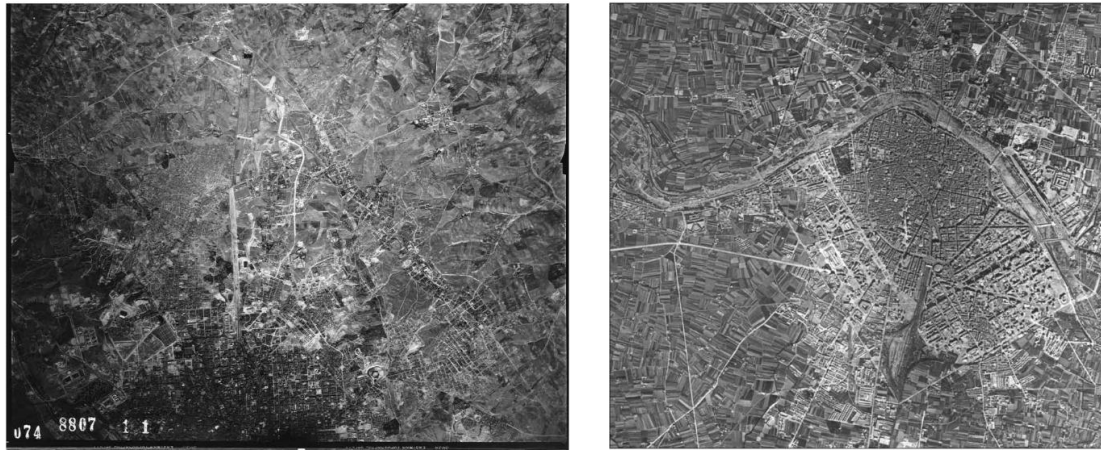


Figura 29 A sinistra, frammento di un'immagine della Serie A (1946) in cui è visibile il settore settentrionale della città di Madrid (Source: CECAF). Scala di riproduzione approssimativa 1:62,600. Fonte: Fernández García 2015, p. 235; a Destra, fotografia della Serie A (1945) in cui si vede la città di Valencia. Scala di riproduzione approssimativa 1:30,200. Fonte: Fernández García 2015, p. 236

La presenza di ordigni bellici inesplosi rappresenta un'istanza particolarmente complessa anche per i siti archeologici. Tale eventualità, come documentato da numerosi casi di studio, pone serie sfide alla tutela del patrimonio culturale, richiedendo interventi di bonifica altamente specializzati e coordinati. Le testimonianze storiche e archeologiche presenti in Italia ci offrono numerosi esempi della problematica, dalla villa romana di Settefinestre, dove sono stati rinvenuti reperti bellici negli anni '80, alle rovine di Portus, che conservano ancora le tracce delle attività partigiane durante la Seconda Guerra Mondiale⁹⁷.

Un caso emblematico, per l'intensità dei bombardamenti subiti, è rappresentato dalla città antica di Pompei. Il "Diario delle Incursioni", redatto nel 1944 dall'ingegnere Alfonso D'Avino su incarico di Amedeo Maiuri, costituisce una testimonianza inestimabile per ricostruire la cronologia e gli effetti dei bombardamenti subiti dall'area archeologica di Pompei durante la Seconda Guerra Mondiale⁹⁸. Tale documento, che registra con precisione le date, gli orari e le zone colpite dai nove principali *raid* aerei, rappresenta uno strumento fondamentale per analizzare i danni subiti dai manufatti e per localizzarli con precisione all'interno del sito. A completamento, risulta di fondamentale importanza la consultazione della mappa "Pompei Bomb Damage 1943", realizzata dagli Alleati, che offre una rappresentazione cartografica dei luoghi danneggiati (Fig. 30).

Eppure, gli studi sugli effetti dei bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale sugli edifici antichi, come nel caso di Pompei, hanno spesso trascurato l'analisi approfondita delle fotografie aeree storiche realizzate in concomitanza o subito dopo gli attacchi aerei. A differenza di precedenti ricerche, come quella condotta da Garcia y Garcia nel 2006, studi più recenti, come quelli di Pollard

⁹⁷ Shepherd 2015, p. 120

⁹⁸ Picone 2011, p. 109

e Tiede, riportati da Shepherd (2015, p. 122), hanno sfruttato il potenziale informativo delle immagini acquisite dagli archivi britannici e americani per identificare con precisione i punti di impatto delle bombe e valutarne le conseguenze sul terreno. Tale approccio ha evidenziato come i danni causati dai bombardamenti siano spesso difficilmente distinguibili da quelli prodotti dall'eruzione vesuviana del 79 d.C., come già sottolineato da Picone (2011). Sulla base delle nuove evidenze, e grazie all'utilizzo di sistemi informativi geografici e di immagini aeree provenienti dall'Aerofototeca Nazionale di Roma, sono state realizzate mappe di rischio del rinvenimento di inesplosi per il sito archeologico di Pompei (NA), cui si è aggiunto il caso studio di Falerii Novi (VT), offrendo un proprio contributo alla ricerca nel settore di interesse, tramite uno studio di laurea magistrale, culminato nella pubblicazione di Noto (2019) (Fig. 31).

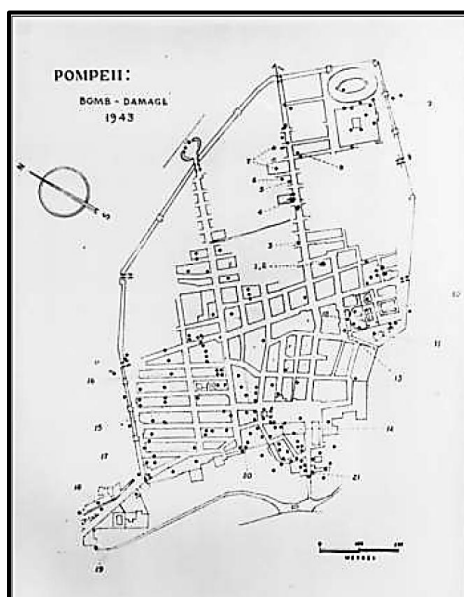


Figura 30 Pompeii: Bomb Damage 1943. Pianta schematica che mostra i punti colpiti dalle bombe nel 1943. Fonte: García y García 2006, p. 26



Figura 31 Mappa GIS di rischio del rinvenimento di inesplosi per il sito archeologico di Pompei (NA), immagine prodotta in ambiente GIS. Fonte: Noto 2019, p. 31

La mappatura precisa dei crateri prodotti dai bombardamenti e la valutazione della potenziale presenza di ordigni inesplosi rivestono un'importanza cruciale non solo per ragioni di sicurezza, ma anche per una più approfondita comprensione della stratigrafia archeologica. Come dimostrato dagli studi di John J. Dobbins sul Santuario di Apollo a Pompei, condotti tra il 2001 e il 2003, le esplosioni possono determinare diverse tipologie di alterazioni stratigrafiche, come descritto in Ball e Dobbins (2017, pp. 468-470), quali: la completa obliterazione sia dell'architettura emergente che dei depositi sottostanti; la distruzione selettiva delle strutture sovrastanti senza compromettere la stratigrafia inferiore; e infine, l'alterazione della consistenza dei sedimenti sottostanti, che perdono la loro coesione e diventano friabili, compromettendo la leggibilità stratigrafica.

È fondamentale acquisire una conoscenza approfondita delle alterazioni stratigrafiche causate dai bombardamenti e della potenziale presenza di ordigni inesplosi al fine di affrontare in modo adeguato le complessità che possono emergere durante le attività di scavo. Tale consapevolezza è indispensabile per garantire la sicurezza degli operatori e per interpretare correttamente i dati stratigrafici, evitando così errori interpretativi che potrebbero compromettere la comprensione della sequenza stratigrafica.

Cercando di descrivere in forma schematica l'evento dell'impatto di una bomba d'aereo al suolo e una sua eventuale esplosione quel che avviene in termini di processi morfologici e geomeccanici prevede una serie di alterazioni delle strutture geologiche della superficie originaria del terreno, intesa come livello topografico pre-esplosione, che costituisce il riferimento rispetto al quale vengono misurate le modificazioni indotte dall'evento esplosivo. L'esplosione, infatti, determina l'espulsione di un volume di materiale, gli 'eietti', che vengono proiettati a varie distanze dal punto di impatto. La profondità apparente della detonazione, misurabile dalla superficie originaria al punto più profondo del cratere visibile, non corrisponde necessariamente alla profondità reale dell'esplosione, in quanto è influenzata dalla successiva deposizione degli eietti. La forma finale del cratere, una volta rimosso il materiale in eccesso, è definita 'superficie del vero cratere'. Inoltre, le zone circostanti il cratere presentano caratteristiche morfologiche e strutturali distinte: la 'zona di rottura', caratterizzata da una frammentazione completa del materiale, e la 'zona plastica', dove il materiale è stato sottoposto a intense deformazioni senza fratturarsi⁹⁹ (Fig. 32).

Lo studio dei crateri da esplosione riveste un'importanza fondamentale in diversi ambiti scientifici e applicativi. In ingegneria civile, ad esempio, la comprensione dei meccanismi di formazione dei crateri è essenziale per valutare gli effetti delle esplosioni su strutture e infrastrutture.

⁹⁹ Il diametro 'D' rappresenta la massima estensione orizzontale del cratere visibile, mentre 'Dr' indica il diametro del vero cratere. I parametri 'H1', 'H2' e 'H3' quantificano l'altezza del materiale scavato in punti specifici del profilo, mentre 'Δh' rappresenta la differenza altimetrica tra la superficie originaria e il bordo del cratere. Descrizione dell'immagine di Kinney e Graham 1985 presa da Luccioni e Ambrosini 2004, p. 573.

Nelle scienze forensi, l'analisi dei crateri consente di ricavare informazioni cruciali sulla natura dell'esplosivo utilizzato e sulle dinamiche dell'evento. In geologia, lo studio dei crateri da impatto fornisce importanti indicazioni sulla storia geologica del nostro pianeta. Infine, in ambito militare, la conoscenza dei fenomeni legati alle esplosioni è fondamentale per lo sviluppo di nuove tecnologie e per la valutazione dei danni causati da esplosivi.

È importante sottolineare che la descrizione sintetica appena presentata semplifica la complessità dei processi coinvolti nella formazione di un cratere. In realtà, la loro morfologia e le dimensioni sono influenzate da numerosi fattori, quali la natura del terreno, la potenza dell'esplosione, l'angolo di impatto e la presenza di eventuali ostacoli.

Pertanto, lo studio dei crateri da esplosione rappresenta un campo di ricerca multidisciplinare di grande interesse, in quanto consente di approfondire la comprensione dei fenomeni legati alle esplosioni e di sviluppare modelli predittivi per la valutazione dei rischi associati a tali eventi.

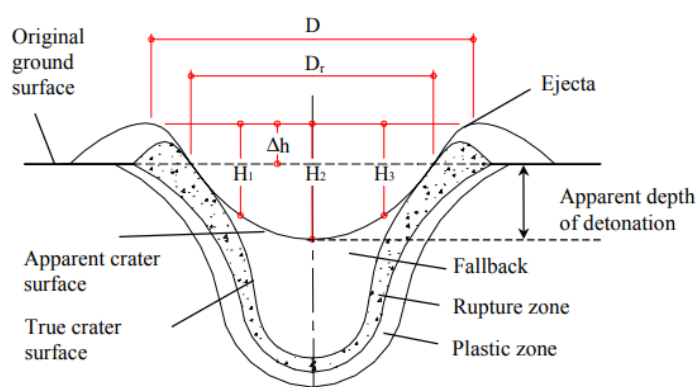


Figura 32 Sezione stratigrafica schematica di un cratere da bomba. Fonte: Kinney e Graham 1985 in Luccioni e Ambrosini 2004, p. 573

Come si evince dagli studi pregressi elencati, le fotografie aeree storiche sono uno strumento di fondamentale importanza per l'analisi dei paesaggi modificati dai conflitti bellici del XX secolo e per la comprensione delle dinamiche insediative legate ai due conflitti mondiali. Ciò è ulteriormente dimostrato dallo studio di Van Hollebeeke *et al.* (2014, p. 711) che ha analizzato più di 17.200 fotografie della Prima guerra mondiale, integrate entro un Sistema Informativo Geografico, permettendo di localizzare con precisione le strutture risalenti al conflitto e di correlarle ai dati provenienti da scavi archeologici. Tale approccio innovativo ha consentito di valutare l'accuratezza con cui le tracce della Grande Guerra sono state riconosciute, interpretate e documentate nel corso delle ricerche archeologiche. In parallelo, le imprese specializzate nella mappatura e analisi di contesti storici e bellici hanno incrementato significativamente le proprie competenze nell'interpretazione di fonti cartografiche e storiche. Molte di esse hanno inoltre acquisito una profonda *expertise* negli

interventi di bonifica esplosiva, garantendo così elevati standard di sicurezza per le successive indagini archeologiche.

Naturalmente si sottolinea l'importanza di un approccio interdisciplinare che, integrando l'analisi quantitativa dei dati, quali le stime di rischio relative alla presenza di ordigni inesplosi, con una profonda conoscenza del contesto storico-culturale e territoriale, consenta lo sviluppo di strumenti di valutazione del rischio specifici per la ricostruzione accurata delle vicende storiche. La sinergia tra archeologia e geografia, come evidenziato da Siart *et al.* (2008, p. 2925), trova nel GIS uno strumento fondamentale per un'approfondita indagine geo-archeologica interdisciplinare, favorendo la realizzazione di mappe tematiche del rischio e la visualizzazione spaziale dei dati, e consentendo così una comprensione più completa delle relazioni tra patrimonio culturale e conflitti bellici. È indubbio che un filo conduttore unisca le diverse applicazioni esaminate: una metodologia investigativa caratterizzata da una sequenza precisa e ripetibile di fasi operative. Tale flusso di lavoro, che comprende la raccolta di dati archivistici e fotografici, l'elaborazione fotogrammetrica delle immagini, la georeferenziazione e la visualizzazione in ambiente GIS, culmina con la mappatura dei crateri da impatto delle bombe d'aereo e analisi statistiche su percentuali di inesplosi per concludersi nella pubblicazione dei risultati su una piattaforma Web-GIS, assicurando così l'omogeneità e la comparabilità dei dati ottenuti.

Nonostante la variabilità degli strumenti informatici impiegati, la metodologia applicata dimostra una notevole flessibilità e adattabilità a contesti diversi. A condizione di disporre del materiale d'archivio primario, costituito da fotografie aeree storiche e documentazione coeva agli eventi bellici, il flusso di lavoro proposto può essere, di fatto, applicato a una vasta gamma di casi studio.

Il fulcro delle criticità risiede nella qualità del materiale fotografico di base, elemento imprescindibile per la rappresentazione cartografica dei crateri da bomba e la conseguente valutazione del rischio di rinvenimento di ordigni inesplosi

Il processo di mappatura dei crateri da bomba della Seconda Guerra Mondiale, basato sull'analisi di immagini aeree storiche, prevede oggi anche una fase di preelaborazione semi-automatizzata. Tale fase consiste nella rettifica e nell'orto-normalizzazione dei fotogrammi al fine di georeferenziarli accuratamente ai sistemi di riferimento geografici standard. Successivamente, attraverso tecniche di rilevamento, sia manuale che automatico, si procede all'individuazione dei crateri. È fondamentale che queste operazioni siano eseguite con la massima precisione al fine di minimizzare il rischio di false interpretazioni¹⁰⁰.

¹⁰⁰ L'errore più comune risiede nell'errata interpretazione di elementi geologici/naturali o diverse azioni antropogeniche visibili sul terreno: alberi, macchie di umidità, particolari lavorazioni agricole del suolo.

L'analisi delle fotografie aeree storiche rivela che i crateri da bomba presentano una distribuzione spaziale caratterizzata da una concentrazione in specifici *cluster*, ma anche da una dispersione significativa rispetto agli obiettivi bellici originariamente designati. Tale dispersione è attribuibile all'imprecisione dei sistemi di puntamento impiegati in passato, spesso limitati da fattori operativi quali l'esigenza di evitare le difese antiaeree, di effettuare atterraggi con ridotto carico bellico o di operare in condizioni meteorologiche avverse o in orario notturno¹⁰¹.

Il processo di mappatura dei crateri da bomba è reso, però, complesso dalla variabilità delle condizioni di acquisizione delle immagini aeree storiche. Fattori quali l'altitudine di volo, le condizioni meteorologiche e le stagioni influenzano significativamente le caratteristiche delle fotografie, rendendo più difficile l'individuazione dei crateri¹⁰². Ulteriori complicazioni sorgono quando le immagini a disposizione presentano un deterioramento significativo, manifestandosi con piegature, macchie, lacune o alterazioni intenzionali apportate in post-produzione, come raschiature, cancellature o tagli. Tali deterioramenti compromettono la leggibilità delle tracce sul terreno.

L'analisi di fotografie aeree storiche è spesso ostacolata anche dalla carenza di metadati associati alle immagini. L'assenza di marcatori fiduciali, fondamentali per determinare il centro del fotogramma, e la mancanza di *data-strips* contenenti informazioni dettagliate sul volo e sulla ripresa fotografica limitano significativamente la precisione e l'affidabilità delle analisi.

Inoltre, l'individuazione di aree di interesse completamente documentate da fotografie aeree storiche richiede, oltre a una solida preparazione tecnica, anche una considerevole dose di fortuna. Da ultimo, l'interpretazione corretta delle tracce visibili sul terreno, indispensabile per un'analisi spaziale evolutiva, presuppone in aggiunta una profonda esperienza nell'analisi di immagini aeree¹⁰³. Nonostante le limitazioni intrinseche, le fotografie aeree storiche costituiscono un'inestimabile risorsa per la produzione di cartografia tematica. In particolare, esse consentono di realizzare mappe di densità dei crateri da impatto, strumento fondamentale per la valutazione del rischio associato alla presenza di ordigni inesplosi.

Il sopramenzionato progetto di ricerca DeVisOR (*Detection and Visualization of Unexploded Ordnance Risks*), condotto tra il 2015 e il 2017, ha rappresentato un significativo passo avanti nell'ambito dell'individuazione automatizzata di ordigni inesplosi attraverso l'analisi di immagini aeree storiche. In tale contesto, è stato sviluppato un sofisticato modello di apprendimento automatico, appositamente addestrato a riconoscere i crateri da bomba, basandosi su un insieme di regole empiriche accuratamente formulate, che hanno guidato sia l'elaborazione algoritmica sia

¹⁰¹ Furlanello *et al.* 2004, p. 2; Merler *et al.* 2005, p. 738

¹⁰² Questi problemi sono stati indagati da Shepherd 2015

¹⁰³ Garcia *et al.* 2021

l'analisi visuale manuale. Perché il modello funzioni, è necessario tener conto della complessità intrinseca delle tracce belliche presenti nelle fotografie aeree e sottolineare che i singoli crateri isolati sono spesso il risultato di una falsa interpretazione, in quanto i bombardamenti tendono a creare *cluster* di crateri; la persistenza di un cratere in più fotografie di una stessa sequenza è un indicatore affidabile della sua effettiva esistenza, a differenza delle anomalie visive causate da imperfezioni delle immagini; infine, è fondamentale prestare attenzione alla georeferenziazione delle fotografie al fine di evitare conteggi duplicati di un medesimo cratere visibile in più immagini.

Si rende pertanto necessaria un'analisi approfondita del materiale fotografico aereo d'epoca, quale fondamento imprescindibile della ricerca, al fine di valutarne sia le potenzialità che le limitazioni nell'ambito delle applicazioni previste.

2.2. Il paesaggio nella fotografia aerea storica

Nella storia della fotografia emerge una grande categoria che è la fotografia di paesaggio. Paesaggi, architetture e monumenti furono i soggetti prediletti dalle prime fotografie per la loro staticità, caratteristica che li rendeva adatti alle lunghe esposizioni necessarie ai primi dispositivi fotografici. Nonostante le notevoli riduzioni del tempo di esposizione a frazioni di secondo grazie al progresso tecnologico, il paesaggio e il ritratto sono rimasti soggetti privilegiati della fotografia nel corso del tempo. Eppure, la fotografia di paesaggio si è suddivisa in molteplici sottocategorie, privilegiando a volte i paesaggi campestri, a volte quelli urbani, perché il rapporto tra città e natura ha sempre condizionato la percezione del paesaggio da parte dell'uomo. In aggiunta, il progressivo dominio economico delle città sulla campagna ha influenzato il concetto moderno di paesaggio e ha portato alla sua appropriazione visiva da parte dei cittadini¹⁰⁴.

Pertanto, la contrapposizione tra 'paesaggio naturale' e 'paesaggio costruito', 'natura selvaggia' e 'civiltà', 'natura' e 'cultura', dominante nelle rappresentazioni artistiche di Settecento e Ottocento, forse proprio con la fotografia di paesaggio è gradualmente svanita¹⁰⁵.

La molteplicità di soggetti rappresentati nella fotografia di paesaggio di ogni epoca è insita, molto probabilmente, nei numerosi significati attribuibili al concetto di paesaggio, tra i quali non può escludersi la descrizione data da Tosco (2007, p. 2): «una dimensione “soggettiva”, come percezione personale derivata dalla frequentazione di un luogo, e una dimensione “oggettiva”, fatta di cose, di fenomeni presenti nello spazio geografico».

¹⁰⁴ Valtorta 2013, p. 9

¹⁰⁵ Curzel 2015, pp. 20-21

L'idea soggettiva di paesaggio ha radici antiche e sembra riguardare sia la sua percezione che la sua stessa rappresentazione, come evidenziato ad esempio in una lettera di Plinio il Giovane, in cui descrive la sensazione di ammirare una regione da una posizione elevata rifacendosi a concetti quale “quadro dipinto”, “piacere”, “meraviglia”. E stupisce ancora di più, forse, ritrovare una certa affinità terminologica anche nella descrizione che, centinaia di anni dopo, Louis de Jaucourt diede compilando la voce "*Paysage*" per l'*Encyclopedie* di Diderot e d'Alambert, usando vocaboli come “genere pittorico” e “piacere”. Se ne può dedurre che l'idea di paesaggio nasca dall'atto di rappresentarlo artisticamente¹⁰⁶.

Del resto, la comprensione del concetto e del significato del termine si è sviluppata, nel corso della storia, dall'atto di percepire esteticamente e rappresentare figurativamente una porzione di territorio, alla dimensione fisico-giuridico-amministrativa di un luogo. Infatti, secondo Cortellazzo e Zolli (1985), il concetto di "paesaggio" trae origine dal termine "paese", che indica non solo una vasta estensione di territorio abitato e coltivato, ma anche l'insieme di caratteristiche fisiche e antropiche che definiscono un luogo. I due studiosi riconducono l'origine etimologica del termine "paesaggio" al concetto di delimitazione di proprietà o competenza amministrativa piuttosto che al concetto di luogo in sé. La qual cosa evidenzia il graduale passaggio da una mera descrizione del territorio a una sua narrazione e rappresentazione più articolata, riflettendo una evoluzione nel discorso pubblico e nella percezione del paesaggio¹⁰⁷.

Ciò nonostante, il paesaggio è sempre stato una struttura complessa formata da elementi interconnessi che derivano da una stratificazione storica. Per comprenderlo appieno, è necessario un'analisi che vada oltre la semplice esperienza immediata. Per questo Turri (2003b) utilizza la metafora del teatro per descrivere il paesaggio, in cui l'uomo agisce sia come spettatore che come attore, poiché è coinvolto attivamente nella sua formazione e fruizione.

È anche vero, però, che il paesaggio in qualità di “porzione di territorio” non è solo il palcoscenico ove si svolge l'attività umana, ma anche il “documento” che testimonia la cultura, la storia e le interazioni tra gli abitanti e l'ambiente circostante. Proprio perché il concetto di paesaggio è intrinsecamente legato alla cultura, per cui parlare di un "paesaggio naturale" può sembrare un ossimoro. Di fatto, un luogo diventa "paesaggio" solo quando è percepito, osservato ed eventualmente rappresentato, descritto e conosciuto, anche se non obbligatoriamente abitato.

In definitiva, gli approcci attraverso cui considerare il concetto di paesaggio sono due: il paesaggio “soggettivo”, percepito e rappresentato individualmente; e il paesaggio “oggettivo”, valutato storicamente e misurato in termini quantitativi. Se il primo tipo di paesaggio è vittima di

¹⁰⁶ Curzel 2015, p. 22

¹⁰⁷ *Ibidem*, p. 23

punti di vista personali e simbolismi; il secondo tipo può essere continuamente modificato e trasformato, e può essere studiato sia sincronicamente che diacronicamente, permettendo di comprendere il suo stato attuale o il suo sviluppo nel tempo. Questo tipo di paesaggio è soggetto a pianificazione e può essere rappresentato attraverso varie forme di documentazione oggettiva, come mappe, fotografie, immagini aeree, immagini ortografiche e panoramiche, grafici e statistiche. In ogni caso, per quanto riguarda la formazione sociale del paesaggio, sembra chiaro che, nel mondo moderno, l'influenza predominante provenga dalla sua rappresentazione visiva, soprattutto dalla fotografia¹⁰⁸.

È necessario mettere in evidenza che, nonostante la rappresentazione fotografica di un paesaggio si definisca come una "copia fedele", essa non riesce a catturare completamente l'esperienza visiva diretta che si ha quando si è fisicamente sul posto. Allo stesso tempo, la rappresentazione non può essere considerata un riflesso esatto dell'immagine mentale che si forma mentre osserviamo quel particolare paesaggio. Piuttosto, la fotografia di paesaggio assume una forma autonoma con caratteristiche proprie, instaurando con l'originale una relazione analogica basata sull'affinità e sulla somiglianza¹⁰⁹.

Del resto, il paesaggio ritratto in una fotografia rappresenta solo un frammento, una porzione di spazio isolata dal contesto circostante. Prima ancora di essere raffigurato in disegni, pitture, fotografie o film, tale 'frammento' è stato selezionato dalla percezione visiva umana e inquadrato, risultando così un'esperienza decisionale parziale e orientata del paesaggio stesso.

Quando si decide di inquadrare una parte del paesaggio attraverso il mirino della fotocamera, infatti, ci si confronta con il dilemma di catturare il paesaggio "come è" o di interpretarlo personalmente, sfruttando le diverse opzioni offerte dall'attrezzatura fotografica. Le varie impostazioni tecniche in fotografia non sono solo decisioni in merito allo strumento fotografico, ma anche scelte espressive che influenzano la rappresentazione finale. Inoltre, il processo di sviluppo, stampa e, sempre più, l'*editing* digitale offrono ulteriori possibilità di manipolazione e interpretazione delle immagini fotografiche. In sintesi, ogni fotografia di paesaggio è il risultato di una serie di scelte artistiche e tecniche personali.

¹⁰⁸Curzel 2015, p. 24

¹⁰⁹ Senza entrare nei dettagli delle molte differenze tra la percezione visiva diretta e quella tramite una fotografia, è importante notare che, in relazione all'angolo visuale, mentre una fotografia è prodotta da un singolo obiettivo, la visione umana è binoculare. La profondità dello spazio e il senso di tridimensionalità degli oggetti sono generati dalla combinazione delle due diverse immagini inviate al cervello, ognuna proveniente da un occhio, a causa delle loro diverse posizioni. Allo stesso modo, la fotografia stereoscopica riprende lo stesso oggetto da due angolazioni diverse, distanti tra loro circa 65 millimetri, approssimativamente la distanza tra le due pupille. Nella fotografia tradizionale, l'effetto di tridimensionalità è invece creato attraverso una serie di indizi visivi simili a quelli utilizzati dai pittori per rappresentare la profondità spaziale. Curzel 2015, pp. 26-27.

Il concetto è ancora più evidente nelle foto aeree storiche degli anni '40, che immortalano specifiche porzioni di territorio secondo le esigenze di guerra e che si sono salvate in numero ridotto, rispetto ai negativi originali, per questioni documentarie dell'epoca, ma anche per esigenze storico-archivistiche che ne hanno causato una drastica selezione e riduzione quantitativa nel tempo, oltre a una inevitabile dispersione delle collezioni tra enti e archivi di vari paesi. Ulteriore manipolazione del contenuto visivo delle immagini e, quindi, selezione di quanto rappresentato avveniva in fase di post-produzione, come accennato, quando attraverso l'eliminazione, la raschiatura, il ritaglio e omissioni intenzionali di porzioni delle immagini, si danneggiava intenzionalmente il supporto della pellicola fotografica o, al contrario, la si corredeva di commenti e disegni a margine per meglio definire e rendere leggibile il contenuto fotografico, dandone di fatto un'interpretazione personale, "soggettiva" (Fig. 33).

Anche nel caso in cui la macchina fotografica operasse in modo autonomo, il semplice atto di posizionarla su un treppiede in un punto specifico, con l'obiettivo impostato a una determinata lunghezza focale e orientato in una direzione specifica, comporterebbe l'inevitabile selezione di una parte dello spazio circostante all'interno dell'inquadratura, escludendo tutto il resto.

Si potrebbe dire, quindi, che la fotografia si colloca in una posizione intermedia, funzionando come una sorta di area neutrale tra la fedeltà al reale, che emerge attraverso l'astrazione della visione zenitale, la precisione delle misure tipica della cartografia, da un lato, e la capacità di restituire lo sguardo soggettivo, personale e non meno reale, dall'altro.

Tuttavia, tutte le immagini fotografiche possono essere utilizzate per raccontare storie che non hanno necessariamente una connessione diretta con il contesto originale della fotografia o con le intenzioni del fotografo. Di conseguenza, le considerazioni sul ruolo della fotografia nell'osservazione e nello studio del territorio e del paesaggio si inseriscono nel quadro analizzato. Pertanto, oggi, è essenziale fare affidamento sui materiali fotografici presenti negli archivi per ricostruire la storia di un territorio e le sue trasformazioni nel corso del tempo¹¹⁰.

¹¹⁰ Curzel 2015, p. 28

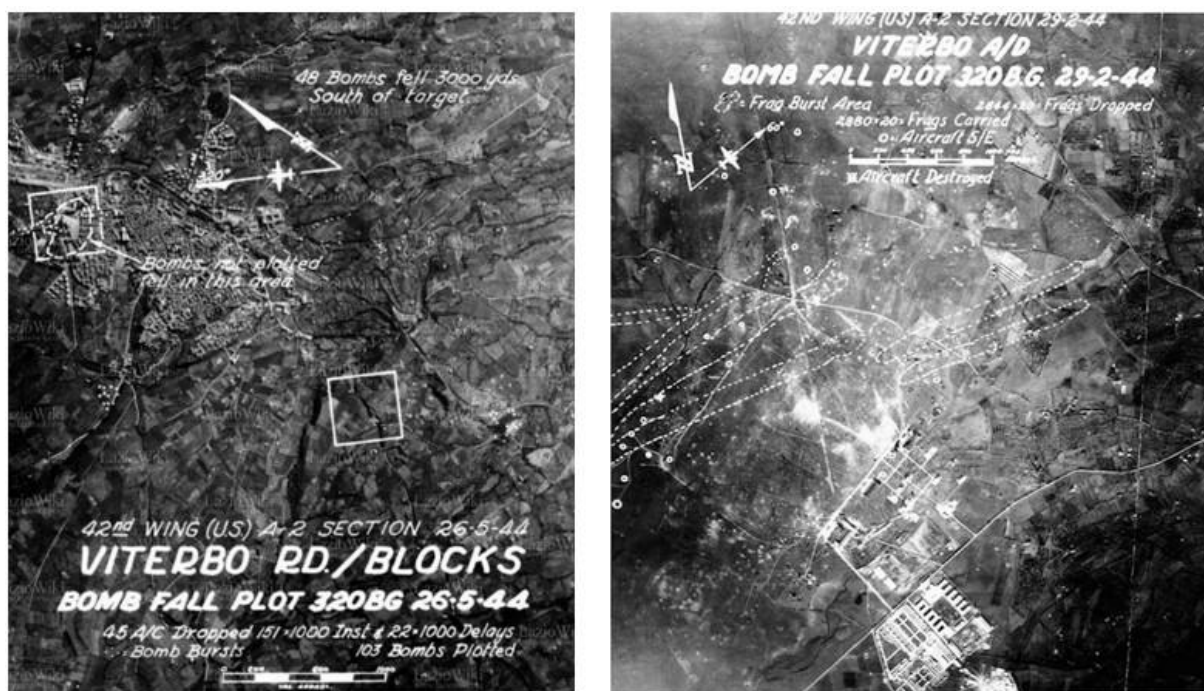


Figura 33 Foto a sinistra datata 26-5-1944; foto a destra datata 29-2-1944. Si tratta di immagini fotogrammetriche dei bombardamenti sulla città di Viterbo visti dai bombardieri Alleati con annotazioni a margine in merito al contenuto fotografico. Copie fotografiche digitali fornite dall'archivio privato di Mauro Galeotti.

La fotografia di paesaggio consente dunque di esplorare e interpretare efficacemente il territorio rappresentato, attraverso prospettive multidisciplinari e interdisciplinari diverse. Nonostante tale fonte possa presentarsi come una riproduzione accurata della realtà, è necessario studiarla criticamente, attraverso il confronto con altre fonti, quali testi bibliografici, mappe, documenti storici o testimonianze orali, e attraverso esplorazioni dirette sul campo. Inoltre, confrontare fotografie dello stesso luogo acquisite in periodi o con intenti diversi può offrire ulteriori approfondimenti e prospettive per una comprensione più completa¹¹¹.

Eppure, anche la descrizione e rappresentazione del paesaggio è vittima dell'azione umana, nonché dell'esperienza percettiva, che a sua volta è modellata dalla cultura. Infatti, a differenza del territorio, che può essere oggettivamente misurato e rappresentato, il paesaggio culturale presenta sfide maggiori poiché coinvolge aspetti soggettivi legati all'interpretazione e all'esperienza umana¹¹².

Il paesaggio, quindi, assume il ruolo di una «proiezione soggettiva del territorio» (Turri 2003a, 23). Ciò suggerisce che un luogo può essere interpretato in modi diversi, poiché le esperienze e le prospettive di coloro che lo osservano e lo abitano possono variare.

Nel testo "Fotografia: figure dei significati", Quintavalle (2014) evidenzia che la fotografia, insieme alla pittura e ad altre forme di espressione visiva, viene considerata anche come

¹¹¹ Curzel 2015, p. 37

¹¹² *Ibidem*, p. 38

documento¹¹³. Tuttavia, Quintavalle mette in luce una contraddizione nelle modalità di interpretazione delle immagini del passato: che siano fotografie, dipinti o altri mezzi di trasmissione, assumono significati diversi nel tempo, a seconda degli osservatori. Pertanto, chiedersi quale sia il senso di un'immagine è paradossale poiché esso muta, è molteplice, e pari a quanti sono gli individui che osservano quello stesso contenuto visivo. In altre parole, il significato di un'immagine è plasmato dalle intricate interazioni tra il potenziale significato della rappresentazione osservata, la capacità interpretativa dell'osservatore e il contesto sociale, storico, culturale, o ambito geografico e disciplinare in cui l'illustrazione e le sue accezioni sono immerse¹¹⁴.

La fotografia, fin dalle sue origini, ha avuto il compito di immortalare con precisione e rapidità l'aspetto delle cose, di catturare l'immagine e conservarla nel tempo prima che subentrino cambiamenti. Grazie alla sua naturale riproducibilità, inoltre, la fotografia ha spinto i fotografi a creare un vasto catalogo di immagini in vari campi, dall'arte pittorica e scultorea alla documentazione geografica e archeologica, inclinazione innata che si evidenzia soprattutto nelle grandi campagne di catalogazione dei beni artistici e del paesaggio.

La frase "la fotografia è un linguaggio" costituisce un'analogia potente, che descrive un'esperienza percettiva. Secondo Rudolf Arnheim (1954-1974), la percezione visiva organizza e struttura le forme offerte dalle proiezioni ottiche dell'occhio che a loro volta contengono i concetti visivi in grado di rendere leggibili le immagini. In una fotografia, le forme sono selezionate, parzialmente trasformate e trattate dall'interprete dell'immagine e dal suo equipaggiamento ottico e chimico. Pertanto, per dare un senso alle fotografie, bisogna vederle come incontri tra la realtà fisica e la mente creativa dell'uomo, non solo come riflesso di quella realtà, ma come punto intermedio in cui le due forze, uomo e mondo, si incontrano come antagonisti e partner, ciascuno contribuendo con le sue particolari risorse. La fotografia si affianca alla realtà e diventa uno strumento per la conoscenza e la costituzione della realtà stessa, diventando la modalità moderna di percepire e superare i limiti insiti nella nostra percezione¹¹⁵.

Inoltre, affinché la fotografia funga da mezzo affidabile di comprensione critica e storica, essendo essenzialmente un atto di traduzione, dipende dalla qualità della macchina fotografica e dalle abilità del fotografo. Anche il contesto culturale del fotografo è cruciale nel definire il significato interpretativo della fotografia che produce¹¹⁶. Del resto, chi si serve di una macchina fotografica non

¹¹³ Se si considera che l'essenza primaria di una fotografia è intrinsecamente legata all'ambiente in cui è stata concepita, ossia al contesto sociale di produzione e fruizione dell'opera, è possibile riconoscere altresì che le condizioni ambientali possono esercitare un'influenza significativa sulle forme artistiche e sulle opere che perdureranno nel tempo in qualità di "documento", rispetto a quelle destinate alla decadenza e all'oblio, fino a eventuali rinvenimenti in epoche successive. Curzel 2015, p. 40.

¹¹⁴ *Ibidem*, p. 40

¹¹⁵ Maggi 2014, p. 2

¹¹⁶ *Ibidem*, p. 130

si limita a catturare semplicemente ricordi o emozioni, ma assume spesso il ruolo di un narratore della storia mediante le immagini¹¹⁷.

Dunque, la fotografia acquisisce una rilevanza sia visiva che culturale, contribuendo alla comprensione del concetto di paesaggio, superando la distinzione tradizionale tra l'intervento umano e l'ambiente naturale¹¹⁸.

Nel momento in cui la fotografia di paesaggio è considerata come un "documento", però, è cruciale esaminare il suo contributo insieme ad altri elementi, in particolare alla cartografia. I geografi, del resto, sono stati tra i primi a utilizzare la fotografia per esplorare, interpretare, valorizzare le risorse territoriali e paesaggistiche e rappresentarle su carta, riconoscendo l'importanza degli archivi fotografici in diversi ambiti della disciplina. Gli archivi sono preziosi per gli studi sulla storia della geografia, consentendo di confrontare le diverse prospettive sul mondo adottate nel corso del tempo dai geografi e facilitando l'analisi storica del paesaggio e del territorio attraverso la ricerca delle tracce materiali dei processi di cambiamento in atto. Infine, le fotografie possono documentare l'evoluzione nel tempo della percezione visiva del paesaggio e dell'ambiente, riflettendo anche le nuove questioni e le sfide emergenti¹¹⁹.

La fotografia, comunque, si differenzia dalle altre forme di rappresentazione documentale per una caratteristica distintiva: ogni immagine catturata con una fotocamera è intrinsecamente associata a un luogo e a un momento precisi, la qual cosa rende tutte le immagini fotografiche uniche e irripetibili. Di conseguenza, una fotografia del paesaggio non è soltanto una riproduzione della realtà in quel momento specifico, ma può essere vista come una risorsa di valore per esaminare e osservare il territorio ritratto.

È bene ricordare che il paesaggio, secondo Turri (2003a), rappresenta il territorio interpretato attraverso le nostre emozioni, i nostri ricordi, le nostre prospettive e le nostre aspirazioni. Analizzando accuratamente una fotografia, è possibile individuare una vasta gamma di elementi che riflettono la storia del territorio, le sue comunità, le attività svolte e le prospettive degli osservatori. In sostanza, la fotografia documenta il contesto culturale e sociale in cui è stata scattata, evidenziando le sensibilità, le priorità, i valori e i progetti della popolazione locale¹²⁰.

Se esaminata accuratamente, la fotografia fornisce, infatti, un'istantanea unica della percezione e della rappresentazione del paesaggio in un dato contesto storico. Confrontando diverse immagini di uno stesso luogo in periodi differenti, è pertanto possibile tracciare la sua evoluzione

¹¹⁷ Maggi 2014, p. 1

¹¹⁸ *Ibidem*, p. 145

¹¹⁹ Curzel 2015, p. 47

¹²⁰ *Ibidem*, p. 48

storica, evidenziando i mutamenti nelle sensibilità e nei progetti che hanno plasmato il territorio nella sua configurazione paesaggistica attuale¹²¹.

Nell'epoca della fotografia digitale, le fotografie storiche conservano ancora un valore inestimabile e irrinunciabile per documentare e mappare le variazioni avvenute nel corso del tempo all'interno di singoli luoghi, ambienti e paesaggi (Nocerino *et al.*, 2012, p. 85).

Secondo Musson *et al.* (2013, p. 51), nell'ambito della salvaguardia del patrimonio culturale, l'impiego di rilievi aerei e fotografia obliqua¹²² può assumere un ruolo preminente nel costante monitoraggio di paesaggi e monumenti.

L'impiego della fotografia, dunque, emerge come strumento imprescindibile per la realizzazione di una gestione territoriale integrata e sostenibile anche al fine di implementare la Convenzione europea del paesaggio¹²³ (Consiglio d'Europa - ELC, 2000), che mira alla salvaguardia, alla gestione e alla pianificazione di tutti i tipi di paesaggio, sia quelli considerati di eccezionale valore sia quelli della quotidianità. In tale contesto, la documentazione fotografica, in particolare quella storica, si rivela di inestimabile valore, non solo per lo studio dei paesaggi naturali, ma anche e soprattutto per l'analisi dei paesaggi antropizzati, soggetti a continue trasformazioni indotte da fenomeni naturali, attività umane e processi storici, documentando le trasformazioni del tessuto urbano, il degrado edilizio, l'alterazione della copertura vegetale e le variazioni nell'uso del suolo. In tal modo, esse costituiscono un prezioso strumento conoscitivo e di sensibilizzazione, evidenziando l'urgenza di adottare misure efficaci per la tutela e la valorizzazione del patrimonio paesaggistico.

Le fotografie, principalmente caratterizzate da angolazioni quasi verticali, offrono una dettagliata copertura di ampi settori rettangolari di territorio. La sequenza di tali immagini, catturate su un'unica area, non solo può garantire una documentazione completa del suolo, ma anche colmare le eventuali lacune temporali nella mappatura, fornendo così una visione più esaustiva e cronologicamente ricca dell'evoluzione del paesaggio.

La fotografia aerea verticale, nello specifico, è caratterizzata da un angolo di ripresa prossimo allo zenitale e costituisce una tecnica fotografica di fondamentale importanza per molteplici applicazioni, dalla cartografia al monitoraggio ambientale. Sebbene l'obiettivo sia di ottenere immagini perfettamente perpendicolari alla superficie terrestre, le inevitabili oscillazioni dell'aeromobile da cui tali immagini sono riprese comportano una tolleranza angolare di circa $\pm 5^\circ$ ¹²⁴.

¹²¹ Raffestin 2005

¹²² Le fotografie aeree oblique vengono scattate con un angolo che è compreso tra i 5° e gli 85° . Gherdevich 2015, p. 64.

¹²³ Per un ulteriore approfondimento si veda Consiglio d'Europa - ELC 2000, Convenzione europea del paesaggio, <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://rm.coe.int/16802f3fb1> (data ultima consultazione 20/03/2024)

¹²⁴ Gherdevich 2015, p. 61

La quota di ripresa è generalmente elevata, sebbene esistano casi specifici di voli a bassa quota per particolari esigenze cartografiche o di dettaglio. Il dettaglio rilevabile nelle fotografie aeree varia, infatti, in funzione diretta della scala di rappresentazione. Immagini a grande scala consentono di apprezzare dettagli fini e caratteristiche minute del territorio, mentre quelle a piccola scala, caratterizzate da una risoluzione inferiore, offrono una visione più sintetica e generalizzata. Le fotografie aeree storiche, tipicamente realizzate a scale comprese tra 1: 5.000 e 1: 60.000 (Cowley e Stichelbault, 2012), presentano pertanto limitazioni intrinseche in termini di dettaglio, riducendone l'utilità per alcune tipologie di analisi. L'impiego delle fotografie aeree può risultare limitato anche dalla presenza di condizioni ambientali sfavorevoli, quali una densa copertura vegetale o una distribuzione discontinua delle immagini storiche. Tali fattori compromettono significativamente la qualità e la quantità delle informazioni estraibili, rendendo necessario integrare l'analisi con altre fonti e dati.

Le camere aerofotogrammetriche utilizzate per tali riprese, del resto, sono in grado di generare diverse tipologie di immagini, ciascuna con caratteristiche specifiche e applicazioni peculiari: immagini pancromatiche in bianco e nero che sono storicamente le prime ad essere state utilizzate e che sfruttano lo spettro del visibile per registrare le variazioni tonali del terreno e della vegetazione; immagini a colori, introdotte alla fine degli anni '70 e oggi tra le più diffuse, che offrono una rappresentazione visiva più intuitiva e completa del territorio; immagini all'infrarosso in bianco e nero, sensibili alle radiazioni infrarosse, che permettono di evidenziare la vegetazione e le zone umide, offrendo informazioni preziose per studi ambientali e agricoli; immagini all'infrarosso a colori o falso colore che, attraverso elaborazioni specifiche, consentono di visualizzare le diverse lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico, fornendo informazioni dettagliate sulla composizione del terreno e sulla salute della vegetazione¹²⁵.

Inoltre, la fotografia aerea verticale, acquisita mediante riprese a striscia con una sovrapposizione tra fotogrammi adiacenti¹²⁶, costituisce la base per la produzione di cartografia tematica ad elevata precisione. Le carte tecniche regionali, ad esempio, sono realizzate attraverso processi di restituzione aerofotogrammetrica che consentono di trasformare le immagini bidimensionali in modelli tridimensionali del territorio¹²⁷.

Dunque, le fotografie aeree storiche, spesso commissionate per fini militari, permettono anche a distanza di tempo dalla loro ripresa un'interpretazione e una mappatura dettagliata sia a livello di

¹²⁵ Gherdevich 2015, p. 61

¹²⁶ La ripresa aerofotogrammetrica avviene mediante l'acquisizione di una sequenza di fotogrammi, realizzati a intervalli temporali regolari in funzione dell'altitudine e della velocità dell'aeromobile. Ciascun fotogramma presenta una sovrapposizione del 60% con il precedente lungo la linea di volo e di un ulteriore 15-30% nelle strisciate laterali, garantendo così una copertura completa e una solida base per le successive elaborazioni. Gherdevich 2015, p. 61.

¹²⁷ Gherdevich 2015, p. 61

sito che di paesaggio, come sostenuto da Cowley e Stichelbault (2012, p. 223), nonostante lo scopo primario dei voli di ricognizione aerea, in particolare quelli effettuati dalla *Royal Air Force* (RAF) durante la Seconda Guerra Mondiale, fosse l'individuazione di obiettivi strategici da sottoporre a bombardamento. Nello specifico, le strisciate fotografiche eseguite su una specifica regione o luogo si concentravano sulle principali arterie di comunicazione, infrastrutture strategiche come ponti e aeroporti, nonché sui centri urbani di rilevanza militare¹²⁸.

Pertanto, l'impiego delle fotografie aeree storiche come strumento per l'analisi del territorio risulta essere, a primo impatto, piuttosto limitato al settore militare, ma già nel 1945 le ricerche condotte da John Bradford, nell'ambito del suo incarico di interprete di fotografie aeree militari nell'Italia meridionale, portarono alla luce importanti scoperte archeologiche di siti neolitici (Bradford, 1949, pp. 62-65), romani (Bradford e Williams-Hunt, 1946) e medievali (Bradford, 1949, pp. 70-72).

Secondo Ceraudo (2004, pp. 47-48), l'utilizzo delle fotografie storiche nel contesto della fotogrammetria aerea connota un valore aggiunto significativo poiché assume la funzione di strumento di esplorazione. Il processo di fotogrammetria aerea può, di fatto, costituire un momento in cui il ricercatore esamina il territorio tramite un modello tridimensionale del suolo. Questa pratica consente non solo di acquisire una conoscenza dettagliata delle caratteristiche geomorfologiche del territorio, ma anche di interpretare i segni e le tracce sul terreno, fornendo così nuovi spunti di ricerca.

Sotto il profilo della fotointerpretazione, tuttavia, si riscontrano delle sfide nel caso in cui le fotografie aeree storiche presentino problematiche di natura tecnica, soprattutto riguardanti la loro precisione metrica, in quanto mancano i dati di calibrazione necessari alle elaborazioni fotogrammetriche. Ciò può limitare le possibilità di integrazione dei dati provenienti dalle fotografie aeree con altre serie di dati di rilievo. Tuttavia, esistono software specializzati che consentono la creazione agevole di orto-fotografie e la generazione di dati tridimensionali, anche in situazioni in cui sono scarsi i metadati disponibili¹²⁹.

Cowley e Stichelbault (2012, p. 223) notano, tuttavia, che vi sono diversi impedimenti che ostacolano un'ottimale fruizione delle fotografie aeree storiche, tra cui la limitata accessibilità derivante dalla vastità o dal deterioramento delle raccolte fotografiche, i considerevoli costi associati alla consultazione o alla riproduzione e le restrizioni connesse alle consuetudini di archiviazione e ricerca.

¹²⁸ Durante la guerra, le missioni di ricognizione aerea coinvolgevano aerei come il British Spitfire, il Mosquito e gli statunitensi P-38 Lightning o P-51 Mustang, equipaggiati con camere fotografiche di medio o grande formato come le K-17, F24 e F52, sia in configurazioni nadirale che obliqua. Shepherd *et al.* 2018, p. 6; Gherdevich 2015, pp. 61-62.

¹²⁹ Verhoeven 2010, p. 68

Al fine di agevolare l'accesso a tali risorse, il progetto *Archeo-Landscapes Europe* (ArcLand, 2011) ha promosso un'indagine sistematica sulle collezioni fotografiche storiche, mirando a stabilire una base per la creazione di un indice esaustivo degli archivi fotografici aerei presenti in Europa¹³⁰. Il lavoro di Cowley e Stichelbault mette in luce un ulteriore ostacolo nell'uso delle collezioni fotografiche, rappresentato dalle loro dimensioni spesso considerevoli, che rendono problematica anche una semplice catalogazione. Ciò comporta difficoltà aggiuntive nello studio dei metadati associati alle fotografie, quali ad esempio le relative date di scatto. Inoltre, come accennato, in molti archivi i costi per accedere alla documentazione possono risultare elevati, specialmente quando è richiesta una consultazione in loco o l'assistenza di un ricercatore, poiché spesso mancano strumenti digitali di ricerca e la digitalizzazione delle immagini è limitata o comporta ulteriori spese.

È da notare, in aggiunta, che numerose fotografie aeree fondamentali per gli studi sul territorio militare, nonché per finalità catastali, idrografiche e storiche, sono andate perdute nel corso del tempo, per motivazioni legate sia al deterioramento naturale che all'intervento umano, come rimarcato da Fernández García (2015, p. 220).

Le immagini aeree storiche rivestono, infine, una particolare importanza dal punto di vista della protezione civile, in quanto forniscono informazioni cruciali nell'individuare i crateri delle bombe esplose (aree di bombardamento) e i possibili punti di impatto degli ordigni bellici inesplosi del secondo conflitto mondiale. Infatti, come precedentemente asserito, le statistiche militari del dopoguerra indicano che più di un milione di bombe sono state sganciate dagli Alleati sull'Italia tra il 1943 e il 1945, e un'ampia percentuale di esse non è esplosa. I danni causati dai bombardamenti sono chiaramente evidenti e documentabili sulle fotografie aeree storiche, contenenti informazioni che possono essere trasferite sull'assetto territoriale e urbano contemporaneo per una migliore comprensione e per limitare o eliminare eventuali rischi derivanti proprio dalle bombe inesplose risalenti alla Seconda guerra mondiale¹³¹. Periodo storico durante il quale ogni nazione disponeva delle proprie unità aeree specializzate nella ricognizione fotografica militare e le cui immagini ritornavano nei rispettivi paesi al termine dei conflitti bellici.

Queste fotografie costituiscono le più estese collezioni conservate sino ad oggi, custodite presso istituzioni quali il *National Archives and Records Administration* (NARA) negli Stati Uniti, l'*Imperial War Museum* nel Regno Unito, il *War Memorial* australiano, il Museo Reale dell'Esercito belga, l'Archivio Militare Bavarese, l'Aerofototeca Nazionale (AFN) di Roma e vari archivi nazionali

¹³⁰ Tale iniziativa, finanziata dall'Unione Europea durante il periodo 2010-2015, ha incoraggiato l'adozione di moderne tecniche di rilevamento e telerilevamento per fini archeologici in tutta la regione europea. L'analisi condotta ha evidenziato che un vasto patrimonio fotografico risulta distribuito tra archivi di dimensioni ridotte, istituzioni statali, musei, nonché tra aziende private e istituti universitari.

¹³¹ Shepherd *et al.* 2018, p. 8

dell'Aeronautica Militare. L'accesso alle collezioni è reso possibile dai moderni sistemi informativi geografici (GIS)¹³², anche se risulta difficile individuare specifiche fotografie aeree di eventi bellici a causa dell'ampia quantità di materiale esistente, spesso condiviso tra diverse nazioni coinvolte in conflitti simultanei su vaste aree geografiche e in date diverse.

Tra le istituzioni e gli archivi italiani spiccano le collezioni fotografiche dell'Istituto Geografico Militare (IGM) di Firenze, i fondi dell'Aeronautica Militare di Roma e quelli dell'AFN.

L'IGM, dotato di fotografie aeree che coprono il periodo dal 1861 fino ai giorni odierni, mette a disposizione un catalogo cartografico online che consente il *download* degli indici relativi.

L'Aeronautica Militare conserva immagini raffiguranti l'Italia dal 1923 fino agli anni Settanta, oltre a fotografie aeree storiche di varie nazioni europee. Tuttavia, l'accesso all'archivio è consentito solo su appuntamento e previa comunicazione scritta personale da parte dell'ufficiale responsabile dell'Aeronautica Militare.

L'Aerofototeca Nazionale conserva, invece, un vasto patrimonio fotografico unico, che spazia dal 1898 fino ad oggi, e l'accesso è consentito esclusivamente su appuntamento. Il materiale qui presente proviene da fonti diverse, comprendendo fotografie dagli Stati Uniti, dal Regno Unito e dalla Germania risalenti alla Seconda Guerra Mondiale, immagini dell'Aeronautica Militare Italiana a partire dal 1923 e fotografie scattate sia da enti pubblici che privati¹³³.

L'AFN, che costituisce il principale archivio civile dedicato alla raccolta e all'analisi del materiale aerofotografico relativo al territorio italiano¹³⁴, è stata selezionata come fonte primaria per il lavoro di tesi, in virtù della sua rilevanza e completezza nel settore.

Istituita nel 1958 come sezione distaccata del Gabinetto Fotografico Nazionale del Ministero della Pubblica Istruzione¹³⁵, l'Aerofototeca Nazionale è stata integrata, a partire dal 1975, all'interno dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione¹³⁶, consolidando così il suo ruolo di riferimento nazionale per la conservazione e lo studio del patrimonio aerofotografico italiano.

L'istituzione dell'Aerofototeca Nazionale, voluta da Guglielmo De Angelis D'Ossat e Dinu Adamesteanu, rispondeva all'esigenza di integrare la fotografia aerea negli studi archeologici e topografici. Pertanto, la creazione di un ufficio distaccato all'interno del Gabinetto Fotografico

¹³² Stichelbaut e Bourgeois 2009, p. 235

¹³³ Ceraudo e Shepherd 2010, pp. 237-238

¹³⁴ Aerofototeca Nazionale, <http://www.iccd.beniculturali.it/index.php?it/98/aerofototeca-nazionale> (ultima consultazione 26 marzo 2024)

¹³⁵ Voluta e realizzata dall'allora Direttore generale delle antichità e Belle Arti Guglielmo De Angelis D'Ossat, l'ispettore del Gabinetto Fotografico Nazionale Dinu Adamesteanu, il generale dell'Aeronautica e direttore della scuola di Aerocooperazione di Guidonia Domenico Ludovico, il colonnello dell'istituto Geografico Militare Giulio Schmiedt, i professori di Topografia e dell'Italia antica presso l'Università di Roma La Sapienza Giuseppe Lugli e Ferdinando Castagnoli. Shepherd 2009, p. 7.

¹³⁶ Aerofototeca Nazionale, <http://www.iccd.beniculturali.it/index.php?it/98/aerofototeca-nazionale> (ultima consultazione 26 marzo 2024)

Nazionale aveva lo scopo di centralizzare e rendere accessibile a tutti i ricercatori l'ampio patrimonio di immagini aeree¹³⁷, precedentemente gestito in modo esclusivo dal Ministero della Difesa Aeronautica, in ottemperanza alla normativa del 1939 (regio decreto 1732 del 22 luglio 1939)¹³⁸.

Alla direzione dell'Aerofototeca Nazionale si sono succeduti, tra il 1958 e il 2008, illustri studiosi quali Dinu Adamesteanu, Giovanna Alvisi e Maria Filomena Boemi¹³⁹. In particolare, Adamesteanu, accademico di origine rumena, fu pioniere dell'applicazione della fotografia aerea militare alle ricerche archeologiche e di coperture appositamente pianificate per le sue ricerche sulla Sicilia e sulla Basilicata negli anni Cinquanta (Adamesteanu, 1957). Egli ha svolto un ruolo fondamentale nella costituzione e nella crescita della collezione, promuovendo l'utilizzo di immagini aeree verticali non solo per scopi cartografici, ma anche per lo studio del patrimonio culturale¹⁴⁰.

L'Aerofototeca Nazionale ha accumulato nel corso degli anni un cospicuo patrimonio iconografico, costituito da milioni di immagini aeree del territorio italiano di diversa provenienza archivistica, risalenti alla fine dell'Ottocento e coprenti un arco temporale che giunge fino al 2015¹⁴¹. Nel 1961, lo Stato Maggiore dell'Aeronautica Militare (AM) ha ulteriormente arricchito il suo patrimonio, trasferendo all'Aerofototeca un vasto corpus di negativi (lastre e pellicole) e positivi, compresi i fotopiani relativi ad aree di interesse archeologico, realizzati tra il 1947 e 1961 con aggiunte successive fino al 1978 (Fig. 34-35).

L'Istituto Geografico Militare ha, inoltre, fornito un contributo determinante alla costituzione dell'Aerofototeca Nazionale, donando un cospicuo corpus di immagini aeree e mettendo a disposizione le competenze del colonnello Giulio Schmiedt per l'implementazione di un innovativo sistema di gestione e consultazione dell'archivio, basato su criteri cartografici¹⁴².

Tra il 1964 e il 1975, il patrimonio dell'Aerofototeca Nazionale si è arricchito significativamente grazie all'integrazione delle collezioni fotografiche belliche custodite dalla *British School at Rome* (BSR) e dall'*American Academy in Rome* (AAR)¹⁴³.

Durante la direzione di Giovanna Alvisi, dal 1964 al 1990, l'Aerofototeca Nazionale ha acquistato preziose collezioni fotografiche provenienti da enti e società operanti nel settore dell'aerofotogrammetria, quali l'Ente Topografico Aerofotogrammetrico (E.T.A.), la Società Aerofotografica (S.A.F.), l'Ente Italiano Rilievi Aerofotogrammetrici (EIRA), del catasto toscano,

¹³⁷ Shepherd 2009, p. 7

¹³⁸ Storia Aerofototeca Nazionale, <http://www.iccd.beniculturali.it/index.php?it/126/storia> (ultima consultazione 26 marzo 2024)

¹³⁹ Boemi 2003, pp.23-26; Shepherd 2009, p. 7

¹⁴⁰ Musson *et al.* 2013, p. 27

¹⁴¹ Aerofototeca Nazionale, <http://www.iccd.beniculturali.it/index.php?it/98/aerofototeca-nazionale> (ultima consultazione 26 marzo 2024)

¹⁴² Shepherd 2009, p. 8

¹⁴³ Shepherd *et al.* 2012, p. 13

Fotocielo; nonché le diacolor delle aziende Lisandrelli e I-BUGA (dal nome dell'aereo di proprietà di A. Bugamelli)¹⁴⁴.

Nel 2000, l'Aerofototeca Nazionale ha dunque trasferito la propria sede dalla storica ubicazione all'EUR al complesso di San Michele a Ripa, unendosi agli altri archivi storici dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD)¹⁴⁵. La nuova ubicazione ha consentito di riunire in un unico polo culturale un patrimonio di inestimabile valore.

Sin dalla sua istituzione, l'Aerofototeca Nazionale ha promosso un approccio interdisciplinare alla valorizzazione del patrimonio fotografico aereo, favorendo la collaborazione tra esperti di diverse discipline e offrendo una formazione specialistica ai tecnici delle soprintendenze, finalizzata all'interpretazione corretta delle immagini aeree¹⁴⁶.

Da allora, l'Aerofototeca si è costantemente dedicata alla conservazione, catalogazione e valorizzazione del proprio patrimonio fotografico, garantendo l'accessibilità del pubblico alle immagini e promuovendo la diffusione della conoscenza scientifica attraverso la fornitura di copie e la realizzazione di pubblicazioni specializzate.

A partire dal 2006, al fine di garantire la conservazione a lungo termine del proprio patrimonio fotografico, l'AFN ha avviato, in collaborazione con l'Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro e l'Istituto Centrale per la Conservazione del Patrimonio Archivistico e Librario, un'articolata attività di monitoraggio conservativo. Parallelamente, è stata intrapresa un'ambiziosa campagna di digitalizzazione, finalizzata tanto alla divulgazione quanto alla salvaguardia delle immagini (Fig. 36)¹⁴⁷.

Il patrimonio fotografico dell'Aerofototeca Nazionale è organizzato in collezioni e fondi¹⁴⁸, ciascuno dei quali corrisponde a un'istituzione specifica che ha prodotto o detenuto le immagini. Le fotografie prospettiche sono classificate in base a criteri rigorosi, che includono la provenienza, l'identificativo del foglio Istituto Geografico Militare (IGM), l'anno di ripresa e il numero di strisciata. Le fotografie planimetriche e planoprospectiche, all'interno di ciascun foglio IGM, sono ulteriormente suddivise in base al numero di strisciata e al numero di fotogramma¹⁴⁹.

¹⁴⁴ Per l'elenco completo dei fondi AFN si veda il Censimento degli archivi fotografici in Italia, <http://www.censimento.fotografia.italia.it> (ultima consultazione 26 marzo 2024)

¹⁴⁵ Storia Aerofototeca Nazionale, <http://www.iccd.beniculturali.it/index.php?it/126/storia> (ultima consultazione 26 marzo 2024); Boemi 2003, p. 31

¹⁴⁶ Boemi 2003, pp. 43-44; Shepherd 2009, pp. 8-9

¹⁴⁷ *Ibidem*

¹⁴⁸ Tra le immagini disponibili alla consultazione in AFN si annoverano quelle delle campagne di ricognizione delle ultime fasi della Seconda guerra mondiale, eseguite dal Mediterranean Allied Photo Reconnaissance Wing (MAPRW), il braccio di ricognizione e intelligence delle Forze Aeree Militari Alleate (MAAF) composto dalla Royal Air Force inglese (RAF), la Forza dell'Africa sudafricana (SAAF), l'Air Force dell'esercito degli Stati Uniti (USAAF) e altri. Questa attività di ricognizione nella campagna italiana del 1943-45 ha prodotto milioni di fotografie, tra cui circa 600.000 fotografie di USAAF e circa 283.005 di RAF.

¹⁴⁹ Boemi 2003, pp. 43-44; Shepherd 2009, pp. 8-9

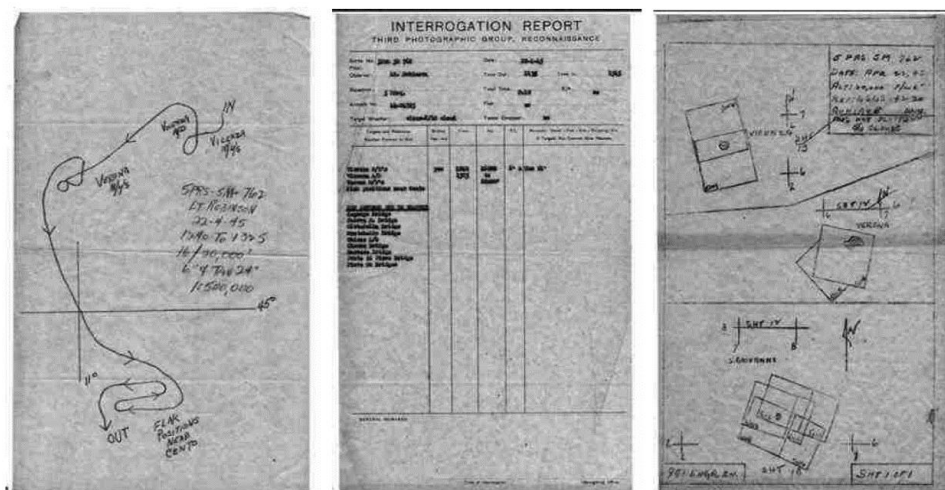


Figura 34 La prima immagine: AFN, fondo MAPRW, collezione AAR 22 aprile 1945: piano di volo (pilots trace) della sortie 5PRS 5M 762, al comando del Ten. Robinson, su varie città del Veneto. È segnata la presenza della contraerea (flak) nei pressi di Cento. Durata del volo: dalle 12:40 alle 13:45. La seconda foto: AFN, fondo MAPRW, collezione AAR 22 aprile 1945: Interrogation report della sortie 5PRS 5M 762 con i dati riferiti dal Com. Robinson all'ufficiale dell'intelligence al ritorno della missione, ore 13,45. Terza immagine: AFN, fondo MAPRW, collezione AAR 22 aprile 1945: grafico (plotting) dei fotogrammi della sortie 5PRS 5M 762. Fonte: Shepherd et al. 2012, fig. 4-5-6, p. 19

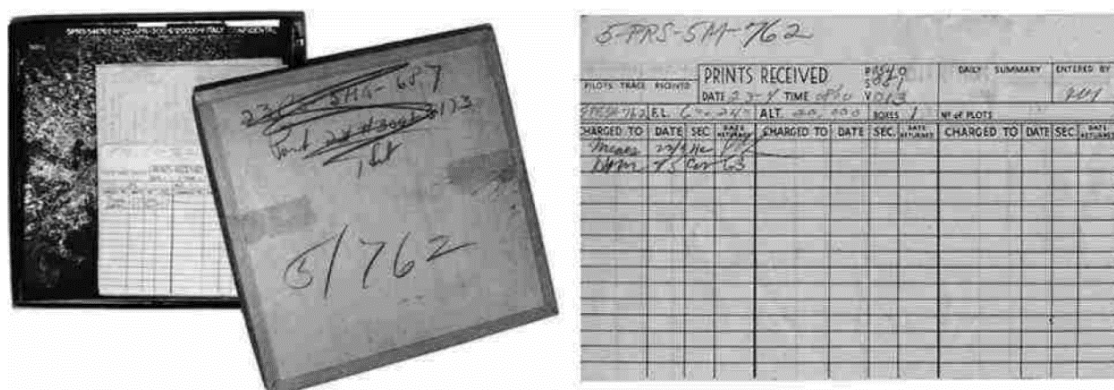


Figura 35 A sinistra: AFN, fondo MAPRW, collezione AAR: scatola originale contenente la striscia e le carte di accompagnamento relative alla sortie 5PRS 5M 762 PSV, formato delle immagini 6 e 24 pollici, quota 20.000 piedi, volo del 22 aprile del 1945 sul Veneto. A destra: AFN, fondo MAPRW, collezione AAR 22 aprile 1945: prints received relativo alla presa in carico della striscia sortie 5PRS 5M 762, in data 23 aprile, ore 8, da parte della sezione di fotointerpretazione HC (High Command?). Fonte: Shepherd et al. 2012, fig. 3-7, p. 19



Figura 36 AFN, locali di archivio. Fondo MAPRW, collezione AAR. Sonda termoigrometrica (in alto a sinistra); AFN, locali di archivio. Sonda termica a contatto (a sinistra, figura centrale); AFN, locali di archivio. Fondo MAPRW, collezione AAR. Prelievo dell'aria tramite apparecchiatura SAS (Surface Air System) per analisi microbiologica dell'aria. (a destra); AFN, locali di archivio. Trappola per monitoraggio entomologico (in basso a sinistra). Fonte: Shepherd et al. 2012, fig. 3-7, p. 22

I positivi e i negativi fotografici, quando presenti nelle collezioni, mostrano spesso una notevole fragilità strutturale, dovuta in gran parte alla loro originaria funzione di documenti di lavoro, destinati a un uso immediato sul campo piuttosto che a una conservazione a lungo termine¹⁵⁰. Pertanto, la consultazione di tali materiali richiede l'adozione di specifiche precauzioni, quali limitare il tempo di permanenza nelle sale di consultazione climatizzate e l'utilizzo di guanti e mascherine protettive (Fig. 37)



Figura 37 Consultazione dei positivi fotografici RAF (Royal Air Force) del 1944, scattati sulla città di Viterbo e oggi conservati presso le stanze di archivio climatizzate della Aerofototeca Nazionale di Roma. Le fasi di consultazione dell'Archivio fotografico procedono dall'individuazione del fondo, alla selezione e studio comparativo e fotogrammetrico dei positivi fotografici disponibili. Fotografie delle fasi di consultazione dell'archivio autoprodotte

¹⁵⁰ Shepherd et al. 2018, p. 7

Attualmente, l'Aerofototeca Nazionale dispone di un Web-GIS¹⁵¹, che consente l'accesso a un vasto patrimonio di immagini aeree digitalizzate. Tale sistema è frutto di un'articolata attività di digitalizzazione, condotta a risoluzioni elevate (600-1200 dpi), e di georeferenziazione, che ha permesso di associare l'ingombro di ogni immagine a una precisa posizione geografica. La ricerca in esame ha ulteriormente arricchito il Web-GIS attraverso la digitalizzazione e l'inventariazione di copie digitali dei positivi fotografici, integrando così il catalogo delle immagini disponibili.

Una delle principali sfide legate alla valorizzazione del prezioso patrimonio fotografico risiede nella carenza di metadati associati alle immagini, quali piani di volo o informazioni contestuali. L'assenza di tali dati, unita all'ampia mole di materiale disponibile, rende indispensabile un prossimo sviluppo di procedure automatizzate per la loro gestione. In merito alle procedure di georeferenziazione finora adottate, invece, è stato necessario l'intervento manuale, in particolare per l'identificazione dei punti omologhi tra immagini storiche e basi cartografiche contemporanee, a causa delle profonde trasformazioni territoriali avvenute negli ultimi settant'anni. Nonostante queste complessità, i dati georeferenziati sono resi accessibili al pubblico attraverso il Web-GIS, favorendo la diffusione e la valorizzazione di tale patrimonio storico (Fig. 38)

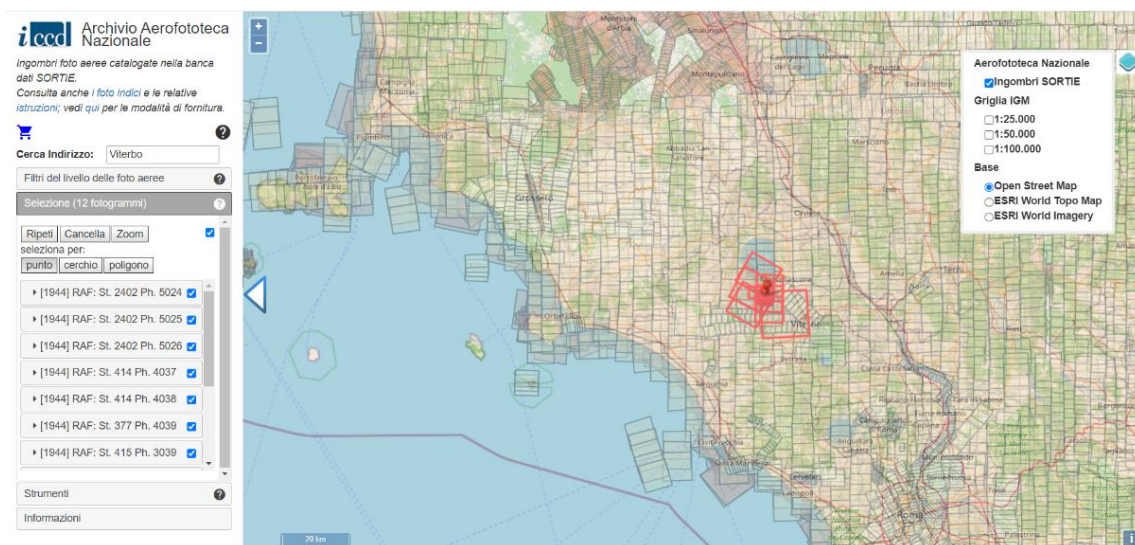


Figura 38 Web-GIS ICCD Archivio Aerofototeca Nazionale di Roma. Dal filtro selezionato, “Viterbo 1944”, sono state individuate le strisciate fotografiche di maggior interesse, di cui evidenziati in rosso si vedono gli ingombri dei poligoni georeferenziati. Fonte: Archivio Aerofototeca Nazionale, ingombri foto aeree catalogate nella banca dati SORTIE. <https://afn.cultura.gov.it/webgis/#> (ultima consultazione 28 marzo 2024)

¹⁵¹ Archivio Aerofototeca Nazionale, ingombri foto aeree catalogate nella banca dati SORTIE. <https://afn.cultura.gov.it/webgis/> (ultima consultazione 27/11/2024)

2.3. Fotogrammetria aerea e interpretazione delle immagini storiche

La fotogrammetria, ufficialmente sviluppatasi a metà del XIX secolo come "fototopografia" (I. Porro¹⁵²) o "metrofotografia" (A. Laussedat), inizialmente serviva per mappare territori impervi e documentare architetture complesse per cui si impiegava la cosiddetta fotogrammetria dei vicini, nota anche come *close range photogrammetry*¹⁵³. Progressivamente il campo di applicazione della fotogrammetria si è esteso alla cartografia territoriale e, più recentemente, a una vasta gamma di discipline, tra cui la geoinformatica, la cartografia, l'ingegneria civile e l'archeologia¹⁵⁴.

Aimé Laussedat¹⁵⁵, considerato il padre della disciplina, condusse per primo esperimenti per la creazione di mappe topografiche, introducendo un metodo basato su immagini prospettiche come strumenti metrici. Il termine "fotogrammetria", derivante dal greco (φῶς = luce, γράμμα = immagine, μέτρον = misura), fu coniato nel 1876 dal geodeta W. Jordan¹⁵⁶. L'evoluzione proseguì con l'adozione della stereoscopia da parte del fisico tedesco Carl Pulfrich e lo sviluppo di strumenti quali lo Stereocomparatore (1901) e lo Stereoautografo (1909), che segnarono l'era degli strumenti ottico-meccanici. L'aerofotogrammetria, o fotogrammetria aerea, invece, ebbe impulso con l'austriaco Theodor Scheimpflug¹⁵⁷ e trovò applicazione massiva durante la Prima Guerra Mondiale grazie all'avvento dell'aeroplano¹⁵⁸. Contemporaneamente in Italia, figure come Umberto Nistri¹⁵⁹ ed

¹⁵² Ignazio Porro, pioniere della fotografia applicata alle scienze della Terra, ideò un innovativo strumento fotografico destinato alla topografia. Nonostante la realizzazione di alcuni prototipi, le limitate possibilità sperimentali dell'epoca impedirono una dimostrazione su larga scala delle potenzialità di tali apparecchi. Il valore delle sue intuizioni fu pienamente riconosciuto solo quattro decenni più tardi. Mazzon 1975.

¹⁵³ La *close range photogrammetry*, o fotogrammetria di prossimità, è una tecnica di rilievo che utilizza immagini digitali per creare modelli tridimensionali dettagliati di oggetti relativamente vicini, tipicamente entro un raggio di 30 metri. Questa metodologia trova applicazione in diversi settori, tra cui l'urbanistica (per lo studio di aree da riqualificare), l'ingegneria (per analisi strutturali e modelli 3D di edifici), l'archeologia e l'arte (per il restauro di reperti), la medicina legale (per indagini su incidenti) e molti altri.

¹⁵⁴ Gaiani 2011, p. 11

¹⁵⁵ Aimé Laussedat, Ufficiale del Genio francese, fu il primo a concepire l'uso delle viste prospettiche come documenti metrici per ricostruire il "fascio prospettico", ovvero l'insieme dei raggi visuali che collegano i punti di una costruzione all'occhio dell'osservatore. L'allineamento preciso delle viste prospettiche era realizzato con la camera chiara di Wollaston, uno strumento perfezionato da Caristie. Nel 1849, Laussedat utilizzò questo dispositivo per condurre il primo esperimento di misurazione geometrica precisa, applicandolo a una vista della Cupola degli Invalidi di Parigi ripresa da piazza Vauban. Ferri 1992, p. 392.

¹⁵⁶ Piccarreta e Ceraudo 2000, p. 48

¹⁵⁷ Theodor Scheimpflug, un ufficiale austriaco, ha sviluppato un principio fondamentale in fotografia, noto come Regola di Scheimpflug. Questa regola, utilizzata principalmente nell'aerofotogrammetria, consente di correggere le distorsioni prospettiche nelle immagini.

¹⁵⁸ Piccarreta e Ceraudo 2000, pp. 48-49

¹⁵⁹ Umberto Nistri, osservatore d'aeroplano durante la Prima Guerra Mondiale e comandante della Scuola di Osservazione Aerea, fondò il primo laboratorio di fotogrammetria aerea, la SARA (Società Anonima Rilevamenti Fotogrammetrici). Negli anni Trenta, la SARA raggiunse il suo apice, curando nel 1933, insieme alla Società Anonima Officine Galileo, i rilievi per la realizzazione delle mappe catastali. Boemi 1999, p. 3; Bitelli *et al.* 2016, p. 46.

Ermenegildo Santoni¹⁶⁰ contribuirono significativamente allo sviluppo di strumenti avanzati, come il Fotocartografo (1921) e gli stereocartografi (1925).

Dal secondo dopoguerra, i restitutori analogici dominarono la cartografia, fino all'avvento dei calcolatori elettronici negli anni '50. Uki Heleva¹⁶¹, nel 1957, introdusse il principio del restitutore analitico, seguito dalla fotogrammetria digitale, anche detta *soft photogrammetry*, iniziata con Tapani Sarjakoski¹⁶² nel 1981 e consolidata con sistemi come il *Digital Comparator Correlation System* (DCCS) nel 1982-1983¹⁶³.

A seguito dell'evoluzione delle tecniche fotogrammetriche analogiche e analitiche, a partire dagli anni '90 si è assistito all'affermazione della fotogrammetria digitale¹⁶⁴, quale innovativa metodologia, caratterizzata da un elevato grado di automazione e da una sensibile riduzione dei costi, che ha reso accessibile a un pubblico sempre più ampio l'esecuzione di rilievi metrici di precisione, superando le limitazioni insite nelle strumentazioni tradizionali¹⁶⁵.

La fotogrammetria, dunque, sin dalle sue origini, ha richiesto una competenza tecnica specialistica e l'applicazione di metodologie sofisticate. Le prime fasi della sua evoluzione sono state caratterizzate da un approccio prevalentemente analitico, in cui le correzioni geometriche delle immagini venivano effettuate manualmente attraverso complessi calcoli matematici, prima dell'avvento dei suddetti strumenti analogici, basati su principi ottico-meccanici¹⁶⁶. Con l'avvento dei calcolatori elettronici, invece, la fotogrammetria si è sviluppata verso un approccio nuovamente analitico ma automatizzato, in cui i complessi calcoli necessari per la restituzione tridimensionale venivano eseguiti da elaboratori elettronici¹⁶⁷.

Le metodologie fotogrammetriche tradizionali, sia analitiche che analogiche, richiedevano l'acquisizione di immagini su supporti appositi, quali le pellicole fotografiche. Tali immagini dovevano essere successivamente digitalizzate mediante scanner dedicati, introducendo un'ulteriore

¹⁶⁰ Ermenegildo Santoni, osservatore d'aeroplano nell'Aviazione, brevettò la "camera solare" e l'Autoriduttore nel 1920. Nel 1925 progettò lo Stereocartografo Mod. I presso l'I.G.M. e successivamente sviluppò i modelli IV e V presso le Officine Galileo di Firenze, considerati il punto più avanzato nella tecnologia dei fotorestitutori analogici meccanici. Piccarreta e Ceraudo 2000, p. 50.

¹⁶¹ Uki Heleva, di origine finlandese, nel 1957, durante la Conferenza Internazionale di Fotogrammetria tenutasi a Ottawa, Canada, presentò il principio del restitutore analitico (*analytical plotter*). Basandosi sui suoi brevetti, nel 1961 la O.M.I. sviluppò i primi restitutori analitici destinati a impieghi militari. Piccarreta e Ceraudo 2000, p. 53.

¹⁶² Tapani Sarjakoski è a capo del Dipartimento di Geoinformatica e Cartografia dell'Istituto di Ricerca Geospaziale Finlandese (FGI). Istituto di Ricerca Geospaziale Finlandese - FGI. Ha conseguito i titoli di M.Sc. (Tech.) e di D.Sc. (Tech.) in fotogrammetria presso l'Università di Tecnologia di Helsinki. Attualmente è anche professore a contratto di geoinformatica presso l'Università di Helsinki e di fotogrammetria presso l'Università di Aalto. I suoi attuali interessi di ricerca includono il geocomputing ad alte prestazioni per insiemi di dati massicci e l'integrazione di soluzioni di geocomputing ad alte prestazioni in applicazioni utente basate sul Web. Laakso, *et al.* 2017.

¹⁶³ Piccarreta e Ceraudo 2000, p. 54

¹⁶⁴ Cavalieri *et al.* 2009, pp. 3-4; Benedetti *et al.* 2010, p. 88

¹⁶⁵ Adami 2015, p. 339

¹⁶⁶ Ceraudo 1999, pp. 60-68

¹⁶⁷ *Ibidem*, pp. 63-69

fase nel processo di elaborazione dei dati. Con l'avvento della fotografia digitale, la fase intermedia è stata eliminata, semplificando notevolmente il flusso di lavoro e migliorando la qualità dei dati acquisiti¹⁶⁸. Inoltre, la possibilità di incorporare all'interno dei file immagine una vasta gamma di metadati ha consentito di utilizzare, per applicazioni fotogrammetriche, anche fotocamere digitali commerciali, non specificatamente progettate per il rilievo¹⁶⁹ e software semiautomatizzati per il processamento delle immagini stesse.

In aggiunta, l'avvento dei Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (*Remotely Piloted Aircraft Systems*, SAPR), comunemente noti come droni, congiuntamente all'incremento esponenziale della potenza di calcolo dei personal computer e alla diffusione di software fotogrammetrici digitali sempre più sofisticati, ha rivoluzionato il settore dei rilievi territoriali. Tali innovazioni tecnologiche hanno reso possibile l'elaborazione di immagini digitali non fotogrammetriche, acquisite mediante strumentazioni metriche specialistiche, né la necessità di disporre di certificati di calibrazione dell'apparecchiatura fotografica o di marcatori fiduciali agli angoli e ai margini delle fotografie storiche per l'orientamento interno dell'immagine. Di conseguenza, è stato possibile recuperare e valorizzare un vastissimo patrimonio fotografico, sia recente che storico, aprendo nuove frontiere nella documentazione e nella rappresentazione del territorio¹⁷⁰.

Tuttavia, ancora oggi, l'esame preliminare e la selezione delle immagini costituiscono una fase propedeutica imprescindibile al complesso processo fotogrammetrico, che si configura quale un insieme di metodologie finalizzate all'acquisizione e all'elaborazione di immagini fotografiche di oggetti di varia natura, con l'obiettivo primario di estrarre dati metrici tridimensionali relativi alla forma, alle dimensioni e alla posizione spaziale degli stessi¹⁷¹. Le misure ottenute tramite tale pratica possono essere successivamente convertite, in base alle specifiche esigenze applicative, in rappresentazioni grafiche, numeriche o fotografiche che rispecchino fedelmente la geometria dell'oggetto in esame, mantenendo inalterata la scala di riferimento¹⁷².

Ciò nonostante, l'applicazione di tale tecnica si è scontrata sin dalle sue origini con una serie di complessità legate alla geometria prospettica delle immagini fotografiche. In particolare, la proiezione conica centrale, tipica delle riprese aeree, introduce inevitabili distorsioni tangenziali e radiali, particolarmente accentuate nelle zone periferiche del fotogramma, che hanno sempre rappresentato un ostacolo significativo per la produzione di modelli metrici accurati¹⁷³.

¹⁶⁸ Ceraudo 1999, pp. 70-71

¹⁶⁹ Paris 2015, p. 3

¹⁷⁰ Adami 2015, p. 339

¹⁷¹ Sonnemann *et al.* 2006, p. 573

¹⁷² Ferri 1992, pp. 391-392; Paris 2015, p. 3

¹⁷³ Ceraudo 1999, p. 60; Bianchini 2008, p.148

Proprio per i vari tentativi provati nel tempo per trovare soluzione a tale problematica, la fotogrammetria si articola in due principali branche metodologiche: la fotogrammetria monoscopica e la fotogrammetria stereoscopica. La prima, limitandosi all'analisi di un singolo fotogramma, consente di ottenere una rappresentazione bidimensionale, ortogonale alla linea di visuale dell'oggetto ripreso. La seconda, invece, sfrutta la parallasse presente in due o più immagini dello stesso oggetto, acquisite da punti di vista differenti, per ricostruire un modello tridimensionale completo, esprimibile nelle coordinate cartesiane (x, y, z) ¹⁷⁴. La sovrapposizione minima del 60% tra le immagini è considerata un requisito fondamentale per garantire la qualità e l'accuratezza della restituzione stereoscopica (Fig. 39). Infatti, la fotogrammetria stereoscopica si basa sullo stesso principio che regola il funzionamento della vista umana, che percepisce la profondità grazie alla leggera disparità delle immagini retiniche dei due occhi. Similmente, acquisendo due o più immagini di uno stesso oggetto da posizioni leggermente diverse, è possibile simulare la visione stereoscopica e ricostruire un modello tridimensionale dettagliato dell'oggetto stesso. L'angolo di parallasse, ovvero la differenza angolare tra le direzioni in cui due punti corrispondenti sono proiettati sulle immagini, fornisce l'informazione fondamentale per il calcolo delle coordinate tridimensionali di ogni punto del modello¹⁷⁵.

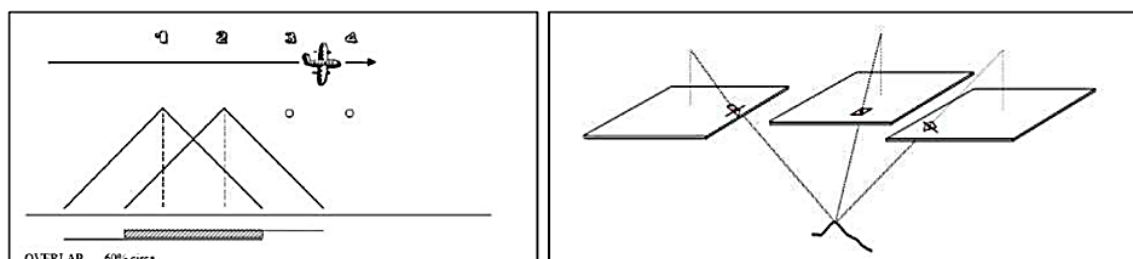


Figura 39 A sinistra, striscia di fotografie aeree verticali scattate lungo un percorso prestabilito che si sovrappongono del 60%. Fonte: Boemi 1999, p. 10; a destra, diagramma che rappresenta le corrispondenze degli stessi punti a terra in immagini acquisite da più angoli di osservazione. Fonte: Dalla Mura et al. 2012, p. 2

Grazie alla progressiva semplificazione dei software fotogrammetrici e dei loro algoritmi di elaborazione, è possibile automatizzare le tre fasi fondamentali dell'orientamento dei fotogrammi¹⁷⁶: l'orientamento interno, finalizzato alla determinazione dei parametri interni della singola immagine; l'orientamento relativo, che stabilisce le relazioni geometriche tra coppie di fotogrammi; e l'orientamento assoluto, che collega le coordinate immagine a un sistema di riferimento esterno.

¹⁷⁴ Bianchini 2008, pp. 147-148

¹⁷⁵ Remondino 2014, p. 66

¹⁷⁶ D'Apostoli 2012, pp. 137-144

L'incontro con la *Computer Vision* ha ulteriormente accelerato il processo di automatizzazione, rendendo la fotogrammetria una disciplina sempre più accessibile e versatile¹⁷⁷.

Per approfondire l'attuale potenziale delle tecniche fotogrammetriche, si deve ricordare che il fondamento della fotogrammetria risiede nel principio di collinearità. Esso stabilisce che il centro della lente dell'obiettivo fotografico, il punto dell'oggetto ripreso e il punto corrispondente sull'immagine giacciono tutti su una stessa linea retta. Questo principio, applicato a due o più immagini dello stesso oggetto, consente di determinare la posizione tridimensionale di tali punti nello spazio¹⁷⁸.

La collinearità viene calcolata a partire dalla calibrazione di una camera fotografica, che consiste nel determinare con precisione le caratteristiche geometriche del dispositivo impiegato, come la lunghezza focale e la posizione del centro ottico. Pertanto, una corretta calibrazione e progettualità delle stazioni/punti di ripresa è essenziale per ottenere risultati accurati e affidabili nella ricostruzione tridimensionale a partire dalle immagini. I software di fotogrammetria più recenti automatizzano gran parte del processo di calibrazione, richiedendo all'operatore di fornire solo poche informazioni di base, come la lunghezza focale della lente e le caratteristiche del sensore della fotocamera, la dimensione del pixel e la qualità massima dell'immagine, oltre ad eventuali mire¹⁷⁹.

Successivamente, si procede con la fase di orientamento, che si basa sull'identificazione di punti di controllo comuni a più immagini (detti "tie points"). È necessario individuare almeno cinque punti di controllo distribuiti in modo non collineare e non complanare. I punti, grazie ai parametri intrinseci ed estrinseci della fotocamera e al principio di collinearità, vengono proiettati in uno spazio tridimensionale comune, dando origine a una nuvola di punti sparsa¹⁸⁰.

L'automazione di tali processi è stata resa possibile dall'introduzione di algoritmi di *Structure from Motion* (SFM), o *Structure and Motion*, all'interno dei software dedicati, che consentono di stimare simultaneamente i parametri di orientamento della camera e le coordinate spaziali dei punti di interesse presenti nelle immagini, attraverso un processo noto come *bundle adjustment*, basato sul metodo risolvante dei minimi quadrati¹⁸¹. Tra gli algoritmi più comunemente impiegati, si segnala il *feature matching*, in grado di preservare l'invarianza rispetto a variazioni di scala, rotazioni e distorsioni radiometriche delle immagini. La fase successiva del processo consiste nella *feature detection*, che permette di individuare caratteristiche distintive all'interno di ciascun fotogramma.

¹⁷⁷ Remondino 2014, p. 66

¹⁷⁸ *Ibidem*

¹⁷⁹ *Ibidem*, pp. 68 e 70

¹⁸⁰ *Ibidem*, p. 70

¹⁸¹ Il metodo dei minimi quadrati è una tecnica statistica che consente di trovare la curva che meglio si adatta a un insieme di dati. In altre parole, questa metodologia identifica la linea (o curva) che passa più vicina a tutti i punti rappresentati dai dati, minimizzando così la distanza complessiva tra i punti e la linea stessa. Rizzo 2013, p. 18.

Successivamente, si procede alla creazione di una lista di corrispondenze preliminare tra coppie di punti di interesse delle diverse immagini, sulla base di misure di similarità. La lista, inevitabilmente affetta da un certo grado di errore, viene raffinata attraverso l'impiego di un modello dell'oggetto, al fine di eliminare le corrispondenze non coerenti. Ulteriori raffinamenti vengono ottenuti mediante l'applicazione di *interest operators* e degli *edge detector*, che consentono di scartare le corrispondenze errate e di migliorare l'allineamento tra le immagini. Per l'estrazione e la descrizione delle caratteristiche dei punti omologhi tra le immagini, si ricorre all'algoritmo *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT)¹⁸². La stima dei parametri di orientamento interno ed esterno delle camere viene effettuata mediante un operatore *greedy*, che consiste in un algoritmo in grado di trovare la soluzione ottimale a livello globale¹⁸³, ulteriormente raffinato da un algoritmo di *bundle adjustment*¹⁸⁴.

Segue, dunque, la creazione di coordinate 3D puntuali a partire dalle corrispondenze individuate tra le immagini per sviluppare nuvole di punti sparse o dense (Fig. 40)¹⁸⁵, dalle quali è possibile generare una *mesh* tridimensionale. Essa rappresenta una discretizzazione della superficie dell'oggetto e viene costruita connettendo i punti mediante una rete di linee e poligoni, tipicamente triangolari¹⁸⁶. Il modello 3D così ottenuto può essere visualizzato in diverse modalità (Fig. 41): 'Wireframe', in cui vengono visualizzati esclusivamente gli spigoli della *mesh*, consentendo di apprezzare la struttura geometrica sottostante; 'Solid', in cui la superficie della *mesh* viene visualizzata come un solido omogeneo, evidenziando le forme geometriche principali; e 'Shaded', in cui la superficie della *mesh* viene colorata in base ai valori di colore associati ai vertici, consentendo di ottenere una visualizzazione più realistica.

Le modalità di visualizzazione sopra descritte non consentono di ottenere un risultato fotorealistico. Per raggiungere tale obiettivo, è necessario applicare un processo di texturizzazione alla *mesh* tridimensionale. L'operazione consiste nell'associare alle facce della *mesh* le corrispondenti texture (Fig. 42), ottenute dalle immagini originali. Durante questa fase, possono insorgere alcune problematiche legate a variazioni di luminosità, riflessi speculari e differenze cromatiche tra le immagini. Per mitigare tali effetti, è fondamentale garantire un'illuminazione uniforme e controllata durante l'acquisizione delle immagini, oppure ricorrere all'acquisizione di immagini ad alta gamma dinamica (HDR, *High Dinamic Range*)¹⁸⁷.

¹⁸² Lingua *et al.* 2008, p. 1339

¹⁸³ Sfacteria 2016, p. 279

¹⁸⁴ Rizzo 2013, p. 18

¹⁸⁵ Remondino 2014, p. 70

¹⁸⁶ *Ibidem*

¹⁸⁷ *Ibidem*, p. 71

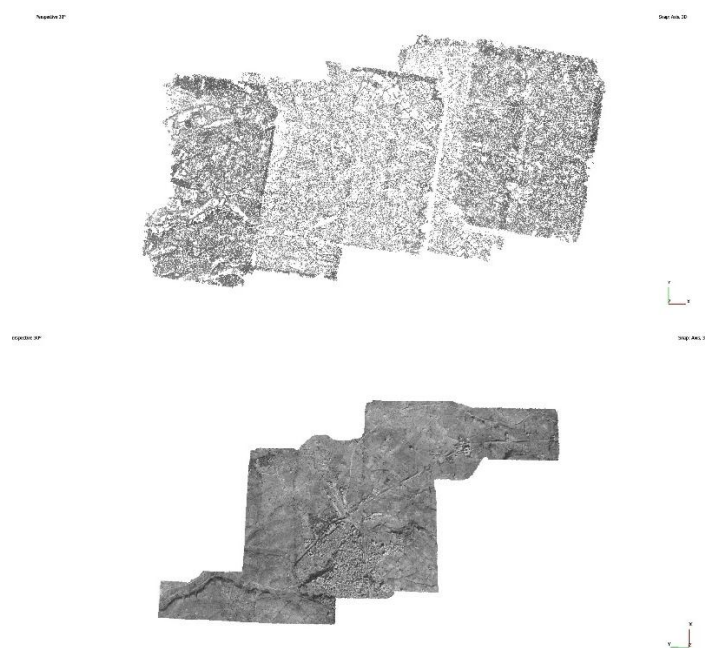


Figura 40 In alto nuvola sparsa prodotta in Metashape® da foto aeree storiche; in basso nuvola densa prodotta dalla precedente nuvola sparsa. Immagini autoprodotte

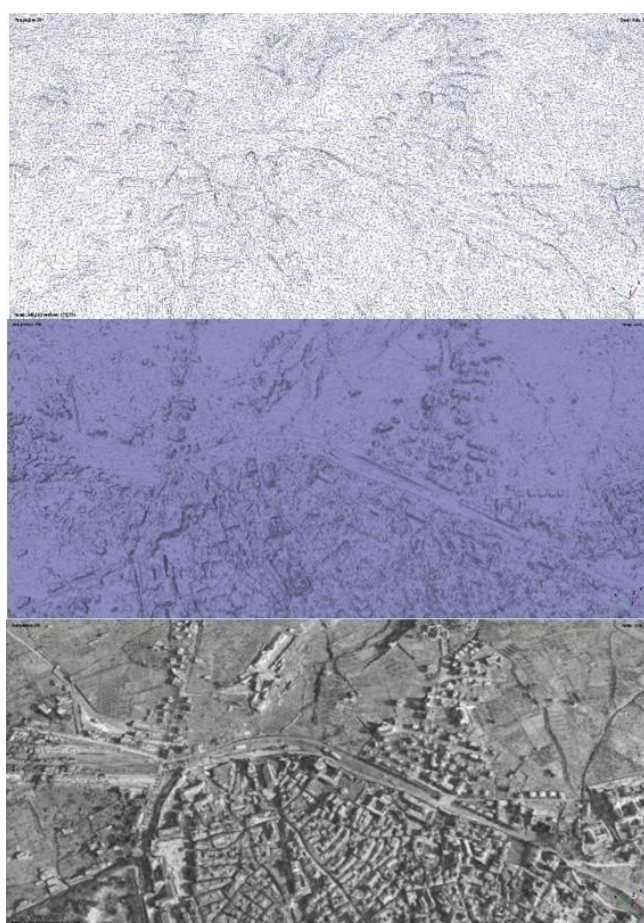


Figura 41 Il modello 3D può essere visualizzato in diverse modalità: in alto, 'Wireframe', al centro 'Solid', in basso, 'Shaded'. Immagini autoprodotte in Metashape®



Figura 42 Texture ottenute dalle immagini originali. Immagine autoprodotta in Metashape®

La fase conclusiva del processo consiste nella scalatura del modello tridimensionale. Tale operazione viene effettuata mediante misure ricavate direttamente dall'oggetto reale, o da punti di controllo a terra (GCP, *Ground Control Point*), acquisite con strumenti topografici quali stazioni totali o sistemi GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Successivamente, qualora necessario, è possibile generare un orto-mosaico a partire dal modello tridimensionale¹⁸⁸. L'orto-mosaico è un'immagine bidimensionale orto-rettificata, metricamente corretta, ottenuta dalla composizione di più immagini digitali, che rappresenta una proiezione ortogonale della superficie dell'oggetto.

Nell'era della fotogrammetria digitale, le fotografie storiche costituiscono una risorsa preziosa e irrinunciabile per il rilievo territoriale, rappresentando uno strumento fondamentale che, integrato con l'interpretazione delle immagini e le tecniche di ricostruzione tridimensionale, permette un'elaborazione dei dati più articolata e completa. Approccio che aggiunge la dimensione temporale alle rappresentazioni geometriche 3D, offrendo ai ricercatori la possibilità di identificare, documentare e analizzare le trasformazioni di singoli scenari, edifici e paesaggi nel tempo¹⁸⁹.

In definitiva, la versatilità della fotogrammetria ne consente l'applicazione in un ampio spettro di settori disciplinari, tra cui l'ingegneria civile, la geomatica, l'architettura e la cartografia. Tutti ambiti in cui la fotogrammetria si rivela uno strumento di fondamentale importanza per la modellazione e la rappresentazione accurata della realtà fisica, contribuendo in modo significativo alla comprensione e all'analisi dei fenomeni spaziali.

¹⁸⁸ Argomento approfondito da Pavelka *et al.* 2021; International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, <https://www.isprs.org/publications/archives.aspx> (ultima consultazione 07/01/2025); Wallace 2017; Benedetti *et al.* 2010, p. 52

¹⁸⁹ Nocerino *et al.* 2012, pp. 85-90

2.4. Sistemi informativi geografici (GIS), georeferenziazione e mappatura del rischio UXO

I GIS (*Geographic Information System*) sono software che permettono di collegare dati di origine diversa con la loro posizione geografica attraverso l'uso di uno spazio cartesiano bidimensionale, se definito dai due assi x e y (o Nord ed Est), o tridimensionale, con l'aggiunta dell'asse z. Inoltre, i GIS possono gestire un'ulteriore variabile, identificata dalla lettera "t" o "m", che definisce il dato temporale¹⁹⁰. Essi permettono, quindi, di catastare, presentare, analizzare e processare i dati relativi ad un contesto territoriale, o ad un oggetto, rappresentato nella sua realtà¹⁹¹. Per poter giungere a questi risultati, però, un sistema GIS deve disporre di tre aspetti principali¹⁹²: il primo è legato alle analisi e descrizioni dei fenomeni che devono presentare una dimensione spaziale; il secondo è collegato all'impiego di *Database Management Systems* (DBSM) per strutturare l'informazione; infine, il terzo è definito dalle capacità del sistema di elaborare le informazioni attraverso la creazione di nuovi dati a partire dalla manipolazione di quelli originali.

Un ulteriore elemento di forza dei GIS è la loro multiscalarità, che permette di indagare e rappresentare gli stessi elementi sia come una geometria puntuale all'interno di un ampio ambito territoriale sia come singolo modello 3D, o 4D se si considera l'elemento temporale, che viene descritto dalle coordinate x, y, z e m¹⁹³.

La scelta di un ambiente GIS all'interno del quale georeferenziare e mappare i crateri da bomba visibili sulle foto storiche è ricaduta su un software *open-source*, QGIS®.

Quantum-GIS® (QGIS) è nato nel 2002 ed è stato rilasciato sotto licenza GNU GPL (*General Public License*). Ad oggi, l'ultima versione è la 3.42 "Munster" e utilizza la GUI (*Graphical User Interface*) con una singola finestra contenente comandi, mappe e layers. Utilizzato come interfaccia per il più potente software GIS *open-source* GRASS, QGIS® permette di eseguire complesse operazioni di analisi geografica, oltre a offrire molte funzioni di uso comune: visualizzazione, analisi, esplorazione, interrogazione, tematizzazione, estensione delle funzioni tramite plugin e preparazione di mappe vettoriali e raster georeferenziate a diverse scale per la stampa o la pubblicazione sul web. Le mappe sono visibili sotto forma di livelli sovrapposti in una rappresentazione grafica, chiamata "Progetto".

All'interno di un Sistema Informativo Geografico, i dati possono essere classificati in due categorie principali: grafici e alfanumerici.

¹⁹⁰ Bogdani 2009, pp. 421-422; Dell'Unto e Landeschi 2022, p. 5

¹⁹¹ Valenti e Nardini 2004, p. 347

¹⁹² Dell'Unto e Landeschi 2022, p. 5

¹⁹³ Landeschi 2019, pp. 19-26; A tal proposito è da notare che i dati relativi ai beni culturali sono per loro natura 4D, in quanto l'aspetto temporale è legato al numero di eventi succedutesi sugli strati, murature e oggetti di uno scavo archeologico o sugli elementi di un'opera. Dell'Unto e Landeschi 2022, p. 9.

Il formato raster rappresenta una tipologia di documento digitale, che spazia in una vasta gamma di dati dalla cartografia digitale alla fotografia, ed è costituito da una matrice di pixel, ciascuno dei quali possiede coordinate spaziali (x, y) all'interno di una griglia e un attributo numerico correlato a una grandezza fisica o a un fenomeno reale, ad esempio temperatura e altitudine¹⁹⁴.

La qualità intrinseca dei dati raster è strettamente legata ai metadati associati al file, che ne definiscono la geolocalizzazione, la data di acquisizione e la risoluzione spaziale. La precisione e l'affidabilità di tali informazioni dipendono in modo cruciale dalle tecnologie e dagli strumenti impiegati nella loro generazione, a partire dai sensori di acquisizione (come le fotocamere) e dai parametri di ripresa (scala, risoluzione radiometrica, numero di bande spettrali). Inoltre, le procedure di elaborazione e le scelte relative al formato di salvataggio influenzano significativamente la qualità finale del dato.

I dati vettoriali costituiscono una rappresentazione digitale delle informazioni geografiche, ottenuta combinando elementi geometrici fondamentali: punti, linee e poligoni. Essi consentono una descrizione precisa e dettagliata di qualsiasi elemento cartografico, risultando indispensabile in ambito cartografico, archeologico, architettonico e in ogni contesto in cui sia necessaria una rappresentazione accurata dello spazio.

I punti, elementi geometrici elementari, sono definiti da coordinate cartesiane (x, y) in un piano bidimensionale o (x, y, z) in uno spazio tridimensionale, sempre riferite a un preciso sistema di riferimento (SR). Ciascun punto corrisponde a una posizione spaziale ben definita e può essere associato a un'entità reale, come un edificio o un punto di interesse.

Le linee, caratterizzate da una successione di punti (vertici) collegati tra loro, rappresentano elementi unidimensionali come strade, fiumi o confini. La sequenza dei vertici definisce la forma e l'orientamento della linea.

I poligoni, infine, delimitano aree bidimensionali e sono costituiti da una sequenza chiusa di vertici. La chiusura si ottiene quando il primo e l'ultimo vertice coincidono. I poligoni sono utilizzati per rappresentare superfici estese come campi, boschi o regioni amministrative.

Un aspetto cruciale nella gestione dei dati vettoriali è il sistema di riferimento (SR), che definisce la posizione di un punto sulla superficie terrestre. Un SR è costituito da un *datum* geodetico, che rappresenta un modello matematico della Terra, e da un sistema di coordinate, che può essere geografico (latitudine e longitudine) o proiettato (coordinate cartesiane). La scelta del SR dipende dall'estensione dell'area di interesse e dall'accuratezza richiesta.

¹⁹⁴ Ferrucci 2009, pp. 13-14

Spesso si ha a che fare con dati vettoriali provenienti da SR diversi. In simili circostanze, è necessario effettuare delle trasformazioni delle coordinate per rendere i dati compatibili e poterli elaborare congiuntamente. Le trasformazioni, che consistono in calcoli matematici, permettono di passare da un SR a un altro. Fortunatamente, molti software GIS sono in grado di eseguire automaticamente tali operazioni.

Sia i dati raster che quelli vettoriali trovano collocazione all'interno di un *Geodatabase Management System* (GDBMS), un'infrastruttura informatica appositamente concepita per la gestione e l'organizzazione di informazioni geospaziali. Caratterizzato da una rigida struttura logica, il GDBMS impone precise regole topologiche, definisce domini di attributi e stabilisce relazioni tra le diverse entità dati, garantendo così la coerenza e l'integrità dell'informazione. Tale struttura consente di eseguire analisi spaziali accurate e di recuperare in modo efficiente i dati richiesti. La rappresentazione grafica, combinando elementi raster e vettoriali, offre una visualizzazione immediata dei fenomeni spaziali, mentre le banche dati associate forniscono una dettagliata descrizione delle caratteristiche e delle proprietà di tali fenomeni¹⁹⁵.

Il modello relazionale, introdotto da Codd negli anni '70¹⁹⁶, rappresenta la struttura di database più diffusa e versatile. Esso consente di organizzare logicamente i dati in tabelle interconnesse, offrendo una maggiore flessibilità rispetto ai modelli precedenti¹⁹⁷.

Un database relazionale è strutturato mediante entità, comunemente note come tabelle, che rappresentano insiemi di oggetti aventi proprietà affini, e relazioni che stabiliscono le connessioni logiche tra tali entità. Ogni entità si compone di attributi, corrispondenti alle colonne, e di record, ovvero le righe contenenti i dati specifici. Le relazioni tra le entità possono assumere diverse cardinalità, quali uno-a-uno, uno-a-molti o molti-a-molti, a seconda della natura del legame rappresentato¹⁹⁸.

¹⁹⁵ Bogdani 2009, p. 422

¹⁹⁶ Il modello relazionale dei database, introdotto da Edgar F. Codd nel 1970, ha rivoluzionato il modo di gestire e organizzare le informazioni digitali. Originariamente concepito per applicazioni contabili e bancarie, questo modello si è rapidamente affermato come standard di settore, dando vita a sistemi di gestione di database relazionali (DBMS) come INGRES (precursore di PostgreSQL) e System R (precursore di Oracle).

Contemporaneamente allo sviluppo dei primi DBMS relazionali, è stato definito il linguaggio SQL (Structured Query Language) appositamente progettato per interagire con questi sistemi. Negli anni successivi, l'evoluzione tecnologica ha portato all'integrazione di concetti provenienti dalla programmazione orientata agli oggetti, dando origine ai Object Relational Database Management System (ORDBMS). Questi ultimi consentono di trattare i dati non solo come semplici valori all'interno di tabelle, ma anche come oggetti complessi con proprietà e comportamenti associati. Codd 1970; D'Andrea e Niccolucci 2001, p. 200; Favretto *et al.* 2019, p. 426.

¹⁹⁷ Del Vecchio *et al.* 2015, p. 79; Favretto *et al.* 2019, pp. 425-6; Baldini e Baldassarri 2009, pp. 76-77

¹⁹⁸ I database relazionali strutturano i dati in tabelle interconnesse tramite chiavi primarie (identificatori unici all'interno di una tabella) e chiavi esterne (riferimenti a chiavi primarie in altre tabelle). Le relazioni tra le tabelle possono essere uno-a-uno, uno-a-molti o molti-a-molti, quest'ultima richiedendo una tabella di collegamento aggiuntiva. Oltre alle chiavi, le tabelle possono contenere diversi tipi di dati (testo, numerici, date, booleani, geometrici), ciascuno con caratteristiche specifiche. È fondamentale mantenere l'omogeneità dei dati all'interno di una colonna, evitando di mischiare tipi di dati diversi (es. numeri interi e testo) per preservare l'integrità dei dati. Rocchini 2014, pp. 9-13.

La suddivisione dei dati in tabelle interconnesse assicura l'integrità e la coerenza delle informazioni, promuovendo al contempo una gestione efficiente delle interrogazioni complesse e un'analisi approfondita dei dati. Il linguaggio *Structured Query Language* (SQL) è appositamente concepito per l'interazione con i database relazionali, permettendo l'esecuzione efficiente di interrogazioni, aggiornamenti e operazioni di manipolazione dei dati. I database relazionali adottano una struttura gerarchica, organizzando i dati all'interno di schemi che raggruppano le tabelle in modo analogo a una disposizione a cartelle. Tale configurazione previene potenziali conflitti derivanti dalla presenza di tabelle con nomi identici. Oltre alla funzione di memorizzazione, i database relazionali consentono l'interrogazione dei dati mediante il linguaggio SQL, facilitando l'estrazione di informazioni specifiche e la creazione di viste, ossia *query* salvate che agiscono come tabelle virtuali. Inoltre, le interrogazioni possono essere applicate anche a dati spaziali, permettendo l'esecuzione di analisi avanzate e complesse¹⁹⁹. Sebbene esistano alternative come i database NoSQL, SQL rimane lo standard di fatto per la gestione di dati relazionali²⁰⁰.

Un ulteriore elemento cruciale del lavoro di tesi è rappresentato da una funzione specifica dei Sistemi Informatici Geografici, la georeferenziazione di foto aeree storiche. Tale processo consiste nell'attribuire a ciascun pixel dell'immagine raster precise coordinate geografiche, ancorandola così in modo univoco a un sistema di riferimento spaziale definito. Il plugin "Georeferencer" di QGIS è uno strumento ampiamente utilizzato per eseguire questa operazione, consentendo di allineare l'immagine raster alla sua corretta posizione geografica, sia in sistemi di coordinate geografiche che in sistemi di coordinate proiettate²⁰¹.

L'algoritmo di georeferenziazione si basa sull'identificazione di punti di controllo sull'immagine e sulla loro associazione con le corrispondenti coordinate geografiche note. Successivamente, vengono applicati algoritmi di trasformazione geometrica che permettono di correggere eventuali distorsioni e di allineare l'immagine al sistema di riferimento desiderato²⁰². Il numero di punti di controllo necessari varia a seconda della complessità della trasformazione geometrica: da un minimo di tre per semplici rotazioni e traslazioni a un numero maggiore per trasformazioni più complesse. È importante sottolineare che all'aumentare del numero di punti di controllo, la precisione della georeferenziazione tende a migliorare fino a raggiungere valori sempre più costanti.

All'interno dell'ambiente QGIS®, la georeferenziazione di immagini può essere effettuata mediante due approcci distinti: manuale e automatico. Il metodo manuale, tradizionalmente

¹⁹⁹ Camagni *et al.* 2005, p. 163; Rocchini 2014, pp. 14-17

²⁰⁰ Favretto *et al.* 2019

²⁰¹ Ishida e Ito, 2019

²⁰² Produit *et al.*, 2016

impiegato, consiste nell'individuazione e nella misurazione di punti di controllo a terra (*Ground Control Points*, GCP), un'operazione che richiede una significativa componente di *expertise* e tempo. Tale limitazione ha relegato l'impiego delle fotografie aeree, che necessitano di una georeferenziazione manuale, principalmente ad applicazioni cartografiche su piccola scala, come evidenziato da Verhoeven *et al.* (2012, p. 2062). In alternativa, i metodi automatici, basati su algoritmi di calcolo, stimano in modo automatico le coordinate di acquisizione delle fotografie, sebbene il loro utilizzo sia meno diffuso nel caso di immagini storiche.

Successivamente al processo di georeferenziazione, le immagini aeree storiche possono essere utilizzate come base per la generazione di un modello digitale del terreno (DTM) e di ortofoto, attraverso l'applicazione di specifici algoritmi di ricostruzione tridimensionale. Tale modello, opportunamente georeferenziato, costituisce una rappresentazione accurata e dettagliata della superficie terrestre.

Tuttavia, le significative differenze tra l'ambiente rappresentato nelle fotografie storiche e lo scenario attuale possono rendere complesso il processo di georeferenziazione automatizzata. Si rende pertanto necessaria un'attenta individuazione manuale dei punti di controllo, al fine di garantire l'accuratezza dell'allineamento spaziale delle immagini. Le immagini storiche georeferenziate manualmente possono, quindi, fungere da riferimento per la georeferenziazione di altre immagini dello stesso periodo, semplificando notevolmente l'operazione.

È opportuno sottolineare che l'utilizzo di orto-mosaici storici, ovvero di mosaici di immagini aeree correttamente georeferenziate e proiettate, può ulteriormente ottimizzare il processo di georeferenziazione, riducendo il numero di immagini da elaborare e migliorando la precisione complessiva dei risultati ottenuti.

La distribuzione non uniforme dei punti omologhi all'interno dei fotogrammi rappresenta una delle principali fonti di incertezza nel processo di georeferenziazione. La proiezione centrale conica, tipica delle riprese fotografiche, introduce infatti distorsioni geometriche più marcate nelle zone periferiche rispetto al centro dell'immagine. Di conseguenza, la corrispondenza tra i punti omologhi localizzati in posizioni diverse all'interno di fotogrammi adiacenti risulta meno precisa, compromettendo l'accuratezza della georeferenziazione.

Nonostante queste limitazioni, è stata adottata anche la strategia di georeferenziare individualmente ciascuna immagine al fine di ottenere una copertura completa dell'area di interesse e di valutare la precisione dei risultati ottenuti rispetto a prodotti cartografici di riferimento, quali gli orto-mosaici.

Per migliorare l'accuratezza della georeferenziazione, è possibile intervenire manualmente sul processo di individuazione dei punti di controllo a terra (GCP), aggiungendone o rimuovendone a

seconda delle necessità. Inoltre, la scelta dell'appropriato modello di trasformazione geometrica (ad esempio, Helmert, polinomiale, spline a piastra sottile, proiettiva²⁰³) rappresenta un ulteriore elemento cruciale per ottimizzare i risultati.

In definitiva, la georeferenziazione di fotografie aeree storiche all'interno di un GIS costituisce uno strumento necessario alla ricostruzione storica dell'assetto urbano, in particolare in seguito a eventi catastrofici come i bombardamenti. Di fatto, tali immagini offrono una documentazione visiva inestimabile, consentendo di confrontare lo stato dei luoghi prima e dopo l'evento bellico e di integrare le informazioni provenienti da altre fonti cartografiche. In particolare, le fotografie aeree storiche permettono di identificare con precisione gli edifici danneggiati o distrutti, nonché di individuare i segni tangibili degli impatti bellici, come crateri, macerie e tracce d'incendio.

I GIS offrono un'ampia gamma di strumenti analitici che vanno ben oltre la semplice rappresentazione visiva dei dati geografici. Mentre la geometria degli oggetti (forma, superficie, volume) definisce la loro forma spaziale, la topologia, intesa come insieme delle relazioni spaziali tra gli oggetti, permette di analizzare le connessioni e le interazioni tra essi²⁰⁴.

Le analisi topologiche consentono di studiare la distribuzione spaziale di fenomeni e di identificare *pattern* e relazioni significative. Attraverso la sovrapposizione di diversi layers tematici (*overlay* topografico), la creazione di *buffer* (zone di influenza) o *heatmap* (mappe di calore), l'analisi di reti (*network analysis*), l'esecuzione di *query* topologiche su database e la realizzazione di modelli di interazione spaziale (o modelli di gravità), è possibile estrarre informazioni preziose dai dati geografici. Queste analisi trovano applicazione in numerosi campi, dalla pianificazione urbana alla gestione ambientale, consentendo di effettuare previsioni e simulazioni di scenari futuri²⁰⁵.

Oltre alle analisi spaziali, un elemento cruciale nella gestione dei dati geografici è la scelta del formato di file utilizzato per l'interscambio di informazioni. Il formato Shapefile, ampiamente diffuso, rappresenta una scelta comune per la sua capacità di descrivere geometrie vettoriali (punti, linee, poligoni) associate ad attributi alfanumerici. Tuttavia, è importante sottolineare che lo Shapefile, pur essendo uno standard, di fatto non è un formato topologico, limitando così le possibilità di analisi

²⁰³ Le trasformazioni per georeferenziare immagini o mappe correggono errori e le allineano a sistemi di coordinate. La trasformazione Helmert ruota immagini come mappe locali o foto aeree, richiedendo almeno 2 GCP. L'algoritmo Polinomiale 1 effettua una trasformazione affine, utile per cartogrammi con scale diverse, con un minimo di 3 GCP. I polinomi di secondo e terzo grado correggono deformazioni più complesse; richiedono rispettivamente 6 e 10 GCP, ma non preservano scala uniforme né linee dritte. L'algoritmo Proiettivo, adatto a foto oblique, mantiene linee dritte ma non il parallelismo, con almeno 4 GCP. Il metodo Thin Plate Spline (TPS) adatta localmente l'immagine per correggere mappe danneggiate o imprecise, necessitando di almeno 10 GCP. Ogni tecnica varia in base alla complessità e alla precisione richieste.

QGIS Documentation, *Georeferenziatore*,
https://docs.qgis.org/3.34/it/docs/user_manual/working_with_raster/georeferencer.html (ultima consultazione 04/01/2024)

²⁰⁴ Dell'Unto, Landeschi 2022, p. 13

²⁰⁵ Bogdani 2009, p. 434

relazionali tra gli oggetti spaziali²⁰⁶. Il formato GeoPackage, invece, basato sulla libreria SQLite, rappresenta una scelta sempre più diffusa nell'ambito dei Sistemi Informativi Geografici *open-source*. La sua struttura, che consente di integrare dati vettoriali, raster e attributi alfanumerici, lo rende uno strumento versatile ed efficiente per lo scambio e la gestione di informazioni georeferenziate²⁰⁷.

I GIS, del resto, offrono una flessibilità notevole in termini di modalità di fruizione dei dati, grazie all'impiego di software specializzati, plug-in e linguaggi quali HTML, PHP, XML e JavaScript, con cui è possibile trasformare dati geografici inizialmente concepiti per un'analisi locale in servizi web cartografici accessibili da qualsiasi dispositivo connesso a Internet. La conversione, che dà origine ai cosiddetti Web-GIS, amplia significativamente le potenzialità di condivisione e collaborazione nella gestione e nell'analisi delle informazioni geografiche²⁰⁸.

²⁰⁶Bogdani 2009, p. 437

²⁰⁷ Geopackage, <https://www.geopackage.org/> (Ultima Consultazione 30/09/2024)

²⁰⁸ Bogdani 2009, p. 437

Capitolo 3 Gamification: strategie di ricerca e processi motivazionali nella problematica degli ordigni bellici inesplosi

3.1. La gamification nella pratica metodologica di ricerca

La gamification rappresenta un elemento portante del lavoro di ricerca della tesi, sia come strumento per creare ambienti simulativi destinati agli esperti nel settore della bonifica bellica e della gestione del rischio derivante da ordigni inesplosi, sia come metodologia di divulgazione del concetto di rischio al grande pubblico. Parallelamente, essa offre nuove opportunità per la valorizzazione del patrimonio culturale urbano danneggiato o distrutto dai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale, favorendo una maggiore consapevolezza storica e sociale. Per un'analisi più approfondita del tema, è opportuno iniziare da una definizione terminologica.

Il termine “gamification” consta nell’aggettivazione del verbo inglese to “game”, in italiano “giocare”. Eppure, la letteratura contemporanea continua a interrogarsi sul perché scegliere il verbo “to game” piuttosto che “to play”²⁰⁹. Nonostante il quesito sia ancora valido in molti studi, la risposta probabilmente è stata data più di venti anni fa da alcuni autori, tra cui Salen, Zimmerman (2004)²¹⁰, secondo cui “play” rappresenta una categoria più ampia e più libera rispetto al “game”, che a sua volta può essere incluso nella categoria “play”, ma ne risulta al contempo diverso e distinto (Fig. 43).



Figura 43 «Play is a component of games». Fonte: Salen, Zimmerman 2004, p. 84

La distinzione è legata ai due concetti di *paidia* e di *ludus*, espressi negli studi di Roger Caillois (1958)²¹¹ quali poli estremi dell’attività ludica. La *paidia* o *playing* consiste in un’attività

²⁰⁹ Giordano 2015, p. 70

²¹⁰ Salen e Zimmerman 2004, p. 84

²¹¹ Per Caillois 1958, all’interno del gioco esistono due pratiche giocose *ludus* e *paidia*. *Paidia* «ovvero turbolenza, fantasia incontrollata, improvvisazione» si caratterizza per l’assenza di regole e si associa al divertimento e all’eccitazione. Il *ludus*, invece, «si manifesta come tendenza a superare gli ostacoli: [...] tutto è questione di scaltrezza, calcolo, capacità combinatoria, pazienza». Rovatti, Prefazione a Caillois 1958, cit., pp. VII-XVIII: XIV-XV

spontanea, libera, improvvisa; il *ludus* o *gaming* rappresenta il piacere che si sperimenta quando si supera una difficoltà e si raggiunge un obiettivo.

Anche nella moderna attività videoludica è riscontrabile la distinzione, al punto che tra le principali critiche mosse ai produttori di applicazioni che si ispirano alla *gamification* domina l'accusa di progettare giochi esclusivamente votati a regole e obiettivi (*ludus*) e poco al gioco libero e di esplorazione (*paidia*)²¹².

Il concetto di gioco resta comunque un nodo cruciale nella letteratura di settore, in cui tanti si sono cimentati dando le proprie interpretazioni. Nel XX secolo, Johan Huizinga (1946) e Roger Caillois (1958) hanno cercato di elencare in criteri le caratteristiche insite nel gioco. Per Huizinga esse sono la libertà, il disinteresse, la tensione, l'aspettativa, la riuscita, l'incertezza, la presenza di regole ed elementi sconosciuti al giocatore; per Caillois, invece, il gioco è libero, separato, incerto, improduttivo e regolamentato da uno "statuto fittizio"²¹³.

Roger Caillois (1958) ha, di fatto, sintetizzato il concetto di gioco quale "prodotto culturale" e ha provato a suddividere le tipologie di gioco esistenti in quattro categorie: Agon, per i giochi competitivi, Alea, per i giochi legati alla fortuna e al caso, Mimicry, per i giochi di simulazione o di ruolo, e Ilinx, per i giochi che includono senso di paura e vertigine come l'altalena o lo scivolo. All'estremità di ogni categoria sono rispettivamente presenti il suddetto principio di *paidia* (divertimento, libertà, improvvisazione) e di *ludus* (regolarità e formalizzazione).

Meno di un decennio dopo di lui, Eugen Fink (1965) ha definito il gioco una "funzione simbolica" ("Weltsymbol" o "simbolo del mondo"²¹⁴), secondo cui il gioco è definito dai suoi stessi limiti, ossia dalle sue regole e principi e i criteri fondamentali del gioco si instaurano sulla relazione tra i limiti e la nostra libertà di interpretarli. Prendendo ispirazione dal suo studio, Jacques Henriot (1969)²¹⁵ ha definito il gioco un "processo metaforico", possiamo comprenderne la funzione pensando a esso come a uno spazio vuoto e libero, un interstizio, incorniciato da barriere²¹⁶.

Uno dei primi autori ad associare al gioco e, in particolare, alle attività ludico-esplorative funzioni utili all'apprendimento umano e di «adattamento dell'organismo all'ambiente e dell'ambiente all'organismo», tanto da confrontare il gioco con il lavoro, fu Aldo Visalberghi (1966, p. 173). Egli sosteneva che il gioco incita al miglioramento di sé, purché contenga difficoltà di livello progressivo tali da divertirci e non ostacolarci, così da superarle accrescendo le proprie conoscenze e abilità. Ciò nonostante, Visalberghi, nel suo confronto tra gioco e lavoro, distingue le attività

²¹² Deterding *et al.* 2011, p. 11

²¹³ Fioretti 2023c, p. 7

²¹⁴ Fink 1965

²¹⁵ Henriot 1969, *Le jeu*, PUF, Paris

²¹⁶ Fioretti 2023c, p. 8

artigianali che conservano tratti tipici del gioco (impegnatività, progressività, continuità scelte liberamente), consentendo esperienze cosiddette “ludiformi”, dalle attività professionali e ripetitive, in cui il lavoratore non conosce il prodotto finale delle proprie fatiche e non sceglie come, con quale impegno e progressività contribuire alla sua realizzazione. Grazie a Visalberghi, dunque, si connette il gioco all’apprendimento nel senso più ampio del termine, il che significa rendere le attività, in particolare quelle didattiche, “ludiformi”, ossia aventi tratti tipici del ludico (impegnatività, progressività, continuità) così da permettere di acquisire le regole proprie dell’attività formativa senza imposizioni, in modo libero e spontaneo²¹⁷. Secondo l’autore, proporre attività formative “ludiformi” coinvolgerebbe gli allievi sia a livello cognitivo che fisico, emotivo e motivazionale, facilitando e migliorando l’apprendimento, ma anche abilità come creatività e curiosità²¹⁸.

Sono forse stati proprio i caratteri di libertà, piacere, spontaneità che hanno allontanato per un certo periodo la letteratura accademica e, in particolare quella didattica e pedagogica, dallo studio del gioco e della *gamification*. La ricerca scientifica, infatti, si trova spesso in difficoltà a condurre studi e indagini sul gioco, trattandosi di un ambito delicato, dipendente da molteplici variabili²¹⁹.

L’interesse per queste argomentazioni sembra riprendere piuttosto di recente con i cosiddetti *game studies* e studi sulla *gamification* nei contesti sociali. Nel 2002, il programmatore Nick Pelling²²⁰ è stato tra i primi, se non il primo, a rompere il silenzio e a impiegare il termine *gamification*, inizialmente per indicare un processo utile a rendere divertenti e simili a un gioco le interfacce per le transazioni elettroniche, per poi avvicinarsi a definizioni date da altri studiosi²²¹, come Deterding *et al.* (2011), che hanno definito la *gamification* come «the use of game design elements in non-game contexts» (*Ibidem* p. 9). Oggi, il termine indica la pratica di impiegare elementi, meccaniche e progettualità mutuati dai giochi in contesti non di gioco.

La traduzione italiana, forse, restituisce ancora meglio il significato profondo dell’espressione inglese, “ludicizzare”, infatti, vuol dire trasformare in gioco²²².

²¹⁷ Al concetto precedentemente esposto, si può associare la nozione di attività 'semi-ludica', la quale si articola in tre aspetti fondamentali. Il primo, la partecipazione (*agency*), è strettamente connesso ai concetti di '*affordance*' e '*habitat*', esercitando un'influenza diretta sul livello di coinvolgimento nel gioco. Il secondo, la simulazione, concerne la relazione dialettica tra la realtà e la virtualità, esplorando il confine tra le due dimensioni. Il terzo, l'impegno (lavoro), considera il gioco non come un'attività frivola, bensì un impegno serio, caratterizzato da obiettivi che possono avere una valenza pratica o, quantomeno, significativa all'interno del contesto in cui si manifestano. Infine, è opportuno sottolineare che il gioco richiede un approccio serio per essere praticato in modo efficace, mentre il lavoro tende ad integrare elementi ludici al fine di attenuare la sua natura gravosa e di promuovere un ambiente più stimolante. Teorie di Visalberghi 1966, p. 182, riportate da Catolfi e Giordano 2015, p. 31.

²¹⁸ Visalberghi 1988

²¹⁹ Fioretti 2023b, p. 20

²²⁰ Pelling 2011

²²¹ Spanellis *et al.* 2016, pp. 4 e 7

²²² Petrucci 2021, p. 20

Deterding *et al.* (2011) alla questione dicotomica tra *game* e *play* aggiungono quella tra totalità (*whole*) e parzialità (*parts*)²²³. Immaginando le due coppie di opposti come delle rette perpendicolari, si viene a disegnare uno schema composto da quattro quadranti (Fig. 44) in cui la *gamification* rientra nel quadrante in alto a destra, in quanto connubio tra *gaming* e *parts*. Per i giochi o le simulazioni con scopi educativi (*serious game*²²⁴) si parla di una combinazione di *gaming* e *whole*, che si colloca nel quadrante in alto a sinistra. Nel quadrante in basso a sinistra, incrocio tra *playing* e *whole*, si collocano, invece, i giocattoli, da non confondere con i giochi. I giocattoli, infatti non hanno scopi, regole o obiettivi, ma sono solo oggetti utili a giocare insieme. Da ultimo, il quadrante composto da *playing* e *parts* è rappresentato dal *playful design* che prevede l'applicazione di elementi ludici del “play” e non del “game” in interfacce di navigazione web²²⁵.

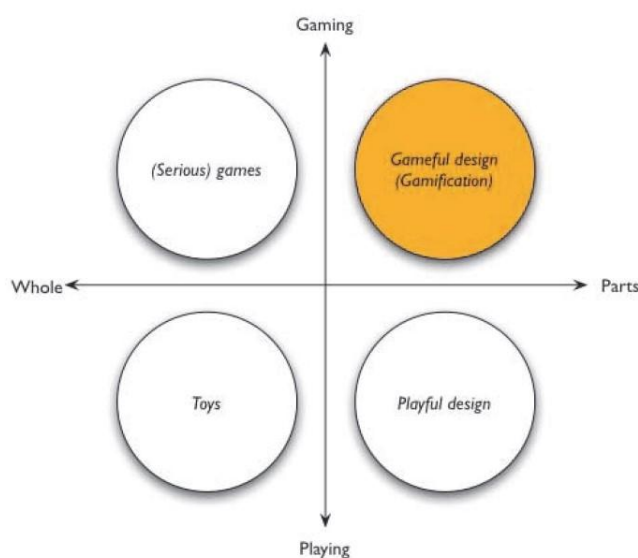


Figura 33 Gamification tra *game* e *play*, totalità e parzialità. Fonte: Deterding *et al.* 2011, p. 13

Ciò nonostante, i pareri in merito alla *gamification* sono ancora discordanti: secondo alcuni studiosi, i giochi sono da considerarsi poco utili e non indispensabili nei contesti formativi, seppure indubbiamente stimolanti e divertenti (O'Neil *et al.* 2005; Mayer 2014); secondo altri, è il tipo di utilizzo, attivo e critico, che si fa del gioco negli ambienti didattici a incentivare l'apprendimento (Gee, 2013).

Di fatto, sono due i grandi settori cui la *gamification* si rivolge, quello per scopi produttivi e quello di *entertainment* per scopi di divertimento e svago. Se l'*entertainment* risulta essere un settore autotelico e fortemente motivante; il settore produttivo, invece, che richiede impegno e perseveranza

²²³ Petruzzi 2021, p. 33

²²⁴ Il concetto di *Serious game* viene approfondito nel terzo paragrafo del presente capitolo

²²⁵ Petruzzi 2021, pp. 33-34

per raggiungere determinati obiettivi, trova nelle tecniche di *gamification* la possibilità di rendere più piacevoli e motivanti gli obiettivi che si prefigura e ci si auspica vengano raggiunti dagli utenti²²⁶.

Per questo, la *gamification* è ora vista e impiegata come una metodologia²²⁷ per motivare, coinvolgere, interagire e fidelizzare in diverse tipologie di attività, facendo perno sulla competizione, il senso di realizzazione e riconoscimento e auto-espressione delle persone. Lo scopo principale della *gamification* è, di fatto, influenzare consapevolmente o inconsapevolmente il comportamento degli utenti²²⁸.

3.2. Strategie ludiche per interpretare e comprendere

Il gioco

o è insito in molte specie animali come processo biologico per apprendere le tecniche di sopravvivenza²²⁹ e, dall'antichità, è un'attività contemplata dall'uomo quale strumento educativo²³⁰ o “universale culturale” (Petruzzi V., 2021, p. 22). Perché «la cultura sin dall'antichità si manifesta come gioco» (Eco 1973, p. XVI). E «fra tutte le specie animali, quella umana è la specie che gioca di più. Siamo fatti per giocare e siamo modellati attraverso il gioco» (Brown, 2013, p. 12). Non a caso Huizinga (1946) è stato il primo a parlare di “*homo ludens*”²³¹.

Nell'ambito dell'educazione, gli elementi che compongono il gioco, secondo Eberle (2014), sono sei: «anticipation, surprise, pleasure, understanding, strength, and poise» (Eberle, 2014, p. 222). Nell'attendere e preparare il gioco, infatti, si sta già giocando e sorpresa e piacere sviluppano la comprensione dell'attività di gioco, inteso non solo come un conseguirsi di regole e azioni, ma come ricerca di relazioni sociali e sviluppo di emozioni, il che rende il gioco sempre un'attività formativa, in ogni sua forma.

Gli altri “fenomeni umani” coinvolti nel gioco sono creatività, motivazione e coinvolgimento o *engagement*²³². Giocare con la propria creatività lo si ritrova già nel concetto di “*lusury attitude*”²³³ di Suits (1978), secondo cui giocare consiste in un'attività volontaria di superare ostacoli non necessari, cercando e creando soluzioni e idee nuove. Coinvolgimento e motivazione, invece, sono elementi interdipendenti. La motivazione è la stessa forza o spinta che ci porta a giocare, a svolgere

²²⁶ Fioretti 2023a, pp. 72-73

²²⁷ Petruzzi 2021, p. 93

²²⁸ Fioretti 2023c, p. 8

²²⁹ Huizinga 1946, p. 3

²³⁰ Nesti 2023, p. 57

²³¹ Huizinga spiegato a suo tempo da Eco 1973

²³² Nesti 2023, p. 58; Petruzzi 2021, p. 20

²³³ «Let us call this attitude, of which more presently, the *lusory* (from the Latin *ludus*, game) attitude». Suits 1978, p. 49.

l'attività ludica e consiste anche nella capacità del gioco di motivare a schierare le proprie competenze; il coinvolgimento, a sua volta, dipende sia dalle meccaniche di gioco, sia dalla tipologia di interazione richiesta dal *gameplay*, sia da fattori cognitivi, emotivi del giocatore²³⁴.

Secondo McGonigal (2011, p. 21), invece, i quattro elementi di base che definiscono il gioco sono: obiettivo, regole, sistema di feedback, volontarietà della partecipazione a cui si deve aggiungere il concetto di *flow*, o flusso, uno stato che comporta un coinvolgimento estremo, il desiderio di agire oltre le proprie capacità, fallire e ritentare fino al raggiungimento degli obiettivi prefissati dal gioco stesso, in particolare dal gioco digitale²³⁵ o videogiochi²³⁶.

Successivamente, Fui-Hoon Nah *et al.* (2018) hanno individuato otto principi fondamentali della gamification, riassunti nell'acronimo CIG-SCARF. I principi appartenenti al gruppo CIG comprendono *Challenge* (sfida) (C), *Interactivity* (interattività) (I) e *Goal Orientation* (orientamento all'obiettivo) (G), elementi strettamente connessi all'esperienza di flusso, caratterizzata da un elevato grado di immersione, concentrazione e motivazione intrinseca. I principi SCARF, invece, includono *Social Connectivity* (connettività sociale) (S), *Competition* (competizione) (C), *Achievement* (realizzazione) (A), *Reinforcement* (rinforzo) (R) e *Fun Orientation* (orientamento al divertimento) (F), rappresentando dimensioni avanzate della gamification²³⁷.

Dal punto di vista dell'educazione, attività gamificate consentono a chi apprende di avere una visione immediata e costante dei propri progressi, provare nuove esperienze e anche sperimentare il fallimento senza incorrere in danni o sanzioni²³⁸. Gee (2003) definisce la gamification «a cycle of probing, hypothesizing, probing again, and rethinking» (*Ibidem* pp. 208-209), sostenendo di fatto che tramite la gamification si è portati a riflettere sui propri processi di apprendimento.

Di fatto, si gioca per divertirsi. «Il gioco è un'attività autotelica» (Nesti 2023, p. 61). Per questo il gioco può essere uno strumento educativo, ma non è e non deve essere inteso solo come tale. Creare un'attività ludica significa costituire uno “spazio laboratorio” (*Ibidem*, p. 61), dove sperimentare se stessi, conoscere il fallimento e imparare. Imparare e apprendere, nel contesto in esame, non coinvolgono necessariamente discipline scolastiche e concetti accademici, ma sottintendono la nozione di cambiamento. Perché ogni esperienza che provoca un cambiamento

²³⁴ Nesti 2023, p. 60

²³⁵ Albertazzi *et al.* 2019, p. 192; Bruni 2014, p. 94

²³⁶ Il gioco digitale, meglio noto come videogiochi, e i mondi virtuali sono definiti da Pecchinenda 2004, p. 83 come “deterritorializzazione” o allontanamento dal mondo fisico della realtà e dai concetti tradizionali di spazio e tempo. In questo ambito l'autore parla della virtualizzazione come di un processo attraverso cui una qualsiasi componente materiale viene astratta dallo spazio e dal tempo, allontanandosi dalla realtà, ma senza che la sua dimensione e concezione si perda, anzi creando nuove forme intersecanti e sovrapposte di realtà o di simulacri.

²³⁷ Nah *et al.* 2018, p. 2

²³⁸ Cinganotto 2023, p. 85

mentale, comportamentale, conoscitivo, in un soggetto determina un nuovo apprendimento. Pertanto, il gioco può sempre essere inteso come un processo di apprendimento (*Ibidem*, pp. 61-62).

I termini *gamification*, *Game Based Learning* e *serious game* sono comunemente e, a volte, indistinguibilmente impiegati per riferirsi a giochi utilizzati nell'ambito educativo (Landers, 2014).

Influenzare l'esperienza ludica per incrementare e incentivare l'apprendimento rientra nel campo del *Game Based Learning* (GBL). Il GBL intende il gioco non solo come intrattenimento, ma come mezzo, strumento di istruzione. Rientrano nel suo dominio i cosiddetti *serious games*²³⁹, giochi digitali studiati per scopi educativi e formativi di diverso ambito²⁴⁰. Lo sviluppo di dispositivi mobili ha contribuito enormemente alla diffusione e all'accessibilità di tali giochi, supportando i processi di apprendimento grazie alla partecipazione attiva e procedurale allo svolgimento del gioco, consentendo di sperimentare fenomeni altrimenti acquisibili solo tramite conoscenze astratte; grazie alla trasferibilità o capacità di adattare gli apprendimenti acquisiti a contesti diversi; allo sviluppo del pensiero produttivo, oltre che riproduttivo e quindi allo sviluppo di nuovi apprendimenti; alla competenza argomentativa che consiste nella capacità di relazionarsi con gli altri (cooperando, confrontandosi, competendo) in modo efficace dipendentemente dalle situazioni contingenti; al rafforzamento della disciplina mentale e all'apprendimento riflessivo, sperimentando se stessi con le regole e i limiti imposti dal gioco²⁴¹.

Il concetto di trasferibilità delle conoscenze acquisite e costruite nel mondo virtuale al mondo reale costituisce la base portante dei *serious game*. È fondamentale, infatti, che i processi cognitivi attivati da tali giochi siano affini a quelli necessari a svolgere attività, risolvere problemi e trovare soluzioni nel quotidiano²⁴². Riflessione che risulta ancora più pertinente quando il mondo videoludico dei *serious game* incontra giocatori con disabilità motorie o intellettive. Il gioco simulativo, infatti, può in questi casi diventare strumento di inclusione riducendo le barriere fisiche tipiche del mondo reale e compensando almeno in parte le difficoltà attentive²⁴³.

²³⁹ La categoria dei *serious games* nasce in ambito militare, per spostarsi poi in contesti commerciali ed educativi. Il termine indica dei giochi applicati a contesti che non appartengono alla sfera dell'*entertainment*, al contrario di tutte quelle applicazioni che semplicemente si ispirano alla *gamification* e che si compongono solo di alcuni elementi di gioco. Grazie all'ibridazione tra veri e propri giochi ed esperienze contaminate da elementi di gioco, con il tempo, sono nati diversi generi nel settore ludico, come i *pervasive games* che proiettano il cosiddetto "circolo magico del gioco" in spazi e tempi diversi dal presente, tra cui si possono annoverare gli *escape games* o *urban games*, basati sulla geo-localizzazione in spazi pubblici; i giochi di realtà aumentata che sovrappongono rappresentazioni di gioco all'ambiente circostante grazie a dispositivi digitali; i giochi persistenti che non smettono di funzionare così da essere usati e abbandonati ripetutamente nel corso di una giornata; i giochi di realtà alternativa con narrazioni e interazioni diverse sovrapposte al quotidiano. Nel grande quadro dei processi riferibili alla *gamification*, si osservano una ormai avanzata "*ludification of culture*" che si caratterizza per diverse tipologie di fenomeni dai nomi più o meno affini tra loro, ma ancora in bilico tra il contenzioso insoluto tra la radice del verbo "to game" e quella del verbo "to play": *gamefulness*, *gameful interaction*, *gameful design*, *playfulness*, *playful interaction*, *design for playfulness*. Cinganotto 2023, pp. 74-75.

²⁴⁰ Fioretti 2023c, p. 9

²⁴¹ Zanazzi 2023, pp. 104-105

²⁴² Farrington, 2011, p. 108

²⁴³ Zanazzi 2023, p. 118

È difficile, però, individuare le caratteristiche necessarie a un'attività ludica con il fine di produrre risultati in termini di apprendimento. Nell'ambito della letteratura di settore sono evidenti alcune tendenze di ricerca: il GBL per l'apprendimento disciplinare, il GBL per incentivare motivazione e coinvolgimento, il GBL per sviluppare *soft skill*, il GBL per l'inclusione, il GBL per la partecipazione sociale e culturale attiva (Nesti 2023, pp. 62-63).

Malone (1981) individua nella sfida, nella curiosità, nel controllo e nella fantasia il nucleo fondante di ogni gioco. Juul (2011), invece, chiama "giochi prototipici" le attività in grado di formalizzare il concetto di *ludus*. Essi sono basati su regole, risultati variabili e quantificabili, assegnazione di valore ai risultati, impegno nel raggiungere gli obiettivi e coinvolgimento emotivo dei giocatori²⁴⁴.

Bedwell *et al.* (2012), sulla base di studi pregressi, hanno individuato nove caratteristiche dei giochi educativi digitali, anche detti *serious games*: il linguaggio, o comunicazione non per forza verbale tra giocatori o tra giocatori e sistema di gioco; la valutazione o feedback del giocatore, suddivisa in valutazione e progresso; il conflitto/sfida che consiste nella presentazione, natura, difficoltà e adattabilità alle capacità del giocatore dei problemi da affrontare nel gioco; il controllo, o capacità del giocatore di influire sugli elementi del gioco; l'ambiente, ossia la rappresentazione in cui prende vita il gioco; la *game fiction*, anche detta storia del gioco, solitamente caratterizzata da fantasia e mistero; l'interazione umana, interpersonale e sociale all'interno del gioco; l'immersione, coinvolgimento percettivo e affettivo con la finzione del gioco; infine, regole/obiettivi, le prime possono anche non essere esplicite e venire acquisite durante la pratica del gioco, mentre gli obiettivi sono necessari a orientare i progressi del giocatore²⁴⁵.

Muovendo i suoi passi proprio dal suddetto elenco di caratteristiche, infatti, Landers (2012) definisce la *gamification* «...the use of game elements, including action language, assesment, conflict/challenge, control, environment, game fiction, human interaction, immersion, and rules/goals, to facilitate learning and related outcomes» (Landers, 2012, p. 757).

I processi alla base della realizzazione di un GBL utilizzano spesso modelli di stampo comportamentista (Birò 2014, p. 148), strutturati secondo lo schema "input-process-output", secondo cui l'input è rappresentato dai contenuti didattico-informativi che produrranno apprendimento quale forma di output (Garris *et al.* 2002, p. 445).

Secondo questo modello (Fig. 45), l'input dell'apprendimento è rappresentato dai contenuti informativi e didattici presenti nei *serious games*. Il ruolo dell'insegnante, invece, è svolto dal ciclo ludico, fatto di decisioni, comportamenti e feedback. Segue un processo di *debriefing*, una riflessione

²⁴⁴ Fioretti 2023b, p. 22

²⁴⁵ *Ibidem*, pp. 23-24

comune sui risultati raggiunti sia dal punto di vista analitico, cognitivo, sia emozionale. Lo scopo, così strutturato, dei *serious games* è fornire informazioni da apprendere, ma ha certamente risvolti sia dal punto di vista motivazionale, sia dell'impegnatività.

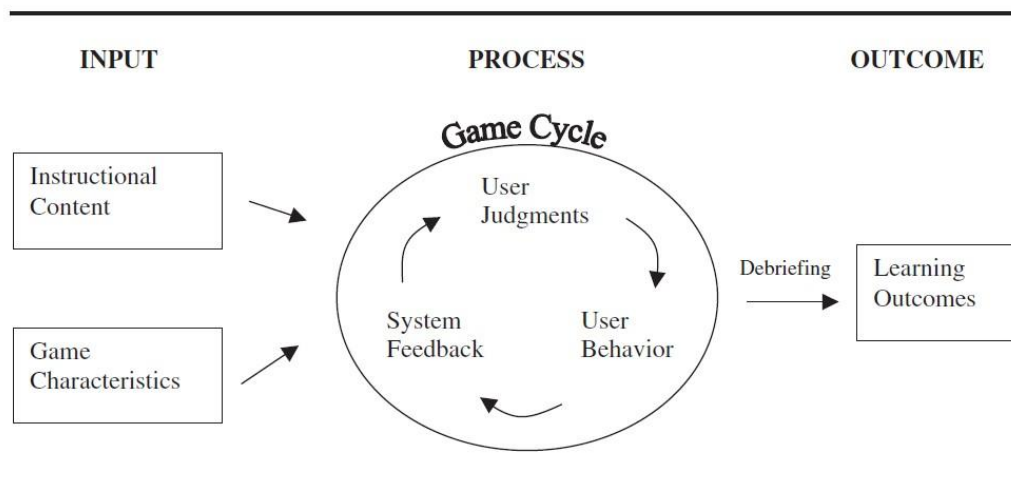


Figura 34 Modello per la progettazione di un serious game. Fonte: Garris et al. 2002, p. 445

Diverso e duplice è, invece, il modello (Fig. 46) proposto da Landers (2014), secondo cui l'apprendimento dipende dagli elementi del gioco in relazione a un processo di mediazione o a un processo di moderazione. Il primo prevede una diretta influenza dei contenuti didattico-informativi sul comportamento e sui risultati di apprendimento. Quindi, il processo è strettamente legato alla qualità dei contenuti informativi del gioco. Il secondo processo di mediazione, invece, sostiene che non siano i contenuti, ma le caratteristiche ludiche a influenzare il comportamento degli utenti.

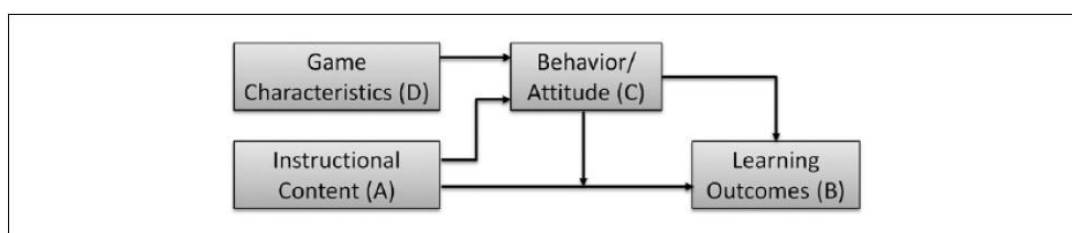


Figura 35 Modello di apprendimento basato sulla gamification. Fonte: Landers 2014, p. 760

Dal punto di vista pratico, se gli obiettivi comportamentali desiderati sono l'esecuzione di esercizi e l'incremento dello studio, le caratteristiche del gioco da implementare sono la valutazione, la sfida, l'interazione e le regole/obiettivi. Tutte caratteristiche, di fatto, in grado di influenzare il tempo trascorso nello studio (*time on task*) e, quindi, a migliorare i risultati di apprendimento. In definitiva, i processi di *gamification* devono influenzare i comportamenti degli utenti e tali

atteggiamenti devono mediare (processo di mediazione) cambiamenti diretti nell'apprendimento o moderare (processo di moderazione) i contenuti didattici impiegati.

Dal momento che spesso i giocatori/allievi necessitano di aiuto per riuscire ad astrarre i principi generali dall'attività di gioco, Fioretti (2023b, pp. 28-29), propone di aggiungere al processo di gioco due fasi, così come pensato da Landers (2014), quella di *brief* e quella di *debriefing* (Fig. 47). La prima risulta utile ad evidenziare il fine per cui il giocatore/allievo viene coinvolto attivamente nella pratica del gioco e il secondo per soffermare le proprie riflessioni, la propria attività metacognitiva, al fine di consolidare i comportamenti acquisiti favorevoli all'apprendimento e fissare le informazioni effettivamente apprese (*Ibidem* p. 29).

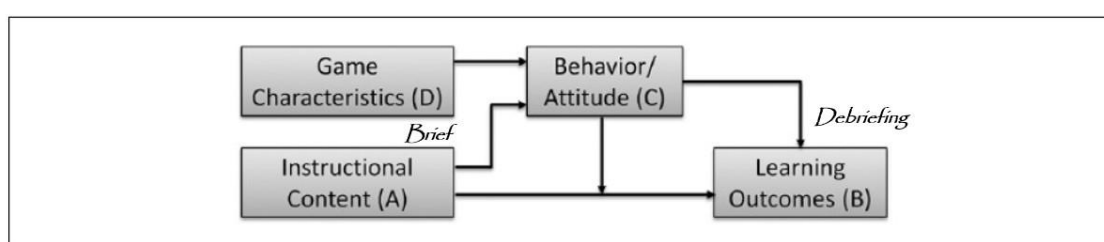


Figura 36 Modello con inserimento delle fasi di Brief e Debriefing al modello di Landers. Fonte: Fioretti 2023b., p. 28

In definitiva, gli elementi che caratterizzano la *gamification* applicata al settore educativo sono: le *affordances*²⁴⁶, elementi, meccaniche ed esperienze programmate che incentivano e motivano la partecipazione; i risultati cognitivi, ossia gli apprendimenti e il miglioramento delle conoscenze di base dell'utente; e, infine, i risultati comportamentali, ossia l'aumento di pratica, impegno e frequenza nell'uso delle tecniche di *gamification*²⁴⁷.

Il gioco consente di sviluppare qualità, come flessibilità di pensiero, resilienza, adattabilità, fondamentali per la società moderna, permeata di tecnologia e processi in continua evoluzione. Per questo siamo circondati da esperienze ludiche, dall'industria culturale, all'intrattenimento all'*edutainment*²⁴⁸ ed è necessario interrogarsi sul ruolo che il gioco svolge nell'apprendimento permanente, anche da parte degli adulti che giocano tra pari o con bambini²⁴⁹.

²⁴⁶ Alcuni oggetti e attività, in certe società, si prestano naturalmente a un uso ludico in base a due principi fondamentali: l'*affordance*, ovvero il modo in cui il design di un oggetto suggerisce il suo utilizzo, e l'*habit*, cioè le abitudini e le regolarità che guidano il comportamento sociale in un determinato contesto. Questi principi aiutano a comprendere come la gamification si attivi in una specifica realtà sociale e perché oggi possa essere facilmente adattata ed estesa a diversi media. Catolfi. e Giordano 2015), p. 31.

²⁴⁷ Fioretti 2023a, pp. 73-74

²⁴⁸ Rosen 2020., p. 239

²⁴⁹ Zoletto 2023, p. 33

Secondo Huizinga (1946, p. 16), «la comunità che gioca ha una tendenza generale a farsi duratura, anche dopo che il gioco è finito». Ciò significa che la partecipazione a comunità di gioco o comunità ludiche, composte spesso tra pari, ma a volte anche a prescindere dall'età dei componenti, dà vita a processi meno evidenti di *community building*.

L'importanza rivestita dal gioco, nel senso più ampio del termine, per le comunità è tale da avere valore sia in ambito educativo sia in ambito geografico/spaziale. Nella teoria delle capacità fondamentali di Amartya Sen e Martha Nussbaum, infatti, il gioco è stato inserito insieme a “poter ridere” e “godere di attività ricreative” proprio tra le capacità fondamentali (Nussbaum, 2012, p. 239). Privare bambini e adolescenti di apprendere, sperimentare, sviluppare e far fiorire capacità, talenti e aspirazioni rientra nella definizione di “povertà educativa” (Save the Children, 2014 e 2015²⁵⁰). In particolare, Save the Children tra gli indicatori dell'Indice di Povertà Educativa (IPE) annovera le pratiche ludiche, con particolare riguardo allo sport. Nonostante non si possa ridurre l'ampio ambito del gioco solo agli sport, il riferimento è importante dal punto di vista geografico e spaziale. Infatti, Save the Children osserva come l'assenza a livello territoriale di parchi, spazi verdi pubblici e strutture attrezzate ostacoli i momenti di gioco.

Sono proprio le assenze di contesti spaziali predisposti al gioco ad aver influito, spesso, sui nuovi giochi e sul modo di giocare. Alla «esperienza dello spazio» dei contesti di quartiere predisposti al gioco, in qualità di luoghi di socializzazione, e dei giochi “in presenza” o “*unplugged*”²⁵¹, si affianca oggi «l'immediatezza del qui e ora» (van der Veen e Wildemeersch, 2012, p. 9). Per questo le tecnologie odierne permettono di connettersi simultaneamente «con qui e ora molteplici e distanti fra loro» (*ibidem*, p. 9). Si vedrà più avanti come il concetto di Metaverso coincida con tale definizione.

Per lo stesso motivo, tra le forme odierne di esperienza ludica, rientra quella cosiddetta “*onlife*” (Floridi 2017) che si avvale di videogiochi che utilizzano o prendono luogo in spazi reali delle città²⁵².

Il gioco per le comunità è sinonimo anche di accessibilità ed inclusione, ma anche del loro opposto quando il “giocare in pubblico” deve confrontarsi con l'accessibilità delle componenti

²⁵⁰ Per maggiori approfondimenti si veda: Save the Children (2014), *La lampada di Aladino. L'indice di Save the Children per misurare le povertà educative e illuminare il futuro dei bambini in Italia*, Save the Children Italia Onlus, Roma, <https://www.savethechildren.it/cosa-facciamo/pubblicazioni/la-lampada-di-aladino> (ultima consultazione 27/05/2024); Save the Children (2015), *Illuminiamo il futuro 2030. Obiettivi per liberare i bambini dalla povertà educativa*, Save the Children Italia Onlus, Roma, <https://www.savethechildren.it/cosa-facciamo/pubblicazioni/illuminiamo-il-futuro-2030-obiettivi-liberare-i-bambini-dalla-poverta-0> (ultima consultazione 28/05/2024)

²⁵¹ Attività e strumenti che non necessitano di energia elettrica

²⁵² Si vedano a tal proposito le ricerche sul ruolo del gaming nella quotidianità della seconda generazione dei migranti in Italia, quale l'articolo di Antonacci *et al.* 2017.

spaziali per o del gioco e anche con le diversificate componenti della popolazione, spesso causa di forme di esclusione²⁵³.

Da ultimo, le pratiche ludiche non attivano solo comunità di giocatori, soprattutto se si tratta di bambini e adolescenti, ma aggrega e forma comunità satelliti, composte dalla popolazione adulta di riferimento in uno specifico contesto territoriale ed educativo che andrà appunto a costituire la “comunità educante”²⁵⁴.

Di fatto, la gamification non si limita a dimensioni ludiche fini a sé stesse o a funzioni liberatorie, ma si configura come uno strumento assimilabile ai meccanismi di controllo tipici della vita collettiva. In alcuni casi, essa contribuisce a riprodurre in modo euforico le strutture organizzative della società, risultando così funzionale a dinamiche di disciplina e regolazione sociale²⁵⁵. Altre volte, le trasformazioni “antropologiche” generate dalla gamification nelle città, a differenza di quelle paesaggistiche, tendono a essere permanenti. In particolare, la consapevolezza civica acquisita dai giocatori attraverso il gioco urbano può consolidarsi nel tempo, ponendo le basi per un processo di cittadinanza attiva che si sviluppi e maturi nel lungo periodo²⁵⁶. Eppure, proprio perché la gamification si manifesta attraverso una pluralità di eventi diffusi sia negli spazi pubblici che privati, non può essere ridotta a un semplice supporto né completamente archiviata o storicizzata²⁵⁷.

3.3. Giocare la memoria: narrazione urbana e beni culturali in tempo di guerra tra GIS e gamification

I conflitti lasciano tracce profonde nei paesaggi urbani. Le città diventano scenari di trasformazione e perdita, e i beni culturali — monumenti, architetture, siti simbolici — si rivelano particolarmente fragili. Alcuni vengono distrutti, altri dimenticati, altri ancora ricontestualizzati. Ma tutti, in modi diversi, raccontano qualcosa di ciò che è accaduto. Narrare questi luoghi oggi significa restituire voce a una memoria frammentata, spesso invisibile.

Ed è proprio in questo contesto che strumenti come la georeferenziazione, le tecnologie GIS e le metodologie ludiche possono offrire nuove forme di interpretazione e fruizione. L’idea è quella di costruire percorsi esperienziali in grado di condurre l’utente in un’esplorazione consapevole, interattiva e situata: una “visita” che non si limita a mostrare, ma che invita a riflettere e a prendere posizione.

²⁵³ Si vedano a riguardo gli studi di Annunziata e Mattiucci 2013 e di Satta e Scandurra 2015.

²⁵⁴ Zoletto 2023, p. 41

²⁵⁵ Catolfi e Giordano 2015, p. 29

²⁵⁶ *Ibidem*, p. 28

²⁵⁷ Giordano 2015, pp. 81-82

A supporto di questo approccio c'è la possibilità di utilizzare la gamification e, più in generale, le logiche dei *serious games*, dei giochi di ruolo e degli *urban game*. Il gioco non è qui un fine, ma un metodo. Un linguaggio che permette di coinvolgere emotivamente, di stimolare la partecipazione attiva, di proporre scenari alternativi. Il giocatore diventa protagonista, esploratore, in alcuni casi anche testimone.

È un tipo di esperienza reso possibile grazie a un processo di programmazione e modellazione dell'attività immersiva, che ha molti tratti in comune con lo sviluppo dei videogiochi. Come è noto, i videogiochi²⁵⁸ sono programmi eseguibili su macchine programmabili, e la loro realizzazione richiede attività di *coding*: la definizione di ambienti, regole, comportamenti, livelli di interazione. Ma, ancora più interessante, è osservare come nella gamification applicata alla città il *coding* non sia solo tecnico, ma anche concettuale e narrativo.

In altre parole, quando si progettano questi percorsi, non si lavora solo “sui dati”, ma anche sui significati. Ecco allora che il gioco di ruolo non riguarda soltanto l'utente finale, ma anche chi costruisce l'esperienza: in mancanza di esecutori automatici, infatti, sono spesso le persone stesse²⁵⁹ a svolgere sia il ruolo del programmatore che dell'esecutore, creando ambienti semi-autonomi, ma anche aperti alla modifica e all'adattamento.

Oggi, con la diffusione di ambienti di programmazione visuale a blocchi, gli utenti sono sempre più incentivati a diventare autori e sviluppatori delle proprie esperienze. Questo consente di abbassare le barriere tecniche e di attivare dinamiche collaborative e creative, rendendo la costruzione della memoria un processo condiviso, partecipato, personalizzabile.

In tal senso, l'obiettivo della tesi è duplice: da un lato, consentire all'utente un'esperienza riflessiva sul patrimonio culturale ferito, usando strumenti geospaziali e linguaggi ludici; dall'altro, offrire un modello replicabile, che possa essere adattato a diversi territori, temi e comunità, stimolando nuove forme di cittadinanza attiva, produzione culturale e apprendimento trasformativo.

Così, la città diventa non solo uno spazio da visitare, ma un ambiente da interpretare, programmare e giocare. Un luogo in cui la memoria si codifica, si esplora e si trasforma, grazie all'incontro tra tecnologie digitali, gioco e partecipazione.

Ad esempio, i progetti visibili su *Scratch*²⁶⁰ sono quasi tutti giochi realizzati da giovanissimi sviluppatori, utilizzabili liberamente e anche modificabili, prelevando il loro codice e sviluppandolo in un *remix* (Fig. 48). È, infatti, sempre più diffuso l'utilizzo di videogiochi stessi per introdurre al *coding*, rendendo così quella che dovrebbe essere un'attività di sviluppo del gioco un suo oggetto.

²⁵⁸ Bogliolo 2023, p. 50

²⁵⁹ *Ibidem*, p. 48

²⁶⁰ Scratch, <https://scratch.mit.edu/> (ultima consultazione 19/02/2025)

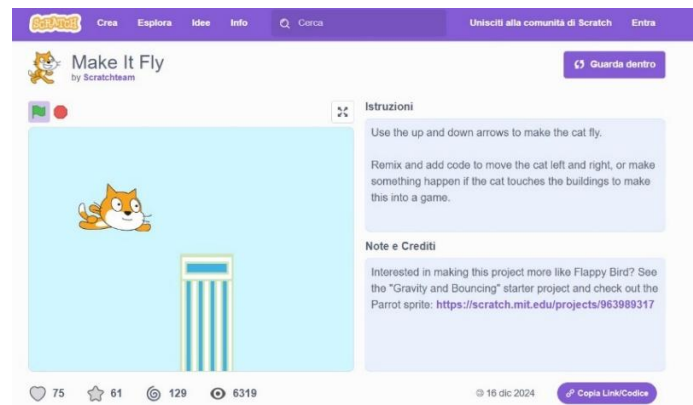


Figura 48 Esempio di codice Scratch: implementazione di movimento orizzontale del personaggio e logica di collisione con elementi architettonici per la creazione di un'esperienza ludica. Fonte: Scratch, make it fly, <https://scratch.mit.edu/projects/1110545496/> (ultima consultazione 05/03/2025)

Non si deve, però, confondere il *coding* con la programmazione. La programmazione è il miglior modo per produrre sviluppo senza per forza una base software di partenza e punta a risultati funzionali: al contrario, il *coding* dedica tutta la sua attenzione al processo di sviluppo. Infine, il *coding* può diventare anche funzionale al *gameplay*, fungendo da meccanismo di base tra il gioco e i suoi utenti, anche nei giochi *unplugged*²⁶¹.

Giochi basati su *coding unplugged* sono, ad esempio, gli *urban games*. Una tipologia di giochi che fa parte della categoria *mixed reality*, cosiddetta perché prende luogo nel mondo fisico, ma contenuti e funzionalità del gioco sono gestiti da dispositivi mobili. Spesso il mondo fisico e quello virtuale comunicano attraverso codici QR, necessari al giocatore per ricevere istruzioni su cosa fare nel gioco o dove andare per procedere nelle tappe di una caccia al tesoro a scala urbana²⁶².

Come suggerisce il termine, gli *urban games* sono giochi che si ambientano nello spazio urbano. Si tratta di giochi che rivestono una grande importanza nel settore turistico e culturale. Nella loro forma digitale, trattandosi di giochi fortemente legati a luoghi fisici, impiegano tecnologie di georeferenziazione, oggi alla portata di tutti grazie alla presenza di ricevitori GPS nei propri smartphone, che consentono di localizzare l'utente rispetto all'ambiente di gioco²⁶³.

Ciò consente di definire lo spazio urbano odierno uno "spazio aumentato", ossia un contesto in cui si verifica un processo di stratificazione informativa che dà origine a una nuova configurazione della città. Quest'ultima, di fatto, appare composta da molteplici strati di informazioni sovrapposti,

²⁶¹ Bogliolo 2023, p. 51

²⁶² Queste sono le logiche di gioco di *CodyMaze* e i *Code Hunting Games*, in cui l'utente giocatore si comporta come fosse un robot ed esegue le istruzioni che riceve dall'esterno. Bogliolo 2023, p. 52.

²⁶³ Petrucci 2021, p. 93

generalmente sotto forma di oggetti multimediali localizzati in relazione all'utente²⁶⁴. Come afferma Lev Manovich (2010), «sovrapporre strati di dati sullo spazio fisico» crea un nuovo tipo di spazio che «sta lentamente diventando realtà». Tale sovrapposizione è spesso resa possibile dal tracciamento e monitoraggio degli utenti. Pertanto, l'invio di informazioni spazializzate e l'estrazione di dati dagli stessi fruitori sono attività strettamente collegate. In questo modo, lo spazio aumentato si configura anche come uno “spazio monitorato”²⁶⁵.

Di conseguenza, i *locative media*, che utilizzano la georeferenziazione per fornire contenuti multimediali in base alla posizione dell'utente, stanno diventando fondamentali nel contesto odierno, ove interagiscono con spazi reali, favoriscono esperienze sociali e partecipative, come la visualizzazione di dati georeferenziati e gli *urban games*. La loro capacità di combinare esperienze reali e mediate rende evidente che lo spazio fisico è ora parte di un sistema complesso, in cui gli elementi fisici e mediali sono strettamente interconnessi. L'uso dello spazio è dunque influenzato ed arricchito dalle stesse esperienze mediali²⁶⁶.

Nell'ambito degli *urban games*, la città ha rivestito ruoli diversi negli ultimi decenni: come icona, per il suo valore estetizzante; quale trama relazionale in quanto contenitore di scambi e interazioni sociali; come problema o opportunità quando la gamification diventa solo uno degli strumenti utili a raccontare le contraddizioni del contesto urbano; come sfondo, quando vie e quartieri diventano l'ambientazione di gioco, ad esempio nel *geocaching*²⁶⁷; come *location based experiences*, soffermandosi però solo in modo superficiale sui luoghi attraversati dal gioco e poco sulle specificità della città; come palcoscenico, invece, consente giochi urbani *site specific*, immersi nel contesto cittadino perché l'ambiente diventa parte integrante del meccanismo ludico²⁶⁸; da ultimo, come laboratorio, dove è lo spazio cittadino a definire le regole del gioco e non viceversa²⁶⁹.

Il concetto di gamification urbana si sviluppa attorno a due ambiti fondamentali: la città e la semiotica. La città può essere intesa come un testo in costante trasformazione, nel quale coesistono elementi stabili, come la rete stradale, ed elementi soggetti a cambiamenti più rapidi, tra cui la

²⁶⁴ La sovrapposizione di vari strati di informazioni sullo spazio fisico, insieme all'interazione con dispositivi mobili, crea un'esperienza "aumentata" della realtà circostante, nota anche come "Bridge Experiences" (Esperienze ponte). Queste esperienze e interfacce sono particolarmente rilevanti quando riescono a connettere più strati di informazioni, integrando lo spazio urbano, le reti sociali e le memorie mediali. Innocenti e Pescatore 2015, pp. 132-133.

²⁶⁵ Innocenti e Pescatore 2015, p. 129

²⁶⁶ *Ibidem*, pp. 130-131

²⁶⁷ Il termine Geocaching deriva dal greco antico *γη* ("terra") e dall'inglese *cache* ("nascondiglio, oggetto segreto"), consiste in una caccia al tesoro, iniziata a diffondersi all'inizio degli Anni 2000, in cui i partecipanti, detti "geocacher", usano un ricevitore GPS o smartphone per nascondere o trovare dei contenitori di differenti tipi e dimensioni. Questi contenitori sono chiamati geocache o cache.

²⁶⁸ Un esempio di questo è l'applicazione di gioco "San Lorenzo Defence", un videogioco collaborativo *free-to-play* per dispositivi mobili che combina in modo originale i generi "Tower Defense", "Real World Adventure" e "Action RPG". SANLO, <https://sanloproject.it/> (ultima consultazione 14/01/2025)

²⁶⁹ Benvenuti 2023, pp. 127-128

configurazione degli edifici, le modalità d'uso degli spazi, le forme di comunicazione visiva e la presenza umana. Per descrivere la continua evoluzione è stata adottata la metafora del "palinsesto", che evidenzia come il tessuto urbano si modifichi nel tempo senza cancellare del tutto le tracce delle sue fasi precedenti, proprio come accadeva nelle pergamene medievali, riutilizzate per nuove scritture pur conservando segni del passato (Volli, 2015)²⁷⁰. L'interesse per il rapporto tra città e gioco nasce da almeno tre fattori che collegano i due ambiti, apparentemente distinti. In primo luogo, la città rappresentata assume una dimensione ludica, divenendo oggetto di gioco e di costruzione immaginativa, in linea con il significato etimologico di “*in ludere*”, ossia “mettere in gioco”. In secondo luogo, l'importanza di giochi come Lego®, Meccano®, Monopoli® e SimCity® (Fig. 49), tutti focalizzati sull'ambiente urbano, dimostra come la simulazione e l'illusione siano strumenti chiave nella rappresentazione della città, alimentati dai progressi tecnici e scientifici che spaziano dalla chimica all'economia fino all'informatica. Infine, vi è una motivazione di carattere sociale: il gioco, tradizionalmente considerato un'attività separata dal contesto della serietà, ha subito profonde trasformazioni che stanno ridefinendo i confini tra sfera ludica e vita quotidiana, influenzando le dinamiche collettive e i modelli di interazione sociale²⁷¹.



Figura 37 SimCity® è un videogioco di simulazione gestionale dove il giocatore ha il compito di costruire e gestire una città. Il giocatore deve occuparsi della crescita residenziale, commerciale e industriale, deve gestire i servizi come l'elettricità, l'acqua, la polizia, i pompieri e i servizi sanitari. Deve anche occuparsi della gestione economica e dei disastri naturali. Fonte: SimCity®, <https://www.ea.com/it-it/games/simcity/simcity-buildit> (ultima consultazione 05/03/2025)

Secondo Volli (2005), per essere un cittadino autentico è essenziale possedere una “competenza semiotica urbana”, ovvero la capacità di interpretare correttamente i messaggi trasmessi dall'ambiente urbano, distinguendo le informazioni rilevanti da quelle marginali. L'abilità di decodifica si traduce in una competenza pragmatica, che influenza il modo in cui l'individuo interagisce con lo spazio cittadino, determinandone l'uso, i percorsi e le modalità di fruizione. Tuttavia, poiché la città è un riflesso della cultura di cui è espressione, essa si caratterizza per la

²⁷⁰ Volli 2016, p.12

²⁷¹ *Ibidem*, p.13

presenza di strutture, sistemi comunicativi ed esperienze eterogenee, ognuno dei quali richiede specifiche modalità di interpretazione e di utilizzo per essere compreso e vissuto pienamente²⁷².

In tale prospettiva, la giocosità diventa un mezzo per esplorare nuove modalità di interazione con lo spazio urbano. L'analisi delle caratteristiche semiotiche della città permette, invece, di dargli un'interpretazione e attribuirgli nuovi significati e, quindi, di sviluppare un modello di "gamification" applicato alla città stessa²⁷³. Di fatto, già nel 1980, Michel de Certeau, ne *L'invention du quotidien*, paragonava il muoversi nella città alla lettura ad alta voce di un testo, un atto che non solo lo anima ma lo trasforma, incorporando le scelte e le inflessioni dei cittadini²⁷⁴.

La città è un'entità organica unitaria, ma al contempo caratterizzata da molteplici testi urbani di diversa scala, quartieri, strade, edifici, segnaletica, arredo urbano, graffiti correlati da dinamiche instabili e con ritmi e tempi di trasformazione differenti, dalla lenta evoluzione dei quartieri alla rapidità degli interventi degli *street artist* e alla fugacità dei manifesti pubblicitari. Inoltre, la città è attraversata da un flusso continuo di oggetti e persone (merci, veicoli, abitanti) che ne ridefiniscono costantemente il significato e la configurazione spaziale²⁷⁵.

Gli oggetti di dimensioni ridotte, ma con un forte valore simbolico, possono ridefinire a loro volta il contesto di elementi di scala maggiore. Ad esempio, edifici e monumenti iconici tendono a dominare l'ambiente circostante, svuotando di significato il resto per esaltare la propria centralità. La capacità di ricontestualizzazione è particolarmente utile nelle attività di gamification urbana, dove un singolo elemento può trasformare la percezione di un'intera piazza o quartiere²⁷⁶. In virtù di ciò, la città, con la sua complessa eterogeneità, segue una gerarchia basata su una stratificazione ideologica. Gli edifici del potere politico e religioso, i monumenti e i *landmark* ricevono maggiore enfasi, segnando il paesaggio urbano con simboli di autorità. Diverse forme di potere si manifestano nella competizione per la verticalità degli edifici, la centralità delle piazze e la denominazione di strade e quartieri. Frutto di molteplici autori, epoche e visioni dello spazio urbano, la città è dunque un campo di forze in cui strategie differenti si intrecciano, si scontrano e si sovrascrivono²⁷⁷.

Pertanto, vivere e muoversi nella città significa saperla leggere e interpretare, soprattutto in relazione alla gamification urbana, che ne implica una continua reinterpretazione. Il movimento nello

²⁷² Per meglio comprendere il concetto si può fare l'esempio di un cittadino europeo, abituato a una struttura urbana caratterizzata da un centro storico pedonale che ospita i principali edifici culturali e religiosi, non potrà applicare con efficacia le stesse strategie interpretative in una città delle Americhe o dell'Estremo Oriente. Ciò dipende dalle profonde differenze culturali che influenzano la configurazione e la rappresentazione di tali contesti urbani, rendendo necessario adottare approcci di lettura adeguati alle specificità locali. Thibault 2016, p. 32.

²⁷³ Thibault 2019, p. 1477

²⁷⁴ *Ibidem*

²⁷⁵ *Ibidem*, p. 1478

²⁷⁶ *Ibidem*

²⁷⁷ *Ibidem*

spazio urbano si struttura attorno alla dialettica tra “continuazione” e “interruzione”, delineando due categorie di elementi: i passaggi (strade, piazze, metropolitane) e gli ostacoli (muri, barriere, semafori), che regolano il flusso cittadino attraverso possibilità e limiti. Oltre a definire la transitabilità degli spazi, questi elementi funzionano come superfici comunicative: gli edifici veicolano messaggi simbolici, commerciali e ideologici, mentre i passaggi orientano e modulano la circolazione, trasformandosi in luoghi di espressione e interazione urbana²⁷⁸.

Per leggere una città, è dunque necessario selezionare elementi salienti, distinguendo quelli significativi da quelli banali, e creare isotopie tra di essi, conferendo così un significato organico all'insieme eterogeneo. Tuttavia, la semplice selezione non è sufficiente per una navigazione consapevole. In un ambiente sociale, ogni oggetto può assumere significati diversi a seconda dell'individuo o del momento. Alcuni possono essere reinventati attraverso pratiche che contraddicono il loro scopo originale. Pertanto, è necessario considerare i molteplici usi possibili e procedere a una seconda selezione e interpretazione. La scelta è guidata dalla sopraddezza "competenza semiotica urbana", ossia la capacità di decifrare correttamente i segnali della città. Tale competenza orienta gli abitanti nei loro spostamenti, mentre la leggibilità urbana – la capacità di aiutare le persone a creare mappe mentali e orientarsi – può facilitarne o ostacolarne l'uso²⁷⁹.

Scrivere la città, in senso lato, significa intervenire fisicamente sugli spazi urbani, agendo su passaggi, superfici e morfologie attraverso costruzioni, modifiche, decorazioni o segni. È un processo materiale, ma anche simbolico: una forma di riscrittura dello spazio che aggiunge significati, colma vuoti, riattiva memorie e, talvolta, rimuove intenzionalmente ciò che si vuole dimenticare.

In tempi ordinari, questa scrittura si muove tra due modalità principali: da un lato, la sottrazione, cioè la rimozione di parti preesistenti per fare spazio a nuove strutture, visioni o narrazioni; dall'altro, il riuso creativo degli elementi urbani già presenti, che vengono recuperati, reinterpretati e integrati in nuove logiche spaziali e culturali.

Ma in tempo di guerra, la scrittura della città si complica. Gli spazi urbani non sono più semplicemente luoghi da costruire o trasformare, bensì scenari di conflitto, distruzione e sopravvivenza. Le modifiche all'ambiente urbano non avvengono solo per decisione progettuale, ma spesso per necessità, urgenza, ferita. Le superfici della città vengono riscritte dal trauma: esplosioni, crolli, occupazioni, barriere improvvisate, graffiti di resistenza o di propaganda.

La guerra impone una riscrittura caotica, parziale, talvolta definitiva.

In questo contesto, anche le due modalità principali — distruzione e riuso — assumono nuovi significati. La rimozione diventa un atto violento e talvolta irreversibile: non più demolizione

²⁷⁸ Thibault 2019, p. 1478

²⁷⁹ *Ibidem*, p. 1479

controllata, ma cancellazione forzata. Il recupero, invece, può trasformarsi in un gesto di resistenza culturale: salvare un oggetto, una facciata, una scritta muraria diventa un modo per opporsi all'oblio, per proteggere la memoria urbana sotto attacco.

Scrivere la città in tempo di guerra, dunque, non è mai un atto neutro. È una pratica complessa, che si muove sul crinale tra distruzione e rinascita, tra cancellazione e memoria. Richiede attenzione alla dimensione storica, alla sopravvivenza dei significati, all'etica della trasformazione.

E chiede, forse più che mai, strumenti capaci di restituire tale complessità: dalla georeferenziazione delle tracce al racconto condiviso, dall'arte urbana alla gamification, ogni linguaggio può contribuire a decifrare e riscrivere ciò che la guerra ha inciso nella città²⁸⁰.

A tal proposito, strumenti come gli smartphone sono in grado di rilevare la nostra posizione, connettersi al Web e osservare l'ambiente circostante tramite la fotocamera, diventando così strumenti fondamentali per accedere a molteplici nuovi modi di interpretare gli spazi urbani²⁸¹.

La realtà aumentata, inoltre, consente ai dispositivi di fornire agli utenti informazioni sulla loro posizione e di arricchire gli spazi urbani con nuovi livelli di significato. Offre anche la possibilità di lasciare commenti e graffiti virtuali, permettendo agli utenti di interagire con l'ambiente circostante attraverso lo schermo. Inoltre, diverse applicazioni di realtà aumentata combinano mappe digitali e *Augmented Reality* (AR), offrendo un nuovo modo di esplorare la città (Graham *et al.*, 2013), ludicizzando l'esperienza di spostarsi nel contesto urbano, con effetti che vanno oltre la mera dimensione del gioco (Colley *et al.*, 2017; Boulos *et al.*, 2017).

Le azioni di gamification urbana, però, non si limitano alla dimensione "analogica" della città o quella, appena descritta, che forse si potrebbe definire "ibrida", in quanto coadiuvata da dispositivi mobili, ma comprendono anche la digitalizzazione degli spazi. Il processo implica, in parte, un'appropriazione dello spazio pubblico da parte di aziende private, che creano copie virtuali della città mantenendo il controllo esclusivo. Le mappe e le ricostruzioni digitali urbane diventano così strumenti di scrittura estesa, poiché è più difficile esercitare un controllo su di esse rispetto agli spazi reali, e spesso i cittadini se ne appropriano. Le mappe, ad esempio, vengono trasformate in basi per videogiochi, generalmente amatoriali e semplici, il cui obiettivo è coinvolgere i giocatori in simulazioni di luoghi familiari. In tal senso, la città, come nei giochi urbani, perde i suoi valori funzionali e diventa un parco giochi, risemantizzabile e utilizzabile in attività ludiche²⁸².

Le iniziative di gamification urbana si configurano, quindi, come strategie che, sfruttando il valore simbolico e l'attrattiva del gioco, mirano a ridefinire gli spazi urbani, trasformandoli in luoghi

²⁸⁰ Thibault 2019, p. 1479

²⁸¹ *Ibidem*, p. 1480

²⁸² *Ibidem*, p. 1483

di interazione ludica o, in alcuni casi, in oggetti di ironica reinterpretazione. Queste pratiche danno origine a forme di “ludicità pervasiva”, ampliando i confini tradizionali del gioco al di là delle consuete limitazioni spaziali, temporali e sociali²⁸³. Ne deriva il coinvolgimento di vaste porzioni di spazio pubblico, l’inserimento del gioco in momenti non convenzionalmente dedicati all’attività ludica e la partecipazione inconsapevole di passanti, trasformati in attori del processo ludico (Montola *et al.*, 2009). Le finalità alla base dell’impiego di strategie di gamification urbana sono molteplici e comprendono l’appropriazione e la riqualificazione dello spazio urbano, l’applicazione di tecniche di marketing, l’adozione di nuove forme di protesta e la promozione di modalità innovative di cittadinanza attiva. Tuttavia, l’elemento comune è la volontà di riscrivere e trasformare la città, sfruttando la capacità motivazionale e il potenziale immersivo del gioco per rinnovare la percezione, l’uso e il significato dello spazio urbano²⁸⁴.

«Gli urban game sono, in definitiva, un’attività ludica strutturata, progettata e svolta per/in un contesto urbano» (Benvenuti 2023, p. 128), ambito ampio, per cui Ferri e Coppock (2013) hanno individuato una sottocategoria, i *serious urban game*, i cui criteri minimi sono: l’impronta ludica, una struttura organizzata, il contesto urbano, uno scopo sociale o educativo e supporti tecnologici di qualche tipo, seppure non in forma obbligatoria. Dunque, in questa sottocategoria di giochi l’*urban game* incontra il *serious game* e persegue in primo luogo finalità extra-ludiche (sociali, didattiche, educative) e non solo il divertimento dell’utente, servendosi dei contesti urbani reali per raggiungere un grado di pervasività maggiore.

Il *pervasive gaming*, inoltre, non estende solo il gioco nella vita quotidiana, ma fa sì che la nostra identità di giocatori si mescoli con quella di personaggi del gioco. I punti guadagnati si traducono in premi reali, come sconti o vantaggi, modificando l’interazione con l’ambiente. Il meccanismo è molto coinvolgente poiché gli effetti del gioco influenzano la vita reale²⁸⁵. Le forme di gioco pervasivo, infatti, si inseriscono in questo spazio intermedio, combinando le potenzialità offerte dai media locativi e dalle mappe digitali con un intervento concreto nell’ambiente urbano. Così, si sovrappongono e si integrano i significati creati dal gioco (con le sue regole e missioni) con quelli già presenti nello spazio²⁸⁶.

Per quanto riguarda lo spazio negli *urban games*, esso è rappresentato dai luoghi della città, caratterizzati da un terreno fisico, misurabile, calpestabile, a cui si sovrappone il sopramenzionato “cerchio magico del gioco” (Cinganotto 2023, p. 75). Il dialogo tra i due piani è forte e serrato, ma non del tutto coincidente, come accade nei giochi ambientati nel passato o nel futuro, in cui i giocatori

²⁸³ Thibault 2019, p. 1476; Innocenti e Pescatore 2015, p. 131

²⁸⁴ Thibault 2016, p. 44

²⁸⁵ Innocenti e Pescatore 2015, p. 135 e 138

²⁸⁶ Fanchi e Scussolin 2015, p. 146

sono continuamente chiamati a ridisegnare la propria geografia mentale, sostituendo con l'immaginazione agli spazi urbani odierni luoghi perduti del passato o quelli immaginifici del futuro. Si tratta, dunque, di un sovrapporsi tra piani reali e ludici, dai confini sfumati e liquidi²⁸⁷.

Gli ambienti urbani digitali creati per i videogiochi, pur non raggiungendo il medesimo grado di realismo delle piattaforme come Google[®], non si limitano alla semplice riproduzione statica di città esistenti per una visita virtuale. Gli ambienti sono spesso altamente interattivi, dotati di elementi temporali come il ciclo giorno-notte e fenomeni meteorologici, e arricchiti da numerosi oggetti in movimento, come rappresentazioni di abitanti, animali e veicoli. Le città digitali nei videogiochi presentano diverse tipologie: alcune sono progettate e costruite dal giocatore, come nel caso di SimCity[®], mentre altre sono composte da edifici funzionali al *gameplay*, come nei giochi strategici. Vi sono poi ambientazioni che fungono esclusivamente da sfondo all'azione, senza possibilità di interazione. Infine, esistono città complesse che simulano realisticamente l'esperienza di un vero e proprio spazio urbano. In questi casi, il giocatore può muoversi liberamente, interagire con l'ambiente circostante, gli oggetti, gli edifici, le automobili e anche con i passanti, gestiti da intelligenze artificiali o da altri giocatori. Tali città possono essere ricostruzioni fedeli di città esistenti, sia moderne, come la Chicago di *Watchdogs*[®], che storiche, come la Firenze e Venezia rinascimentale di *Assassin's Creed 2*^{®288}, oppure ispirarsi a città esistenti (come nella serie *Grand Theft Auto*[®]), o del tutto immaginarie, quale Vizima in *The Witcher*^{®289} (Fig. 50).



Figura 38 Esempi di città ricostruite, ambientate nel passato o inventate nei videogiochi. A sinistra la Chicago di *Watchdogs*[®] <https://www.ubisoft.com/it-it/game/watch-dogs/watch-dogs>; al centro la Venezia rinascimentale di *Assassin's Creed 2*[®], <https://www.ubisoft.com/it-it/game/assassins-creed/assassins-creed-ii>; a destra la Vizima in *The Witcher*[®], <https://www.thewitcher.com/it/it/> (ultima consultazione 05/03/2025)

Tuttavia, le città virtuali non si limitano a essere mere simulazioni di spazi fisici. Esse non offrono semplicemente ai giocatori ambienti digitali nei quali vivere come nelle città reali, ma, grazie

²⁸⁷ Benvenuti 2023, p. 129

²⁸⁸ Un esempio significativo è *Assassin's Creed 2*, che ha avuto un tale impatto da influenzare flussi turistici nelle città in cui è ambientato, come Roma, Istanbul e Firenze, dove è possibile partecipare a tour ispirati al videogioco. Nel 2011, un blog di fan ha condiviso una fotografia di una casa fiorentina anonima, che, sebbene insignificante per chi non conosce il gioco, ha suscitato interesse tra i lettori, grazie alla presenza di dettagli (come un lampione e un cavo teso) significativi nell'ambito del videogioco. Questa reazione dimostra come la competenza semiotica urbana ludica consenta ai giocatori di riconoscere e interpretare i luoghi in modo diverso rispetto alla realtà, evidenziando un processo di risemantizzazione della città attraverso il gioco. In questo modo, i videogiochi ambientati in città digitali modificano il nostro modo di percepire e interpretare le città reali, influenzando la competenza semiotica urbana del giocatore e la sua lettura della città stessa. Thibault 2016, pp. 64-66.

²⁸⁹ Thibault 2016, pp. 61-62

alla loro dimensione ludica, impongono che il giocatore, tramite un avatar, compia azioni fuori dal comune, emozionanti, rischiose e talvolta impossibili o moralmente discutibili. Le azioni straordinarie non sono solo possibili all'interno di tali ambienti, ma spesso risultano indispensabili, poiché fanno parte integrante delle meccaniche di gioco. Per progredire, o addirittura per continuare a giocare, il giocatore è obbligato a eseguire una serie di attività (spostamenti, combattimenti e fughe) che vanno ben oltre le capacità e le esperienze tipiche della vita quotidiana, e quindi superano le competenze urbane che il giocatore è solitamente chiamato a mettere in pratica nel contesto reale²⁹⁰.

Nel momento in cui, poi, il virtuale incontra l'*urban game*, in forma di giochi con realtà aumentata, impiego di *devices* mobili, geolocalizzazione e accesso alla rete internet, i piani di gioco e immersione si moltiplicano²⁹¹.

Il proliferare degli spazi negli *urban games* è fortemente connesso ai tempi multipli del gioco, distinguibili in quattro principali tipologie: il flusso della quotidianità urbana; la dimensione temporale oggettiva, limitata e misurabile, spazio di tempo entro cui risolvere il gioco; la temporalità immaginifica che si deve al gioco stesso e per cui, in un gioco "multiepoca", si riesce a fare un viaggio di secoli indietro o avanti nel tempo solo percorrendo poche strade di una città; infine, il tempo soggettivo del giocatore singolo o del gruppo, che ha risvolti in termini di gestione, strategia e *problem solving*²⁹².

Il dispositivo ludico e il processo di *gamification* possono, attraverso l'*urban game*, fungere da mediatori nella complessa attività di interpretazione e reinterpretazione della città, come anticipato, intesa come «deposito di simboli» e «macchina comunicativa funzionante come un testo» (Thibault, 2016, p. 22). Di fatto, «il dispositivo ludico rinnova il nostro modo di leggere lo spazio urbano» (Benvenuti, 2023, p. 141).

La permeabilità esistente tra gioco e città negli *urban games*, infatti, consente ai giocatori di leggere il vissuto emotivo dei luoghi urbani con filtri diversi, veicolando e amplificando una nuova conoscenza degli stessi. Di certo, gli *urban games* non sono gli unici strumenti in grado di mediare la complessità del mondo reale, ma sono necessari per motivare e ottenere risposte personali intense da parte degli utenti. La loro dinamicità e immersione nel reale incuriosisce, coinvolge e soddisfa il giocatore più di una vittoria o ricompensa finale²⁹³. Il gioco urbano si sta, effettivamente e

²⁹⁰ Thibault 2016, p. 62

²⁹¹ Meneghelli 2016, p. 137-138; Il processo in corso sta ridefinendo il rapporto tra tecnologie, spazio urbano e esperienza di fruizione. L'accesso ai contenuti non è più legato a tempi e luoghi specifici, come avveniva con i media tradizionali, ma è diventato più flessibile e decentralizzato. Grazie alle nuove tecnologie, in particolare agli smartphone e alla realtà virtuale, i contenuti non sono più vincolati a supporti specifici, come pellicole o dischi, ma possono essere fruiti su una vasta gamma di piattaforme. Inoltre, la diffusione di contenuti adattabili a contesti diversi ha portato a un riadattamento dei media tradizionali e alla modifica dei formati narrativi e testuali. Innocenti e Pescatore 2015, pp. 127-128.

²⁹² Benvenuti 2023, p. 130

²⁹³ Benvenuti 2023, p. 132

progressivamente, affermando come strumento per contrastare l'anonimato della città, per favorire il senso di appartenenza allo spazio urbano e per coinvolgere e formare comunità attraverso esperienze condivise²⁹⁴.

Tuttavia, gli *urban games* non hanno ancora un inquadramento teorico definito. È certo, però, che rappresentano un terreno su cui si stanno muovendo e si muoveranno ancora in futuro diversi ambiti, come quello del turismo, del marketing, dei beni culturali, della rigenerazione urbana e dell'educazione²⁹⁵.

In risposta alla varietà di questi settori di interesse, esistono diverse tipologie di *urban games*. Una delle più semplici e diffuse consiste nell'*orienteeering* urbano che si basa sull'esplorazione della città partendo da luoghi noti per arrivare a conoscerne di nuovi in modo ludico, in un progressivo tentativo di appropriazione della dimensione urbana da parte degli utenti. Il gioco assume una struttura caleidoscopica che si dipana in una caccia all'aneddoto tra le vie della città²⁹⁶.

Questo tipo di attività è affine e deriva dalla più tradizionale "caccia al tesoro", gioco esplorativo per eccellenza che, tramite la cornice urbana e talvolta al taglio tematico che le si dà, carica di aspettativa il giocatore e funge da motivante all'attività di gioco. Spesso la città, in questi casi, svolge il ruolo di sfondo del gioco o al massimo di "campo di gioco", rivelando poco del proprio tessuto urbano attraverso le varie tappe del percorso ludico, funzionali alla narrazione interna al *game*.

Gli *urban games site specific*, così strutturati, richiedono grandi lavori preparatori, soprattutto in termini di *input* di contenuti informativi contingenti al caso studio tali per cui, nella dimensione della trasferibilità del prodotto gioco, quello che si può esportare altrove, ad altri casi studio, è solo l'ossatura del gioco stesso e non i contenuti da cui derivano poi anche i meccanismi ludici. Ciò nonostante, resta un modello di gioco, in quanto fornisce agli utenti una lettura autonoma e diretta del territorio, una conoscenza che costruisce di tappa in tappa per tentativi ed errori. Questo modello crea un equilibrato rapporto tra dispositivo ludico e contesto urbano, che insieme creano un ambiente di apprendimento unico e dinamico²⁹⁷.

In un certo senso, sottocategoria della caccia al tesoro urbana, sono i "giochi escursione" e le "imprese sfidanti". Nel primo caso il giocatore veste i panni di una specifica identità per affrontare il gioco; nel secondo caso, invece, cambiano le logiche, i punti di vista o semplicemente l'epoca di

²⁹⁴ Thibault 2019, p. 1476

²⁹⁵ Del resto, sembra che istruzione, formazione e mondo accademico siano i domini che concentrano la maggior parte degli studi sulla gamification. Albertazzi *et al.* 2019, p. 200.

²⁹⁶ Si vedano come approfondimenti il caso studio della città di Caserta con il gioco "il segreto dei Borbone", riportato da Malorni 2019; il caso di Reggio Emilia con il gioco "Tutta nostra è la città", riportato da Cecalupo 2014; e il caso studio "Sulle tracce di un monaco in visita a Lucca", riportato da Cecalupo 2013.

²⁹⁷ Benvenuti 2023, pp. 133-134

ambientazione del gioco. L'attività ludica risulterà funzionale solo nel momento in cui lo *storytelling* di fondo sia suggestivo e coinvolgente.

Inoltre, entrano in campo, nei casi degli *urban games* di stampo educativo, le dinamiche tipiche dei giochi di ruolo dal vivo che nell'ambito prendono il nome di *Larp*²⁹⁸. In essi gli spazi urbani fungono da spunti narrativi della storia portante del gioco che funge, a sua volta, da itinerario tra le vie della città. In tal senso, la città può assumere sia il ruolo di coprotagonista sia da sfondo del gioco.

Diversa, seppure in parte affine, è il caso dell'*escape*. Gli *urban escape*, infatti, prevedono sia forme analogiche del gioco sia la presenza e il supporto di dispositivi digitali e gli spazi urbani sono concepiti come contenitori di ostacoli ed enigmi da superare in forma progressiva fino a raggiungere la prova finale. La dinamica del gioco è complicata proprio dall'orientamento nello spazio urbano. Questi giochi applicati al contesto educativo diventano dei veri e propri laboratori a cielo aperto e «la città emerge come luogo del fare, offrendo i suoi materiali, i suoi elementi costitutivi per un'indagine multiforme e transmediale» (Benvenuti, 2023, p. 136).

Gli *urban escape*²⁹⁹ e la loro esigenza di orientarsi tra vie cittadine, usare mappe, trovare e risolvere indizi consentono non solo l'acquisizione di conoscenze contingenti, ma lo sviluppo di capacità intuitive e deduttive, topologiche e matematiche. Pertanto, l'approccio ludico applicato al contesto urbano interessa molteplici discipline, dalla storia, all'arte, alla geografia e non solo³⁰⁰.

Ai fini formativi, è ovvio che l'attività di gioco debba essere proposta entro un percorso educativo ben definito e gestita nei suoi contenuti (il più delle volte) e anche nelle sue meccaniche da docenti o educatori che, nell'ambito dell'attività ludica, rivestiranno il ruolo di *master* del gioco o di mediatori/facilitatori. Essi dovranno evidenziare e aiutare i giocatori/allievi nella lettura ed interpretazione dei segni nascosti nell'ampio e complicato contesto urbano, evitando pressapochismo ed eccesso di spontaneità in grado di deragliare dagli scopi educativi del gioco proposto. Guida o esperto sono altri due termini riscontrabili nella descrizione del ruolo che questa figura è chiamata a rivestire. Ciò nonostante, accogliere o meno l'attività proposta spetta solo all'utente finale perché presupposto imprescindibile del verbo giocare, come esposto in precedenza, è la libertà di scegliere di farlo³⁰¹.

In aggiunta, per evidenziare le potenzialità degli *urban games* e dei giochi in generale nei contesti educativi è necessaria una fase successiva all'attività ludica per se stessa, ossia un momento di *debriefing*. Si tratta di uno spazio di tempo dedicato alla riflessione critica dell'attività svolta in cui

²⁹⁸ Ceresa e Bielli 2022; Capone 2020

²⁹⁹ Per un approfondimento sul tema e una personale interpretazione dell'argomento si veda Noto 2022.

³⁰⁰ Benvenuti 2023, p. 136

³⁰¹ *Ibidem*, pp. 137-138

tutti i partecipanti al gioco sono chiamati ad analizzare ogni fase ed elemento del gioco ed esprimere pareri, opinioni, criticità. La pluralità di feedback è essenziale per migliorare il gioco per il *game designer* e l'esperienza ludica per il *master*.

Negli ultimi anni, inoltre, la *gamification* e l'*urban gaming* si sono incontrati e integrati sempre più con un nuovo spazio di comunicazione sociale: il Metaverso, un ambiente digitale immersivo che si è rivelato particolarmente efficace nell'incentivare lo sviluppo di *life skills*, pensiero critico e divergente, ma anche nell'aprire nuove strade per la riflessione collettiva su temi complessi, come la memoria urbana e i paesaggi culturali segnati dal conflitto³⁰².

Il termine Metaverso, coniato da Neal Stephenson nel 1992 nel suo romanzo *Snow Crash*, è diventato più rilevante dopo il 2020³⁰³, in particolare con il cambiamento del nome di Facebook® in Meta nel 2021.

Etimologicamente, "Metaverso" significa "universo oltre", «una rete interoperabile e su vasta scala di mondi e ambienti virtuali 3D renderizzati in tempo reale che possono essere vissuti in modo sincrono e persistente da un numero praticamente illimitato di utenti con un senso di presenza individuale e con continuità di dati, come identità, cronologia, diritti, oggetti, comunicazioni e pagamenti» (Ball³⁰⁴ 2021).

Il Metaverso di Facebook®, fondato sull'Intelligenza Artificiale (IA), ha lo scopo di restituire percezioni del mondo sempre più dinamiche e interattive. Le aree di ricerca su cui lavora "Meta", infatti, sono due: "la percezione egocentrica" e "l'Intelligenza Artificiale generativa". La prima consente una prospettiva del mondo in prima persona; la seconda consente di creare, importare e caricare oggetti nel mondo virtuale anche solo tramite comandi vocali³⁰⁵.

Del resto, per raggiungere il Metaverso, si attraversano due sfere, l'Intraverso e l'Interverso: da una parte la realtà concreta, con le sue suddivisioni e categorie; dall'altra, la coesistenza tra presenza fisica e realtà virtuale, dove la natura immateriale del digitale impone un continuo passaggio tra ciò che è reale e la sua rappresentazione. L'Intraverso e l'Interverso sono in continuo movimento, configurandosi come una geografia instabile, priva di un sistema di classificazione, dove non si naviga più ipertestualmente, ma tramite teletrasporto tra diversi *layers*. La vastità del Metaverso genera, di conseguenza, una nuova Geografia, fatta di rapporti e relazioni tra luoghi potenzialmente dilatati, infiniti, flessibili, irregolari e frammentati allo stesso tempo³⁰⁶.

³⁰² Scasciamacchia 2023, p. 231

³⁰³ Carbone 2024, p. 81; Ball 2022, p. 9

³⁰⁴ Matthew Ball, investitore e autore di "The Metaverse Primer"

³⁰⁵ Cinganotto 2023, p. 89

³⁰⁶ Carbone 2024, pp. 84 e 92

Il Metaverso si presenta, pertanto, come uno spazio ramificato e dinamico, dove le azioni sono multidirezionali e i dati interconnessi su più livelli, sia che siano fisici che virtuali. In questo contesto, le informazioni geografiche, e in particolare la loro rappresentazione visiva, diventano risorsa, merce, valore e infrastruttura, una rete che collega luoghi, spazi e persone³⁰⁷.

«Dall'altra parte per esistere il Metaverso deve essere abitato, deve avere una comunità, mentre al momento vi è una corsa agli spazi, così come lo è stato per tante frontiere, come *Second Life*³⁰⁸ per cui le grandi imprese creano piattaforme di accesso al Metaverso, ripresentando un tema fondamentale per la Geografia: il potere dell'accesso, in particolare dei dati e, nello specifico, degli *open data*» (Carbone, 2024, p. 93).

Discorso che ben si sposa anche con gli interrogativi etici su IA e MetaEtica³⁰⁹ che necessariamente ne derivano e vanno affrontati, soprattutto se si parla di Metaverso in ambito educativo. Secondo Luciano Floridi (2022), la vera sfida non consta nelle innovazioni digitali, ma nella *governance* del digitale stesso, perché l'IA rappresenta solo una nuova forma dell'agire, si potrebbe dire una metodologia, e non di una vera intelligenza. Pertanto, l'uomo deve agire sempre nell'infosfera secondo una strategia etica con responsabilità, autocontrollo e con consapevolezza delle proprie capacità³¹⁰. Inoltre, discutere di Metaverso e di MetaEtica, entrambi concetti che derivano dal termine greco "meta", il quale significa sia "oltre" sia "tra", comporta una riflessione che si estende fino alle implicazioni filosofiche e tecnologiche del transumanesimo. Esso mira a migliorare l'esperienza umana superando le limitazioni biologiche tramite tecnologie come l'ingegneria genetica e i chip corporei. Su tale argomentazione, esistono approcci differenti: il transumanesimo basato sul silicio immagina menti digitali, mentre quello fondato sul carbonio prospetta una nuova specie o un'umanità evoluta. In contrapposizione, il postumanesimo critico rifiuta visioni dualistiche e antropocentriche. Il metaumanesimo, invece, si colloca tra queste prospettive, superando l'umanesimo e meditando sulle relazioni tra transumanesimo e postumanesimo³¹¹.

La gamification può essere interpretata come un'espressione di una visione transumanista, in cui le distinzioni di genere, così come quelle tra umano, animale e macchina, tendono a sfumare, come teorizzato da Haraway (1995, 2000, 2003, 2008). In tal senso, la separazione tra il mondo

³⁰⁷ Carbone 2024, p. 88

³⁰⁸ Carbone 2009, p. 67

³⁰⁹ Alcuni studiosi parlano di "MetaEtica", cercando di capire quali saranno gli esiti futuri che il Metaverso sempre più dominato dall'Intelligenza Artificiale apporterà nelle vite umane, configurandosi di fatto come un *continuum* tra realtà e virtuale. Zallio e Clarkson 2022.

³¹⁰ Scasciamacchia 2023, p. 237

³¹¹ Sorgner S. L. (2020), Postumanesimo, metaumanesimo, transumanesimo: come andare oltre l'umano, Fondazione Leonardo, Learning the future, <https://www.fondazioneleonardo.com/stories/postumanesimo-metaumanesimo-transumanesimo-come-andare-oltre-lumano> (ultima consultazione 09/01/2025); Campa 2006, p. 148

virtuale dello schermo e la realtà fisica si dissolve, e di conseguenza, viene meno anche la distinzione tra il gioco digitale e l'esperienza corporea concreta³¹².

Resta il fatto che il Metaverso consta in uno spazio senza limiti, ibrido, fluido e permanente, ove l'utente ha la possibilità di vivere a metà tra il virtuale e il reale e di esercitare liberamente la propria *agency* o capacità di agire. La connessione con la *gamification* e, quindi, con la creazione di giochi in nuovi mondi virtuali risulta di grande attrattiva, ma anche di grande utilità per lo sviluppo di competenze e l'adattabilità degli individui a diverse simulazioni di vita³¹³. Del resto, il videogioco, grazie alla sua elevata capacità di coinvolgimento, può indurre il giocatore a una temporanea disconnessione dalla realtà. Tuttavia, la possibilità di interrompere l'esperienza di gioco a propria discrezione, come sottolineato da Pecchinenda (2004, p. 85), costituisce un elemento distintivo fondamentale tra la realtà e la simulazione videoludica. Di fatto, il videogioco si configura come la principale modalità attraverso cui la cosiddetta "cultura della simulazione" è riuscita a permeare la realtà (*Ibidem*, p. 88).

Secondo Smart *et al.* 2007, la simulazione del reale nel Metaverso si compone di quattro elementi (Fig. 51): *Virtual World (VW)*, *Mirror World (MW)*, *Lifelogging (LL)* e *Augmented Reality (AR)*. Il *Virtual World* consiste in un ambiente simulato al computer (Bartle 2003, p. 13), in cui l'utente si muove e agisce tramite la costruzione di un proprio *avatar*. Il *Mirror World* consiste, invece, nel riflesso del mondo fisico in quello virtuale attraverso strumenti di mappatura, sensori geospaziali e strumenti di rilevamento della posizione e della cronologia. Grazie al terzo elemento, l'*Augmented Reality*, il Metaverso è in grado di aggiungere informazioni alla realtà e migliorare l'esterno. Infine, il quarto elemento, o *Lifelogging*, si compone dell'acquisizione, dell'archiviazione e distribuzione di informazioni ed esperienze³¹⁴.

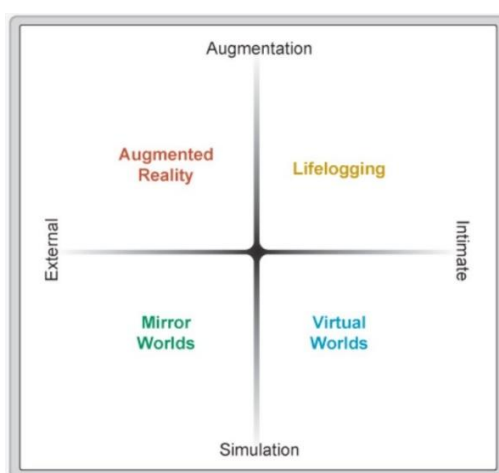


Figura 39 Classificazione del Metaverso. Fonte: Smart *et al.* 2007, p. 5

³¹² Giordano 2015, p. 80

³¹³ Scasciamacchia 2023, p. 232

³¹⁴ *Ibidem*, pp. 233-234

Il filone di ricerca del *Mobile Augmented Reality* (Mobile AR), (Zhang *et al.* 2020, p. 224, Novak 2012, p. 92) studia la Realtà Aumentata e il Metaverso, oltre ai dispositivi mobili tramite cui fruirne. Si è detto che il Metaverso consiste in un mondo simulato e immersivo, in cui ci si muove attraverso un avatar. Tali ambienti virtuali aperti e multigiocatore, in cui può verificarsi il fenomeno dell'*embodiment*, a causa di una profonda immedesimazione nel proprio avatar dovuta all'elevato grado di immersività del sistema anche a livello sensoriale e cinestetico, sono definiti *MultiUser Virtual Environment* (MUVE) e sono caratterizzati da molteplici elementi aggiuntivi rispetto ai mondi virtuali quali SecondLife®, Minecraft®³¹⁵ e The Sims® (Fig. 52).



Figura 40 Esempi di avatar in diversi mondi virtuali: a sinistra SecondLife®, <https://secondlife.com/>; al centro Minecraft®, <https://www.minecraft.net/it-it>; a destra The Sims®, <https://www.ea.com/it-it/games/the-sims> (ultima consultazione 05/03/2025)

Esempi applicativi di attività educative nel Metaverso con l'impiego della realtà virtuale hanno dimostrato, però, che tali strumenti consentono un apprendimento più veloce ed efficace rispetto a percorsi tradizionali o di E-Learning (Fig. 53)³¹⁶.



Figura 41 PwC VR Soft Skills Training Efficacy Study, 2020. Fonte: Mustafa e Kahn 2022, p. 149

³¹⁵ Cinganotto 2023, p. 81

³¹⁶ Mustafa e Kahn 2022, p. 149

L'*embodiment* con il proprio avatar e l'approccio partecipativo ed esperienziale, al contempo, sono gli strumenti che consentono l'abbassamento delle barriere emotive, il che, da un punto di vista educativo, incentiva l'apprendimento come definito in precedenza, "*learning by doing*" e "*learning by playing*".

La costruzione di un avatar consente, inoltre, di creare nuove identità³¹⁷, spesso diverse e distanti da quelle reali, la qual cosa si trasforma in opportunità per chi, ad esempio a causa di una disabilità, non può nel quotidiano fare esperienza di alcuni comportamenti o movimenti, avendo finalmente la possibilità di muoversi senza ostacoli. Allo stesso tempo, però, non è da sottovalutare il rischio di de-personalizzazione e di difficoltà a rientrare nel mondo reale³¹⁸.

In definitiva, tramite il Metaverso la pratica ludica si interseca e ha dei riverberi nella realtà, rappresentando un *continuum* con essa e non uno strumento di evasione³¹⁹. Per questo, i videogiochi nel Metaverso stanno assumendo prospettive sociali con lo scopo di far interagire e socializzare utenti da ogni parte del mondo, rendendo anche la didattica coinvolgente ed esperienziale³²⁰. In particolare, i *serious games* ambientati nel Metaverso risultano immersivi al punto da essere assimilabili alla realtà, aumentando di conseguenza le capacità di memorizzazione dei contenuti da parte degli utenti. L'immersività, anche a livello emotivo, e la multisensorialità sono ulteriormente incentivati dall'impiego sincrono con il Metaverso di strumenti quali visori per la Realtà Aumentata e Virtuale³²¹. Inoltre, il metaverso si predispone bene alla narrazione, o *storytelling*, di un racconto che aiuti l'utente a non abbassare i propri livelli di attenzione e ad interpretare ed esplorare con più facilità i nuovi mondi costruiti nel Metaverso³²². Ulteriore caratteristica del Metaverso è la possibilità di fruire di un linguaggio universale. Grazie, infatti, a tool come "*No language Left Behind*" e "*Universal Speech Translator*", l'intelligenza artificiale ci doterà nel prossimo futuro della capacità di tradurre e comprendere in tempo reale qualsiasi lingua all'interno degli ambienti del Metaverso³²³.

³¹⁷ Gli avatar si collocano all'interno della categoria dei *digital character*, entità create e animate digitalmente, risultanti dall'interazione tra un interprete umano e un sistema informatico. Tale interazione avviene mediante dispositivi specifici, progettati per convertire, attraverso un processo di 'traslazione sensoriale', l'individuo in una rappresentazione virtuale. In questo ambiente parallelo, l'identità dell'utente può essere liberamente 'estesa', assumendo le sembianze di svariate creature. Uva, 2015, p. 59.

³¹⁸ Scasciamacchia 2023, p. 237, pp. 145-155

³¹⁹ Petrucci 2021, p. 23; Si veda anche il concetto di gioco come strumento di evasione, proprio del pensiero del filosofo spagnolo Ortega y Gasset 1986, *Meditazioni del Chisciotte*, Guida, Napoli, p. 163, op. cit. da Pecchinenda 2004, p. 80

³²⁰ «I visori che oggi sono in commercio, inoltre, devono ancora essere migliorati, non essendo una tecnologia *mainstream*, e risultano piuttosto scomodi per un utilizzo costante nel tempo, non riuscendo a garantire, al momento, una percezione a 360° in modo completo ed esaustivo». Scasciamacchia 2023, p. 234 e 237.

³²¹ Scasciamacchia 2023, pp. 235-236

³²² L'importanza di una buona strategia di *storytelling* nell'ambito di contesti ludici e attività gamificate è approfondita dal manuale di Maestri *et al.* 2015

³²³ Meta (2023), *Introducing SeamlessM4T, a Multimodal AI Model for Speech and Text Translations*, <https://about.fb.com/news/2023/08/seamlessm4t-ai-translation-model/> (ultima consultazione 05/3/2025)

In ogni caso, dal punto di vista educativo, il Metaverso non sostituisce il ruolo di un docente o educatore quale progettista, ma assume il ruolo di valore aggiunto. Il suo impiego nell'educazione rappresenta, infatti, un fattore di democratizzazione dell'istruzione, non avendo limiti alla partecipazione di utenti di qualsiasi provenienza; essendo in grado di adattare la conoscenza alle esigenze dell'utente, anche quando si tratta di studiare oggetti troppo piccoli o troppo grandi nella realtà, come cellule o pianeti, potendoli ridurre a una scala alla portata di chi apprende; consentendo un *continuum* di interazione tra reale e virtuale; ed essendo «fully present, fully immersed, fully embodied e sostenibile» (Scasciamacchia 2023, p. 239).

Ciò nonostante, il Metaverso non è privo di rischi, come furti finanziari, furti di identità, reati di varia natura, e «perdite di informazioni per la gestione di enormi flussi di dati (...) per il fatto che non tutti hanno accesso ad una rete di qualità, per la compresenza sui territori di vari livelli di divario digitale e/o per l'enorme ritardo tecnologico-infrastrutturale, che investe la qualità del digitale e la conseguenza espansione del Metaverso» (Carbone, 2024, p. 94), ma stabilendo regole di utilizzo del Metaverso nel mondo reale è possibile rendere l'apprendimento un insieme di situazioni e azioni simulate in cui esplorare una pluralità di mondi, sperimentare giocando, fare salti temporali e tematici in modo reticolare, si potrebbe dire rizomatico, con la possibilità di sbagliare e correggere, analizzare, apprendere e sviluppare abilità e spirito critico di fronte a una moltitudine di informazioni che il Metaverso è in grado di mettere a disposizione.

In conclusione, il Metaverso è lo spazio virtuale multi-accessibile, multicanale, multi-sensibile e multimediale in cui si intersecano 3D, immersività, accessibilità e nuova identità sociale che cercano di sovrapporsi al mondo analogico in una sorta di *alter ego* del reale. Esso «non semplifica la realtà, ma la infittisce di informazioni e situazioni disponibili e fruibili nell'immediatezza» (Scasciamacchia 2023, p. 234).

Per questo, il Metaverso rappresenta solo una delle molteplici tecnologie immersive oggi disponibili. Per tale motivo, risulta più appropriato parlare di “Metaversi”, piuttosto che di un unico Metaverso, ossia di molteplici ambienti virtuali che si basano su tecnologie di realtà aumentata e realtà virtuale, offrendo esperienze simili a quelle del mondo videoludico, il cui funzionamento è strettamente connesso all'impiego dei cosiddetti “*digital twin*”. I gemelli digitali replicano le caratteristiche delle loro controparti fisiche grazie alla trasmissione e all'elaborazione dei dati, che stabiliscono il collegamento tra i due elementi³²⁴.

La tecnologia dei gemelli digitali integra i campi dell'Internet delle Cose (IoT), dell'Intelligenza Artificiale (IA) e dell'analisi dei big data, creando un ponte tra mondo fisico e

³²⁴ Iannuzzi 2024, p. 7

digitale. La riproduzione virtuale della realtà permette ai *data scientist* e agli specialisti IT di ottimizzare processi e implementazioni, simulando scenari ipotetici con l'aumento progressivo dei dati disponibili per il modello. Oggi è possibile rappresentare digitalmente edifici, impianti industriali e intere città. Questa tecnologia trova applicazione anche nella simulazione di ecosistemi naturali, offrendo nuove prospettive di gestione ambientale³²⁵.

Il concetto di gemello digitale delle città è già alla base dello sviluppo delle “smart city”, consentendo un monitoraggio e una gestione più efficienti dei servizi urbani attraverso l'elaborazione in tempo reale di dati raccolti dal territorio, anche grazie alla partecipazione, più o meno consapevole, dei cittadini. Come riportato nello studio del Parlamento Europeo sul metaverso (“*Metaverse*”³²⁶), l'adozione dei gemelli digitali si sta ampliando per ottimizzare le decisioni aziendali e migliorare le prestazioni operative, supportando flotte robotiche intelligenti, processi produttivi complessi, infrastrutture urbane intelligenti e persino oggetti individuali come automobili o rappresentazioni digitali di esseri umani³²⁷.

Ecco perché, in termini di accessibilità, l'ingresso nel Metaverso non può essere imposto da una piattaforma centralizzata che potrebbe risultare sgradita agli utenti/avatar, ma deve emergere dalle esperienze già esistenti, che si diffondono, interagiscono ed evolvono attraverso l'Intraverso e l'Interverso. Inoltre, l'aumento della complessità dei servizi e la necessità di interazione tra diversi sistemi informativi richiedono soluzioni tecniche avanzate, integrate in una visione che coniughi tradizione e innovazione, senza concentrarsi su gruppi specifici di utenti. È necessaria una progettazione che, per essere efficace, richiede un nuovo impulso, basato non tanto su *best practices* ma su pratiche *smart*, in continuo sviluppo e adattamento, all'interno di un processo decisionale caotico, dinamico e innovativo. Un sistema, distribuito e condiviso, che deve incrementare la consapevolezza e la responsabilità degli utenti per diventare veramente più “sapiente”³²⁸.

3.4. Progettazione di ‘contesti’ ludici

Le motivazioni più diffuse, ma errate, per adottare giochi, gamification o simulazioni si basano su percezioni superficiali, come il loro presunto carattere innovativo, il fatto che siano

³²⁵ Iannuzzi 2024, p. 7

³²⁶ Cfr. *Metaverse*, Studio richiesto dal Comitato JURI, Parlamento Europeo (2023), p. 81, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/751222/IPOL_STU\(2023\)751222_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/751222/IPOL_STU(2023)751222_EN.pdf) (ultima consultazione 21/01/2025)

³²⁷ Un esempio significativo di questa evoluzione è il progetto “Destination Earth”, promosso dalla Commissione Europea in collaborazione con l'Agenzia Spaziale Europea, finalizzato alla creazione di un gemello digitale completo del pianeta entro il 2030. Questa tecnologia offrirà strumenti avanzati per prevedere e mitigare eventi meteorologici estremi, contribuendo a una gestione più efficace delle emergenze climatiche. Iannuzzi 2024, p. 7

³²⁸ Carbone 2024, p. 94

ampiamente utilizzati, la convinzione che rendano l'apprendimento automatico e senza sforzo o che siano semplici da progettare. Questi fraintendimenti possono far apparire tali strumenti più problematici che vantaggiosi.

In realtà, l'integrazione di esperienze interattive nell'apprendimento risponde a esigenze concrete, quali il coinvolgimento degli utenti, la stimolazione del pensiero critico, il cambiamento comportamentale e l'opportunità di pratica autentica.

La gamification e le simulazioni offrono inoltre vantaggi specifici rispetto alla realtà concreta, consentendo una gestione più chiara dei concetti, una migliore comprensione delle relazioni causa-effetto, l'eliminazione di distrazioni e una maggiore rapidità nell'acquisizione delle conoscenze, favorendo così una riflessione più efficace³²⁹.

Prima di esaminare le fasi progettuali, è essenziale rammentare la distinzione tra gioco e gamification. Un gioco è un sistema autonomo con regole definite, un obiettivo chiaro e uno stato di vittoria esplicito. I giocatori operano in uno spazio strutturato, affrontano sfide, ricevono ricompense e seguono un percorso con un inizio, uno sviluppo e una conclusione. La gamification, invece, non crea un sistema di gioco completo ma utilizza alcuni suoi elementi, come punti, *badge* e sfide, per incentivare il coinvolgimento e il progresso degli utenti. A differenza del gioco, può basarsi su un singolo elemento per motivare, come l'assegnazione di un *badge* per il completamento di un'attività, senza richiedere livelli o meccaniche complesse³³⁰.

Dall'integrazione dei due concetti emerge quello di simulazione. La simulazione offre un ambiente realistico e sicuro in cui gli utenti possono applicare conoscenze e valutare le conseguenze delle proprie decisioni. Pur non essendo una replica perfetta della realtà, ne conserva elementi essenziali per un apprendimento esperienziale. Riducendo i rischi rispetto a situazioni reali, consente di esercitarsi senza pericoli, come avviene con un simulatore di volo. Favorisce inoltre la pratica attiva e la comprensione degli effetti delle scelte, distinguendo tra azioni corrette ed errori.

L'unione tra simulazione e gamification crea un'esperienza ludica strutturata, rendendo l'apprendimento più coinvolgente ed efficace³³¹.

Le fasi che compongono la costituzione e la progettazione di contesti³³² ludici, guardando alla letteratura del settore *game-based learning* e di *game studies*, sono riassumibili in sei passaggi. La prima attività progettuale è di tipo immaginativo. Questa prima fase può essere definita macro-progettuale ed è funzionale a immaginare e prevedere in anticipo tutto ciò che il gioco dovrebbe

³²⁹ Kapp *et al.* 2014, pp. 34 e 37

³³⁰ *Ibidem*, p. 61

³³¹ *Ibidem*, pp. 63 e 83

³³² Ambiente e contesto, nel mondo ludico, sono due termini utilizzati in senso molto ampio e fanno riferimento sia alla progettazione di percorsi ed esperienze ludiche con scopi educativi, sia a spazi ludici fisici, sia alla caratterizzazione di ambienti educativi tramite lo sviluppo dello spirito ludico. Nesti 2023, p. 61.

contemplare: azioni, relazioni, emozioni, effetti, valutazioni, monitoraggio e altro ancora, ovviamente con margine di miglioramento in itinere.

Segue la fase di definizione degli obiettivi generali e specifici del gioco, fortemente connessa al contesto di gioco, inteso sia come ambiente (scuola, azienda, città), sia come gruppo sociale cui il gioco è rivolto.

La terza fase contempla la scelta degli strumenti, ossia quale gioco effettivamente selezionare ai propri scopi. Conoscere i giochi, le loro meccaniche interne e le regole significa, di fatto, poter manipolare lo strumento ai fini prefissati.

Quartultima fase consiste nel conoscere o definire il pubblico di riferimento, le sue competenze e abilità. A questo punto è necessario definire tempi e spazi del gioco, variabili a seconda degli obiettivi del contesto di riferimento predefiniti.

Infine, le fasi di monitoraggio e valutazione possono essere contemplate insieme, risultando molto dipendenti l'una dall'altra. Con un *debriefing* post-gioco³³³, infatti, si può monitorare l'andamento dell'attività ludica come progettata e valutare eventuali adeguamenti, cambiamenti e miglioramenti qualitativi dell'esperienza di gioco³³⁴.

Sviluppato il gioco, è necessario proporlo e sottoporlo al pubblico di riferimento. A tal fine, secondo Dewey (2014, pp. 21-22), devono essere seguiti tre principi: di continuità, di crescita e di interazione. Il principio di continuità fa implicito riferimento al cambiamento, insito nell'attività di gioco, per cui ogni esperienza trae riferimento da quelle che la hanno preceduta e influenza quelle che la seguiranno. È imparando da tali esperienze che subentra il principio di crescita, per cui il gioco deve avere un livello di difficoltà idoneo alle abilità già acquisite da pregresse esperienze, ma allo stesso tempo contenere difficoltà tali da consentire un margine di miglioramento del soggetto coinvolto. Infine, il principio di interazione prevede un possibile conflitto tra il principio di continuità e di crescita. Non ci può essere didattica, infatti, senza considerare il pubblico cui è rivolto il gioco e l'esperienza maturata dai singoli individui da attività precedenti.

Torna, a tal proposito, il concetto di *flow*, così come definito da Csikszentmihalyi (cfr. 1975, 1990, 1997, 2014), per cui il gioco deve permettere all'utente di sentirsi in grado di superare tutte le

³³³ Dal punto di vista didattico, giochi e simulazioni risultano più efficaci quando sono integrati in un percorso formativo strutturato che prevede un momento di analisi e riflessione successiva all'esperienza. In ambito militare, questo processo è noto come revisione post-azione (after-action review, AAR) e consiste nella valutazione degli esiti del gioco o della simulazione, nell'analisi delle dinamiche che hanno portato a determinati risultati e nell'individuazione di strategie per migliorare le prestazioni future. L'inserimento di un'AAR in un contesto ludico, gamificato o simulativo favorisce una maggiore consapevolezza, inducendo i partecipanti a prendere distanza dall'esperienza per esaminarla criticamente. Inoltre, rappresenta un'opportunità per approfondire le relazioni di causa-effetto e affinare le capacità di risoluzione dei problemi, contribuendo così a un apprendimento più efficace e strutturato. Kapp *et al.* 2014, p. 41.

³³⁴ Nesti 2023, pp. 63-65

sfide presentate, perfettamente immerso nell'attività ludica, coinvolto e inserito nel flusso, al punto da perdere il senso del tempo e dei bisogni primari.

In definitiva, non si può insegnare a giocare, trattandosi di un'indole innata nell'essere umano, ma si possono insegnare le varie tipologie di gioco e far giocare qualcuno a qualcosa significa far relazionare le competenze di uno o più individui con attività definite da regole e limiti. Allo stesso tempo “giocare” identifica un paradosso educativo, perché si gioca volontariamente e per piacere, non per imparare qualcosa, ma è anche vero che “giocando si impara”, “*learning by doing*”, come precedentemente detto³³⁵.

Per questo, chi progetta un gioco deve rivestire almeno tre ruoli: quello del costruttore che progetta effettivamente l'esperienza di gioco; quello della guida che spiega e aiuta i giocatori durante l'esperienza; e quello del co-giocatore, magari di livello esperto, ma coinvolto parimenti agli altri giocatori nell'attività ludica³³⁶.

Inoltre, la progettazione di un gioco, ma anche dei processi di *gamification* di una attività, devono includere la ricerca e lo studio delle motivazioni al gioco. I fattori che possono sollecitare a giocare dipendono molto dalla soggettività dei giocatori e possono essere: gratificazione al raggiungimento di un successo, soddisfazione dell'interazione e dello scambio sociale con gli altri partecipanti al gioco, immersione totale nella narrazione e nell'esperienza di gioco di ruolo, combinazione di tutti i fattori. Tra gli elementi più usati per soddisfare il primo dei punti, il raggiungimento del successo, vanno contemplati punti, *badge*, classifiche e premi³³⁷. Mentre per l'immersione nella narrazione ed esperienza di gioco di ruolo sono utili dispositivi di realtà virtuale e aumentata che amplificano la realtà del gioco³³⁸.

La motivazione al gioco, in aggiunta, non esula dal dover considerare le categorie di giocatori cui il gioco si rivolge o che effettivamente attrae. Le quattro principali categorie di giocatori, individuate dallo studio di Bartle (1996), e ancora oggi valide, sono: *Explorer*, rappresentata da chi ama conoscere ed esplorare nuovi mondi; *Socializer*, individua chi vuole interagire e socializzare online; *Achiever*, costituita da chi lotta per raggiungere i propri obiettivi; e infine, *Killer*, composta da chi ama dominare e attaccare gli altri. Alle categorie di cui sopra ne va aggiunta una quinta, emersa proprio grazie all'avvento della *gamification* e degli ambienti virtuali immersivi 3D di Minecraft® e SecondLife®, la categoria dei *Creator* o *Builder*³³⁹.

³³⁵Nesti 2023, pp. 66-67

³³⁶*Ibidem*, p. 67

³³⁷Fioretti 2023a, p. 78

³³⁸Koivisto e Hamari 2019, p. 204

³³⁹Cinganotto 2023, p. 86; Albertazzi *et al.* 2019, p. 192

Ulteriori elementi tecnici da considerare in fase di progettazione e scelta di un gioco sono le regole da cui discendono le meccaniche di gioco, ossia le azioni concesse ai giocatori e, infine, le dinamiche, ossia le modalità di interazione tra i giocatori. Esse consentono di intervenire in senso educativo, seppure influenzate anche da altri fattori come il contesto in cui si svolge il gioco, la composizione del gruppo di giocatori, limiti e regole da imporre agli stessi durante una partita³⁴⁰.

Le meccaniche, invece, sono definite dalle scelte che il giocatore può compiere durante l'azione di gioco, cioè sulla possibilità di influire e avere il controllo sul corso del gioco³⁴¹. Oltre al fattore della scelta, altri due elementi definiscono le meccaniche di gioco, ossia le interazioni multigiocatore e la presenza di un elemento casuale, ma non dominante nel corso dell'attività ludica, tra cui può rientrare il lancio dei dadi, *bonus* o “*easter egg*”³⁴². Si parla, invece, di struttura di gioco quando si discute di macromeccaniche, tra cui rientrano i giochi competitivi (Briscola, Scopa, Cluedo®, Risiko®), i giochi collaborativi per cui i giocatori devono allearsi contro il gioco (Pandemic®, Hanabi®), i giochi a squadre in cui i giocatori si sfidano dividendosi in gruppi (Briscola a coppie o Bridge), i giochi semi-cooperativi con un solo vincitore ma con dinamiche tali per cui possono anche perdere tutti i giocatori, i giochi “con traditore” in cui alcuni giocatori rivestono il ruolo di avversari silenti in opposizione a tutti gli altri (Lupus in Tabula®), o i Legacy in cui ogni partita altera il corso del gioco (Pandemic Legacy®)³⁴³.

Scendendo nel dettaglio, tra le meccaniche di gioco tra cui scegliere in fase di progettazione esistono: la meccanica “Lancia e Muovi” si basa sull'elemento casuale, come il lancio di dadi, che determina il movimento sulla plancia o mappa di gioco. Se arricchita da scelte non lineari, può sviluppare capacità astrattive e di previsione delle mosse. Giochi come Gioco dell'Oca e Monopoly® ne rappresentano versioni semplici, mentre Cluedo® introduce percorsi aperti a scelte³⁴⁴.

È, invece, detta meccanica di “Piazzamento Lavoratori” quella che prevede il posizionamento di pedine (lavoratori) su specifiche zone dell'area di gioco o mappa di gioco in grado di attivare specifiche azioni. Le difficoltà di questa meccanica constano nel numero limitato di pedine e di azioni disponibili³⁴⁵.

La meccanica “Roll & Write” è fortemente influenzata da elementi casuali, come i dadi, e dalla necessità di annotare le azioni o tiri compiuti, ma la scelta è l'elemento portante di tutta la

³⁴⁰ Ligabue 2023, p. 147

³⁴¹ *Ibidem*, p. 149

³⁴² Elementi di gioco nascosti nel prodotto ludico, da scoprire gradualmente.

³⁴³ Ligabue 2023, pp. 150-151

³⁴⁴ *Ibidem*, p. 151

³⁴⁵ *Ibidem*, p. 152

meccanica di gioco. Da ogni scelta posta ai giocatori derivano tutte le scelte successive del gioco (si vedano Plenus[®] e penny Papers[®])³⁴⁶.

Il “Riempimento di Griglia” prevede di riempire determinati spazi con figure geometriche (si veda Tetris[®]), il che implica una costante valutazione dello spazio a disposizione e capacità astrattive di oggetti e delle loro volumetrie in movimento nello spazio in un tempo limitato³⁴⁷.

Tra le tante possibili, si ricorda anche la meccanica “deck building”, che si basa sulla costruzione di mazzi di carte che si combinano casualmente durante la partita, richiedendo capacità strategiche e probabilistiche, come in Magic: l’Adunanza[®], Yu-Gi-Oh![®] e Pokémon[®]³⁴⁸.

Fortemente legati alle meccaniche di gioco, vanno progettati e presi in considerazione i *malus* o rinforzi negativi, eventi che tolgono punteggi, fanno perdere, eliminano le conquiste ottenute qualora non si svolgano specifiche azioni o non si raggiungano precisi obiettivi³⁴⁹.

Inoltre, nella progettazione di un gioco e, in particolare, di un *serious game* è necessario considerare le principali finalità di autodeterminazione e di miglioramento della qualità di vita delle persone con uno sguardo sempre vigile sul tema dell’inclusione. Perché progettare un gioco dedicato esclusivamente a persone con peculiari disabilità senza che si instaurino reti e relazioni di più ampio respiro può, in qualche modo, ricadere in una scelta non inclusiva. Per questo, sarebbe opportuno considerare l’accessibilità ai giochi un elemento necessario a rendere l’attività ludica fruibile dal più ampio numero possibile di persone con abilità e caratteristiche diversificate e non un fattore di complessità o di costo. Aspetto migliorabile, ad esempio, contemplando utenti diversamente abili nelle fasi di progettazione e di post-produzione in forma diretta, senza coinvolgere terzi, spesso insegnanti o educatori, che non rappresentano effettivamente l’utenza finale³⁵⁰.

Dal punto di vista economico, invece, è sempre più diffusa la versione *free to play*, almeno per i giochi digitali. La qual cosa ha reso, grazie all’ampia presenza di *device*, come i PC o dispositivi mobili, come gli smartphone, sempre più accessibili i giochi digitali, ma ha al contempo permesso lo sviluppo e l’avanzata invisibile dei *virtual goods*, beni virtuali accessori al gioco per cui avvengono microtransazioni entro il gioco stesso³⁵¹.

In definitiva, progettare un gioco o attività gamificate significa strutturare percorsi di apprendimento che tengano conto delle difficoltà dei giocatori, guidandoli progressivamente verso tipologie ludiche, giochi specifici e tematiche inizialmente complesse o poco familiari³⁵².

³⁴⁶ Ligabue 2023, p. 153

³⁴⁷ *Ibidem*, p. 154

³⁴⁸ *Ibidem*, pp. 154-155

³⁴⁹ Petrucci 2021, p. 44

³⁵⁰ Zanazzi 2023, p. 110

³⁵¹ Petrucci 2021, p. 52

³⁵² Nesti 2023, p. 68

L'integrazione di una storia nel processo o l'esplorazione di un paesaggio di guerra e dei processi di ricostruzione identitaria richiede strumenti capaci non solo di rappresentare la complessità dello spazio e del tempo, ma anche di coinvolgere attivamente chi ne fruisce. Ne consegue che l'integrazione della gamification e di una struttura narrativa all'interno dei percorsi di apprendimento e riflessione risulta particolarmente efficace³⁵³.

La narrazione, infatti, non è soltanto un mezzo per trasmettere informazioni: è un dispositivo che crea contesti immersivi, in grado di simulare situazioni reali o verosimili. Essa permette di attivare forme di apprendimento situato, in cui le competenze acquisite vengono immediatamente collocate in uno scenario coerente con la loro futura applicazione.

Nel caso specifico del paesaggio bellico e della memoria dei conflitti, costruire una storia – magari partendo da fonti storiche, testimonianze o elementi simbolici – consente agli utenti di entrare nei luoghi in modo nuovo, attraversandoli non solo geograficamente ma anche emotivamente e simbolicamente.

La narrazione, inserita in ambienti gamificati o immersivi, diventa così un filtro attivo di interpretazione: aiuta a costruire un modello mentale del processo storico e spaziale, facilitando la comprensione delle dinamiche complesse e stratificate che agiscono sulla città e sul territorio in tempo di guerra e nella successiva ricostruzione.

Inoltre, la presenza di una trama avvincente mantiene alta la motivazione dell'utente, stimola la curiosità e incentiva il desiderio di scoprire “cosa succede dopo”, generando un coinvolgimento che è cognitivo, ma anche affettivo.

Attraverso la gamification, l'utente non si limita a osservare passivamente, ma agisce, sceglie, interpreta ruoli, diventando parte attiva di un processo di conoscenza che è anche un esercizio di empatia e cittadinanza. In questo senso, la gamification si configura come uno strumento potente di ri-significazione dei paesaggi feriti, capace di restituire voce, profondità e senso a luoghi che la guerra ha tentato di cancellare.

³⁵³ Kapp *et al.* 2014, p. 89

Capitolo 4 Georeferenziazione e gamification, il caso di Viterbo

4.1. Ombre nel paesaggio: memoria e crateri nella città di Viterbo

Viterbo, il cui nome deriva probabilmente dal latino *Vetus Urbs* ("Città Vecchia"), sorse su un antico insediamento etrusco conquistato dai Romani nel IV secolo a.C. La sua posizione strategica – tra gli Appennini e il Mar Tirreno, protetta dai Monti Cimini, vicina alla via Cassia e dotata di sorgenti termali – ne favorì lo sviluppo sin dall'epoca romana³⁵⁴.

Durante l'età augustea conobbe un periodo di prosperità, per poi essere fortificata dai Longobardi nell'VIII secolo con il nome di *Castrum Viterbii*. A partire dall'XI secolo, il centro abitato fu progressivamente racchiuso da una cinta muraria lunga cinque chilometri, ancora oggi visibile, che ne conserva l'impianto triangolare.

Elevata a rango di città da Federico I Barbarossa nel 1167, Viterbo raggiunse il suo apice nel XIII secolo, tanto da essere definita "città dei papi". Divenuta sede vescovile nel 1192, fu scelta come residenza pontificia da papa Alessandro IV nel 1257, funzione che mantenne fino alla fine del Duecento. Risalgono a questo periodo il Palazzo dei Papi, adiacente alla Cattedrale di San Lorenzo, e la definizione urbanistica di stampo gotico dei quartieri storici come San Pellegrino e Pianoscarano, con caratteristici vicoli, fontane, chiese e case medievali dall'assetto urbano che, nel tempo, è rimasto quasi inalterato³⁵⁵.

La posizione strategica di Viterbo, però, contribuì a renderla, a partire dal luglio 1943, un obiettivo primario dei bombardamenti della Seconda guerra mondiale. Situata, infatti, lungo l'asse viario e ferroviario della via Cassia, la città costituiva un rilevante snodo logistico e militare a servizio della Capitale, ospitando depositi di munizioni e installazioni sensibili. Tra queste, l'aeroporto militare, un deposito di armi chimiche nei pressi del lago di Vico, un campo di prigionia a Vetralla con circa 4.000 detenuti e il quartier generale delle SS insediato presso Villa Lante a Bagnaia.

Nonostante ciò, l'effettiva rilevanza militare del territorio fu gravemente sottovalutata: non furono predisposte misure di tutela per il patrimonio monumentale e religioso, ignorando le direttive ministeriali emanate fin dal 1939 per la salvaguardia dei beni culturali (Rinaldi 2010, pp.113-114)³⁵⁶.

³⁵⁴ Scungio 2012, p. 130

³⁵⁵ *Ibidem*

³⁵⁶ Nel contesto della Seconda guerra mondiale, la protezione del patrimonio culturale nel territorio viterbese subì un'accelerazione a partire dal febbraio 1944, rispetto alle misure inizialmente previste dalla normativa del Ministero dell'Educazione Nazionale, che risalivano alla legge n. 1041/1940 e alla legge n. 1089/1939. Tali disposizioni prevedevano il trasferimento delle opere di maggior valore in rifugi sicuri, mentre quelle di minor pregio restavano ancora esposte al pubblico. A Viterbo, il direttore del Museo Civico e della Biblioteca Comunale, Augusto Gargana, si occupò personalmente della protezione del patrimonio artistico, trasferendo nel convento dei Cappuccini alla Palanzana le opere di sommo pregio e custodendo i manoscritti più rilevanti nei locali sotterranei della biblioteca.

Tale disattenzione si giustifica, in parte, con il fatto che fino ad allora la guerra non aveva ancora colpito direttamente la città³⁵⁷.

Però, tra il 1943 e il 1944, Viterbo fu sottoposta a un'intensa campagna di bombardamenti che causò gravi danni al patrimonio urbano e monumentale. Le sirene d'allarme, dislocate in vari punti strategici della città, furono azionate 780 volte, di cui 700 nel periodo compreso tra luglio 1943 e maggio 1944, fase in cui Viterbo fu direttamente coinvolta dalle operazioni militari.

Inizialmente, le incursioni aeree si concentrarono sull'aeroporto e lungo la via Cassia, arteria frequentemente utilizzata dai convogli militari. A partire da gennaio 1944, gli attacchi divennero più frequenti e violenti, colpendo progressivamente il centro cittadino fino all'ingresso degli Alleati nel giugno successivo. Tra gli episodi più significativi si ricordano il primo bombardamento dell'aeroporto il 29 luglio 1943, l'attacco alla città nella notte tra il 15 e il 16 agosto, i bombardamenti delle stazioni ferroviarie e della Cassia il 17 gennaio 1944, e le pesanti incursioni di fine maggio, che coinvolsero anche il centro storico³⁵⁸.

A seguito di tali eventi, Viterbo fu riconosciuta nel 1959 come "città mutilata di guerra". Di fatto, secondo le stime del Genio Civile, l'80% del patrimonio edilizio risultò distrutto, con danni valutati in 500 milioni di lire. Il tessuto urbano antico fu duramente colpito: intere aree, come quella tra Porta Romana e piazza Fontana Grande, furono quasi rase al suolo, mentre tratti delle mura medievali, comprese Porta Romana e Porta Fiorentina, subirono gravi lesioni.

Numerose chiese medievali furono gravemente danneggiate, tra cui San Francesco alla Rocca, San Sisto, San Giovanni in Zoccoli, Santa Maria delle Fortezze e Santa Maria in Gradi. Particolarmente significativa fu la distruzione della cappella Mazzatosta nella chiesa di Santa Maria della Verità, decorata da Lorenzo da Viterbo: l'esplosione causò il distacco di circa ventimila frammenti d'intonaco, con la conseguente perdita quasi totale dello *Sposalizio della Vergine* (Fig. 54). Anche edifici civili storici, come i palazzi Costaguti e Mazzatosta e la casa di Valentino della Pagnotta, nonché elementi dell'arredo urbano come la Fontana della Rocca, subirono gravi danni o furono completamente distrutti. Nonostante le rilevanti difficoltà economiche che caratterizzarono il secondo dopoguerra, la fase di ricostruzione vide l'impegno congiunto dei funzionari della

Nel gennaio 1941, Gargana redasse infatti una dettagliata relazione sulle misure di protezione adottate, ma dai registri ufficiali emerge la difficoltà di ottenere un riscontro concreto dalle autorità comunali. Nonostante numerose lettere sollecitatorie, le promesse di intervento rimanevano in gran parte disattese. Ad esempio, i sacchetti di sabbia inviati dalla Soprintendenza alle Antichità del Lazio, richiesti nel giugno 1940 per proteggere gli edifici storici, non vennero mai utilizzati per la protezione dei monumenti, come invece accadeva in altre parti d'Italia. Solo nel febbraio 1943 Gargana riuscì a ottenere l'installazione di estintori nel Museo Civico, ma l'edificio risultava comunque ingombro da materiali estranei e rischiosi, come il sipario del teatro comunale e i banchi scolastici, compromettendo la sicurezza del patrimonio conservato. Rinaldi 2010, pp. 113-114

³⁵⁷ Scungio 2012, p. 131

³⁵⁸ *Ibidem* p. 133

Soprintendenza ai Monumenti del Lazio e del Genio Civile nell'attuazione di interventi prevalentemente orientati a forme di "restauro di ricomposizione". Tale approccio mirava a restituire agli edifici colpiti un aspetto quanto più possibile conforme alla loro configurazione originaria, attraverso il recupero e il riutilizzo degli elementi architettonici superstiti, con particolare attenzione alla ricerca e alla valorizzazione di ogni frammento ancora impiegabile³⁵⁹.



Figura 42 Chiesa di Santa Maria della Verità, cappella Mazzatosta: dettaglio dello Sposalizio della Vergine: a sinistra dopo la ricomposizione dei frammenti e prima del trattamento delle lacune; a destra dopo l'intervento di restauro. Fonte: Scungio 2012, p. 134 da originali di Lavagnino 1947

Oltre ai danni significativi inflitti durante il conflitto bellico e alle profonde trasformazioni subite dal contesto urbano da allora fino ai giorni nostri, eventi di cronaca recente continuano a richiamare l'attenzione sul fatto che le cicatrici lasciate dalla guerra non sono affatto dimenticate. A Viterbo, infatti, come in tutte le località che hanno subito bombardamenti, in particolare aerei, persiste il costante rischio di ritrovamento di ordigni inesplosi. Un esempio emblematico di ciò è rappresentato dal cosiddetto "Bomba Day" del 7 maggio 2024, quando è stato disinnescato un ordigno di oltre 2000 kg, precedentemente scoperto nel febbraio dello stesso anno³⁶⁰. Le notevoli dimensioni dell'ordigno e l'impatto mediatico generato dal suo ritrovamento hanno dato origine a un fenomeno sociale che ha portato all'attribuzione dell'appellativo "Lady Rose" alla stessa bomba, un nome che lo lega in modo

³⁵⁹ Scungio 2012, p. 133

³⁶⁰ Esercito (2024), L'Esercito interviene per una bomba da 2.000 kg a Viterbo, <https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/Pagine/Esercito-interviene-per-una-bomba-da-2.000-kg-a-Viterbo.aspx> (ultima consultazione 10/04/2025)

indissolubile alla città e alla sua Patrona, Santa Rosa³⁶¹. Tale bomba è stata prontamente messa in sicurezza, rimossa, trasportata e fatta brillare a distanza dalla città (Fig. 55).

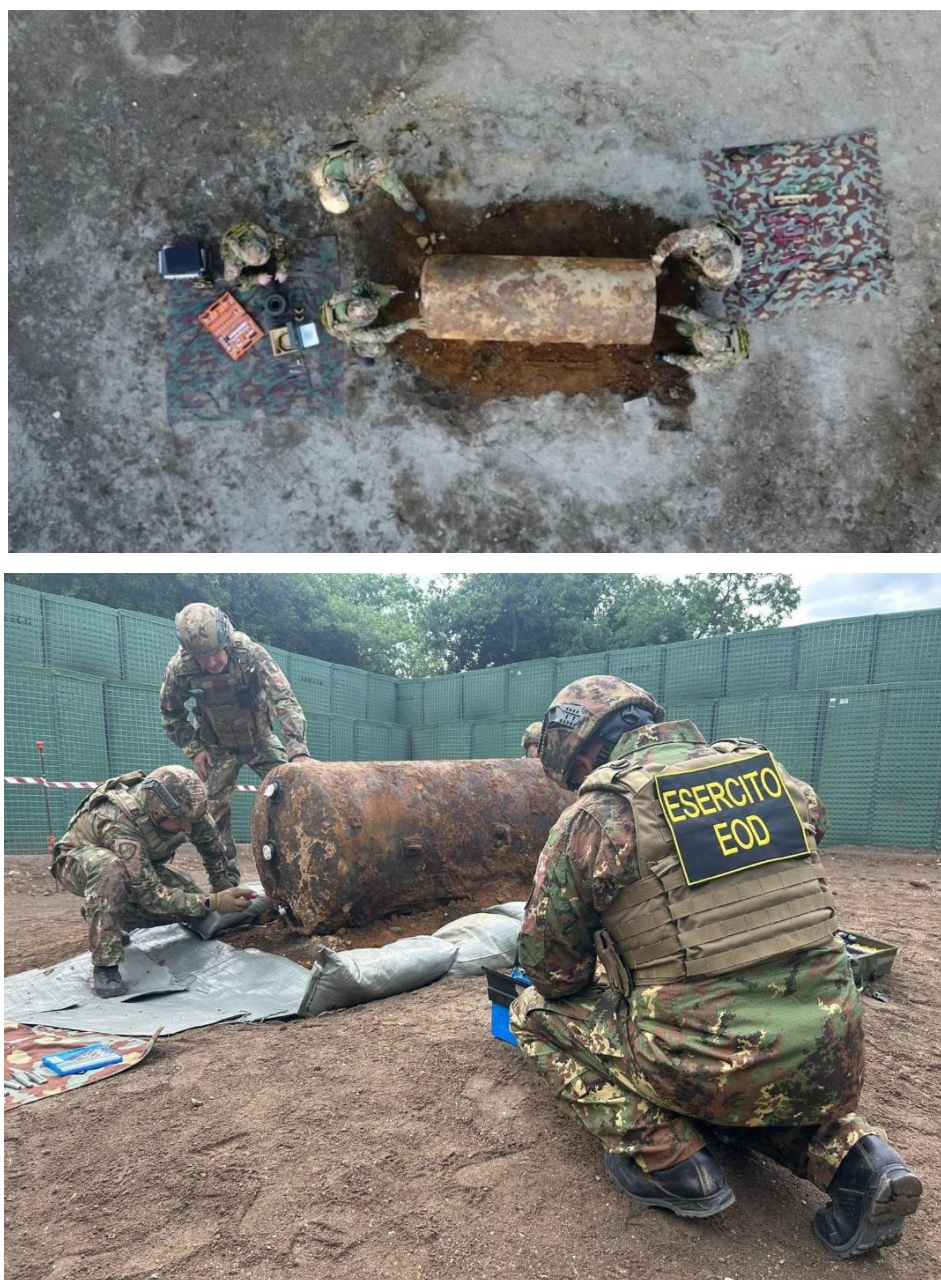


Figura 43 Immagini delle operazioni di bonifica dell'ordigno da 2000 kg rinvenuto a febbraio 2024 a Viterbo ad opera dell'Esercito. Fonte: Esercito 2024, L'Esercito interviene per una bomba da 2.000 kg a Viterbo, <https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/Pagine/Esercito-interviene-per-una-bomba-da-2.000-kg-a-Viterbo.aspx> (ultima consultazione 10/04/2025)

³⁶¹ ViterboToday (2024), La bomba si chiama Lady Rose: "In onore di santa Rosa, che non l'ha fatta esplodere salvando la città", <https://www.viterbotoday.it/cronaca/bomba-viterbo-nome-lady-rose-onore-santa-rosa-7-maggio-2024.html> (ultima consultazione 10/04/2025)

Un episodio che si aggiunge ad altri simili verificatisi in tempi recenti, tra cui i ritrovamenti avvenuti nel 2018³⁶² (Fig. 56) e nel 2007³⁶³ (Fig. 57), che testimoniano come il rischio legato alla presenza di ordigni inesplosi continui a rappresentare una minaccia concreta, nonostante il trascorrere del tempo.



Figura 44 Viterbo, Bomba all'aeroporto, zona interdetta. Fonte: Tusciaweb 2018, Bomba all'aeroporto, tutti fuori dall'alba, <https://www.tusciaweb.eu/2018/08/bomba-allaeroporto-tutti-dallalba/>



Figura 45 Gli artificieri del Sesto reggimento pionieri al lavoro per disinnescare la grande bomba inglese nella foto a sinistra; la bomba al momento dell'esplosione ha creato un cratere profondo otto metri e ha fatto sollevare una colonna di circa 250 metri di fiamme, fumo e lapilli nella foto a destra. Fonte: laVelina Tusciaweb, La terribile potenza della bomba,, https://www.lavelina.it/nuovosito/notizie/2007/maggio/7_1bomba.html

³⁶² Tusciaweb (2018), Bomba all'aeroporto, tutti fuori dall'alba, <https://www.tusciaweb.eu/2018/08/bomba-allaeroporto-tutti-dallalba/>; il Messaggero (2018), Bomba della seconda guerra mondiale in aeroporto, sabato l'evacuazione dell'area per la bonifica, https://www.ilmessaggero.it/viterbo/bomba_della_seconda_guerra_mondiale_trovata_nell_aeroporto_di_viterbo-3931303.html (ultima consultazione 10/04/2025)

³⁶³ Camilli (2007), Tusciaweb, "Nel 2007 furono evacuate oltre 20 mila persone per un raggio di circa 2 chilometri e sospesi acqua, gas e luce", <https://www.tusciaweb.eu/2024/03/nel-2007-furono-evacuate-oltre-20-mila-persone-per-un-raggio-di-circa-2-chilometri-e-sospesi-acqua-gas-e-luce/>; laVelina Tusciaweb, La terribile potenza della bomba, https://www.lavelina.it/nuovosito/notizie/2007/maggio/7_1bomba.html (ultima consultazione 10/04/2025)

Il rischio di rinvenire ordigni bellici inesplosi nel territorio del Comune di Viterbo è documentato anche dalle numerose ordinanze di sgombero emesse dalla Prefettura della città nel corso degli anni. In particolare, nel 2024 e nel 2018³⁶⁴ sono state adottate le stesse misure volte allo sminamento e alla detonazione in sicurezza dei residui bellici della Seconda Guerra Mondiale ancora presenti nel territorio comunale (Tabella 2).

Non risultano, tuttavia, direttive pubbliche specifiche emanate dal Comune di Viterbo riguardanti le procedure da seguire in caso di rinvenimento casuale ad opera di civili di ordigni inesplosi risalenti al secondo conflitto mondiale³⁶⁵.

Tra i documenti ufficiali più recenti in materia, si annovera il "Progetto Esecutivo per il Piano di Sicurezza e Coordinamento in fase di progettazione" del Comune di Viterbo del 2015 e l'“Aggiornamento del Piano di emergenza” del 2024³⁶⁶. Di questi documenti, il primo in particolare include specifiche indicazioni per i lavori eseguiti in prossimità di aree potenzialmente interessate da attività belliche. In esso viene sottolineata la necessità di eseguire una bonifica preventiva, affidata a una ditta specializzata, nelle vicinanze di stazioni ferroviarie, ponti, caserme e magazzini, poiché tali siti potrebbero celare ordigni interrati che, se accidentalmente colpiti, potrebbero esplodere.

Un altro documento di rilievo è rappresentato dalle ordinanze prefettizie pubblicate online nel 2018 dall'Ufficio Territoriale del Governo di Viterbo. Tra di esse, l'ordinanza n. prot. 60860 del 29 agosto 2018 fornisce precise direttive per la messa in sicurezza e la bonifica del terreno in seguito al rinvenimento di una bomba inesplosa della Seconda Guerra Mondiale. Il documento stabilisce che, in presenza di un ordigno del tipo AN-M- M30 USA da 100 libbre, con spoletta di ogiva AN-M-103 A1 (armata) e spoletta di coda AN-M-100-A1, debba essere rispettato un raggio di sicurezza orizzontale di 1572 metri.

Durante la fase di detonazione controllata, la distanza minima da rispettare è di 500 metri in quota e 300 metri in raggio orizzontale per garantire l'incolumità delle operazioni di bonifica. A livello preventivo, è altresì raccomandato il tempestivo allertamento del Centro di Coordinamento Soccorsi, delle unità di pubblica sicurezza e sanitarie, del Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco e dell'Agenzia Regionale di Protezione Civile.

³⁶⁴ Prefettura di Viterbo (2018), Ordinanza di sgombero, https://comune.viterbo.it/wp-content/uploads/2024/12/www.comune.viterbo.it_viterbo_attachments_article_1805_ordinanza_prefettura.pdf (ultima consultazione 26/03/25)

³⁶⁵ Si veda il sito della Prefettura in merito all'ultima evacuazione programmata per il 7 maggio 2024, Comune di Viterbo, *Ritrovamento ordigno bellico, informazioni utili*, <https://comune.viterbo.it/ritrovamento-ordigno-bellico-informazioni-utili/> (ultima consultazione 26/03/25)

³⁶⁶ Comune di Viterbo (2024)a, Aggiornamento Piano di emergenza anno 2024, <https://comune.viterbo.it/aggiornamento-piano-di-emergenza-anno-2024/#:~:text=Aggiornamento%20piano%20di%20emergenza%20anno%202024%20%E2%80%93%20Comune%20di%20Viterbo.&text=L'aggiornamento%20del%20piano%20d'emergenza%20per%20il%202024,situazioni%20di%20rischio%2C%20garantendo%20efficienza%20e%20adattabilit%C3%A0.> (ultima consultazione 22/03/2025)

All'interno della zona di sicurezza di 1572 metri, le misure operative da attuare comprendono: la gestione delle informazioni alla popolazione; l'identificazione delle strutture pubbliche e private situate nell'area di evacuazione; l'individuazione di punti di raccolta e accoglienza per la popolazione evacuata, con la previsione di servizi di assistenza e supporto; l'evacuazione di persone, veicoli, edifici e traffico dalla zona interessata, in coordinamento con le forze dell'ordine e le autorità competenti.

Una volta completata l'evacuazione e predisposte le misure di sicurezza, il documento prevede il disinnescamento del dispositivo e successivamente il trasferimento in un'area idonea per il brillamento in sicurezza da parte di personale specializzato.

Le medesime misure sono state adottate in occasione del ritrovamento bellico del 2024, con l'unica differenza rappresentata dalla previsione iniziale di un raggio di rischio pari a 3 km circa³⁶⁷ attorno all'ordigno. Tale distanza, definita "zona rossa" è stata progressivamente ridotta prima a 1,8 km e successivamente a 1,4 km³⁶⁸, man mano che l'ordigno inesplosivo veniva messo in sicurezza, in vista delle operazioni di disinnescamento programmate per il 7 maggio 2024, come già precedentemente indicato.

L'insieme di queste disposizioni e protocolli conferma l'importanza di un approccio metodico e rigoroso nella gestione del rischio derivante dalla presenza di ordigni inesplosivi nel territorio comunale, al fine di garantire la sicurezza della popolazione e la tutela del territorio.

D'altronde, l'obiettivo principale del lavoro di tesi consiste nell'identificazione dei crateri e dei danni derivanti da bombardamenti all'interno di fotografie aeree storiche, contribuendo al contempo a colmare la mancanza di una mappatura del rischio di rinvenimento di ordigni inesplosivi, una criticità emersa con evidenza in occasione dell'ultimo ritrovamento avvenuto nel 2024. Tale analisi risulta di fondamentale importanza ai fini della classificazione, catalogazione, conservazione e tutela del patrimonio culturale situato nelle aree oggetto di studio.

Le fotografie aeree, unitamente a indagini comparative, forniscono una rappresentazione dettagliata delle strutture edificate, danneggiate o modificate durante i conflitti bellici. Esse costituiscono una fonte informativa privilegiata, offrendo un livello di dettaglio superiore rispetto alle tradizionali mappe del periodo bellico. Fin dai primi anni del Novecento, numerose aree sono state

³⁶⁷ Comune di Viterbo (2024)c, Rinvenimento ordigno bellico inesplosivo, interdizione del traffico pesante nel perimetro di sicurezza, <https://archivio.comune.viterbo.it/rinvenimento-ordigno-bellico-inesplosivo-interdizione-del-traffico-pesante-nel-perimetro-di-sicurezza/> (ultima consultazione 22/04/2025)

³⁶⁸ Comune di Viterbo (2024)b, Bonifica ordigno bellico, il raggio della "zona rossa" ridotto da 1800 a 1400 metri, <https://archivio.comune.viterbo.it/bonifica-ordigno-bellico-il-raggio-della-zona-rossa-ridotto-da-1800-a-1400-metri/> (ultima consultazione 22/04/2025); Viterbotoday (2024), Bomba a Viterbo, ecco la mappa della nuova zona rossa: le aree e i quartieri esclusi <https://www.viterbotoday.it/attualita/nuova-zona-rossa-bomba-viterbo-13-aprile-2024.html> (ultima consultazione 22/04/2025)

mappate mediante fotografie aeree, e oggi, grazie ai Sistemi Informativi Geografici, tali immagini possono essere georeferenziate e analizzate in sequenza, qualora siano disponibili cosiddette “strisciate” fotografiche.

L'analisi del paesaggio urbano secondo criteri tematici e la sua fruizione richiedono, però, l'individuazione e la creazione di percorsi strutturati, che comprendano tappe e punti di interesse nei quali approfondire le tematiche selezionate. Qui entrano in supporto i GIS, che consentono la gestione di tali informazioni sia in formato *shapefile* sia in formato KML, rendendole fruibili mediante software *open-source*, applicativi come Google Earth® e pagine web dedicate. Inoltre, l'interoperabilità dei GIS con altri sistemi e software, quali applicazioni di realtà virtuale e il Metaverso, rappresenta un ulteriore sviluppo delle potenzialità di questo approccio.

L'impiego del GIS nella ricerca si motiva anche per la sua capacità di gestire un ampio numero di dati relativi a problematiche di scala geografico-paesaggistica spesso non immediatamente percepibili, rendendolo uno strumento flessibile e indispensabile per l'analisi delle relazioni tra dati spaziali provenienti da fonti eterogenee³⁶⁹. In aggiunta, grazie alla struttura stratificata del GIS, è possibile sovrapporre mappe e dati tematici per analizzare la relazione tra spazio e oggetti, ottenendo informazioni essenziali per l'ambito di ricerca.

Le immagini aeree utilizzate ai fini del lavoro di tesi sono state fornite dall'Aerofototeca Nazionale di Roma in formato raster non georeferenziato, rendendo necessaria la loro successiva elaborazione e georeferenziazione all'interno dell'ambiente GIS. Inoltre, l'identificazione di tracce, elementi e azioni riconducibili ai bombardamenti su paesaggi attuali, profondamente modificati nel tempo rispetto alla loro configurazione durante il periodo bellico, ha richiesto l'adozione di una metodologia integrata, basata su diverse fonti documentarie, tra cui rapporti di volo, confronti cartografici e documenti archivistici che riportano informazioni sulla localizzazione di elementi storici o inventari di strutture danneggiate dalla guerra. Tuttavia, tali fonti possono presentare incongruenze dovute a variazioni temporali, differenze nell'accuratezza spaziale e sensibilità degli archivi a specifici eventi storici.

La localizzazione dei crateri da bombardamento, pertanto, è stata condotta attraverso un'analisi visiva delle immagini aeree, integrata dall'identificazione di luoghi di rilevanza storica in ambiente GIS e dal confronto con studi pregressi, mappe e rapporti sui bombardamenti, al fine di individuare gli obiettivi colpiti e la loro ubicazione.

Per quanto concerne la zonizzazione del rischio e del pericolo derivante dalla presenza di ordigni inesplosi, con particolare attenzione alle aree di interesse archeologico, sono state seguite le

³⁶⁹ Rubio Campillo *et al.* 2011, pp. 159-160

seguenti fasi operative: confronto con fonti eterogenee georeferenziate in ambiente GIS; stima della dispersione dei crateri delle bombe in relazione agli obiettivi bellici e rapporti di guerra; identificazione di evidenze archeologiche e crateri di bombe che potrebbero aver interferito con esse; elaborazione di mappe tematiche mediante tecniche GIS.

Le linee di ricerca della tesi traggono ispirazione dal progetto sviluppato dall'Aerofototeca Nazionale (AFN) di Roma nell'ambito del PROGETTO "Eccellenza" / Programma "500 Giovani per la Cultura". L'AFN ha realizzato un Web-GIS³⁷⁰ per rendere accessibile al pubblico il vasto patrimonio fotografico, solo parzialmente digitalizzato. La struttura del Web-GIS consente l'identificazione di aree coperte da singoli o multipli fotogrammi, visualizzabili su mappa con la possibilità di interagire con altri strumenti, tra cui dati vettoriali, mappe geografiche e immagini.

Agli scopi della ricerca sono state adottate le linee guida che l'AFN ha impiegato per la realizzazione del Web-GIS. Esse comprendono: georeferenziazione accurata delle immagini; interfaccia web intuitiva e accessibile; presenza di filtri per la ricerca delle mappe; possibilità di implementazioni ed estensioni future del progetto.

Le immagini storiche utilizzate sono state digitalizzate e georeferenziate, contribuendo all'integrazione dell'archivio digitale AFN. L'indagine, dunque, non ha finalità meramente accademiche, bensì si inserisce in un quadro di obiettivi scientifici e divulgativi, supportati dalla ricerca archivistica, dalla digitalizzazione e dalla georeferenziazione di immagini storiche, molte delle quali inedite e finora non utilizzate per scopi differenti da quelli archivistici.

Tale approccio si colloca nell'ambito delle tecniche di telerilevamento applicate alla valutazione del rischio in contesti geografici, siti archeologici e al patrimonio storico-culturale nel senso più ampio del termine. L'analisi delle fotografie e le mappe di rischio rinvenimento di UXO, realizzate in ambiente GIS, rientrano, inoltre, nella categoria delle tecniche non distruttive (*Non Destructive Testing*, NDT), come evidenziato da Barone (2019, p. 2706).

Infine, il confronto tra fotografie storiche e immagini satellitari attuali, mediante l'impiego di un dataset multitemporale, si ispira alla funzione "*timeline*" di Google Earth®. Sebbene apparentemente semplice, questa metodologia rappresenta la base di tutte le osservazioni condotte nella ricerca e costituisce un passaggio imprescindibile per la progettazione e lo sviluppo di percorsi tematici futuri.

A supporto di tale approccio, è stata inoltre condotta un'analisi dettagliata dei singoli fotogrammi, generando un database esterno al GIS ma interconnesso con esso.

³⁷⁰ ICCD, Aerofototeca nazionale, WEGIS, <https://afn.cultura.gov.it/webgis/> (ultima consultazione 05/03/2025)

Per tali scopi, sono stati esaminati numerosi archivi fotografici, tra cui l'Archivio di Stato di Viterbo, l'Archivio dell'Ufficio Storico dell'Aeronautica, l'Aerofototeca Nazionale di Roma, oltre a risorse digitali e collezioni private, tra cui quella del collezionista viterbese Mauro Galeotti. Tuttavia, per l'analisi specifica dei crateri di bomba — rilevabili esclusivamente attraverso fotografie aeree realizzate immediatamente dopo i bombardamenti aerei — e al fine di effettuare una mappatura diacronica in ambiente GIS, nonché di elaborare carte del rischio relative al possibile rinvenimento di ordigni inesplosi, si sono rivelate particolarmente preziose le immagini scattate dalla *Royal Air Force* (RAF) tra il 1943 e il 1944 sulla città di Viterbo, attualmente conservate presso l'Aerofototeca Nazionale di Roma (AFN).

Come esposto in precedenza, si ribadisce che l'AFN costituisce il più ampio archivio civile dedicato alla raccolta, conservazione e studio della documentazione fotografica aerea relativa al territorio italiano³⁷¹. Istituita nel 1958 come sezione autonoma del Gabinetto Fotografico Nazionale, allora afferente al Ministero della Pubblica Istruzione, l'Aerofototeca è confluita, a partire dal 1975, nell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD).

Come riportato da Shepherd (2009), la sua fondazione fu resa possibile grazie all'iniziativa di Guglielmo De Angelis D'Ossat e Dinu Adamesteanu, i quali promossero l'impiego della fotografia aerea quale strumento di indagine nei settori della ricerca archeologica e topografica. Il loro impulso innovativo determinò la costituzione di un ufficio specializzato, interno al Gabinetto Fotografico Nazionale, finalizzato alla sistematica acquisizione, archiviazione e valorizzazione del materiale aerofotografico disponibile.

Nel corso del tempo, l'Aerofototeca Nazionale ha raccolto un patrimonio iconografico di straordinaria rilevanza, costituito da milioni di immagini relative al territorio italiano, articolate in collezioni che coprono un ampio arco cronologico, dalla fine del XIX secolo fino al 2015. Le attività dell'istituto includono la conservazione, il trattamento e la catalogazione del materiale fotografico, la gestione dell'accesso pubblico alle collezioni, l'ampliamento continuo del fondo documentario, la promozione scientifica e la riproduzione delle immagini a scopo di studio e ricerca. Inoltre, a partire dal 2006, l'Aerofototeca collabora stabilmente con l'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro e con l'Istituto Centrale per la Conservazione del Patrimonio Archivistico e Librario, al fine di effettuare un monitoraggio costante dello stato di conservazione dei fondi fotografici. Contestualmente, l'istituto è impegnato in attività di digitalizzazione del proprio patrimonio, perseguendo sia obiettivi di tutela che finalità di diffusione e valorizzazione della documentazione³⁷².

³⁷¹ Boemi 2003, pp. 23-24

³⁷² Shepherd 2009, p. 9

Nell'ambito di tali attività, la ricerca condotta presso questo archivio ha perseguito un duplice obiettivo: da un lato, reperire materiale fotografico di rilevanza per l'analisi storica e territoriale della città di Viterbo; dall'altro, procedere alla digitalizzazione delle immagini selezionate, al fine di integrarle all'interno dell'archivio digitale dell'Aerofototeca Nazionale. L'operazione non solo contribuisce alla conservazione del materiale fotografico, preservandolo dall'usura fisica attraverso la sua trasposizione in formato digitale, ma ne facilita anche la fruizione da parte della comunità scientifica, ampliandone l'accessibilità e le possibilità di consultazione.

Le immagini custodite presso l'Archivio sono organizzate in fondi e collezioni, ciascuno dei quali è denominato in base all'ente che ha effettuato le riprese o che detiene la proprietà del materiale. La catalogazione delle fotografie avviene secondo criteri specifici, tra cui l'appartenenza a una determinata collezione, il riferimento alla corrispondente scheda dell'Istituto Geografico Militare (IGM), l'indicazione del numero di strisciata o del singolo fotogramma, l'anno di realizzazione e il numero complessivo di strisciate.

Nonostante la conservazione avvenga in ambienti climatizzati e costantemente monitorati sotto il profilo igrometrico, non tutte le immagini versano in condizioni ottimali. Alcune fotografie presentano infatti un avanzato stato di deterioramento, con il rilascio di acidi nocivi sia per la salute sia per la conservazione del materiale, che ne compromettono in parte la leggibilità. Tali agenti chimici, inoltre, possono agire da collante tra i positivi fotografici, spesso conservati in posizione orizzontale all'interno di scatole sovrapposte su scaffalature.

In questo contesto, le immagini appartenenti al fondo RAF (*Royal Air Force*), relative alla città di Viterbo, si distinguono per l'eccellente stato di conservazione, risultando tra le più integre dell'intero archivio.

Le fotografie aeree della *Royal Air Force* (RAF) oggetto di analisi presentano un formato rettangolare, con dimensioni pari a 7,1 x 8,6 pollici (inclusa la striscia dati), equivalenti a 17,9 x 21,1 cm. Tali immagini sono contraddistinte dalla presenza di tre marcatori fiduciali, in forma di sottili linee nere o mezzi triangoli o mezze frecce di colore nero, posizionati centralmente lungo il margine superiore e sui due lati verticali, funzionali all'individuazione del centro esatto del fotogramma.

Nonostante l'accuratezza tecnica delle riprese, non si dispone di informazioni certe circa il modello specifico di apparecchiatura fotografica impiegato dalla RAF per la loro realizzazione. Tuttavia, tra gli strumenti fotografici comunemente utilizzati per la ricognizione aerea dalle forze armate britanniche e dai loro alleati intorno alla metà degli anni '40, figura il modello F24. Tale dispositivo, introdotto nel 1942 (un anno prima della presa delle fotografie in esame), è stato

successivamente sviluppato nella versione F52, caratterizzata dall'utilizzo di un formato immagine di 8.5'' x 7'', compatibile con obiettivi a focale fissa di F36'' o F40'',³⁷³.

I fotogrammi risultano, ad ogni modo, accomunati da una serie di elementi distintivi: una cornice nera perimetrale e una striscia informativa (detta *data-strip*) posta nella parte inferiore, contenente indicazioni quali il numero del fotogramma, il codice identificativo della sortita, la data e l'ora dello scatto, la lunghezza focale della fotocamera, espressa in pollici, e l'altitudine di volo, espressa in piedi (Fig. 58).

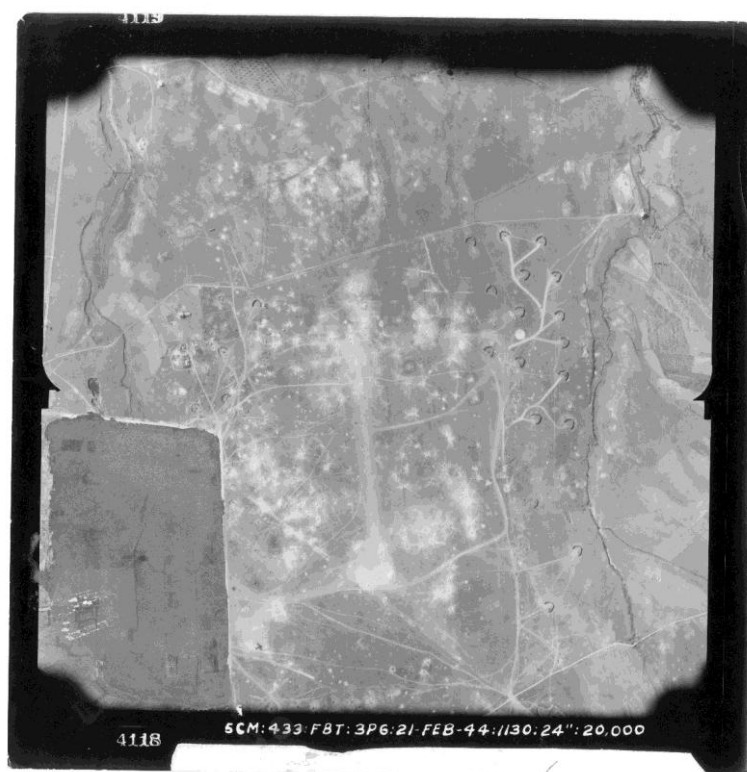


Figura 46 Foto aerea storica dell'aeroporto "Tommaso Fabbri" di Viterbo, scattata dalla RAF nel 21 febbraio 1944, come si può leggere dal data-strip riportato sul bordo nero del lato inferiore dell'immagine. Lungo i due lati verticali è possibile osservare due mezze frecce nere, dette "marker" fiduciali, utili all'orientamento interno del fotogramma. Immagine raster autoprodotta presso gli uffici dell'Aerofototeca Nazionale di Roma.

Le immagini sono state digitalizzate ad alta risoluzione direttamente presso l'Archivio e successivamente sottoposte a orto-rettifica mediante l'impiego del software Adobe Photoshop®. A seguire, sono state elaborate fotogrammetricamente attraverso il programma Metashape®, come sarà illustrato nei paragrafi successivi.

Nello specifico, le fotografie individuate presso l'Aerofototeca Nazionale appartengono al fondo RAF per l'anno 1943 e 1944. Si tratta di positivi fotografici realizzati sulla città di Viterbo e sulle aree circostanti, nell'ambito di missioni di ricognizione aerea antecedenti e successive ai

³⁷³ RAF historical society journals, *Photo reconnaissance in WW2*. In Proceedings of the royal air force historical society, Issue n. 10, <https://rafhistoricalsociety.org.uk/journals-01-10-1>, pp. 43-44, 46

bombardamenti. Tutte le immagini selezionate da tale fondo sono state inventariate nella loro versione digitale secondo i seguenti parametri: foglio IGM 137, dimensione in pollici (6'', 24'', 40''), numero di strisciata fotografica, numero del positivo fotografico e numero del negativo fotografico (ove disponibile). In totale, sono stati selezionati 180 positivi fotografici, ciascuno accompagnato dalla rispettiva copia digitalizzata.

Le fotografie selezionate evidenziano la presenza di crateri da bombardamento, distribuiti in concentrazioni variabili a seconda delle zone colpite della città. Particolarmente evidenti risultano i danni riportati in prossimità dei principali obiettivi bellici, tra cui figurano le stazioni ferroviarie di Porta Fiorentina e Porta Romana, nonché l'aeroporto Tommaso Fabbri. Tuttavia, sono riscontrabili danni significativi anche su numerosi edifici civili e religiosi situati nel centro storico, oltre che nelle aree rurali circostanti.

Le fotografie individuate e digitalizzate sono state ulteriormente archiviate in un database, strutturato seguendo il modello del Geoportale Cartografico per le Foto aeree del XX secolo (Fig. 59). In particolare, è stato adottato lo stesso schema di catalogazione di tale database, con l'integrazione della voce "Formato" in pollici nelle tavole e la sostituzione della voce "Note bibliografiche" con "Collocazione in archivio", identificata attraverso la sigla assegnata durante il processo di digitalizzazione di ciascuna fotografia.

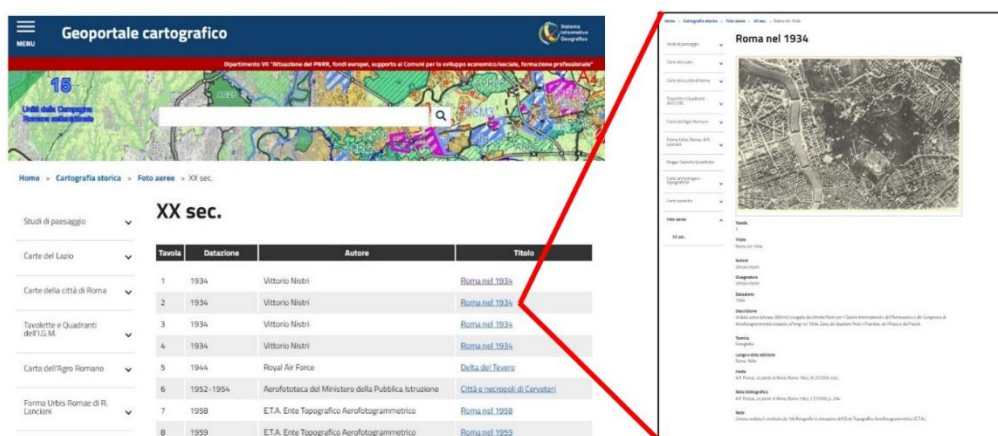


Figura 47 Database delle Foto aeree del XX sec. del Geoportale Cartografico, sezione cartografia storica e relative schede descrittive per ogni immagine. Immagini autoprodotta dal sito del Geoportale cartografico, Cartografia storica. Foto aeree. XX sec. <https://geoportale.cittametropolitanaroma.it/index.php/cartografia-storica/53/59> (ultima consultazione 12/08/2024)

Nel database sono state, inoltre, introdotte tre voci supplementari rispetto al modello del Geoportale Cartografico al fine di migliorare l'organizzazione e la fruibilità del contenuto stesso:

1. Il suddetto "Formato" (espresso in pollici), poiché esso determina l'altitudine della ripresa aerea e, di conseguenza, l'estensione della superficie catturata nelle immagini. Si ritiene che

questo criterio sia essenziale per la ricerca nel database delle fotografie aeree, soprattutto in vista di una futura accessibilità pubblica dello stesso o del GIS ad esso correlato.

2. “Strisciata” con un numero univoco che la identifica;
3. “Sequenza”, per indicare il numero di fotogramma cui la riga si riferisce e che appartiene a quella specifica Strisciata (Fig. 60)

Il database è stato sviluppato contestualmente alla digitalizzazione delle immagini d’archivio, in modo da garantire sin da subito uno strumento pronto all’uso (Tabella 3). Esso è progettato per essere integrato con il sistema GIS, che gestisce la georeferenziazione delle immagini e degli orto-foto-mosaici derivati. Seguendo le modalità operative del Web-GIS dell’Aerofototeca Nazionale, infatti, il database è strutturato in modo che, mediante un’interazione diretta con la mappa, sia possibile interrogare le schede descrittive dei singoli fotogrammi di interesse, corrispondenti da mappa all’ingombro vettoriale di ciascuna immagine.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Tavola	Datazione	Autore	Formato	Strisciata	Sequenza	Titolo
2	1	1944	RAF	6"		2 1 di 2	Viterbo nel 1944
3	2	1944	RAF	6"		2 2 di 2	Viterbo nel 1944
4	3	1944	RAF	6"		3 1 di 2	Viterbo nel 1944
5	4	1944	RAF	6"		3 2 di 2	Viterbo nel 1944
6	5	1944	RAF	6"		20 1 di 3	Viterbo nel 1944
7	6	1944	RAF	6"		20 2 di 3	Viterbo nel 1944
8	7	1944	RAF	6"		20 3 di 3	Viterbo nel 1944
9	8	1944	RAF	6"		35 1 di 3	Viterbo nel 1944
10	9	1944	RAF	6"		35 2 di 3	Viterbo nel 1944
11	10	1944	RAF	6"		35 3 di 3	Viterbo nel 1944
12	11	1944	RAF	24"		6 1 di 3	Viterbo nel 1944
13	12	1944	RAF	24"		6 2 di 3	Viterbo nel 1944
14	13	1944	RAF	24"		6 3 di 3	Viterbo nel 1944
15	14	1944	RAF	24"		10 1 di 8	Viterbo nel 1944
16	15	1944	RAF	24"		10 2 di 8	Viterbo nel 1944
17	16	1944	RAF	24"		10 3 di 8	Viterbo nel 1944
18	17	1944	RAF	24"		10 4 di 8	Viterbo nel 1944
19	18	1944	RAF	24"		10 5 di 8	Viterbo nel 1944
20	19	1944	RAF	24"		10 6 di 8	Viterbo nel 1944
21	20	1944	RAF	24"		10 7 di 8	Viterbo nel 1944
22	21	1944	RAF	24"		10 8 di 8	Viterbo nel 1944
23	22	1944	RAF	24"		15 1 di 5	Viterbo nel 1944
24	23	1944	RAF	24"		15 2 di 5	Viterbo nel 1944
25	24	1944	RAF	24"		15 3 di 5	Viterbo nel 1944
26	25	1944	RAF	24"		15 4 di 5	Viterbo nel 1944
27	26	1944	RAF	24"		15 5 di 5	Viterbo nel 1944

Viterbo nel 1944

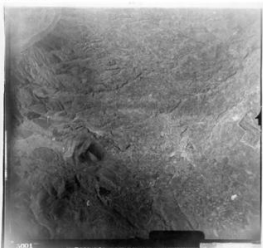


Tavola 1

Titolo
Viterbo nel 1944

Autore
RAF

Datazione
19/02/1944

Descrizione
Veduta aerea centrale eseguita dalla RAF per ricognizione aerea su Monti Cimari, centro abitato del comune di Viterbo e Aeroporto "Tommaso Fabbri". Parte della pellicola fotografica è stata manualmente danneggiata per essere resa meno leggibile.

Tecnica
Fotografia

Formato
6"

Figura 48 Database e schede descrittive correlate di tutte e 180 le fotografie RAF digitalizzate in Aerofototeca Nazionale. Immagine autoprodotta

Ogni scheda descrittiva accessibile tramite il database corrisponde a un singolo fotogramma e ne documenta in modo sistematico i principali elementi identificativi. In particolare, essa riporta: il numero della tavola, utile all’identificazione univoca della scheda; il titolo, che coincide con l’oggetto della ricerca, ovvero “Viterbo”; e l’anno di realizzazione della ripresa.

Sono inoltre indicati l’autore (*Royal Air Force* – RAF), la datazione, una descrizione quanto più possibile oggettiva dell’area geografica rappresentata e degli elementi visibili nel fotogramma, nonché le informazioni tecniche relative alla tecnica impiegata (fotografia aerea) e al formato dell’immagine.

Dal punto di vista metodologico, il database è stato inizialmente strutturato mediante un foglio di calcolo Excel, all'interno del quale ogni voce corrisponde a un singolo fotogramma. Le relative schede descrittive sono state redatte in formato Word e successivamente convertite in PDF. Ciascuna scheda è stata resa accessibile direttamente dal foglio Excel tramite l'inserimento di collegamenti ipertestuali, garantendo così un'interazione funzionale tra le due tipologie di file.

Il file Excel è stato poi esportato in formato CSV (*Comma Separated Values*), al fine di consentirne l'importazione all'interno di un ambiente GIS. Una volta importato, il software GIS ha riconosciuto il file CSV come una tabella priva di geometria (*non-spatial attribute table*). Successivamente, tale tabella è stata associata, attraverso un'operazione di *join*, a un file vettoriale contenente le geometrie relative agli ingombri planimetrici dei fotogrammi di interesse.

L'associazione è stata resa possibile dalla presenza, in entrambi i *dataset* (la tabella CSV e il layer vettoriale), di una colonna condivisa denominata "numero di tavola", che ha consentito l'unione coerente dei dati. Il risultato di questa operazione è un layer unificato che integra sia le informazioni descrittive contenute nella tabella CSV, sia la rappresentazione geometrica dei singoli fotogrammi.

Tale procedura permette non solo di consultare i dati tabellari tradizionalmente, ma anche di accedere direttamente alle schede descrittive attraverso l'interfaccia cartografica del GIS, semplicemente selezionando l'ingombro corrispondente sulla mappa, garantendo così una fruizione più dinamica e immediata delle informazioni, come si vedrà più avanti.

4.2. Fotogrammetria applicata

Per l'esecuzione di un rilievo fotogrammetrico, è indispensabile acquisire immagini in coppie stereoscopiche. Risulta infatti noto che l'impiego di riprese fotografiche effettuate da due punti posizionati perpendicolarmente rispetto al terreno su cui si trova l'oggetto da rappresentare, con assi ottici paralleli e un grado di sovrapposizione delle immagini pari ad almeno il 60%³⁷⁴, consente di eseguire calcoli in grado di eliminare le distorsioni e le deformazioni prospettiche, ottenendo una rappresentazione geometricamente accurata. In particolare, attraverso il calcolo dell'angolo di parallasse, è possibile determinare le variazioni di quota degli oggetti rappresentati nelle immagini³⁷⁵. Queste tecniche, un tempo realizzate con strumentazione analogica e attualmente mediante elaborazioni digitali, costituiscono la base della cartografia fotogrammetrica.

³⁷⁴ Le foto aeree storiche impiegate in questa sede ben rispondono alla richiesta presentando, a volte, sovrapposizioni del 60%

³⁷⁵ McCurdy 1940

Negli ultimi anni, lo sviluppo di nuovi software ha reso possibile la gestione di coppie fotografiche o set di immagini prive dei requisiti fotogrammetrici tradizionali, aprendo la strada a soluzioni più versatili ed economicamente vantaggiose. L'impiego di tali software, che si avvalgono di algoritmi proprietari, permette infatti l'elaborazione delle coppie stereoscopiche al fine di ottenere un modello tridimensionale ad alta densità dell'oggetto da rappresentare.

Nel caso in esame, il software Agisoft Metashape® è stato reputato il più adatto agli scopi della ricerca, dal momento che esso sfrutta un sistema *image-based* sviluppato secondo la tecnica *Structure from Motion* (SfM), che combina la fotogrammetria digitale con la *computer vision*³⁷⁶.

La metodologia adottata consente la generazione di strutture tridimensionali mediante un set di immagini acquisite con modalità analoghe alla fotogrammetria tradizionale, con il vantaggio significativo dell'automatizzazione delle fasi di orientamento interno e relativo dei fotogrammi. Lo SfM, essendo un processo di *image-matching*, si basa su algoritmi elaborati a partire dagli anni Novanta proprio dalla *computer vision* per determinare le coordinate spaziali dei pixel campionati dalle immagini digitali. Analogamente alla fotogrammetria classica, lo SfM sfrutta immagini sovrapposte acquisite da diversi punti di vista, distinguendosi per la capacità di determinare simultaneamente la geometria interna della fotocamera, la sua posizione e il suo orientamento in maniera automatica. È stato proprio l'elevato grado di sovrapposizione delle immagini, necessario per garantire una copertura completa della geometria dell'oggetto, a dare origine alla denominazione "struttura derivata da un sensore di movimento".

Il *workflow* del software prescelto, una volta effettuato il caricamento delle immagini, prevede l'impiego dell'algoritmo *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT), sviluppato da Lowe nel 2004³⁷⁷, che, tramite descrittori di immagine, è in grado di identificare e rilevare le posizioni dei punti (pixel) omologhi nell'intero set di immagini, stabilendo le relazioni spaziali all'interno di un sistema di coordinate relative XYZ e disponendo le immagini secondo i parametri calcolati. Successivamente, l'algoritmo di *bundle adjustment* interviene per controllare e ridurre gli errori nella trasformazione delle coordinate dei punti tridimensionali in una nuvola di punti, la cui densità dipende dalla quantità di *keypoints* rilevati.

La fase successiva del processo prevede la generazione di una *dense cloud points* mediante algoritmi di *dense image matching*³⁷⁸. Tali algoritmi si suddividono in due categorie: gli algoritmi di *Area Based Matching* (ABM), che effettuano un confronto statistico dell'intensità dei toni di grigio rilevati nelle immagini senza estrarre le *feature*, e gli algoritmi di *Feature Based Matching* (FBM),

³⁷⁶ Remondino e Menna 2008, pp. 199-206

³⁷⁷ Lowe 2004, p. 91-110

³⁷⁸ Groppi *et al.* 2021, p. 294

che prima individuano le *feature* comuni e successivamente le estraggono. La combinazione di entrambi i metodi garantisce risultati ottimali, sebbene comporti tempi di elaborazione più lunghi. La *dense cloud points* così ottenuta può essere impiegata per generare un modello poligonale (*mesh*), il quale può essere texturizzato per restituire un modello digitale tridimensionale fotorealistico (Fig. 61).

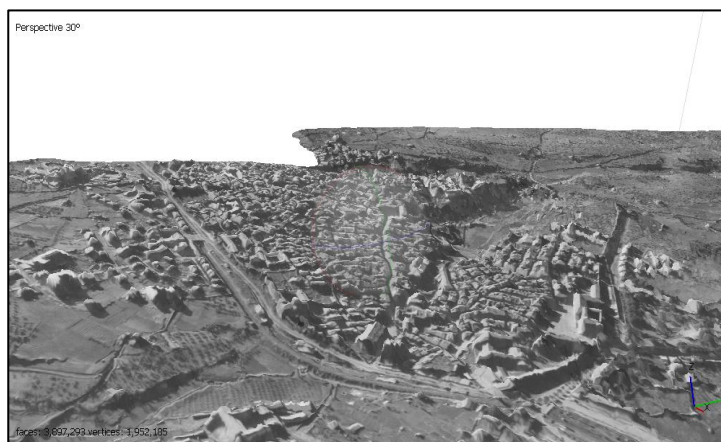


Figura 49 Modello digitale tridimensionale fotorealistico di Viterbo, realizzato tramite tecniche fotogrammetriche. Immagine autoprodotta in Metashape®

Il modello generato viene quindi "vestito" con texture derivate dalle immagini fotografiche e può essere utilizzato direttamente come rappresentazione tridimensionale di alta qualità, oppure per la produzione di ortofoto dettagliate degli oggetti ripresi, che possono essere a loro volta georiferite ed elaborate in ambiente GIS, o più semplicemente importate in software *Computer Aided Design* (CAD) per la realizzazione di rilievi vettoriali bidimensionali.

Nell'ambito del lavoro di ricerca, si è mirato alla produzione di orto-mosaici, ossia rappresentazioni ottenute mediante la combinazione di fotografie aeree orto-rettificate, accuratamente assemblate con lo scopo di creare un'unica immagine continua e coerente dal punto di vista territoriale, al fine di riferirli alle coordinate geografiche del Sistema di riferimento WGS84 Pseudo Mercator e mappare con la massima precisione possibile i crateri di bomba visibili.

Pertanto, è stato impiegato, come già sopra specificato, il programma Metashape®, una soluzione software *stand-alone* sviluppata da Agisoft LLC, con sede a San Pietroburgo, in Russia. Tale strumento consente l'elaborazione fotogrammetrica di immagini digitali, generando dati spaziali tridimensionali. Il processo operativo adottato si è articolato nelle seguenti fasi: selezione e acquisizione delle immagini in Metashape®, orientamento automatico dei fotogrammi, creazione del modello tridimensionale, texturizzazione ed esportazione dell'ortofoto.

Per garantire un corretto orientamento dei fotogrammi, la fase preliminare ha richiesto immagini acquisite da almeno due punti di vista differenti, con un'inclinazione superiore ai 5° e

idealmente compresa tra 30° e 45°, catturate in condizioni di illuminazione omogenea, prive di ombre evidenti e caratterizzate da un'elevata risoluzione³⁷⁹. Per la ricerca, pertanto, sono stati selezionati fotogrammi di strisciate aeree riprese durante la Seconda Guerra Mondiale sulle aree di interesse, caratterizzati da un'elevata sovrapposizione e da una qualità d'immagine ottimale ai fini dello studio.

Trattandosi di fotografie storiche, esse presentano cornici nere, marker fiduciali e bande informative (*data-strip*) contenenti dati relativi alla missione di volo, alla fotocamera utilizzata e alla cronologia, come visto. Quindi, per ottimizzare l'elaborazione tramite il software Metashape®, si è proceduto, ove necessario, alla rimozione dei bordi esterni, preservando le proporzioni originali e mantenendo invariato il centro dell'immagine, individuato attraverso i marker fiduciali, mediante l'impiego del software Photoshop®. Questa operazione ha evitato che elementi non rilevanti venissero interpretati erroneamente dal programma, contribuendo al miglioramento della sovrapposizione tra le immagini durante la fase di elaborazione.

L'acquisizione delle fotografie, tuttavia, ha presentato alcune criticità, tra cui la complessità formale dell'oggetto da rilevare, un'inclinazione insufficiente tra immagini adiacenti, con conseguenti difficoltà nell'orientamento, e deformazioni della texture dovute alla ridotta distanza di acquisizione rispetto a oggetti di grandi dimensioni. Inoltre, sono state riscontrate differenze radiometriche dovute alla variazione dei punti di vista e alla presenza di ombreggiature³⁸⁰.

In aggiunta, l'impiego di positivi ottenuti da negativi di fotocamere analogiche, la cui geometria interna non era nota, ha reso necessaria la scansione delle immagini con risoluzione minima di 600 DPI e l'inserimento di alcuni parametri relativi all'ottica e all'immagine, se noti, quali distanza focale e dimensione dei pixel.

Successivamente, si è proceduto con le due fasi principali dell'elaborazione fotogrammetrica: l'orientamento dell'immagine e la generazione del *Digital Surface Model* (DSM)³⁸¹. L'orientamento ha consentito di ricavare i parametri esterni delle immagini, ossia la posizione e l'orientamento della fotocamera rispetto all'oggetto ripreso. Il riconoscimento dei punti omologhi tra le fotografie ha permesso, invece, di determinare le coordinate tridimensionali dei punti misurati nelle immagini³⁸².

³⁷⁹ Benedetti *et al.* 2010, p. 294

³⁸⁰ *Ibidem*, p. 296

³⁸¹ I Digital Surface Model (DSM) sono modelli digitali altimetrici che rappresentano la superficie terrestre comprensiva di tutte le elevazioni visibili, quali edifici, vegetazione e altre strutture presenti al di sopra del suolo. Derivano da nuvole di punti ottenute tramite tecniche fotogrammetriche o rilievi laser, inclusi quelli basati su tecnologia LiDAR, e vengono elaborati attraverso algoritmi di interpolazione che generano una griglia raster in cui ciascun pixel è associato a un valore univoco di altitudine. A differenza dei Digital Terrain Model (DTM), che restituiscono esclusivamente la morfologia del terreno, i DSM includono le superfici esterne degli oggetti, offrendo così una visione complessiva della scena osservata. Tuttavia, trattandosi di modelli 2,5D, essi forniscono una rappresentazione altimetrica dettagliata ma non tridimensionale completa, poiché ogni cella della griglia contiene un solo valore di elevazione

³⁸² Benedetti *et al.* 2010, p. 297

L'orientamento simultaneo delle immagini nello stesso sistema ha richiesto l'individuazione di punti di congiunzione tra le diverse foto, solitamente rilevati attraverso algoritmi di estrazione automatica delle *feature* (Fig. 62). In particolare, il software impiegato ha usato algoritmi di costruzione prospettica inversa per allineare le fotografie, generando una nuvola sparsa di punti. Una volta completato l'allineamento e distribuito l'errore, mediante formule di stereofotogrammetria, è stata prodotta una nuvola densa di punti, che descrive la superficie dell'oggetto e le sue principali discontinuità geometriche, consentendo la generazione del DSM³⁸³.

Tuttavia, la generazione del DSM mediante tecniche fotogrammetriche ha evidenziato alcuni errori derivanti da disallineamenti tra punti, dovuti a occlusioni o alla mancanza di punti caratteristici in aree omogenee, ombreggiate o con trame ripetitive. Inoltre, sono emerse problematiche inerenti alla rappresentazione dell'altezza degli oggetti nel DSM, che non dipendono dalla tecnica adottata, ma dalla presenza di ambiguità nell'interpretazione dell'altezza, in quanto oggetti di classi semantiche differenti possono presentare quote simili. Se la pendenza del terreno non è stata completamente compensata, l'altezza apparente degli oggetti può infatti risultare alterata³⁸⁴.

Il DSM ottenuto ha evidenziato, per più di una strisciata fotografica, superfici irregolari e falsi piani, motivo per cui si è preferito non esportare i modelli ottenuti. Tali problematiche sono attribuibili alla mancanza di dati sulle fotocamere utilizzate per le riprese storiche e alle imperfezioni presenti sui positivi, quali macchie, piegature e screpolature, che hanno determinato la perdita di informazioni durante l'acquisizione. Ciò conferma l'importanza della digitalizzazione di superfici analogiche soggette a degrado.



Figura 50 Orientamento simultaneo delle immagini nello stesso sistema per la produzione di un Digital Surface Model (DSM).
Immagine autoprodotta in Metashape®

³⁸³ Dalla Mura *et al.* 2012, p. 2

³⁸⁴ *Ibidem*, pp. 3-4

Un'ulteriore fase del processo ha riguardato la costruzione della *mesh*. Metashape® ha permesso di ricostruire una *mesh* poligonale tridimensionale della superficie dell'oggetto, interpolando i punti della nuvola densa. Una volta generata la *mesh*, essa è stata texturizzata mediante proiezione delle immagini fotografiche sulla superficie, miscelando le fotografie per ottenere un risultato realistico. La fase di texturizzazione, però, ha presentato alcune problematiche, tra cui la presenza di lacune dovute a oclusioni e ostacoli, la deformazione delle immagini in output e le differenze radiometriche causate dalle variazioni dei punti di presa e dalle ombreggiature³⁸⁵.

L'ultima fase del processo ha riguardato la creazione di un orto-mosaico (Fig. 63), ossia una rappresentazione ortogonale dell'oggetto da un punto di vista selezionato. Tale operazione ha consentito di ottenere immagini aeree metricamente corrette, basate sul modello tridimensionale finale. In caso di imperfezioni, il software Metashape® ha colmato automaticamente le lacune con superfici di colore bianco. L'ortofoto risultante può essere considerata una mappa esportabile e georeferenzabile in ambiente GIS.

Attualmente, la procedura adottata per l'impiego di immagini aerofotografiche nella mappatura dei crateri derivanti dalle esplosioni di ordigni bellici risalenti alla Seconda guerra mondiale prevede un processo semi-automatizzato volto alla rettifica e all'orto-normalizzazione dei fotogrammi, con l'obiettivo di georeferenziarli ai sistemi geografici di riferimento (Datum) maggiormente diffusi³⁸⁶. La fase di rilevamento, sia manuale che automatico, dei crateri rappresenta l'aspetto più critico del processo e deve essere eseguita con estrema precisione al fine di minimizzare il rischio di "false interpretazioni"³⁸⁷.

Per la georeferenziazione e la mappatura dei crateri di bomba visibili nelle fotografie storiche, come anticipato, è stato selezionato l'ambiente GIS basato sul software *open-source* Quantum-GIS® (QGIS). Al suo interno, per garantire un'elevata interoperabilità con diversi sistemi di riferimento e agevolare l'integrazione con dati geospaziali globali, è stato scelto il Sistema di Riferimento WGS 84 / Pseudo-Mercatore (EPSG: 3857), un sistema di coordinate (CRS - *Coordinate Reference System*) ampiamente utilizzato a livello internazionale.

³⁸⁵ Benedetti *et al.* 2010, pp. 297-8

³⁸⁶ Un Datum geodetico, detto anche solo "Datum", è un sistema di riferimento che consente di definire in termini matematici la posizione di punti sulla superficie della Terra. Il Datum consente quindi l'operazione di georeferenziazione di luoghi o oggetti. I Datum maggiormente usati in Italia sono: Roma40, detto anche Monte Mario, che definisce il sistema geodetico dell'Italia, riferito ai dati astronomici del 1940; GE02 che definisce il sistema geodetico riferito ai dati astronomici del 1902; ED50 che è stato definito dopo la Seconda guerra mondiale allo scopo di uniformare le reti geodetiche di vari paesi del nord Europa; WGS84 che è un sistema di coordinate geografiche geodetico, mondiale, basato su un ellissoide di riferimento elaborato nel 1984.

³⁸⁷ L'errore più comune risiede nell'errata interpretazione di elementi geologici/naturali o azioni antropiche di diversa natura visibili sul terreno: alberi, macchie di umidità, peculiari lavorazioni agricole del suolo.



Figura 51 orto-mosaico realizzato con foto aeree storiche della città di Viterbo. Immagine autoprodotta

Questo sistema permette di proiettare le mappe GIS in relazione alle posizioni reali sulla superficie terrestre, con coordinate espresse sia in gradi (come nel caso del sistema geografico WGS 84) sia in metri (nel caso di una proiezione cartesiana, come nel sistema WGS 84 / Pseudo-Mercatore). Le basi cartografiche digitali utilizzate comprendono la vista OpenStreetMap (OSM) e la vista satellitare della Terra, importate dai livelli "web - OSM" e "web - Google satellite" mediante il plug-in "QuickMapServices", strumento che consente l'inserimento diretto delle mappe di base, scaricandole dal web.

Per analisi più dettagliate su specifiche aree di interesse a scala maggiore (1:1.000), si è fatto ricorso alle "Ortofoto a colori anno 2012 con relative date di volo" del Geoportale Nazionale per l'Italia. Sebbene questi servizi offrano dati completi, la loro disponibilità e la loro visibilità nei progetti GIS non sono garantite in maniera continuativa. Inoltre, l'uso dei WMS può appesantire il progetto in fase di visualizzazione web; pertanto, si è deciso di utilizzarli esclusivamente nella fase di mappatura. In aggiunta, sono stati caricati e georeferenziati la Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:5000 della provincia di Viterbo (Regione Lazio) per migliorare la classificazione geografico-amministrativa (Fig. 64) e gli orto-mosaici delle fotografie aeree storiche della città di Viterbo.

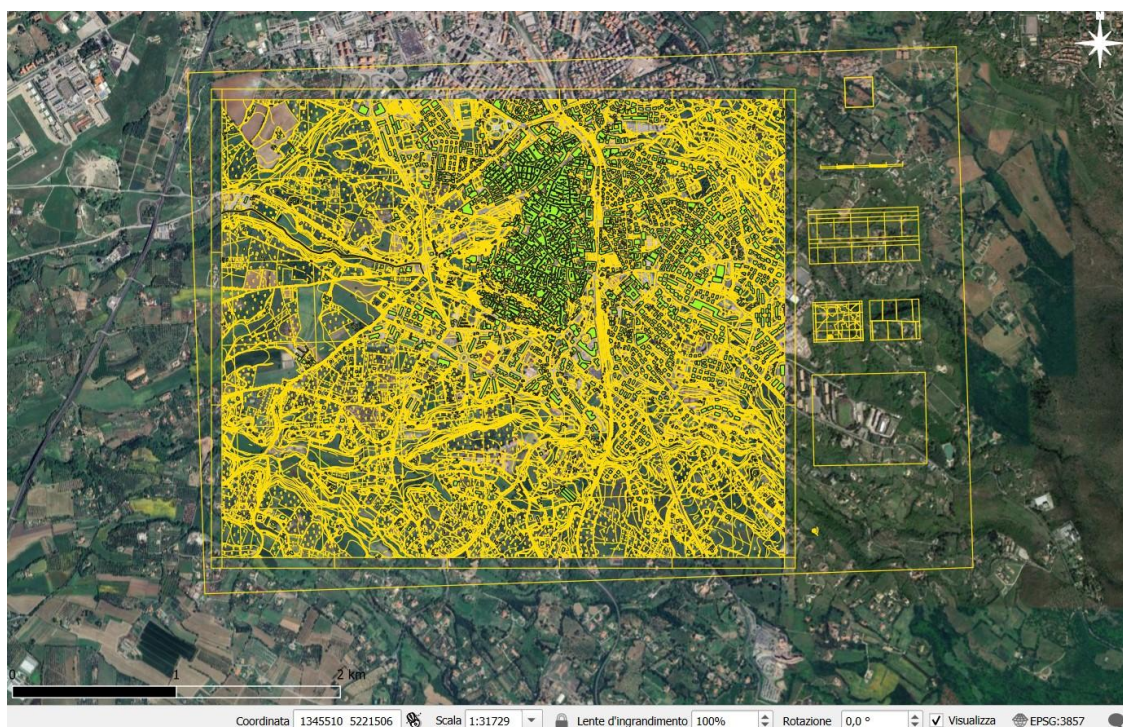


Figura 52 Carta Tecnica Regionale (CTR) scala 1: 5000 della provincia di Viterbo e georeferenziata in QGIS®. Immagine autoprodotta.

Le immagini storiche sono state caricate nell'ambiente GIS sotto forma di raster³⁸⁸. La georeferenziazione consiste nell'assegnazione di coordinate geografiche reali a ciascun pixel del raster, processo che è stato effettuato utilizzando il plugin "Georeferencer". Questo strumento consente di posizionare correttamente le mappe raster in sistemi di coordinate geografiche o proiettate, determinando le coordinate di punti di riferimento presenti nel raster da georeferenziare³⁸⁹.

Diversi algoritmi vengono impiegati per eseguire la traslazione, la rotazione e la regolazione dell'immagine, al fine di allinearla correttamente alle coordinate geografiche corrispondenti³⁹⁰. Il numero di punti di controllo (*Ground Control Points* - GCP) richiesti varia in base all'algoritmo adottato: per una semplice roto-traslazione sono sufficienti tre punti, mentre per trasformazioni più complesse ne sono necessari almeno nove. Un numero maggiore di punti di controllo inizialmente migliora la precisione, fino a raggiungere un valore costante.

All'interno dell'ambiente QGIS[®], la georeferenziazione può essere effettuata sia in modalità automatica³⁹¹ che manuale. Generalmente, la determinazione dei GCP avviene manualmente, poiché richiede un'accurata identificazione e misurazione, operazioni che necessitano a loro volta esperienza e tempo³⁹². Il metodo automatico, che calcola il punto di acquisizione di ogni fotografia tramite algoritmi di ricostruzione, è meno utilizzato per le immagini storiche, in quanto rappresentano una situazione differente rispetto alla realtà odierna, rendendo difficile il riconoscimento automatico dei punti in comune. Motivo per cui, un'immagine georeferenziata manualmente può essere impiegata come base per la georeferenziazione di ulteriori fotografie storiche³⁹³.

L'uso di orto-mosaici consente, inoltre, di ridurre il numero di immagini e le operazioni di georeferenziazione, aumentando la precisione del processo. Tuttavia, un fattore che può introdurre errori nella georeferenziazione è la distribuzione dei punti omologhi nelle aree di sovrapposizione tra fotogrammi consecutivi. Essendo le fotografie aeree proiezioni centrali coniche, le distorsioni geometriche sono più accentuate nelle zone periferiche dei fotogrammi rispetto alle aree centrali, causando errori di collimazione tra i punti omologhi.

³⁸⁸ Raster, matrici di celle che rappresentano oggetti o fenomeni della superficie terrestre. Ogni cella (pixel) ha una dimensione costante ed è identificata dalla sua posizione all'interno della matrice (riga e colonna) e dal valore ad essa associato. Ferrucci, 2009, pp. 13-14

³⁸⁹ Ishida e Ito 2019, p. 313

³⁹⁰ Produit *et al.* 2016, p. 317

³⁹¹ La georeferenziazione automatica in QGIS non rappresenta ancora una procedura standardizzata, risultando attualmente in fase di sviluppo ed implementazione attraverso specifici plugin

³⁹² Verhoeven *et al.* 2012, p. 2062

³⁹³ Si è optato per una georeferenziazione manuale, che però comporta sempre un certo grado di imprecisione, a cui si aggiungono gli errori dovuti alle distorsioni degli obiettivi delle macchine fotografiche con cui sono state scattate le immagini e alla mancata copertura dell'intera superficie e di tutti gli attacchi aerei subiti dall'area di interesse, oltre a una normale aberrazione presente nelle immagini satellitari che costituiscono la base cartografica. Questo perché le foto delle aree storiche rappresentano un paesaggio molto diverso da quello attuale, che spesso trova pochi o nessun confronto con quello contemporaneo, e quindi è difficile se non impossibile georeferenziarle automaticamente.

Nonostante queste difficoltà, si è scelto di georeferenziare anche le singole immagini per ottenere una copertura completa delle aree bombardate e per verificare eventuali discrepanze nella georeferenziazione delle ortofoto. Per migliorare l'accuratezza, è possibile intervenire manualmente aggiungendo nuovi GCP, rimuovendo quelli che incrementano l'errore medio di collimazione o selezionando un differente metodo di trasformazione (Helmert, polinomiale, spline a piastra sottile, proiettiva).

Per l'assegnazione delle coordinate alle immagini disponibili, si è adottata la trasformazione "polinomiale 1"³⁹⁴, selezionando punti di riferimento chiaramente riconoscibili sia sulla cartografia contemporanea sia sulle fotografie storiche. La principale criticità nella georeferenziazione delle ortofoto di Viterbo (Fig. 65) è stata riscontrata nelle aree periferiche della città. Nelle immagini d'epoca, infatti, tali zone sono caratterizzate da campi coltivati, piccole strade sterrate e abitazioni isolate, mentre nelle odierne fotografie satellitari risultano urbanizzate, con la presenza di ampie strade asfaltate, quartieri residenziali e una minore estensione di terreni agricoli. Di conseguenza, la georeferenziazione delle immagini storiche ha raggiunto una maggiore accuratezza nel centro storico, che conserva edifici e punti di riferimento ancora riconoscibili rispetto al passato.



Figura 53 Ortofoto di Viterbo georeferenziate in ambiente QGIS®. Immagine autoprodotta

³⁹⁴ Dopo vari tentativi, è stata scelta la trasformazione "polinomiale 1" perché è quella che produce meno distorsioni dell'immagine durante la fase di georeferenziazione.

Strategico, dal punto di vista metodologico, si è rivelato il ridurre l'opacità dei livelli delle ortofoto e delle immagini storiche, consentendo un confronto diretto dell'espansione urbana della città a partire dalla Seconda guerra mondiale.

Nel caso di Viterbo, però, la documentazione cartografica relativa al piano urbanistico dell'epoca è estremamente limitata. I geoportali nazionali, regionali e comunali forniscono principalmente mappe molto antiche, come il Catasto Gregoriano, o al contrario cartografie estremamente recenti. Tuttavia, per comprendere meglio l'evoluzione della città, è stata georeferenziata in QGIS® una mappa del centro storico risalente al 1930, conservata presso l'Archivio di Stato di Viterbo³⁹⁵ (Fig. 66).

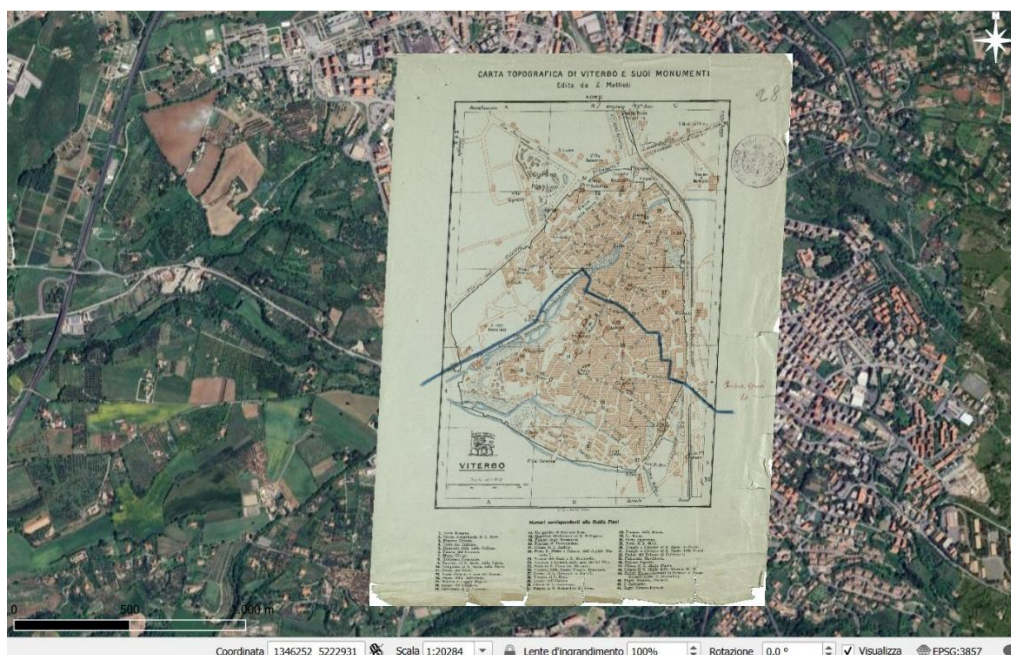


Figura 54 Mappa di Viterbo nel 1930, georeferenziata in ambiente QGIS®. Immagine autoprodotta

Il confronto tra la mappa e le fotografie storiche scattate durante i bombardamenti del 1943-1944 evidenzia come, fino a quel momento, l'espansione urbana oltre le mura medievali fosse ancora piuttosto limitata. Al contrario, il raffronto tra le immagini aeree storiche della *Royal Air Force* (RAF) e le moderne fotografie satellitari documenta un'intensa crescita urbana, avviata immediatamente dopo la Seconda guerra mondiale e tuttora in corso³⁹⁶.

³⁹⁵ Archivio di Stato di Viterbo (2021). Pianta della Città di Viterbo [1930]. <https://www.archiviodistatoviterbo.beniculturali.it/istituto-1> (ultima consultazione 22/03/2024)

³⁹⁶ Il riferimento alla crescita urbana, in questo caso, ha lo scopo di identificare il rischio di bombe inesplose in aree un tempo non urbanizzate, ma ora edificate. Il confronto tra la situazione territoriale del passato e la situazione urbana attuale è lo strumento migliore per identificare le aree a rischio di rinvenimento di inesplosi. Per un'analisi più approfondita sul tema della crescita urbana della città di Viterbo dopo la Seconda guerra mondiale si veda Pelorosso *et al.* 2021.

Per visualizzare e quantificare tale crescita, le mappe di base sono state opportunamente colorate: l'area urbana preesistente al conflitto è stata evidenziata mediante poligoni blu, mentre le costruzioni edificate dal dopoguerra a oggi sono state rappresentate in colore giallo (Fig. 67 e 68).

L'impiego di fotografie aeree storiche, pertanto, fornisce uno strumento ulteriore di confronto per la mappatura della città, integrando i dati già disponibili e migliorando l'individuazione delle aree colpite dai bombardamenti. In particolare, i crateri delle bombe risultano identificabili sulle foto aeree storiche come depressioni nel terreno o come zone contrassegnate dalla presenza di fumo o nuvole di polvere sugli obiettivi colpiti.

L'analisi delle immagini rivela che, a partire dal 1945, Viterbo ha progressivamente esteso il proprio tessuto urbano ben oltre la cinta muraria medievale, che oggi identifica il centro storico. L'espansione è stata particolarmente marcata verso nord, dove attualmente si trovano le principali aree industriali e commerciali, nonché verso est e sud-est. Al contrario, le zone occidentali e sud-occidentali della città hanno mantenuto, come in passato, un paesaggio dominato da piccole proprietà agricole e terreni coltivati.

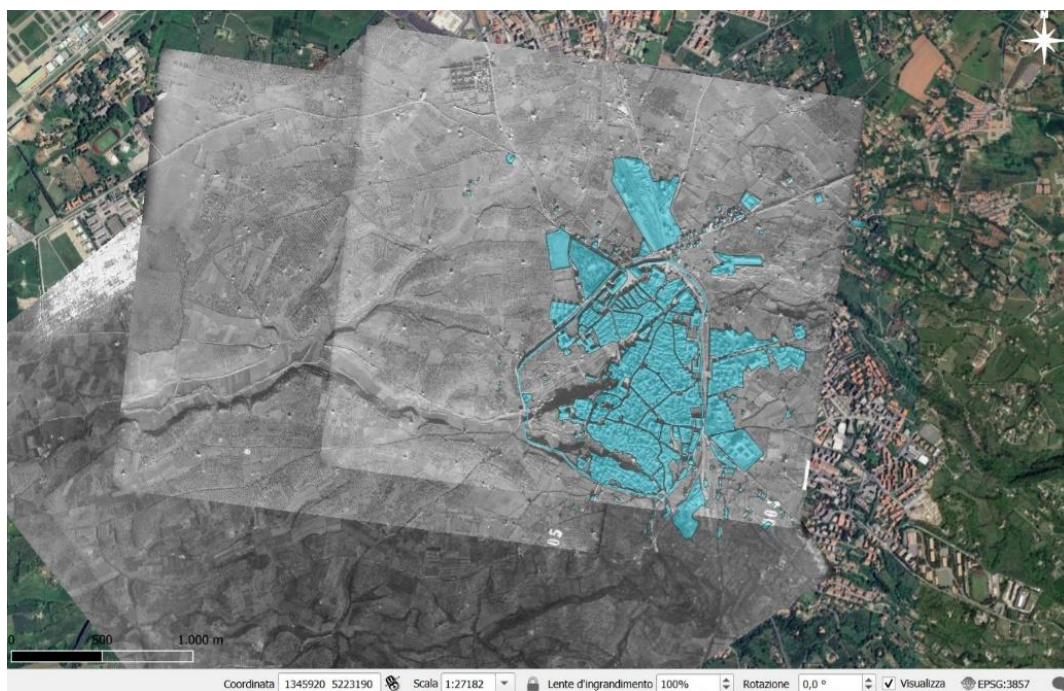


Figura 55 Situazione urbana di Viterbo nel 1944 (in blu), mappata al di sopra di ortofoto realizzate con immagini aeree storiche RAF. Immagine autoprodotta in QGIS®

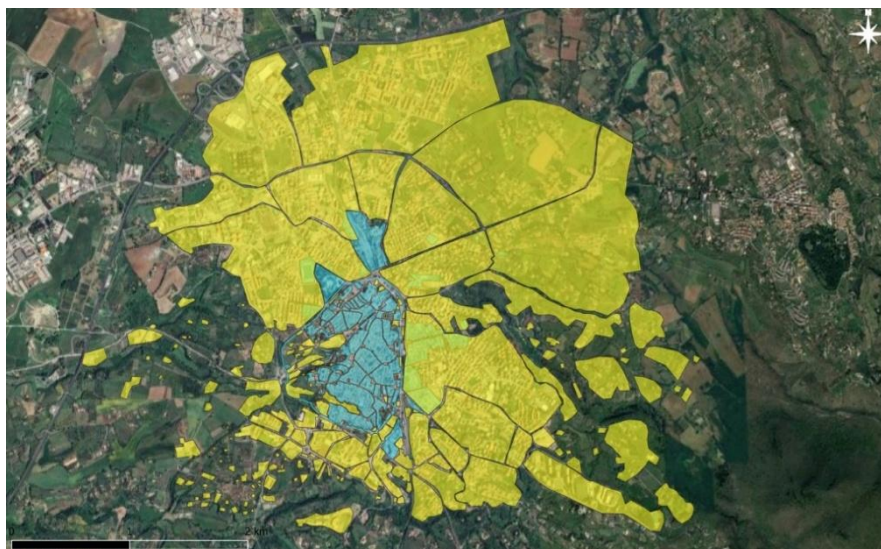


Figura 56 Confronto tra la attuale estensione urbana di Viterbo (in giallo) e la situazione urbana nel 1944 (in blu). Immagine autoprodotta in QGIS®

4.3. Mappatura GIS e Web-GIS

Le ortofoto georeferenziate, corredate dalla mappatura dei crateri di bomba individuabili nelle immagini storiche, rappresentano uno strumento di notevole utilità per la ricerca geografica, storica e archeologica. Esse consentono, infatti, di determinare con precisione le aree geografiche interessate dai bombardamenti, nonché di identificare i punti esatti in cui le bombe sono cadute, generando i relativi crateri.

Queste informazioni risultano particolarmente rilevanti in due ambiti principali: da un lato, permettono di individuare strati geologici e archeologici interessati da tali eventi, dall'altro, forniscono indicazioni fondamentali per prevedere l'eventuale presenza di ordigni inesplosi. Tale conoscenza preventiva è essenziale a sua volta per pianificare in modo efficiente le attività di scavo, definendo anticipatamente metodologie, dinamiche operative ed eventuali costi.

In continuità con il progetto GIS, per la creazione di nuovi layers si è adottato il sopramenzionato Sistema di Riferimento (SR) WGS 84 / Pseudo-Mercatore, disponibile nel software *open-source* Quantum-GIS® (QGIS). Partendo dalle ortofoto e dalle immagini storiche precedentemente georeferenziate, la mappatura dei crateri di bomba visibili sulle immagini storiche è stata quindi realizzata attraverso un layer di vettori puntuali³⁹⁷.

Successivamente, attraverso QGIS® sono state generate mappe vettoriali tematiche, le quali descrivono i seguenti elementi:

³⁹⁷ La mappa vettoriale consiste in una serie di oggetti (punti, linee o poligoni) a cui possono essere associati diversi dati, in forma tabellare.

- Aree di impatto delle bombe;
- Paesaggio militare urbano, inclusi target di guerra, rifugi e strutture di difesa antiaerea passiva (sirene, cavità sotterranee);
- Aree archeologiche direttamente colpite dai bombardamenti o situate nelle immediate vicinanze di zone bombardate;
- Luoghi di rilevanza culturale, quali musei, edifici storici e parchi, situati in aree a rischio di presenza di ordigni inesplosi (UXO) o nelle loro vicinanze;
- Funzionalità interattive per la visualizzazione di fotografie storiche e l'ascolto di descrizioni audio associate alla mappa.

L'analisi della distribuzione dei crateri di bomba visibili sulle ortofoto e sulle immagini aeree della *Royal Air Force* (RAF) relative alla città di Viterbo ha evidenziato due principali concentrazioni di impatti in corrispondenza di due dei tre obiettivi strategici individuati, ossia l'aeroporto e la stazione ferroviaria di Porta Fiorentina (Tavola 1). I crateri delle bombe risultano particolarmente densi nel centro delle due aree designate e si estendono anche verso il nucleo urbano della città (Fig. 69). La maggior parte dei bombardamenti attestati nelle fotografie storiche della RAF, impiegate nell'ambito dello studio, risale all'anno bellico 1944. Tali eventi sono stati classificati su più livelli e in vettori di forma puntuale di diverso colore, in relazione alle specifiche date di acquisizione delle immagini aeree, sulle quali sono stati georeferenziati i crateri visibili al suolo. Al fine di ottenere una visione d'insieme complessiva dei crateri mappati, è stato realizzato anche un layer aggregato che raccoglie e integra tutte le evidenze rilevate (Fig. 70).

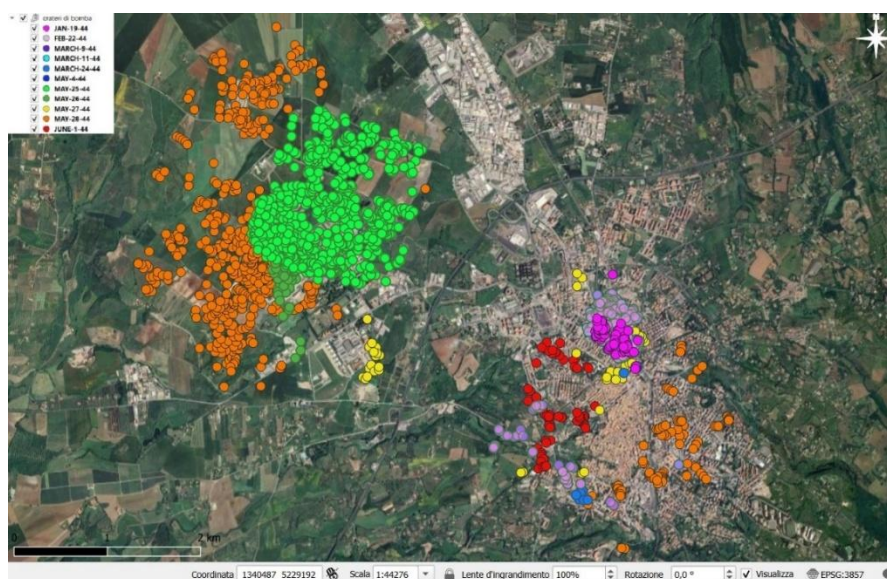


Figura 57 Mappatura dei crateri di bomba visibili su foto aeree storiche divisi per data delle riprese fotografiche. Immagine autoprodotta in ambiente GIS

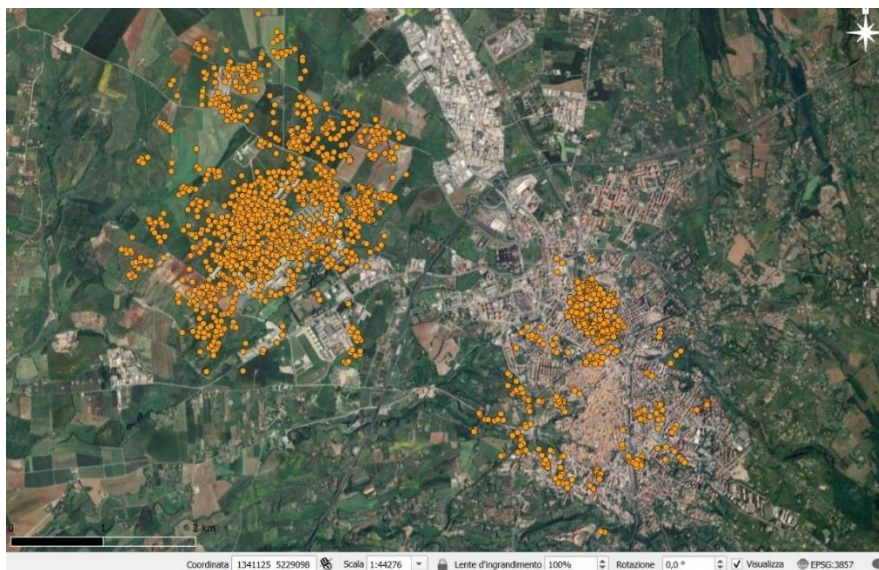


Figura 58 Mappatura aggregata in un unico livello vettoriale dei crateri di bomba visibili su foto aeree storiche. Immagine autoprodotta in ambiente GIS

Le aree strategiche soggette a bombardamenti, quali l'aeroporto e le due stazioni ferroviarie, sono state vettorializzate all'interno del layer denominato "target", al fine di analizzare con maggiore precisione il grado di dispersione degli attacchi rispetto ai bersagli militari. Nell'ambiente GIS, tali obiettivi sono stati delineati attraverso vettori poligonali di colore rosso (Fig. 71).

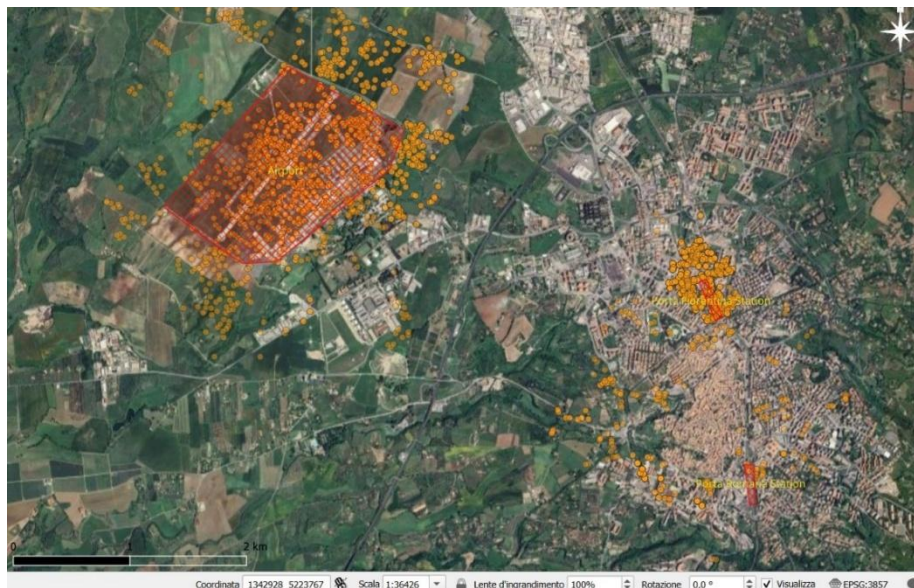


Figura 59 I poligoni rossi individuano i target di guerra, l'aeroporto Tommaso Fabbri a Nord-Ovest e le due stazioni ferroviarie, Porta Fiorentina e Porta Romana, rispettivamente a Nord e a Sud-Est del centro urbano. Immagine autoprodotta in ambiente GIS

Sulla base dei dati raccolti, è stata elaborata una mappa vettoriale che rappresenta i più recenti rinvenimenti di ordigni inesplosi, relativi agli anni 2024, 2018 e 2007. Per ciascun punto di ritrovamento è stata definita una zona di *buffer* (*buffer zone*) a rischio, il cui raggio è stato determinato in funzione delle misure di sicurezza ed evacuazione emanate, di volta in volta, dalla Prefettura di

Viterbo, come già precedentemente indicato. In particolare, per il rinvenimento avvenuto nel 2024 in Via Alcide De Gasperi, sono state individuate due distinte *buffer zone*: una prima con un raggio di circa 3 km e una seconda di circa 1,5 km, corrispondenti alle differenti fasi operative di contenimento del rischio adottate dalle forze armate e dai tecnici specializzati, precedenti alle operazioni di svuotamento, trasferimento e neutralizzazione dell'ordigno. Analogamente, per l'evento del 2018, sono stati georeferenziati due punti distinti: il luogo del rinvenimento e quello del brillamento, entrambi situati all'interno del perimetro dell'Aeroporto Tommaso Fabbri. Anche in questo caso, sono state tracciate due *buffer zone* differenti, corrispondenti alle fasi progressive degli interventi di messa in sicurezza dell'esplosivo.

In merito al ritrovamento del 2007 nel quartiere Santa Lucia, si osserva una certa corrispondenza con quello più recente del 2024, sia per caratteristiche morfologiche e dimensionali sia per la localizzazione dell'ordigno. L'UXO del 2007, infatti, si trovava in una zona non lontana da quella del rinvenimento del 2024 e, in un certo senso, allineata con essa. Inoltre, la *buffer zone* individuata per l'evento del 2007, pari a circa 2 km di raggio, rappresenta una media aritmetica approssimata tra la prima zona di sicurezza (3 km) e la seconda (1,5 km) stabilite per il caso del 2024.

Tutte le informazioni utilizzate per la realizzazione della mappatura (Fig. 72) sono reperibili sui portali ufficiali della Prefettura di Viterbo e dell'Esercito Italiano, come già precedentemente menzionato.

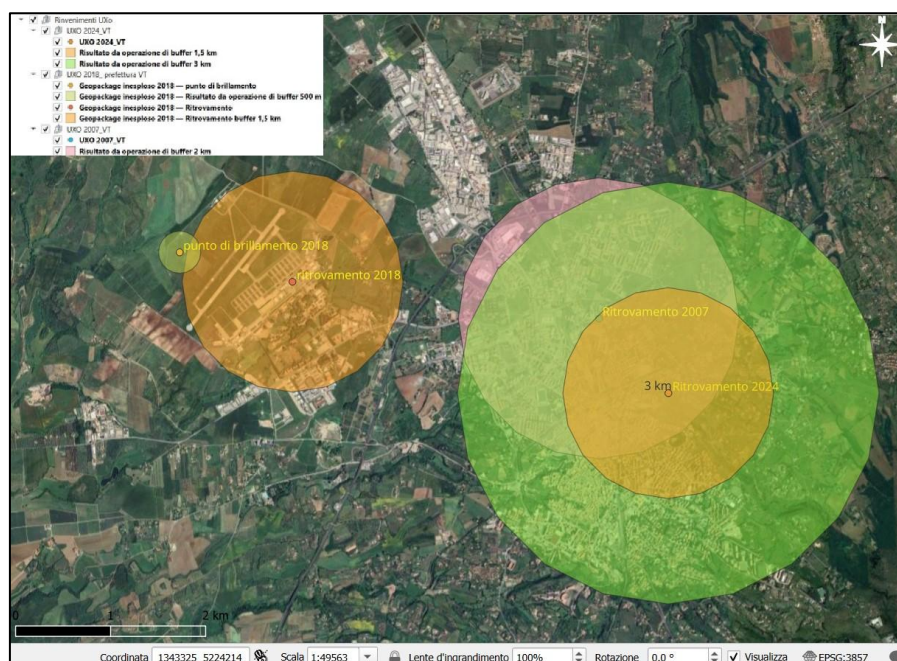


Figura 60 Mappa dei rinvenimenti di UXO del 2024, 2018 e 2007 con relative *buffer zone* di rischio. Immagine autoprodotta in ambiente GIS

Su tale base dati è stata creata anche una mappa di calore mediante l'algoritmo *Processing Heat Map (Kernel Density Estimation)* in QGIS®, al fine di rappresentare la concentrazione dei bombardamenti e il rischio di presenza di ordigni inesplosi (Tavola 2). La mappa evidenzia in rosso le aree caratterizzate da un'alta densità di crateri di bomba, e in scala cromatica che varia dal giallo/verde al blu le aree con concentrazione media, bassa o molto bassa di crateri (Fig. 73). Il raggio d'influenza del colore attorno a ciascun cratere è stato definito in 500 metri, facendo riferimento alla distanza di sicurezza media indicata dalla Prefettura di Viterbo per i passati ritrovamenti e i più recenti provvedimenti relativi al rinvenimento di ordigni inesplosi nel territorio comunale.

In merito all'interpretazione della *heatmap* (Fig. 73) elaborata a fini di prevenzione del rischio di rinvenimento di UXO, è possibile formulare la seguente considerazione: in linea generale, le aree caratterizzate da una maggiore densità di crateri, evidenziate in rosso, possono essere associate a una più alta probabilità di presenza di ordigni inesplosi. Tale ipotesi si fonda sulla sopramenzionata media storica secondo cui circa l'8-10% degli ordigni sganciati dagli aerei durante i bombardamenti non sarebbe esploso al momento dell'impatto. Pertanto, sulla base dell'analisi dei circa 3.147 crateri mappati in ambiente GIS, si stima, secondo suddetta percentuale, che tra i 251 e 315 crateri mappati rappresentino ordigni probabilmente inesplosi. Tale stima, tuttavia, deve essere considerata approssimativa e necessita di essere rettificata nel tempo escludendo gli ordigni già rinvenuti, quelli scoperti ma non documentati ufficialmente, nonché eventuali ulteriori ordigni potenzialmente presenti al di fuori delle aree effettivamente mappate, a causa dell'assenza di una copertura fotografica aerea storica adeguata.

Tuttavia, nel caso specifico analizzato, la concentrazione massima di crateri si localizza prevalentemente in corrispondenza della stazione ferroviaria di Porta Fiorentina e dell'area nord del centro abitato, ovvero su una superficie urbana che, già negli anni 1943-1944, risultava in gran parte edificata, pavimentata e caratterizzata dalla presenza di strutture in muratura di diversa altezza e composizione. In tali condizioni, è plausibile ritenere che gli ordigni caduti su superfici rigide abbiano avuto una maggiore probabilità di esplodere al momento dell'impatto. Inoltre, la ripetuta intensità dei bombardamenti nelle medesime aree potrebbe aver provocato nel tempo la detonazione di eventuali ordigni inizialmente rimasti inesplosi nel sottosuolo. Le successive attività di ricostruzione edilizia, urbanizzazione e movimentazione del terreno avrebbero, a loro volta, potuto contribuire alla rimozione, allo spostamento o alla neutralizzazione involontaria di tali residui, riducendo così il rischio residuo in quelle zone.

Al contrario, le aree contrassegnate con tonalità verdi e blu, pur indicando una densità inferiore di crateri per metro quadrato, si estendono su superfici geograficamente più ampie e, sia all'epoca che oggi, prevalentemente costituite da campi aperti, terreni incolti o superfici scarsamente

urbanizzate — come nel caso dell'area aeroportuale. In simili scenari, il limitato intervento antropico sul suolo e la più ampia possibilità di dispersione degli ordigni nel sottosuolo potrebbero oggi rappresentare un fattore di maggiore rischio per la presenza di UXO.

Tale ipotesi trova ulteriore supporto nel fatto che gli ultimi rinvenimenti documentati di ordigni inesplosi, risalenti agli anni 2024 e 2018, si collocano proprio lungo il margine di transizione tra la zona arancione e quella verde-blu della mappa.

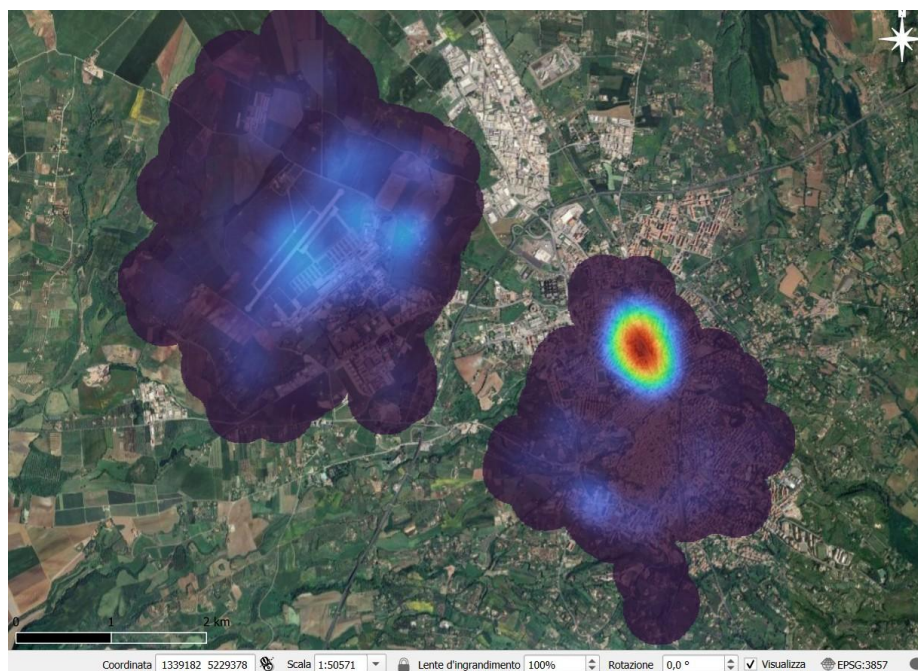


Figura 61 Heatmap della concentrazione di crateri. In rosso l'area con maggior concentrazione di crateri, in blu quella con la minore concentrazione. Immagine autoprodotta in ambiente GIS

Al fine di completare la rappresentazione del paesaggio militare urbano dell'epoca, si è ritenuto opportuno procedere alla mappatura dei rifugi e delle strutture di difesa aerea passiva, costituite da sistemi di allarme e sirene, dislocati intorno alla città (Tavola 3).

Nello specifico, nel centro storico di Viterbo era presente un unico rifugio pubblico, caratterizzato da tre ingressi principali, ubicati in punti strategici. Tale rifugio, descritto da Sguario (1997), si configurava come un unico ambiente sotterraneo, situato a una profondità di 10 metri tra via Marconi, via del Repunzolo, piazza della Repubblica e piazza del Sacratio, con una capacità stimata di circa 4.000 persone. Dalla medesima fonte è possibile desumere l'ubicazione di quattro sirene antiaeree, una delle quali è tuttora conservata sulla torre dell'orologio, nota anche come torre civica di Piazza del Plebiscito (Fig. 74).

È noto, inoltre, che, oltre al rifugio pubblico, gli abitanti di Viterbo ricorrevano frequentemente alle cantine e alle cavità presenti nel sottosuolo del centro storico e nelle aree limitrofe come rifugi improvvisati. Tali cavità, di varia origine, includono formazioni naturali nonché strutture

risalenti all'epoca etrusca e medievale. Per tale ragione, si è scelto di procedere alla loro mappatura, prendendo come riferimento uno degli studi più recenti in materia, condotto da Madonna *et al.* (2021).

Sebbene non tutte le cavità siano state effettivamente impiegate come rifugi durante il conflitto, è altamente probabile, se non certo, che la maggior parte di quelle situate al di sotto degli edifici del centro storico – spesso adibite a magazzini e cantine – abbiano assolto tale funzione (Fig. 75).

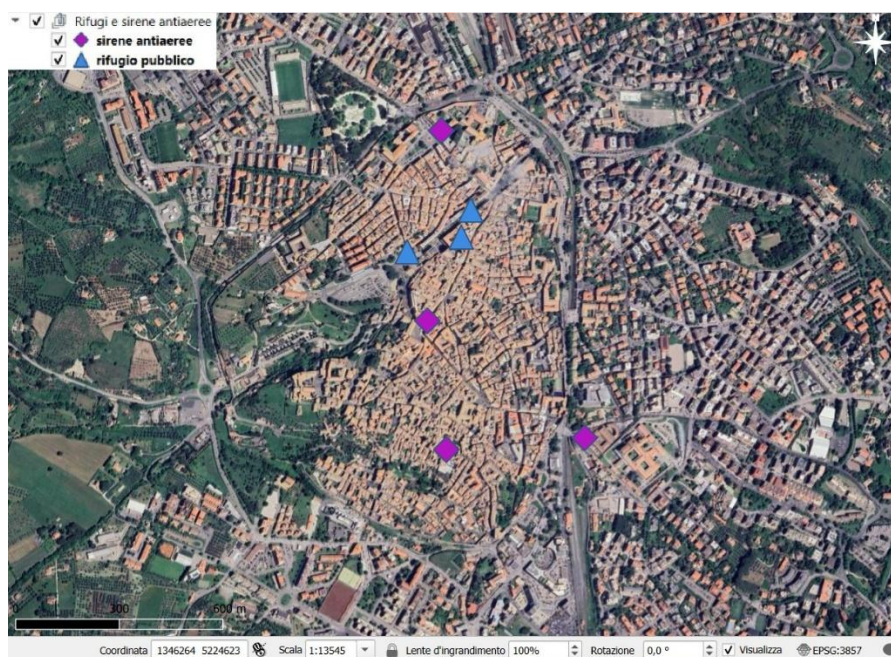


Figura 62 Mappa delle sirene antiaereo e degli ingressi al rifugio pubblico. Immagine autoprodotta in ambiente GIS

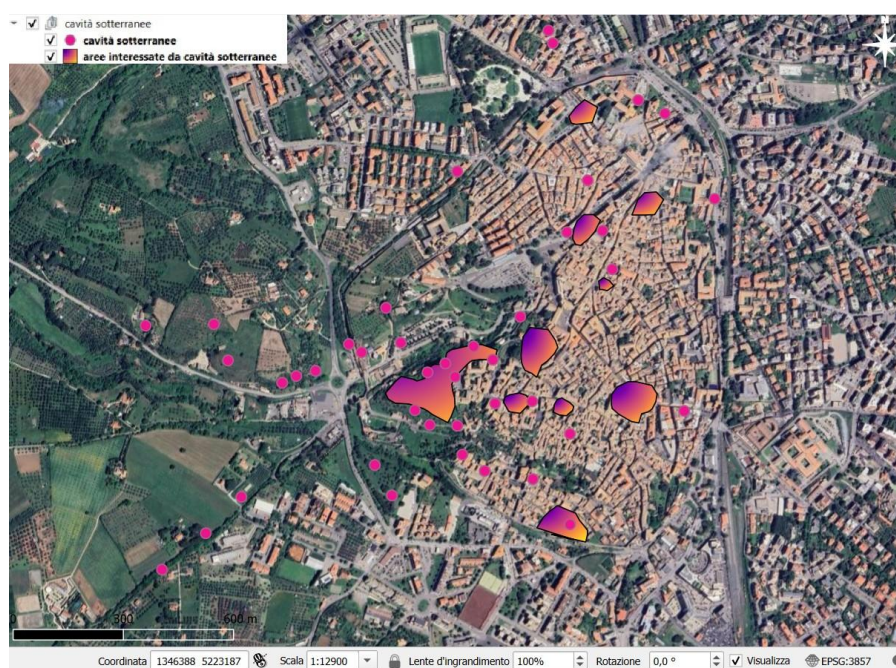


Figura 63 Mappa delle cavità sotterranee e delle aree interessate da cavità sotterranee, redatta sulla base degli studi di Madonna *et al.* 2021. Immagine autoprodotta in GIS

L'insieme dei crateri di bomba individuabili nelle fotografie aeree storiche è stato analizzato anche in relazione alla mappatura dei beni di interesse paesaggistico, disponibile tramite la piattaforma Open Data Lazio (N. D.), che include sia le aree protette ricadenti nei parchi naturalistici (aggiornamento al 2016) sia i beni paesaggistici vincolati (aggiornamento al 2018). Dal confronto emergono evidenti corrispondenze tra la distribuzione dei crateri e le aree in cui persiste un rischio potenziale di rinvenimento di ordigni inesplosi, con particolare riferimento alle zone a nord di Viterbo — in corrispondenza delle località naturalistiche di Bacucco e Bagnaccio — e all'area sud-orientale, in prossimità delle località La Quercia e Valle dell'Arcionello (Fig. 76).

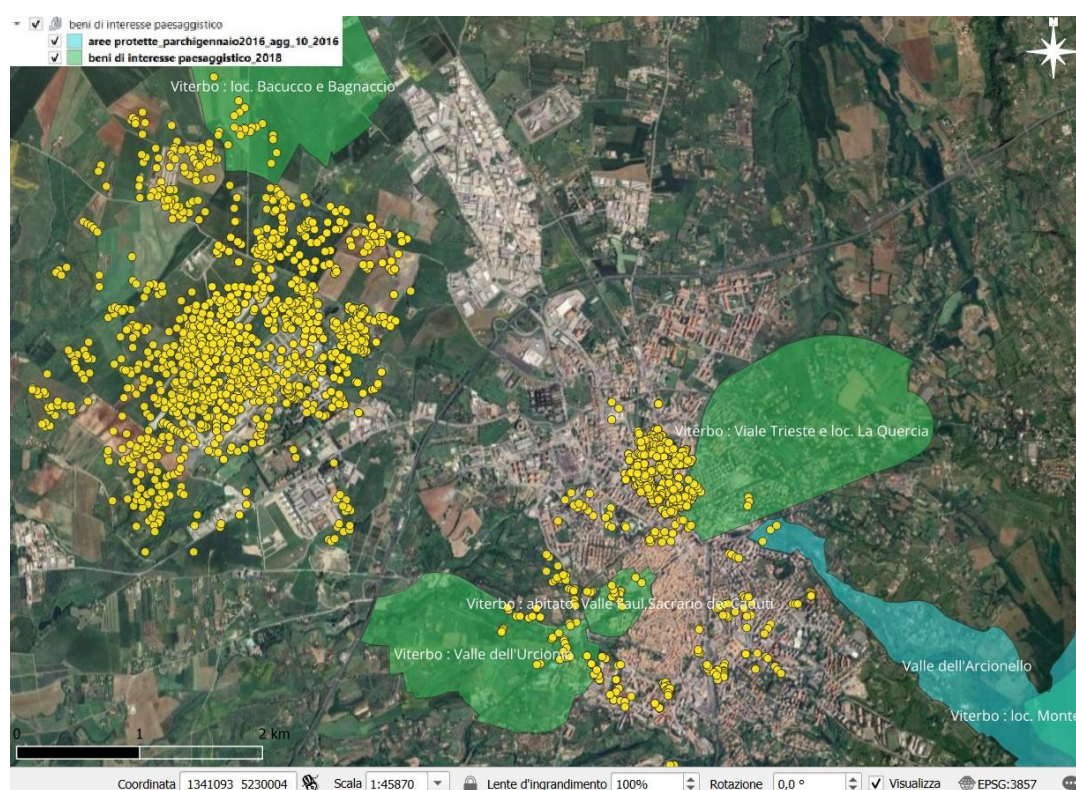


Figura 64 Mappatura dei crateri di bomba (in giallo) a confronto con le aree di interesse paesaggistico. Immagine autoprodotta in ambiente GIS

In aggiunta alla mappatura preliminare, il *dataset* shapefile di Open Data Lazio (N.D.), denominato "Aree archeologiche", è stato importato all'interno del software QGIS® per fornire un ulteriore supporto nell'analisi della dispersione dei bombardamenti e, in particolare, del loro impatto sul paesaggio storico, culturale e archeologico della città di Viterbo.

Il file in questione rappresenta, attraverso poligoni colorati, le principali aree archeologiche della regione Lazio, appartenenti a diverse epoche storiche. Dall'analisi della mappa emerge come l'area militare dell'aeroporto di Viterbo sia situata lungo l'asse dell'antica via Cassia e risulti significativamente coinvolta dagli impatti dei bombardamenti. Ciò implica una potenziale presenza

di ordigni inesplosi, come evidenziato dalle disposizioni della Prefettura di Viterbo relative al loro rinvenimento nella suddetta area. La situazione è stata ulteriormente delineata attraverso la georeferenziazione delle carte archeologiche della città di Viterbo elaborate da Miloni (2002; 2007), al fine di ottenere una visione d'insieme del contesto territoriale comunale. Tale operazione ha permesso di confrontare in modo sistematico le aree archeologiche e le zone verdi interessate da evidenze archeologiche con la distribuzione dei crateri provocati dai bombardamenti della Seconda guerra mondiale (Fig. 77).

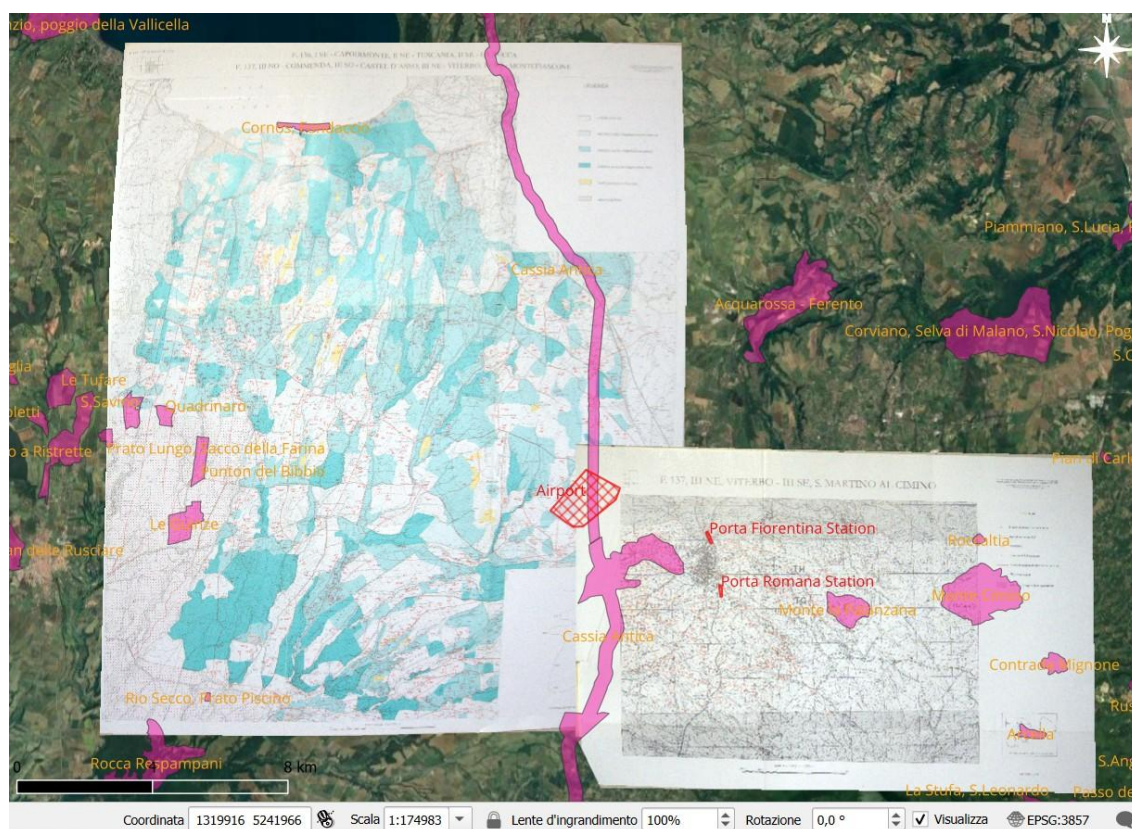


Figura 65 Carte archeologiche di Miloni (2002;2007) georeferenziate su base satellitare. In fuxia le evidenze archeologiche derivate dal layer vettoriale "aree archeologiche" dell'Opendata Lazio e in rosso i target di guerra della città di Viterbo. Immagine autoprodotta in ambiente GIS

Lo shapefile relativo alle aree archeologiche, tuttavia, non contempla il patrimonio archeologico di epoca medievale situato nel centro storico di Viterbo, rinomato per essere uno dei borghi medievali meglio preservati in Italia. Inoltre, non vengono riportati i principali monumenti archeologici di epoca etrusca e romana presenti nelle immediate vicinanze della città. Così come la scala di rappresentazione delle carte archeologiche georeferenziate non permette di apprezzarne il dettaglio. Per ovviare alla lacuna, è stato realizzato un layer vettoriale finalizzato all'identificazione

delle strutture archeologiche di minori dimensioni, sia all'interno del centro storico sia nelle aree adiacenti alle mura medievali (Tavola 4), mediante l'impiego di poligoni colorati³⁹⁸ (Fig. 78).

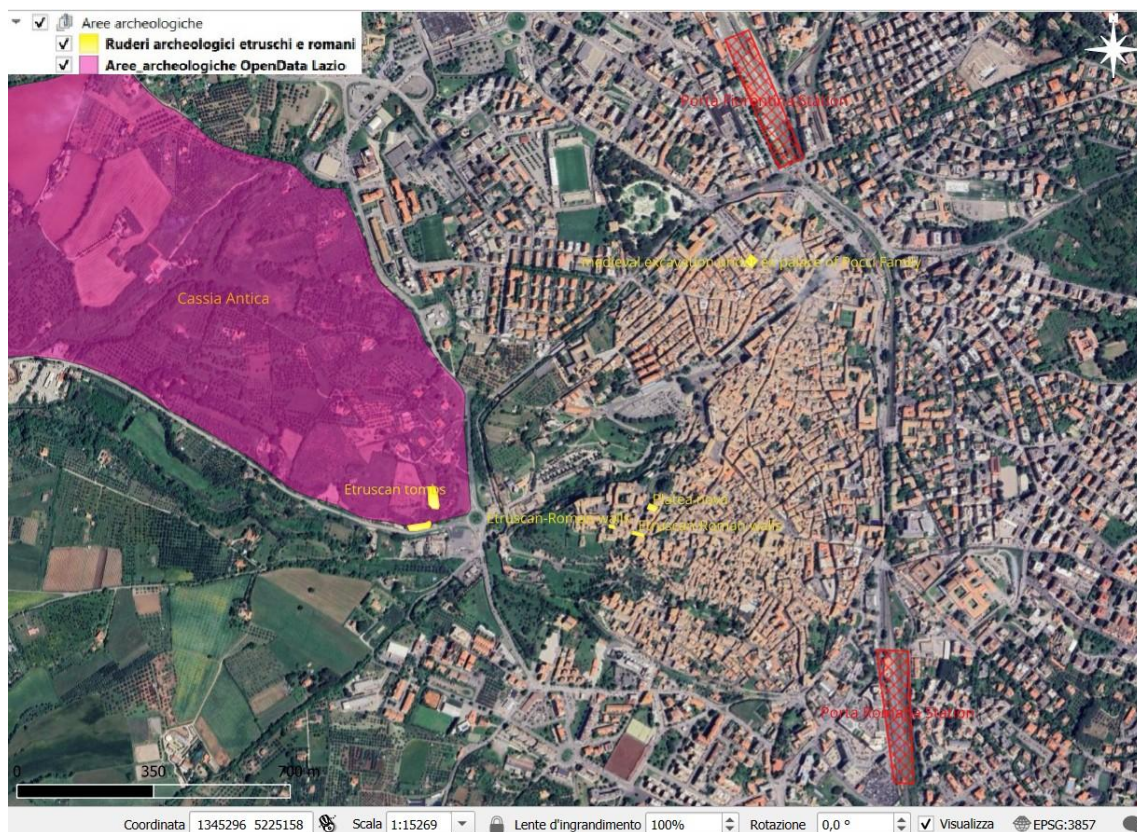


Figura 66 Dettagli dei ruderi e aree archeologiche (in giallo) interne alle mura medievali del centro storico di Viterbo. Immagine autoprodotta in ambiente GIS

Poiché le fotografie storiche non consentono di cogliere appieno l'entità della distruzione causata dai bombardamenti nelle strette vie del centro storico di Viterbo, si è ritenuto opportuno ricostruire una mappatura dettagliata del fenomeno attraverso l'analisi di fonti scritte e immagini d'epoca. Le quali, scattate immediatamente dopo gli attacchi aerei e raffiguranti i monumenti distrutti al suolo, sono state reperite in archivi privati e pubblicazioni specialistiche.

Dall'analisi condotta emerge chiaramente che una vasta porzione del centro storico è stata colpita dai bombardamenti³⁹⁹, con un impatto particolarmente significativo sul patrimonio culturale e architettonico della città. Gli edifici maggiormente danneggiati o completamente distrutti

³⁹⁸ Per collocare queste realtà archeologiche nello spazio e georeferenziarle in QGIS®, sono state consultate le seguenti fonti: Direzione Generale Archeologia, Viterbo (VT). Via Sant'Antonio, http://2.42.228.117/archeologia/index.php?it/142/scavi/scaviarcheologici_4e048966cfa3a/119 (ultima consultazione 03/06/24); Romagnoli 2014, Dennis 2007.

³⁹⁹ Il 20% degli edifici viterbesi fu distrutto e il 25% fu gravemente danneggiato dai bombardamenti del 1943-1944, secondo Paccosi 1994, op. cit. Scardozi 2003

comprendono chiese, palazzi storici e infrastrutture viarie sia all'interno sia all'esterno della cinta muraria medievale⁴⁰⁰ (Tavola 5).

L'impiego di tecnologie GIS ha consentito di accertare in particolare la distruzione di due edifici di rilievo: la chiesa di San Luca, situata all'estremità di via Matteotti in direzione di Piazza del Teatro e oggi sostituita da una struttura commerciale moderna, e Palazzo Pocchi, situato nel cuore della stessa via e attualmente rimpiazzato da un edificio di recente costruzione, ma in condizioni architettoniche precarie (Fig. 79).

Inoltre, l'analisi degli allineamenti evidenti tra i crateri mappati in ambiente GIS, che presumibilmente riflettono le traiettorie di volo e quindi le direttrici di sgancio degli ordigni, consente in alcuni casi di ricostruire le sequenze degli attacchi aerei e, talvolta, anche la cronologia degli impatti al suolo. Questo approccio risulta particolarmente utile per edifici di cui non si conosce la data precisa del bombardamento: ad esempio, si può ipotizzare che siano stati colpiti contestualmente ad altri edifici prossimi, la cui data di distruzione è documentata. In tal senso, è plausibile ritenere che la chiesa di Santa Maria delle Fortezze – la cui data di distruzione non è nota – sia stata colpita durante il medesimo attacco che, nel maggio 1944, danneggiò la vicina chiesa di San Leonardo, come attestato da fonti archivistiche⁴⁰¹.

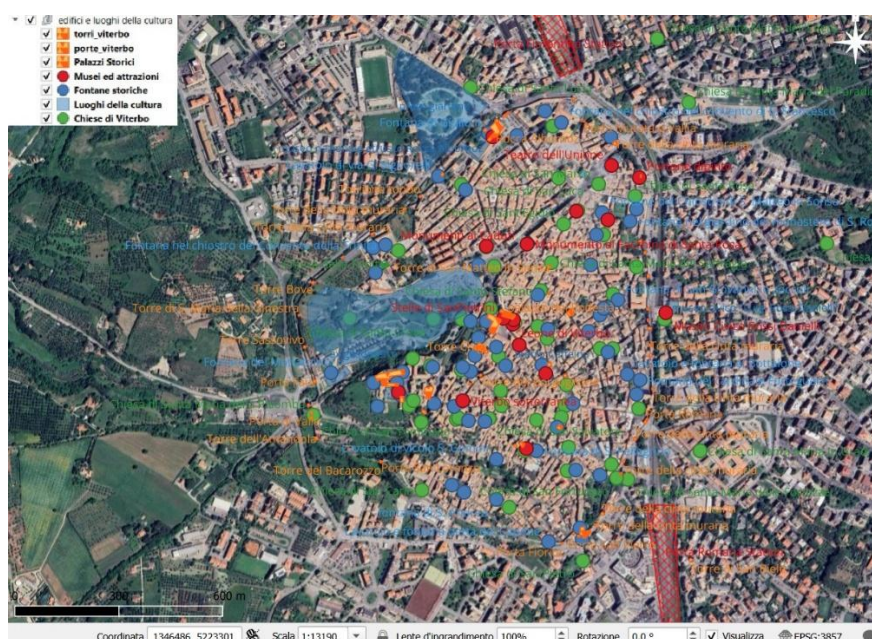


Figura 67 Mappa di dettaglio delle strutture architettoniche medievali del centro storico di Viterbo (torri, porte, palazzi storici), musei, fontane, chiese e luoghi della cultura. Immagine autoprodotta in GIS

⁴⁰⁰ Per collocare nello spazio e georeferenziare in QGIS® queste realtà urbane e architettoniche bombardate tra il 1943 e il 1944 nel centro storico di Viterbo, sono state consultate le seguenti fonti: Archivio fotografico privato Galeotti 2018, Di Prospero 2012, Guaitoli 2003, Sguario 1997, Piacentini e Guancini 1996.

⁴⁰¹ Lucchetti *et al.* 2020, p.103

A conferma dell'elevato livello di distruzione e della persistenza del rischio legato alla presenza di ordigni inesplosi, si evidenzia come le aree colpite dai bombardamenti nel centro storico risultino in prossimità di siti archeologici già identificati attraverso un apposito layer vettoriale, nonché di parchi e luoghi di rilevanza culturale contemporanei.

Al fine di elaborare una mappa del rischio connesso alla presenza di UXO, estesa sia alle zone circostanti il centro storico – maggiormente colpite dai bombardamenti del 1944 – sia all'area interna alle mura medievali, si è quindi proceduto alla mappatura di musei, parchi e luoghi della cultura contemporanei.

In particolare, tra le aree del centro storico di Viterbo maggiormente interessate dai bombardamenti, come documentato dalle fotografie storiche, e tra quelle a più alto rischio di presenza di ordigni inesplosi, si segnalano: Valle Faul, situata nel quadrante sud-occidentale del centro storico, attualmente adibita a parco pubblico con un ampio parcheggio e circondata da beni di archeologia industriale (tra cui l'antico mattatoio, il vecchio gasometro, l'antico ospedale di S. Spirito in Faul e la chiesa di S. Croce). L'area comprende inoltre spazi destinati al gioco per bambini e arredi urbani per il passaggio e il riposo di cittadini e *city users* di ogni età, nonché una zona in cui il fiume Urcionio è stato interrato e dove, negli anni immediatamente successivi al 1945, furono depositate le macerie belliche, come documentato da Marsilia (2008, pp. 290-291).

Un'ulteriore ultima area di rilievo è il Parco di Prato Giardino, situato nel quadrante nord-occidentale, al di fuori delle mura medievali (Fig. 80).

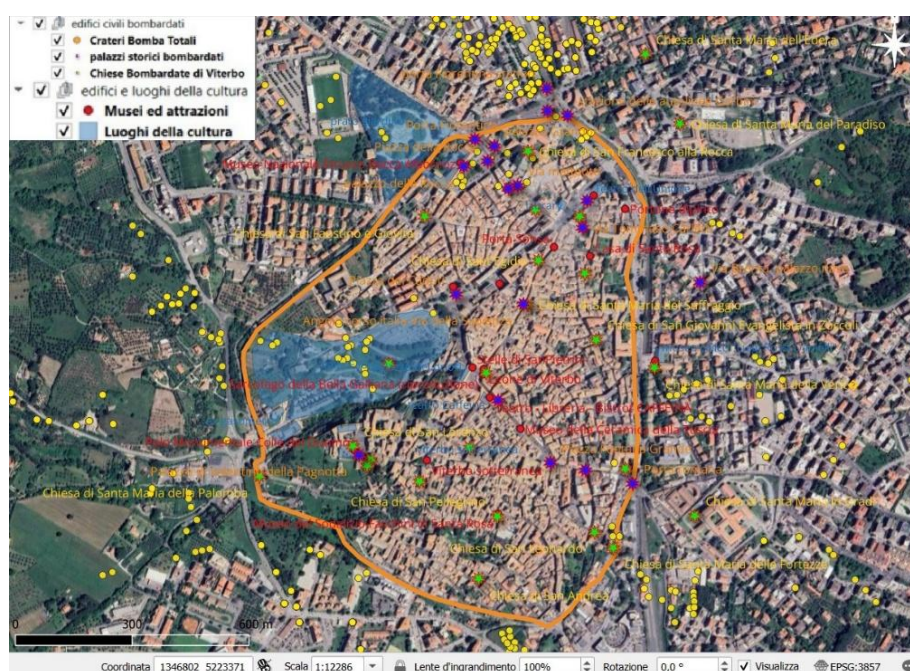


Figura 68 Mappa degli edifici bombardati e attuali luoghi della cultura e di svago a confronto con la mappatura dei crateri di bomba visibili sulle foto aeree storiche. Immagine autoprodotta in ambiente GIS.

L'ultimo intervento realizzato nell'ambito della mappatura GIS, volto alla valorizzazione del tema del conflitto bellico e alla progettazione di un itinerario interattivo a carattere informativo e, potenzialmente, turistico, ha riguardato la creazione di un layer vettoriale destinato alla visualizzazione di fotografie storiche scattate a livello del suolo, raffiguranti i danni provocati dalla guerra. A questo si è affiancata l'elaborazione di un livello vettoriale interattivo che consente la riproduzione di contenuti audio descrittivi relativi ai luoghi rappresentati nelle stesse immagini storiche. Il percorso si conclude idealmente con un ultimo punto interattivo dedicato a una mostra virtuale ospitata nel Metaverso (Tavola 6).

L'interazione con tali luoghi di interesse avviene direttamente dalla mappa grazie al plugin "*Open Action*": selezionando l'icona a forma di macchina fotografica, l'utente può accedere alle informazioni visive, mentre cliccando sull'icona di un megafono è possibile ascoltare le informazioni sonore. La funzionalità è resa possibile mediante la configurazione di un'azione che consente l'apertura di file esterni direttamente dalle impostazioni dei livelli contenenti le immagini e i file audio. I collegamenti a tali file esterni sono stati registrati in un campo specifico all'interno della tabella degli attributi.

In particolare, sono state privilegiate le aree e i monumenti per i quali era disponibile materiale fotografico storico scattato da terra⁴⁰², al fine di ottenere un riscontro più diretto e ravvicinato rispetto alle fotografie aeree storiche utilizzate per altre mappature. Ciò ha consentito di evidenziare le trasformazioni subite dal paesaggio urbano tra il periodo bellico e la situazione attuale.

L'operazione conferma il valore del GIS quale strumento di aggregazione di informazioni eterogenee, facilitando l'integrazione di dati provenienti da archivi e fonti differenti e offrendo una visione d'insieme coerente. Un ulteriore valore aggiunto del GIS risiede nella possibilità di georeferenziare con precisione le fotografie nel punto esatto in cui sono state originariamente scattate. Inoltre, per ogni immagine inserita, la tabella degli attributi associata riporta le seguenti informazioni: denominazione del luogo rappresentato, crediti relativi alla proprietà dell'immagine e collegamento web alla fonte archivistica digitale della fotografia (Fig. 81).

Lo strumento visivo si rivela particolarmente utile per effettuare un confronto immediato tra le condizioni attuali dei monumenti e il loro stato, nonché il livello di danneggiamento, risalente al periodo dei bombardamenti.

⁴⁰² Per le foto da terra del bombardamento della città di Viterbo, si vedano le seguenti fonti: Archivio digitale di Galeotti 2018 e il volume di Di Prospero 2012.

Gli elementi audio, invece, sono stati autoprodotti e associati ai diversi punti di interesse individuabili all'interno della mappa della città. Il risultato è una "voice map" o mappa vocale⁴⁰³, la quale è fruibile anche in assenza del segnale GPS.

Tali interventi sono finalizzati a rendere accessibili al pubblico le informazioni integrate nel sistema GIS, attraverso la realizzazione di un percorso tematico volto alla valorizzazione di nuovi itinerari e prospettive all'interno delle città oggetto di studio, come verrà illustrato più nel dettaglio nei paragrafi successivi (Fig. 82).

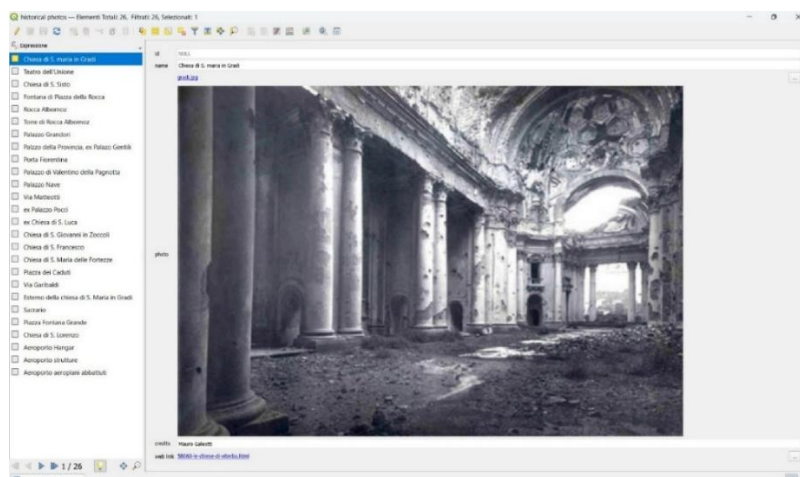


Figura 69 Interfaccia della Tabella attributi per il layer dedicato alla consultazione di foto storiche scattate da terra. Immagine autoprodotta in ambiente GIS



Figura 70 Mappa con livelli interattivi per la consultazione di foto storiche, audio descrittivi e mostra virtuale. Immagine autoprodotta in ambiente GIS

Il vissuto bellico della città di Viterbo è, dunque, il filo rosso che unisce in un unico canovaccio narrativo tutte le mete costituenti il percorso tracciato tra le vie della città (Fig. 83). Pertanto, attraverso i contenuti interattivi accessibili dalla mappa si intende ricostruire un preciso

⁴⁰³ Per un approfondimento sulla *Voice map* si veda: Jini *et al.* 2016.

spaccato storico e geografico, con particolare riferimento al contesto della Seconda guerra mondiale. La narrazione ha avvio dal coinvolgimento dell'Italia nel conflitto nel giugno del 1940 a fianco della Germania, e in opposizione a Francia e Regno Unito. In una fase iniziale, la città di Viterbo non fu direttamente interessata dalle operazioni militari, ad eccezione dei cittadini che, a seguito della leva obbligatoria o del richiamo alle armi, furono inviati al fronte, situato nei pressi del confine con la Francia⁴⁰⁴.

Tuttavia, come anticipato, la posizione strategica della città, crocevia di importanti collegamenti ferroviari con Roma, nonché la presenza di un piccolo aeroporto militare, gestito con la collaborazione della *Luftwaffe* tedesca⁴⁰⁵, resero Viterbo un obiettivo di primaria importanza durante il conflitto.

Il primo bombardamento si verificò il 29 luglio 1943, colpendo l'aeroporto e provocando numerose vittime. Gli attacchi si susseguirono fino al 9 giugno 1944, data in cui le truppe alleate fecero il loro ingresso in città. Nel corso di questo periodo, Viterbo divenne una delle città italiane maggiormente bersagliate dai bombardamenti. Il settore settentrionale della città fu attaccato per la prima volta il 17 gennaio 1944. Sebbene l'obiettivo principale fosse rappresentato dalle infrastrutture ferroviarie, la strategia dei bombardamenti a saturazione, caratterizzata dall'intensità e dalla quantità di ordigni sganciati piuttosto che dalla precisione, causò danni ingenti anche a edifici civili. La città subì devastazioni significative fino all'arrivo delle forze alleate, lasciando un'eredità di distruzioni e mutilazioni architettoniche, con la perdita irreparabile di numerosi monumenti e strutture di valore storico⁴⁰⁶.

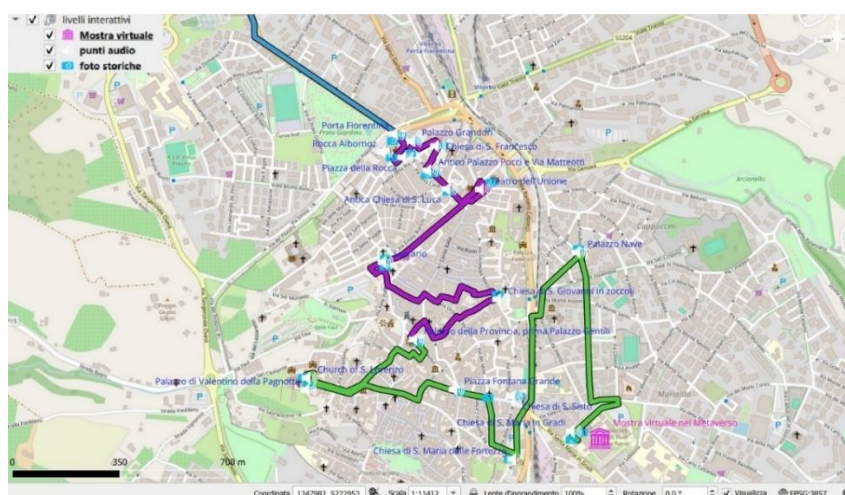


Figura 71 Mappa del percorso tracciato tra le vie della città e i punti di interesse individuati da foto storiche e audio descrittivi. Immagine autoprodotta in ambiente GIS

⁴⁰⁴ Di Prospero 2012, pp. 62 e 148

⁴⁰⁵ *Ibidem*, pp. 62 e 148

⁴⁰⁶ Scardozi 2003, pp. 55 e 528-529

Per quanto riguarda l'aeroporto militare di Viterbo, situato circa tre chilometri a nord-ovest dal centro cittadino, esistono numerose fotografie scattate dopo i bombardamenti del 1944. Tre immagini, selezionate dall'archivio digitale privato di Mauro Galeotti⁴⁰⁷, documentano lo stato della struttura in seguito agli attacchi. Le fotografie sono accompagnate da una registrazione audio (Tabella 4), che ripercorre la storia dell'aeroporto dalla sua inaugurazione, avvenuta nel 1937 e dedicata al tenente pilota Tommaso Fabbri (1908-1936), caduto in Etiopia e insignito della Medaglia di Bronzo al Valore Militare. Inoltre, viene descritta la sua collocazione su un'ampia area archeologica attraversata dall'antica Via Cassia, che rappresenta oggi una delle aree della città maggiormente esposte al rischio di ordigni inesplosi, a causa dei ripetuti bombardamenti subiti nel corso della Seconda Guerra Mondiale (Fig. 84-85).

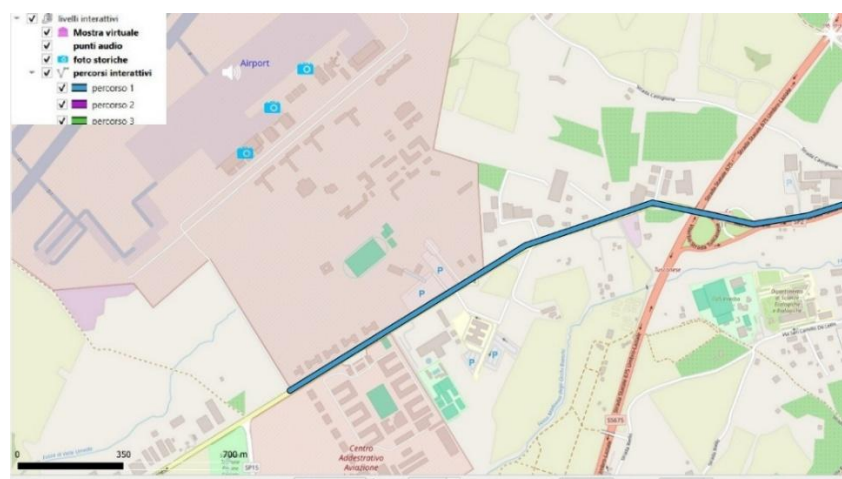


Figura 72 Mappa di dettaglio del percorso 1 (di colore blu) e dei punti interattivi (foto e audio) sull'aeroporto di Viterbo. Immagini autoprodotta in ambiente GIS



Figura 73 Foto storiche, consultabile da mappa, sull'aeroporto di Viterbo. Fonte: Galeotti 2018

⁴⁰⁷ Mauro Galeotti, ex giornalista e coordinatore delle attività culturali del Consorzio per la gestione delle biblioteche di Viterbo, ha offerto un contributo significativo alla ricerca attraverso la condivisione di materiale fotografico proveniente dal proprio archivio personale e un'attenta consulenza. A lui va un sincero e riconoscente ringraziamento per la cortese disponibilità e la generosa collaborazione.

Da qui il percorso individuato si divide in tre itinerari principali. Il primo itinerario, denominato “Percorso n. 1” che si sviluppa tra l’aeroporto e il Centro Città in direzione sud-est, conduce verso l’ingresso storico, conosciuto come Porta Fiorentina. L’accesso, situato all'interno della cinta muraria medievale, deve il proprio nome alla sua posizione geografica, trovandosi nella parte settentrionale della città in direzione di Firenze.

Nel corso del tempo, Porta Fiorentina ha subito diversi interventi di ristrutturazione, come illustrato nell’audio autoprodotta disponibile sulla mappa. Inoltre, esistono numerose fotografie storiche che documentano il suo stato immediatamente successivo ai bombardamenti avvenuti durante la Seconda Guerra Mondiale (Fig. 86 e 87).

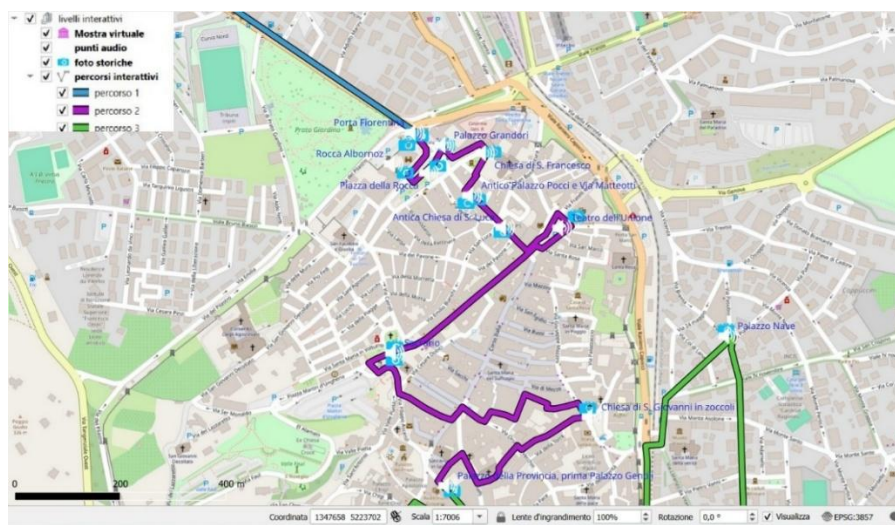


Figura 74 Mappa di dettaglio del percorso 2 (di colore viola) e dei punti interattivi (foto e audio). Immagini autoprodotta in ambiente GIS



Figura 75 Porta Fiorentina, immediatamente dopo i bombardamenti del 1944. Fonte: Galeotti 2018

Attraverso lo storico accesso, il percorso denominato “n. 2” procede entro il centro Storico di Viterbo, conducendo alla piazza omonima su cui si affaccia la medievale Rocca Alborno, insieme alla Fontana di Piazza della Rocca, al Palazzo Grandori e alla Chiesa di San Francesco. L’area rappresenta uno dei settori del centro storico maggiormente colpiti dai bombardamenti del 1944, come attestano numerose fotografie e come approfonditamente descritto nelle registrazioni audio.

In particolare, la Chiesa di San Francesco costituisce un caso emblematico: a seguito delle devastazioni belliche, il restauro dell’edificio ha comportato l’eliminazione degli elementi barocchi e il ripristino della sua originaria struttura romanica. Di conseguenza, l’aspetto attuale della chiesa risulta significativamente diverso e molto più antico rispetto a quello che aveva prima dei bombardamenti (Fig. 88).



Figura 76 Palazzo Grandori (A); Rocca Alborno (B ed E); Chiesa di San Francesco (C); Fontana di Piazza della Rocca (D). Fonte: Galeotti 2018

Il secondo itinerario prosegue lungo via Matteotti, conducendo verso i siti dove un tempo sorgevano il Palazzo Pucci e la Chiesa di San Luca, oggi non più esistenti. Analogamente alla vicina Piazza della Rocca, l’area subì ingenti danni a causa dei bombardamenti, che portarono alla completa distruzione di due importanti edifici storici.

Il Palazzo della famiglia Pucci, sotto il quale gli scavi archeologici hanno rilevato antiche stratigrafie di epoca medievale⁴⁰⁸, fu raso al suolo dai bombardamenti. Anche la Chiesa di San Luca, che dava il nome all’intero quartiere, fu completamente distrutta e non venne mai ricostruita; al suo posto sorge oggi un moderno edificio postbellico destinato ad attività commerciali (Fig. 89).

⁴⁰⁸ Romagnoli 2014, pp. 18-19



Figura 77 L'immagine a sinistra raffigura Via Matteotti; l'immagine al centro rappresenta Palazzo Poggi distrutto dai bombardamenti; a destra è visibile quel che rimaneva della Chiesa di San Luca. Fonte: Galeotti 2018

Il percorso giunge quindi in Piazza Verdi, dove si trova il Teatro dell'Unione, il principale teatro della città di Viterbo, il quale subì ingenti danni a seguito dei bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale.

Una fotografia storica della struttura è conservata nell'archivio digitale privato di Mauro Galeotti, mentre la complessa vicenda delle ripetute aperture e chiusure dell'edificio è documentata nel file audio annesso alla mappa (Fig. 90).



Figura 78 Teatro dell'Unione in Piazza verdi, Viterbo. Fonte: Galeotti 2018

Proseguendo lungo il percorso, si giunge a Piazza dei Caduti, conosciuta anche con il nome di Piazza del Sacrario. L'area riveste un particolare interesse storico e urbanistico, poiché il suo assetto originario subì una radicale trasformazione poco prima dello scoppio della Seconda Guerra Mondiale.

Uno degli interventi più significativi fu l'interramento del fiume Urcionio, che un tempo scorreva nel punto in cui oggi si trova Viale Marconi, modificando profondamente la conformazione del quartiere. Durante il conflitto, la piazza assunse un ruolo cruciale per la sicurezza della popolazione civile: proprio qui furono, infatti, aperti diversi ingressi che conducevano all'unico grande rifugio antiaereo pubblico della città, un elemento fondamentale per la protezione degli abitanti dai bombardamenti che colpirono Viterbo nel corso della guerra (Fig. 91).



Figura 79 Piazza dei Caduti o "Sacrario", Viterbo dopo i bombardamenti. Fonte: Galeotti 2018

Il percorso prosegue, inoltrandosi nelle strade più strette del centro storico, conducendo verso due importanti edifici che testimoniano le devastazioni subite dalla città e i successivi interventi di ricostruzione.

Il primo è la Chiesa di San Giovanni in Zoccoli che, a seguito dei gravi danni riportati durante il conflitto, è stata in gran parte ricostruita, pur mantenendo il legame con la sua originaria struttura. Proseguendo lungo il tragitto, si giunge poi in via Cavour, dove sorge il Palazzo della Provincia, noto anche come Palazzo Gentili. Tale edificio, anch'esso fortemente colpito dai bombardamenti, è stato interamente ricostruito nel dopoguerra, assumendo una nuova configurazione architettonica che ne ha ridefinito l'aspetto rispetto alla struttura prebellica (Fig. 92).

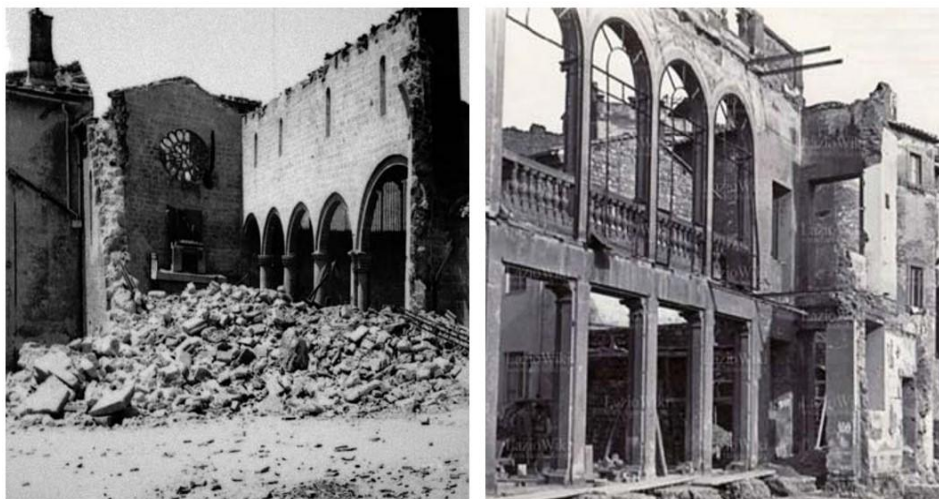


Figura 80 A sinistra la Chiesa di San Giovanni in Zoccoli e a destra Palazzo Gentili. Fonte: Galeotti 2018

Il terzo itinerario, denominato “Percorso n. 3”, conduce al centro Storico Medievale di Viterbo e si sviluppa attraverso i quartieri più antichi della città, guidando il visitatore alla scoperta di alcuni tra i più significativi edifici storici.

L’itinerario comprende il Palazzo di Valentino della Pagnotta e il Duomo di Viterbo, conosciuto come Chiesa di San Lorenzo. Entrambe le strutture, come attestato dalle fotografie d’epoca e dalle descrizioni audio disponibili sulla mappa, furono gravemente danneggiate dai bombardamenti. A seguito della distruzione, i successivi interventi di ricostruzione vennero realizzati con un attento approccio filologico, volto a recuperare e preservare l’identità storica degli edifici. Tale operazione restituì loro un aspetto ancora più antico rispetto a quello che avevano al momento della distruzione bellica, conferendo così una maggiore aderenza alle caratteristiche architettoniche originarie (Fig. 93 e 94).

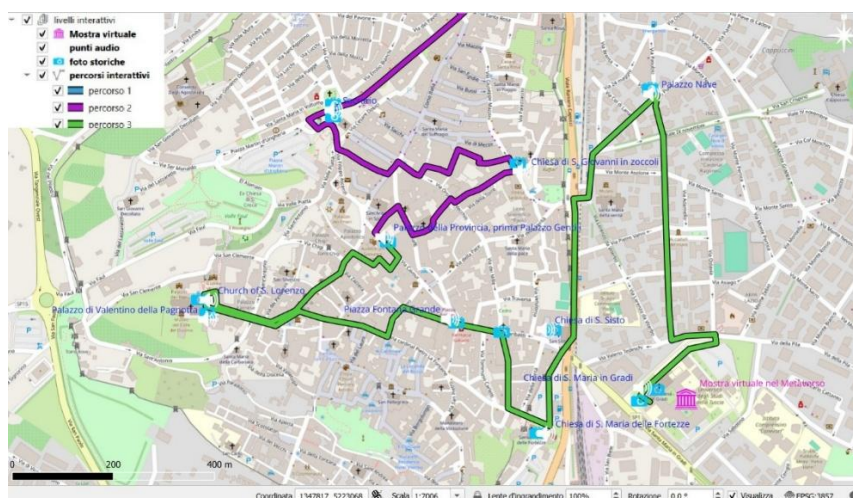


Figura 81 Mappa di dettaglio del percorso 3 (di colore verde) e dei punti interattivi (foto e audio). Immagini autoprodotta in ambiente GIS

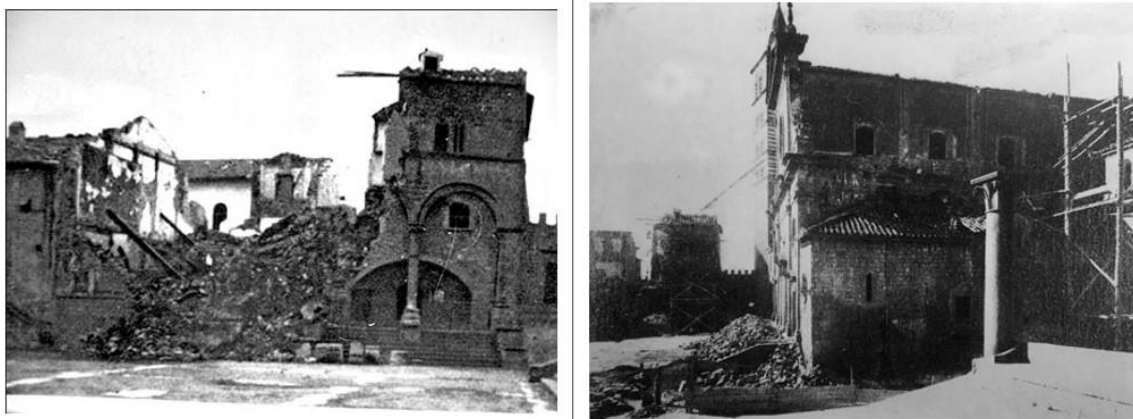


Figura 82 A sinistra il Palazzo di Valentino della Pagnotta dopo i bombardamenti; a destra il profilo della Chiesa di San Lorenzo, la cattedrale di Viterbo subito dopo i bombardamenti. Fonte: Galeotti 2018

Dal Duomo, il percorso compie un breve tragitto a ritroso, attraversando Piazza Fontana Grande e proseguendo lungo Via Garibaldi. Si tratta di un quartiere della città che, sebbene caratterizzato da edifici di epoca relativamente più recente rispetto ad altri del centro storico di Viterbo, subì comunque ingenti danni a causa dei bombardamenti.

Le fotografie storiche disponibili sulla mappa documentano in modo evidente l'entità delle distruzioni che interessarono gli edifici situati lungo il tratto del percorso, mettendo in luce il profondo impatto che il conflitto ebbe anche sulle diverse strutture architettoniche (Fig. 95).



Figura 83 A sinistra Piazza Fontana Grande; a destra Via Garibaldi distrutta dai bombardamenti del 1944. Fonte: Galeotti 2018

Il percorso si conclude uscendo dalle mura medievali di Viterbo per raggiungere tre importanti luoghi di culto e un edificio civile, molto significativi per la città: la Chiesa di Santa Maria delle Fortezze, la Chiesa di San Sisto, Palazzo Nave e la Chiesa di Santa Maria in Gradi. Tutti luoghi che rappresentano simbolicamente l'eredità di distruzione lasciata dalla Seconda Guerra Mondiale sulla città.

La Chiesa di Santa Maria delle Fortezze è un caso emblematico, essendo stata completamente distrutta dai bombardamenti e mai ricostruita, oggi conserva solo la parte absidale, situata a ridosso delle antiche mura cittadine. La Chiesa di San Sisto, di origine medievale, subì gravi danni che portarono alla riduzione delle sue navate da quattro a tre, alterandone significativamente la configurazione architettonica. Palazzo Nave, invece, rappresenta un esempio di architettura moderna: un edificio residenziale, la cui costruzione ebbe inizio prima della Seconda Guerra Mondiale ad opera della ditta Mancinelli di Viterbo, una delle imprese edili più attive della città, venne parzialmente distrutto da un bombardamento aereo il 26 maggio 1944. La successiva ricostruzione, eseguita con grande attenzione e fedeltà al progetto originario, fu probabilmente realizzata dagli stessi operai che vi avevano lavorato prima della guerra. La storia della costruzione, della distruzione e della successiva ricostruzione dell'edificio, così come i successivi ampliamenti, sono approfonditi nel file audio disponibile sulla mappa.

Infine, la Chiesa di Santa Maria in Gradi, antica cattedrale e complesso conventuale, subì gravi danni durante la guerra. In epoca successiva, l'edificio venne destinato a nuovi usi: dapprima adibito a istituto penitenziario, fu in seguito inglobato nel complesso architettonico dell'attuale Università degli Studi della Tuscia (UNITUS). Essa costituisce la tappa conclusiva del percorso e si caratterizza per un ulteriore livello di interattività: attraverso un collegamento esterno alla piattaforma GIS, è infatti possibile accedere a una mostra virtuale ospitata nel Metaverso. All'interno di tale esposizione sono raccolti non solo i materiali fotografici e le informazioni descrittive precedentemente menzionati, ma anche modelli tridimensionali, orto-foto-mosaici e ambienti interattivi, offrendo all'utente un'esperienza immersiva in una dimensione virtuale, che sarà approfondita nei paragrafi successivi (Fig. 96).

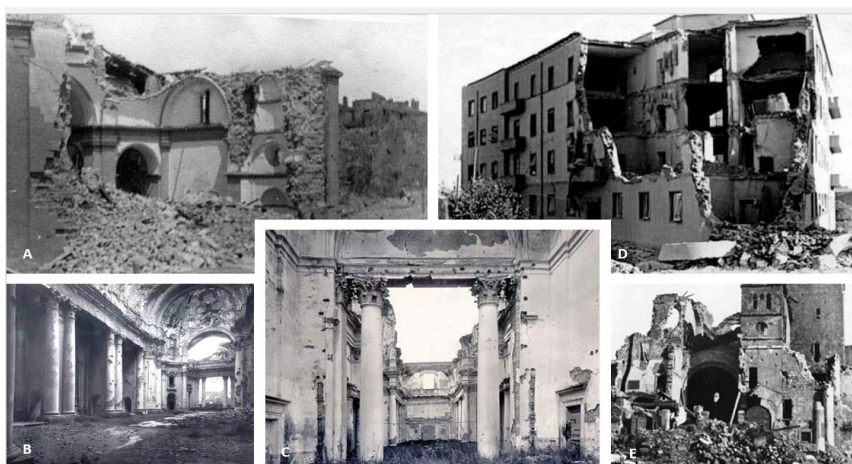


Figura 84 Chiesa di Santa Maria delle Fortezze (A); Chiesa di Santa Maria in Gradi (B e C); Palazzo Nave (D); Chiesa di San Sisto (E) dopo i bombardamenti. Fonte: Galeotti 2018

Per la progettazione della struttura tecnica e metodologica del Web-GIS, sono stati utilizzati come riferimento altri sistemi analoghi dedicati alla valorizzazione dei beni culturali, o piattaforme che impiegano fonti documentarie legate al patrimonio culturale stesso, come le fotografie storiche, che contengono informazioni spazio-temporali e vari tipi di metadati associati.

Tra gli esempi concreti di Web-GIS relativi ai beni culturali, che si allineano con le finalità del lavoro di tesi, vi sono il Web-GIS dei Beni Culturali dell'Emilia-Romagna (Italia), denominato Tourer.it. Il sistema comprende un ampio geodatabase di dati provenienti dal Servizio Cartografico della Regione Emilia-Romagna (Fig. 97), riguardanti il catasto, gli edifici storici e i siti monumentali, ed è stato sviluppato in collaborazione con le Soprintendenze competenti⁴⁰⁹. Un altro esempio è il Sistema Informativo Territoriale (SIT) dedicato all'Architettura dei Beni Culturali dal XIII al XVIII secolo e al Patrimonio Culturale della Sardegna (Italia), progettato per favorire la conoscenza, la conservazione e la promozione di tale contesto⁴¹⁰ (Fig. 98).

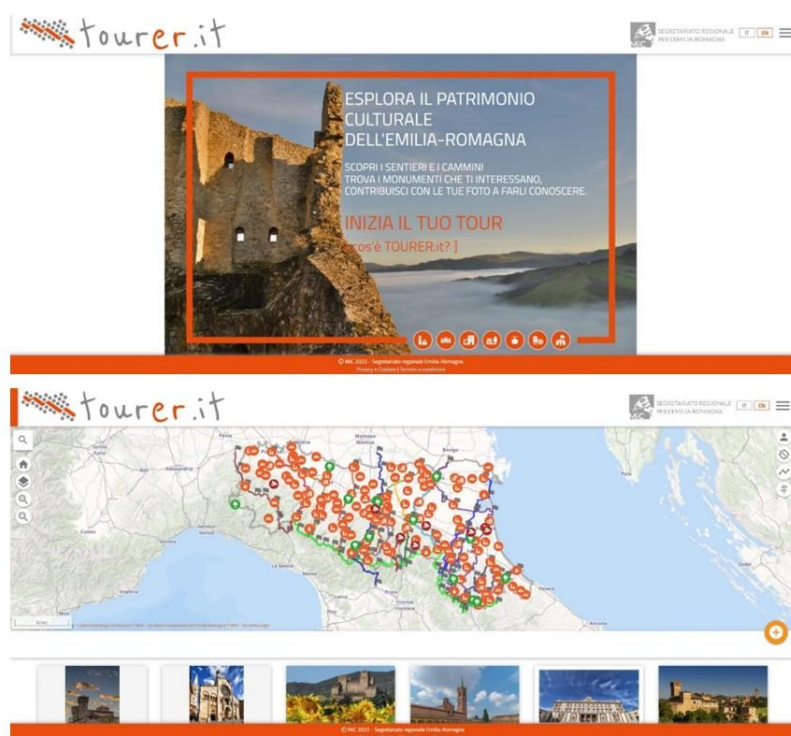


Figura 85 Web-GIS del Patrimonio culturale della regione Emilia-Romagna, Tourer.it, <https://www.tourer.it/> (ultima consultazione 28/04/2025)

⁴⁰⁹ Magrini 2018, pp. 164-165

⁴¹⁰ Vacca *et al.* 2018, p. 1

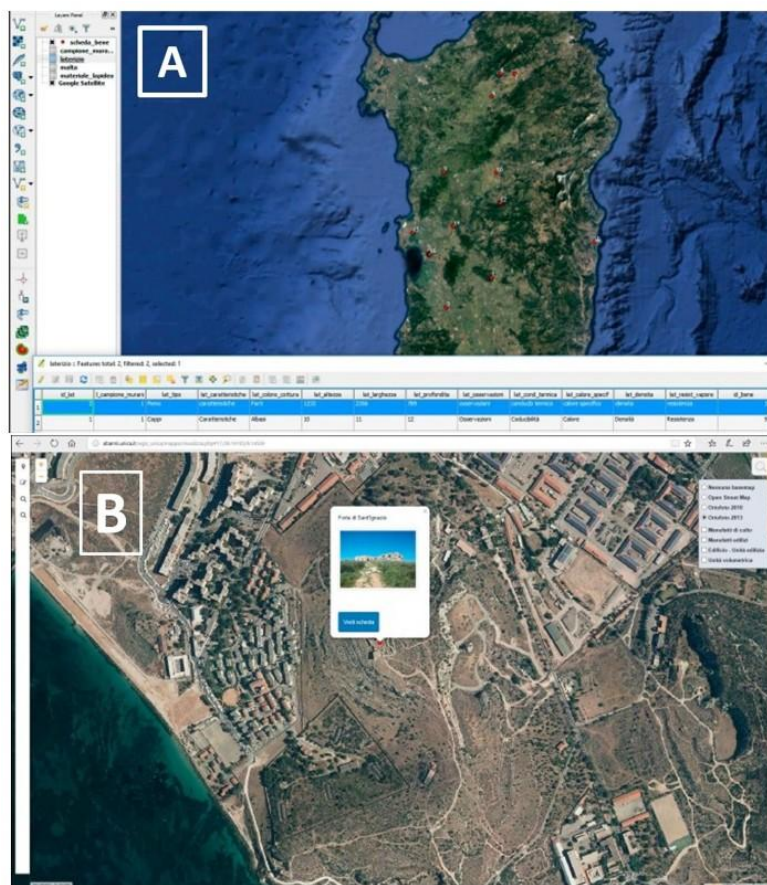


Figura 86 (A) Quantum GIS® (QGIS®) Progetto della Sardegna; (B) Il Web-GIS e il Layer Control per la mappa di base del Forte S. Ignazio. Fonte: Vacca et al. 2018, pp. 5 e 12

Numerosi altri progetti, tra cui alcuni di origine iberica, conosciuti durante il periodo di tirocinio all'estero, hanno rappresentato una fonte di ispirazione per la ricerca di dottorato. In particolare, merita di essere citato il progetto MIB (*Moneda Ibérica*, N. D.), un vasto database di monete antiche provenienti dalla Penisola Iberica, che ha visto la partecipazione della *Facultat de Geografia i Història* dell'*Universitat de Valencia* e del *Museu de Prehistòria de Valencia*. Un elemento distintivo del progetto è il Web-GIS, una piattaforma web che offre una modalità di visualizzazione interattiva dei punti geolocalizzati, simile a quella adottata ai fini della tesi. I punti di interesse, infatti, sono visualizzati sulla mappa attraverso icone numeriche raggruppate in *cluster*, che si trasformano in simboli di differente forma man mano che si effettua uno zoom sull'area specifica di interesse (Fig. 99).

In aggiunta, il progetto promosso dalla *Delegación de Memoria Histórica de la Diputación de Valencia* (N. D.) merita una menzione particolare per l'iniziativa volta a recuperare la memoria storica, come nel caso delle fotografie aeree storiche. Il progetto si prefigge di raccogliere documenti d'epoca e testimonianze orali, sotto forma di videointerviste, per ricostruire in maniera oggettiva gli eventi del passato. L'obiettivo finale di tale iniziativa è in linea con quello perseguito dal lavoro di

tesi in esame: restituire una ricostruzione accurata del passato bellico, attraverso documenti storici e testimonianze dirette (Fig. 100).

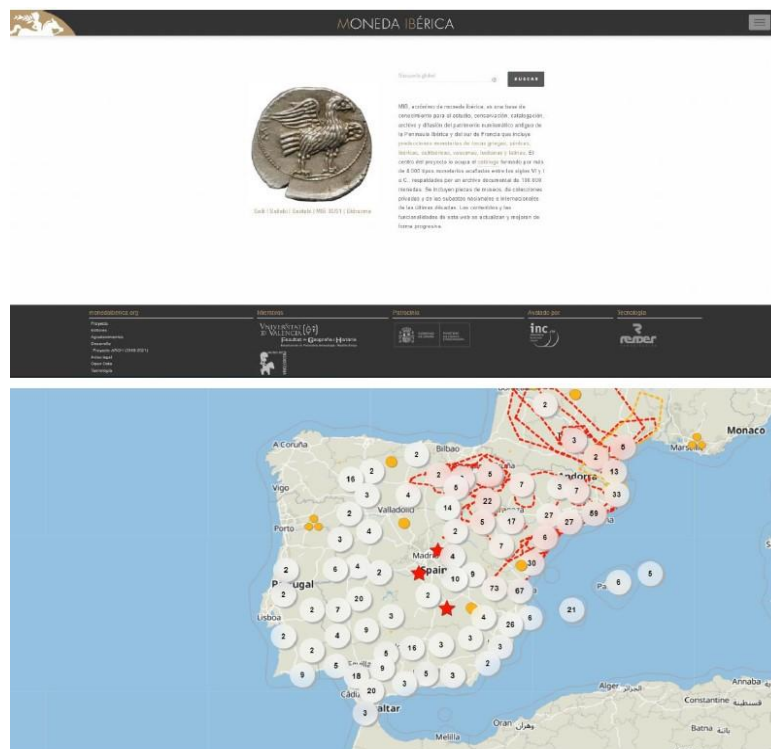


Figura 87 Homepage e mappa interattiva del portale MIB, Moneda Ibérica, <https://monedaiberica.org/v2/> (ultima consultazione 28/04/2025)

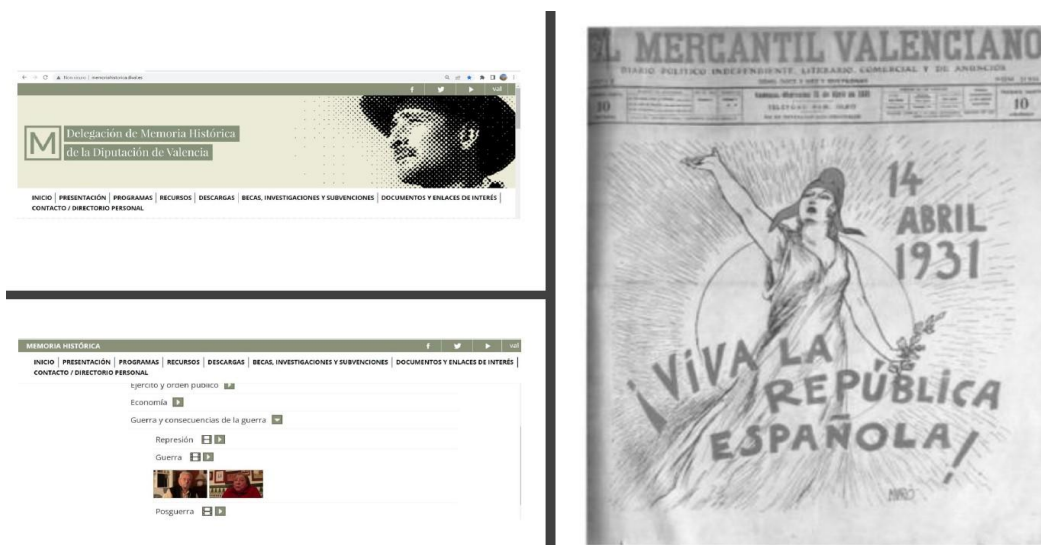


Figura 88 Homepage e database delle video interviste e dei documenti storici della Delegación de Memoria Histórica de la Diputación de Valencia, <http://memoriahistorica.dival.es/> (ultima consultazione 28/04/2025)

Tuttavia, è importante sottolineare che anche i Web-GIS meno avanzati sono stati raramente sviluppati utilizzando risorse *open-source*, che siano facilmente implementabili nel tempo e integrabili con informazioni web disponibili direttamente attraverso una mappa interattiva. Pertanto, nel lavoro in oggetto, grazie alla struttura architettonica del Web-GIS, gli utenti avranno la possibilità

non solo di visualizzare i percorsi, ma anche di interagire con essi, cliccando sui vari punti di interesse per ottenere informazioni aggiuntive. Tali informazioni non si limitano a immagini e contenuti audio, ma comprendono anche link esterni alla mostra virtuale nel Metaverso e pagine web che possono essere esplorate per offrire descrizioni più dettagliate o rimandare alla fonte originale, a seconda del punto di interesse e dell'oggetto selezionato sulla mappa.

Per tale motivo, al fine di consentire l'uso di una mappa digitale interattiva per la consultazione di una vasta e diversificata libreria di metadati, è stata sviluppata una piattaforma Web-GIS. Essa permette agli utenti di visualizzare l'intero progetto GIS, che è stato reso disponibile in modalità web, comprendendo anche i livelli di ingombro delle fotografie aeree, con relativa interazione dalla mappa per la consultazione delle schede descrittive associate a ciascuna foto georeferenziata. Sono stati integrati, inoltre, gli orto-foto-mosaici georeferenziati, la mappatura dei crateri di bomba, la *heatmap* del rischio di rinvenimento di ordigni inesplosi, i luoghi della cultura e i beni culturali di Viterbo bombardati, danneggiati o prossimi ad aree a rischio di rinvenimento di UXO. Completano l'offerta informativa i percorsi interattivi arricchiti da audio guide, fotografie storiche e un punto interattivo che riconduce alla sopra menzionata mostra virtuale nel Metaverso, permettendo agli utenti di esplorare in modo immersivo il patrimonio storico e culturale del territorio.

Per quanto concerne gli aspetti tecnici legati all'implementazione dell'architettura Web-GIS, all'interno del software QGIS[®] è stato installato il plugin denominato "QGIS2Web", strumento particolarmente utile per la generazione di mappe web, grazie a un'interfaccia grafica intuitiva e di facile utilizzo.

Il plugin QGIS2Web consente di creare una mappa web a partire da un progetto precedentemente sviluppato all'interno di QGIS[®] e consente all'utente di scegliere tra diverse librerie per la visualizzazione delle mappe, tra cui OpenLayers, Leaflet e Mapbox GL JS. Il funzionamento del plugin consiste nella riproduzione fedele del progetto QGIS[®], mantenendo intatti i layer, gli stili e le relative estensioni, traducendoli automaticamente in codice HTML. Nel caso specifico, è stata selezionata la libreria JavaScript *open-source* Leaflet, come sistema di creazione e visualizzazione della mappa web⁴¹¹.

Successivamente, sono stati selezionati i layer ritenuti di maggiore rilevanza per il progetto e, all'interno della sezione "Modulo attributi", accessibile dalle proprietà dei singoli layer, si è provveduto a ottimizzare la visualizzazione dei dati, nascondendo i campi della tabella degli attributi ritenuti non rilevanti per l'esperienza dell'utente all'interno del Web-GIS. L'operazione è stata realizzata mediante l'utilizzo dell'opzione *Widget Type "hidden"*.

⁴¹¹ Lo studio e la scelta degli strumenti tecnici per lo sviluppo di questi aspetti prende spunto dalla pubblicazione di Duarte *et al.* 2021, pp. 12-13

Per quanto riguarda la gestione e la visualizzazione delle immagini all'interno del Web-GIS, è stata adottata l'impostazione "Attachment", disponibile nel *Widget Type* delle proprietà del modulo attributi del layer denominato "foto". La configurazione permette di visualizzare immagini storiche in un pop-up interattivo, il quale viene attivato automaticamente quando l'utente clicca su un punto di interesse all'interno della mappa (Fig. 101).



Figura 89 Esempio di visuale del Web-GIS con pop-up attivo sull'icona della macchina fotografica per la consultazione di immagini storiche relative a Santa Maria delle fortezze (VT). Immagine autoprodotta del Web-GIS

Per lo sviluppo del livello interattivo dedicato all'ascolto delle audioguide, il primo passaggio è consistito nella creazione dei file audio nel formato MP3. La produzione delle tracce audio è avvenuta mediante l'utilizzo del sintetizzatore vocale AI Narakeet®, nel quale sono stati inseriti testi descrittivi sintetici, elaborati per ciascun punto della mappa (Tabella 4).

La scelta di impiegare un sintetizzatore vocale AI è stata dettata dalla necessità di garantire una pronuncia chiara e neutrale, evitando eventuali fraintendimenti dovuti a inflessioni dialettali o accenti regionali. A tale scopo, si è optato per la registrazione degli audio in italiano e inglese britannico, selezionando una voce femminile.

Una volta completata la produzione delle tracce, i file audio sono stati archiviati in una cartella dedicata su Microsoft OneDrive®, al fine di ottenere un URL univoco per ciascun file. I collegamenti sono stati successivamente inseriti nella tabella degli attributi, in corrispondenza dei punti relativi al layer audio della città.

Analogamente, un pop-up interattivo sul punto, collocato presso il complesso di Santa Maria in Gradi (VT) e definita da un'icona tipica per l'identificazione delle strutture museali, dà accesso a un link diretto alla piattaforma Spatial® che ospita la mostra virtuale dedicata alla città di Viterbo

durante la Seconda guerra mondiale (Fig. 102), di cui si parlerà approfonditamente nei successivi paragrafi.

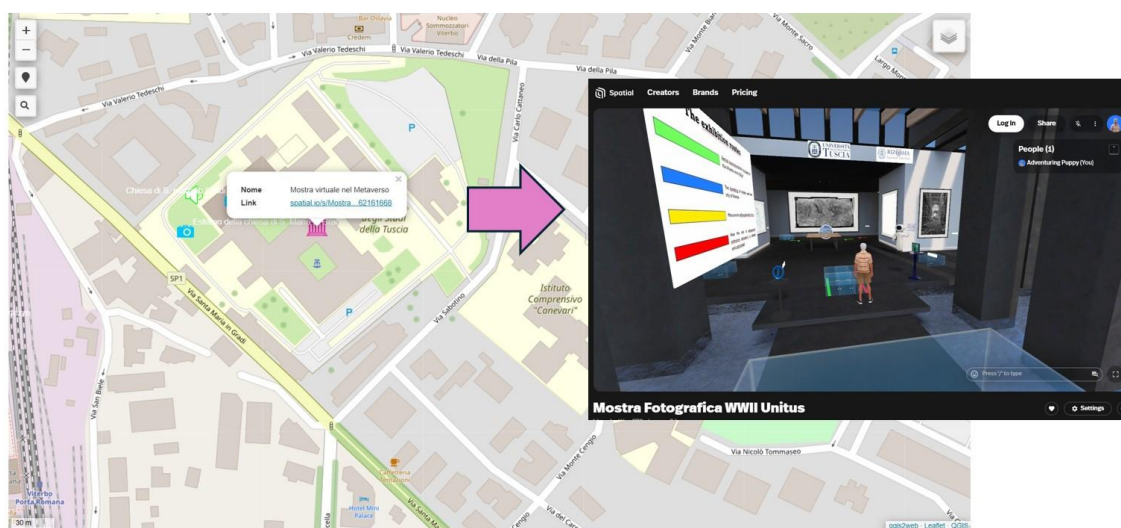


Figura 90 Punto interattivo per la consultazione della mostra virtuale nel Metaverso. Immagine autoprodotta del Web-GIS

Successivamente, nelle impostazioni del plugin QGIS2Web, è stato configurato il layout grafico del Web-GIS, ossia la schermata di visualizzazione finale. L'interfaccia del plugin è suddivisa in diverse categorie di configurazione:

- "Livelli e gruppi", che consente di gestire i livelli attraverso tre opzioni principali: "visibile", per impostare la visibilità del layer sulla mappa; "pop-up", per abilitare l'apertura di finestre interattive sui layer selezionati; e "campi pop-up", che permette di visualizzare specifici dati della tabella degli attributi all'interno del pop-up.
- Inoltre, nei casi in cui più simboli risultino posizionati a breve distanza sulla mappa, è stata attivata la funzione "*cluster*", che consente di raggruppare tali elementi per migliorare la leggibilità della visualizzazione.

Nella sezione dedicata alle impostazioni di "Aspetto", invece, sono state selezionate le seguenti opzioni:

- Attivazione della funzione "*Geolocate User*", che consente all'utente di rilevare la propria posizione sulla mappa;
- Introduzione della funzionalità "*Add address Search*", che permette di cercare una località specifica all'interno della mappa.

Per la modalità di visualizzazione, all'interno della sezione "*template*", è stata selezionata l'opzione "*full-screen*", in modo da ottimizzare l'esperienza di navigazione anche su dispositivi

mobili. Per garantire una chiara leggibilità dei *widget*, è stato inoltre impostato uno sfondo bianco, con icone colorate di nero per migliorare il contrasto.

Per quanto riguarda la cartografia di base, è stata offerta all'utente la possibilità di scegliere tra due differenti mappe di riferimento: OpenStreetMap® e Google Satellite Views®. Tutti i livelli e le opzioni di visualizzazione del Web-GIS sono gestibili attraverso il menu *widget* situato nella parte superiore destra e sinistra della schermata.

È seguita l'esportazione della mappa interattiva su un sito⁴¹². Ciò ha permesso di ottenere uno spazio di archiviazione online, all'interno del quale caricare i file esportati dal plugin QGIS2Web, utilizzando il protocollo FTP (*File Transfer Protocol*).

Durante l'esportazione, il plugin genera una serie di cartelle contenenti diversi file necessari al corretto funzionamento del Web-GIS, tra cui:

- I fogli di stile CSS (*Cascading Style Sheets*), responsabili della formattazione degli elementi HTML;
- Le impostazioni dei *widget* e delle basi cartografiche, in relazione alla libreria Leaflet in JavaScript;
- I file JavaScript contenenti le informazioni relative agli URL delle immagini e dei collegamenti nei pop-up;
- Le immagini rinominate con il loro URL originale, così da identificare la loro posizione all'interno del sistema di archiviazione;
- Le icone visibili sulla mappa;
- Il font utilizzato per la visualizzazione delle etichette sulla mappa;
- Il file *index.html*, che costituisce il punto di accesso principale al Web-GIS esportato.

L'hosting del Web-GIS è stato gestito attraverso CyberDuck®, un software di controllo *open-source* che consente di amministrare lo spazio server fornito dal provider. Esso consente di organizzare i file in cartelle pubbliche e private, identificando le diverse componenti del sito web. Il caricamento del Web-GIS è stato eseguito mediante esportazione FTP dal plugin QGIS2Web verso la cartella di destinazione finale, che è stata resa pubblica tramite un URL dedicato.

Il CMS (*Content Management System*) WordPress® è stato utilizzato per la creazione e gestione dell'interfaccia grafica, delle impostazioni e dei temi dell'intero sito web e conseguentemente anche del Web-GIS. Questo strumento ha permesso di creare nuove pagine, modificare quelle esistenti e personalizzarne l'aspetto in base alle esigenze del progetto.

⁴¹² Si tratta della sezione "Progetti" del sito dello spin-off universitario Rizoma S.r.l. L'hosting del Web-GIS su questo sito è stato autorizzato, esclusivamente a fini di sperimentazione, dalla Prof.ssa Carbone. Attualmente, i dati risultano oscurati e l'accesso è riservato.

L'interfaccia finale dell'architettura web è strutturata in tre sezioni principali, come illustrato nella Figura 103.

Sul lato sinistro dello schermo è presente una barra laterale contenente i comandi di navigazione della mappa, strumenti che consentono all'utente di modificare la scala di visualizzazione mediante le funzioni di ingrandimento (zoom in) e riduzione (zoom out), di attivare la geolocalizzazione per individuare la propria posizione e, attraverso un'apposita casella di ricerca, di interrogare luoghi e strade specifiche, comprese quelle esterne al percorso predefinito.

Nella sezione centrale, si trova il visualizzatore di mappe, che integra indicatori numerici e grafici per evidenziare i siti del patrimonio culturale in base al tema principale del percorso. Ogni sito di interesse è accompagnato da risorse multimediali, tra cui fotografie storiche e file audio, accessibili direttamente dalla mappa con un semplice clic. Inoltre, per ciascun punto interattivo sono disponibili collegamenti URL diretti alle fonti consultate, consentendo agli utenti di approfondire le informazioni attraverso risorse web esterne⁴¹³.

I punti interattivi sono rappresentati da marcatori numerici quando la scala di visualizzazione è ampia e i vari elementi risultano sovrapposti. Tuttavia, se l'utente ingrandisce la mappa, i marcatori vengono sostituiti da icone specifiche, come l'icona di una macchina fotografica per i punti che contengono immagini storiche e l'icona di un megafono per quelli che includono file audio.

Infine, sul lato destro dell'interfaccia è collocato un menu dei livelli, che permette di gestire la visibilità degli elementi cartografici presenti sulla mappa. Gli utenti possono attivare (accendere) o disattivare (spegnere) i singoli livelli in base alle proprie preferenze o alle specifiche esigenze di utilizzo della mappa interattiva (Fig. 103).

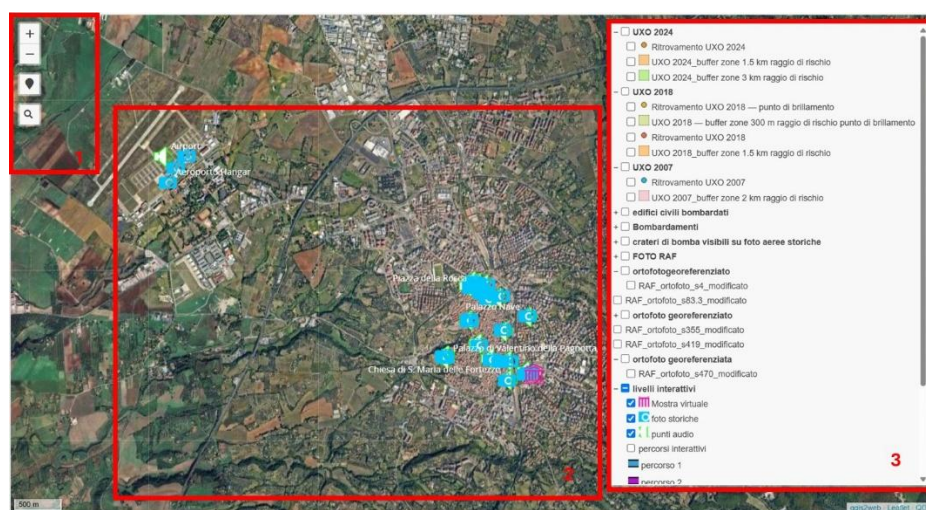


Figura 103 Tre sezioni della interfaccia finale della mappa interattiva. Sezione 1: zoom in e out, tasto di geolocalizzazione e ricerca indirizzi. Sezione 2: Visualizzatore di mappa; Sezione 3: menu dei layers. Immagine autoprodotta in ambiente Web-GIS

⁴¹³ Nishanbaev et al. 2021, p. 3

Al termine del processo progettuale, è stato realizzato un diagramma di flusso dedicato (Fig. 104), che descrive in modo sistematico le fasi necessarie alla creazione del Web-GIS finale.

Il procedimento inizia con l'importazione e l'elaborazione dei dati raster e vettoriali all'interno di un software GIS, per poi proseguire con l'esportazione del progetto tramite il plugin QGIS2Web e la libreria Leaflet, che consentono la conversione dei dati cartografici per la pubblicazione web, in linguaggi di *mark-up* HTML, CSS, e di programmazione Javascript.

I file generati sono stati quindi caricati su un servizio di *hosting* privato, che si avvale delle infrastrutture di Aruba®. Il servizio di *hosting*, gestito tramite CyberDuck®, permette l'amministrazione dello spazio server e l'organizzazione delle *directory* contenenti il Web-GIS.

Nell'ambito del server relativo al sito, è stata creata una nuova *directory* all'interno della struttura principale di WordPress®, utilizzata per ospitare il progetto: WordPress® interpreta infatti ogni nuova cartella come una pagina web autonoma. Si è avviato, quindi, il caricamento dei file tramite il protocollo *File Transfer Protocol* (FTP), sopra menzionato. Da ultimo, si è proceduto alla personalizzazione grafica e strutturale della piattaforma sempre tramite WordPress® per garantire una navigazione chiara e intuitiva.

Grazie a tutto il processo, il Web-GIS è oggi pienamente operativo e accessibile online, seppure in forma ristretta e riservata, offrendo un'esperienza d'uso funzionale e interattiva.

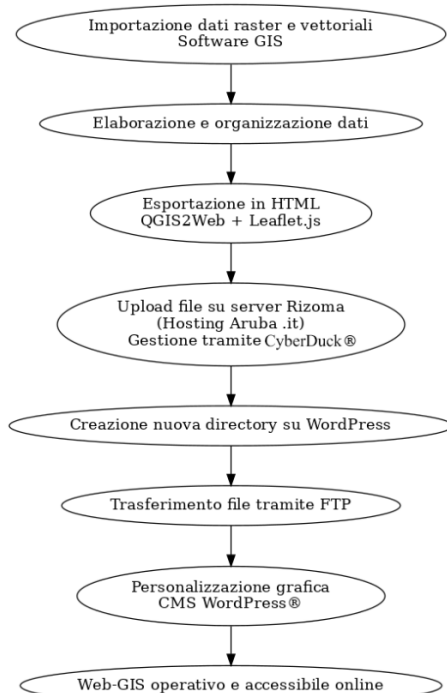


Figura 10491 Diagramma di flusso del lavoro svolto per la realizzazione del Web-GIS a partire da un progetto GIS. Immagine autoprodotta

4.4. Gamification urbana, tra Metaverso, applicazioni di gioco e simulazioni

Attualmente, i sistemi di georeferenziazione rappresentano strumenti fondamentali per l'attivazione di un sapere contestualizzato, generato a partire dall'esigenza di accedere a informazioni precise, situate all'interno di uno specifico spazio fisico o digitale. Queste tecnologie, infatti, consentono agli individui di interagire in maniera selettiva con l'enorme quantità di dati disponibili, favorendo così un accesso mirato alla conoscenza e contribuendo a contrastare il rischio di sovraccarico informativo (*information overload*).

Per rendere tale conoscenza effettivamente utilizzabile e funzionale ai propri scopi, si ha la possibilità di applicare software specifici, metodologie di approccio differenti e una pluralità di filtri. Tutti strumenti che permettono di selezionare e isolare specifiche porzioni di sapere in relazione al contesto circostante, rielaborandole e adattandole in funzione delle proprie esigenze individuali, dei gusti personali e delle attitudini cognitive o emotive.

Nel quadro considerato, l'esperienza dell'utente (*user experience*) e le sue possibili declinazioni in forma narrativa assumono un ruolo centrale nei processi di innovazione tecnologica. Le tecnologie digitali, infatti, non si limitano a trasmettere informazioni, ma si pongono come strumenti in grado di valorizzare le esperienze soggettive, integrando dimensioni informative, educative e ludiche. Esse offrono, così, un insieme articolato di strumenti che permettono agli individui di riappropriarsi consapevolmente di spazi e luoghi specifici dell'ambiente fisico, come ad esempio i luoghi legati alla memoria audiovisiva o quelli che appartengono all'immaginario letterario, restituendo loro significato attraverso una fruizione personalizzata e coinvolgente⁴¹⁴.

La gamification, per sua natura, tende a superare i propri limiti originari, estendendosi oltre il gioco in senso stretto. Da un lato, si intreccia con il mondo audiovisivo attraverso tecnologie come il 3D, la *Computer Generated Imagery* (CGI), la creazione digitale di attori e scenari, la trasposizione cinematografica dei videogiochi e i film interattivi. Dall'altro, ridefinisce il videogioco stesso, spostandolo verso forme semi-ludiche, come nei giochi geolocalizzati, nei *social games*, nella *game art*, nei *serious games* e in alcune evoluzioni del genere. Il fatto che i media si presentino spesso in forme immateriali non ne riduce l'influenza sulla nostra vita quotidiana. "Realtà" e "verità", infatti, dipendono più dall'effetto che producono su di noi che dalla loro materialità. È in questa direzione che agiscono la mediatizzazione e la ludicizzazione.

⁴¹⁴ Innocenti e Pescatore 2015, p. 134

La gamification contemporanea, veicolata dai media, si muove dunque verso un ibrido tra gioco e serietà: un'esperienza giocosa, attivabile in contesti anche inaspettati, che evidenzia il carattere dinamico e aperto dell'atto ludico⁴¹⁵.

È proprio nell'ambito descritto che si colloca la progettazione di esperienze ludiche a carattere formativo e informativo, incentrate sul tema della Seconda Guerra Mondiale e ambientate nella città di Viterbo. L'obiettivo è quello di valorizzare la memoria storica attraverso linguaggi e strumenti contemporanei, capaci di coinvolgere attivamente cittadini, studenti e visitatori. La progettazione prevede l'integrazione di diverse piattaforme, combinando ambienti di gioco fisico in contesto urbano, simulazioni immersive e ricostruzioni virtuali nel Metaverso.

Le esperienze sviluppate non si limitano a una fruizione passiva dei contenuti, ma invitano i partecipanti a interagire con la storia, a compiere scelte e a riflettere sugli eventi del passato in modo critico e personale. Ogni ambiente – sia esso reale, virtuale o simulato – è pensato per attivare una narrazione coerente e coinvolgente, capace di restituire la complessità del contesto geografico, storico e al contempo stimolare empatia, consapevolezza e memoria.

L'approccio adottato si fonda su una riflessione attenta sulle potenzialità educative del gioco e della simulazione, che diventano strumenti per offrire un apprendimento situato: il giocatore esplora, scopre, interpreta e rielabora i contenuti, vivendo la città come un museo diffuso⁴¹⁶ e la storia come un'esperienza viva. In quest'ottica, la gamification e le tecnologie immersive non sono fine a sé stesse, ma modalità per favorire un coinvolgimento profondo e duraturo, all'interno di una didattica innovativa e partecipativa, capace di coniugare racconto storico ed esperienza interattiva.

Le tecnologie digitali emergenti, così come i nuovi media e dispositivi mobili, offrono oggi opportunità straordinarie per la valorizzazione e l'arricchimento dell'esperienza culturale legata al patrimonio. Sono strumenti che non solo migliorano l'accessibilità delle risorse, ma accrescono anche il livello di coinvolgimento degli utenti, rendendo l'interazione con i beni culturali più dinamica, partecipativa e immersiva.

In particolare, si osserva come i turisti, dotati di smartphone e altri dispositivi mobili, stiano progressivamente trasformando il modo di fruire i luoghi della cultura. Essi interagiscono con musei, monumenti e siti storici non solo come visitatori, ma anche come produttori di contenuti, condividendo immagini, commenti, *hashtag* e dati geolocalizzati attraverso i *social network*. Tali contenuti generati dagli utenti costituiscono una preziosa fonte di dati informali, che può efficacemente integrarsi con quelli ufficiali forniti da istituzioni culturali quali gallerie, biblioteche,

⁴¹⁵ Catolfi e Giordano 2015, p. 30

⁴¹⁶ Taiuti 2011, p. 3

archivi e musei (*Galleries, Libraries, Archives and Museums* - GLAM), contribuendo così ad arricchire la conoscenza collettiva del patrimonio.

Parallelamente, i pianificatori digitali di viaggio e le applicazioni mobili dedicate al patrimonio culturale possono assumere un ruolo strategico nello sviluppo delle cosiddette *smart cities*⁴¹⁷. Se integrati in maniera coerente all'interno di un ecosistema digitale urbano, tali strumenti sono in grado di stimolare il coinvolgimento attivo dell'utente, sia cittadino che turista, in attività a carattere turistico, educativo e ricreativo, rendendolo al tempo stesso fruitore e produttore di risorse culturali.

Nel contesto delineato si inserisce il lavoro di tesi, che si propone di fornire a cittadini e visitatori un sistema di supporto per l'esplorazione consapevole e tematica del patrimonio culturale urbano. L'idea di base è facilitare la pianificazione di itinerari personalizzati attraverso monumenti, palazzi storici, musei e altri punti di interesse culturale (*Points of Interest*, POI) presenti nel tessuto cittadino. Inoltre, si intende incoraggiare la condivisione di risorse multimediali relative ai luoghi visitati, integrando elementi di gamification allo scopo di rafforzare il coinvolgimento e la partecipazione attiva dell'utenza.

A tal fine, sono state sviluppate tre direttrici operative principali: la realizzazione di una mostra virtuale nel Metaverso, l'ideazione di un prototipo di applicazione ludica dedicata al patrimonio e la progettazione di un'attività simulativa rivolta agli operatori coinvolti nella gestione di scenari critici, come ad esempio l'individuazione e la messa in sicurezza di un ordigno bellico inesplosivo. Tali iniziative mirano a esplorare le potenzialità offerte dalla tecnologia per la valorizzazione culturale, la fruizione innovativa dei luoghi e l'attivazione di forme di partecipazione consapevole e creativa⁴¹⁸.

Per la realizzazione della mostra virtuale nel Metaverso, è stata selezionata la piattaforma Spatial[®], riconosciuta a livello internazionale per le sue potenzialità tecnologiche e la versatilità applicativa. Spatial[®] è una piattaforma di gioco *User-Generated Content* (UGC), sviluppata utilizzando il motore grafico Unity[®] e il linguaggio di programmazione C#, che consente a sviluppatori e creatori di contenuti di pubblicare e monetizzare giochi *multiplayer* fruibili tramite web, dispositivi mobili e realtà virtuale (VR).

Fondata nel 2017 a New York da Anand Agarawala e Jinha Lee, Spatial[®] ha progressivamente ampliato le proprie funzionalità, passando da ambienti collaborativi in realtà aumentata a esperienze immersive fruibili su vari dispositivi. Dopo importanti collaborazioni con Microsoft[®] e Meta[®], dal 2021 la piattaforma si è specializzata nella creazione di *showroom* virtuali per *Non-Fungible Token*

⁴¹⁷ Carbone 2019, p. 72

⁴¹⁸ Prandi *et al.* 2019, pp. 3342-3343

(NFT) e spazi artistici nel metaverso, collaborando con figure di rilievo come Hermitage[®], NBA[®], Krista Kim[®], Federico Clapis[®] e altri. Tra i numerosi eventi a cui ha partecipato, si segnala la Metaverse Fashion Week 2023. L'offerta ludica include giochi originali come Punch Hero[®], Racing Empire[®], Infinite Ascent[®], Shooty Shooty[®], Mostly Only Up[®], Buddy Blitz[®] e Cyber Punk[®], accessibili direttamente via *browser*⁴¹⁹.

Spatial[®] offre all'interno della piattaforma una serie di strumenti che consentono la creazione di ambienti virtuali personalizzati, sfruttando modelli 3D ed elementi già configurati (come stanze, arredi e oggetti), oppure permettendo l'importazione di contenuti esterni, come modelli tridimensionali realizzati ad hoc. La flessibilità che caratterizza la piattaforma consente l'accessibilità alla stessa anche a chi non possiede competenze avanzate di programmazione o sviluppo in ambienti virtuali.

Dal punto di vista concettuale, e in linea con i principi della gamification a cui si ispira la ricerca, si è scelto di valorizzare l'esperienza ludica della visita virtuale, offrendo all'utente la possibilità di esplorare l'ambiente mediante un avatar personalizzabile. L'intento non era quello di creare un videogioco, bensì di proporre un'esperienza interattiva che desse pieno valore al materiale raccolto durante la ricerca: fotografie storiche su Viterbo durante la Seconda guerra mondiale, modelli 3D, ricostruzioni orto-fotogrammetriche e dati cartografici.

L'adozione di Spatial[®] per la creazione della mostra virtuale si fonda, quindi, su una solida combinazione di innovazione tecnologica, accessibilità multi-dispositivo e comprovata esperienza nel campo delle arti digitali e del Metaverso. Si ritiene, inoltre, che la piattaforma rappresenti una scelta particolarmente efficace in quanto risponde pienamente all'idea secondo cui «la costruzione di un'immagine urbana è possibile solo nel processo di scambio tra la città stessa e il suo fruitore che, raccogliendo credenze, idee e impressioni, attiva il processo di significazione del luogo» (Turco 2016, p. 268). In tal senso, Spatial[®] rende accessibile la città virtuale e le sue molteplici chiavi di lettura e semantizzazione, permettendo a ciascun utente di interagire, interpretare e attribuire significato ai luoghi rappresentati, secondo un approccio partecipativo e inclusivo.

La mostra realizzata all'interno della piattaforma è stata concepita, infatti, con l'obiettivo di dare coerenza e valore interpretativo ai numerosi materiali raccolti nel corso della ricerca, attraverso un filo conduttore narrativo che assume la forma di uno storytelling territoriale. Il tema centrale scelto è quello delle trasformazioni subite dall'assetto urbano e dal patrimonio culturale della città di Viterbo a seguito dei bombardamenti aerei della Seconda guerra mondiale, con un'attenzione particolare al modo in cui tali eventi hanno inciso sull'identità urbana e sulla memoria collettiva del territorio.

⁴¹⁹ Spatial, <https://www.spatial.io/about> (ultima consultazione 29/04/2025)

Il cuore dell'ambiente virtuale, attorno al quale si sviluppano gli spazi espositivi, è rappresentato da una stanza con caratteristiche museali, dotata di pareti espositive sulle quali sono stati collocati contenuti visuali. L'intera mostra è articolata in ambienti e corridoi tematici, ciascuno dei quali affronta un aspetto specifico del rapporto tra guerra e città. All'ingresso, il visitatore è accolto da un pannello illustrativo che, attraverso l'uso di colori distintivi, indica i percorsi tematici attivabili e seguibili con il proprio avatar all'interno dello spazio virtuale. I quattro percorsi principali proposti sono: le foto aeree storiche, gli obiettivi di guerra, i beni culturali danneggiati dai bombardamenti, e il rischio di rinvenimento di ordigni bellici inesplosi (Fig. 105). È comunque possibile visitare liberamente gli spazi, senza vincolarsi a un singolo percorso tematico.



Figura 10592 Ingresso della mostra virtuale con pannello illustrativo che indica i percorsi tematici attivabili e seguibili con il proprio avatar all'interno dello spazio virtuale. Immagine autoprodotta in Spatial®

Subito dopo l'ingresso, si incontra un punto informativo che rimanda al sito dello *Spinoff Rizoma*, ospitante il Web-GIS con accesso riservato e contenente il collegamento diretto alla mostra virtuale stessa.

La mostra prende avvio con un primo corridoio che offre una panoramica della città di Viterbo. Al centro dello spazio introduttivo si trova un plastico virtuale, disposto su un tavolo, realizzato tramite un modello 3D prodotto da foto aeree storiche, che riproduce la morfologia urbana di Viterbo nel 1943, poco prima dei primi bombardamenti alleati. Sulle pareti laterali, a destra e sinistra, sono esposte carte geografiche che mostrano la città com'è oggi, sia su base cartografica satellitare che tramite visualizzazione *OpenStreetMap* (Fig. 106). Alle spalle del plastico, una sfera fluttuante interattiva, denominata “teletrasporto” dal linguaggio interno alla piattaforma stessa, consente di accedere ad un secondo ambiente virtuale, direttamente sul modello 3D del plastico, ampliato a scala maggiore, permettendo all'avatar di “camminare sopra” la città. Tale funzione, oltre

a offrire un'esperienza ludica immersiva, ha un chiaro valore educativo: consente infatti di modificare il punto di vista dell'osservatore e di assumere una prospettiva privilegiata sulla città, così com'era documentata negli ultimi mesi del 1943, prima delle distruzioni belliche. Dal punto di vista della storia urbana, si tratta di una componente di particolare rilievo per comprendere le successive trasformazioni che la guerra ha imposto al tessuto cittadino (Fig. 107).

Sulla parete di fondo del primo ambiente è stato collocato un orto-foto-mosaico che raffigura il centro urbano di Viterbo nel pieno dei bombardamenti del 1944, offrendo una testimonianza visiva diretta dell'intensità del conflitto sul territorio cittadino.

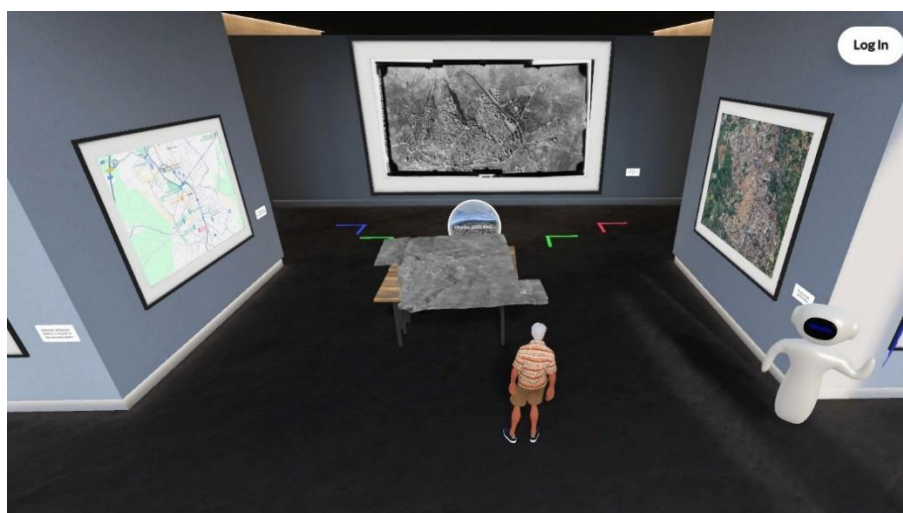


Figura 10693 Corridoio introduttivo della mostra virtuale. Al centro dello spazio si trova un plastico della città realizzato con foto aeree storiche del 1943; sulle pareti, a destra e a sinistra, sono esposte carte geografiche che mostrano la città come è oggi; sulla parete di fondo un orto-mosaico di Viterbo durante i bombardamenti del 1944. Immagine autoprodotta in Spatial®



Figura 10794 Teletrasporto al plastico calpestabile da avatar, realizzato con foto aeree storiche della città di Viterbo datate 1943, subito prima dei primi bombardamenti aerei. Immagine autoprodotta in Spatial®

Lo spazio introduce a un corridoio trasversale dedicato al monumento simbolo dei bombardamenti della Seconda guerra mondiale a Viterbo, ovvero la chiesa di Santa Maria in Gradi,

oggi sede dell'Università degli Studi della Tuscia. Al centro del corridoio è visibile il logo dell'Ateneo, mentre le pareti ospitano fotografie storiche e contemporanee, in bianco e nero e a colori, che documentano l'aspetto originario dell'edificio, i danni subiti durante il conflitto e gli interventi di restauro effettuati fino ad oggi (Fig. 108).

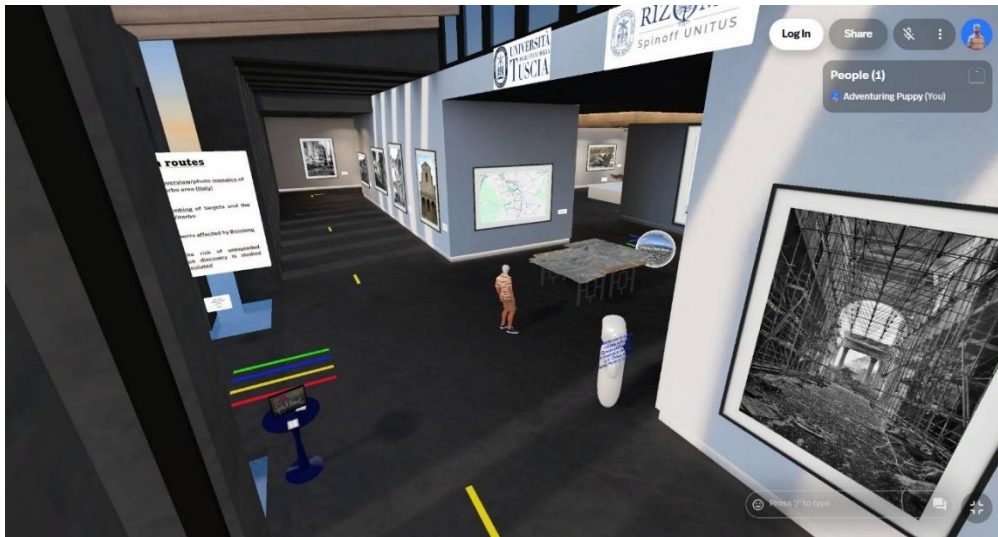


Figura 10895 Corridoio espositivo dedicato al complesso di Santa Maria in Gradi, oggi sede dell'Università della Tuscia. Immagine autoprodotta in Spatial®

Un corridoio parallelo è dedicato, invece, alle principali porte d'accesso medievali della città di Viterbo, tra cui Porta Romana e Porta Fiorentina, poste simbolicamente come accessi virtuali al centro storico di Viterbo durante il periodo bellico. Qui trovano posto anche documenti d'archivio comunali risalenti all'epoca, con disposizioni per la popolazione circa le aree a rischio bombardamenti e i comportamenti da adottare durante tali eventi (Fig. 109).



Figura 10996 corridoio parallelo all'ingresso della mostra in cui sono esposte immagini dei danni da bombardamento aereo subiti da due degli storici ingressi delle mura di Viterbo: Porta Romana (a sinistra) e Porta Fiorentina (a destra) insieme a documenti d'epoca. Immagini autoprodotte in Spatial®

Sul lato sinistro dell'ambiente virtuale si sviluppa un corridoio che illustra, attraverso fotografie storiche e attuali, i principali monumenti cittadini — come palazzi storici e chiese — che

sono stati danneggiati o distrutti durante i bombardamenti, con una comparazione visiva tra il loro stato passato e la loro condizione conservativa odierna. Il corridoio destro segue la stessa logica, ma applicata a piazze e fontane cittadine colpite o distrutte nel corso della guerra (Fig. 110).

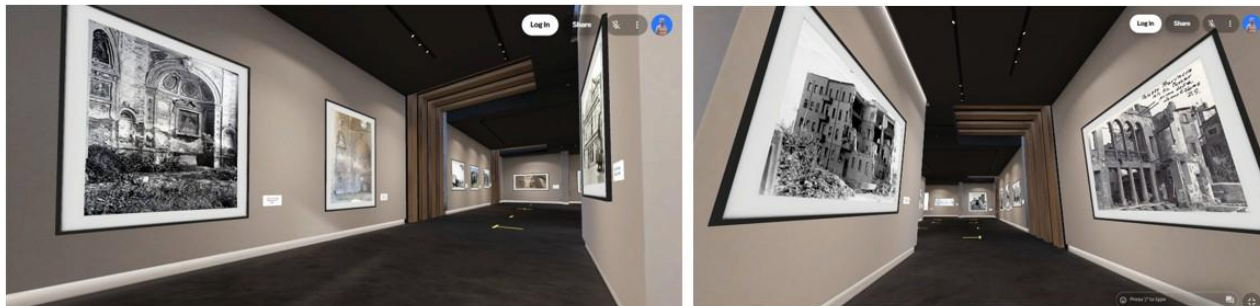


Figura 11097 Corridoi perimetrali della mostra virtuale. A sinistra, fotografie storiche e attuali dei principali palazzi ecclesiastici cittadini; a destra, palazzi storici, piazze e fontane urbane danneggiate dai bombardamenti. Immagini autoprodotte in Spatial®

Al centro dell'area espositiva, tre modelli 3D raffiguranti un bombardiere e ordigni bellici inglesi e americani, accompagnati da fotografie storiche e pannelli descrittivi, incorniciano la sala centrale, la quale ospita una vasta panoramica sul paesaggio di guerra di Viterbo. Qui trovano collocazione, infatti, due grandi orto-foto-mosaici che immortalano dall'alto Viterbo e il suo circondario nell'anno 1944 (Fig. 111). Sulla parete di fondo esterna all'ambiente è stato collocato un poster descrittivo che illustra in modo dettagliato la metodologia fotogrammetrica impiegata per la realizzazione degli orto-foto-mosaici esposti. Il pannello espone le principali fasi del processo, a partire dall'elaborazione delle immagini aeree storiche, fino alla georeferenziazione delle stesse all'interno di un ambiente GIS, operazione fondamentale per garantire l'integrazione coerente dei dati spaziali con le informazioni cartografiche attuali. Tale apparato esplicativo consente al visitatore di comprendere il valore scientifico e tecnico del lavoro svolto, restituendo rigore metodologico all'intero progetto espositivo (Fig. 112).

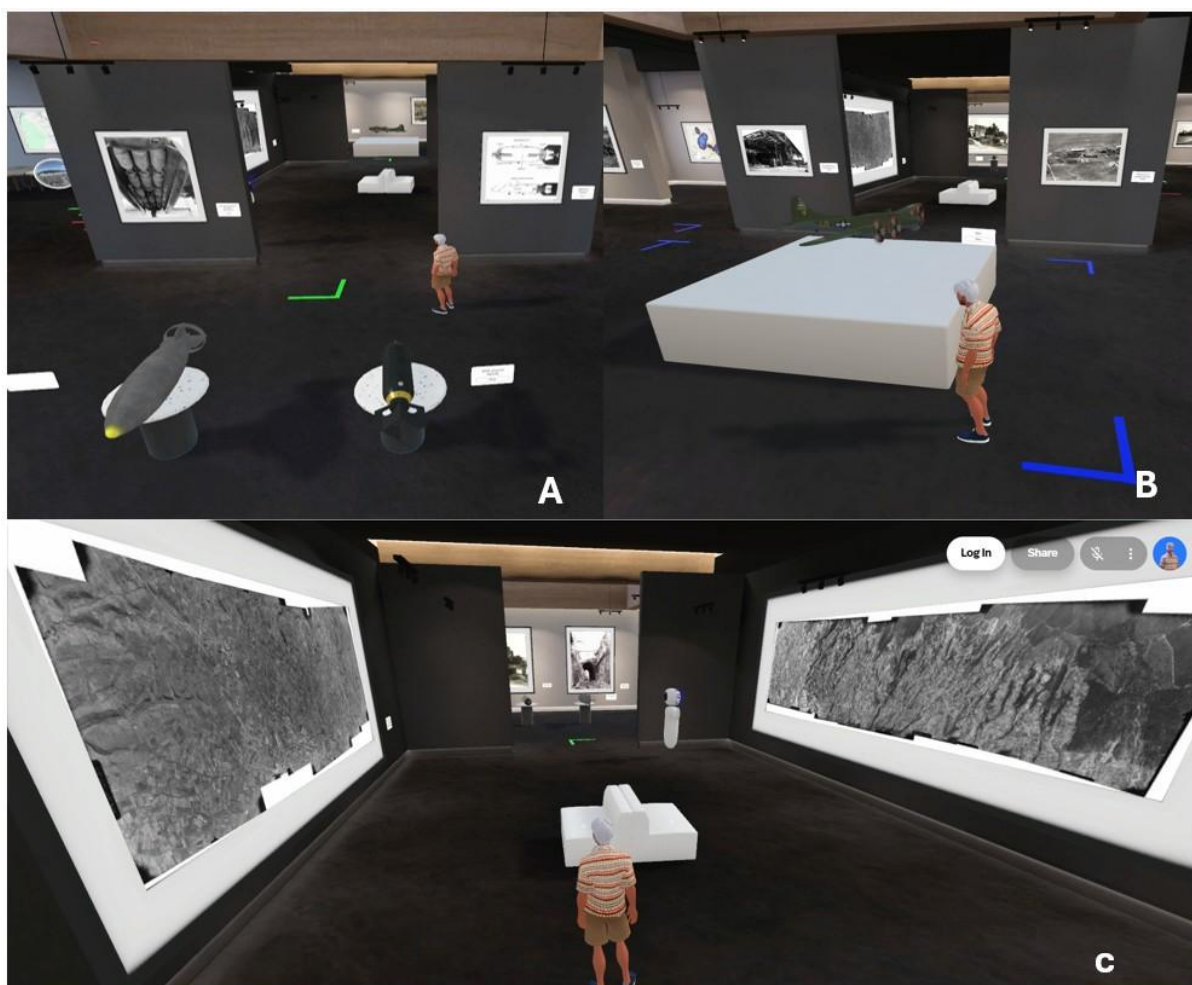


Figura 111 Modelli 3D raffiguranti ordigni bellici inglesi e americani (A), un bombardiere americano (B), accompagnati da fotografie storiche e pannelli descrittivi; e una sala centrale che ospita due grandi orto-foto-mosaici che immortalano dall'alto Viterbo (C). Immagine autoprodotta in Spatial®

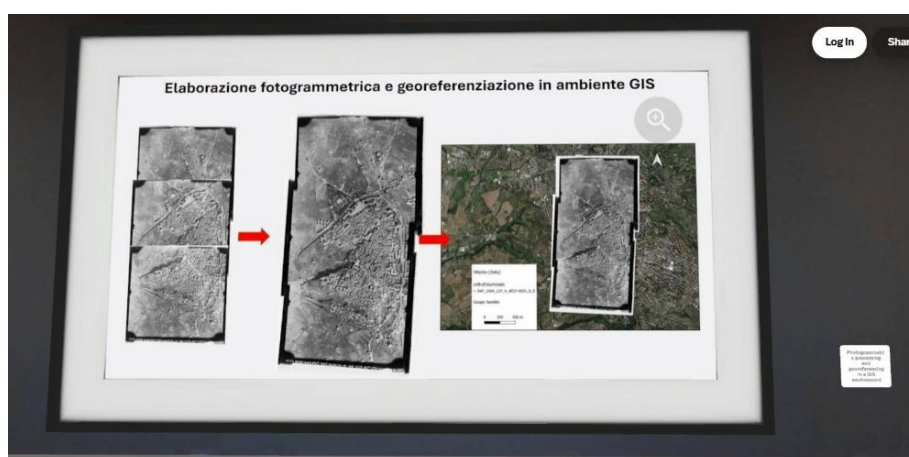


Figura 112 Poster descrittivo che illustra in modo dettagliato la metodologia fotogrammetrica impiegata per la realizzazione degli orto-foto-mosaici esposti. Immagine autoprodotta in Spatial®

Infine, sulla parete di fondo dell'ambiente espositivo sono state disposte immagini rappresentative della strategia dei bombardamenti, in sequenza narrativa: dal lancio delle bombe, alla nube di polvere sollevata dall'impatto al suolo, ai crateri visibili nelle foto aeree, fino ai danni al

patrimonio urbano fotografati dal livello del terreno (Fig. 113). Accanto alle immagini, sono presenti mappe geografiche in formato *heatmap* che illustrano l'attuale rischio di rinvenimento di ordigni bellici inesplosi, offrendo un'ulteriore chiave di lettura sul rapporto tra memoria storica, paesaggio urbano e rischi del presente (Fig. 114).

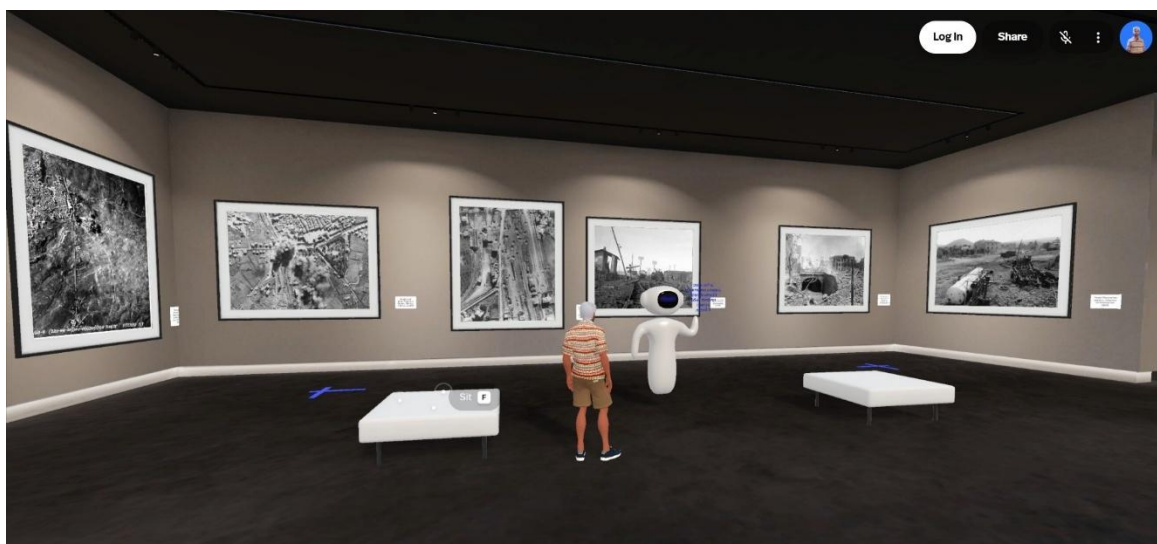


Figura 113 Parete di fondo della mostra con immagini rappresentative della strategia dei bombardamenti, in sequenza narrativa: dal lancio delle bombe, alla nube di polvere sollevata dall'impatto al suolo, ai crateri visibili nelle foto aeree, fino ai danni al patrimonio urbano fotografati dal livello del terreno. Immagine autoprodotta in Spatial®



Figura 11498 Esposizione delle mappe geografiche in formato heatmap che illustrano l'attuale rischio di rinvenimento di ordigni bellici inesplosi nella città di Viterbo. Immagine autoprodotta in Spatial®

Ogni elemento ospitato all'interno della mostra virtuale — che si tratti di una fotografia bidimensionale affissa alle pareti, di un modello tridimensionale o di un documento d'archivio — è stato concepito come oggetto interattivo, cliccabile dall'utente. Questa funzionalità consente di accedere a contenuti descrittivi di approfondimento oppure a collegamenti esterni, che rimandano alle

fonti originali o al Web-GIS del progetto, offrendo così un'esatta collocazione geografica dei luoghi e dei beni culturali rappresentati, nonché un ulteriore livello di contestualizzazione spaziale e informativa (Fig. 115).

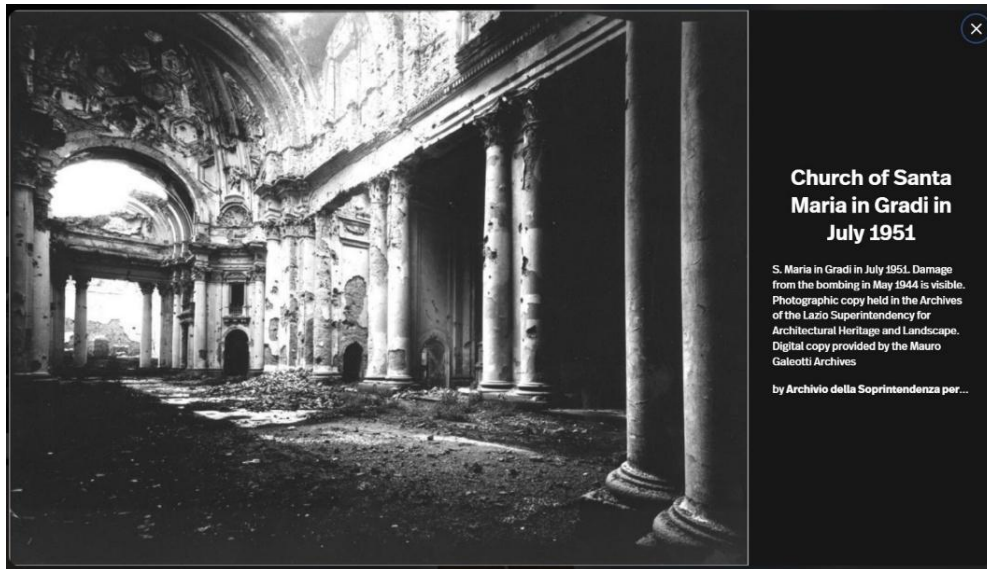


Figura 115 Esempio di interazione diretta con ogni elemento esposto in mostra per la consultazione di informazioni testuali o ipertestuali aggiuntive. Immagine autoprodotta in Spatial®

All'interno di ciascuna sala espositiva sono stati inoltre inseriti assistenti virtuali — sotto forma di robot, modellati in 3D — i quali, mediante messaggi testuali sia in lingua inglese che italiana, forniscono al visitatore ulteriori spiegazioni in merito ai contenuti tematici dello spazio in cui ci si trova, facilitando così l'esperienza esplorativa e la comprensione del materiale esposto (Fig. 116).



Figura 9916 Assistenti virtuali in forma di Robot 3D. Immagine autoprodotta in Spatial®

Sono presenti anche due ulteriori elementi di rilievo. Il primo è un ulteriore punto di teletrasporto, che consente di accedere a un ambiente virtuale, progettato con la forma di un'aula-anfiteatro, dotato di un pannello per proiezioni collocato nella zona scenica, configurandosi come spazio laboratoriale e didattico (Fig. 117). In questo luogo si svolgono periodicamente eventi, workshop, lezioni e simulazioni tematiche, come ad esempio quelle sul rischio da ordigni bellici inesplosi rivolte a militari e operatori della protezione civile o vigili del fuoco, attività didattiche sul *mapping* in ambiente GIS per studenti universitari, oppure approfondimenti sul ruolo della memoria storica degli spazi urbani e della conservazione del patrimonio fotografico attinente.

Tali iniziative presentano il duplice vantaggio di poter essere seguite in qualunque momento e da qualsiasi luogo tramite una connessione internet, utilizzando diversi dispositivi (computer, smartphone o visori VR), e di offrire accesso simultaneo alla mostra espositiva vera e propria, la quale assume così il ruolo di contenuto integrativo e valore aggiunto alle attività svolte nell'aula virtuale.



Figura 117100 Aula-anfiteatro in grado di ospitare molteplici utenti in contemporanea per la trasmissione in diretta di lezioni, workshop ed eventi. Immagine autoprodotta in Spatial®

Infine, nella zona d'ingresso della mostra è stato predisposto un *quiz point* (Fig. 118), attraverso il quale è possibile accedere a un modulo Google presentato come fase di *debriefing* post-visita (Tabella 2).

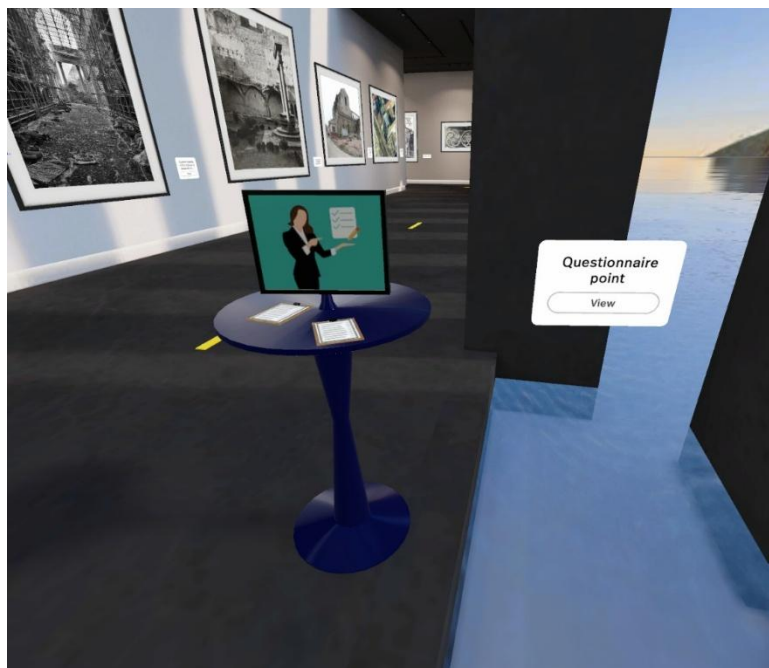


Figura 118101 Quiz point o Punto questionario per accedere a un Google® form su gradimento e feedback in merito alla visita esplorativa della mostra virtuale. Immagine autoprodotta in Spatial®

Tale strumento ha una duplice funzione: da un lato, permette di raccogliere opinioni, impressioni e suggerimenti da parte dei visitatori in merito ai contenuti e alla forma della mostra; dall'altro, si configura come potenziale strumento partecipativo in chiave di *citizen science*, offrendo alla cittadinanza la possibilità di contribuire attivamente all'integrazione, aggiornamento e ampliamento dei materiali esposti, anche attraverso l'invio di documentazione o testimonianze. L'ascolto del pubblico e la sua partecipazione sono infatti ritenuti fondamentali non solo per affinare le future evoluzioni del progetto, ma anche per garantire una costante apertura della mostra virtuale a nuovi apporti conoscitivi.

Il questionario (Appendice 2) è stato redatto in lingua inglese, in quanto utilizzato in occasione di numerosi eventi e iniziative accademiche di rilievo sia a livello nazionale che internazionale, e risulta tuttora accessibile sulla piattaforma Spatial®, la quale accoglie un pubblico ampio e diversificato su scala globale. La sua struttura è stata concepita integrando diverse tipologie di quesiti, al fine di ottenere una valutazione esaustiva. In particolare, sono state impiegate domande a risposta multipla (*Multiple Choice Questions* - MCQs), scale di Likert e scale di valutazione numerica (da 1 a 10) per misurare il livello di apprezzamento di specifici parametri. Inoltre, sono state inserite domande dicotomiche (con risposte predefinite quali sì/no, vero/falso) e domande aperte (*Open-ended Questions*) per consentire l'espressione libera di opinioni. I risultati del questionario, sottoposto a diversi utenti in più occasioni e giornate di ricerca nazionali e internazionali a partire dalla Geonight

2024⁴²⁰, evidenziano una buona riuscita complessiva dell'iniziativa. La mostra ha saputo coniugare contenuti geografici e storici di rilievo con un approccio tecnologico innovativo, riuscendo a stimolare la curiosità del pubblico e a trasmettere in modo efficace la memoria di eventi drammatici legati al passato della città di Viterbo. I suggerimenti ricevuti potranno costituire spunto utile per futuri miglioramenti nell'allestimento e nella fruizione delle prossime edizioni. L'analisi delle risposte così raccolte ha condotto ai risultati descritti nell'Appendice 3.

Tra gli aspetti critici riscontrati nell'utilizzo della piattaforma Spatial[®], va segnalato che le potenzialità di personalizzazione degli ambienti virtuali risultano notevolmente ampliate per gli utenti in possesso di competenze di programmazione, in particolare nell'ambito del linguaggio C# e dell'ambiente Unity[®], su cui la piattaforma è basata. Analogamente, anche il ventaglio di azioni e interazioni attivabili all'interno degli spazi digitali risulta più esteso per coloro che possiedono tali conoscenze tecniche, rendendo l'esperienza maggiormente plasmabile e su misura.

Dal punto di vista economico e gestionale, ogni spazio all'interno della piattaforma comporta un costo associato, e le funzionalità disponibili — come la visualizzazione dei contenuti, l'interattività tramite click, l'accesso a collegamenti esterni, nonché l'attivazione di chat testuali o vocali all'interno degli ambienti — sono soggette a diversi piani di abbonamento, disponibili in formula mensile o annuale. Tali abbonamenti si differenziano tra loro sia per il costo, sia per le capacità tecniche offerte, tra cui: la quantità di spazio di archiviazione disponibile, il numero di oggetti caricabili sulla piattaforma, nonché il numero massimo di utenti che possono accedere simultaneamente agli ambienti virtuali creati.

Infine, l'accesso agli spazi può essere regolato, ristretto o monetizzato, offrendo un controllo selettivo sull'utenza. Sebbene ciò possa rappresentare una limitazione in termini di apertura e fruibilità, va evidenziato che tale funzionalità può anche configurarsi come vantaggio strategico, soprattutto in un'ottica di musealizzazione digitale, permettendo una gestione più mirata e sostenibile degli ambienti espositivi virtuali.

Alla mostra virtuale nel Metaverso, si affianca la seconda idea progettuale in termini di gamification del progetto di ricerca, l'applicazione di gioco mobile *Defense Flags*, concepita con obiettivi ludico-educativi e l'intenzione di integrare dinamiche di gioco coinvolgenti con finalità di sensibilizzazione storica e culturale. L'iniziativa nasce dalla collaborazione con Sicheo, una ditta specializzata in gamification, che ha contribuito in maniera significativa alla definizione concettuale dell'esperienza ludica e alla progettazione dell'intero sistema di gioco. In particolare, Sicheo ha

⁴²⁰ La GeoNight del 2024 ha segnato la prima occasione in cui la mostra fotografica è stata resa accessibile al pubblico in modo libero e autonomo, sia in presenza che a distanza, grazie all'utilizzo dei visori di realtà virtuale Oculus Meta Quest 2. GeoNight, <https://www.geonight.net/> (ultima consultazione 06/02/2025)

supportato la creazione della componente narrativa, grafica e interattiva dell'applicazione. Per una descrizione approfondita delle caratteristiche tecniche del gioco, è possibile consultare la scheda tecnica allegata (Appendice 1), dove vengono dettagliati l'architettura logica, i flussi funzionali, la struttura dei vari livelli di gioco e le interfacce utente principali.

Al momento, l'applicazione non è ancora stata sviluppata, ma rappresenta un progetto concreto destinato a essere implementato in futuro. La realizzazione dell'app si fonda su dati geografici e storici accurati e verificabili, raccolti e validati nel corso della fase di prototipazione GIS. I dati, una volta integrati nel sistema, garantiranno la coerenza scientifica e l'accuratezza delle informazioni storico-culturali relative agli edifici, ai monumenti e ai contesti urbani presenti all'interno del gioco e che riflettono i contenuti informativi dei percorsi interattivi in ambiente GIS, descritti sopra.

Ambientato in una città devastata dalla guerra, *Defense Flags* pone il giocatore nel ruolo di un cittadino che, durante il conflitto, si trova a dover segnalare con apposite bandiere gli edifici da proteggere dai bombardamenti. L'espedito si ispira a pratiche storiche realmente adottate durante la Seconda guerra mondiale, quando scuole, ospedali e beni culturali venivano contrassegnati sui tetti con bandiere o simboli visibili dall'alto, nel tentativo di evitarne il bombardamento⁴²¹. Riproporre tale gesto in chiave ludica consente di unire coinvolgimento e consapevolezza storica, valorizzando il ruolo della popolazione nella difesa del patrimonio.

Il contesto narrativo del gioco si ispira in particolare alla città di Viterbo, che durante la Seconda Guerra Mondiale subì ingenti danni a causa dei bombardamenti. Il *gameplay* si inserisce nel genere *arcade* dei "vertical scrolling shooter"⁴²², ma con un'interpretazione educativa che trasforma l'azione in un mezzo per la riflessione sulla memoria storica. Al termine di ogni livello, il giocatore riceve un report che fornisce informazioni sugli edifici salvati o distrutti, corredate da schede informative contenenti dati storici, fotografici e cartografici. Inoltre, un modulo finale interattivo propone un minigioco educativo incentrato sul rischio degli ordigni bellici inesplosi, al fine di sensibilizzare il giocatore sui pericoli ancora esistenti in alcune aree e sulle pratiche corrette di sicurezza da adottare.

Il progetto prevede la possibilità di estendere l'ambientazione del gioco ad altre città, italiane ed europee, attraverso l'adattamento delle mappe e dei contenuti storici specifici di ciascun contesto.

⁴²¹ Si veda il paragrafo 1.2 "Rischio di rinvenimento ordigni bellici inesplosi e beni culturali", nello specifico la Fig. 6 che riporta il segno distintivo per la protezione degli edifici consacrati ai culti, alla scienza e alla beneficenza nonché dei monumenti storici ed ospedali civili contro i bombardamenti aerei.

⁴²² Il genere cosiddetto *arcade* è un tipo di videogioco che combina elementi del genere avventura e del genere azione e Il *vertical scrolling shooter*, noto anche come *verticale scroller*, è una sottocategoria del genere videoludico soprattutto (*shoot 'em up*) caratterizzata da una visuale dall'alto, in cui l'azione si sviluppa con uno scorrimento verticale dello schermo, generalmente verso l'alto, sebbene in alcuni casi possa procedere anche verso il basso.

Defense Flags si configura, pertanto, come un sistema flessibile e scalabile, capace di valorizzare diverse realtà territoriali e di promuovere una maggiore consapevolezza storica e culturale in modo accessibile, coinvolgente e fondato su solide basi documentali.

Dal punto di vista metodologico, *Defense Flags* rappresenta un esempio concreto di come le tecnologie digitali possano essere impiegate per integrare dimensioni ludiche e formative all'interno di un progetto di valorizzazione culturale. La progettazione è stata condotta in modo interdisciplinare, con il contributo di esperti in ambito storico, informatico e della comunicazione digitale, con particolare attenzione all'uso di fonti verificate e all'affidabilità delle informazioni geo-storiche. L'uso del GIS, in particolare, ha permesso di raccogliere, analizzare e organizzare i dati territoriali e documentali necessari per la definizione accurata delle ambientazioni di gioco e dei contenuti informativi. In prospettiva, il progetto si propone di evolvere in una piattaforma dinamica e modulare, capace di adattarsi a nuovi contesti territoriali e a differenti target di utenza, attraverso l'ampliamento dei contenuti, l'integrazione con ambienti di realtà aumentata o virtuale, e il collegamento con iniziative educative, museali e memoriali. La sua futura implementazione sarà pertanto orientata non solo alla produzione di un'applicazione ludica, ma alla costruzione di un vero e proprio strumento di cittadinanza attiva, memoria partecipata e consapevolezza storica.

L'applicazione dei principi della gamification e delle tecnologie del Metaverso al tema del rischio legato al rinvenimento di ordigni bellici inesplosi rappresenta una proposta innovativa e, allo stato attuale, ancora del tutto assente nel panorama nazionale e internazionale, soprattutto se si parla di ambienti simulativi interattivi accessibili sia a operatori del settore sia al pubblico generale. Si propone, pertanto, un'ultima e duplice potenziale iniziativa, che mira a sviluppare un sistema da un lato immersivo e didattico, dall'altro tecnico e operativo in grado di offrire un'opportunità concreta per colmare un vuoto informativo e formativo che riguarda sia la popolazione civile, spesso impreparata ad affrontare simili emergenze, sia i professionisti della sicurezza, che necessitano di strumenti sempre più evoluti per la pianificazione e la gestione delle operazioni sul campo⁴²³.

Per il pubblico generalista, un simile strumento potrebbe tradursi in un'applicazione interattiva o in un'esperienza immersiva nel Metaverso, capace di educare in modo efficace e coinvolgente al riconoscimento dei segnali di pericolo in caso di rinvenimento accidentale di UXO. Tale applicazione potrebbe guidare l'utente attraverso tutte le procedure da seguire: dall'allerta tempestiva delle forze dell'ordine, al rispetto della distanza di sicurezza, fino alla gestione provvisoria dell'area per evitare l'avvicinamento di altre persone in attesa dell'intervento degli specialisti. Sul fronte professionale, invece, l'iniziativa assumerebbe un valore ancora più strategico, offrendo un

⁴²³ L'interesse dell'argomento è evidente nello studio su un'applicazione della realtà virtuale per la formazione sulla sicurezza in vari settori di Gavish *et al.* 2015.

ambiente simulativo avanzato per l'addestramento e il coordinamento delle forze coinvolte – esercito, vigili del fuoco, protezione civile – secondo protocolli realistici e dinamici, basati su dati territoriali, geospaziali e storici⁴²⁴.

A oggi, le metodologie di valutazione del rischio UXO restano appannaggio esclusivo di enti specializzati e si fondano su strumenti sofisticati ma settoriali: valutazioni storiche, software GIS, modelli balistici, database militari e fogli di calcolo parametrici, spesso non accessibili al pubblico né configurabili in modalità interattiva o simulativa. Pertanto, l'idea di sviluppare ambienti simulativi, sia all'interno del Metaverso sfruttando contesti immersivi come l'ambiente "laboratorio", sopra menzionato, sia attraverso sezioni dedicate di un'applicazione di gioco, rappresenta un passo strategico nella gestione, prevenzione e formazione legate al rischio degli ordigni bellici inesplosi.

Tale proposta si integra pienamente con le attività già avviate ai fini della ricerca per la raccolta di informazioni e materiali di studio in collaborazione con il Ministero della Difesa attraverso il progetto SIBOE (Sistema Informativo Bonifica Bellica), il corpo dei Vigili del Fuoco e ditte specializzate in bonifica bellica⁴²⁵. L'obiettivo è quello di tradurre i dati e le esperienze operative acquisite in uno strumento interattivo e altamente realistico, capace di simulare scenari critici, ottimizzare la pianificazione delle operazioni sul campo e formare gli addetti ai lavori in ambienti sicuri e controllati.

Il caso studio di Viterbo, ad esempio, ha permesso di mappare con precisione i crateri di bomba e il numero potenziale di ordigni inesplosi ancora presenti nel sottosuolo e, attraverso strumenti GIS, rappresentare il raggio di pericolosità rispetto ai punti di rinvenimento e brillamento di UXO, evidenziando come il rischio coinvolga non solo edifici e superfici moderne, ma anche strutture archeologiche superficiali e interrato, come la Via Cassia antica o le terme romane nei pressi dell'aeroporto militare Tommaso Fabbri. Da queste evidenze nasce l'esigenza di creare un simulatore tecnico e strategico, pensato come gemello digitale⁴²⁶ delle operazioni reali, in grado di replicare condizioni ambientali, vincoli logistici e azioni coordinate tra vari attori: civili, esercito, vigili del

⁴²⁴ Come dimostrano molteplici casi studio, il Corpo Vigili del Fuoco sia in Italia che all'estero è tra i settori più addestrati all'utilizzo di sistemi e applicazioni simulate del rischio. Si vedano gli studi di Fu e Li 2023, in merito a *un serious-game* per l'addestramento comportamentale alla sicurezza antincendio; Choi *et al.* 2020, sullo sviluppo e la valutazione di una simulazione VR per l'addestramento alla sicurezza antincendio; e Kinatader *et al.* 2014, che esplora la VR come simulazione realistica, controllabile e sicura per studiare le reazioni delle persone in scenari di evacuazione da incendio.

⁴²⁵ Il SIBOE (Sistema Informativo Bonifica Bellica) è stato consultato in quanto banca dati nazionale degli ordigni inesplosi già individuati e neutralizzati; in occasione della presente ricerca, gli addetti al sistema sono stati informati dello studio condotto sulla città di Viterbo, la cui situazione non risultava ancora integrata nel database al momento dell'analisi. Il Corpo dei Vigili del Fuoco ha preso parte a un seminario dedicato alle attività di ricerca e mappatura del rischio da residui bellici nel territorio viterbese.

⁴²⁶ Un gemello digitale può essere definito come una rappresentazione virtuale, fedele e dinamica, di un oggetto fisico, di un processo operativo o di un sistema reale. Tale replica digitale, costantemente aggiornata grazie all'acquisizione e all'integrazione di dati in tempo reale, è progettata per rispecchiare con precisione il comportamento, le funzionalità e le prestazioni del corrispettivo reale, consentendone l'analisi, il monitoraggio e la simulazione in ambienti digitali [si veda Kogut e Heijden 2025, pp. 9-10].

fuoco, polizia locale, protezione civile e sanitari. L'unica distinzione ideale, come anticipato, sarebbe forse da farsi tra un simulatore dedicato ai civili e uno agli specialisti del settore sminamento.

Nel caso specifico, per il grande pubblico, l'ambiente simulativo nel Metaverso potrebbe configurarsi come uno spazio formativo avanzato, pensato per fornire esperienze realistiche in scenari virtuali ricostruiti sulla base di contesti reali, come centri urbani, aree agricole, cantieri o spazi archeologici. Attraverso la simulazione di situazioni complesse e dinamiche, il cittadino avrebbe l'opportunità di imparare a riconoscere un potenziale UXO, comprendere il livello di rischio associato in base a parametri come tipo, peso, profondità e localizzazione, e conoscere le corrette procedure di messa in sicurezza dell'area e di segnalazione dell'evento alle autorità competenti⁴²⁷. L'ambiente immersivo, quindi, avrebbe una forte valenza formativa, utilizzabile anche in contesti educativi o di protezione civile, per allenare la popolazione a reagire in modo corretto, riducendo i margini di errore e aumentando il livello generale di sicurezza.

Accanto alla dimensione più immersiva e formativa, potrebbe essere sviluppata anche un'applicazione per smartphone progettata per l'utilizzo immediato in caso di ritrovamento accidentale di un ordigno. Tale app, concepita in modo semplice e accessibile, guiderebbe l'utente passo dopo passo nelle azioni da compiere nel momento del bisogno: riconoscere visivamente l'oggetto sospetto attraverso una guida illustrata, mantenere la giusta distanza di sicurezza, segnalare il pericolo, isolare l'area con strumenti disponibili (nastro, segnalazioni temporanee) e contattare prontamente le forze dell'ordine o i Vigili del Fuoco, fornendo tutte le informazioni utili, come la posizione esatta, le caratteristiche visibili dell'ordigno e il contesto del ritrovamento. L'applicazione potrebbe inoltre includere una funzione che, tramite localizzazione GPS, suggerisce automaticamente l'autorità competente più vicina da contattare e indica con chiarezza tutte le operazioni da evitare per non peggiorare la situazione, come toccare o spostare l'oggetto, scattare foto ravvicinate o rimanere nei pressi dell'area a rischio.

La doppia modalità, formativa e operativa, potrebbe colmare un vuoto esistente in materia di strumenti accessibili al grande pubblico, trasformando una tematica complessa e altamente tecnica come quella del rischio UXO in una conoscenza diffusa e praticabile, grazie anche alla collaborazione con enti come il progetto SIBOE, i Vigili del Fuoco e ditte specializzate in bonifica bellica, che potrebbero garantire l'affidabilità delle informazioni e la coerenza delle procedure simulate rispetto ai protocolli ufficiali in uso.

⁴²⁷ Un utile riferimento per trarre i parametri di valutazione e organizzare la struttura interna di un sistema simile potrebbe essere lo studio di Cooper 1937, *Un testo tecnico che fornisce informazioni di base sugli esplosivi e la loro gestione*, rilevante per la comprensione del rischio UXO.

Oltre all'ambiente simulativo rivolto al pubblico civile e all'applicazione per l'utilizzo immediato in caso di rinvenimento accidentale, è possibile immaginare anche uno sviluppo specifico, tecnico e altamente specialistico, pensato per gli addetti al settore. In questo caso, l'ambiente simulativo all'interno del Metaverso potrebbe essere progettato come un laboratorio virtuale multi-scena, capace di riprodurre con precisione contesti operativi realistici in cui sia possibile esercitarsi in tutte le fasi delle operazioni di rilevamento, valutazione, messa in sicurezza e brillamento controllato degli ordigni. Le simulazioni, basate su casi studio reali come quelli analizzati nel comune di Viterbo, potrebbero includere variabili tecniche cruciali come la tipologia dell'ordigno, il peso stimato, la profondità di penetrazione, la prossimità a edifici o infrastrutture sensibili, la presenza di popolazione civile e l'eventuale rilevanza archeologica o culturale del sito. I soggetti coinvolti verrebbero immersi in uno scenario tridimensionale dinamico dove, seguendo i protocolli standard e personalizzati forniti da enti militari o ditte specializzate in bonifica bellica, potrebbero testare decisioni operative, gestire la comunicazione tra le unità sul campo, pianificare le evacuazioni e verificare la tenuta del piano di emergenza in tempo reale. L'ambiente virtuale potrebbe prevedere anche una sezione per l'analisi post-operazione, con feedback dettagliato sul comportamento del singolo o del team, valutazioni su tempi di risposta, correttezza delle azioni eseguite, rispetto delle distanze di sicurezza e della catena di comando.

Parallelamente, si potrebbe progettare un'applicazione professionale per smartphone, rivolta esclusivamente agli operatori del settore, che funzioni sia come supporto sul campo che come strumento di registrazione e consultazione rapida. L'applicazione potrebbe integrare un sistema di rilevamento geolocalizzato che, una volta inserite le coordinate del ritrovamento, genera automaticamente la *buffer zone* con i raggi di sicurezza da applicare in funzione del peso stimato dell'ordigno, calcolato anche sulla base di una banca dati storica integrata. L'utente avrebbe accesso a *check-list* operative, linee guida aggiornate, riferimenti normativi e possibilità di segnalazione istantanea a centri operativi, completata da fotografie georeferenziate e descrizioni tecniche dell'oggetto rinvenuto. Inoltre, l'app potrebbe contenere un archivio di crateri e ordigni già mappati e associati a ritrovamenti precedenti, con la possibilità di evidenziare eventuali corrispondenze visive o geometriche, utile per determinare la probabilità di un nuovo caso UXO. Inoltre, una *dashboard* riservata, collegata a una piattaforma centrale, potrebbe raccogliere in tempo reale i dati inseriti dagli operatori sul campo, facilitando la tracciabilità delle operazioni, l'analisi del rischio complessivo dell'area e la programmazione mirata delle bonifiche successive.

Insieme, le soluzioni immersive e mobili – pensate rispettivamente per la formazione strategica e per l'operatività sul campo – rappresentano non solo un'innovazione tecnologica, ma una svolta concettuale nella gestione e prevenzione del rischio legato agli ordigni inesplosi (UXO).

Le tecnologie immersive, come i simulatori in realtà virtuale o aumentata, consentono infatti di ricreare ambienti e scenari realistici, in cui operatori, tecnici e decisori possono sperimentare dinamiche di rischio e risposta in condizioni sicure ma altamente coinvolgenti.

Allo stesso tempo, le soluzioni mobili – come app georeferenziate, droni o dispositivi di rilevamento sul campo – offrono strumenti agili e adattabili, capaci di supportare le squadre operative in tempo reale, anche in contesti complessi o in continua evoluzione.

Le due componenti, se integrate in un sistema coerente, aprono la strada a un approccio più coordinato e tecnologicamente avanzato, in grado di superare la frammentazione attuale degli interventi.

Si delinea così un modello operativo basato sulla condivisione di dati, competenze e protocolli, che vede coinvolti in maniera sinergica enti pubblici, forze operative e aziende specializzate nella sicurezza e nella tutela del territorio.

Nello scenario descritto, la prevenzione del rischio UXO non è più una pratica settoriale o emergenziale, ma diventa parte di una strategia territoriale più ampia, orientata alla resilienza, alla protezione del patrimonio e alla costruzione di una memoria attiva dei paesaggi bellici.

Conclusioni

Gli ordigni inesplosi, silenziosi residui di un conflitto lontano nel tempo ma ancora vivi nel suolo e nella memoria, rappresentano una sfida che tocca la sicurezza, la geografia dei luoghi, la storia e il senso stesso del nostro abitare lo spazio urbano.

Prima di affrontare le riflessioni conclusive meno evidenti, si reputa necessario delineare con ordine e coerenza l'insieme degli strumenti adottati e delle fasi operative che hanno scandito lo sviluppo dell'intera ricerca per mettere in luce la ricchezza dell'apparato tecnico-metodologico impiegato, evidenziando come la complessità dell'indagine sia stata affrontata mediante un approccio fondato su basi scientifiche solide, sostenuto da un'impostazione consapevolmente interdisciplinare.

Nello specifico, la ricerca si è articolata attraverso l'impiego combinato di metodi e strumenti capaci di intrecciare letture storiche, analisi geotecnologiche e strategie comunicative. Il lavoro ha preso avvio con la selezione e l'analisi di fotografie aeree storiche, reperite da archivi nazionali pubblici e privati, scelte per individuare e interpretare la presenza di crateri da bombardamento e di potenziali aree soggette al rischio di rinvenimento di ordigni inesplosi. Le immagini sono state sottoposte a elaborazione fotogrammetrica, con l'obiettivo di ricostruire geometrie coerenti con la morfologia originaria dei luoghi.

Successivamente, le stesse fotografie sono state georeferenziate all'interno di un ambiente GIS, permettendo l'integrazione spaziale con dati storici, archeologici e culturali, al fine di ottenere una rappresentazione stratificata e contestualizzata del paesaggio urbano. Il risultato di tale processo ha condotto alla realizzazione di un sistema informativo territoriale, da cui è stato possibile estrarre e organizzare metadati utili all'implementazione di un Web-GIS. Il quale include un geodatabase aggiornabile ed è stato progettato per dialogare con strumenti esterni di gamification e con ambienti virtuali, in particolare la piattaforma Spatial[®], utilizzata per realizzare una prima sperimentazione nel Metaverso del paesaggio storico di Viterbo.

All'interno del percorso di lavoro, particolare attenzione è stata rivolta infatti all'integrazione tra dimensione teorica e applicazioni tecnologiche avanzate, come il Web-GIS, gli ambienti immersivi del Metaverso e le piattaforme ludico-educative. Queste tecnologie non sono state impiegate in modo accessorio o dimostrativo, bensì come strumenti funzionali all'elaborazione e alla trasmissione di contenuti geografici, storici e culturali. Tale approccio dimostra la capacità del modello metodologico adottato di essere replicato in contesti differenti, mantenendo rigore scientifico, coerenza interna e apertura a diversi ambiti disciplinari.

Parallelamente, è stato elaborato un impianto teorico finalizzato allo sviluppo futuro di applicazioni digitali a carattere divulgativo e ludico, pensate per trasmettere la memoria storica legata

al conflitto e al rischio UXO, rivolgendosi tanto alle giovani generazioni e al grande pubblico, quanto ad enti ed istituti specializzati in questa tipologia di rischio. Gli ambienti simulativi infatti sono stati concepiti non solo con finalità narrative o ricreative, ma anche come dispositivi formativi e informativi, destinati sia ad un utilizzo professionale, da parte di operatori del settore, sia educativo, secondo una logica partecipativa e situata.

Infine, la scelta di soluzioni tecnologiche flessibili e *open-source*, dove possibile, ha consentito la costruzione di un flusso di lavoro coerente, accessibile e adattabile a differenti contesti, garantendo al contempo interoperabilità dei dati, tracciabilità delle procedure e validità scientifica dei risultati.

Nel quadro d'insieme, si inserisce il titolo dell'elaborato di tesi, “Georeferenziazione e Gamification: strumenti e tecnologie geonarrative per l'interpretazione del rischio inesplosi nel patrimonio culturale”, il quale racchiude un significato duplice, declinato sia sul piano tecnico che metodologico. La “georeferenziazione” va intesa in particolare come il processo tecnico di attribuzione di coordinate spaziali precise a fotografie aeree storiche, documenti di cruciale importanza per la ricerca. Tali immagini, originariamente concepite e impiegate come strumenti strategici per la pianificazione e il controllo militare — finalizzate cioè a individuare gli obiettivi e a verificare l'efficacia dei bombardamenti — hanno nel tempo perso la loro funzione originaria. Il loro utilizzo nel contesto di ricerca restituisce però nuovo valore e significato a tali documenti, elevandoli a strumenti di grande rilevanza non solo documentale, ma anche narrativa e gestionale. Infatti, attraverso la georeferenziazione, le fotografie storiche assumono un ruolo fondamentale nell'indagine legata alla presenza ancora attuale di ordigni inesplosi, consentendo di contestualizzare e localizzare con precisione le aree a rischio all'interno del contesto urbano e del suo patrimonio culturale. Ciò permette di pianificare interventi di tutela e gestione territoriale che siano allo stesso tempo mirati e consapevoli.

Parallelamente, la “gamification” si configura come l'applicazione di dinamiche e meccaniche proprie del gioco a contesti non ludici, con l'intento di rendere l'esperienza di apprendimento e di interazione più coinvolgente, immersiva e partecipativa. L'integrazione dei due elementi costituisce così un approccio originale e multidisciplinare, in cui la georeferenziazione delle fonti storiche fornisce una base solida per la raccolta, l'organizzazione e la visualizzazione spaziale dei dati, mentre la gamification introduce un livello narrativo e interattivo che facilita la fruizione e la comprensione di temi complessi legati al rischio UXO.

A tal proposito, l'integrazione del Metaverso e dei principi di accessibilità digitale rappresentano un elemento fondamentale per ampliare significativamente la fruibilità e l'efficacia della gamification applicata all'interpretazione del rischio legato agli ordigni inesplosi. Il Metaverso,

inteso infatti come ambiente virtuale tridimensionale immersivo e interattivo, offre la possibilità di creare spazi esperienziali innovativi in cui gli utenti possono esplorare in modo diretto e coinvolgente i paesaggi storici e urbani oggetto della ricerca, superando i limiti della fruizione tradizionale su schermo. Esso favorisce non solo un'interazione più profonda e intuitiva con i contenuti narrativi e geospaziali, ma promuove anche una partecipazione attiva e condivisa che si traduce in un apprendimento situato e in un coinvolgimento emotivo più marcato. Contestualmente, l'adozione rigorosa di criteri di accessibilità digitale è fondamentale per garantire che tali esperienze immersive siano effettivamente fruibili da un pubblico il più ampio e diversificato possibile, inclusi utenti con disabilità sensoriali, motorie o cognitive, il che è reso possibile anche dalla compatibilità degli spazi virtuali con una varietà di dispositivi visuali, non solo smartphone e computer, ma anche visori di realtà virtuale.

Di fatto, l'accessibilità si configura come un principio etico imprescindibile che rende la gamification uno strumento inclusivo, capace di abbattere barriere comunicative, spaziali, geografiche e tecnologiche. In questo modo, il connubio tra Metaverso e accessibilità digitale non solo arricchisce la profondità esperienziale degli utenti, ma assicura anche che la conoscenza e la consapevolezza del rischio derivante dagli UXO diventino patrimonio condiviso, rafforzando la dimensione partecipativa e comunitaria della narrazione geografica. Tale approccio integrato contribuisce quindi a trasformare la gamification da mera modalità ludica in una pratica educativa e sociale di grande rilevanza, capace di stimolare responsabilità, dialogo e *governance* consapevole del territorio.

L'integrazione di elementi e le tecnologie geonarrative impiegate non solo potenziano la comunicazione scientifica e divulgativa, ma favoriscono anche un coinvolgimento attivo e consapevole degli utenti, trasformando la percezione del rischio in un processo di conoscenza critica, partecipazione e responsabilità condivisa. Pertanto, si ritiene che il titolo sintetizzi efficacemente l'essenza della ricerca, che si propone di coniugare rigore tecnico e innovazione didattica per affrontare una problematica di grande rilevanza sociale, culturale e civile.

Il lavoro di tesi ha pertanto cercato di dare voce a quei paesaggi di guerra, proponendo strumenti per leggerli con maggiore consapevolezza, e, nel caso di Viterbo, coinvolgere la cittadinanza in un processo di riconoscimento e cura del proprio territorio. La scrittura dei paragrafi ha rappresentato un'esperienza formativa profonda: ha permesso di rileggere con nuovi occhi una città la cui conoscenza, inizialmente solo marginale e occasionale, si è trasformata in un rapporto più consapevole, mediato dalla pratica geografica, storica e archivistica, ma anche dal contatto diretto con le persone, i luoghi e le memorie dimenticate che questo lavoro di tesi ha tentato di ricomporre e valorizzare. La tecnologia, il gioco, la memoria condivisa sono diventati così leve di un cambiamento

possibile: un invito a trasformare ciò che appare come un'eredità scomoda in un'opportunità di conoscenza, dialogo e responsabilità. Come in parte anticipato, la restituzione di senso ai paesaggi segnati dal conflitto si è articolata anche attraverso l'esplorazione di forme comunicative accessibili e coinvolgenti, capaci di attivare processi di memoria condivisa e consapevolezza territoriale. L'integrazione di strumenti digitali, come mappe interattive, contenuti multilingue e percorsi geolocalizzati, ha permesso di avvicinare un pubblico più ampio, trasformando la narrazione storica in esperienza partecipativa e diffusa.

È in questa prospettiva che si collocano le riflessioni conclusive, maturate non solo sul piano teorico e metodologico, ma anche come esito di un confronto costante con il vissuto dei luoghi, delle persone e delle storie che li abitano ancora. Oltre ai risultati espliciti raggiunti, l'elaborato di ricerca, infatti, consente di trarre alcune considerazioni che, pur non enunciate in maniera diretta nel testo, emergono con forza come riflessioni strategiche sul piano teorico, metodologico e applicativo.

Anzitutto, l'interazione tra ricerca storica, strumenti geotecnologici e linguaggi digitali apre a una rinnovata epistemologia della memoria urbana: non più solo archivio di tracce e testimonianze, ma campo dinamico d'interpretazione, partecipazione e trasformazione. L'analisi dei paesaggi bombardati si affranca così da un approccio meramente conservativo o memorialistico, per proporsi come strumento attivo di progettazione culturale e civile. In tal senso, la mappatura dei crateri e il riconoscimento delle aree a rischio di rinvenimento di UXO non rispondono solo a finalità operative (come la bonifica o la pianificazione), ma si caricano di un valore simbolico e pedagogico che connette passato, presente e futuro in una narrazione condivisa.

Lo studio dei crateri di bomba visibili nelle fotografie aeree storiche, infatti, si rivela funzionale non solo alla definizione del rischio legato al possibile rinvenimento di ordigni inesplosi, ma anche alla comprensione dell'impatto profondo e diffuso che il fenomeno bellico ha avuto sul suolo urbano e non urbano di Viterbo, in particolare sul patrimonio monumentale e, di riflesso, sul vissuto della città. La mappatura e la lettura critica di tali crateri permette, nel caso specifico, di restituire una cronologia precisa e dettagliata dei bombardamenti, monumento per monumento, individuando episodi distruttivi spesso trascurati o non sufficientemente documentati, e consentendo di definire le dinamiche ricostruttive del secondo dopoguerra che, come emerso dall'analisi, hanno alterato in modo significativo l'aspetto originario di edifici, strade e impianto urbano. Tali trasformazioni, oltre a modificare materialmente l'identità storica e architettonica dei luoghi, hanno spesso reso irriconoscibili le fasi costruttive originarie e le appartenenze cronologiche di mura, palazzi storici e chiese, trasformando l'aspetto della città in modo permanente e rendendo difficile, nel vissuto quotidiano attuale, percepire la portata di tali cambiamenti.

All'interno di questo quadro interpretativo, una lettura critica della città – supportata da dati geografici e storici accuratamente elaborati – diventa uno strumento fondamentale per restituire senso e profondità ai luoghi urbani, contribuendo a risignificare e risemantizzare quegli spazi oggi percepiti come anonimi, marginali o abbandonati. In tal modo, si attiva un processo di riappropriazione critica e consapevole del territorio da parte della popolazione, che riconosce nei luoghi la stratificazione dei significati storici e l'impronta degli eventi che li hanno trasformati.

Inoltre, un'ulteriore utilità dello studio dei crateri consiste nella possibilità di ricostruire le traiettorie di volo e di attacco degli aerei bombardieri. Analizzando le disposizioni spaziali e l'orientamento delle sequenze di crateri, è infatti possibile dedurre le direzioni dei bombardamenti e collegare le traiettorie agli impatti rilevati su edifici e monumenti, anche in quei casi in cui le date degli attacchi risultano incerte o prive di documentazione scritta. L'elaborazione incrociata di tali dati con le fotografie aeree e altre fonti storiche consente quindi di colmare lacune conoscitive importanti, restituendo una narrazione spaziale e cronologica precisa del conflitto e dei suoi effetti sul tessuto urbano. Si tratta pertanto di adottare un approccio, che integra analisi iconografica, metodologia geografica e consapevolezza storica, in grado di potenziare non solo la conoscenza del rischio UXO, ma anche la comprensione critica del presente urbano, offrendo strumenti per un dialogo consapevole con il passato e per una gestione informata e partecipata del patrimonio culturale e territoriale.

Ne consegue la necessità di sviluppare modelli interpretativi sempre più integrati, in cui le dimensioni storiche, tecnologiche e partecipative concorrano a generare nuovi significati spaziali e sociali, restituendo ai luoghi colpiti dal conflitto una funzione attiva nella costruzione della memoria pubblica e nella promozione di pratiche urbane consapevoli.

Dal punto di vista tecnico-scientifico, il lavoro ha voluto indagare la capacità delle tecnologie digitali non solo di rappresentare la complessità, ma anche di renderla navigabile, accessibile e comprensibile a pubblici differenti. L'utilizzo del Web-GIS, la progettazione di ambienti immersivi e lo sviluppo di *serious games* confermano come la digitalizzazione, se guidata da intenti educativi e inclusivi, possa superare il semplice scopo documentativo per diventare strumento di *empowerment* conoscitivo e culturale. L'interazione uomo-macchina, in una simile cornice, si rivela una forma avanzata di apprendimento situato, in cui il sapere non è più univocamente trasmesso, ma esplorato, personalizzato, esperito. In tale prospettiva potrebbe rientrare l'idea di integrare i percorsi digitali con dispositivi fisici dislocati lungo la viabilità urbana, quali QR code posizionati in punti strategici, con l'obiettivo di garantire un accesso immediato e contestuale ai contenuti divulgativi tematici. Tale proposta, da intendersi come una delle possibili prospettive future del progetto di ricerca, ha l'obiettivo di valorizzare l'esperienza diretta nei luoghi, promuovendo un'interazione consapevole tra cittadino e territorio attraverso strumenti capaci di coniugare memoria, conoscenza e tecnologia. Allo

stesso tempo, si sottolinea la necessità di adottare criteri rigorosi di accessibilità al sistema Web-GIS, fondati su principi di cautela e proporzionalità, in particolare per quanto concerne i contenuti relativi alla mappatura dei crateri e alla *heatmap* della loro concentrazione, strettamente connessi al rischio di rinvenimento di ordigni inesplosi. Tale approccio è finalizzato a prevenire allarmismi ingiustificati e a evitare restrizioni indebite nell'utilizzo quotidiano degli spazi urbani. In definitiva, si persegue un bilanciamento equilibrato tra trasparenza informativa e responsabilità sociale, assicurando che la condivisione dei dati avvenga in modo mirato, protetto e funzionale agli obiettivi di sicurezza pubblica e valorizzazione culturale.

Un ulteriore aspetto che merita enfasi riguarda il valore della simulazione non soltanto come esercizio didattico o addestrativo, ma come pratica epistemica in grado di anticipare scenari, testare soluzioni e generare consapevolezza operativa. Il simulatore tecnico-strategico per la gestione del rischio UXO, in tal senso, può evolvere in uno strumento di pianificazione preventiva che consente di integrare la cultura del rischio nei processi decisionali quotidiani, coinvolgendo non solo tecnici ed esperti, ma anche decisori politici e cittadini attivi. Tale approccio integrato favorisce la costruzione di una *governance* partecipata e informata, capace di promuovere strategie di intervento più efficaci e sostenibili nel lungo termine.

La ricerca ha, inoltre, messo in evidenza quanto la questione UXO non possa più essere considerata una tematica residuale o emergenziale, ma una componente strutturale del governo del territorio, che impone un aggiornamento delle *policy*, delle normative e dei sistemi informativi pubblici. Il vuoto normativo evidenziato, in particolare rispetto alla tutela dei beni culturali e archeologici, indica l'urgenza di un cambio di paradigma: occorre passare da un approccio reattivo, basato sulla gestione episodica delle emergenze, a un modello proattivo e sistemico, che includa la memoria bellica e il rischio connesso nella gestione ordinaria dello spazio urbano. A rafforzare ulteriormente tale approccio, si inserisce il significativo riscontro ottenuto nel corso del progetto di ricerca attraverso il confronto diretto tra la mappatura dei crateri di bomba visibili nelle fotografie aeree storiche e l'ultimo ritrovamento di un ordigno bellico inesploso nel comune di Viterbo, avvenuto nel febbraio 2024. L'episodio, oltre a confermare l'accuratezza e l'attendibilità del metodo adottato, dimostra concretamente la rilevanza, la necessità e la concreta utilità di un approccio integrato che combini analisi storiche e strumenti di rilevamento spaziale. Si ritiene opportuno evidenziare, pertanto, la possibilità di valutare l'integrazione dei dati cartografici attualmente disponibili con quelli provenienti dalle più recenti operazioni di bonifica. Tale proposta mira a contribuire a una riduzione più significativa della percentuale stimata di ordigni inesplosi ancora presenti nel sottosuolo, migliorando così l'accuratezza delle mappe e la gestione del rischio associato. In tal senso, disporre di uno strumento GIS quale base metodologica della ricerca rappresenta un

elemento cruciale, poiché consente la costante implementazione e aggiornamento delle informazioni, garantendo così una gestione dinamica e precisa dei dati nel tempo, essenziale per supportare efficacemente la sicurezza per le comunità locali, le attività di bonifica e una pianificazione territoriale più consapevole e sostenibile, capace di includere il patrimonio storico e le sue implicazioni nel presente.

Da ciò deriva l'importanza, per le istituzioni, di investire nella formazione di nuove figure professionali ibride, capaci di coniugare saperi tecnici, storici e comunicativi. L'innovativa figura dell'esperto in "*digital public geography*" applicata al rischio bellico, come quella del "progettista di ambienti ludico-simulativi" per la valorizzazione del patrimonio a rischio, rappresentano due esempi concreti di profili emergenti che potrebbero trovare collocazione nei contesti pubblici e privati della gestione territoriale, della didattica innovativa, della protezione civile e della valorizzazione culturale.

Nel solco di queste prospettive, si evidenzia anche la necessità di una maggiore internazionalizzazione della ricerca sul rischio di rinvenimento di UXO in Italia, promuovendo confronti tra città europee che condividono simili esperienze belliche e post-belliche. Un lavoro simile potrebbe essere esteso a ogni Stato europeo che è stato soggetto a conflitti moderni, previa un'attenta verifica preliminare della disponibilità e della qualità del materiale fotografico e documentale necessario per condurre analisi analoghe. A tal fine, sono stati individuati archivi di rilevante importanza e valore storico che potrebbero costituire una fonte preziosa per future ricerche comparative a livello continentale. Tra essi, si segnalano l'archivio americano NARA (*National Archives and Records Administration*), riconosciuto a livello internazionale per l'ampiezza e la qualità delle sue collezioni di documenti e fotografie storiche; l'archivio britannico NCAP (*National Collection of Aerial Photography*), che raccoglie un vasto patrimonio di immagini aeree; e la collezione fotografica della RCAhMS (*Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Scotland*), la quale rappresenta una risorsa fondamentale per lo studio e la tutela del patrimonio storico scozzese. La disponibilità di tali archivi, combinata con l'adozione di metodologie di ricerca innovative e integrate, potrebbe favorire lo sviluppo di un approccio comparativo e interdisciplinare in grado di arricchire la conoscenza condivisa sui rischi legati alla presenza di ordigni inesplosi, nonché di promuovere una cooperazione più stretta tra le istituzioni europee impegnate nella gestione, nella sicurezza e nella valorizzazione dei territori interessati da tale tipologia di rischio. La dimensione comparativa, in sinergia con le reti digitali già attive in ambito accademico e museale, potrebbe portare inoltre alla costruzione di un atlante storico-digitale europeo dei paesaggi bombardati, utile sia alla ricerca che alla cooperazione in ambito di sicurezza urbana e memoria culturale.

All'interno del quadro più ampio e articolato, assume particolare rilievo anche l'idea di ampliare le lingue disponibili all'interno della *Voice Map*, uno dei livelli interattivi integrati nel sistema GIS sviluppato per la ricerca, al fine di rendere i contenuti multimediali accessibili a un pubblico internazionale sempre più ampio e diversificato. L'implementazione di tale proposta rappresenterebbe non solo un'opportunità per superare le barriere linguistiche, ma anche un contributo significativo alla diffusione inclusiva della conoscenza storico-geografica, facilitando un coinvolgimento partecipativo e interculturale degli utenti. Tale ampliamento linguistico, combinato con le potenzialità offerte dagli strumenti digitali e dalle reti collaborative esistenti, favorirebbe una maggiore consapevolezza e valorizzazione del patrimonio storico europeo, promuovendo un dialogo condiviso fondato sulla responsabilità collettiva e l'integrazione culturale.

Infine, alla base dello studio e dell'elaborazione della tesi vi è la portata trasformativa insita nella metodologia: un approccio integrato, partecipativo e trasformativo che, senza rinunciare al rigore scientifico, ambisce a restituire al territorio e ai suoi abitanti una nuova consapevolezza. Perciò, il lavoro di ricerca non si è limitato a studiare il passato, ma ha voluto incentrarsi sulla possibilità di verificare l'adeguatezza di alcuni strumenti per abitare in modo più critico, sicuro e condiviso il presente e il futuro. Strumenti di valore, soprattutto per l'elevata replicabilità, resa possibile dall'impiego di software e ambienti informatici flessibili e accessibili, che consentono l'adattamento del flusso di lavoro a contesti diversi, garantendo coerenza, scalabilità e continuità nelle applicazioni future.

In conclusione, il lavoro di tesi pur rappresentando un punto d'arrivo nel percorso dottorale, si propone come elemento strategico, per metodi e strumenti adottati, nel settore della ricerca del rischio inesplosi. La finalità è dimostrare che l'innovazione tecnologica, se coniugata con profondità storica e responsabilità sociale, può alimentare riflessioni e, forse, nuovi filoni di studio, diventando la chiave per affrontare in modo consapevole le eredità più problematiche del passato dei nostri territori e offrendo un'opportunità di un futuro più responsabile.

Bibliografia

- Adamesteanu D. (1957), *Fotografia aerea ed i problemi archeologici della Sicilia*, in Atti del V Convegno Nazionale della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia, Palermo, 1957, «Bollettino Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia», 2-3, pp. 76-85.
- Adami A. (2015), *4D City transformations by time series of aerial images*, in The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W4, 2015 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25-27 February, Avila, Spain, pp. 339-344, DOI:10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-339-2015
- Albertazzi D., Gitirana Gomes Ferreira M., Forcellini F. A. (2019), *A Wide View on Gamification*, in Technology, Knowledge and Learning 24:191–202. <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9374-z>
- Annunziata S., Mattiucci C. (a cura di) (2013), *La città in gioco / Playing the City*, numero monografico di *Lo Squaderno*, No. 27, March
- Antonacci F., Bartolo M., Mariani I. (2017), *In migrants' shoes. A game to raise awareness and support long-lasting learning*, in Italian Journal of Educational Technology, 25 (1), pp. 55-68
- Archer C., Ferris J. R., Herwig H. H., Travers T. (2002). *World history of warfare*, Lincoln: University of Nebraska Press, <http://hdl.handle.net/2027/heb.30938.0001.001>
- Arnheim R. (1954-1974), *Art and Visual Perception: a Psychology of the Creative Eye*. University of California; trad. it. (1962-19783), *Arte e percezione visiva*. Milano: Feltrinelli
- Azzari M. e Andreani G. (2008), *Tecniche GIS per lo studio dei territori a rischio*, in Azzari M., Andreani G. e Favretto A. et al. (a cura di), *Acqua, risorsa e bene culturale. Sistemi Informativi Geografici per il monitoraggio, la gestione e la tutela delle acque*, Pisa, Kinzica, pp. 1-15
- Baldini I., Baldassarri P. (2009), *Il progetto Siria: una proposta di archiviazione, ricerca e presentazione dati per Gortina e Mitropolis*, in Lanx, 4, pp. 73-86
- Baldoli C. e Knapp A. (2012). *Forgotten Blitzes: France and Italy Under Allied Air Attack, 1940-1945*, London: Continuum, Bloomsbury Publishing
- Ball L. F. e Dobbins J.J. (2017), *Pompeii Forum Project: Excavation and Urbanistic Reappraisals of the Sanctuary of Apollo, Basilica, and Via della Fortuna Neighborhood*, in American Journal of Archeology, Vol. 121, N. 3 (July), pp. 467-503, DOI: 10.3764/aja.121.3.0467
- Ball, M. (2022), *The metaverse: and how it will revolutionize everything*, Chicago, Turabian
- Barone P. M. (2019), *Bombed Archaeology: towards a precise identification and a safe management of WWII's dangerous unexploded bombs*, Heritage, 2 (4), pp. 2704-2711
- Bartle R. (2003), *Designing Virtual Worlds*. New Riders, US
- Bartle R. A. (1996), *Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit muds*. Colchester: Muse Ltd. Essex. United Kingdom
- Bedwell W. L., Pavlas D., Heyne K., Lazzara E. H., Salas E. (2012), *Toward a Taxonomy Linking Game Attributes to Learning: An Empirical Study*, in Simulation & Gaming 43 (6), pp. 729–760

- Benedetti B., Gaiani M., Remondino F. (2010), *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei*, Scuola Normale Superiore, Pisa
- Benvenuti S. (2023), *Urban Game: una lettura pedagogica*, in Fioretti S. (a cura di) op. cit., *Il valore educativo del gioco. Gamification e game based learning nei contesti educativi*. FrancoAngeli, Milano
- Bianchini M. (2008), *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia*, Aracne editrice, Roma 2008
- Birò G. I. (2014), *Didactics 2.0: A Pedagogical Analysis Of Gamification Theory From A Comparative Perspective With A Special View To The Components Of Learning*, in Social and Behavioral Sciences 141 (2014), pp. 148 – 151
- Bitelli G., Goni L., Inglese R., Macini P., Mesini E., Miceli R., Torricelli M. P., Zamagni V. (2016), *L'ingegneria della Grande Guerra 1915-1918. Incontro di studio e mostra bibliografica sugli aspetti tecnologici del primo conflitto mondiale*, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna- Alma DL
- Boemi M. F. (1999). *Introduzione all'uso delle fotografie aeree*, AEROFOTOTECA - I. C. C. D., Roma 1999, pp. 1-27
- Boemi M. F. (2003). *La nascita dell'Aerofototeca, Le raccolte Aerofotografiche*, in Guaitoli M. (eds.), *Lo sguardo di Icaro. Le collezioni dell'Aerofototeca Nazionale per la conoscenza del territorio*, Roma 2003, pp. 23-26 e 29-31
- Bogdani J. (2009), *GIS in Archeologia*, in Giogi E. (a cura di), *Groma 2. In profondità senza scavare. Metodologie di indagine non invasiva e diagnostica per l'archeologia*, Bologna, pp. 421 – 438
- Bogliolo A. (2023), *Pensiero computazionale e gioco in ambienti educativi*, in Fioretti S. (a cura di) op. cit., *Il valore educativo del gioco. Gamification e game based learning nei contesti educativi*. FrancoAngeli, Milano
- Boulos, M., Lu, Z., Guerrero, P., Jennett, C., Steed, A. (2017), *From urban planning and emergency training to Pokémon Go: applications of virtual reality GIS and augmented reality GIS in personal, public and environmental health*, in International Journal of Health Geographics, 16:7, pp.1-11, doi: 10.1186/s12942-017-0081-0.
- Bradford, J. (1949). 'Buried landscapes' in southern Italy. In *Antiquity*, 23(90), pp. 58-72, <https://doi.org/10.1017/S0003598X00020056>
- Bradford, J., e Williams-Hunt, P. (1946). *Siticolosa Apulia*. In *Antiquity*, 20(80), pp. 191-200. <https://doi.org/10.1017/S0003598X0001629X>
- Breg Valjavec M., Zorn M., Ribeiro D. (2018). *Mapping War Geoheritage: Recognising Geomorphological Traces of War*, De Gruyter, Open Geosci. 2018; 10: pp. 385–394. <https://doi.org/10.1515/geo-2018-0030>
- Brenner, S., Zambanini S., Sablating R. (2018). *Detection of bomb craters in WWII aerial images*, Proceedings of the OAGM Workshop, pp. 94–97. DOI: 10.3217/978-3-85125-603-1-20
- Brown L. (1999), *A Radar History of World War II. Technical and Military Imperatives*, IOP Publishing Ltd, Londra

Brown S. (2013), *Gioca! Come il gioco può formare la mente, aprire l'immaginazione e costruire la felicità*, Ultra, Roma

Bruni F. (2014), *Jane McGonigal, La realtà in gioco. Perché i giochi ci rendono migliori e come possono cambiare il mondo. Milano: Apogeo (2011)*, in Form@re, Open Journal per la formazione in rete, Numero 3, Volume 14, anno 2014, Firenze University Press, pp. 94-95, DOI: <http://dx.doi.org/10.13128/formare-15277>

Caillois R. (1958), *I giochi e gli uomini. La maschera e la vertigine*. Bompiani, Milano

Camagni P., Nikolassy R., Della Puppa M. (2005), *SQL. Il Linguaggio per le basi di dati*, Hoepli, Milano

Camagni P., Nikolassy R., Della Puppa M., *SQL. Il Linguaggio per le basi di dati*, Hoepli, Milano 2005

Campa RF. (2006), *Transumanesimo*, in Mondoperaio n. 4-5, luglio - ottobre 2006, pp. 148-153

Capone A. (2020), *Edu-larp e didattica della storia: la storia, un'esperienza infinita*, in Maragliano A. (a cura di), *Edu-larp. Game Design per giochi di ruolo educativi*, FrancoAngeli, Milano, pp. 197-207

Capps-Tunwell, D., Passmore D., Harrison S. (2015), *Landscape Archaeology of World War Two German Logistics Depots in the Forêt domaniale des Andaines, Normandy, France*, International Journal of Historical Archaeology 19: pp. 233–261. DOI:10.1007/s10761-015-0287-4

Carbone L. (2024), *Il Metaverso e le sue implicazioni geografiche*, in Cruppi G., Gensini S., Pesaresi C., Romeo C., Toscano S. (a cura di), *Quaderni del dottorato in Scienze documentarie, linguistiche e letterarie*. 2. Prismi, Ledizioni, Milano, pp. 81-96

Carbone L. (2019), *Versioni e visioni della e-narrazione dell'urban sensing*, GEOTEMA 59, pp. 70-77

Carbone L. (2009), *Lo spazio e il tempo della virtualità*, in Corna Pellegrini G. e Paradiso M. (a cura di), *Nuove comunicazioni globali e nuove geografie*, CUEM, Milano.

Carls H.-G. e Müller W. (2007), *Actuality of the past – WWII aerial photographs “JARIC” for modern bomb disposal*, in Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation, Nr. 7 (2007): pp. 121–129

Carls H.-G. Glaser, R. Heck H.-G. (2000). *Luftbilder 1938-1958 zur Bundesrepublik Deutschland, Archive, Charakteristika, Nutzungspotentiale und digitale Auswertemöglichkeiten*, in Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation PFG, 2000 (1) S. pp. 33-48

Carter K. C., Muller R. (1991). *Combat Chronology 1941- 1945*, U.S Army Air Forces in World War II, Center for Air Force History Washington, DC

Catolfi A. (2015), *Il racconto per immagini e il 3D cinematografico come sistema ludico*. In Catolfi A. e Giordano F. (a cura di), *L'immagine videoludica. Cinema e media digitali verso la gamification*. Ipermedium libri, S. Maria C.V (CE), pp. 49-59.

- Catolfi A. e Giordano F. (2015), *Profili altimetrici e tavolette pretoriane: Gamification, una geografia*. In Catolfi A. e Giordano F. (a cura di), *L'immagine videoludica. Cinema e media digitali verso la gamification*. Ipermedium libri, S. Maria C.V (CE), 9-36
- Cavaliere M., Mainardi Valcarengi G., Novellini A. (2009), *Il rilievo fotogrammetrico: un metodo alternativo di documentazione dello scavo archeologico. Casi applicativi presso la villa romana di Aiano – Torracchia di Chiusi (SI)*, in The Journal of Fasti Online, Associazione Internazionale di Archeologia Classica, pp.1-10, <http://www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2009-147.pdf>
- Cecalupo M. (2014), *Tutta nostra è la città. Eco-orienteering urbano per conoscere il centro storico di Reggio Emilia*, in “Mundus”, n. 7/8, pp. 196-203
- Ceraudo G. (1999), *Introduzione all'aerofotogrammetria applicata all'archeologia*, Il Grande Blu, Ponza
- Ceraudo G. (2004). *Un secolo e un lustro di fotografia aerea archeologica in Italia (1899-2004)*, in Ceraudo G. e Piccarreta F. (eds.), *Archeologia Aerea*. Studi di Aerotopografia Archeologica I, Roma, pp. 47-67
- Ceraudo, G. e Shepherd, E.J. (2010). *Italian Aerial Photographic Archives: Holdings and Case Studies*, in Cowley D. et al. (eds.), *Landscapes Through the Lens: Aerial Photographs and the Historic Environment*. Oxbow Books, Oxford, pp. 237-46
- Ceresa G. C., Bielli M. (2022), *L'edu-larp come medium nella didattica delle discipline geografiche. Il caso Landless**, in Giudici S., Macchia P. (a cura di), *Dialoghi intorno alle geografie*, Pisa Press University, pp. 135-146
- Certeau, M. De (1980), *L'invention du quotidien, I. Arts de faire*, Union générale d'éditions, FOLIO ESSAIS, Paris
- Choi, S. Y., Ryu, J. H., Noh, Y. (2020). *Development and evaluation of a virtual reality-based fire safety training simulation*. *Fire Technology*, 56 (1), 217-239.
- Cinganotto L. (2023), *La gamification nella didattica digitale delle lingue in ambienti 3D: esempi e esperienze*, in Fioretti S. (a cura di) op. cit., *Il valore educativo del gioco. Gamification e game based learning nei contesti educativi*. FrancoAngeli, Milano
- Coccoli C. (2010), *I «Fortilizi inespugnabili della civiltà italiana»: la protezione antiaerea del patrimonio monumentale italiano durante la seconda guerra mondiale*, in Pensare la prevenzione, Manufatti, usi, ambienti, Atti del XXVI Convegno di Studi “Scienza e beni Culturali”, Bressanone 13-16 luglio 2010, pp. 409-418
- Codd E.F. (1970), *A relational model of data for large shared data banks*, in Communications of the ACM, 13(6), Giugno, pp. 377-387
- Colley, A., Thebault-Spieker, J., Lin, A. Y., Degraen, D., Fischman, B., Häkkinen, J. Wenig, D. (2017), *The geography of Pokémon GO: beneficial and problematic effects on places and movement*. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, pp. 1179-1192
- Cooper, P. W. (1937). *Explosives engineering*. John Wiley & Sons, Wiley-VCH.

- Cortellazzo e Zolli (1985) Cortellazzo M. e Zolli P. (1985), *Dizionario etimologico della lingua italiana*, (vol. 4, O-R, 1985), Zanichelli, Bologna.
- Cowley D. C. e Stichelbault B. B. (2012). *Historic Aerial Photographic Archives for European Archaeology*, in *European Journal of Archaeology* 15 (2) 2012, pp. 217–236, <https://doi.org/10.1179/1461957112Y.00000000010>
- Curzel V. (2015). *Fotografia, territorio, paesaggio: elementi per una strategia della memoria e del progetto*, in Curzel V., Toffolon B., *Fotografia, territorio, paesaggio*, Provincia Autonoma di Trento – tsm Trentino School of Management (coordinamento editoriale), Trento
- Cziksentmihalyi M. (1975), *Beyond Boredom and Anxiety*, Jossey-Bass Publisher, Washington
- Cziksentmihalyi M. (1990), *Flow: The psychology of optimal experience*, Harper and Row, New York
- Cziksentmihalyi M. (1997), *Creativity. Flow and the psychology of discovery and invention*, Harper Collins, New York
- Cziksentmihalyi M. (2014), *Flow and Foundation of positive psychology*, Springer, Dordrecht
- D'Andrea A., Niccolucci F. (2001), *L'informatica dell'archeologo: Alcune istruzioni per l'uso*, in *Archeologia e Calcolatori*, 12, pp. 199-220
- D'Apostoli R. (2012), *Manuale di topografia*, Maggioli editore, Santarcangelo di Romagna
- Dalla Mura M., Nex F. C., Remondino F., Zanin M. (2012), *Integrazione del DSM fotogrammetrico e analisi avanzata delle immagini per la classificazione delle aree urbane*, in Bruzzone L. (a cura di), *Atti di elaborazione dell'immagine e del segnale per il telerilevamento XVII*, 24-26 settembre, Edimburgo, Regno Unito (Atti di SPIE 8537) Bellingham, USA, pp. 1-11
- Del Vecchio U., Pani D., Piccini L. (2015), *Una nuova struttura per un database di gestione del catasto delle grotte*, in *Atti del XXII Congresso Nazionale di Speleologia "Condividere i dati"* (Pertosa-Auletta, 30 maggio – 2 giugno 2015), pp. 77-81
- Dell'Unto N., Landeschi G. (2022), *Archaeological 3D GIS*, Routledge, Oxon e New York
- Dennis G. (2007). *Orte, il Monte Cimino, Viterbo, Ferento, Bomarzo, Montefiascone, da The Cities and Cemeteries of Etruria*, in Tamburini P. (eds.), traduzione di Domenico Mantovani, Nuova immagine Editrice, Siena
- Deterding S., Dixon D., Khaled R., Nacke L. (2011), *From Game Design elements to Gamefulness: Defining "Gamification"*, in *MindTrek 11 Proceedings of the 15th International Academic Mind Trek conference: Envisioning Future Media Environments*, New York.
- Dewey J. (2014), *Esperienza e educazione*, Raffaello Cortina editore, Milano
- Di Prospero G. (2012). *Viterbo in guerra. La seconda guerra mondiale raccontata dai viterbesi*, Intermedia editore, Viterbo
- Dolej M., Samekb V., Veselýc M., Elznicová J. (2020). *Detecting World War II bombing relics in markedly transformed landscapes (city of Most, Czechia)*, in *Applied Geography* 119 (2020) 102225, pp. 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102225>

Duarte, L., Queirós, C., Teodoro, A. C. (2021). *Comparative analysis of QGIS plugins for Web Maps creation*. In La Granja, Revista de Ciencias de la Vida 34(2), pp. 8-26. <https://doi.org/10.17163/lgr.n34.2021.01>

Eberle S. G. (2014), *The elements of Play. Toward a Philosophy and a Definition of Play*, in Journal of Play, vol. 6. N. 2, pp. 214-233

Eco U. (1973), *Homo ludens oggi*, in Huizinga J., *Homo ludens*, Einaudi, Torino, introduzione.

Fanchi M. e Scussolin A. (2015), *Strange games. Rete, esperienze ludiche e processi di rigenerazione dello spazio urbano*, In Catolfi A. e Giordano F. (a cura di), *L'immagine videoludica. Cinema e media digitali verso la gamification*. Ipermedium libri, Santa Maria C.V, pp. 139 - 152

Farrington J. (2011), *The Research: Myths Worth Dispelling. Seriously, the Game is up*, in Performance Improvement Quarterly, 24, pp. 105-110

Favretto A., Montagnari M., Vidulli M., Moser S. (2019), *Database relazionali e "NoSQL". Alcuni spunti per un corretto inquadramento delle metodologie*, in atti della Conferenza Nazionale di Geomatica e Informazione Territoriale ASITA 2019 (Trieste, 12-14 Novembre), pp. 425-43

Fede G., Bergagnin S., Sassone R. (2017), *Linee guida per la valutazione del rischio da ordigni bellici inesplosi*, Aprile, Consiglio Nazionale degli Ingegneri

Fernández García F. (2015), *Fotografía aérea histórica e historia de la fotografía aérea en España*, Eria, 98, Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo, pp. 217-240, <https://doi.org/10.17811/er.98.2015.217-240>

Ferri G., Coppock P. J. (2013), *Serious Urban Games. From play in the city to play for the city*, in Tosoni S., Tarantino M., Giaccardi C. (a cura di), *Media and the City: Urbanism, Technology, and Communication*, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne (UK), pp. 120-134

Ferri W. (1992). *Fotogrammetria ed archeologia: acquisizione ed elaborazione dei dati*, in Bernanrdi M. (eds.), *Archeologia del Paesaggio*, I, Firenze, pp. 391-442

Ferrucci B. (2009). *Costruzione di un Sistema Informativo Geografico Digitale per analisi Ambientali*, [Dissertation thesis], Alma Mater Studiorum Università di Bologna. Dottorato di ricerca in Ingegneria energetica, nucleare e del controllo ambientale, 21 Ciclo. DOI 10.6092/unibo/amsdottorato/1537

Fink E. (1965), *Spiel als Weltsymbol*, Stuttgart, Kohlhammer; trad. italiana (1969), *Il gioco come simbolo del mondo*, Lerici, Roma.

Fioretti S. (2023)a, *Gamification: potenzialità e prospettive educative*, in Fioretti S. (a cura di) op. cit., *Il valore educativo del gioco. Gamification e game based learning nei contesti educativi*. FrancoAngeli, Milano pp. 71-80

Fioretti S. (2023)b, *Gioco, caratteristiche ludiche e apprendimento*, in Fioretti S. (a cura di) op. cit., *Il valore educativo del gioco. Gamification e game based learning nei contesti educativi*. FrancoAngeli, Milano pp. 15-31

Fioretti S. (2023)c, *Il valore educativo del gioco. Gamification e game based learning nei contesti educativi*. FrancoAngeli, Milano

- Floridi L. (2017), *La quarta rivoluzione. Come l'infosfera sta trasformando il mondo*, Raffaello Cortina, Milano
- Floridi, L. (2022), *Etica dell'intelligenza artificiale. Sviluppi, opportunità, sfide*. Raffaello Cortina Editore
- Franchi E. (2006), *Arte in Assetto di guerra*. Edizioni ETS. Firenze
- Francis, R. A. (2011). *The impacts of modern warfare on freshwater ecosystems*, in *Environmental Management* 48 (5), pp. 985-999, DOI: 10.1007/s00267-011-9746-9
- Fu, Y. e Li, R. Qi. (2023), *A Virtual Reality–Based Serious Game for Fire Safety Behavioral Skills Training*. In *International Journal of Human-Computer Interaction*. 40. 1-17. 10.1080/10447318.2023.2247585.
- Furlanello C., Merler S., Menegon S., Paoli E., Fontanari S., (2004). *Mapping the Risk of Unexploded Bombs from World War TWO in 3rd and 4th Italian GRASS users meeting proceedings*, Geomatics Workbooks, vol. 3, February. <https://www.researchgate.net/publication/255661659>
- Gaffney C., Gater J., Saunders T., Adcock J. (2004). *D-Day: Geophysical Investigation of a World War II German Site in Normandy, France*, John Wiley & Sons, Ltd., *Archaeological Prospection* Archaeol. Prospect. 11, pp. 121–128, <https://doi.org/10.1002/arp.233>
- Gaiani M. (2011). *Prefazione*, in. De Luca L, *La fotomodellazione architettonica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo
- Garcia y Garcia L. (2006), *Danni di Guerra a Pompei. Una dolorosa vicenda quasi dimenticata. Con numerose notizie sul «Museo Pompeiano» distrutto nel 1943*, L'Erma di Bretschneider, Roma
- García, C., Ginard-Bujosa, A., Petrus, J. M. (2021), *Interés geoestratégico de las Islas Baleares y actividades de reconocimiento aéreo de la Royal Air Force (1941-1944)*, in *Investigaciones Geográficas* N° 75, enero-junio de 2021, Instituto Interuniversitario de Geografía Universidad de Alicante, pp. 187-202, <https://doi.org/10.14198/INGEO.17692>
- Garfi S. (2019). *Conflict Landscapes. An Archaeology of the International Brigades in the Spanish Civil War*, Archaeopress Publishing Ltd Summertown Pavilion pp.18-24 Middle Way Summertown Oxford OX2 7LG
- Garris R., Ahlers R., Driskell J. E. (2002), *Games, Motivation, and Learning: A Research and Practice Model*, in *Simulation & Gaming*, 33 (4), pp. 441-467
- Gavish, N., Gutiérrez, T., Traum, M., Koller, D. (2015). *Virtual reality for safety training*. In *ACM SIGGRAPH 2015 Courses*, pp. 1-28
- Gee P. J. (2003), *What video games have to teach us about learning and literacy*, Ralgrave/St. Martin's, New York.
- Gee P. J. (2013), *Come un videogioco. Insegnare e apprendere nella scuola digitale*, Raffaello Cortina, Milano
- Gherdevich D. (2015), *Il GIS, le fotografie aeree e le analisi spaziali: struttura, finalità e risultati*, in Colussa S., Gherdevich D., Gonizzi Barsanti (a cura di), *Itinerari storico archeologici per la*

conoscenza del Friuli Longobardo, Journal of Ancient Topography, Rivista di topografia antica, Supplemento IX, Mario Congedo Editore, Isbn 9788867661237, pp. 59-104

Gheyle W., Stichelbaut B., Saeyc T., Notec N., Van den Berghed H., Van Eetvelded V., Van Meirvenne M., Bourgeois J. (2018). *Scratching the surface of war. Airborne laser scans of the Great War conflict landscape in Flanders (Belgium)*, in Applied Geography 90 (2018) pp. 55–68. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.11.011>

Giordano F. (2015), *Perché la Gamification? Ludico e ludicizzazione, definizioni ed effetti*. In Catolfi A. e Giordano F. (a cura di), *L'immagine videoludica. Cinema e media digitali verso la gamification*. Ipermedium libri, Santa Maria C.V, pp. 69-86

Going C. (2002). *Historical aerial imagery: a wasted resource?* In The agi conference at GIS 2002 Bo8.2, pp. 1-5

Gorsevski, V., Geores M. E., Kasischke E. (2013). *Human dimensions of land use and land cover change related to civil unrest in the Imatong Mountains of South Sudan*. Applied Geography 38, pp.64-75. DOI:10.1016/j.apgeog.2012.11.019

Graham, M., Zook, M., Boulton, A. (2013), *Augmented reality in urban places: contested content and the duplicity of code*. In Transactions of the Institute of British Geographers, 38 (3), pp. 464-479

Groppi F., Vigliotti D., Lanteri L., Agresti G., Casoli A., Laureti S., Ricci M., Pelosi C. (2021). *Advanced documentation methodologies combined with multi-analytical approach for the preservation of 18th century architectural decorative elements at Palazzo Nuzzi in Orte (central Italy)*. International Journal of Conservation Science. Volume 12, Issue 3, July-September 2021, pp. 921-934.

Guaitoli M. (2003), *Lo sguardo di Icaro. Collezioni dell'Aerofototeca Nazionale per la conoscenza del territorio*, Campisano editore 2003, Roma

Hanson, H. (2011). *War and biodiversity conservation: the role of warfare ecology*. *Warfare Ecology*. In NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, pp. 125- 132, https://doi.org/10.1007/978-94-007-1214-0_9

Hanson, T., Brooks T. M., Da Fonseca G. A. B., Hoffmann M., Lamoreux J. F., Machlis G., Mittermeier C. G., Mittermeier R. A., Pilgrim J. D. (2009). *Warfare in biodiversity hotspots*, Conservation Biology 23 (3), pp. 578-587. DOI:10.1111/j.1523-1739.2009.01166.x

Haraway D. (1995), *Manifesto cyborg: donne, tecnologie e biopolitiche del corpo*, Feltrinelli, Milano

Haraway D. (1997), *Testimone_Modesta@FemaleManC_incontra_ OncoTopoTM: femminismo e tecnoscienza*, Feltrinelli, Milano

Haraway D. (2003), *Compagni di specie: affinità e diversità tra esseri umani e cani*, Sansoni, Milano,

Haraway D. (2008), *When Species Meet*, University of Minnesota Press, Minneapolis (MN)

Harden, C. P. (2014). *The human-landscape system: Challenges for geomorphologists*. In Physical Geography, 35(1), pp. 76–89. <https://doi.org/10.1080/02723646.2013.864916>

Henriot J. (1969), *Le jeu*, PUF, Paris

- Hertzog A. (2012). *War battlefields, tourism and imagination*. In *Via@ International Interdisciplinary Review of Tourism*, 1/2012, pp. 1-13. <https://doi.org/10.4000/viatourism.1283>
- Hesse R. (2014). *Geomorphological traces of conflict in high-resolution elevation models*, in *Applied Geography* 46/2014, pp. 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.10.004>
- Huizinga J. (1946), *Homo ludens*, Einaudi, Torino
- Hupy, J. P. e Koehler, T. (2012). *Modern warfare as asignificant form of zoogeomorphic disturbance upon the landscape*, in *Geomorphology* 157-158/2012, pp. 169-182. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.05.024>
- Hupy, J. P. e Schaetzl, R. A. (2006). *Introducing “Bomburbation” a singular type of soil disturbance and mixing*, in *Journal of Soil Science* 171, pp. 823-836. DOI:10.1097/01.ss.0000228053.08087.19
- Hupy, J. P. e Schaetzl, R. J. (2008). *Soil development on the WWI battlefield of Verdun, France*, in *Geoderma* 145, pp. 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.01.024>
- Iannuzzi A. (2024), *Metaverso, Digital Twins e diritti fondamentali*. In *Rivista italiana di Informatica e diritto* 2/2024, Sezione monografica. Lo Stato insicuro. Sicurezza e sorveglianza nella cybersocietà, ISSN 2704-7318 • n. 2/2024 • DOI 10.32091/RIID0159, pp. 1-21
- Innocenti V. e Pescatore G. (2015), *Spazi urbani come gioco: User Experience tra realtà aumentata e gamification*. In Catolfi A. e Giordano F. (a cura di), *L'immagine videoludica. Cinema e media digitali verso la gamification*. Ipermedium libri, Santa Maria C.V, pp. 127-138
- Ishida, T. e Ito, H. (2019). *Construction of a Historical Information Visualization System by Superposition of Old Map*. In *International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, Springer, Cham, pp. 310-318
- Jini S., Akshara P.S., Swetha P., Karthik S. (2016). *Voice map*. In *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Volume: 03 Issue: 03 | Mar-2016, pp. 764-767. DOI:10.13140/RG.2.2.17120.69127
- Johnson K. M. e Ouimet W. B., (2018). *An observational and theoretical framework for interpreting the landscape palimpsest*, in *Applied Geography* 91 (2018), pp. 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.12.018>
- Juul J. (2011), *Half-Real. Video Games between Real Rules and Fictional Worlds*, MIT Press, Cambridge
- Kapp K. M., Blair L., Mesch R. (2014), *The Gamification of learning and instruction fieldbook. Idea into Practice*. Wiley, ASTD
- Kiernan K. (2013). *Nature, Severity and Persistence of Geomorphological Damage Caused by Armed Conflict*, in *Land Degradation & Development* / Volume 26, Issue 4 / pp. 380-396. <https://doi.org/10.1002/ldr.2216>
- Kinateder M., Ronchi E, Nilsson D., Kobes M., Müller M., Pauli P., Mühlberger A. (2014), *Virtual Reality for Fire Evacuation Research*. In *Conference: 1st Complex Events and Information Modelling at the Federated Conference on Computer Science and Information Systems* At: Warsaw, Poland, pp. 319-321, 10.13140/2.1.3380.9284

- Kinney G.F., Graham K.J. (1985), *Explosive shocks in air*. 2nd Edition, Springer Verlag
- Kogut, P. e Heijden, R. (2025). *Digital Twins for Urban Governance: General Desires, Expectations, Challenges*. In Raes, L., Ruston McAleer, S., Croket, I., Kogut, P., Brynskov, M., Lefever, S. (eds) *Decide Better*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81451-8_2, pp. 9-31
- Koivisto J., Hamari J. (2019), *The rise of motivational information systems: A review of gamification*, in *International Journal of Information Management* 45(191):210, pp. 1-79, DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2018.10.013
- Laakso M.; Rönneberg M., Tapani S. (2017), *Piloting a map service to collect VGI for national topographic database*. FIG Working Week, 29.05-02.06., Helsinki.
- Lafirenze G. (2015). *La mia bonifica, ordigni inesplosi nei conflitti mondiali in Italia*, Florestano Edizioni, Bari
- Landers R. N. (2014), *Developing a Theory of Gamified Learning: Linking Serious Games and Gamification of Learning*, in *Simulation & Gaming* 2014, Vol. 45 (6), pp. 752–768
- Landeschi G. (2019), *Rethinking GIS, three-dimensionality and space perception in archaeology*, in *World Archaeology*, 51 (1), pp. 17–32
- Lavagnino E. (1947), *Cinquanta monumenti italiani danneggiati dalla guerra*, a cura dell'Associazione Nazionale per il Restauro dei Monumenti Italiani Danneggiati dalla Guerra, s. l., Roma
- Lewin K. (1917), *Kriegslandschaft /Paesaggio di guerra*, trad. di Raffaele Scolari, Mimesis, Sesto San Giovanni (MI), 2017
- Ligabue A. (2023), *Didattica Ludica: l'importanza delle meccaniche dei giochi utilizzati in contesti scolastici e educativi*, in Fioretti S. (a cura di) op. cit., *Il valore educativo del gioco. Gamification e game based learning nei contesti educativi*. FrancoAngeli, Milano
- Lingua A., Marenchino D., Nex F. (2008), *L'operatore SIFT per l'orientamento di immagini acquisite con prese non-normali*, In Atti 12a Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila 21 – 24 ottobre, L'Aquila, pp. 1339-1346
- Lowe D. G. (2004), *Distinctive image features from scale-invariant key points*. In *International Journal of Computer Vision* 60(2), pp. 91-110. doi:10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94
- Lucchetti L., Noto M., Lanteri L, (2020), *Gis and 3D digital reconstruction for the valorisation of the ecclesiastical heritage of Viterbo*, in *European Journal of Science and Theology*, April 2020, Vol.16, No.2, 103-110
- Luccioni B. e Ambrosini D. (2004), *Influence of the soil properties on craters produced by explosions on the soil surface*. in *Mechanical Computational*, vol. 23, pp. 571-590
- Machlis, G. E. e Hanson, T. (2008), *Warfare ecology*, in *Bioscience* 58(8), pp. 729-736. <https://academic.oup.com/bioscience/article/58/8/729/380940>
- Madonna S., Stefania N., Federico V. (2021). *Primo contributo al censimento delle cavità sotterranee di Viterbo*, in *Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia* 108, pp. 367-380. <http://hdl.handle.net/2067/45978>

- Maestri, A., Polsinelli, P., Sassoon, J. (2015), *Giochi da prendere sul serio. Gamification, storytelling e game design per progetti innovativi* (Vol. 58). FrancoAngeli, Milano
- Maggi A. (2012), *Paesaggio italiano e fotografia: storia e identità visiva di un territorio*, in Renzo Dubbini (a cura di), *Paesaggi e storia*, Marsilio, Venezia
- Maggi A. (2014), «*Le fotograie sono dentro le nostre vite, come le nostre vite sono nelle fotograie*». *Fotograia, comunicazione e informazione di un'immaginiica realtà*. In De Gramatica F., Suomela Girardi F., Zuech R. (a cura di), *Questioni di immagine. Il fondo fotografico del castello del Buonconsiglio. Testimonianze e riflessioni*, Arbor Sapientiae, Museo Castello Buonconsiglio, pp. 1-12
- Magnini, L., Bettineschi, C., De Guio, A. (2017). *Object-based shell craters classification from LiDAR-derived sky-view factor*, *Archaeological Prospection*, 24(3), pp. 211–223. <https://doi.org/10.1002/arp.1565>
- Magrini S. (2018). *WebGIS, Cultural Heritage, Preservation, Tourism and the Wiki world: a case study from Emilia Romagna (Italy)*, in *JLIS.it* 9, 3 (September), pp. 159-166. DOI: 10.4403/jlis.it-12474
- Mahling M., Höhle M., Küchenhoff H. (2013). Determining high-risk zones for unexploded World War II bombs by using point process methodology, *Journal of the Royal Society, Appl. Statist.* (2013), 62, Part 2, pp. 181-199. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9876.2012.01055.x>
- Malone T. W. (1981), *Toward a theory of intrinsically motivating instruction*, in *Cognitive Science*, n. 4, pp. 333-370
- Malorni S. (2019), *Urban Games come strumento per valorizzare e rinarrare la città: analisi e proposte progettuali per un caso studio a Caserta*, Tesi di master, università Federico II di Napoli, DOI: 10.13140/RG.2.2.27701.91360
- Mantelli, B. e Kittel, G. (2017), *B-17 Flying Fortress, La Fortezza Volante*, edizioni R.E.I.
- Manovich, L. (2010), *The Poetics of Augmented Space*. In: Kronhagel, C. (eds) *Mediatecture*. Springer, Vienna. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0300-5_26
- Marsilia M. T. (2008). *Medioevo e memorie del Medioevo. Fonti, esiti e riusi del Medioevo nel territorio urbano di Viterbo*, Tesi di dottorato di ricerca. 20. ciclo, Università degli Studi della Tuscia. <http://hdl.handle.net/2067/1990>
- Masters, P. e Stichelbaut, B. (2009). *From the air to beneath the soil; revealing and mapping great war trenches at Ploegsteert (Comines-Warneton), Belgium*, in *Archaeological Prospection*, 16(4), pp. 279–285. <https://doi.org/10.1002/arp.357>
- Mayer R. E. (2014), *Computer Games for Learning. An Evidence-Based Approach*, MIT Press, Cambridge (Massachusetts) – London
- Mazzon C. (1975), *Nel centenario della scomparsa di Ignazio Porro*, Istituto idrografico della Marina, Genova
- McCurdy, P. G. (1940), *Manual of aerial photogrammetry*. Washington, D.C., Hydrographic Office, Navy Dept, United States.

McGonigal J. (2011), *La realtà in gioco*, Apogeo, Milano

Meneghelli A. (2016), Percorsi aumentati: il ruolo della narrazione nelle app ludiche geolocalizzate, in Thibault M. (a cura di), *Gamification Urbana. Letture e riscritture ludiche degli spazi cittadini*, Aracne, Roma, pp. 135-148

Merler, S., Furlanello C., Jurman G. (2005), *Machine learning on historic air photographs for mapping risk of unexploded bombs*, in Maino G. e Foresti G. L. (Eds.), *Lecture notes in computer science*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 735–742. https://doi.org/10.1007/11553595_90

Milone G. (2018), *Introduzione*, in Isgrò S., *A memoria del paesaggio di guerra. Fortificazione campale e camouflage nella grande guerra*, Aracne, Canterano (RM) pp. 11-12

Milioni A. (2002), *Carta Archeologica d'Italia, Viterbo I*, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo

Milioni A. (2007), *Carta Archeologica d'Italia, Viterbo II*, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo

Montola M., Stenros J. e Waern A. (2009), *Pervasive Games. Theory and Design*, Morgan Kaufmann Game Design Books, Burlington.

Musson C., Palmer R., Campana S. (2013), *In volo nel Passato. Aerofotografia e cartografia archeologica*, All'Insegna del Giglio, Firenze

Mustafa, M. A. e Kahn, S. (2022), *Evaluating the potential of Metaverse and its impact on primary and secondary education*, in Jammu e Kashmir, GAP BODHI TARU – Volume V, Issue IV, October – December, Special Issue.

Nah F F., Eschenbrenner B., Claybaugh C.C., Koob P. B. (2018), *Gamification of Enterprise Systems*, in Systems 2019, 7, 13; doi:10.3390/systems7010013

Nesti R. (2023), *Riflessioni sulla progettazione ludica in educazione*, in Fioretti S. (a cura di) op. cit., *Il valore educativo del gioco. Gamification e game based learning nei contesti educativi*. FrancoAngeli, Milano

Nishanbaev, I., Champion, E., McMeekin, D. A. (2021), *A web GIS-based integration of 3D digital models with linked open data for cultural heritage exploration*. In ISPRS International Journal of Geo-Information, 10(10), pp. 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijgi10100684>

Nocerino E., Menna F., Remondino F. (2012). *Multi-Temporal analysis of landscapes and urban areas*, in *International Archives of the Photogrammetry*, in Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B4, XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia, pp. 85-90. DOI:10.5194/isprsarchives-XXXIX-B4-85-2012

Nora P. (1984), *Les Lieux de Mémoire*, Paris, Gallimard.

Noto M. (2019). *L'Aerofototeca Nazionale racconta.... Le foto aeree per la mappatura di ordigni bellici inesplosi in contesti archeologici*, in GEOMEDIA V. 23 N. 6, pp. 30-32. <https://mediageo.it/ojs/index.php/GEOMedia/article/view/1699>

Noto M. (2022), “Escape Urbs”, una nuova modalità di gioco per raccontare il fenomeno urbano, in Amato F., Amato V., de Falco S., La Foresta D., Simonetti L. (a cura di), *Catene/Chains*, Società di Studi Geografici. Memorie geografiche NS 21, 2022, pp. 571-574. Isbn: 978-88-94690118

- Novak D, Wang M, Callaghan V (2012), *Looking in, looking out: A discussion of the educational affordances of current mobile augmented reality technologies*. In Jia JY (ed), *Educational stages and interactive learning: From kindergarten to workplace training*. IGI Publishing, Hershey, pp. 92–106
- Nussbaum M. C. (2012), *Creare capacità*, il Mulino, Bologna
- O’Neil H. F., Wainess R., Baker E. L. (2005), *Classification of learning outcomes: Evidence from the computer games literature*, in *The Curriculum Journal*, 16 (5), 455-474
- Ortega y Gasset J. (1986), *Meditazioni del Chisciotte*, trad. di B. Arpaia, Introduzione di O. Lottini, Guida, Napoli 1986
- Paccosi O. (1994). *Viterbo anno quarto (1944)*, Moderna Stampa Offset, Roma, pp. 99-289
- Paris L. (2015), *Fotogrammetria 2.0*, in *Disegnarecon*, 8, 14, gennaio, 17, pp. 1-9
- Passarin M. (2018), *Prefazione*, in Isgrò S., *A memoria del paesaggio di guerra Fortificazione campale e camouflage nella grande guerra*, Aracne, Canterano (RM), pp. 9-10
- Passmore, D. G., Harrison, S., Tunwell, D. C., (2014). *Second World War conflict archaeology in the forests of north-west Europe*, in *Antiquity*, 88(342), pp. 1275–1290. <https://doi.org/10.1017/S0003598X00115455>
- Passmore, D. G., Tunwell, D. C., Harrison, S. (2013). *Landscapes of logistics: The archaeology and geography of WWII German military supply depots in central normandy, north-west France*, in *Journal of Conflict Archaeology*, 8(3), pp. 165–192. <https://doi.org/10.1179/1574077313Z.000000000025>
- Pavelka K., Pappi C., Pavelka K. jr. (2021). *Modern possibilities of documentation and replication of archaeological finds*, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVI-M-1-2021, pp. 531–538. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-531-2021>
- Pecchinenda G. (2004), *Videogiochi e cultura della simulazione. La nascita dell'”homo game”*, Laterza, Roma
- Pelorosso, R., Rosa, D. L., Floris, S., Cerino, N. (2021), *Planning Accessible Urban Green Infrastructure for Healthy and Fair Historical Towns: The Study Case of Viterbo, Central Italy*. In *International Conference on Innovation in Urban and Regional Planning*, Springer Cham., pp. 43-51
- Petruzzi V. (2021), *Il potere della gamification. Usare il gioco per creare cambiamenti nei comportamenti e nelle performance individuali*, Franco Angeli
- Piacentini E. e Guancini B. (1996). *Meminisse iuvabit. A cinquant’anni dai bombardamenti su Viterbo*, E. Piacentini, Viterbo
- Piccarreta F., Ceraudo G. (2000), *Manuale di aerofotografia archeologica. Metodologia, tecniche e applicazioni*, Edipuglia, Bari
- Picone R. (2011), *Pompei alla guerra. Danni bellici e restauri nel sito archeologico*, in Casiello S. (eds.), *I ruderi e la guerra. Memoria, ricostruzioni, restauri*, Nardini, Firenze 2011, pp. 101-126

- Prandi C, Melis A., Prandini M., Delnevo G., Monti L. Mirri S., Salomoni P. (2019), *Gamifying cultural experiences across the urban environment*, in *Multimedia Tools and Applications* 78, pp. 3341-3364, <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6513-4>
- Produit T., Ingensand J., Milani G. (2016), *QGIS plugin or web app? Lessons learned in the development of a 3D georeferencer*. In Marchesini I. e Pierleoni A. (Eds.), *Proceedings of the 4th Open-Source Geospatial Research and Education Symposium (OGRS2016)*. Perugia, 12-14 October, pp. 315-320. https://doi.org/10.30437/ogrs2016_paper_41
- Quintavalle A.C. (2014), *Fotografia: figure dei significati*, in Brunetta G.P. e Minici Zotti C.A. (a cura di), *La fotografia come fonte di storia*. Venezia: Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, pp. 23-38
- Raffestin C. (2005), *Dalla nostalgia del territorio al desiderio di paesaggio. Elementi per una teoria del paesaggio*. Alinea, Firenze
- Rech, M., Bos D, Jenkins K. N., Williams A., Woodward R., (2015). *Geography, military geography, and critical military studies*, in *Critical Military Studies*, 1(1), pp. 47–60. <https://doi.org/10.1080/23337486.2014.963416>
- Remondino F. (2014), *Photogrammetry: Theory*, in Remondino F., Campana S. (a cura di), *3D recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and best practices*, BAR International Series 2598, Oxford, pp. 65-73
- Remondino F. e Menna F. (2008), *Image-based surface measurement for close-range heritage documentation*, in *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 37, pp. 199-206
- Rinaldi S. (2010), *Le opere salvate nel viterbese*, in Morselli R. (a cura di), *Fuori dalla guerra: Emilio Lavagnino e la salva-guardia delle opere d'arte nel Lazio*, Milano, pp. 111-132
- Rizzo E. (2013), *La modellazione 3D applicata ai beni culturali: la Pieve di San Giovanni Battista a Caviglia*, in *Archeomatica*, 4(3), pp. 16-20
- Rocchini C. (2014), *Breve Introduzione a PostGIS*, Lulu, DOI: 10.13140/RG.2.1.3663.3763
- Romagnoli G. (2014). *Archeologia urbana a Viterbo. Lo scavo di Via Matteotti*, in *Biblioteca e Società*, 1-4 (2014), pp. 17-22
- Rosen M. (2020), *Il libro dei giochi. 101 modi per divertirti di più nella vita*, Il Saggiatore, Milano
- Rubio Campillo, X., Carmen Rojo Ariza M., Yubero Gómez M., Cardona Gómez G. (2011). *L'ús de sistemes d'informació geogràfica en l'arqueologia del con llicte. Estratègies de recerca i transferència de coneixement històric-arqueològic. El cas de l'aviació republicana (1938-1939)*. Calafell. Llibres de matrícula
- Salen K., Zimmerman E. (2004), *Rules of play: Game design fundamentals*, MIT Press, Cambridge
- Satta C., Scandurra G. (eds) (2015), *Sport and public space in contemporary Italian cities: processes of citizenship construction through body-related practices*, in *Special Issue, Modern Italy*, vol. 20, n. 3, pp. 229–236, <http://dx.doi.org/10.1080/13532944.2015.1072966>

- Scardozzi G. (2003). *Viterbo*, in Guaitoli M. (eds.), *Lo sguardo di Icaro. Collezioni dell'Aerofototeca Nazionale per la conoscenza del territorio*, Campisano editore 2003, Roma, pp. 528-529
- Scasciamacchia, F. (2023). *Metaverso e gamification: un nuovo orizzonte per la scuola?* In IUL Research, 4(7), 231–242. <https://doi.org/10.57568/iulresearch.v4i7.418>
- Scungio E. (2012), *Viterbo*, in M. Serlupi Crescenzi e T. Calvano (a cura di) *1940-1945. Arte in fuga, arte salvata, arte perduta: le città italiane tra Guerra e Liberazione*, Quaderno didattico Musei Vaticani – Anisa, 3, Firenze-Livorno, pp. 130-135
- Sfacteria M. (2016), *Fotomodellazione 3D e rilievo speditivo di scavo: L'esperienza del Philosophiana Project*, in Archeologia e Calcolatori 27, pp. 271-289
- Sguario G. B. (1997). *Viterbo durante il periodo della Repubblica di Salò*, Inserto del n. 3 anno XVI, 30 settembre 1997, 3-14, di "Biblioteca e Società" Rivista del Consorzio per la gestione delle Biblioteche degli Ardenti e Anselmo Anselmi di Viterbo
- Shepherd E. J. (2009). *Cinquanta anni di Aerofototeca Nazionale (1958-2008)*, in AAerea IV 2009, pp. 7-10
- Shepherd E. J. (2015), *Le foto aeree della II guerra mondiale conservate in Aerofototeca Nazionale e il loro potenziale informativo per la sicurezza nazionale*, in Bollettino di archeologia on-line Direzione Generale Archeologia VI/1, con Bibl. Prec.
- Shepherd E. J. (2016), *Mapping Unexploded Ordnance in Italy: the role of World War II aerial photographs*, in B. Stichelbaut, D. Cowley (eds.), *Conflict Landscapes and Archaeology from Above*, Ashgate, pp. 205-217
- Shepherd E. J., Cantoro G., Remondino F. (2018), *Il potenziale informativo degli archivi di fotografia militare della Seconda Guerra Mondiale ai fini della protezione civile e dell'analisi del territorio* Fotogrammetria, intelligenza artificiale e webGIS al servizio degli archivi fotografici, in Fotogrammetria, intelligenza artificiale e webGIS al servizio degli archivi fotografici. GEOMEDIA, 21(5), pp. 5-9
- Shepherd E. J., Leone G., Mavica M. (2012). *La collezione c.d. USAAF dell'Aerofototeca Nazionale. Lavori in corso*, in AAerea VI., pp. 13-32
- Siart C., Eitela B., Panagiotopoulos D. (2008). *Investigation of past archaeological landscapes using remote sensing and GIS: a multi-method case study from Mount Ida, Crete*, in Journal of Archaeological Science 35 (2008) pp. 2918-2926. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.06.006>
- Smart J. M., Cascio J., Paffendorf J. (2007). *Metaverse Roadmap Overview (2007-2025): A Cross-Industry Public Foresight Project*. Pp. 1-28, DOI: 10.13140/RG.2.2.30365.18406.
- Sonnemann T., Sauerbier M., Remondino F., Schrotter S. (2006), *Realitybased 3D modeling of the Angkorian temples using aerial images*, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, pp. 573-579
- Spanellis A., Dörfler V., Macbryde J. (2016), *Gamification and innovation: a mutually beneficial union*, in Conference: BAM 2016: 30th Annual Conference of the British Academy of Management At: Newcastle upon Tyne, UK, 1-18

- Stal, C., Bourgeois, J., De Maeyer P., De Mulder G., De Wulf A., Goossens R., Nuttens T., Stichelbaut B., Reuter R. (2010), *Kemmelberg (Belgium) case study: comparison of DEM analysis methods for the detection of relicts from the First World War*, in Remote sensing for science education, and natural and cultural heritage: proceedings of the EARSeL Symposium 2010, pp. 65-72. <https://lib.ugent.be/catalog/pug01:1083926>
- Stichelbaut B. e Cowley D. (2016), *Conflict landscapes and archaeology from above*. London: Routledge. <http://lccn.loc.gov/2015029925>
- Stichelbaut, B. e Bourgeois, J. (2009). *The Overlooked Aerial Imagery of World War One: A Unique Source for Conflict and Landscape Archaeology*, in Photogrammetrie- Fernerkundung- Geoinformation, 3: pp. 231–40. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2009/0018>
- Stribling S. R. (1943). *The Aerial Bomb*, in Flying Magazine 1943, vol. 32, n. 1, pp. 38-40
- Suits B. (1978), *The Grasshopper: games, life and utopia*, Peterborough, Broadview.
- Taiuti, L. (2011). *Il Museo Diffuso*. DISEGNARECON. 4. 10.6092/issn.1828-5961/2567.
- Thibault M. (2016), *Città ludiche, città in gioco, città giocate*, in Thibault M. (a cura di) *Gamification Urbana. Letture e riscritture ludiche degli spazi cittadini*, I saggi di Lexia, Aracne, Roma, pp. 21-59
- Thibault M. (2019), *Towards a Typology of Urban Gamification*, in Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences 2019, URI: <https://hdl.handle.net/10125/59588>. ISBN: 978-0-9981331-2-6. (CCBY-NC-ND4.0). pp 1476-1485.
- Thornbush M. J. (2012), *Archaeogeomorphology as an application in physical geography*, in Applied Geography, Volume 34, May 2012, pp. 325-330, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.12.005>
- Tosco C. (2007), *Il paesaggio come storia*, il Mulino, Bologna
- Turco F. (2016), *Let's play flash-mob! Ludicità urbana e performance di gruppo*, in Thibault M. (a cura di), *Gamification urbana. Letture e riscritture ludiche degli spazi cittadini*. I saggi di Lexia, Aracne, Roma, pp. 266-280
- Turri E. (2003a), *Il paesaggio degli uomini: la natura, la cultura, la storia*. Zanichelli, Bologna
- Turri E. (2003b), *Il paesaggio come teatro*. Marsilio, Venezia
- Uva C. (2015), *Ludicizzazione e corpo digitale: cinema e videogame*. In Catolfi A. e Giordano F. (a cura di), *L'immagine videoludica. Cinema e media digitali verso la gamification*. Ipermedium libri, Santa Maria C.V, pp. 59-68
- Vacca G., Fiorino D. R., Pili D. (2018), *A spatial information system (SIS) for the architectural and cultural heritage of Sardinia (Italy)*, in ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(2), 49
- Vad C. F., Péntek A. L., Cozma N. J., Földi A., Tóth A., Tóth B., Böde N. A., Móra A., Ptacnik R., Ács É., Zsuga K., Horváth Z. (2017), *Wartime scars or reservoirs of biodiversity? The value of bomb crater ponds in aquatic conservation*, in Biological Conservation 209, pp. 253-262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2017.02.025>
- Valenti M., Nardini A. (2004), *Modello dei dati e trattamento del dato sul GIS di scavo*, in Archeologia e Calcolatori 15, pp. 341 – 358

- Vallerani F. (2006), *Dalle trincee alle autostrade*, in Boschi R., *Viaggio alla Montagna Veneta*, Fondazione Cariverona
- Valtorta R., (2013), *Luogo e identità nella fotografia italiana contemporanea*. Einaudi, Torino
- van der Schriek M. e Beex W. (2018), *The application of LiDAR-based DEMs on WWII conflict sites in the Netherlands*, in *Journal of Conflict Archaeology*, 12:2, pp. 94-114. <https://doi.org/10.1080/15740773.2017.1440960>
- van der Schriek, M. (2016), *Dutch Military Landscapes. Heritage and Archaeology on WWII Conflict Sites*, in 20th Conference on Cultural Heritage and New Technologies, Vienna (CHNT20)
- van der Veen R., Wildemeersch D. (eds) (2012), *Learning to Live Together in Diverse Cities: Educational and socio-geographical perspectives*, numero monografico della rivista *International Journal of Lifelong Education*, 31, 1
- Van Hollebeeke, Y., Stichelbaut B., Bourgeois J. (2014), *From Landscape of War to Archaeological Report: Ten Years of Professional World War I Archaeology in Flanders (Belgium)*, in *European Journal of Archaeology*, 17(4), pp. 702-719. <https://doi.org/10.1179/1461957114y.00000000065>
- Verhoeven G., Doneus M., Briese Ch., Vermeulen F. (2012), *Mapping by matching: a computer vision-based approach to fast and accurate georeferencing of archaeological aerial photographs*, in *Journal of Archaeological Science* Volume 39, Issue 7, July 2012, pp. 2060- 2070
- Verhoeven, G. (2010), *Taking Computer Vision Aloft – Archaeological Three-Dimensional Reconstructions from Aerial Photographs with Photoscan*. In *Archaeol Prospec*, 18(1): pp. 67–73
- Visalberghi A. (1966), *Esperienza e valutazione*, La Nuova Italia, Firenze
- Visalberghi A. (1988), *Insegnare e apprendere*, La Nuova Italia, Firenze
- Volli U. (2016), *L'incrocio fecondo fra giochi e città*, in Thibault M. (a cura di), *Gamification urbana. Letture e riscritture ludiche degli spazi cittadini*. I saggi di Lexia, Aracne, Roma, pp. 12-19
- Volli U. (2015), *Alla periferia del senso*, Aracne, Roma
- Volli, U. (2005), *Per una semiotica della città*, in *Laboratorio di semiotica*, Laterza, Bari–Roma, pp. 5–19.
- Volli, U. (2005), *Laboratorio di semiotica*, Laterza, Bari–Roma, 2005
- Wallace C. (2017). *Retrospective Photogrammetry in Greek Archaeology*. In *SDH*, 1, 2, pp. 607-626. DOI:10.14434/sdh.v1i2.23251
- Zallio M., Clarkson P. (2022). *Inclusive Metaverse. How businesses can maximize opportunities to deliver an accessible, inclusive, safe Metaverse that guarantees equity and diversity*. Technical report: ENG-TR.013, University of Cambridge, Engineering Design Centre Inclusive Design Group. DOI: <https://doi.org/10.17863/CAM.82281>
- Zanazzi S. (2023), *Serious games e qualità di vita. I giochi digitali a supporto dell'inclusione delle persone con disabilità intellettive*, in Fioretti S. (a cura di) op. cit., *Il valore educativo del gioco. Gamification e game based learning nei contesti educativi*. FrancoAngeli, Milano

Zhang D. Wang M., Wu J. G. (2020), *Design and Implementation of Augmented Reality for English Language Education*, in Geroimenko, V. (eds) *Augmented Reality in Education*. Springer Series on Cultural Computing. Springer, pp. 217-234

Zoletto D. (2023), *Quali culture del gioco nei contesti educativi ad alta complessità socioculturale*, in Fioretti S. (a cura di) op. cit., *Il valore educativo del gioco. Gamification e game based learning nei contesti educativi*. FrancoAngeli, Milano

Sitografia:

320th Bomb Group (N. D.), https://320thbg.org/1944_missions.html (ultima consultazione, 05/11/2024)

4 Motore Lancaster del comando bombardieri Royal Air Force (N. D.), <http://charlesmccain.com/category/royal-air-force/bomber-command/page/2/> (ultima consultazione 25 agosto 2024)

Aerofototeca Nazionale (N. D.) _ <http://www.iccd.beniculturali.it/index.php?it/98/aerofototeca-nazionale> (ultima consultazione 26 marzo 2024)

Ambrosini A. (2014). Palazzetto di Valentino della Pagnotta. Viterbo in rete. <http://www.viterboinrete.it/joomla/it/monumenti/altri-monumenti/47-palazzetto-di-valentino-della-pagnotta> (ultima consultazione 12/05/24)

Ambrosini A. (2015)a. Chiesa di San Giovanni in zoccoli (sec. XI – XII). Viterbo in rete. <http://www.viterboinrete.it/joomla/it/monumenti/chiese/26-chiesa-di-san-giovanni-in-zoccoli> (ultima consultazione 12/05/24)

Ambrosini A. (2015)b. Fontana grande. Viterbo in rete. <http://www.viterboinrete.it/joomla/it/monumenti/altri-monumenti/49-fontana-grande> (ultima consultazione 14/05/24)

Ambrosini A. (2015)c. Chiesa di San Sisto sec. XII – XIII. Viterbo in rete. <http://www.viterboinrete.it/joomla/it/monumenti/chiese/39-chiesa-di-san-sisto> (ultima consultazione 14/05/24)

Ambrosini A. (2015)d. Chiesa di Santa Maria delle Fortezze sec. XVI. Viterbo in rete. <http://www.viterboinrete.it/joomla/it/monumenti/chiese/17-chiesa-di-santa-maria-delle-fortezze-sec-xvi> (ultima consultazione 16/05/24)

Ansa.it (N. D.), Bolsena, bagnanti trovano nel lago bomba inesplosa del 1944, https://www.ansa.it/lazio/notizie/2024/06/20/bolsena-bagnanti-trovano-nel-lago-bomba-inesplosa-del-1944_b4abe9f4-f6f1-45fe-ab93-3f3a1664fcc3.html (ultima consultazione 06/11/2024)

Ansa.it (N. D.), Continua bonifica lago Varna, rimosse 6000 bombe da fucile, https://www.ansa.it/trentino/notizie/2020/06/19/continua-bonifica-lago-varna-rimosse-6000-bombe-da-fucile_1bb19f79-57f8-4da9-bb13-bbeb80d45c1a.html (ultima consultazione 07/11/2024)

ANVCG (N. D.), Associazione Nazionale Vittime Civili di Guerra, ONLUS – APS (2023), Rischio ordigni bellici nelle zone alluvionate, prestare la massima attenzione,

<https://www.anvcg.it/attualita/archivio/item/733-rischio-ordigni-bellici-nelle-zone-alluvionate-prestare-la-massima-attenzione> (ultima consultazione 04/11/2024)

Archivio Aerofototeca Nazionale (N. D.), ingombri foto aeree catalogate nella banca dati SORTIE. <https://afn.cultura.gov.it/webgis/> (ultima consultazione 27/11/2024)

Archivio di Stato di Viterbo (2021). Pianta della Città di Viterbo [1930]. <https://www.archiviodistatoviterbo.beniculturali.it/istituto-1> (ultima consultazione 22/03/2024)

ArcLand (2012). Heritage, data, Knowledge, <http://www.proyectos.cchs.csic.es/csd-tcp/en/content/arcland-heritage-data-knowledge> (ultima consultazione 07/01/2025)

Assassin's Creed 2 (N. D.), <https://www.ubisoft.com/it-it/game/assassins-creed/assassins-creed-ii>, (ultima consultazione 05/03/2025)

Attacco alle dighe della Ruhr per gli aerei del 617 Squadrone nella notte tra il 16 e il 17 maggio 1943 (N. D.), <https://www.raf.mod.uk/history/bombercommanddambusters21march1943.cfm> (ultima consultazione 25 agosto 2024)

Baldoli C., Knapp A., Overy R. (2009), Bombing, States and Peoples in Western Europe 1940-1945, The Bombing of Italy 1940 – 1945 - Bombing Italy: allied strategies, 1940-1945 exhibition, <https://humanities.exeter.ac.uk/history/research/centres/warstateandsociety/projects/bombing/italy/> (ultima consultazione 26 agosto 2024)

Ball M. (2021), Framework for the Metaverse, The Metaverse Primer Jun 29, 2021, <https://www.matthewball.co/all/forwardtothemetaverseprimer> (ultima consultazione: 13/08/2024)

Barreira D. (2019). El mapa de las bombas de Franco que devastaron Madrid capital, por zonas, El Español, https://www.elespanol.com/cultura/historia/20190316/mapa-bombas-franco-devastaron-madrid-capital-zonas/383462984_0.html (ultima consultazione 29/12/2024)

Beweb (2017). Chiesa di San Lorenzo. <https://www.beweb.chiesacattolica.it/cattedrali/cattedrale/314/Cattedrale+di+San+Lorenzo> (ultima consultazione 11/05/24)

Biografia di una bomba (N. D.). Residuati bellici, <http://biografiadiunabomba.blogspot.it/p/residuati-bellici.html> (ultima consultazione 2/04/25)

Bomb Sight, (N. D.), <https://www.layersoflondon.org/map/overlays/bomb-damage-1945> (ultima consultazione 29/12/2024)

Bombing Survey (1947), “The United States Strategic Bombing Survey – Statistical Appendix to Over-All Report (European War)”, pubblicato a Washington D.C. nel 1947, <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015049492716&seq=25> (ultima consultazione 06/11/2024)

Camilli (2007), Tusciaweb, “Nel 2007 furono evacuate oltre 20 mila persone per un raggio di circa 2 chilometri e sospesi acqua, gas e luce”, <https://www.tusciaweb.eu/2024/03/nel-2007-furono-evacuate-oltre-20-mila-persone-per-un-raggio-di-circa-2-chilometri-e-sospesi-acqua-gas-e-luce/> (ultima consultazione 10/04/2025)

Carle. G. (2012), A History of RAF SAXA VORD, – <http://ahistoryofrafsaxavord.blogspot.com/search?q=GEE> (ultima consultazione 07/11/2024)

Cecalupo M. (2013), Sulle tracce di un monaco in visita a Lucca, in “Mundus”, <https://www.historialudens.it/patrimonio/112-sulle-tracce-di-un-monaco-in-visita-a-lucca.html> (ultima consultazione 06/08/2024)

Censimento degli archivi fotografici in Italia (N. D.), <http://www.censimento.fotografia.italia.it> (ultima consultazione 26 marzo 2024)

Combact Box (N. D.). Da https://it.wikipedia.org/wiki/Combat_box#/media/File:Combatbox.gif (ultima consultazione 06/11/2024)

Comune di Viterbo (2024)a, Aggiornamento Piano di emergenza anno 2024, <https://comune.viterbo.it/aggiornamento-piano-di-emergenza-anno-2024/#:~:text=Aggiornamento%20piano%20di%20emergenza%20anno%202024%20%E2%80%93%20Comune%20di%20Viterbo.&text=L'aggiornamento%20del%20piano%20d'emergenza%20per%20il%202024,situazioni%20di%20rischio%2C%20garantendo%20efficienza%20e%20adattabilit%C3%A0.> (ultima consultazione 22/03/2025)

Comune di Viterbo (2024)b, Bonifica ordigno bellico, il raggio della “zona rossa” ridotto da 1800 a 1400 metri, <https://archivio.comune.viterbo.it/bonifica-ordigno-bellico-il-raggio-della-zona-rossa-ridotto-da-1800-a-1400-metri/> (ultima consultazione 22/04/2025)

Comune di Viterbo (2024)c, Rinvenimento ordigno bellico inesplosivo, interdizione del traffico pesante nel perimetro di sicurezza, <https://archivio.comune.viterbo.it/rinvenimento-ordigno-bellico-inesplosivo-interdizione-del-traffico-pesante-nel-perimetro-di-sicurezza/> (ultima consultazione 22/04/2025)

Comune di Viterbo (N. D.), Ritrovamento ordigno bellico, informazioni utili, <https://comune.viterbo.it/ritrovamento-ordigno-bellico-informazioni-utili/> (ultima consultazione 26/03/25)

Consiglio d'Europa - ELC, (2000), <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://rm.coe.int/16802f3fb1> (ultima consultazione 20/03/2024)

De Simone R. (N. D.). Ex chiesa di S. Maria in Gradi a Viterbo. Ministero per i beni e le attività culturali e per il turismo. https://storico.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC/Contenuti/MibacUnif/Comunicati/visualizza_asset.html_685803660.html (ultima consultazione 18/05/24)

Del Lago A. (2006), Fronti e frontiere. Note sulla militarizzazione della contiguità. ADIR – L’altro Diritto, <https://www.adir.unifi.it/odv/documenti/frontiere/dallago.htm> (ultima consultazione 04/11/2024)

Delegación de Memoria Histórica de la Diputación de Valencia (N. D.), <http://memoriahistorica.dival.es/> (ultima consultazione 28/04/2025)

Della Rocca L. (2021). Ex Chiesa di Santa Maria in Gradi. Viterbo arte e città. <https://viterbo.artecitta.it/ex-chiesa-di-santa-maria-in-grad/> (ultima consultazione 18/05/24)

Dipartimento della Protezione Civile (N. D.), Che cos’è il rischio? <https://www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/che-cos---il-rischio->

o. (ultima consultazione 04/11/2024)

Direzione Generale Archeologia (N. D.). Viterbo (VT). Via Sant'Antonio,
http://2.42.228.117/archeologia/index.php?it/142/scavi/scaviarcheologici_4e048966cfa3a/119
 (ultima consultazione 03/06/24)

Esercito (2024), L'Esercito interviene per una bomba da 2.000 kg a Viterbo, <https://www.esercito.difesa.it/comunicazione/Pagine/Esercito-interviene-per-una-bomba-da-2.000-kg-a-Viterbo.aspx> (ultima consultazione 10/04/2025)

European Commission, Destination Earth (N. D.), <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/destination-earth> (ultima consultazione 21/01/2025)

Fabi G. (N. D.). Palazzo Nave. ArchiDIAP. <https://archidiap.com/opera/la-nave/> (ultima consultazione 20/05/24)

Franchi S. (N. D.). Pocci – Famiglia. Gente di Tuscia. <http://www.gentedituscia.it/pocci-famiglia/>
(ultima consultazione 08/02/24)

Galeotti M. (2008). La storia dell'aeroporto di Viterbo. <http://aeroportoiviterbo.blogspot.com/2008/02/mauro-galeotti-la-storia-dellaeroporto.html> (ultima consultazione 06/05/2024)

Galeotti M. (2018). Viterbo bombardata, archivio foto del 1943 - 1944, in ricordo del 17 gennaio 1944, Blog di informazione a cura del Comitato per l'aeroporto di Viterbo e le opere della Tuscia: Ali al sogno, motore al futuro. <https://lacitta.eu/cronaca/34043-viterbo-bombardata-vedi-le-foto-del-1943-1944-in-ricordo-del-17-gennaio-1944.html> (ultima consultazione 03/06/24)

Galeotti M. (2019). Quante volte sei passato per Via Matteotti a Viterbo, ma ne conosci la storia? lacitta.eu. <https://www.lacitta.eu/storia/43164-quante-volte-sei-passato-per-via-matteotti-a-viterbo-ma-ne-conosci-la-storia.html> (ultima consultazione 09/05/24)

Garber M. (2012). A Database of Every Bomb the U.S. Military Has Dropped Since WWI, The Atlantic, <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2012/08/a-database-of-every-bomb-the-us-military-has-dropped-since-wwi/260640/> (ultima consultazione 07/01/2025)

Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia (1940), n. 144, 20-VI-1940 (XVIII), chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.lorenzograssi.it/archivio/19400617d.pdf (ultima consultazione 23/04/2024)

Gazzetta Ufficiale n. 45 (2004). Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137 (GU Serie Generale n.45 del 24-02-2004 - Suppl. Ordinario n. 28), https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2004-02-24&atto.codiceRedazionale=004G0066 (ultima consultazione 26/05/2024)

Generalitat Valenciana (N. D.), <https://patrimonigc.gva.es/va/> (ultima consultazione 29/12/2024)

GeoNight, N. D., <https://www.geonight.net/> (ultima consultazione 06/02/2025)

Geopackage (N. D.), <https://www.geopackage.org/> (Ultima Consultazione 30/09/2024)

Geoportale cartografico (N.D.). Cartografia storica. Foto aeree. XX sec. <https://geoportale.cittametropolitanaroma.it/index.php/cartografia-storica/53/59> (ultima consultazione 12/08/2024)

Germany's WWII Duds Get Deadlier (N. D.), SPIEGEL International, <https://www.spiegel.de/international/germany/unexploded-wwii-bombs-pose-growing-threat-in-germany-a-859201.html> (data ultima consultazione 03/09/2024)

Governo italiano. (17 giugno 1940). Decreto del Duce del Fascismo Capo del Governo [Determinazione di segni distintivi per la protezione degli edifici e monumenti dai bombardamenti]. Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia n. 144, 20-VI-1940 (XVIII), canva.com/it_it/strumenti/immagini-trasparenti/ (ultima consultazione 07/11/2024)

Higginbotham A. (2016). There Are Still Thousands of Tons of Unexploded Bombs in Germany, Left Over From World War II, Smithsonian Magazine, <https://www.smithsonianmag.com/history/seventy-years-world-war-two-thousands-tons-unexploded-bombs-germany-180957680/> (ultima consultazione 29/12/2024)

Hill Air Force Base (N. D.), World War II Norden Bombsight, <https://web.archive.org/web/20090502223120/http://www.hill.af.mil/library/factsheets/factsheet.asp?id=5664> (ultima consultazione 07/11/2024)

Holm C. (2012), Germany's WWII Duds Get Deadlier, SPIEGEL International, <https://humanities.exeter.ac.uk/history/research/centres/warstateandsociety/projects/bombing/italy/> (ultima consultazione 26 agosto 2024)

Humap (N. D.), <https://humap.me/?ci=in-app&cs=layersoflondon&cn=humapFooter> (ultima consultazione 29/12/2024)

ICCD (N. D.), Aerofototeca nazionale, WEGIS, <https://afn.cultura.gov.it/webgis/> (ultima consultazione 05/03/2025)

il Messaggero (2018), Bomba della seconda guerra mondiale in aeroporto, sabato l'evacuazione dell'area per la bonifica, [https://www.ilmessaggero.it/viterbo/bomba_della_seconda_guerra_mondiale_trovata_nell_aeroporto_o_di_viterbo-3931303.html](https://www.ilmessaggero.it/viterbo/bomba_della_seconda_guerra_mondiale_trovata_nell_aeroporto_di_viterbo-3931303.html) (ultima consultazione 10/04/2025)

Institute of Historical Research (N.D.), Layers of London, <https://www.history.ac.uk/research/centre-history-people-place-and-community/chppc-projects/layers-london> (ultima consultazione 29/12/2024)

International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (N. D.). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, <https://www.isprs.org/publications/archives.aspx> (ultima consultazione 07/01/2025)

Istituto Geográfico Nacional (N. D.), <https://www.ign.es/web/ign/portal/sc-cnig-fototeca> (ultima consultazione 29/12/2024)

La battaglia della Ruhr si accende (N. D.), <http://ww2today.com/4th-may-1943-the-battle-of-the-ruhr-hots-up> (ultima consultazione 25 agosto 2024)

laVelina Tusciaweb (N. D.), La terribile potenza della bomba, https://www.lavelina.it/nuovosito/notizie/2007/maggio/7_1bomba.html (ultima consultazione 10/04/2025)

Layers of London, (N. D.), https://www.layersoflondon.org/map/search/results?q=&taxonomy_term_ids=803,818,819,793,820,892,913,926,792 (ultima consultazione 29/12/2024)

Legends in their own time, http://legendsintheirowntime.com/LiTOT/Content/1943/FI_4301_bombs_sizes_p039_W.png (ultima consultazione 26 agosto 2024)

Mazzuoli G. (N. D.). Viterbo, Piazza della Rocca. Canino.info. https://www.canino.info/inserti/tuscia/luoghi/piazze/viterbo_rocca/index.htm (ultima consultazione 09/05/24)

Mencarelli S. (N. D.), Armi avanzate della Seconda Guerra Mondiale/Appendice 4, https://it.wikibooks.org/wiki/Armi_avanzate_della_Seconda_Guerra_Mondiale/Appendice_4 (ultima consultazione 07/11/2024)

Meta (2023), Introducing SeamlessM4T, a Multimodal AI Model for Speech and Text Translations, <https://about.fb.com/news/2023/08/seamlessm4t-ai-translation-model/> (ultima consultazione 05/3/2025)

Metaverse, Studio richiesto dal Comitato JURI, Parlamento Europeo (2023), [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/751222/IPOL_STU\(2023\)751222_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/751222/IPOL_STU(2023)751222_EN.pdf) (ultima consultazione 21/01/2025)

Minecraft® (N. D.) <https://www.minecraft.net/it-it>, (ultima consultazione 05/03/2025)

Ministero della Cultura (2020), Ex chiesa di S. Maria in Gradi a Viterbo, <https://cultura.gov.it/comunicato/ex-chiesa-di-s-maria-in-gradi-a-viterbo> (ultima consultazione 25/04/24)

Ministero della Cultura (N. D.)a. Museo Nazionale Etrusco di Viterbo – Rocca Alborno. <https://cultura.gov.it/luogo/museo-nazionale-etrusco-rocca-alborno> (ultima consultazione 07/05/24)

Ministero della Cultura (N. D.)b. Basilica di San Francesco alla Rocca. <https://cultura.gov.it/luogo/basilica-di-san-francesco-alla-rocca> (ultima consultazione 07/05/24)

Moneda Ibérica (N. D.), <https://monedaiberica.org/v2/> (ultima consultazione 28/04/2025)

Museo Torino (N. D.). L'offesa aerea. Tipologia di bombe <http://www.museotorino.it/view/s/857d5c3be36347efb14941d40fcfc3f1> (ultima consultazione 26 agosto 2024)

Open Data Lazio (N. D.). Aree archeologiche (SHP), <https://dati.lazio.it/catalog/it/dataset/ptpr-tav-b-aree-archeologiche/resource/184a2578-b89e-4986-a07f-be61a9865c97> (ultima consultazione 29/05/24)

Pelling, N., (2011). The (short) prehistory of “gamification”.... Funding Startups (& other impossibilities). <https://nanodome.wordpress.com/2011/08/09/the-short-prehistory-of-gamification/> (ultima consultazione 16/07/2024)

Peretti D. (2024), missili nel lago di Garda, [giornaledeltrentino.it, https://www.giornaleltrentino.it/lago-di-garda/sei-missili-sganciati-nel-lago-di-garda-%C3%A8-accaduto-25-anni-fa-ma-restano-ancora-dimenticati-nel-fondale-1.3792744](https://www.giornaleltrentino.it/lago-di-garda/sei-missili-sganciati-nel-lago-di-garda-%C3%A8-accaduto-25-anni-fa-ma-restano-ancora-dimenticati-nel-fondale-1.3792744) (ultima consultazione 07/11/2024)

Prefettura di Viterbo (2018), Ordinanza di sgombero, https://comune.viterbo.it/wp-content/uploads/2024/12/www.comune.viterbo.it_viterbo_attachments_article_1805_ordinanza_pre_fettura.pdf (ultima consultazione 26/03/25)

QGIS Documentation (N. D.). Gereferenziatore, https://docs.qgis.org/3.34/it/docs/user_manual/working_with_raster/georeferencer.html (ultima consultazione 04/01/2024)

RAF historical society journals (N. D.), Photo reconnaissance in WW2. In Proceedings of the royal air force historical society, Issue n. 10, <https://rafhistoricalsociety.org.uk/journals-01-10-1>, pp. 43-44, 46

Report of the Defense Science Board Task Force on Unexploded Ordnance, Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics, Washington, D.C. (2003), https://www.denix.osd.mil/mmnp/denix-files/sites/46/2016/03/03_UXO_REPORT.pdf (ultima consultazione 07/11/2024)

Rizoma Spinoff UNITUS (N. D.), Progetti, WEBGIS, <https://www.rizoma-spinoff.it/progetti/> (ultima consultazione 28/04/2025)

Romatoday (N. D.), Bracciano: residente trova ordigni bellici nel lago, artificieri sul posto, <https://www.romatoday.it/cronaca/lago-bracciano-bombe-seconda-guerra-mondiale.html> (ultima consultazione 07/11/2024)

Royal Air Force _ <https://www.raf.mod.uk/equipment/generalpurposebombs.cfm> (ultima consultazione 26 agosto 2024)

SANLO (N. D.), <https://sanloproject.it/> (ultima consultazione 14/01/2025)

Save the Children (2014), *La lampada di Aladino. L'indice di Save the Children per misurare le povertà educative e illuminare il futuro dei bambini in Italia*, Save the Children Italia Onlus, Roma, <https://www.savethechildren.it/cosa-facciamo/pubblicazioni/la-lampada-di-aladino> (ultima consultazione 27/05/2024)

Save the Children (2015), *Illuminiamo il futuro 2030. Obiettivi per liberare i bambini dalla povertà educativa*, Save the Children Italia Onlus, Roma, <https://www.savethechildren.it/cosa-facciamo/pubblicazioni/illuminiamo-il-futuro-2030-obiettivi-liberare-i-bambini-dalla-poverta-0> (ultima consultazione 28/05/2024)

Scratch (N. D.)a, <https://scratch.mit.edu/> (ultima consultazione 19/02/2025)

Scratch (N. D.)b, make it fly, <https://scratch.mit.edu/projects/1110545496/> (ultima consultazione 05/03/2025)

SecondLife® (N. D.), <https://secondlife.com/> (ultima consultazione 05/03/2025)

SimCity® (N. D.), <https://www.ea.com/it-it/games/simcity/simcity-buildit> (ultima consultazione 05/03/2025)

Sorgner S. L. (2020), Postumanesimo, metaumanesimo, transumanesimo: come andare oltre l'umano, Fondazione Leonardo, Learning the future, <https://www.fondazioneleonardo.com/stories/postumanesimo-metaumanesimo-transumanesimo-come-andare-oltre-lumano> (ultima consultazione 09/01/2025)

Spatial (N. D.), <https://www.spatial.io/about> (ultima consultazione 29/04/2025)

Storia Aerofototeca Nazionale (N. D.), <http://www.iccd.beniculturali.it/index.php?it/126/storia> (ultima consultazione 26 marzo 2024)

Tavoletta C. (N. D.). Chiesa di Santa Maria della Salute. Viterbo, arte e città, <https://viterbo.artecitta.it/chiesa-di-santa-maria-della-salute/> (ultima consultazione 13/05/24)

teatrounioneviterbo.it (N. D.). Il Teatro. <https://www.teatrounioneviterbo.it/il-teatro/> (ultima consultazione 10/05/24)

The Sims® (N. D.), <https://www.ea.com/it-it/games/the-sims> (ultima consultazione 05/03/2025)

The Witcher® (N. D.), <https://www.thewitcher.com/it/it/>, (ultima consultazione 05/03/2025).

THOR (2024), <https://www.generalstaff.org/THOR/THOR.htm> (ultima consultazione 29/12/2024)

THOR database (N. D.), <https://dlozeve.github.io/ww2-bombings/> (ultima consultazione 29/12/2024)

Tourer.it (N. D.), <https://www.tourer.it/> (ultima consultazione 28/04/2025)

Tusciaweb (2018), Bomba all'aeroporto, tutti fuori dall'alba, <https://www.tusciaweb.eu/2018/08/bomba-allaeroporto-tutti-dallalba/> (ultima consultazione 10/04/2025)

van der Kraats M. (2015), Unexploded WWII bombs still set sirens going in city near Berlin, GULF TIMES, <https://www.gulf-times.com/story/434723/unexploded-wwii-bombs-still-set-sirens-going-in-city-near-berlin> (data ultima consultazione 03/09/2024)

Viterbo capitale medievale (N. D.). Porta Fiorentina. <https://www.viterbomedievale.it/esperienze/punti-di-interesse/porta-fiorentina/> (ultima consultazione 07/05/24)

viterboincartolina.it (N. D.). Viterbo: piazza dei Caduti (Sacrario). Viterbo in cartolina. http://www.viterboincartolina.it/sacrario/viterbo_home_sacrario.htm (ultima consultazione 15/05/24)

Viterbotoday (2024), Bomba a Viterbo, ecco la mappa della nuova zona rossa: le aree e i quartieri esclusi, <https://www.viterbotoday.it/attualita/nuova-zona-rossa-bomba-viterbo-13-aprile-2024.html> (ultima consultazione 22/04/2025)

Watchdogs® (N. D.), <https://www.ubisoft.com/it-it/game/watch-dogs/watch-dogs> (ultima consultazione 05/03/2025).

Zelli A. (N. D.). Palazzo gentili. annazelli.com. <http://www.annazelli.com/viterbo-palazzo-gentili-via-cavour-via-fontanella-sant'-angelo-via-saffi-centro-storico.htm> (ultima consultazione 12/05/24)

TABELLA 1

Attraverso una classificazione dettagliata, la tabella illustra la varietà di bombe aeree maggiormente impiegate durante la Seconda Guerra Mondiale, evidenziando come ciascuna tipologia fosse progettata per ottenere effetti distruttivi specifici su infrastrutture, truppe nemiche e aree urbane.

Tipo di Bomba	Sottocategoria	Calibro	Funzione Principale	Caratteristiche Chiave	Esempi
<u>Esplosiva</u>		Piccolo calibro (< 50 kg)	Distruzione di depositi di munizioni, aerei sul terreno, hangar, piccoli edifici, ferrovie e attrezzature ferroviarie, navi, sottomarini, cacciatorpediniere, trasporti	Alto contenuto esplosivo. penetravano nel bersaglio provocando una potente azione distruttiva, caratterizzata da un violento spostamento d'aria, smottamenti del terreno e proiezione di schegge	Bombe GP, TI, MC, AP, SAP, HC
		Medio calibro (50-300 kg)	Usate contro strutture in acciaio e ponti in cemento armato, campate, banchine, ferrovie e imbarcazioni		
		Grosso calibro (> 300 kg)	Destinate a distruggere infrastrutture massicce come i grandi ponti, le dighe e le navi da guerra		
		Spezzoni incendiari (2 kg ca.)	Utili a colpire obiettivi e bersagli mobili come le truppe in marcia e assembramenti di persone	Derivanti dalla frantumazione dell'involucro della bomba al momento dell'esplosione	
	<u>Demolizione Snelle o cilindriche</u>	Tra 45 e 1814 kg con casi eccezionali da 3.628 kg. Ca.	Distruggere edifici, infrastrutture e grandi bersagli.	Alto contenuto esplosivo (TNT, Amatol), grandi dimensioni, forma cilindrica o affusolata, penetrazione profonda. Detonazione all'impatto o ritardata.	Blockbuster, Cookie, Factory-Buster
	<u>Frammentazione</u>		Causare vittime e danni a bersagli più	Dimensioni più piccole, progettata	Bombe GP, bombe MC

			piccoli e meno fortificati.	per frammentarsi in molte parti.	
<u>Incendiaria</u>		1-2 kg – 50 kg	Provoca incendi e distruzione su vasta scala.	Contiene sostanze infiammabili come fosforo o termite.	Bombe a grappolo M9, Pink Pansy
<u>Speciali</u>		TI da 113 kg ca. Ap e SAP da 226, 453 e 907 kg. B. rotanti da 4196 kg.	Funzioni specifiche come marcatura bersagli o penetrazione armature.	Design e funzione unici.	Indicatori di bersaglio (TI), bombe AP e SAP, bombe rotanti

TABELLA 2

Bombe aeree sganciate su Viterbo durante la Seconda guerra mondiale, da Biografia di una bomba (N. D.)

Data	Aereo	Paesi colpiti
28/7/43	NATAF (Northwest African Tactical Air Force)	Villa San Giovanni, Vibo Valentia, Paola, Scalea, Sapri, Eboli, Battipaglia, Montecorvino, Salerno e Napoli. Viterbo, Regalbuto, Milazzo, Centuripe
29/7/43	A/F. B-17's	Viterbo
15/8/43	Ninth AF	Viterbo. Randazzo. Linguaglossa, Taormina
16/8/43	9 th AF 86 B-24's	Foggia, Viterbo.
16/8/43	Bomber Command	Torino, Milano, Viterbo
17/8/43	9 th AF 200 P-40's	Messina, Palmi, Golfo di Gioia. Viterbo
28/8/43	RAF	Taranto, Manduria, Cosenza, Novara, Foggia, Salerno, Crotone, Viterbo, Avellino, Lecce, Bari, Orte, Cagliari, Decimomannu, Carbonia, Civitavecchia, Benevento. Frascati
30/8/43	NAAF B-17's NASAF	Viterbo
05/9/43	12 th AF 130 XII BC B-17's 200 B-25's e B-26's	Viterbo Grazzanise and the radar station of Pula, Pabillonis, Viterbo e Littoria
07/9/43	P-40's	Locri, Cosenza, Paola, Castrovillari, Metaponto, Potenza, Brindisi, Sapri, Battipaglia, Torre Annunziata, Pompei, Cancellò, Avellino, Aversa, Villa Literno, Caserta, Benevento, Capua, Formia, Terracina, Civitavecchia, Viterbo, Orte, Sulmona, Carbonia, Pizzo, Crotone e Catanzaro.
18/9/43	12 th AF B-17's of XII BC	Viterbo, le vie di comunicazione tra Salerno e Avellino

	B-25's e B-26's	Lucca, Viterbo, Ciampino, Cisterna e Pratica di Mare Foggia, Cerveteri
27/9/43	12àth AF	Viterbo, Bracciano San Severo, Salerno, Benevento, Foggia
18/10/43	12àth AF P-38	Venafro, Boiano, Petacciato, Vairano, Roma Viterbo Grosseto, Bracciano. Colpite le linee ferroviarie Roma-Napoli, Roma- Orte
19/10/43	NATBF ⁴²⁸ e DAF	Boiano, San Demetrio nei Vestini, Viterbo, Cassino Anzio, ferrovia Pesaro Pineto Barisciano, Alvito e Ausonia
27/10/44	NATBF	Grosseto, Pistoia, Terni, Civitavecchia, Viterbo, Ancona, Perugia, Anzio, l'Aquila, Cassino, Formia, Terracina, Sutri, Civita Castellana, Lanciano, Fossacesia, Casoli, Rocca San Giovanni
17/1/44	B-26	Viterbo
19/1/44	12àth A/F, B-26 e AF B-25	Sulmona, Rieti, Viterbo, Colleferro
20/1/44	12àth AF B-26's A-36's	Viterbo, Pontecorvo Viterbo
21/1/44	R. A-36's	Velletri, Minturno, Viterbo
23/1/44	P- 47's e P-38's	Roma, Firenze, Viterbo, Rieti, Orte e Terni.
31/1/44	P-40's e A-36's	Anzio area, Orvieto, Viterbo, Prato, Pontassieve, Arezzo. Sezze, Fondi, Priverno
07/2/44	B-25's	Viterbo, Cisterna ed Anzio area
08/2/44	15àth AF 454h B-24's	Viterbo, Tarquinia, Orvieto, Piombino e Prato
29/2/44	12àth AF B-26's	Viterbo
3/3/44	15àth AF 200 B-17's, B-24's, 50 P-47's	Roma, Viterbo, Canino

⁴²⁸ “La NATBF era stata formata sotto la NATAF con un piccolo quartier generale combinato che aveva sotto di sé il 47° Bomb Gp, il 326 Wg (RAF) e i reparti aerei di 2 sqs del 12 Bomb Gp che erano collegati per il controllo operativo. I B-26 e i B-25 lanciavano attacchi consecutivi contro il terreno di atterraggio di Djebel Tebaga. Altri B-25 bombardavano la navigazione tra la Tunisia e la Sicilia. Le Ftrs volavano di scorta ed effettuavano numerose missioni rcn mentre l'Ottava Armata apriva l'assalto alla Mareth Line”, Carter e Muller (1991).

07/7/44	15àth AF 300 B-17's, B-24's	Poggibonsi, Prato, Pontassieve, Roma, Viterbo, Orvieto, Castelfiorentino
15/3/44	P-38's e P-47's	Viterbo-Canino area. Cassino Terza
29/3/44	12àth AF B-25's	Viterbo
12/4/44	12àth AF B-17s, P-40s, a-36s e A25s	Montesilvano, Piano d'Orta di Bolognano, Ancona, Giulianova, Monte Molino, Zagarolo, Viterbo, Orvieto, Certaldo, Imperia, Albenga. Arezzo, Elba, Orvieto, Grosseto, Bracciano, Civita Castellana, Montalto di Castro, Piombino e Viterbo, Castiglioncello, Montepescali e nella S di Cecina. Piglio
14/4/44	12àth A/F, AF B-25s	Aquila, Pianod'Orta di Bolognano, Viterbo e Livorno
06/5/44	A-36's	Viterbo
07/5/44	12àth AF A-20's	Albano Laziale, Stimigliano, Vetralla, Viterbo, Bracciano, Anzio, Manziana, Acquapendente, Civitavecchia, Terracina, Roma, Elba
17/5/44	B-25's	Viterbo
6/6/44	12àth AF	Roma, Civita Castellana, Viterbo e Civitavecchia
08/6/44	12àth AF A-20's	Pola, Bolsena, Viterbo, Orvieto
09/6/44	12àth AF	Acquapendente, Viterbo.
10/6/44	15àth AF, B-17's e B-24's	Mestre, Porto Marghera, Trieste, Ancona, Ferrara. Viterbo, Pescara
12/6/44	12à AF	Collazone, Perugia, Foligno, Massa Lombarda, Pietrasanta, Cattolica, Pesaro, Arezzo, Bucine, Arcidosso, Viterbo.

TABELLA 3

Database digitale integrato al GIS per la consultazione diretta delle schede descrittive tramite mappa interattiva.

Tavola	Datazione	Autore	Formato	Strisciata	Sequenza	Titolo
1	1944	RAF	6"	2	1 di 2	Viterbo nel 1944
2	1944	RAF	6"	2	2 di 2	Viterbo nel 1944
3	1944	RAF	6"	3	1 di 2	Viterbo nel 1944
4	1944	RAF	6"	3	2 di 2	Viterbo nel 1944
5	1944	RAF	6"	20	1 di 3	Viterbo nel 1944
6	1944	RAF	6"	20	2 di 3	Viterbo nel 1944
7	1944	RAF	6"	20	3 di 3	Viterbo nel 1944
8	1944	RAF	6"	35	1 di 3	Viterbo nel 1944
9	1944	RAF	6"	35	2 di 3	Viterbo nel 1944
10	1944	RAF	6"	35	3 di 3	Viterbo nel 1944
11	1944	RAF	24"	6	1 di 3	Viterbo nel 1944
12	1944	RAF	24"	6	2 di 3	Viterbo nel 1944
13	1944	RAF	24"	6	3 di 3	Viterbo nel 1944
14	1944	RAF	24"	10	1 di 8	Viterbo nel 1944
15	1944	RAF	24"	10	2 di 8	Viterbo nel 1944
16	1944	RAF	24"	10	3 di 8	Viterbo nel 1944
17	1944	RAF	24"	10	4 di 8	Viterbo nel 1944
18	1944	RAF	24"	10	5 di 8	Viterbo nel 1944
19	1944	RAF	24"	10	6 di 8	Viterbo nel 1944
20	1944	RAF	24"	10	7 di 8	Viterbo nel 1944
21	1944	RAF	24"	10	8 di 8	Viterbo nel 1944
22	1944	RAF	24"	15	1 di 5	Viterbo nel 1944
23	1944	RAF	24"	15	2 di 5	Viterbo nel 1944
24	1944	RAF	24"	15	3 di 5	Viterbo nel 1944
25	1944	RAF	24"	15	4 di 5	Viterbo nel 1944
26	1944	RAF	24"	15	5 di 5	Viterbo nel 1944
27	1944	RAF	24"	16	1 di 5	Viterbo nel 1944
28	1944	RAF	24"	16	2 di 5	Viterbo nel 1944
29	1944	RAF	24"	16	3 di 5	Viterbo nel 1944
30	1944	RAF	24"	16	4 di 5	Viterbo nel 1944
31	1944	RAF	24"	16	5 di 5	Viterbo nel 1944
32	1944	RAF	24"	17	1 di 7	Viterbo nel 1944
33	1944	RAF	24"	17	2 di 7	Viterbo nel 1944
34	1944	RAF	24"	17	3 di 7	Viterbo nel 1944
35	1944	RAF	24"	17	4 di 7	Viterbo nel 1944
36	1944	RAF	24"	17	5 di 7	Viterbo nel 1944
37	1944	RAF	24"	17	6 di 7	Viterbo nel 1944
38	1944	RAF	24"	17	7 di 7	Viterbo nel 1944
39	1944	RAF	24"	18	1 di 10	Viterbo nel 1944
40	1944	RAF	24"	18	2 di 10	Viterbo nel 1944
41	1944	RAF	24"	18	3 di 10	Viterbo nel 1944
42	1944	RAF	24"	18	4 di 10	Viterbo nel 1944

43	1944	RAF	24"	18	5 di 10	Viterbo nel 1944
44	1944	RAF	24"	18	6 di 10	Viterbo nel 1944
45	1944	RAF	24"	18	7 di 10	Viterbo nel 1944
46	1944	RAF	24"	18	8 di 10	Viterbo nel 1944
47	1944	RAF	24"	18	9 di 10	Viterbo nel 1944
48	1944	RAF	24"	18	10 di 10	Viterbo nel 1944
49	1944	RAF	24"	21	1 di 3	Viterbo nel 1944
50	1944	RAF	24"	21	2 di 3	Viterbo nel 1944
51	1944	RAF	24"	21	3 di 3	Viterbo nel 1944
52	1944	RAF	24"	30	1 di 5	Viterbo nel 1944
53	1944	RAF	24"	30	2 di 5	Viterbo nel 1944
54	1944	RAF	24"	30	3 di 5	Viterbo nel 1944
55	1944	RAF	24"	30	4 di 5	Viterbo nel 1944
56	1944	RAF	24"	30	5 di 5	Viterbo nel 1944
57	1944	RAF	24"	51	1 di 6	Viterbo nel 1944
58	1944	RAF	24"	51	2 di 6	Viterbo nel 1944
59	1944	RAF	24"	51	3 di 6	Viterbo nel 1944
60	1944	RAF	24"	51	4 di 6	Viterbo nel 1944
61	1944	RAF	24"	51	5 di 6	Viterbo nel 1944
62	1944	RAF	24"	51	6 di 6	Viterbo nel 1944
63	1944	RAF	24"	52	1 di 6	Viterbo nel 1944
64	1944	RAF	24"	52	2 di 6	Viterbo nel 1944
65	1944	RAF	24"	52	3 di 6	Viterbo nel 1944
66	1944	RAF	24"	52	4 di 6	Viterbo nel 1944
67	1944	RAF	24"	52	5 di 6	Viterbo nel 1944
68	1944	RAF	24"	52	6 di 6	Viterbo nel 1944
69	1944	RAF	24"	54	1 di 8	Viterbo nel 1944
70	1944	RAF	24"	54	2 di 8	Viterbo nel 1944
71	1944	RAF	24"	54	3 di 8	Viterbo nel 1944
72	1944	RAF	24"	54	4 di 8	Viterbo nel 1944
73	1944	RAF	24"	54	5 di 8	Viterbo nel 1944
74	1944	RAF	24"	54	6 di 8	Viterbo nel 1944
75	1944	RAF	24"	54	7 di 8	Viterbo nel 1944
76	1944	RAF	24"	54	8 di 8	Viterbo nel 1944
77	1944	RAF	24"	56	1 di 8	Viterbo nel 1944
78	1944	RAF	24"	56	2 di 8	Viterbo nel 1944
79	1944	RAF	24"	56	3 di 8	Viterbo nel 1944
80	1944	RAF	24"	56	4 di 8	Viterbo nel 1944
81	1944	RAF	24"	56	5 di 8	Viterbo nel 1944
82	1944	RAF	24"	56	6 di 8	Viterbo nel 1944
83	1944	RAF	24"	56	7 di 8	Viterbo nel 1944
84	1944	RAF	24"	56	8 di 8	Viterbo nel 1944
85	1944	RAF	24"	58	1 di 2	Viterbo nel 1944
86	1944	RAF	24"	58	2 di 2	Viterbo nel 1944
87	1944	RAF	24"	91	1 di 6	Viterbo nel 1944
88	1944	RAF	24"	91	2 di 6	Viterbo nel 1944
89	1944	RAF	24"	91	3 di 6	Viterbo nel 1944
90	1944	RAF	24"	91	4 di 6	Viterbo nel 1944
91	1944	RAF	24"	91	5 di 6	Viterbo nel 1944

92	1944	RAF	24"	91	6 di d	Viterbo nel 1944
93	1944	RAF	24"	98	1 di 5	Viterbo nel 1944
94	1944	RAF	24"	98	2 di 5	Viterbo nel 1944
95	1944	RAF	24"	98	3 di 5	Viterbo nel 1944
96	1944	RAF	24"	98	4 di 5	Viterbo nel 1944
97	1944	RAF	24"	98	5 di 5	Viterbo nel 1944
98	1944	RAF	24"	143	1 di 5	Viterbo nel 1944
99	1944	RAF	24"	143	2 di 5	Viterbo nel 1944
100	1944	RAF	24"	143	3 di 5	Viterbo nel 1944
101	1944	RAF	24"	143	4 di 5	Viterbo nel 1944
102	1944	RAF	24"	143	5 di 5	Viterbo nel 1944
103	1944	RAF	24"	186	1 di 13	Viterbo nel 1944
104	1944	RAF	24"	186	2 di 13	Viterbo nel 1944
105	1944	RAF	24"	186	3 di 13	Viterbo nel 1944
106	1944	RAF	24"	186	4 di 13	Viterbo nel 1944
107	1944	RAF	24"	186	5 di 13	Viterbo nel 1944
108	1944	RAF	24"	186	6 di 13	Viterbo nel 1944
109	1944	RAF	24"	186	7 di 13	Viterbo nel 1944
110	1944	RAF	24"	186	8 di 13	Viterbo nel 1944
111	1944	RAF	24"	186	9 di 13	Viterbo nel 1944
112	1944	RAF	24"	186	10 di 13	Viterbo nel 1944
113	1944	RAF	24"	186	11 di 13	Viterbo nel 1944
114	1944	RAF	24"	186	12 di 13	Viterbo nel 1944
115	1944	RAF	24"	186	13 di 13	Viterbo nel 1944
116	1944	RAF	40"	3	1 di 6	Viterbo nel 1944
117	1944	RAF	40"	3	2 di 6	Viterbo nel 1944
118	1944	RAF	40"	3	3 di 6	Viterbo nel 1944
119	1944	RAF	40"	3	4 di 6	Viterbo nel 1944
120	1944	RAF	40"	3	5 di 6	Viterbo nel 1944
121	1944	RAF	40"	3	6 di 6	Viterbo nel 1944
122	1944	RAF	40"	4	1 di 6	Viterbo nel 1944
123	1944	RAF	40"	4	2 di 6	Viterbo nel 1944
124	1944	RAF	40"	4	3 di 6	Viterbo nel 1944
125	1944	RAF	40"	4	4 di 6	Viterbo nel 1944
126	1944	RAF	40"	4	5 di 6	Viterbo nel 1944
127	1944	RAF	40"	4	6 di 6	Viterbo nel 1944
128	1944	RAF	40"	37	1 di 8	Viterbo nel 1944
129	1944	RAF	40"	37	2 di 8	Viterbo nel 1944
130	1944	RAF	40"	37	3 di 8	Viterbo nel 1944
131	1944	RAF	40"	37	4 di 8	Viterbo nel 1944
132	1944	RAF	40"	37	5 di 8	Viterbo nel 1944
133	1944	RAF	40"	37	6 di 8	Viterbo nel 1944
134	1944	RAF	40"	37	7 di 8	Viterbo nel 1944
135	1944	RAF	40"	37	8 di 8	Viterbo nel 1944
136	1944	RAF	40"	71	1 di 12	Viterbo nel 1944
137	1944	RAF	40"	71	2 di 12	Viterbo nel 1944
138	1944	RAF	40"	71	3 di 12	Viterbo nel 1944
139	1944	RAF	40"	71	4 di 12	Viterbo nel 1944
140	1944	RAF	40"	71	5 di 12	Viterbo nel 1944

141	1944	RAF	40"	71	6 di 12	Viterbo nel 1944
142	1944	RAF	40"	71	7 di 12	Viterbo nel 1944
143	1944	RAF	40"	71	8 di 12	Viterbo nel 1944
144	1944	RAF	40"	71	9 di 12	Viterbo nel 1944
145	1944	RAF	40"	71	10 di 12	Viterbo nel 1944
146	1944	RAF	40"	71	11 di 12	Viterbo nel 1944
147	1944	RAF	40"	71	12 di 12	Viterbo nel 1944
148	1944	RAF	40"	73	1 di 9	Viterbo nel 1944
149	1944	RAF	40"	73	2 di 9	Viterbo nel 1944
150	1944	RAF	40"	73	3 di 9	Viterbo nel 1944
151	1944	RAF	40"	73	4 di 9	Viterbo nel 1944
152	1944	RAF	40"	73	5 di 9	Viterbo nel 1944
153	1944	RAF	40"	73	6 di 9	Viterbo nel 1944
154	1944	RAF	40"	73	7 di 9	Viterbo nel 1944
155	1944	RAF	40"	73	8 di 9	Viterbo nel 1944
156	1944	RAF	40"	73	9 di 9	Viterbo nel 1944
157	1944	RAF	40"	83	1 di 12	Viterbo nel 1944
158	1944	RAF	40"	83	2 di 12	Viterbo nel 1944
159	1944	RAF	40"	83	3 di 12	Viterbo nel 1944
160	1944	RAF	40"	83	4 di 12	Viterbo nel 1944
161	1944	RAF	40"	83	5 di 12	Viterbo nel 1944
162	1944	RAF	40"	83	6 di 12	Viterbo nel 1944
163	1944	RAF	40"	83	7 di 12	Viterbo nel 1944
164	1944	RAF	40"	83	8 di 12	Viterbo nel 1944
165	1944	RAF	40"	83	9 di 12	Viterbo nel 1944
166	1944	RAF	40"	83	10 di 12	Viterbo nel 1944
167	1944	RAF	40"	83	11 di 12	Viterbo nel 1944
168	1944	RAF	40"	83	12 di 12	Viterbo nel 1944
169	1944	RAF	40"	137	1 di 12	Viterbo nel 1944
170	1944	RAF	40"	137	2 di 12	Viterbo nel 1944
171	1944	RAF	40"	137	3 di 12	Viterbo nel 1944
172	1944	RAF	40"	137	4 di 12	Viterbo nel 1944
173	1944	RAF	40"	137	5 di 12	Viterbo nel 1944
174	1944	RAF	40"	137	6 di 12	Viterbo nel 1944
175	1944	RAF	40"	137	7 di 12	Viterbo nel 1944
176	1944	RAF	40"	137	8 di 12	Viterbo nel 1944
177	1944	RAF	40"	137	9 di 12	Viterbo nel 1944
178	1944	RAF	40"	137	10 di 12	Viterbo nel 1944
179	1944	RAF	40"	137	11 di 12	Viterbo nel 1944
180	1944	RAF	40"	137	12 di 12	Viterbo nel 1944

TABELLA 4

Testi degli audio descrittivi dei punti di interesse dei livelli interattivi della mappa GIS della città di Viterbo durante la Seconda Guerra mondiale

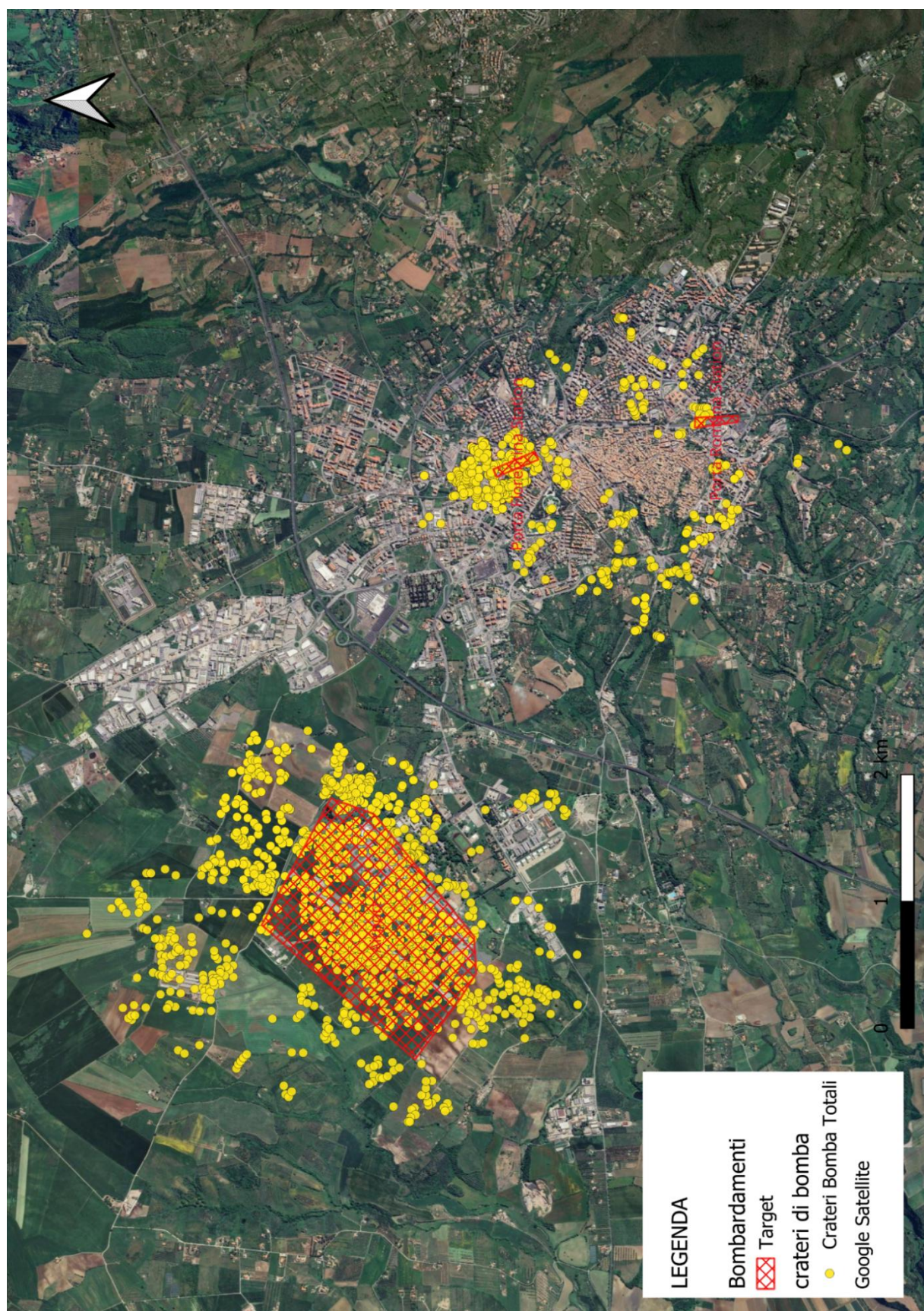
Titolo	Descrizione
Aeroporto di Viterbo	L'aeroporto di Viterbo è un aeroporto militare situato a nord-ovest della città, a 3 km dal centro. Inaugurato nel 1937, l'aeroporto prese il nome del tenente pilota Tommaso Fabbri, morto in Etiopia e decorato con la Medaglia di bronzo al valor militare alla memoria. L'area aeroportuale sorge su una vasta zona archeologica interessata dall'antica Via Cassia ed è oggi una delle aree a maggior rischio di ordigni inesplosi dell'intera città di Viterbo, in quanto obiettivo bellico ripetutamente colpito dai bombardamenti della Seconda guerra mondiale. (Galeotti, 2008).
Porta Fiorentina	Porta Fiorentina è uno degli ingressi storici delle mura medievali di Viterbo. Questo ingresso urbano prende il nome dalla sua posizione geografica, in quanto si trova a nord della città in direzione di Firenze. Porta Fiorentina dà accesso a Piazza della Rocca, da un lato, e dall'altro a Piazza Gramsci. Originariamente la porta era denominata “Santa Lucia”, ma nel 1768 il Comune di Viterbo ne decise la ricostruzione e, successivamente nel 1886, l'ampliamento. Oggi presenta tre varchi adibiti al passaggio delle auto, più altri due alle estremità riservati invece al transito pedonale. Porta Fiorentina fu in gran parte distrutta dai bombardamenti della Seconda guerra mondiale e successivamente ricostruita. (Viterbo capitale medievale, N. D.).
Palazzo Grandori	Il Palazzo Grandori di Viterbo, situato in Piazza della Rocca, fu progettato dall'architetto Luigi Grandori a partire dal 1880. Il progetto originario prevedeva la costruzione di un albergo che avrebbe dovuto prosperare grazie alla ferrovia Viterbo-Attigliano. L'iniziativa però fallì e l'edificio fu venduto alla locale Cassa di Risparmio, che vi adibì i locali a uffici. Durante la Seconda guerra mondiale, la maggior parte dei piani superiori fu distrutta dai bombardamenti e fu ricostruita nel dopoguerra. Oggi il palazzo ospita diverse attività commerciali e turistiche, tra cui camere d'albergo situate ai piani superiori. (Mazzuoli, N. D.)
Rocca Albornoz	La Rocca di Viterbo, chiamata Rocca Albornoz, fu costruita nel 1354 prendendo il nome dal cardinale Egidio Albornoz. La fortezza ha subito nel tempo varie distruzioni, ma un primo importante restauro risale al 1506, ad opera di Papa Giulio II, che chiamò il Bramante per aggiungere il cortile e la fontana centrale. Durante la Seconda guerra mondiale, la piazza antistante subì numerosi danni e la struttura della fortezza fu recuperata solo tra il 1960 e il 1979, quando fu trasformata in una struttura museale. Oggi, infatti, ospita il Museo Nazionale Etrusco. (Ministero della Cultura, N. D.-a).
Fontana di Piazza della Rocca	La Fontana di Piazza della Rocca a Viterbo è opera di Giacomo Rossi, detto il "Vignola". Fu costruita sostituendo una più modesta fontana medievale. La nuova fontana fu commissionata dal cardinale Alessandro Farnese nel 1576 ed è costituita da due vasche sovrapposte: una vasca ottagonale e una base composta da quattro lati a gradoni e quattro con vasche sovrapposte. La fontana, la piazza e molti degli edifici circostanti subirono gravi danni a causa dei bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale e successivamente furono ricostruiti e restaurati in modo da essere il più possibile fedeli agli originali. (Mazzuoli, N. D.).
Chiesa di San Francesco	La chiesa di San Francesco a Viterbo fu costruita a partire dal 1237 su un terreno che Papa Gregorio IX aveva donato ai Francescani. L'edificio preesistente, detto degli Alemanni, risalente al 1208, fu incorporato nel convento adiacente alla chiesa.

	L'edificio fu restaurato nel XVI secolo e nuovamente nel XVII secolo. Questi rifacimenti portarono all'aggiunta di elementi barocchi che coprono quelli medievali originali. La targa murata sulla facciata è importante perché informa che la chiesa, parzialmente distrutta dai bombardamenti alleati del 17 gennaio 1944, fu ricostruita dalla Soprintendenza ai Monumenti del Lazio e riaperta al pubblico nell'aprile del 1953. Gli interventi di ricostruzione portarono alla rimozione totale degli elementi barocchi e al ripristino dell'antica struttura romanica. (Ministero della Cultura, N. D.-b).
Palazzo Pucci	Palazzo Pucci si trovava nel quartiere San Luca, lungo l'attuale via Matteotti. Il palazzo prende il nome da Pier Giovanni Pucci, che commissionò all'architetto Giuseppe Prada la costruzione del palazzo di famiglia in stile rococò, terminata nel 1736. Il bel palazzo settecentesco divenne in seguito sede della Biblioteca Comunale Ardenti, completamente distrutta dai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale. Inoltre, dove dovevano esserci le fondamenta del palazzo, gli scavi archeologici hanno trovato strutture medievali più antiche. (Franchi, N. D.).
L'antica chiesa di San Luca	L'antica chiesa di San Luca a Viterbo risale al 1158 e ha dato il nome al quartiere urbano in cui si trovava. Dal 1472 fu sede della “Sartoria”, che aveva come simbolo la forbice aperta con le punte rivolte verso l'alto. Aveva un ospedale annesso e, dopo varie vicende, nel 1500 fu riunita sotto la giurisdizione di altre chiese viterbesi, ma fu completamente distrutta dai bombardamenti del 1944. Oggi l'edificio non esiste più ed è stato sostituito da un moderno edificio che ha avuto nel tempo diverse funzioni, tra cui quella commerciale attuale. (Galeotti, 2019).
Teatro Unione	Il “Teatro Unione” di Piazza Verdi è il principale teatro della città di Viterbo. La sua costruzione e il suo nome derivano dall’“unione” di un gruppo di cittadini viterbesi che, nel 1844, costituirono la “Società dei Palchettisti”, guidata dal conte Tommaso Fani Ciotti. Fu costruito dall'architetto Virginio Vespignani e inaugurato nel 1855. A causa dei bombardamenti della Seconda guerra mondiale, la struttura subì gravi danni. Dal 1949, la proprietà appartiene interamente al Comune di Viterbo. Purtroppo, agli inizi del 2000 la struttura è stata chiusa per sei anni, per essere riaperta, successivamente ad una ristrutturazione, nel 2017. (teatrounioneviterbo.it, N. D.)
Piazza dei Caduti	Piazza dei Caduti di Viterbo, detta Sacrario, fu concepita con i lavori approvati nel 1929 e realizzati tra il 1932 e il 1938, che prevedevano la demolizione delle case medievali che si affacciavano sul fiume Urcionio, che scorreva dove ora si trova via Marconi. Qui sorge il tempietto di Santa Maria della Salute, voluto nel 1320 da Maestro Fardo di Ugolino da Viterbo per accrescere l'importanza di un vicino ricovero da lui stesso costruito in via di Valle Piatta. Si trovano inoltre il Tempietto di Santa Maria della Peste, eretto nel 1494, probabilmente per invocare la protezione celeste dalle pestilenze che spesso colpivano la popolazione, e l'ex Chiesa di San Giovanni Battista degli Almadiani, costruita da Maestro Bernardino di Giovanni da Viterbo. L'area era centrale rispetto agli ingressi, situati in vari punti della città, dell'unico rifugio antiaereo pubblico di Viterbo. Infatti, durante la Seconda guerra mondiale gran parte dell'area fu bombardata e ricostruita nel dopoguerra. (Tavoletta, N. D.; viterboincartolina.it, N. D.)
Chiesa di San Giovanni in Zoccoli	La chiesa di San Giovanni in Zoccoli a Viterbo risale probabilmente all'XI secolo. Incerta risulta anche l'origine del suo nome. Forse il termine “zoccoli” è una distorsione linguistica di “ciotole”, che probabilmente indicava una decorazione della facciata originaria. Tuttavia, è indubbio che la chiesa sia sempre stata dedicata a San Giovanni Evangelista. La chiesa è stata sottoposta a numerosi restauri nel corso dei secoli, il più importante nel 1880 e quello successivo alla ricostruzione dopo i bombardamenti subiti durante l'ultima guerra mondiale. (Ambrosini, 2015a).

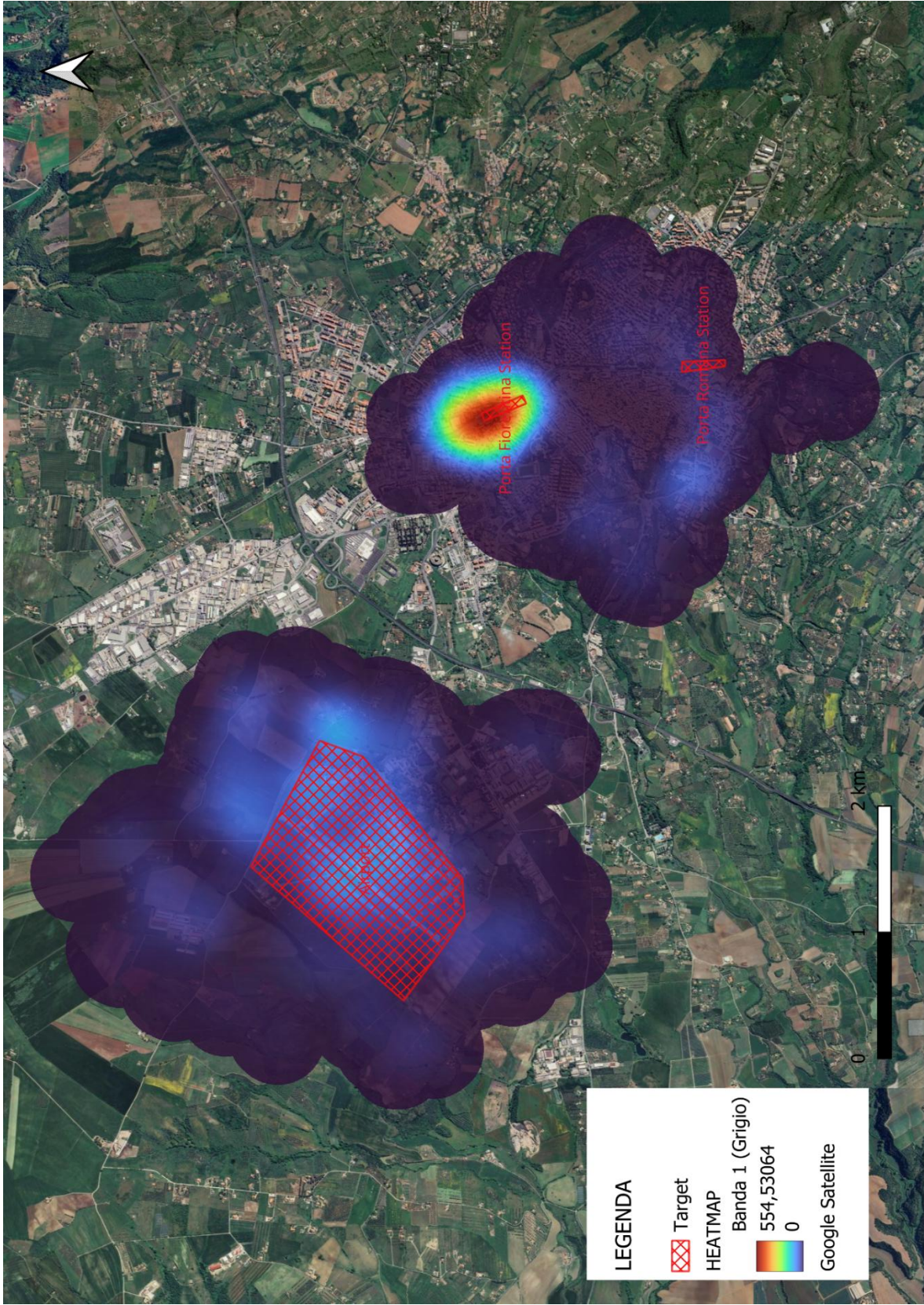
Palazzo Gentili	Il palazzo Gentili a Viterbo si trova tra via Cavour, via Fontanella Sant'Angelo e via Saffi. Questo palazzo appartenne prima alla famiglia Costaguti, poi alla famiglia Galeotti e infine alla famiglia Gentili, da cui ha preso il nome attuale. Dopo i bombardamenti della Seconda guerra mondiale, l'edificio fu completamente ricostruito e divenne la sede dell'Amministrazione Provinciale. Sul grande portale d'ingresso di via Cavour è infatti visibile lo stemma della Provincia. (Zelli, N. D.).
Palazzo Valentino della Pagnotta	Il Palazzo di Valentino Della Pagnotta a Viterbo risale al XIII secolo. Il piano terra è interamente costruito in pietra. La facciata presenta due archi a tutto sesto, sorretti da una lesena e da due semicolonne. Sopra i capitelli si trova il cornicione, sostenuto da mensole a gradini e bifore gotiche simili a quelle della "Loggia dei Papi". Il nome del palazzo deriva da Valentino della Pagnotta, un ricco agricoltore che fu anche priore della città nel 1458. Nel corso del tempo, il palazzo è stato sottoposto a numerose ricostruzioni e modifiche. Un restauro importante è avvenuto nel 1920, quando la struttura è stata riportata alla sua forma originale del XIII secolo. Nel 1944 l'edificio subì un bombardamento e fu ricostruito, ripristinando il portico della facciata, che era stato chiuso in precedenza. (Ambrosini, 2014)
La cattedrale di Viterbo	Il Duomo di Viterbo, o Cattedrale di San Lorenzo, sorge su un'area sempre stata sacra, a partire da un santuario romano dedicato a Ercole. La chiesa ha una struttura romanica risalente al XII secolo, anche se la facciata, a causa delle modifiche apportate nel XVI secolo, è in stile rinascimentale. L'interno fu rimaneggiato nel XVI secolo, quando furono aperte dieci cappelle nelle pareti laterali, mentre nel XVII secolo fu costruita una volta a botte decorata da Urbano Romanelli e la navata centrale fu ampliata con un'abside barocca. Dopo la Seconda guerra mondiale, gran parte di queste modifiche fu rimossa, perché l'esplosione di una bomba sganciata nella cattedrale durante un bombardamento nel 1944 provocò ingenti danni e il successivo restauro offrì l'opportunità di riportare gran parte della chiesa alla sua struttura romanica originale. Otto delle dieci cappelle e la parte absidale furono murate. Oggi la cattedrale fa parte del "Polo Monumentale Colle del Duomo". (Beweb, 2017).
Fontana Grande	Fontana Grande, situata nell'omonima piazza, risale al XII-XIII secolo. Rialzata da una scalinata rispetto al piano stradale, è costituita da una prima vasca a forma di croce greca, al centro della quale si erge una colonna che sostiene due coppe sovrapposte e termina con un pinnacolo. Il suo antico nome, " <i>fons sepalis</i> ", potrebbe derivare dalla parola " <i>sepes</i> ", che in latino significa "sbarre di ferro". L'attuale fontana, costruita nel 1212 per volere del Comune, ebbe varie modifiche fino al 1827, quando fu restaurata nella struttura e in parte della decorazione. La fontana non ha uno stile uniforme nella sua forma attuale. Nella parte inferiore si riscontra l'austerità del romanico, mentre nella parte superiore predomina lo stile gotico. L'acqua della fontana proviene da un acquedotto romano risalente al IX secolo, costruito dal console Mummio Nigno Vigeto. Durante i bombardamenti della Seconda guerra mondiale ha subito pochi danni, a differenza di via Garibaldi e degli edifici circostanti. (Ambrosini, 2015b).
Chiesa di San Sisto	La chiesa di San Sisto risale probabilmente al IX secolo. È infatti una delle chiese più antiche di Viterbo, costruita su un antico tempio romano. Nel corso del tempo, l'edificio ha subito diverse modifiche e ulteriori restauri dopo i bombardamenti alleati del 1944. Questi interventi hanno cancellato le tracce architettoniche posteriori al XIV secolo, restaurando le strutture più antiche. L'attuale facciata risale ai restauri del dopoguerra, mentre il campanile romanico conserva ancora la sua architettura originaria. Un altro campanile risale ai restauri del XII-XIII secolo, quando una torre delle mura venne trasformata in campanile. L'abside della chiesa è incorporata nelle mura della città. Sul lato destro dell'edificio, fino all'ultima guerra mondiale, si trovava una "quarta navata" (risalente al XIII secolo), distrutta dai bombardamenti.

	Proprio, a causa dei danni subiti durante i bombardamenti del 1944, la chiesa conserva poche opere d'arte. (Ambrosini, 2015c).
Chiesa di Santa Maria delle Fortezze	Oggi, purtroppo, sono visibili solo i resti dell'antica chiesa di Santa Maria delle Fortezze a Viterbo. La struttura fu distrutta durante i bombardamenti della Seconda guerra mondiale. Attualmente, dei suoi antichi splendori, sono visibili solo i resti della parte con l'altare centrale e i due altari laterali, situati vicino alla parte esterna delle mura medievali della città. La chiesa aveva una grande aula a forma di basilica, divisa internamente in tre navate. Dalle testimonianze storiche è emerso che la chiesa era in buone condizioni ed era utilizzata fino al 1940. Accanto all'edificio si trovava anche un convento. Sono ancora visibili parti del pavimento e alcuni frammenti di affreschi. (Ambrosini, 2015d).
Chiesa di Santa Maria in Gradi	Il convento domenicano e la chiesa di Santa Maria in Gradi furono costruiti nel 1215. Oggi il complesso architettonico fa parte dell'Università della Tuscia di Viterbo. Consacrato a metà del 1200, ha subito modifiche e cambiamenti nel corso degli anni. L'intervento più importante risale al 1700, quando l'architetto Nicola Salvi avviò un grande progetto di restauro. La chiesa fu profondamente trasformata, passando dalla divisione a tre navate con tetto in legno a quella coperta con volta a botte. Inoltre, nel 1874 la chiesa fu chiusa al culto e nel 1877 fu adibita a penitenziario. I bombardamenti del 17 marzo 1944 e della notte tra il 24 e il 25 maggio 1944 danneggiarono gravemente l'edificio. Il tetto e la volta della navata centrale furono distrutti e causarono danni statici alle strutture e alle cappelle laterali. Questo portò alla decisione di demolire parte delle mura. Oggi è in stato di abbandono, ma l'Università della Tuscia l'ha recentemente coinvolta in un progetto di valorizzazione e restauro. (Della Rocca, 2021; Ministero della Cultura 2020).
Palazzo Nave	Il cosiddetto “Palazzo Nave” è un imponente edificio residenziale la cui costruzione iniziò prima della Seconda Guerra Mondiale ad opera della ditta Mancinelli di Viterbo, una delle imprese edili più attive della città. Il 26 maggio 1944, tuttavia, fu colpito e parzialmente distrutto da un bombardamento aereo. Seguì una fedele e minuziosa ricostruzione, probabilmente realizzata dagli stessi operai che l'avevano costruita qualche anno prima. La stessa impresa ha successivamente completato l'edificio appoggiando a valle un corpo di fabbrica della stessa altezza, che si differenzia dalla parte originale per l'assenza del cornicione dentellato e per ulteriori dettagli qualitativi. Quest'ultimo intervento è il risultato della frenesia costruttiva degli anni Cinquanta e Sessanta. (Fabi, N. D.)

TITOLO	SOFTWARE	AUTORE
TAVOLA 1_ Crateri di bomba e target di Guerra, Viterbo	QGIS®	M. Noto



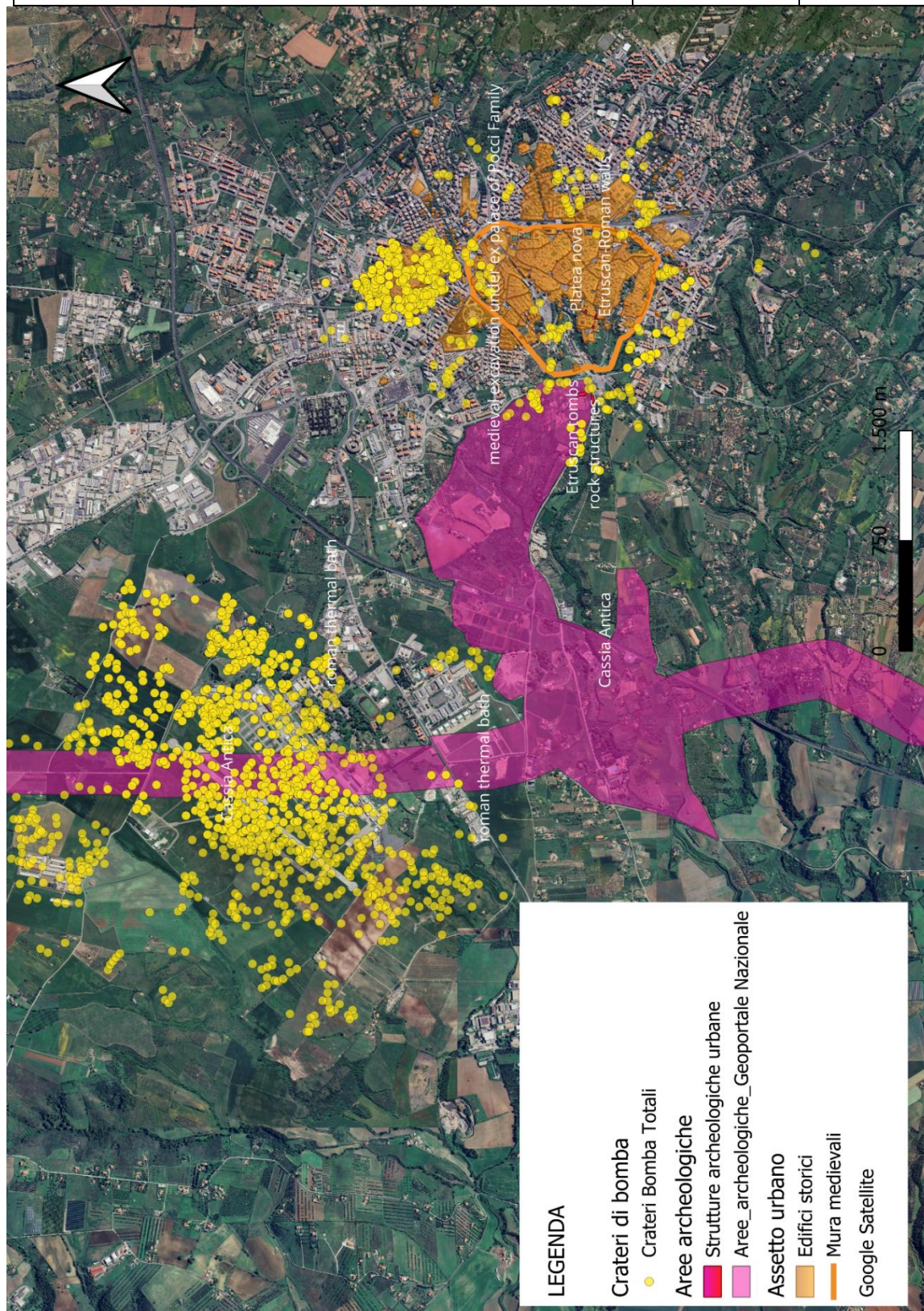
TITOLO	SOFTWARE	AUTORE
TAVOLA 2_ Heatmap	QGIS®	M. Noto



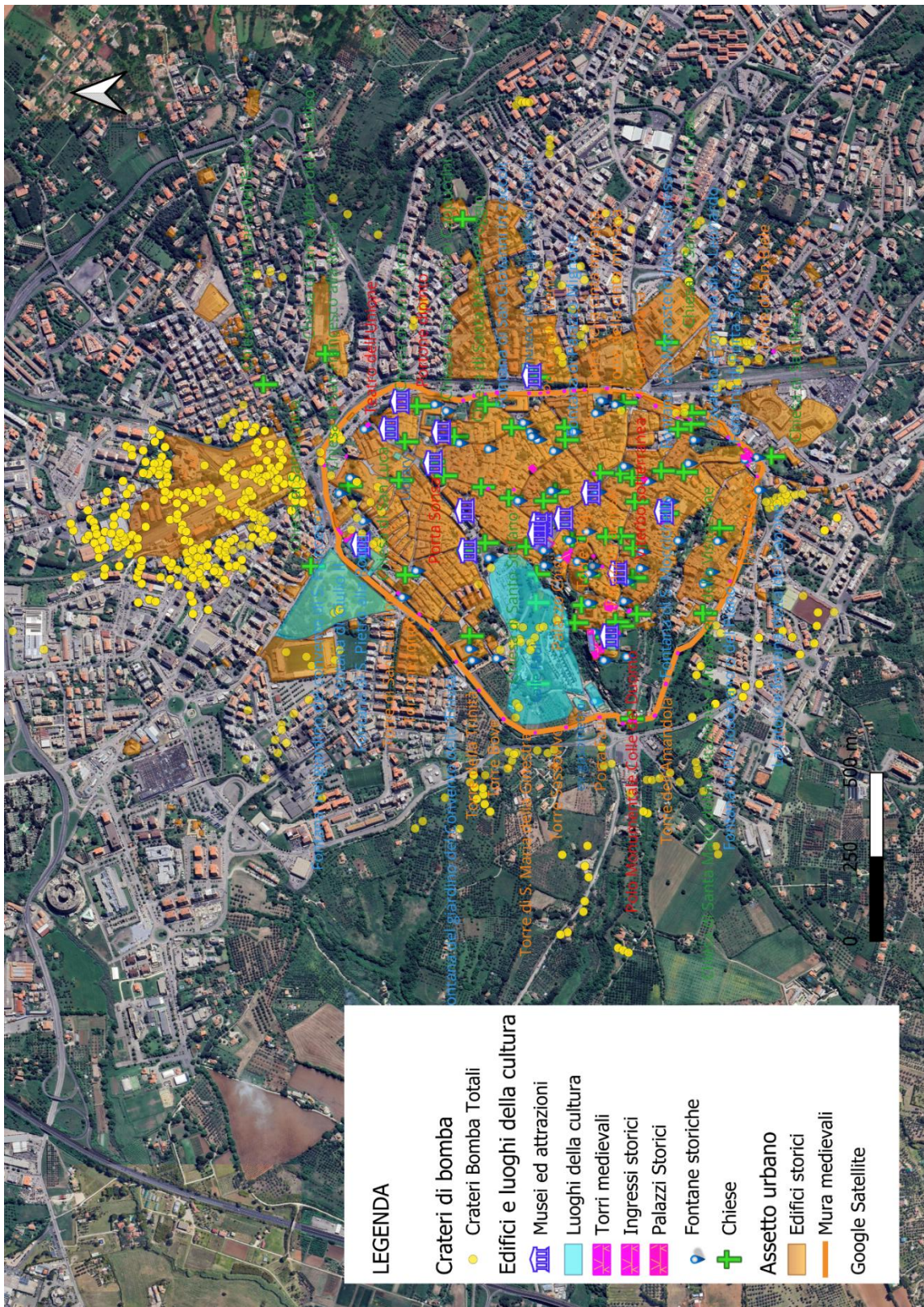
TITOLO	SOFTWARE	AUTORE
TAVOLA 3_Rifugi, sirene e cavità sotterranee	QGIS®	M. Noto



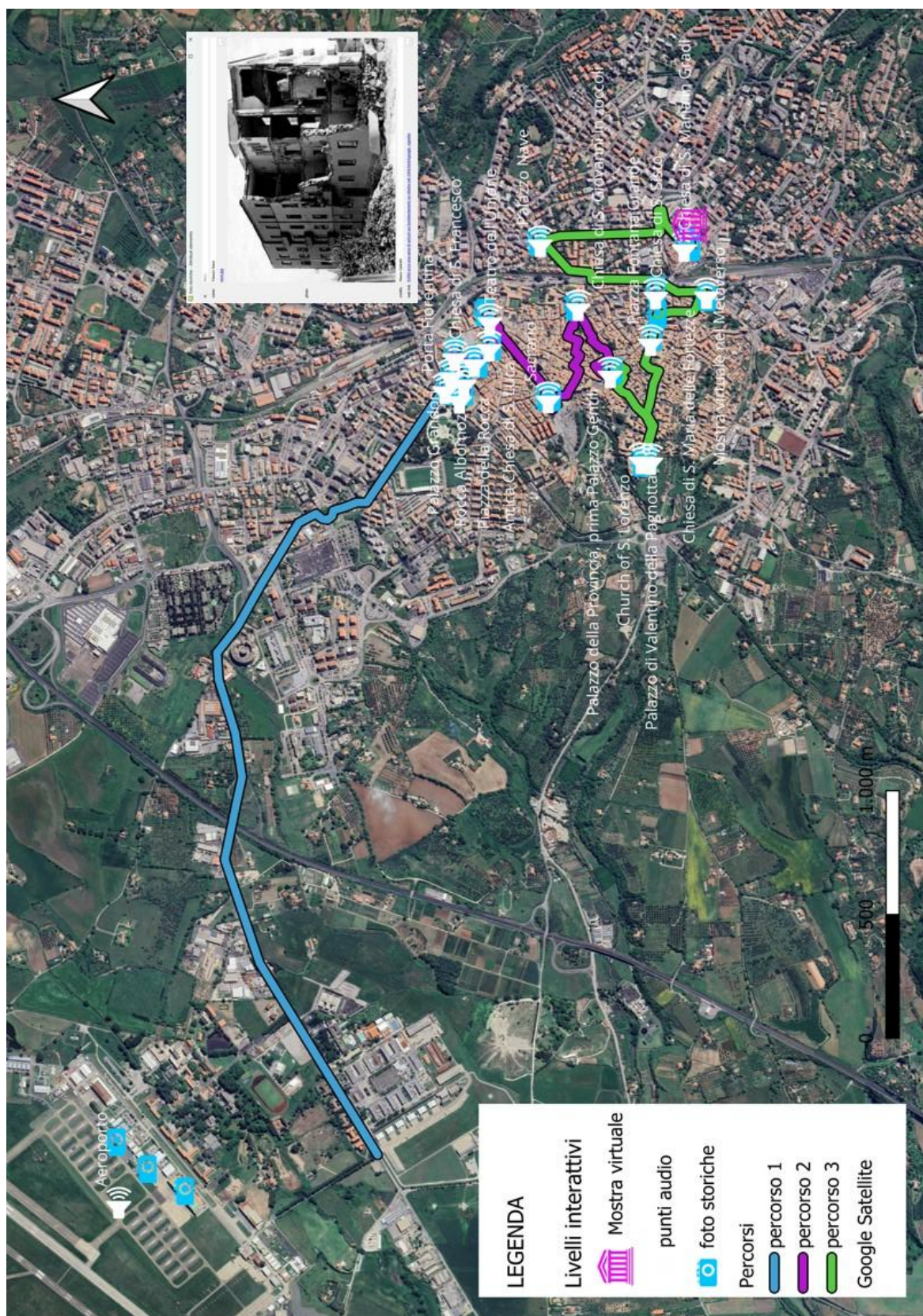
TITOLO	SOFTWARE	AUTORE
TAVOLA 4_Aree e beni di interesse archeologico a rischio rinvenimento di UXO	QGIS®	M. Noto



TITOLO	SOFTWARE	AUTORE
TAVOLA 5_Edifici e luoghi della cultura a rischio rinvenimento di UXO	QGIS®	M. Noto



TITOLO	SOFTWARE	AUTORE
TAVOLA 6 Percorsi interattivi	QGIS®	M. Noto



APPENDICE 1

• Defense Flags – Viterbo

Defense Flags – Viterbo	261
Premessa	261
Scenario storico.....	261
Caratteristiche del gioco.....	262
Target.....	262
Piattaforma.....	262
Trama.....	262
Riferimenti videoludici.....	263
Gameplay.....	263
Contesto storico e sociale: gli edifici	263
Rapporti di fine livello	264
Schede di approfondimento storico-culturale.....	264
Aspetti Educativi.....	264
Rischio inesplosi	264
Adattamenti successivi.....	264
Prezzo	265

• Premessa

"Defense Flags⁴²⁹" è un gioco mobile destinato ad offrire sul piano ludico un mix di azione e riflessione strategica, con un forte impatto emotivo dato dal contesto di guerra e dalla missione di salvare vite e luoghi della cultura.

Il gioco è destinato ad attirare giocatori interessati sia all'azione intensa che alle storie significative.

Tra i suoi obiettivi vi è quello di sensibilizzare gli utenti sul rischio derivante dalla presenza di ordigni bellici inesplosi. Il gioco vuole anche informare sullo stato e la ricostruzione dei principali edifici e complessi monumentali di Viterbo a seguito dei bombardamenti.

• Scenario storico

Viterbo e i suoi cittadini dovettero affrontare grandi sacrifici e difficoltà durante la Seconda Guerra Mondiale.

⁴²⁹ il titolo del gioco è da considerarsi come provvisorio

Durante l'occupazione tedesca, i bombardamenti e le incursioni aeree causarono gravi danni alla città che visse momenti di caos finché, con l'arrivo degli Alleati, iniziò la ricostruzione della città semidistrutta.

Viterbo subì danni ingenti al patrimonio culturale nonostante l'uso simbolico delle bandiere per proteggere i beni culturali durante i bombardamenti. Le convenzioni internazionali, nonché decreti nazionali, stabilivano l'uso di apposite segnalazioni per indicare ai bombardieri e, idealmente, proteggere dai bombardamenti i monumenti storici.

Le bandiere venivano utilizzate per la protezione dei palazzi storici e dei beni considerati di interesse collettivo e culturale, segnalando ed evidenziando edifici e monumenti da risparmiare nei bombardamenti e supportando le misure pratiche adottate per preservare il patrimonio storico e artistico.

- **Caratteristiche del gioco**

Genere: *action arcade* con riferimenti storici e schede di approfondimento geo-culturale

Ambientazione: il gioco è inizialmente ambientato a Viterbo

Altre ambientazioni/adattamenti possibili: altre città italiane (vedi Pompei, Cassino...) ed europee (Valenzia, Parigi, Atene, ...).

- **Target**

Dai 17 anni in su (con focus sugli studenti universitari e degli ultimi anni delle scuole superiori).

- **Piattaforma**

Applicazione per smartphone in modalità *landscape* per piattaforma iOS e Android.

- **Trama**

In "Defense Flags", il giocatore assume il ruolo di un coraggioso cittadino in una città devastata dalla guerra.

Gli aerei stanno bombardando la città, e l'unica speranza per la popolazione è piazzare bandiere sui tetti degli edifici per segnalare che devono essere risparmiati per la loro importanza civile, storica e culturale.

Le bandiere rappresentano un simbolo di resistenza e speranza, visibili agli occhi dei piloti per evitare il bombardamento.

- **Riferimenti videoludici**

Il gioco è liberamente ispirato a famosi videogiochi *arcade* con mappe che scrollano in verticale comunemente chiamati "*vertical scrolling shooters*" o "*shoot 'em ups*".

In tali giochi, lo schermo si muove continuamente verso l'alto mentre il giocatore controlla un mezzo (es. aereo o navicella) o un personaggio, combattendo contro nemici ed evitando ostacoli. Alcuni esempi famosi di questo genere includono: "1942" e "1943" di Capcom "Raiden" di Seibu Kaihatsu e "Xevious" di Namco.

Sono giochi noti per la loro azione frenetica e la necessità di riflessi rapidi in funzione della crescente difficoltà dei livelli.

- **Gameplay**

- **Obiettivo primario:** il giocatore deve individuare gli edifici da salvare e piazzare le bandiere sui tetti prima che vengano bombardati.

- **Abilità:** il giocatore deve collocare le bandiere sugli edifici più importanti (identificati da codici colore e appositi simboli) evitando di "collidere" con i bombardieri.

- **Tempo e strategia:** ogni livello ha un limite di tempo, e il giocatore deve decidere rapidamente quali edifici salvare.

- **Power-ups:** diversi *power-up* possono essere raccolti e usati dal giocatore per ridurre la velocità del gioco, ottenere invulnerabilità temporanea, evitare i nemici e guadagnare bandiere extra.

- **Scenari e livelli:** ogni scenario riguarda una diversa città. Per ogni città sono presenti diversi livelli (es. 3) basati sulla mappa con un numero crescente di edifici e ostacoli. La difficoltà aumenta man mano che il giocatore avanza, con tempi più brevi e ostacoli più complessi.

- **Contesto storico e sociale: gli edifici**

Durante la Seconda Guerra Mondiale in una città europea occupata, con aerei che bombardano i quartieri civili.

Gli edifici da salvare sono tipicamente porte e mura cittadine, ospedali, scuole, monumenti e luoghi della cultura, chiese, università (es. Complesso Santa Maria in Gradi).

- **Rapporti di fine livello**

Al termine di ogni livello il giocatore visualizza:

- il numero e il genere di edifici salvati e/o distrutti (e relative schede informative);
- il numero delle bombe sganciate (e di quelle inesplose)
 - una scheda informativa ricorda e sensibilizza sul tema e i pericoli connessi agli ordigni inesplosi.

- **Schede di approfondimento storico-culturale**

Il gioco include schede di approfondimento sugli edifici storici più importanti.

Per ogni edificio significativo sarà possibile includere riferimenti storici (es. date di costruzione/ricostruzione), fotografie e altri contenuti.

- **Aspetti Educativi**

"Defense Flags" non solo offre un'esperienza di gioco coinvolgente ma educa i giocatori su:

- importanza dei simboli e della comunicazione visiva in tempo di guerra;
- storia e impatti dei bombardamenti sulla città;
- evoluzione della città a seguito dei bombardamenti;
- rischio inesplosi nel territorio.

- **Rischio inesplosi**

Alla fine di ogni livello il sistema presenterà statistiche sul numero delle bombe cadute e di quelle (statisticamente) inesplose.

A seguire il giocatore dovrà partecipare ad un secondo gioco basato su domande (meccanica “trivia”) che facciano riflettere sul pericolo degli ordigni inesplosi e acquisire informazioni sui giusti comportamenti da seguire. Tale gioco sarebbe basato su una meccanica del tipo *swipe-based interaction* nella quale il giocatore deve trascinare un'immagine o un elemento a destra o a sinistra con il pollice per effettuare la propria scelta.

In alternativa potrà essere aggiunta una ulteriore meccanica action basata sull'esplorazione della mappa per ricercare gli ordigni inesplosi o evitare le aree a più alto tasso di rischio.

- **Adattamenti successivi**

"Defense Flags" è stato progettato per essere sviluppato sulla città di Viterbo e relativa mappa.

In una fase successiva potrà essere adattato a nuovi scenari cittadini ovvero alle relative mappe e contenuti storico-culturali di altre città nazionali ed europee.

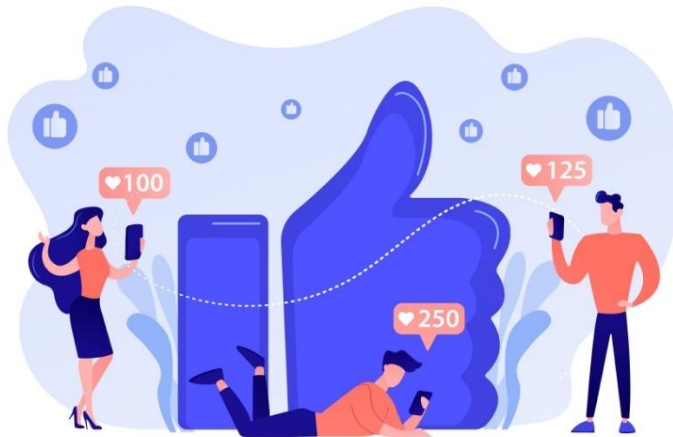
- **Prezzo**

Per la progettazione, la prototipazione (*mockup*), lo sviluppo applicativo *client* e *server*, le attività di test e playtest, le ottimizzazioni e la pubblicazione sugli store (Google store e Apple store) il prezzo è compreso tra 45.000 e 50.000 euro.

APPENDICE 2

Il Quiz di debriefing collegato alla mostra virtuale nel Metaverso è disponibile al seguenti link di Google Forms: <https://docs.google.com/forms/d/1cUr0rSGm-fo5cbkke79iW9wtnQtdU1RqLQYMQe1beBk/prefill>

Section 1: Rating



1. **1. How much did you enjoy the exhibition? ***

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ Very much
- ☐ Quite
- ☐ A little
- ☐ Not at all

2. **2. How long did it take you to visit the exhibition? ***

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ 10 minutes
- ☐ 15 minutes
- ☐ 30 minutes
- ☐ more than 30 minutes

3. **3. Did you find it easy to use Spatial? ***

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ Little
- ☐ Very Much
- ☐ Quite
- ☐ Not at all

4. **4. Would you recommend this exhibition to anyone? ***

Contrassegna solo un ovale.

☐ Yes

☐ No

Section 2: understanding the content



5. **5. What is the main theme of the exhibition? ***

Contrassegna solo un ovale.

☐ The city of Viterbo

☐ The city of Viterbo during the Second World War

☐ Historical photographs from 1944

☐ The bombed airports

6. **Do you have any suggestions?**

7. **6. Did you learn anything new from the exhibition? ***

Contrassegna solo un ovale.

☐ Yes

☐ No

8. **7. If yes, what did you learn?**

10. **9. Do you find the opportunity to walk on the 3D model made up of historical aerial *
photographs interesting?**

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ Yes, because it is fun
- ☐ Yes, because it makes the visit more interactive
- ☐ Yes, because it gives a different way and point of view to appreciate historical photos
- ☐ No

11. **10. How do aerial photographs help us understand the bombing of Viterbo? ***

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ Making bomb craters visible
- ☐ Having been taken in 1944
- ☐ Thanks to B/W contrast
- ☐ I don't know

12. **11. What do you find at the entrance to the exhibition? ***

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ A general view of Viterbo and the university campus
- ☐ A bombed church in the city of Viterbo
- ☐ A plastic model
- ☐ Aerial photos

13. **12. Which historical monuments in Viterbo were most affected by the bombing? ***

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ Churches
- ☐ The gates along the walls
- ☐ Medieval towers
- ☐ Airports

14. **13. How do ortho-photomosaics help reconstruct the history of the bombing? ***

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ Restoring an overall view of the city and the territory
- ☐ Combining several historical photos of the Viterbo countryside
- ☐ Being very large
- ☐ Having been shot from above

15. **14. How does the exhibition document the destruction of Viterbo's historic centre? ***

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ Through historical photos, 3D, documents and maps
- ☐ Through historical photos of documents and maps
- ☐ With descriptive audio, video and 3D models
- ☐ With photos and 3D models

16. **15. What are unexploded ordnance risk maps? ***

Contrassegna solo un ovale.

- ☐ Maps to calculate the possible presence of unexploded ordnance
- ☐ Maps preventing the risk of explosions
- ☐ A plastic model
- ☐ 3D models

Thank you for taking the quiz! Your feedback will help us improve our future virtual exhibitions!



Questi contenuti non sono creati né avallati da Google.

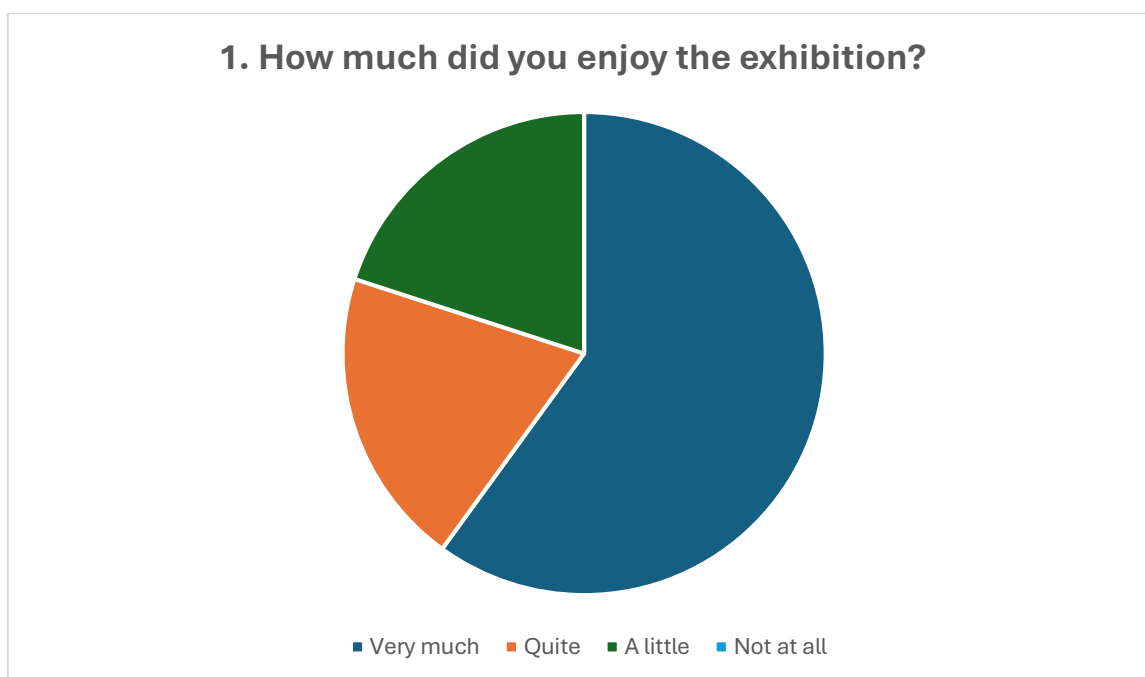
Google Moduli

APPENDICE 3

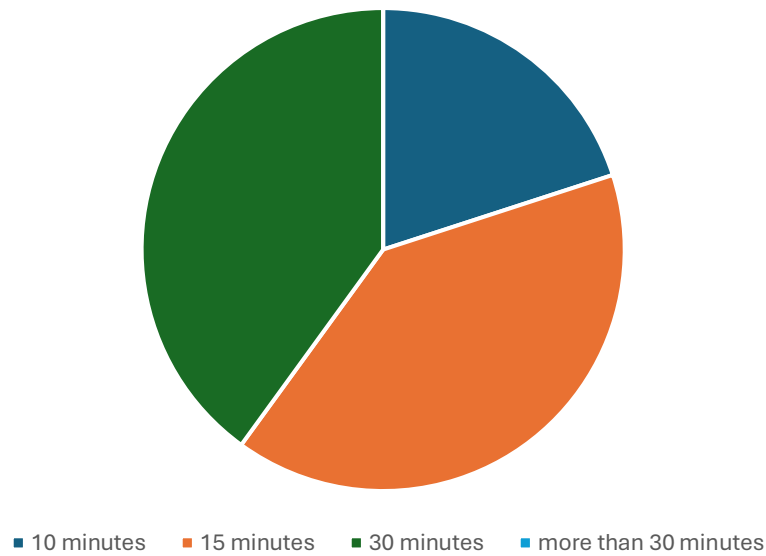
Relazione finale sui risultati del Quiz collegato alla mostra fotografica nel Metaverso

La mostra fotografica, organizzata con il supporto della piattaforma 3D “Spatial®”, ha offerto ai visitatori un’esperienza immersiva e interattiva dedicata alla città di Viterbo durante la Seconda guerra mondiale. L’iniziativa è stata sottoposta a valutazione tramite un questionario somministrato al pubblico al termine della visita. Dalle risposte ricevute, pari a 50, è possibile trarre alcune considerazioni significative sull’efficacia, l’accessibilità e l’interesse suscitato dall’esposizione.

Il gradimento generale della mostra si è rivelato piuttosto positivo: il 60% degli utenti ha dichiarato di averla apprezzata molto, un 20% abbastanza e il restante 20% poco, mostrando quindi una varietà di opinioni ma con una prevalenza di percezioni positive (Grafico 1). Un dato interessante riguarda il tempo dedicato alla visita: un 40% degli utenti ha trascorso una media di circa 30 minuti all’interno dell’esposizione, segno di un coinvolgimento abbastanza approfondito, un altro 40% 15 minuti e il rimanente 20% 10 minuti, indicando comunque una buona tenuta dell’attenzione (Grafico 2). Risulterebbe opportuno approfondire questo dato, analizzando se la durata della permanenza all’interno della mostra possa essere influenzata da ulteriori variabili, quali la modalità di fruizione – in presenza oppure da remoto – e il tipo di dispositivo utilizzato, come dispositivi mobili personali o visori per la realtà virtuale.

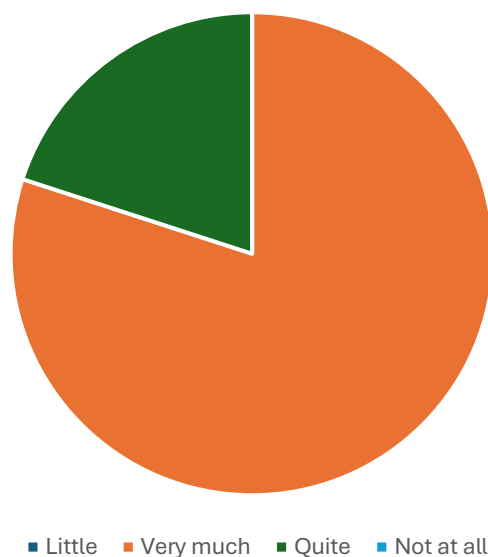


2. How long did it take you to visit the exhibition?



Per quanto riguarda l'usabilità della piattaforma Spatial®, l'80% dei partecipanti l'ha trovata molto intuitiva, mentre solo il 20% ha risposto "abbastanza", dichiarando una leggera difficoltà (Grafico 3). Un consenso unanime, pari al 100% dei rispondenti, alla domanda numero 4, "Would you recommend this exhibition to anyone?", ha espresso la volontà di consigliare la mostra ad altri, a dimostrazione del valore informativo e dell'interesse che l'esperienza ha suscitato.

3. Did you find it easy to use Spatial?



Anche il tema principale dell'esposizione, ovvero il quesito numero 5, "What is the main theme of the exhibition?" con risposta corretta "la città di Viterbo durante la Seconda guerra

mondiale”, è stato correttamente individuato dal 100% degli intervistati. La mostra ha quindi trasmesso efficacemente il proprio messaggio centrale sia agli utenti da remoto che a quelli in presenza durante gli eventi di presentazione. Inoltre, l’80% degli utenti ha affermato di aver appreso nuove informazioni. I commenti aperti confermano questo dato, rivelando come molti visitatori ignorassero la portata della devastazione subita dalla città durante i bombardamenti, o il fatto che le fotografie aeree storiche possano oggi essere utilizzate per produrre mappe sul rischio di ordigni inesplosi.

Dal punto di vista tecnologico e interattivo, alla domanda numero 8, “Have you tried teleportation?” e numero 9 “Do you find the opportunity to walk on the 3D model made up of historical aerial photographs interesting?”, la mostra ha riscosso buoni risultati: l’80% degli utenti ha sperimentato la funzione di teletrasporto e ha ritenuto interessante la possibilità di camminare sul modello tridimensionale, apprezzando l’opportunità di osservare le fotografie storiche da una prospettiva diversa e più coinvolgente.

Alla domanda n. 10, “How do aerial photographs help us understand the bombing of Viterbo?”, l’efficacia comunicativa delle fotografie aeree è stata riconosciuta da gran parte dei visitatori, che hanno sottolineato come esse rendano visibili i crateri delle bombe e facilitino la comprensione della portata dei bombardamenti. All’ingresso della mostra, gli elementi maggiormente notati sono stati il plastico e le fotografie aeree, suggerendo un’immediata immersione nei contenuti tematici. A tal proposito, le chiese sono risultate i monumenti percepiti come più colpiti durante i bombardamenti, secondo l’opinione del 100% degli utenti.

Particolarmente rilevante è il giudizio sugli orto-foto-mosaici, ritenuti utili dal 100% dei rispondenti in quanto capaci di restituire una visione d’insieme della città e del territorio. La documentazione della distruzione del centro storico è stata giudicata completa, grazie all’uso congiunto di foto storiche, modelli 3D, documenti e carte geografiche. Anche le mappe sul rischio di ordigni inesplosi sono state comprese nel loro significato: il 100% degli intervistati ha correttamente identificato la loro funzione nel calcolo della possibile presenza di ordigni non ancora rimossi. Si ritiene opportuno sottoporre le medesime domande a un pubblico non specialista, ma al di fuori del contesto di eventi accademici, i quali prevedono necessariamente un’introduzione orale finalizzata a illustrare contenuti, intenti e significati della mostra. Tale approccio consentirebbe di verificare se la comprensione dell’esposizione sia effettiva anche in assenza di spiegazioni preliminari, dimostrandone così la capacità di comunicare in modo autonomo e indipendente.

Due utenti hanno fornito suggerimenti migliorativi: uno ha proposto l'introduzione di una mappa dall'alto per facilitare l'orientamento all'interno dello spazio espositivo, mentre un altro ha osservato l'inutilità percepita di un elemento interattivo, il puntatore di comando interno al sistema di visualizzazione, suggerendone un potenziale ripensamento. In sintesi, i risultati del questionario confermano il successo dell'iniziativa, che ha efficacemente unito rigore storico e innovazione tecnologica. La mostra ha suscitato interesse nel pubblico e favorito la trasmissione della memoria cittadina. I feedback raccolti offriranno indicazioni preziose per futuri sviluppi.