



DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELL'AMBIENTE FORESTALE E DELLE SUE RISORSE

**CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN
ECOLOGIA FORESTALE - XXI CICLO**

**MODELLO DI VALUTAZIONE DEGLI AMBITI TERRITORIALI
POTENZIALMENTE IDONEI ALL'ARBORICOLTURA DA LEGNO CON
FINALITA' ENERGETICHE**

Dottorando: Riccardo Salvati

Coordinatore: Prof. Paolo De Angelis

Tutore: Prof. Piermaria Corona

Settore Scientifico Disciplinare AGR/05

Anno 2008

Indice

1. Introduzione

- 1.1. Generalità
- 1.2. Struttura e scopo della tesi

2. Situazione energetica e previsione evolutiva

- 2.1. Fonti di Energia Rinnovabile
 - 2.1.1. *Energia solare*
 - 2.1.2. *Energia eolica*
 - 2.1.3. *Energia idroelettrica*
 - 2.1.4. *Energia geotermica*
 - 2.1.5. Energia da biomasse
 - 2.1.5.1. Biomasse forestali
- 2.2. Scenario energetico nazionale
- 2.3. Sviluppo sostenibile e il Protocollo di Kyoto
- 2.4. Quadro normativo italiano
- 2.5. Vantaggi derivanti dall'utilizzo delle biomasse e ostacoli per la loro diffusione

3. Inquadramento delle colture *Short Rotation Forestry*

- 3.1. Introduzione alle colture SRF
- 3.2. Moduli colturali e aspetti tecnici
 - 3.2.1. Generalità
 - 3.2.2. Specie target
 - 3.2.3. Tecniche colturali
 - 3.2.3.1. *Controllo della vegetazione spontanea e dei parassiti*
 - 3.2.3.2. *Fertilizzazione*
 - 3.2.3.3. *Irrigazione*
- 3.3. Aspetti ecologici
- 3.4. Sistemi di incentivazione alle colture SRF

4. Analisi territoriale delle colture arboree da energia

- 4.1. Materiali e metodi
 - 4.1.1. Logica *fuzzy* e funzioni di appartenenza
 - 4.1.2. Aggregazione dei fattori fuzzy

- 4.1.3. Sistemi GIS
- 4.1.4. Analisi Multicriteriale
- 4.1.5. Metodi multicriteriali
 - 4.1.5.1. *Intersezione Booleana*
 - 4.1.5.2. *Weighted linear combination*
 - 4.1.5.3. *Ordered weighted average*
 - 4.1.5.4. *Processo analitico gerarchico*
 - 4.1.5.4.1. Determinazione dei pesi
- 4.2. Analisi territoriale
- 4.3. Fattori ambientali considerati
- 4.4. Elaborazione
- 4.5. Validazione
- 4.6. Mappatura

5. Criticità e limitazioni

- 5.1. Criticità nell'applicazione dei metodi MCDM
- 5.2. Criticità nell'uso del GIS nella LSA
- 5.3. Criticità nella scelta dei fattori
- 5.4. Criticità nella diffusione delle colture SRF
- 5.5. Scenari produttivi delle colture SRF
 - 5.5.1. Attuali produzioni a scala territoriale
 - 5.5.2. Produttività potenziale delle colture SRF
- 5.6. Potenzialità di diffusione delle colture SRF

6. Stima della produzione potenziale biomassa arborea epigea con *Populus x canadensis* (clone AF2)

- 6.1. Stima dei parametri dendrometrici
- 6.2. Relazioni allometriche
- 6.3. Calcolo della biomassa potenzialmente ottenibile

7. Conclusioni

BIBLIOGRAFIA

APPENDICE CARTOGRAFICA

A mia moglie

1. Introduzione

1.1. Generalità

Nel corso degli ultimi decenni si è registrata una crescita di interesse per la produzione di energia mediante l'utilizzo di fonti rinnovabili: queste sono entrate prepotentemente nell'agenda politica, a scala locale, nazionale e internazionale, così come tra le priorità di molte imprese e di privati. A tale interesse hanno contribuito e contribuiscono più fattori, tra cui:

- il progressivo aumento del prezzo del petrolio e del metano, che rende competitive sul piano economico alcune fonti energetiche rinnovabili;
- le tensioni internazionali connesse al controllo delle risorse petrolifere;
- le politiche pubbliche di risparmio energetico e di riduzione della dipendenza dall'estero per le energie fossili, con il finanziamento di generatori di energia, termica e elettrica, sia a piccola che a grande scala;
- la domanda di energia, in forte crescita, che potrebbe accelerare l'esaurimento delle fonti fossili, rendendo sempre più urgente l'attivazione di produzioni di energia da fonti alternative;
- la riforma della Politica Agricola Comunitaria (PAC), con il disaccoppiamento e la progressiva riduzione del sostegno pubblico alle produzioni tradizionali, che spinge gli imprenditori a cercare strategie produttive alternative che consentono di proporsi su un mercato sufficientemente remunerativo;
- l'esigenza di rispettare gli impegni assunti con la sottoscrizione del Protocollo di Kyoto;
- la crescente diffusione di caldaie termocamini e stufe ad alta efficienza, capaci di utilizzare biomasse legnose di vario genere, che fanno crescere in maniera stabile la domanda di legno per energia.

La concomitanza di questi fattori sembra rendere concrete ed interessanti le prospettive di sviluppo nel medio e lungo periodo di una domanda di beni agricoli da destinare alla produzione di energia, accompagnate da una politica di sostegno all'offerta sia di prodotti agricoli e forestali sia di servizi ad essi connessi.

La produzione di energia, sia termica che elettrica, può essere infatti realizzata adottando numerose soluzioni tecniche e tecnologiche basate sul processo di combustione: l'energia chimica contenuta in un combustibile viene trasformata in calore e luce, sviluppando una grande quantità di energia. Risulta, quindi, di primaria importanza la corretta scelta del combustibile; questo può derivare sia da depositi fossili (petrolio, GPL, ecc.), con evidenti ripercussioni sulla qualità dell'aria, che da rifiuti o biomasse. Con il termine "biomasse", come da definizione del D.P.C.M. 8

marzo 2002 e successive modifiche e integrazioni, vengono identificate diverse tipologie di materiale vegetale, tutte caratterizzate dal fatto di non aver subito trattamenti o condizionamenti chimici di alcuna natura.

In particolare, nel presente lavoro, viene fatto riferimento alle biomasse ligneo-cellulosiche: il loro impiego per scopi energetici è oggi promosso attivamente nelle politiche internazionali, nazionali e regionali anche nell'ottica del raggiungimento degli obiettivi fissati dal Protocollo di Kyoto (vedi § 2.3).

Gran parte dell'interesse connesso a questa fonte energetica rinnovabile è poi da ricercarsi nelle ripercussioni che il suo utilizzo può determinare a livello economico, sociale e territoriale. Alla luce dei recenti incrementi dei prezzi dei tradizionali combustibili fossili, i costi di investimento necessari per acquistare macchinari e impianti finalizzati alla produzione di energia a partire da biomasse sono ripagabili in un tempo relativamente breve, talora anche senza considerare le innumerevoli opportunità di finanziamento promosse in ambito locale.

L'effetto della maggiore domanda di biomassa legnosa per uso energetico negli ultimi anni ha portato ad un incremento del prezzo della legna da ardere che, dopo un lungo periodo di stagnazione, è aumentato in modo sensibile. In concomitanza con questo evento, anche se a macchia di leopardo, ci sono state forti aumenti del prezzo anche del legno in scaglie (cippato) e del *pellet*. Tutto ciò, se da una parte fa intravedere un futuro per le imprese in grado di produrre legno a fini energetici e quindi per tutto il settore agricolo-forestale, dall'altro può determinare una crescente pressione sulle risorse boschive, con il rischio di impatti non sempre positivi sul patrimonio naturale, sulla biodiversità e sul paesaggio.

La difficoltà nel contrastare e gestire tali fenomeni porta a orientare i soggetti interessati verso scelte che siano sostenibili dal nostro territorio, dalla popolazione che vi risiede e da quella che fa riferimento al bosco o all'arboricoltura come attività economiche, ricreative e culturali. Di fatto, in Paesi come l'Italia la limitata disponibilità di risorse e la rete sempre più complessa di relazioni che coinvolgono l'uso del territorio pongono l'esigenza di una localizzazione molto accurata di questo tipo di interventi, attraverso l'impiego di strumenti di pianificazione adeguati. A quest'ultimo tipo di incertezze è possibile ovviare in buona parte con una corretta analisi preliminare dell'attitudine fisica delle unità territoriali alle colture forestali prescelte. In questa prospettiva, la diffusione dell'arboricoltura da biomassa (indicata con l'acronimo SRF, dal termine anglosassone *Short Rotation Forestry*) può essere programmata a diversi livelli di scala territoriale, cercando di favorire la coesistenza di dimensioni produttive differenziate in modo da garantire l'efficacia di impiego dei fattori produttivi e delle risorse naturali coinvolte.

1.2. Struttura e scopo della tesi

Nel presente lavoro, dopo aver illustrato la situazione energetica nel nostro paese (capitolo 2), vengono analizzate le diverse fonti di energia rinnovabile con particolare riferimento ai vantaggi derivanti dal loro utilizzo; successivamente vengono analizzati gli aspetti tecnici, colturali e ecologici della produzione di energia attraverso l'impiego di biomasse, con particolare riferimento alle colture SRF (capitolo 3). In questo contesto, viene illustrato l'attuale scenario produttivo di queste colture in Italia (capitolo 4) e presentato un modello di valutazione territoriale a scala nazionale sviluppato per delineare gli ambiti maggiormente idonei a ospitare impianti SRF. Successivamente, in relazione agli ambiti territoriali risultati idonei nel processo di modellizzazione, viene descritta e applicata (capitolo 5) una procedura di stima della quantità di biomassa potenzialmente detraibile dalla realizzazione di impianti di cedui da biomassa a fini energetici.

Gli obiettivi del presente lavoro, inserito nel Programma di Ricerca scientifica di rilevante Interesse Nazionale (PRIN) cofinanziato nel 2005 dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MIUR) denominato "Modelli innovativi di gestione forestale per la produzione di energia", sono volti a sviluppare i diversi aspetti suddetti, attraverso la messa a punto di una procedura di produzione di cartografie digitali delle aree vocate quale supporto operativo per i soggetti responsabili della programmazione agricolo-forestale e della pianificazione del territorio rurale.

2. Situazione energetica e previsione evolutiva

2.1. Fonti di Energia Rinnovabile

Uno dei fattori fondamentali che stanno alla base dello sviluppo sostenibile riguarda il settore dell'energia che, da un lato è responsabile del cambiamento climatico dovuto alle emissioni dei gas serra nell'atmosfera, dall'altro è un elemento fondamentale per qualunque processo di sviluppo economico. Con lo scopo di conciliare questi due elementi, sono stati avviati negli ultimi trent'anni – ed accelerati negli ultimi dieci – numerosi programmi per la ricerca di nuove tecnologie per la produzione di energia da fonti “pulite” e “rinnovabili”, cioè da fonti che non emettono sostanze inquinanti e che sono, almeno in teoria, inesauribili. Si parla, così, di energia eolica, da biomasse, idrica, geotermica e solare, più genericamente chiamate “Fonti Energetiche Rinnovabili” (FER).

L'utilizzo delle energie rinnovabili rappresenta una esigenza sia per i Paesi industrializzati che per quelli in via di sviluppo. I primi necessitano, nel breve periodo, di un uso più sostenibile delle risorse, di una riduzione delle emissioni di gas serra e dell'inquinamento atmosferico, di una diversificazione del mercato energetico e di una sicurezza di approvvigionamento energetico. Per i Paesi in via di sviluppo, le energie rinnovabili rappresentano una concreta opportunità di sviluppo sostenibile e di accesso all'energia in aree remote.

In particolar modo, i paesi dell'Unione Europea (UE) mirano ad aumentare l'uso delle risorse rinnovabili per limitare la dipendenza dalle fonti fossili convenzionali e allo stesso tempo far fronte ai pressanti problemi di carattere ambientale che sono generati dal loro utilizzo. A conferma di ciò nella Direttiva 2001/77/CE “*Promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili*”, viene posto come traguardo il soddisfacimento, entro il 2010, di una quota pari al 12% del consumo interno lordo di energia e al 22% di quello dell'energia elettrica, attraverso l'utilizzo di fonti rinnovabili. Per ottenere questi risultati nella direttiva sono indicati degli obiettivi differenziati per ogni singolo Stato membro e l'Italia si è prefissa di raggiungere, entro il 2010, una quota pari al 22% della produzione elettrica nazionale. Il Decreto Legislativo del 29 dicembre 2003 n. 387 recepisce la Direttiva 2001/77/CE e introduce una serie di misure volte a superare i problemi connessi al mercato delle diverse fonti di Energia Rinnovabile.

Il sistema di promozione dell'energia rinnovabile in Italia, inizialmente incentivato con il provvedimento noto come CIP6, è stato profondamente riformato con il decreto legislativo 79/99, che ha introdotto l'obbligo per le imprese che producono o importano elettricità da fonti fossili a immettere in rete una quota prodotta da impianti nuovi o ripotenziati alimentati da fonti di energia rinnovabili. Tale quota era stata fissata inizialmente al 2% dell'energia eccedente i 100 GWh.

Successivamente, con il decreto n. 387 si è stabilito di incrementarla annualmente dello 0,35% fino al 2006.

Tutti gli operatori soggetti all'obbligo possono provvedere autonomamente alla produzione della quota di energia rinnovabile che devono immettere in rete, o comperare tale quota da terzi attraverso un meccanismo di mercato che prevede la cessione dei cosiddetti "Certificati Verdi" (CV). Si tratta di titoli attribuibili annualmente dal GRTN (Gestore Rete Trasmissione Nazionale) all'energia prodotta da fonti rinnovabili. Tali titoli hanno una taglia di 100 Mwh e possono essere vantaggiosamente negoziati, tramite contratti bilaterali tra detentori di CV e gli operatori soggetti all'obbligo o nella piattaforma di negoziazione nel GME (Gestore Mercato Elettrico).

2.1.1. Energia solare

Solare termico

Rappresenta ancora oggi una tecnologia promettente per la generazione di potenza da fonte solare e può essere integrata nelle moderne centrali termoelettriche, anche a ciclo combinato, per fornire una portata aggiuntiva alle turbine a vapore ed incrementare la potenza complessiva dell'impianto.

In aree ad elevato irraggiamento solare le tecnologie del solare a concentrazione potrebbero consentire mediamente l'immissione nella rete elettrica di un'energia intorno ai 300 GWh/anno per ogni chilometro quadrato di superficie captante; equivalente alla produzione annua di un impianto termoelettrico tradizionale da 50 MWe funzionante per circa 6.000 h/anno. Il principale ostacolo allo sviluppo e alla diffusione di questa tecnologia è legato all'elevato costo d'investimento unitario degli impianti, da 2,5 a 4 volte superiore a quello degli impianti a combustibili fossili, che non è bilanciato dal costo nullo della fonte di energia solare, e quindi con un costo totale del chilowattora prodotto circa il doppio rispetto a quello di un impianto tradizionale a combustibile fossile.

L'obiettivo attuale della ricerca, a seconda delle diverse soluzioni tecnologiche e applicazioni, è di ridurre quanto più possibile il costo di investimento, che per una fonte rinnovabile è quello principale, ottenendo così costi totali del chilowattora prodotto comparabili con le più moderne tecnologie a basso inquinamento per i combustibili fossili e con il nucleare di nuova generazione.

La tecnologia del solare termico, definita anche solare termodinamica per evidenziare la sua caratteristica di fonte sostitutiva dei combustibili fossili, risulta molto interessante in futuro nelle applicazioni con accumulo termico, che potrebbe garantire la necessaria flessibilità nella

generazione di energia rispetto alla variabilità del carico elettrico giornaliero e alla sempre più diffusa generazione di potenza da fonti rinnovabili molto variabili (solare fotovoltaico, vento).

Solare fotovoltaico

Nell'attuale fase di transizione ad un sistema energetico sostenibile, i sistemi solari fotovoltaici sono considerati una tecnologia chiave e la loro diffusione è in fase di forte sviluppo in quei Paesi che hanno investito nel settore promuovendo lo sviluppo industriale.

Particolarmente significativo è il trend di crescita nel settore in Paesi come il Giappone e la Germania, che già dalla fine degli anni 90 fanno segnare una forte accelerazione rispetto agli Stati Uniti, primo Paese a investire nel fotovoltaico già dagli anni 80. In Europa, a parte la Germania, che con 600 MW installati nel 2005 e una produzione di celle che copre il 23% di quella mondiale, si conferma di gran lunga leader a livello mondiale, emerge negli ultimi anni il ruolo della Spagna che con 20 MW installati nel 2005 e il 5% della produzione mondiale presenta in ambito europeo il trend più significativo di crescita.

Il costo dei moduli fotovoltaici è sistematicamente e apprezzabilmente diminuito nel tempo; attualmente, il costo dei moduli fotovoltaici standard è pari a circa 3 €/Wp, e si ritiene che sia destinato a diminuire sensibilmente nei prossimi anni, fino a raggiungere un valore prossimo a 0,5 €/Wp dopo il 2020. Secondo alcuni studi di settore, per raggiungere una penetrazione massiccia del fotovoltaico sul mercato, i costi di investimento totali dei sistemi connessi alla rete dovrebbero scendere intorno ai 1000 €/kWp. Ai "tassi di apprendimento" sperimentati finora e ipotizzando un aumento della diffusione del 15% circa per anno, il costo della tecnologia fotovoltaica non si attesterebbe su questo livello prima del 2030 (AIE, 2006).

Gli investimenti necessari per raggiungere questi obiettivi sono inevitabilmente di grossa dimensione, principalmente destinati alle attività di ricerca e sviluppo e tali da richiedere azioni concertate da parte dei governi nazionali.

Sulla base delle installazioni a oggi realizzate e sebbene parte di esse siano state effettuate per fini sperimentali (caratterizzate, quindi, da costi di investimento elevati) il costo attuale dell'energia elettrica fotovoltaica si colloca tra 0,30 e 0,60 €/kWh, cioè ben al di sopra di quello relativo alle fonti convenzionali. Naturalmente, il costo più alto si riferisce a impianti contraddistinti da maggiori costi d'investimento (le applicazioni stand-alone costituiscono un tipico esempio) e a quelle operanti in condizioni d'irraggiamento poco favorevoli.

In figura 1 è riportata la proiezione della riduzione dei costi secondo uno studio della Commissione europea: il sensibile decremento nel tempo del costo dell'energia fotovoltaica viene

confrontato con il tenue incremento di costi atteso per la produzione di energia da fonte tradizionale, per soddisfare la domanda di base (*bulk cost*) e quella di picco (*utility peak cost*).

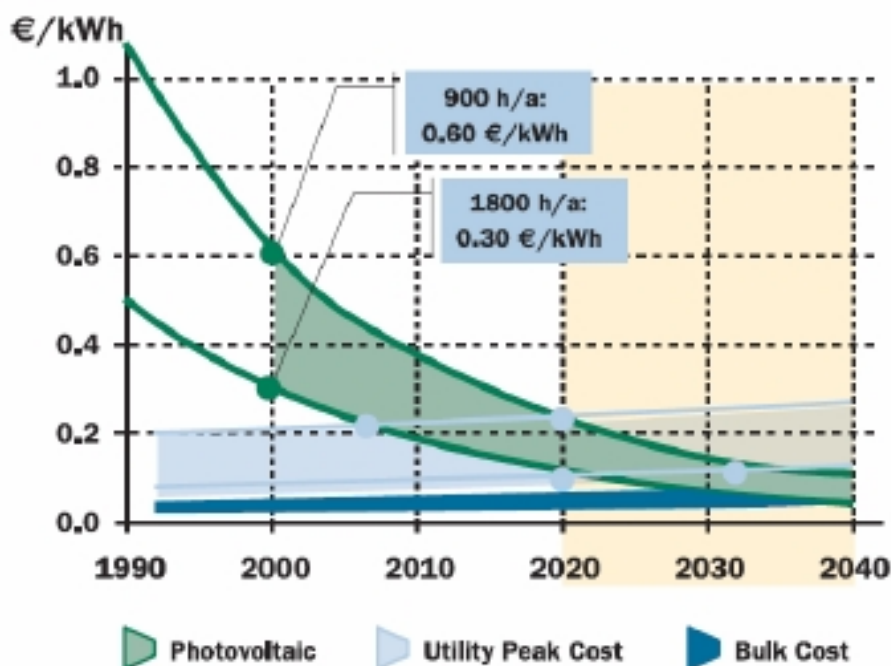


Figura 1 - Proiezione della riduzione dei costi della tecnologia fotovoltaica al 2040 (€/kWh). Fonte A Vision for Photovoltaic Technology, Commissione Europea, DG Ricerca 2005.

Il potenziale di diffusione della tecnologia è enorme, ma al momento, a meno di un break-through tecnologico, è difficile immaginare che essa possa raggiungere una diffusione di massa prima di almeno due decenni. Nel caso del fotovoltaico non sussistono particolari problemi di trasporto e dispacciamento, infatti la generazione elettrica fotovoltaica è una produzione diurna in fase con i consumi diffusa sul territorio vicino all'utenza finale, quindi senza oneri di trasporto. Una seconda barriera è invece costituita dalla distribuzione.

2.1.2. Energia eolica

A decorrere dagli anni settanta, le dimensioni degli aerogeneratori e la loro potenza e affidabilità hanno avuto una crescita continua, mentre la loro diffusione è aumentata con un andamento pressoché esponenziale: l'Europa, soprattutto in virtù del contributo di Danimarca, Germania e Spagna, è in posizione dominante, sia in termini di mercato che di sviluppo tecnologico. Infatti, la potenza eolica connessa alla rete elettrica nel mondo ha già superato i 75.000 MW, corrispondente a un investimento di oltre 70 miliardi di euro e a una produzione di oltre 150 TWh, con una presenza europea intorno al 70%.

In particolare, la quota di energia elettrica di provenienza eolica ha raggiunto il 20% in Danimarca, mentre valori che già superano il 6% sono registrati in Spagna e in Germania. Il conseguimento di questi risultati è ascrivibile all'elevata affidabilità degli aerogeneratori e ai bassi costi di generazione elettrica che si sono ridotti di un ordine di grandezza in venticinque anni e si avvicinano sempre più alla competitività con quello delle fonti tradizionali.

Allo stato attuale i principali risultati dell'evoluzione dell'eolico on-shore sono riconducibili ad un forte abbattimento dei costi e alla simultanea crescita della potenza unitaria dei dispositivi di conversione dell'energia eolica in energia elettrica: la taglia di potenza unitaria degli aerogeneratori medi e grandi per applicazioni on-shore è compresa fra 100 e 1000 kW (turbine di media taglia) e superiore a 1000 kW (grande taglia).

In Italia, la capacità produttiva annua è limitata a 500-600 macchine di media taglia (850 kW) e vi sono alcune società affermate, anche a livello internazionale, che forniscono prestazioni e prodotti (torri, mozzi, riduttori, trasformatori, macchinari, cavi) ai costruttori più importanti. L'attuale tecnologia off-shore limita le installazioni su fondali non superiori ai 40 m; le realizzazioni odierne sono costituite generalmente da un insieme di decine di macchine di grande taglia, con potenza del singolo aerogeneratore non inferiore a 2MW.

Il mercato attuale di questa applicazione, a differenza di quello delle centrali onshore, è ancora di nicchia (potenza globale installata: circa 800 MW) in ragione dei costi mediamente superiori del 50% di quelli tipici in ambiente terrestre (AIE, 2006).

Questa tecnologia, pur essendo prevedibili ulteriori riduzioni dei costi (Figura 2), è comunque già prossima alla competitività e lo stesso meccanismo di Emission Trading sarà probabilmente sufficiente a renderla pienamente competitiva, anche senza limitare l'attenzione ai siti "migliori". Una significativa barriera allo sviluppo di questa tecnologia è costituita dalla necessità di interventi sulle infrastrutture per il trasporto di elettricità che rendano il sistema in grado di assorbire sia i picchi di produzione che una brusca mancanza di produzione.

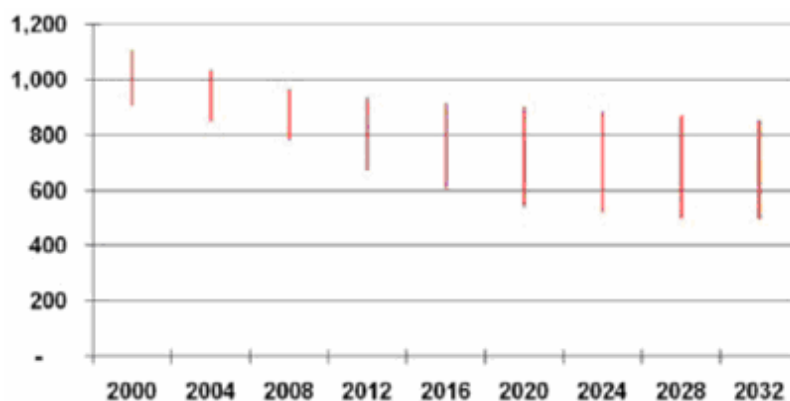


Figura 2 - Costo attuale della generazione elettrica con eolico on-shore e proiezioni al 2032 (€/kWh installato). Fonte AIE (2006).

Un altro tipo di barriera riguarda le problematiche di accettabilità sociale degli impianti, diverse da caso a caso, che devono trovare una soluzione a livello locale. Le installazioni off-shore possono eliminare alcune cause che limitano la diffusione dell'eolico e contemporaneamente ridurre il problema dell'intermittenza, per la maggiore stabilità del vento. D'altra parte, gli impianti off-shore richiedono significativi costi addizionali, per le turbine (che devono sopportare situazioni meteorologiche più difficili), per le maggiori difficoltà e costi delle fondamenta e per le maggiori spese legate alla trasmissione dell'elettricità sulla terraferma e all'allacciamento alla rete.

2.1.3. Energia idroelettrica

In Italia lo sfruttamento dell'energia idraulica per la produzione di energia elettrica ha rappresentato la base dell'elettrificazione del paese e può contare su una tecnologia matura e sulla durata delle opere civili connesse agli sbarramenti per la creazione di dislivelli. Ancora oggi l'acqua rappresenta la fonte energetica rinnovabile più consistente e contribuisce a soddisfare circa il 15% della richiesta di energia elettrica nazionale.

Questa lunga storia di sfruttamento della risorsa idrica ha fatto sì che non ci siano ulteriori margini di sviluppo per grandi impianti idroelettrici che, sebbene non producano emissioni inquinanti durante il loro funzionamento, necessitano della costruzione di opere che hanno un grosso impatto ambientale sul paesaggio, sulla difesa del suolo e sugli altri utilizzi della risorsa idrica. Maggiori possibilità di sviluppo esistono al contrario per il cosiddetto mini-hydro, ovvero piccoli impianti con potenze fino a 10 MW che presentano alcuni vantaggi:

- un limitato impatto ambientale;
- una modesta richiesta di manutenzione;
- un alto rendimento di conversione energetica.

Le piccole centrali idroelettriche possono, inoltre, essere facilmente integrate in sistemi di utilizzo plurimo delle risorse idriche come ad esempio gli acquedotti ed i sistemi di irrigazione. Nei documenti programmatici che riguardano le fonti rinnovabili il mini-hydro è considerato come uno dei settori dove è possibile operare maggiori sviluppi: infatti, a fronte di 2.300 MW installati gli obiettivi del 2012 prevedono una potenza installata di 3.000 MW (AIE, 2006).

2.1.4. Energia geotermica

I fluidi geotermici sono essenzialmente composti da acqua meteorica che penetra nel sottosuolo e si riscalda a contatto con le rocce calde. Si formano così degli acquiferi (strati o raggruppamenti di materiale permeabile saturo di acqua) anche a temperature molto elevate (oltre

300°C). Generalmente tali acquiferi, oltre all'acqua in fase liquida, possono contenere acqua sotto forma di vapore ad elevato contenuto energetico. Il fluido sotto forma di vapore può essere inviato direttamente in una turbina per la produzione di energia elettrica oppure attraverso uno scambiatore di calore può cedere la sua energia ad un altro fluido vettore ed infine essere ripompato nel sottosuolo. In questo ultimo caso si parla di impianto a ciclo binario. E' sufficiente che il fluido abbia una temperatura di 120° C per poter essere utilizzato, ovviamente maggiore è la temperatura del fluido maggiore è l'energia potenzialmente producibile.

La produzione geotermica italiana ha una lunga tradizione: la prima vera centrale geotermoelettrica, Larderello (PI), entrò in servizio nel 1913 con un primo gruppo a turbina da 250 kW. Attualmente in Italia sono presenti 34 impianti geotermici (33 in Toscana e 1 nel Lazio) con una potenza installata complessiva di 707 MW. Questi impianti producono annualmente più di 5.000 GWh soddisfacendo già gli obiettivi che l'Italia si è data, relativamente al geotermico, nei documenti programmatici per lo sviluppo delle fonti rinnovabili. Nel medio e lungo termine si prevede uno sviluppo della tecnologia basata sull'utilizzo di rocce calde secche (*hot dry rock*) situate in profondità. Questa nuova tecnologia consiste nel pompare acqua fredda alla profondità di alcuni km sotto la superficie terrestre fino a farle incontrare rocce calde e poi recuperarla, sotto forma di vapore, per azionare turbine in superficie e, infine, una volta raffreddata, pomparla di nuovo in profondità.

Di anno in anno, inoltre, la geotermia sta consolidando la sua posizione all'interno della produzione nazionale di energia elettrica da fonti rinnovabili (Tabella 1) e anche nei prossimi anni è previsto un incremento della sua produzione.

Tabella 1 Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in Italia (GWh).
Fonte: ENEA Rapporto Energia e Ambiente 2005.

Fonti	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Idroelettrico	37.781	44.205	46.810	39.519	36.674	42.744
Eolico	10	563	1.179	1.404	1.458	1.847
Fotovoltaico	13	16	16	18	23	27
Geotermoelettrico	3.436	4.705	4.507	4.662	5.341	5.437
Rifiuti urbani	168	804	1.259	1.428	1.812	2.277
Legna	116	537	644	1.052	1.648	2.190
Biogas	103	566	684	943	1.033	1.170
Totale	41.627	51.396	55.100	49.097	47.989	55.692

2.1.5. Energia da biomasse

Il termine “biomassa” comprende, oltre che le biomasse di origine forestale e i residui della lavorazione del legno, le colture energetiche (specie vegetali che vengono espressamente coltivate per essere destinate alla produzione di energia), i residui agricoli, gli scarti di lavorazione e gli effluenti delle industrie agroalimentari, le deiezioni animali, la frazione organica dei rifiuti solidi urbani (RSU), i rifiuti domestici in raccolta differenziata e i reflui civili. Il concetto di biomassa utilizzabile a uso energetico è ampio e comprende fonti diverse tra loro ma accomunate dalla radice organica: biomassa è infatti definita infatti *ogni sostanza organica, non fossile, derivante direttamente o indirettamente da fotosintesi clorofilliana* e che può essere utilizzata a scopi energetici (GUSTAVSSON *et al.*, 1995). Dunque una forma molto elaborata di accumulo dell’energia solare incidente sul pianeta; anche se si tratta della trasformazione di una frazione minimale di essa, pari a circa l’1%, parte di questa massa accumulata nelle strutture vegetali, avente valore energetico, rimane fissata per periodi più o meno lunghi, mentre altra viene utilizzata dall’uomo e variamente trasformata con la produzione di scarti ancora utilizzabili ai fini energetici.

Già a metà degli anni ’70, in concomitanza con la prima crisi energetica, molti Paesi sviluppati iniziarono attività volte alla valorizzazione delle biomasse quale fonte energetica alternativa ai combustibili fossili, avviando attività promozionali e finanziando investimenti in ricerca e sviluppo (AA.VV., 1997A; 1997B).

2.1.5.1. Biomasse forestali

Focalizzando l’attenzione sulle formazioni forestali, si osserva che per lungo tempo l’uomo ha tratto dal bosco la sua principale fonte di energia: ancora oggi nel mondo il 68% del legno tagliato è destinato alla combustione, percentuale che sale fino al 90% nei Paesi in via di sviluppo (BISOFFI e FACCIOOTTO, 2000). Anche nei paesi più sviluppati, dopo un periodo di relativa stasi, l’attenzione alle biomasse ad uso energetico riporta in primo piano l’interesse sul bosco: si pensi in particolare ai boschi cedui, così diffusi nella nostra penisola.

Considerando tuttavia che le complesse questioni ambientali hanno posto in luce l’importanza del sistema bosco per la salvaguardia dell’ambiente, per la sostenibilità del domani (CIANCIO E NOCENTINI, 2004), occorre delimitare il campo di uso della risorsa e assicurare la perpetuità e l’espansione delle formazioni forestali, d’origine naturale o meno, aventi precipuo valore ambientale *sensu lato*. Ciò non toglie che vi siano spazi specifici per l’utilizzo di masse provenienti da alberi forestali in campo energetico e in particolare dai sottoprodotti della prima lavorazione del legno in bosco, alle masse prodotte da diradamenti, trasformazioni e avviamenti al

governo a fustaia, ad impianti specificamente realizzati su terreni aventi vocazione agricola, resi marginali dal mercato. L'abbandono di questi ambiti territoriali coltivati ha provocato scompensi socio-economici e problemi di gestione del territorio con il conseguente incremento dei rischi idrogeologici. Si potrebbe invertire questa tendenza riconvertendo parte del comparto agricolo verso produzioni che incrementino il reddito promuovendo l'inserimento negli ordinamenti produttivi di colture energetiche da biomassa (ROMANO 2004; TODARO et al., 2006).

L'impiego delle biomasse lignocellulosiche a fini energetici rappresenta oggi, invece, una reale possibilità ed una opportunità nel quadro dello sviluppo di fonti energetiche alternative ai combustibili fossili tradizionali (AA.VV., 2004; APAT 2004). Tali biomasse possono derivare da diverse fonti (ANPA, 2001) quali: i) scarti o sottoprodotti di attività forestali, agricole o industriali; ii) colture forestali tradizionali; iii) colture dedicate realizzate in ambiente agricolo secondo il modello del ceduo a corta rotazione definito, con termine anglosassone, *Short-Rotation-Forestry* (SRF). Queste ultime costituiscono una fonte potenziale di biomassa slegata dal poco prevedibile andamento di altri settori agricoli o industriali e realizzabile «fuori foresta», cioè senza incidere sul delicato equilibrio bio-ecologico delle cenosi forestali. In relazione a ciò in Italia (SCHENONE *et al.*, 1997; FACCIOOTTO e MUGHINI, 2003), come all'estero (HOFFMANN e WEIH, 2004; MEAD, 2004; DONALD e DICKMANN, 2006; MINOTTA e MUZZI, 2007), sono in atto studi relativi alla SRF, uno dei più recenti settori nei quali si articola l'arboricoltura da legno di quantità (*sensu* CIANCIO *et al.*, 1992). In particolare, molte indagini riguardano il pioppo (*Populus* spp.), una delle specie ritenute potenzialmente più idonee alla SRF negli ambienti padani, con particolare riferimento alla selezione di materiale d'impianto idoneo a questo modello colturale (MARESCHI *et al.*, 2005; FACCIOOTTO *et al.*, 2006).

2.2. Scenario energetico nazionale

Nell'ultimo decennio il settore energetico nazionale è stato interessato da significativi cambiamenti del contesto istituzionale e di mercato che hanno avuto, fra gli altri, i seguenti obiettivi:

- favorire l'apertura del mercato dell'energia;
- assicurare lo sviluppo delle fonti rinnovabili;
- incentivare misure di risparmio energetico e di riduzione dell'emissione dei gas serra.

Le trasformazioni hanno riguardato punti strategici del sistema energetico (ISTAT, 2007), come il riequilibrio dei poteri tra Stato e Regioni, il processo di liberalizzazione dei mercati dell'energia elettrica e del gas (decreto Bersani) e lo sviluppo di grandi reti di trasporto dell'energia.

Il settore energetico nazionale si caratterizza proprio per la forte dipendenza dai mercati energetici esteri. L'aumento della domanda di gas del settore termoelettrico registrata negli ultimi anni, attribuibile al maggior numero di centrali a gas entrate in esercizio a cui non è corrisposto un parallelo incremento della capacità di approvvigionamento dall'estero, unitamente alla volatilità dei prezzi dei prodotti petroliferi osservati nell'ultimo decennio, ha evidenziato i rischi per l'Italia e più in generale per i Paesi dell'Unione europea derivanti dalla forte dipendenza energetica dai grandi produttori, Russia e Algeria in primo piano.

Tabella 2 - Produzione lorda di energia elettrica (GWh) da impianti a fonti rinnovabili in Italia.
Fonte: ENEA Situazione ed Indirizzi Energetico-Ambientali Regionali, 2007.

Regioni	Idrico	Eolico	FV	Geotermico	Biomasse	Totale	Quota rispetto al totale FR Italia	Quota rispetto alla produzione regionale totale	Quota rispetto alla richiesta regionale totale	Emissione CO2 evitata (kt)
Piemonte	5.569,2				269,6	5.838,8	11,7%	26,4%	20,8%	3.310,6
Valle d'Aosta	2.715,4				2,3	2.717,7	5,4%	100,0%	238,2%	1.540,9
Lombardia	7.148,4				1.968,4	9.116,8	18,3%	16,0%	13,6%	5.169,2
Trentino A. A.	6.596,2	0,1			80,4	6.676,7	13,4%	91,9%	100,8%	3.785,7
Veneto	3.023,8				374,0	3.397,8	6,8%	15,6%	10,7%	1.926,6
Friuli V.G.	1.285,0				117,3	1.402,3	2,8%	18,4%	13,9%	795,1
Liguria	150,6	8,7			23,6	182,9	0,4%	1,5%	2,6%	103,7
Emilia R.	787,9	2,2			908,8	1.698,9	3,4%	6,8%	5,9%	963,3
Toscana	456,1	3,0	0,1	5.324,5	290,4	6.074,1	12,2%	33,9%	27,6%	3.444,0
Umbria	1.543,5	2,6			130,2	1.676,3	3,4%	27,3%	27,8%	950,5
Marche	582,2				45,8	628,0	1,3%	15,2%	7,7%	356,1
Lazio	1.163,3	5,9			372,4	1.541,6	3,1%	6,0%	6,4%	874,1
Abruzzo	1.962,7	177,8	1,0			2.141,5	4,3%	40,6%	29,9%	1.214,2
Molise	172,1	56,9			129,1	358,1	0,7%	25,0%	22,9%	203,0
Campania	548,1	560,5	2,1		105,2	1.215,9	2,4%	22,3%	6,6%	689,4
Puglia		586,5	0,4		421,3	1.008,2	2,0%	3,1%	5,3%	571,6
Basilicata	335,4	147,7			22,1	505,2	1,0%	29,9%	16,1%	286,4
Calabria	1.404,3				752,4	2.156,7	4,3%	29,5%	33,8%	1.222,8
Sicilia	158,7	382,3	0,1		76,3	617,4	1,2%	2,4%	2,9%	350,1
Sardegna	463,8	409,3	0,2		65,2	938,5	1,9%	6,5%	7,4%	532,1
Totale	36.066,7	2.343,4	4,0	5.324,5	6.154,8	49.893,4	100,0%	16,4%	15,1%	28.289,6

2.3. Sviluppo sostenibile e il Protocollo di Kyoto

È ormai generale il consenso scientifico sull'evidenza dei cambiamenti climatici e sulle sue cause; in particolare, con il nuovo rapporto "*Climate Change 2007*", l'autorevole Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), nel confermare le indicazioni generali già presenti nel precedente rapporto del 2001, fa salire dal 66% al 90% la stima dell'incidenza del fattore antropico sull'innalzamento della concentrazione di gas serra in atmosfera. Secondo questo rapporto intervenire per contrastare le cause dei cambiamenti climatici è un impegno da assumere soprattutto nei confronti delle generazioni future, considerando che le emissioni di CO₂ oggi prodotte resteranno per circa 100 anni nell'atmosfera.

Alcuni effetti dei cambiamenti climatici in corso sono già visibili e riguardano:

- l'aumento della temperatura media del pianeta;
- l'incremento della frequenza di eventi estremi;
- l'accelerazione della crescita del livello del mare nonché fenomeni di desertificazione;
- la riduzione o modificazione della biodiversità, con effetti anche sul settore agricolo.

La nostra società si trova quindi ad affrontare due sfide fondamentali: reperire ed assicurare le risorse energetiche per sostenere la crescita e lo sviluppo economico dei Paesi sviluppati e, ancor più, di quelli in via di sviluppo; mitigare i processi di cambiamento climatico in atto garantendo la protezione dell'ambiente. Trovare un equilibrio fra queste esigenze ci obbliga a realizzare una vera e propria transizione verso un sistema energetico ed uno sviluppo più sostenibile.

Per quel che riguarda la mitigazione del cambiamento climatico, il Protocollo di Kyoto rappresenta il primo strumento negoziale per la riduzione concordata a livello internazionale delle emissioni dei gas a effetto serra. Il Protocollo assegna all'Italia un obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra, da realizzarsi entro il 2012, del 6,5% rispetto ai livelli del 1990. In realtà nel nostro Paese le emissioni, invece di diminuire, sono aumentate del 13%, portando a circa il 20% la riduzione da realizzarsi da oggi al 2012. Gli aumenti più consistenti di emissioni hanno riguardato i trasporti (+27,5%) e la produzione di energia termoelettrica (+17%).

Va osservato che per conseguire gli obiettivi di Kyoto si dovrebbe realizzare una riduzione del consumo di combustibili fossili tra il 15 e il 20%, con una conseguente riduzione della fattura energetica per il Paese di circa 5-7 miliardi di euro per anno. Viceversa, il mancato raggiungimento dell'obiettivo di riduzione di gas serra fissato nell'ambito del Protocollo comporterebbe per l'Italia, stante la situazione attuale, un esborso di 1,5 miliardi di euro l'anno, fra acquisti di diritti di emissioni e progetti di cooperazione per realizzare tali riduzioni all'estero (ENEA, 2007).

In sintesi l'orientamento di fondo delle principali azioni promosse in sede internazionale dal Protocollo di Kyoto è legato alla sostanziale riduzione dell'uso delle fonti d'energia fossile o non

rinnovabile, in favore delle risorse rinnovabili. Tra queste l'impiego di energia da biomasse è indubbiamente strategico sia per la disponibilità e la varietà di forme, sia per le possibilità di trasformazione, sia per l'efficienza della trasformazione dell'energia solare in energia fissata.

Ciò si è tradotto e si tradurrà sempre più in futuro in una politica energetica specifica e conseguentemente anche agricola, che, attraverso riforme successive, favorisce la diffusione di impianti a uso energetico. Tali indirizzi sono stati già recepiti nei nuovi Piani di Sviluppo Rurale (programmazione economica 2007-13) di numerose regioni quali il Piemonte, la Lombardia, il Friuli, la Toscana, l'Umbria, il Lazio e la Sardegna.

Per adempiere agli obblighi derivanti dalla ratifica del Protocollo di Kyoto, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ha predisposto un piano nazionale per il periodo 2003-2010 finalizzato alla riduzione delle emissioni dei gas responsabili dell'effetto serra. Il Piano traccia il percorso da intraprendere per l'adempimento degli obblighi sottoscritti dal nostro Paese con azioni mirate soprattutto al miglioramento dell'efficienza energetica dei settori industriale e dei trasporti.

Fra le misure previste vi sono l'utilizzo di innovazione tecnologica, misure fiscali ed infrastrutturali per migliorare la *performance* ambientale dei trasporti e l'efficienza energetica del settore industriale, per favorire la penetrazione dell'energia da fonti rinnovabili, l'uso diretto di energia termica e un maggiore sviluppo del settore fotovoltaico.

2.4. Quadro normativo italiano

Gli indirizzi di politica ambientale ed energetica nazionale hanno aperto interessanti prospettive di sviluppo per tutte le fonti energetiche rinnovabili e per le biomasse ligno-cellulosiche in particolare (TROSSERO, 2000). L'Italia è infatti impegnata: (i) nei processi internazionali volti alla mitigazione dell'impatto delle politiche industriali sull'ambiente (si ricordino, tra gli altri, gli accordi internazionali sullo sviluppo sostenibile, le Convenzioni sui Cambiamenti Climatici, per la Biodiversità, per la Lotta contro la Desertificazione) e (ii) nel tentativo di ridurre la sua dipendenza energetica dall'estero il nostro Paese è, tra quelli più industrializzati, quello con il minor tasso di auto-provvigionamento energetico.

In Italia, nonostante il raggiungimento di qualche risultato lusinghiero e incoraggiante, a 25 anni di distanza dalla crisi energetica, la bioenergia (sia essa di natura agricola o forestale) stenta comunque ad affermarsi a scala industriale. Nonostante una considerevole serie di affermazioni programmatiche e qualche, seppur limitato, investimento pubblico in attività di ricerca e un'adeguata politica tariffaria e fiscale, gran parte delle esperienze volte a favorire l'uso della biomassa a fini energetici sono ancora frammentate sperimentazioni locali (CHIRICI *et al.*, 2007).

Il principale documento di politica energetica nazionale in cui si definiscono gli obiettivi e le priorità della politica energetica in Italia, è il *Piano Energetico Nazionale* (PEN) approvato dal Consiglio dei Ministri nell'agosto del 1988: pur rimanendo valido nell'individuazione di obiettivi prioritari (competitività del sistema produttivo, diversificazione delle fonti e delle provenienze geopolitiche, sviluppo delle risorse nazionali, protezione dell'ambiente e della salute dell'uomo e risparmio energetico) è un documento ormai datato, anche perché si riferisce ad un quadro istituzionale e di mercato che nel frattempo ha subito notevoli mutamenti, anche per effetto della crescente importanza e influenza di una comune politica energetica a livello europeo.

Come punto di partenza della politica energetica e della creazione del Mercato Interno dell'Energia, la Commissione europea, infatti, pone la liberalizzazione dei mercati energetici, l'introduzione della concorrenza, in particolare nel settore dell'energia elettrica e del gas, la promozione dell'utilizzo delle energie rinnovabili, ma soprattutto la realizzazione di un sistema di reti energetiche integrato ed adeguato non solo all'interno degli Stati membri, ma anche tra l'Europa e le principali aree terze fornitrici di energia.

Alla base di questo processo l'Italia ha recepito la Direttiva europea sul mercato interno dell'elettricità del 19 dicembre 1996 e la Direttiva europea sul mercato interno del gas, del dicembre 1998, rispettivamente con il Decreto Legislativo 16 marzo 1999, n. 79 e con il Decreto Legislativo 23 maggio 2000, n. 164.

Il PEN del 10 agosto 1988, si è ispirato ai criteri di:

- promozione dell'uso razionale dell'energia e del risparmio energetico;
- adozione di norme per gli autoproduttori;
- sviluppo progressivo di fonti di energia rinnovabile.

Il PEN aveva fissato l'obiettivo al 2000 di aumentare la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili del 44%, con una ripartizione interna di questo mercato suddiviso in 300 MW di energia eolica, 75 MW di energia solare fotovoltaica e l'adozione da parte di tutte le Regioni di Piani d'Azione per l'utilizzo e la promozione di energie rinnovabili sul proprio territorio.

La Legge 9 gennaio 1991, n.9, "*Norme per l'attuazione del nuovo Piano Energetico Nazionale: aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali*", ha introdotto l'aspetto significativo della parziale liberalizzazione della produzione dell'energia elettrica da fonti rinnovabili e assimilate, che per diventare operativa doveva solo essere comunicata. La produzione da fonti convenzionali, invece, rimaneva vincolata all'autorizzazione da parte del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA). L'art. 20 consentiva alle imprese di produrre energia elettrica per autoconsumo o per la cessione all'ENEL. Tali eccedenze vengono ritirate a un prezzo definito dal

Comitato Interministeriale dei Prezzi (CIP) e calcolato in base al criterio dei costi evitati, cioè i costi che l'ENEL avrebbe dovuto sostenere per produrre in proprio l'energia elettrica acquistata. In questo modo si è cercato di fornire benefici economici a quei soggetti che, senza ridurre la propria capacità produttiva, adottavano tecnologie che riducevano i consumi energetici.

L'art. 22 ha introdotto incentivi alla produzione di energia elettrica da fonti di energia rinnovabili o assimilate e in particolare da impianti combinati di energia e calore. Gli impianti con potenza non superiore ai 20 kW vengono esclusi dal pagamento dell'imposta e dalla categoria di officina elettrica, in caso di funzionamento in servizio separato rispetto alla rete pubblica. La Legge 9/91 dedica, inoltre, l'art. 23 alla circolazione dell'energia elettrica prodotta da impianti che usano fonti rinnovabili e assimilate.

L'attuazione della Legge 10/91 è condizionata dall'emanazione da una miriade di decreti, non sempre effettuata. Uno dei più significativi è, forse, il D.P.R. 21 dicembre 1999, n.551 *"Regolamento recante modifiche al Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia"*, che ha introdotto norme precise sui rendimenti degli impianti termici nonché sulle modalità di controllo e verifica da parte delle Province e dei Comuni. In particolare il suddetto decreto ha:

- suddiviso il territorio nazionale in sei zone climatiche in funzione dei “gradi giorno” comunali e indipendentemente dall'ubicazione geografica;
- stabilito per ogni zona climatica la durata giornaliera di attivazione e il periodo annuale di accensione degli impianti di riscaldamento;
- classificato gli edifici in otto categorie a seconda della destinazione d'uso e stabilito per ogni categoria di edifici la temperatura massima interna consentita; ha inoltre stabilito che gli impianti termici nuovi o ristrutturati debbono garantire un rendimento stagionale medio che va calcolato in base alla potenza termica del generatore;
- definito i valori limite di rendimento per i generatori di calore ad acqua calda e ad aria calda;
- previsto una periodica e annuale manutenzione degli impianti termici.

Il riassetto del sistema elettrico italiano e la sua liberalizzazione è stato avviato dal Decreto Legislativo 16 Marzo 1999, n. 79 *"Attuazione della Direttiva 96/92/CE, recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica"* (detto anche Decreto Bersani). Le maggiori novità introdotte dal Decreto "Bersani" sono state:

- la disintegrazione verticale dell'ENEL, attuata tramite la sua trasformazione in S.p.A. e la creazione di una Holding con società separate a livello gestionale per le attività di produzione, distribuzione e vendita ai clienti finali;
- la fine del monopolio legale di ENEL, autorizzando nuovi soggetti a entrare nei mercati della produzione, distribuzione e vendita dell'energia elettrica;
- sul lato della domanda è stata creata la figura dei clienti idonei (clienti finali o consorzi di clienti), soggetti autorizzati ad acquistare energia elettrica sul mercato libero.

Il 27 Ottobre 2003, a seguito del Black Out del 27 Settembre, che ha lasciato al buio l'Italia, il parlamento approva la Legge n. 290/2003 che anticipa alcune misure ritenute urgenti dal Governo e stralciate dal disegno di legge Marzano per il riordino del settore energetico. Numerosi i temi spinosi toccati dal documento. Tra questi la previsione di nuove centrali per le quali la nuova legge semplifica le procedure per la localizzazione degli impianti, affidando l'autorizzazione alla Conferenza Stato-Regioni. Il provvedimento consente anche di aumentare la temperatura delle acque di scarico delle centrali termoelettriche fino al 30 giugno 2005 e, sempre entro tale termine, di poter autorizzare il lavoro di alcune centrali anche in deroga ai limiti previsti per le emissioni dei gas di scarico nell'atmosfera e relativi alla qualità dell'aria.

2.5. Vantaggi derivanti dall'utilizzo delle FER e ostacoli per la loro diffusione

Alcune tecnologie energetiche rinnovabili sono ben inserite nel sistema produttivo da molti anni ed apportano un contributo fondamentale alla generazione energetica; basti pensare all'energia idroelettrica che viene utilizzata da circa un secolo ed è largamente diffusa su tutto il Pianeta sia nei paesi industrializzati sia nei paesi in via di sviluppo. Il contributo apportato dalle FER è significativo non solo a livello ambientale, ma anche sociale ed economico. Sotto il primo aspetto, l'uso delle FER permette di ridurre drasticamente le emissioni dei gas serra responsabili del cambiamento climatico, riducendo le emissioni di ossido di carbonio di 1500 milioni di tonnellate l'anno, con un risparmio 6-9000 tonnellate annue entro il 2020 (AIE, 2006).

I benefici di carattere sociale sono legati principalmente all'aumento dell'occupazione, grazie all'impiego della popolazione nei progetti di costruzione e manutenzione degli impianti ed al miglioramento delle condizioni di vita di quelle popolazioni che non dispongono di energia a causa del loro isolamento geografico o dell'assenza di combustibili fossili sul territorio. Inoltre, mentre i benefici sociali sono maggiormente evidenti nei paesi in via di sviluppo, i benefici economici coinvolgono anche i paesi sviluppati. Questi vantaggi si traducono nella possibilità di disporre di energia indipendentemente dalla disponibilità sul territorio di carbone, petrolio e gas e quindi senza

dover sopportare l'onere di importarli da altri paesi, con notevole beneficio per le casse statali. A questo bisogna aggiungere il vantaggio di ridurre la dipendenza energetica da paesi che spesso l'hanno sfruttata per ricatti o ritorsioni di natura politica, come si è verificato negli ultimi trent'anni.

Le politiche energetiche tendono quindi a stimolare l'impiego di risorse rinnovabili decentrate e con impatti ambientali non negativi (AA.VV., 1997A; 1997B). I problemi legati all'uso delle fonti energetiche sono legati principalmente all'efficienza, visto sia sotto l'aspetto del risparmio energetico, attraverso l'uso di tecnologie più efficienti, sia da un punto di vista culturale, legato cioè alla consapevolezza della necessità di ridurre gli sprechi attraverso politiche di riciclaggio dei rifiuti, di un uso efficiente degli elettrodomestici, dei servizi, ecc.

Tra le fonti energetiche rinnovabili va riconosciuto alle biomasse vegetali l'importante ruolo svolto a sostegno del sistema energetico, grazie alla loro diffusa disponibilità sul territorio e alla capacità e duttilità nel sostituire, per alcune necessità, il combustibile fossile. L'uso di tali risorse può contribuire al miglioramento della bilancia dei pagamenti e alla riduzione dell'immissione di CO₂ a scapito dello *stock* di capitale naturale. La CO₂ prodotta dalla combustione della biomassa risulta, infatti, bilanciata da quella fissata attraverso la fotosintesi ad eccezione della CO₂ generata dai processi di lavorazione, trasporto e stoccaggio delle biomasse stesse.

Fatte salve le perplessità di tipo finanziario, legate ai costi di utilizzazione e trasporto che possono rendere antieconomica la produzione, bisogna prestare una particolare attenzione al bilancio della CO₂, tra l'utilizzazione (intesa nel senso della filiera: realizzazione dell'impianto, utilizzazione, etc.) e un effettivo risparmio di combustibili fossili: una stima non sempre facile da condurre anche se alcune fonti considerano il bilancio favorevole (MARLAND e SCHLAMADINGER, 1997) mentre altri, almeno per gli impianti di SRF e da un punto di vista prettamente «ragioneristico», lo valutano in perdita (HELLRIGL, 2003).

Per alcuni autori (PINAZZI, 2005; AIROLDI *et. al.*, 2006) la coltivazione di impianti SRF può costituire un valido contributo ambientale, economico e sociale. Per quanto riguarda l'aspetto economico, benché ci siano buone prospettive per il futuro, attualmente i margini di convenienza di tali colture risultano esigui e dipendenti da contributi pubblici (PERI E PRETOLANI, 2006) in quanto i costi di produzione e di trasporto incidono in modo significativo sul bilancio economico di questi impianti.

3. Inquadramento delle colture *Short Rotation Forestry*

3.1. Introduzione alle colture SRF

La diffusione dei cedui a turno breve ha avuto inizio già negli anni sessanta in Nord America (USA e Canada), nei paesi scandinavi e in Nord Europa (Svezia, Danimarca, Norvegia e Austria), dove un impulso significativo in questo settore si è avuto a partire fin dagli anni settanta come reazione alle prime crisi petrolifere (BONARI e PICCIONI, 2006) e il recente rinnovato interesse a seguito del protocollo di Kyoto.

Nell'Europa mediterranea il ceduo a turno breve è ancora in fase di introduzione. Peraltro negli ultimi anni si è avuta una crescita significativa delle superfici interessate grazie alle apposite incentivazioni previste da parte di alcune Regioni.

Sia in Italia (a esempio: SCHENONE *et al.* 1997; FACCIOOTTO e MUGHINI, 2003), che all'estero (a esempio: HOFFMANN E WEIH 2004; MEAD 2004; DICKMANN, 2006) sono in corso ampi studi relativi alla SRF. Tra questi, alcune indagini (a esempio: CHIRICI *et al.*, 2006) sono rivolte allo sviluppo di modelli di classificazione del territorio capaci di evidenziare, da un punto di vista delle preferenze ecologiche delle specie arboree considerate, gli ambiti territoriali potenzialmente adatti a ospitare piantagioni da legno e piantagioni a turno breve per la produzione di biomassa da destinare a usi energetici.

In questo contesto, nel presente documento, dopo aver illustrato l'attuale scenario produttivo delle colture SRF in Italia, viene presentato un modello di valutazione territoriale, a scala nazionale, sviluppato per delineare gli ambiti maggiormente idonei a ospitare impianti SRF.

3.2. Moduli colturali e aspetti tecnici

3.2.1. Generalità

Al fine di sviluppare sistemi di coltivazione dedicati principalmente alla produzione di biomassa, la sperimentazione in Italia si è concentrata in particolare su tre moduli colturali, caratterizzati da differente lunghezza del turno e densità di impianto:

- turno annuale: piantagioni di oltre 10.000 alberi per ettaro; gli impianti sono in genere realizzati a file binate, con distanza di 2,8 m tra le bine e 0,7 m tra ciascuna delle file che costituiscono la bina e 0,5 m lungo la fila;
- turno biennale/triennale: densità comprese tra 4.000 e 10.000 alberi per ettaro (in genere 7.000-9.000); gli impianti hanno in genere sesti di impianto a file singole, con distanza di 2,8 m tra le file e 0,6 m lungo la fila;

- turno quinquennale: densità comprese tra 1.300 e 2.000 alberi per ettaro; gli impianti si avvicinano ai pioppeti tradizionali: tuttavia il postime è messo a dimora più fitto, in genere con sesto di impianto di 3x2 m; la durata del turno comporta la produzione di fusti con diametri a petto d'uomo anche fino a 15 cm, dimensione troppo elevata per la raccolta con falciatrinciacaricatrice o con attrezzature analoghe e che quindi impone il ricorso a cantieri di utilizzazione tipicamente forestali.

Il turno annuale è stato utilizzato soprattutto negli impianti effettuati nel periodo tra il 2002 e il 2005, in quanto non erano disponibili in Italia macchine in grado di tagliare, sminuzzare e raccogliere piante con diametro alla base maggiore di 6 cm, dimensione facilmente superabile durante il secondo anno di accrescimento (FACCIOTTO, 2007); il materiale prodotto con turno annuale è caratterizzato da un elevato rapporto corteccia/legno e quindi da un più basso valore energetico.

A partire dal 2005 sono diventati disponibili testate di macchine falciatrinciacaricatrici



(Figura 3) in grado di tagliare polloni di diametro alla base anche superiore a 10-12 cm; le spaziature dei nuovi impianti tendono quindi ad allargarsi e i turni a passare a due o tre anni. Questo permette di ottenere produzioni maggiori e di migliore qualità: diminuisce il contenuto percentuale di corteccia e il materiale prodotto può anche essere destinato all'industria dei pannelli di particelle.

Figura 3 - Falciatrinciacaricatrici su impianto a turno biennale.

Nonostante le modalità operative potenzialmente più complesse, i moduli con turno più lungo di tre anni offrono vantaggi rispetto alla raccolta annuale o biennale: innanzitutto, la qualità del prodotto, più pregiata per il maggior contenuto di fibra; in secondo luogo, la maggior flessibilità di gestione, potendo posticipare la raccolta di uno o più anni senza dover cambiare la tecnologia impiegata; infine, la possibilità di effettuare una produzione mista di tondello e cippato, il primo da destinare a usi più remunerativi o allo stoccaggio, il secondo da avviare all'uso energetico.

La scelta del turno dipende dal tipo di clone utilizzato, dalle condizioni edafiche, dalle strategie aziendali, dalle modalità di raccolta e dalla possibilità di stoccaggio del prodotto. Per la

buona riuscita di un impianto SRF risulta molto importante, quindi, prefigurare moduli colturali adeguati alle effettive condizioni e possibilità della singola azienda rurale.

3.2.2. Specie target

A seguito di varie esperienze, le specie arboree risultate maggiormente idonee per impianti SRF in Italia sono riportate in Tabella 3.

Tabella 3 - Specie arboree maggiormente idonee per impianti SRF in Italia.

Pioppi	<i>Populus alba</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. deltoides</i> , <i>P. x euramericana</i>
Salice	<i>Salix alba</i>
Robinia	<i>Robinia pseudoacacia</i>

Il genere più largamente impiegato nelle colture SRF è *Populus*, che riesce a fornire soddisfacenti produzioni di biomassa su vaste aree senza risentire di particolari limitazioni termiche come invece accade per gli eucalitti (che tra l'altro in coltura specializzata tende spesso a soffrire di significativi problemi parassitari) o idriche come nel caso dei salici. Il genere *Populus* è caratterizzato da rapido accrescimento, facilità di propagazione agamica *in vivo* o *in vitro*, notevole diversità inter- ed intra-specifica per molti caratteri (morfologia, fenologia, resistenza agli stress biotici e abiotici), presenza di specie interfeconde con raggiungimento della maturità sessuale in tempi brevi, facilità di impollinazione per la separazione dei sessi (specie dioiche), elevata prolificità.

Vari cloni di pioppo espressamente selezionati per la produzione di biomassa sono iscritti in via provvisoria al Registro Nazionale dei Cloni Forestali: Monviso (*Populus x generosa x Populus nigra*), adatto a terreni difficili e resistente a carenze idriche del terreno; Sirio (*Populus x canadensis*), adatto a terreni argillosi, con buone produzioni; Pegaso (*Populus x generosa x Populus nigra*), con partenza vegetativa e raccolta tardiva; Marte e Saturno (*Populus alba*), tra i primi cloni selezionati per biomassa e adatti anche a terreni relativamente salini. La Commissione Nazionale per il Pioppo ha inoltre approvato per l'iscrizione in via provvisoria anche i cloni AF2 e Orion (83.148.041) mentre altri cloni di costituzione pubblica e privata sono in fase di sperimentazione con richiesta di iscrizione (BOCCASILE, 2007).

3.2.3. Tecniche colturali

I moduli descritti al § 3.2 richiedono differenti approcci colturali, sia per le differenti spaziatore e turni, sia a causa della destinazione degli assortimenti prodotti. In particolare i moduli annuali e biennali sono caratterizzati da maggiori interventi colturali, mentre per il modulo quinquennale le cure colturali sono concentrate nei primi anni e maggiormente orientate all'ottenimento di una certa qualità del materiale, almeno durante il primo turno (BERGANTE e FACCIOOTTO, 2006).

Preparazione del terreno e messa a dimora delle talee

Indipendente dal tipo di turno le fasi di preparazione del letto d'impianto sono comuni e prevedono quanto segue:

- *aratura*: ad una profondità di 30 cm. Se il terreno risulta argilloso, è consigliabile effettuare l'aratura in autunno, se invece risulta sabbioso è consigliabile eseguirla in primavera al fine di migliorare il controllo delle erbe infestanti;
- *erpatura*: deve essere eseguita con attenzione 1-2 giorni prima della messa a dimora delle talee per mezzo di una fresa rotante.

Nel caso di piantagioni a turno biennale, la realizzazione delle piantagioni di biomassa avviene attraverso la messa a dimora di talee legnose eseguita, da metà gennaio fino alla fine di aprile, con apposite macchine trapiantatrici. Le talee, ricavate da piante di un anno allevate in appositi viavai (barbatellai), sono porzioni di fusto dalla lunghezza di 20-30 cm con un diametro variabile tra 1,5 e 3 cm. Nel caso di piantagioni a turno quinquennale, la realizzazione dell'impianto si esegue con la messa a dimora di astoni di un anno della lunghezza di 3 metri.

In relazione ai differenti moduli colturali è necessario diversificare le operazioni di impianto, concimazione, irrigazione, raccolta e trasporto.

3.2.3.1. Piantagione a turno biennale

Questo tipo di piantagione è consigliata su terreni meno fertili o in aziende agricole che possono dedicare minor attenzione all'impianto e non necessitano di un reddito annuale. In tali impianti si utilizza spesso il clone AF2.

Primo anno

Impianto: il sesto di impianto è a file singole e le distanze sono quelle riportate in figura 4, pari a una densità di 5900 piante/ha.

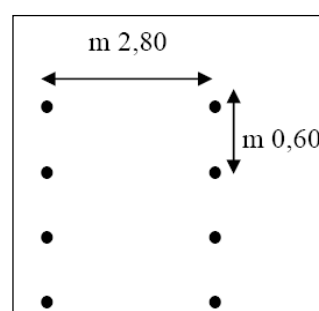


Figura 4 - Sesto di impianto utilizzato nelle piantagioni a turno biennale.

Manutenzione: nel primo anno deve essere più accurata per consentire lo svezzamento delle giovani piante.

In particolare è necessario effettuare le operazioni di seguito riportate:

- *trattamento antigerminello:* nel caso in cui l'impianto sia stato eseguito entro il mese di marzo, prima della fine di marzo bisogna effettuare un trattamento anti-germinello (*Metolachlor* o *Pendimetalin*) localizzato sui filari. Nel caso, invece, in cui l'impianto sia stato effettuato da aprile in poi il trattamento andrà eseguito non oltre tre giorni dopo la messa a dimora delle talee;
- *lavorazioni per lo svezzamento delle talee:* le lavorazioni si diversificano a secondo se le attività avvengono sulla fila o nell'interfila. Sulla fila, al termine dell'azione dell'antigerminello, quando l'erba ha raggiunto un'altezza non superiore a 4/6 cm, è indispensabile passare con una fresa a moduli specifica, che permette sia di lavorare nell'interfila, sia di avvicinarsi a pochi centimetri dalle piantine rincalzandole in modo da coprire l'erba sulla fila. Tale operazione è consigliabile una volta l'anno durante la primavera, anche in assenza di malerbe, in quanto serve a costipare le screpolature del terreno in modo da eliminare le eventuali sacche d'aria. Nell'interfila, invece, sono necessarie 3/4 erpicature durante l'estate con erpice a dischi rincalzando i filari per rinsaldare le piante;
- *concimazioni:* non sono necessarie al primo anno;
- *irrigazioni:* a seconda del terreno e delle precipitazioni, è necessario eseguirla da una a due volte l'anno, con un apporto variabile da 20 a 25 mm di acqua, per favorire l'attecchimento delle talee.

Secondo anno

Manutenzione: il secondo anno prevede una minore manutenzione e si richiedono meno interventi.

In particolare è previsto:

- *controllo meccanico delle infestanti:* da effettuare attraverso due passaggi con erpice a dischi durante l'estate;
- *irrigazione:* a seconda del terreno e delle precipitazioni, è necessario eseguirla da una a due volte l'anno.

Raccolta e trasporto: la prima raccolta può avvenire durante l'inverno a partire da novembre sino a metà di aprile. Tale operazione può essere svolta attraverso un cantiere che prevede due fasi operative:

1. *abbattimento:* le piante sono abbattute da una sega circolare trainata da un trattore che dispone le piante negli spazi interfilari accumulate in andane.

2. *cippatura*: le piante così disposte possono essere cippate immediatamente o dopo 30-40 giorni, quando hanno perso parte del contenuto idrico, passando dal 50-55% al 30-35% di umidità. La cippatura avviene per mezzo di una macchina spinta da un trattore dotato di *pick-up* che raccoglie le piante abbattute e le convoglia in un cippatore. Il prodotto è caricato su carri che lo trasportano in un piazzale aziendale per lo stoccaggio oppure direttamente in centrale.

Negli ultimi anni l'operazione di raccolta della biomassa legnosa si è concentrata in sistemi altamente meccanizzati in grado di abbattere i costi di gestione di impianti SRF e rendere economicamente fattibile la loro realizzazione su larga scala. Il sistema di raccolta prevede l'impiego di macchine falciatrinciacaricatrici: queste testate operano spingendo i fusti in avanti, tagliandoli a 3-4 cm di altezza da terra e poi tirandoli dentro la bocca di alimentazione a rulli, dietro la quale è installata una cippatrice. Il materiale legnoso prodotto viene poi caricato direttamente all'interno di cassoni posti nella parte posteriore di automezzi gommati.

Il trasporto del cippato avviene con un carro agricolo entro un raggio di 15 km e su camion nel raggio di 50 km. Di solito nel raggio di 15 km il trasporto viene eseguito direttamente dal contoterzista tramite trattore e rimorchio, mentre al di sopra dei 15 km, è affidato ad un'azienda di trasporti, che preleva il materiale cippato direttamente nel piazzale di stoccaggio dell'azienda agricola.

Terzo-quarto anno e successivi bienni

Manutenzione: dal secondo biennio, la manutenzione diminuisce ulteriormente.

- *controllo meccanico delle infestanti*: ogni anno del biennio, si deve effettuare un passaggio con una fresa modulare quando i ricacci hanno raggiunto un'altezza di 50-80 cm e due passaggi con erpice a dischi durante l'estate, avendo l'accortezza di rincalzare bene le ceppaie. Ogni secondo anno, si dovranno eseguire poi, solo due passaggi con erpice a dischi.
- *trattamenti insetticidi*: ogni primo anno del biennio, è opportuno effettuare un trattamento insetticida nel mese di aprile, solo in caso di infestazione di insetti xilofagi (in particolare il punteruolo del pioppo - *Cryptorhynchus lapathi*) e defogliatori (in particolare, la crisomela del pioppo - *Chrysomela populi*). Nel secondo anno, invece, non si prevedono interventi, in quanto un ipotetico attacco non creerà danni alla piantagione.
- *concimazioni*: ogni primo anno del biennio, nel mese di aprile è consigliabile un'applicazione attraverso la somministrazione di 50-100 kg/ha di azoto, mentre nel secondo anno non è necessaria;

- **irrigazione:** a seconda del terreno e delle precipitazioni, è necessario eseguirla da una a due volte ogni anno.

Raccolta e trasporto: da eseguirsi nei mesi tra novembre e aprile, secondo le modalità sopra esposte, sempre alla fine del secondo anno di ogni biennio.

3.2.3.2. Piantagione a turno quinquennale

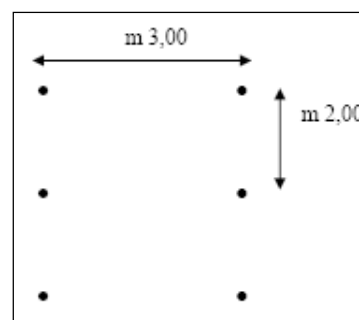
La scelta di questa tipologia colturale è consigliata nel caso in cui ci si trovi in situazioni difficili dal punto di vista ambientale e/o gestionale. Con questa tipologia di piantagione si può produrre biomassa anche in terreni con le seguenti caratteristiche:

- ex set-aside;
- terreni non irrigui con falda profonda;
- golene fluviali;
- appezzamenti ridotti e di difficile accesso;
- terreni non gestiti direttamente dalla proprietà.

Primo anno

Impianto: il sesto di impianto è a file singole e le distanze sono quelle riportate in figura 5, pari a una densità di 1660 piante/ha.

Figura 5 - Sesto di impianto utilizzato nelle piantagioni a turno quinquennale.



Manutenzione: nel primo anno deve essere più accurata per consentire lo svezamento delle giovani piante.

- **trattamento antigerminello:** nel caso in cui l'impianto sia stato eseguito entro il mese di marzo, prima della fine del mese bisogna effettuare un trattamento diserbante anti-germinello localizzato sui filari. Nel caso in cui l'impianto sia stato effettuato da aprile in poi, il trattamento andrà eseguito non oltre tre giorni dopo la messa a dimora delle talee.
- **lavorazioni per lo svezamento della piantagione:** durante i mesi di aprile, maggio e giugno è necessario erpicare il terreno nell'interfila dalle due alle tre volte per arieggiare il terreno

ed eliminare la competizione delle infestanti. Per il controllo delle malerbe è possibile anche utilizzare un diserbante sottochioma con le malerbe che non superano i 40-50 cm di altezza.

- *irrigazione*: a seconda del terreno e delle precipitazioni, è consigliabile eseguirla da una a due volte l'anno.

Dal secondo al quinto anno

Manutenzione: gli anni successivi al primo prevedono una minore manutenzione e si richiedono meno interventi.

- *controllo meccanico delle infestanti*: si deve effettuare da due a quattro passaggi con erpice a dischi durante l'estate;
- *irrigazione*: a seconda del terreno e delle precipitazioni, è consigliabile eseguirla da una a due volte all'anno.

Il quinto anno

Raccolta e trasporto: quando le piante raggiungono un diametro di circa 18-20 cm a petto d'uomo, è possibile effettuare la raccolta, possibilmente durante il periodo di riposo vegetativo tra novembre e aprile. Se per le cattive condizioni climatiche non si potesse intervenire entro il mese di aprile è possibile posticipare il taglio fino a maggio-giugno senza creare grossi problemi alla ripresa vegetativa delle ceppaie.

Per l'abbattimento delle piante vengono impiegate delle macchine dotate di cesoia forestale o motosega e pinza per l'accatastamento dei tronchi. Il materiale legnoso viene caricato direttamente sui rimorchi per il trasporto in centrale delle piante intere entro un raggio di 15 km, oppure stoccato intero per essere successivamente cippato e consegnato in centrale ad un'umidità del 30% circa. Piante di queste dimensioni garantiscono un ottimo prodotto, con un contenuto percentuale di corteccia molto basso.

Secondo quinquennio

Ripresa vegetativa: alla ripresa vegetativa ogni ceppaia emetterà numerosi polloni che nel giro di 2-3 anni, per effetto della selezione naturale, si ridurranno a 1-2 per ceppaia.

Manutenzione del primo anno: in caso di abbondante presenza di erbe infestanti, prima della ripresa vegetativa è necessario effettuare un trattamento diserbante.

- *controllo meccanico delle infestanti*: da effettuare durante l'estate attraverso 3/4 passaggi con erpice a dischi.
- *irrigazione*: a seconda del terreno e delle precipitazioni, è consigliabile eseguirla da una a due volte all'anno.

Manutenzione del 2° e 3° anno:

- *controllo meccanico delle infestanti*: da effettuare durante l'estate attraverso 2/4 passaggi con erpice a dischi.
- *irrigazione*: a seconda del terreno e delle precipitazioni, è consigliabile eseguirla da una a due volte all'anno.

Manutenzione del 4° e 5° anno:

- *controllo meccanico delle infestanti*: non è più necessario eseguirla poiché la copertura delle chiome impedisce lo sviluppo delle infestanti.
- *irrigazione*: a seconda del terreno e delle precipitazioni, è consigliabile eseguirla da una a due volte all'anno.

Raccolta e trasporto: A fine turno si effettua la raccolta secondo le modalità indicate in precedenza.

3.3. Aspetti ecologici

La valorizzazione delle colture SRF consente benefici di tipo ambientale e socio-economico sia a livello locale e territoriale, sia planetario. Ad esempio, l'uso energetico delle biomasse vegetali è considerato uno dei più efficienti sistemi per ridurre le emissioni di gas serra (come previsto dal protocollo di Kyoto), in quanto l'anidride carbonica emessa durante la produzione di energia dalle biomasse è pari a quella assorbita durante la crescita delle piante, mentre i combustibili fossili utilizzati emettono CO₂ che si accumula nell'ambiente.

Un altro importante contributo allo sviluppo sostenibile può derivare da un incremento dell'uso del legno e derivati in sostituzione di altri materiali il cui impiego risulti più "costoso" sia energeticamente che ambientalmente, sfruttandone il ruolo di "sequestratore" di CO₂ e la sua versatilità come materia prima.

4. Analisi territoriale delle colture arboree da energia

4.1. Materiali e metodi

In questo capitolo verranno descritti, in modo dettagliato, gli strumenti impiegati durante l'analisi territoriale e illustrate le singole fasi del processo di stima delle superfici idonee alla potenziale introduzione di cedui a turni brevissimi per la produzione di biomassa in Italia.

4.1.1. Logica *fuzzy* e funzioni di appartenenza

La logica *fuzzy* (letteralmente “confusa”, “sfocata”), consente di effettuare operazioni logiche senza utilizzare la rigidità tipica della logica booleana.

Nella logica booleana un oggetto appartiene oppure no ad un determinato insieme, i cui limiti sono rigidamente definiti: nel primo caso questo assume valore 1, nel secondo 0. Nella logica *fuzzy*, invece, i limiti dell'insieme sono sfocati e un oggetto viene definito da un certo grado di appartenenza ad esso, grado definito da un numero fra zero e uno. Un insieme *fuzzy* è quindi un insieme nel quale non c'è un confine ben preciso e definito fra gli oggetti che vi appartengono e quelli che non vi appartengono (FAGGIANI, 1999), ma i confini sono sfumati, sfocati. In questo modo, in contrapposizione ad un passaggio brusco (*hard classification*) dalla condizione di “idoneità” a quella di “non idoneità”, la valutazione di idoneità territoriale viene configurata tramite una “transizione graduale” (*soft classification*). Alcuni autori (BURROUGH e MC DONNEL, 1998; CHIRICI *et al.*, 2002) indicano nella logica *fuzzy* una possibile soluzione per l'elaborazione di dati caratterizzati da intrinseca imprecisione/vaghezza.

Durante il processo di analisi territoriale secondo la logica *fuzzy* viene introdotto il concetto di appartenenza ad una classe, rappresentato dalla “funzione di appartenenza” (*membership function* – MF). Agli individui, il cui valore rientra in una classe definita, viene attribuito un valore di appartenenza alla classe pari a 1 (MF=1). Agli individui il cui valore ricade al di fuori di tale classe viene invece assegnato un valore di appartenenza inferiore a 1 e maggiore di 0 ($0 \leq MF \leq 1$), tanto più basso quanto più tale valore si discosta da quello della classe.

Alle singole caratteristiche o qualità territoriali viene inoltre attribuito un peso che rappresenta la loro importanza relativa nel giudizio finale sull'attitudine complessiva. L'attitudine complessiva (*overall suitability*) di una singola unità territoriale viene quindi espressa come grado di appartenenza complessiva (*joint membership function* – JMF), che rappresenta la somma pesata delle funzioni delle varie caratteristiche o qualità considerate.

Quindi:

$$JMF = aA * MFA + aB * MFB + \dots + aZ * MFZ$$

dove $aA + aB + \dots + aZ = 1$.

4.1.2. Aggregazione dei fattori *fuzzy*

La qualità di un modello per il processo decisionale dipende essenzialmente dalla definizione del criterio. Un criterio è uno strumento che permette di paragonare le azioni relativamente ad un particolare punto di vista (SCARELLI, 1997). Come in statistica la fase di raccolta e preparazione dei dati è più importante della fase di elaborazione, così in MCDA sofisticate procedure di aggregazione sono insignificanti se i criteri sono stati costruiti in modo poco convincente.

A questo fine, nella costruzione del modello di valutazione e analisi, è bene effettuare una distinzione tra informazioni «*hard*» e «*soft*», rispettivamente definite come informazioni a carattere oggettivo e soggettivo (MALCZEWSKI, 2004). Le prime coincidono con dati reali, stime quantitative (come ad esempio i dati censuari, dati climatici, la destinazione d'uso dei suoli, ecc.); le seconde rappresentano opinioni (preferenze, priorità, giudizi) che i decisori ed i gruppi di interesse esprimono. Ciascun modello di valutazione e/o processo di pianificazione deve trovare il proprio fondamento su un mix di informazioni *hard* e *soft*.

Quando siamo di fronte ad un numero ridotto di azioni, la soluzione del problema è banale. Diversamente avviene quando il numero di azioni è infinito e l'analisi delle conseguenze delle azioni conduce alla costruzione di più criteri: per generare una soluzione è allora necessario aggregare i risultati ottenuti dall'applicazione di ciascun criterio su ogni azione. Esistono tre modi diversi per risolvere questo *problema di aggregazione*:

- gli n criteri possono essere riassunti in un unico criterio attraverso una procedura di aggregazione multi criterio per esplicitare la funzione di preferenza globale del decisore;
- accettare di esprimere solo parzialmente le preferenze attraverso la costruzione di una relazione di surclassamento (viene presa in considerazione solamente la parte delle preferenze che si è in grado di gestire con obiettività e sicurezza sufficienti);
- raggiungere un compromesso tra la soluzione ottimale e le soluzioni possibili sulla base di preferenze locali o attraverso un dialogo con il decisore al fine di ricercare insieme una soluzione che rappresenti il miglior compromesso.

Per risolvere il problema dell'aggregazione dei fattori è stato scelto un approccio multicriteriale sinteticamente espresso attraverso la costruzione di una matrice $m \cdot n$, in cui ogni elemento $g_j(a_i)$ indica la performance dell'azione a_i , relativamente al criterio j . Ogni azione a_i è identificata da un vettore riga.

4.1.3. Sistemi GIS

La recente diffusione dei GIS (Geographic Information System) ha cambiato la metodologia di valutazione territoriale. Da un tipo di valutazione che utilizzava essenzialmente l'unità cartografica come unico contenitore di informazioni, negli ultimi anni si è passati ad un uso integrato di banche dati e immagini (*raster*) aventi come unità il pixel a cui sono associate le informazioni ricavate dai vari strati informativi originali. I vantaggi di questo approccio metodologico sono:

- una più dettagliata spazializzazione della valutazione;
- l'automazione delle procedure di valutazione;
- la possibilità di modificare i parametri di valutazione e verificare immediatamente il risultato;
- l'integrazione di molti strati informativi.

La valutazione territoriale tramite GIS può comunque avere come oggetto anche i poligoni dei database vettoriali, invece che i *pixel* di quelli *raster*. In generale il formato *raster* risulta più adatto a descrivere grandezze che variano con continuità nello spazio, mentre il formato *vettoriale* si presta meglio alla rappresentazione di oggetti caratterizzati da una discontinuità di bordo. I dati vettoriali provengono dalla digitalizzazione di mappe, dai rilievi con l'impiego di sistemi di posizionamento satellitare GPS (*Global Positioning Systems*) o con metodi topografici classici, mentre i dati di tipo *raster* sono invece costituiti da coperture continue del territorio, come quelle ottenute grazie al ricorso alle immagini satellitari o alle foto aeree. In questo caso, per essere gestite in una logica GIS, le immagini devono essere georeferenziate facendo collimare le coordinate dei punti noti a terra con quelle degli oggetti che vi sono rappresentati e quindi corrette, ovvero ricalcolate tenendo conto della deformazione compiuta. Tale operazione è di fondamentale importanza per consentire la sovrapposizione delle immagini *raster* con i corrispondenti dati vettoriali.

L'integrazione dell'analisi multicriteriale con il GIS permette di avere il riferimento spaziale delle analisi effettuate, consentendo con immediatezza di verificare i risultati ottenuti direttamente sul modello di rappresentazione del territorio in esame e valutare, quindi, diverse tarature dei parametri inseriti in base agli scopi della pianificazione.

Questa tecnologia è da considerarsi come lo strumento più innovativo e funzionale presente oggi sul mercato, finalizzato ad affrontare studi di carattere territoriale proprio perché è in grado di associare a una informazione geografica una informazione descrittiva (attributi). Metodologie di analisi e di programmazione basate sull'uso dei sistemi informativi territoriali possono supportare con efficacia la pianificazione su base territoriale dell'uso della biomassa per scopi energetici.

4.1.4. Analisi Multicriteriale

Secondo la definizione data CHAKHAR e MARTEL (2003), l'Analisi Multi-Criteriale (MCA), è uno strumento matematico di supporto alle decisioni, che consente il confronto fra alternative e scenari differenti, secondo criteri diversi e spesso in contraddizione. I criteri sono caratteristiche del territorio da cui dipende la scelta di uno scenario piuttosto che di un altro. Grazie all'aiuto fornito dalla MCA, il pianificatore arriva alla fine ad una decisione che risulta essere un compromesso, tenendo in debito conto i vari pro e contro e le preferenze dei soggetti interessati.

Lo scopo principale della MCA è quindi quello di esaminare un certo numero di alternative, alla luce di criteri multipli ed obiettivi, alternativi e conflittuali fra loro (CEBALLOS-SILVA e LOPEZ-BLANCO, 2003). Per fare ciò, è necessario arrivare ad un compromesso fra le diverse alternative e ad una graduatoria di queste. L'analisi multicriteriale può appunto servire per identificare questo compromesso, massimizzando i benefici per tutti gli interessati al processo di valutazione/pianificazione, riducendo al minimo i costi e i danni per l'ambiente.

L'analisi multicriteriale può essere integrata in ambiente GIS, per costruire sistemi di supporto alle decisioni che implicino la dimensione spaziale (*Spatial Decision Support System*, SDDS). Un esempio di software commerciale è il pacchetto GIS Idrisi 32 (Clark Labs) che, nelle ultime versioni, dispone di un modulo per la valutazione multicriteriale, MCE.

Questo tipo di analisi può risultare utile nell'approccio alla valutazione territoriale di tipo partecipativo (COOLS *et al.*, 2003). Per approccio partecipativo si intende in questo caso il coinvolgimento diretto e paritetico, nel processo di valutazione, dei diversi operatori interessati (ad esempio agricoltori, i tecnici locali, il personale politico).

4.1.5. Metodi multicriteriali

Tra i diversi metodi volti alla ricerca della soluzione ottima per un dato problema, sicuramente i cosiddetti *metodi decisionali multicriterio* (in inglese, *Multi-Criteria Decision Making* ovvero *MCDM*) sono tra quelli che hanno suscitato maggiore interesse tra gli studiosi del settore. Questi metodi si distinguono, generalmente, in due gruppi (ZIMMERMANN, 1996): si parla di metodi *multi-obiettivo* (*Multi-Objective Decision Making*, *MODM*), quando tesi a risolvere un problema decisionale la cui soluzione appartiene ad uno spazio continuo, e di metodi *multi-attributo* (*Multi-Attribute Decision Making*, *MADM*) quando invece la soluzione ottima è da determinarsi all'interno di un set discreto di alternative.

I metodi MODM cercano di individuare la soluzione compromesso ideale assumendo, generalmente, che il problema da risolvere possa essere schematizzato con un modello matematico.

Purtroppo la programmazione matematica, pur elegante e rigorosa nell'approccio, non si presta di risolvere la maggior parte dei problemi decisionali pratici. I metodi MADM prevedono, invece, l'applicazione della matematica discreta (dunque meno elegante) ad un gruppo predefinito di possibili soluzioni, consentendo di fornire un valido supporto alla decisione in molteplici e variegati casi reali.

I "metodi MCDM" non sono diretti ad individuare una soluzione "ottima" in senso assoluto, rigorosamente matematico, ma, piuttosto, a stilare una *classifica* delle considerate soluzioni, in funzione delle prestazioni che esse offrono nei confronti di prestabiliti e discriminanti criteri di giudizio.

È da tenere presente che tali criteri sono, in generale, *conflittuali*, nel senso che migliorare le prestazioni rispetto ad uno di essi può comportare il peggiorare quelle rispetto ad un altro criterio. D'altra parte è evidente che, se così non fosse, il problema decisionale sarebbe di semplice soluzione, potendosi in modo diretto individuare, tra quelle disponibili, la soluzione che risponde nel modo migliore a tutti i criteri di giudizio. I metodi MCDM permettono, invece, di valutare la migliore soluzione "di compromesso" come quella che manifesta la miglior risposta *globale* agli obiettivi preposti.

Altro aspetto chiave di tutti i metodi MCDM, che può renderne particolarmente complessa l'applicazione, consiste nel fatto che la valutazione delle alternative rispetto ai diversi criteri comporta necessariamente il coinvolgimento di grandezze fisiche diverse (si pensi ai criteri di costi, tempi, prestazioni strutturali, ecc.) che richiede un passaggio ulteriore nell'*omogeneizzazione* delle variabili in gioco. Ancora più delicato è, poi, l'aspetto della valutazione rispetto ai criteri cosiddetti *qualitativi*, quelli, cioè, che, per loro stessa natura, non consentono una misura quantitativa diretta delle prestazioni delle alternative rispetto ad essi, ma richiedono l'espressione di giudizi linguistici, verbali, da convertire, in una fase successiva, in termini numerici per le necessarie elaborazioni volte a stilare la classifica delle soluzioni considerate.

Ancora, molti metodi MCDM richiedono che a ciascun criterio di giudizio sia assegnato un *peso* ovvero una misura percentuale (la somma dei pesi dei diversi criteri considerati deve esser pari all'unità o, equivalentemente, al 100%) dell'importanza relativa che lo stesso deve avere per la decisione finale.

Infine, altro aspetto che accomuna tutti i metodi decisionali multi-attributo è l'opportunità di esprimere il problema decisionale in una comoda forma matriciale. Si costruisce, cioè, la cosiddetta *matrice di decisione* (Figura 6) A di ordine $n \times m$ (con n numero di soluzioni alternative e m numero di criteri di giudizio) il cui generico elemento a_{ij} esprime la prestazione della generica alternativa A_i ($i=1, 2, \dots, n$) rispetto al generico criterio C_j ($j=1, 2, \dots, m$).

A l t e r n a t i v e	Criteri di giudizio (pesi)			
	$C_1 (w_1)$	$C_2 (w_2)$	...	$C_m (w_m)$
	a_{11}	a_{12}	...	a_{1m}
	a_{21}	a_{22}	...	a_{2m}
	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nm}

Figura 6 - Matrice di decisione (TRIANAPHYLLOU, 2000)

Con riferimento ai metodi multicriteriali si distinguono due tipi di criteri: fattori (*factors*) o vincoli (*constraints*). In natura i *factors* sono generalmente a variazione continua; essi fanno assumere livelli di vocazionalità differenziata agli ambiti territoriali oggetto di indagine, nel senso che il valore di *suitability* assunto da una determinata area è legato principalmente al valore che assume ciascun fattore nei diversi ambiti territoriali analizzati. A differenza dei *factors*, i *constraints* hanno un carattere booleano (dicotomico 0-1) e limitano l'analisi solo a certe aree: nel caso di un'analisi finalizzata ad individuare le aree più adatte allo sviluppo di una nuova area residenziale, ad esempio, le aree a riserva naturale rappresentano dei vincoli, ovvero hanno *suitability* pari a zero.

Fattori e vincoli vengono combinati nel modulo denominato "MCE" usando uno dei tre metodi offerti dal software Idrisi Andes: Intersezione Booleana (*Boolean Intersection*), Combinazione Lineare Ponderata (*Weighted Linear Combination*) e Medie Ponderate Ordinate (*Ordered Weighted Averages*).

Ogni metodo è caratterizzato da differenti livelli di controllo della compensazione (*tradeoff*) tra i fattori e del rischio assunto nella procedura di combinazione. *Tradeoff* esprime il livello con cui ogni singolo fattore può essere compensato da un altro. Il modo con cui vengono compensati è controllato da un set di pesi compensativi (*tradeoff weights*), che indicano l'importanza relativa di ogni fattore rispetto all'obiettivo in questione; tali pesi sono attribuiti ad ogni fattore in modo che la somma di tutti sia pari a 1. Un fattore caratterizzato da un alto rapporto "fattore/peso compensativo" può compensare bassi livelli di *suitability* di altri fattori che presentano, invece, un basso rapporto "fattore/peso compensativo".

Oltre al *tradeoff*, ogni MCE è caratterizzato da un certo livello di rischio che potrà influenzare fortemente l'utilizzazione della mappa finale di idoneità territoriale. Nel risultato finale di un'analisi a basso rischio l'area considerata a più alta idoneità potrebbe essere minimizzata, poiché saranno selezionate solo le aree con buone performance in tutti i criteri considerati.

Viceversa, un'analisi ad alto rischio potrà produrre dei risultati nei quali si evidenziano aree ad alta idoneità derivanti dalla combinazione di aree anche con valori relativamente molto bassi.

I metodi di combinazione (*combination methods*) contenuti nel pacchetto MCE di Idrisi Andes vengono di seguito descritti.

4.1.5.1. Intersezione Booleana

Tutti i criteri sono costituiti da mappe di vincolo 0-1 e quindi la mappa di *suitability* risultante è il prodotto dell'intersezione delle mappe dei vincoli, con l'operatore AND, che porta a selezionare tutte le aree nelle quali nessuna mappa presenta valore 0. In questo caso non si può considerare in alcun modo la compensazione (*tradeoff*) fra valori 0 e 1 nelle varie mappe.

Questa procedura presenta il minimo livello di rischio decisionale, poiché le sole aree selezionate sono quelle che risultano idonee (valore pari a 1) per tutti i criteri considerati.

4.1.5.2. Weighted Linear Combination (WLC)

Nella combinazione lineare ponderata i criteri possono includere sia fattori che vincoli ponderati. La procedura WLC ha inizio moltiplicando ogni fattore per il suo peso e quindi procede addizionando i risultati; i vincoli sono applicati attraverso successive moltiplicazioni cosiddette “zero out”.

Questa procedura è caratterizzata da un *tradeoff* completo tra i fattori ed il rischio medio. I pesi compensativi, per nulla utilizzati nel caso dell'intersezione booleana, sono molto importanti nella WLC perché determinano come i singoli fattori compenseranno ogni altro fattore. In questo caso, quanto più alto è il peso compensativo di un fattore tanto più alta sarà l'influenza che avrà nella mappa di idoneità finale.

Oltre alla compensazione totale, questa procedura di combinazione è caratterizzata da un livello medio di rischio, perché l'effetto delle aree considerate idonee, nel risultato finale, si colloca esattamente in mezzo fra la minimizzazione (operazione AND) e la massimizzazione (operazione OR).

4.1.5.3. Ordered Weighted Averages (OWA)

Questo metodo prende in considerazione sia fattori che vincoli come nel metodo WLC. Tuttavia, oltre ai pesi arbitrariamente attribuiti ai fattori, utilizza anche una ponderazione ordinata. Questo secondo *set* di pesi controlla direttamente il livello di compensazione e di rischio. Il livello di compensazione totale è il grado con cui ogni “fattore/peso compensativo” è applicato nella

procedura di combinazione; l'influenza di questi pesi, da nulla a totale, è governata dal set delle ordinazioni di pesi. Il grado di rischio è la posizione della procedura di combinazione tra la minimizzazione (operazione AND) e massimizzazione (operazione OR) di aree considerate idonee nel risultato finale.

I pesi ordinati sono un *set* di pesi assegnati non ai fattori stessi, ma alla posizione all'interno della classifica dei valori dei fattori, per una data localizzazione. Una volta applicati i fattori compensativi, al fattore con il punteggio più basso di idoneità territoriale è dato il primo peso di ordinazione, al fattore con il successivo punteggio di più bassa idoneità territoriale è attribuito il secondo peso di ordinazione e così via. L'applicazione dei pesi di ordinazione ha l'effetto di ponderazione dei fattori in relazione al loro posizionamento all'interno della scala di valori minimo e massimo di *suitability*. La relativa direzione asimmetrica sia verso il minimo che verso il massimo dei pesi di ordinazione controlla il livello di rischio, mentre il grado a cui i pesi di ordinazione sono uniformemente distribuiti attraverso tutte le posizioni controlla il livello totale di compensazione.

4.1.5.4. Processo analitico gerarchico (AHP)

Uno dei metodi più impiegati di aiuto alla decisione multicriterio (MCDA, Multi-Criteria Decision Aid) è stato sviluppato da Thomas Lorie Saaty verso la fine degli anni 70 (SAATY, 1977 e 1980). Scopo principale del metodo, chiamato AHP (Analytic Hierarchy Process), è quello di costruire la matrice di decisione $n \times m$ (dove n è il numero di alternative e m è il numero di criteri), avente come generico elemento a_{ij} la misura della prestazione dell'alternativa i -ma rispetto al criterio j -mo. In particolare, tali valutazioni sono "scalate" di modo che la somma dei valori su ciascuna colonna sia pari all'unità.

A tutt'oggi esistono numerose decine di esempi di applicazione del metodo a problemi di valutazione nei settori più svariati (GOLDEN *et al.* 1989).

Il primo passo del metodo comporta la costruzione della gerarchia di dominanza. Una gerarchia di dominanza è una struttura reticolare costituita da due o più livelli: il primo livello contiene l'obiettivo generale della valutazione o *goal*.

Tutti gli elementi subordinati allo stesso elemento della gerarchia vengono confrontati a coppie tra loro.

Gli elementi di ciascuna coppia vengono comparati al fine di stabilire quale di essi è più importante in rapporto all'elemento sovraordinato, e in quale misura: il risultato del confronto è il *coefficiente di dominanza* a_{ij} che rappresenta una stima della dominanza del primo elemento (i) rispetto al secondo (j).

Per determinare i valori dei coefficienti a_{ij} occorre utilizzare la scala seguente chiamata “*scala semantica di Saaty*” (vd. Tabella 4) che mette in relazione i primi nove numeri interi con altrettanti giudizi che esprimono, in termini qualitativi, i possibili risultati del confronto (SAATY, 1980):

Tabella 4 – Scala semantica di Saaty utilizzata durante il processo di comparazione dei fattori.

PESO	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
IMPORTANZA RELATIVA DEL PARAMETRO	<i>meno importante</i>				<i>uguale importanza</i>	<i>più importante</i>			

a_{ij}	<u>GIUDIZIO</u>
1	Ugualmente importante
3	Leggermente più importante
5	Più importante
7	Molto più importante
9	Estremamente più importante
2,4,6,8	(Valori intermedi o di "compromesso")

Il motivo di tale scala di valori trova fondamento nell’abilità umana di esprimere qualitativamente un giudizio di preferenza fra due obiettivi può essere generalmente limitata a cinque elementi, caratterizzati dai seguenti indicatori linguistici¹⁸: preferenza uguale (1), debole (3), forte (5), molto forte (7), assoluta (9) (BERNETTI e FAGARAZZI, 2002).

Confrontando a coppie n elementi si ottengono n^2 coefficienti: di questi soltanto $n(n-1)/2$ devono essere direttamente determinati dal decisore o dall'esperto che effettua la valutazione, essendo $a_{ii}=1$ e $a_{ji}=1/a_{ij}$ per ogni valore di i e j . La seconda condizione, nota come relazione di reciprocità, scaturisce dalla necessità di garantire la simmetria dei giudizi di importanza.

I coefficienti di dominanza definiscono una matrice quadrata reciproca e positiva detta “matrice dei confronti a coppie” o “matrice di Saaty”:

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

Per ogni elemento non terminale della gerarchia occorre costruire una matrice confrontando a coppie gli elementi che sono ad esso direttamente subordinati.

4.1.5.4.1. Determinazione dei pesi

I *pesi* sono coefficienti che misurano l'importanza relativa di singoli criteri e assumono un ruolo fondamentale nel processo decisionale. In base al valore assegnato, infatti, alcune valutazioni delle alternative saranno amplificate (conferendo, dunque, ad esse maggiore “importanza”), altre saranno ridotte.

Non esistono strumenti fisici che ci consentono di determinare questi pesi, ma è necessario affidarsi ai giudizi di esperti. Non disponendo da uno strumento di misura ma soltanto della sua personale esperienza, l'esperto non è in grado di determinare direttamente i pesi w_i , ma può fornire solo delle stime approssimate dei loro rapporti con l'ausilio della scala semantica.

Le stime fornite dall'esperto, nella maggioranza dei casi, non saranno dunque consistenti. Questa mancata consistenza dipende sia dalla difficoltà che esso incontra nel mantenere la coerenza di giudizio in tutti i confronti a coppie, sia dal fatto che i suoi giudizi possono essere strutturalmente non consistenti. La teoria dei sistemi relazionali di preferenza dimostra infatti che le relazioni di preferenza e di indifferenza che conseguono da un insieme di confronti a coppie possono essere non transitive (ad es., a è preferito a b , b è preferito a c , ma a può essere non preferito a c). Obbligando l'esperto ad essere perfettamente coerente nei suoi giudizi lo costringeremmo implicitamente (e indebitamente) a rispettare quel principio di transitività della preferenza e dell'indifferenza che non dovrebbe mai essere imposto a priori (VINCKE, 1992).

Per stabilire se e in quale misura i valori dei rapporti w_i/w_j , che si calcolano dopo aver determinato l'autovettore principale $\mathbf{w}$, si discostano dalle stime a_{ij} fornite dall'esperto, il metodo AHP definisce il seguente *indice di consistenza* (CI, *consistency index*) che consente di misurare lo scarto complessivo tra questi due insiemi di valori:

$$CI = \frac{l_{\max} - n}{n - 1}$$

Nel caso di consistenza perfetta CI è uguale a zero: quando la matrice è perfettamente consistente, l'autovalore principale $l_{\max}$ è infatti uguale ad n . Al crescere dell'inconsistenza il valore di CI aumenta. Il metodo AHP prevede che l'indice CI sia confrontato con l'indice RI (*random index*). Questo secondo indice si calcola effettuando la media dei valori di CI di numerose matrici reciproche dello stesso ordine, i cui coefficienti vengono generati in modo *random* (cioè casuale) da un computer.

Quando il valore di CI della matrice compilata dall'esperto supera una soglia convenzionalmente posta uguale al 10% del valore di RI, la deviazione dalla condizione di

consistenza perfetta viene giudicata inaccettabile. Secondo Saaty (1980) un valore di CI superiore a tale soglia indica una scarsa coerenza dell'esperto che ha effettuato i confronti, piuttosto che una non transitività strutturale, e come tale accettabile, del suo sistema di preferenze. Quando il valore di CI supera la soglia, l'esperto deve sforzarsi di aumentare la coerenza dei suoi giudizi modificando, totalmente o in parte, le stime di a_{ij} .

4.2. Analisi territoriale

La metodologia di riferimento adottata per l'analisi di potenziale idoneità territoriale è quella della *land suitability/land capability* proposta dalla FAO (1976) finalizzata alla stima del grado di idoneità di un dato ambito territoriale a un determinato uso del suolo. Questa metodologia è già da tempo positivamente applicata nel settore forestale (a es.: BOOTH e SAUNDERS, 1985; VAN RANST *et al.*, 1996; CHIRICI *et al.*, 2006) e può essere riferita ad un uso del suolo più o meno dettagliatamente individuato (singole colture o varietà o generiche occupazioni del suolo).

La metodologia proposta dalla FAO ha come obiettivo principale di stabilire, più che una formale descrizione delle classi, una struttura per la procedura di valutazione (DAVIDSON, 1980). Lo schema FAO è considerato lo standard di riferimento nei lavori di valutazione territoriale (DENT and YOUNG, 1981; VAN DIEPEN *et al.*, 1991). La struttura della classificazione consta di quattro livelli gerarchici:

- Ordine
- Classe
- Sottoclasse
- Unità

Gli ordini sono 2 e indicano solamente se una porzione di territorio è adatta (S, *suitable*) o non adatta (N, *not suitable*) ad un uso sostenibile. L'uso degli ordini è generalmente ristretto a studi a piccola scala o a tabelle riassuntive. L'ordine S, adatto, definisce un tratto di terra nel quale l'uso preso in considerazione fornisce produzioni o risultati tali da giustificare l'impiego di risorse umane, economiche e tecnologiche, senza rischi di danneggiare l'ambiente. L'ordine N, non adatto, definisce invece un tratto di terra con qualità inadatte ad un uso sostenibile per il tipo di utilizzazione preso in considerazione.

Le classi definiscono il grado di attitudine. Sono raccomandate 3 classi per l'ordine S: molto adatto (S1), moderatamente adatto (S2), poco o marginalmente adatto (S3); 2 per l'ordine N: attualmente non adatto (N1), permanentemente non adatto (N2). Le sottoclassi definiscono il tipo di limitazione presente, l'unità ne definisce il grado.

La struttura della classificazione permette, in alcuni casi limitati, di utilizzare una fase “Sc”, definita come adatta sotto condizione (FAO, 1984). Se ad esempio un’unità territoriale viene classificata N2o/Sc1, vuol dire che attualmente non è adatta per problemi di ossigenazione nella zona di radicamento, ma diventerebbe molto adatta se venissero risolti i problemi di drenaggio.

Nelle analisi di *land suitability* il territorio oggetto di studio viene suddiviso nei suoi fattori elementari che, dapprima valutati singolarmente, vengono poi combinati per individuare in quale porzione di territorio i requisiti richiesti per l'uso in esame siano soddisfatti. In particolare, l'indagine è stata condotta utilizzando un approccio basato sull'analisi multicriteriale (MCE) con logica sfocata (*fuzzy*) in ambiente GIS, per individuare le aree più o meno idonee per ciascuna delle specie considerate (specie *target*) sulla base delle relazioni tra le loro preferenze ecologiche e i principali fattori ambientali (Figura 7).

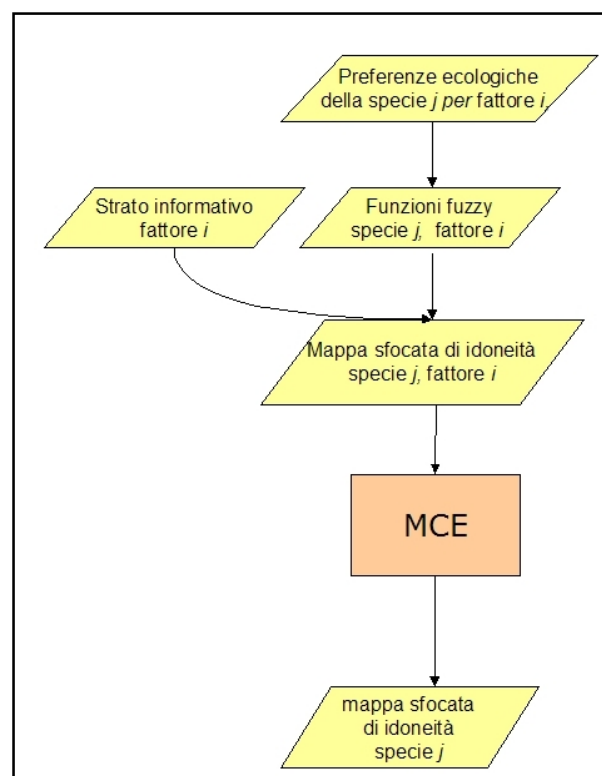


Figura 7 – Percorso metodologico seguito per l'individuazione delle unità territoriali idonee per le singole specie *target*.

Esempi di valutazione dell'attitudine territoriale all'arboricoltura da legno sono riportati in DE NATALE (1994), BELLOTTI (1998), PIERANGELI *et al.* (2001), CHIRICI *et al.* (2002), MERCURIO e NAPOLI (2002), CHIRICI *et al.* (2007B).

4.3. Fattori ambientali considerati

I fattori ambientali presi in considerazione per la creazione del SIT (*Sistema Informativo Territoriale*) sono stati selezionati sulla base di una approfondita analisi bibliografica e in riferimento a dati omogeneamente disponibili a livello nazionale: la scelta è stata infatti vincolata alla prioritaria necessità di un modello uniformemente applicabile a tutte le aree geografiche del nostro Paese (Tabella 5).

Tabella 5 – Fattori ambientali presi in considerazione ai fini della valutazione dell’attitudine fisica del territorio per la realizzazione di piantagioni governate a ceduo per la produzione di biomassa.

<i>Fattore</i>	<i>Unità di misura</i>
Temperatura media annua	° C
Precipitazione media annua	mm
Distanza dalla costa	m
Pendenza	%
Temperatura minima (assoluta)	° C
Tessitura	classi tessiturali
Profondità del suolo	cm

Oltre a fattori di tipo strettamente ecologico, di primaria importanza nella determinazione dell'idoneità stazionale rispetto alle preferenze di una data specie arborea, è stato tenuto conto anche di variabili quali la pendenza, come fattore di vincolo ai fini di una efficiente gestione degli impianti di arboricoltura da legno (CHIRICI *et al.*, 2002). Sono stati esclusi dall’analisi fattori di natura socio-economica in quanto, come accennato, l’obiettivo della ricerca è stata esclusivamente la valutazione dell’attitudine fisica degli ambiti territoriali considerati.

4.4. Preparazione degli strati informativi

Per ognuno dei fattori impiegati nella modellizzazione è stato preparato uno strato informativo georeferenziato, con risoluzione di 250 m, utilizzando come sistema geografico di riferimento UTM fuso 33 su datum WGS84. Al fine di garantire un valido supporto alle attività di pianificazione territoriale a livello nazionale, il modello di valutazione è stato elaborato con riferimento a un’unità minima classificabile (mappabile) pari a 6.25 ha e a una scala di riferimento pari a 1:100.000.

I fattori climatici derivano dall’elaborazione di un database ottenuto dalla spazializzazione dei dati rilevati in tutta Italia (BLASI *et al.*, 2007). La base dati meteorologica è costituita da misurazioni giornaliere relative a temperature minime, massime e precipitazioni acquisite per un

periodo di circa trenta anni (periodo 1950-1980) in 403 stazioni termopluviometriche dislocate sul territorio nazionale (Figura 8).



Figura 8 - Distribuzione spaziale delle 403 stazioni termo- pluviometriche utilizzate nel progetto.

La base di dati è stata acquisita nell'ambito del progetto "Completamento delle Conoscenze Naturalistiche di base" (Unità di Ricerca del Dipartimento di Biologia Vegetale dell'Università "La Sapienza" e Istituto di Ecologia ed Idrologia Forestale del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Cosenza, responsabili scientifici C. Blasi e F. Iovino). L'elaborazione successiva dei dati grezzi ha permesso di colmare i dati mancanti con una procedura di *gap filling* basata sulla correlazione locale tra stazioni meteo vicine (FALGE *et al.*, 2001) e quindi di calcolare per ogni stazione i valori climatici medi mensili riferiti alle tre variabili osservate. I dati aggregati mensili sono stati calcolati nel seguente modo: la temperatura media massima mensile come media dei massimi giornalieri; la temperatura media minima mensile come media dei minimi giornalieri; le precipitazioni mensili come somma delle precipitazioni giornaliere; i dati mensili sono stati quindi mediati lungo tutto il periodo trentennale della serie temporale disponibile (BLASI *et al.*, 2007).

I dati pedologici (tessitura e profondità del suolo) derivano, invece, dall'elaborazione di informazioni reperite dall'*European Soil Database, SPADE-2* dell'European Soil Bureau (scala di riferimento di 1:1.000.000). Questo database è stato tagliato seguendo i limiti amministrativi nazionali: ne sono derivati 1277 poligoni classificati in 41 Soil Mapping Units (SMU) di estensione estremamente variabile (24-1.700.000 ha). A ciascuna SMU sono stati poi associati due database relazionali ottenuti mediante elaborazioni sui database degli orizzonti diagnostici: uno contenente i

dati pedologici riferiti alla Soil Typological Unit dominante della SMU e l'altro i dati ottenuti mediante sommatoria pesata delle STU in SMU.

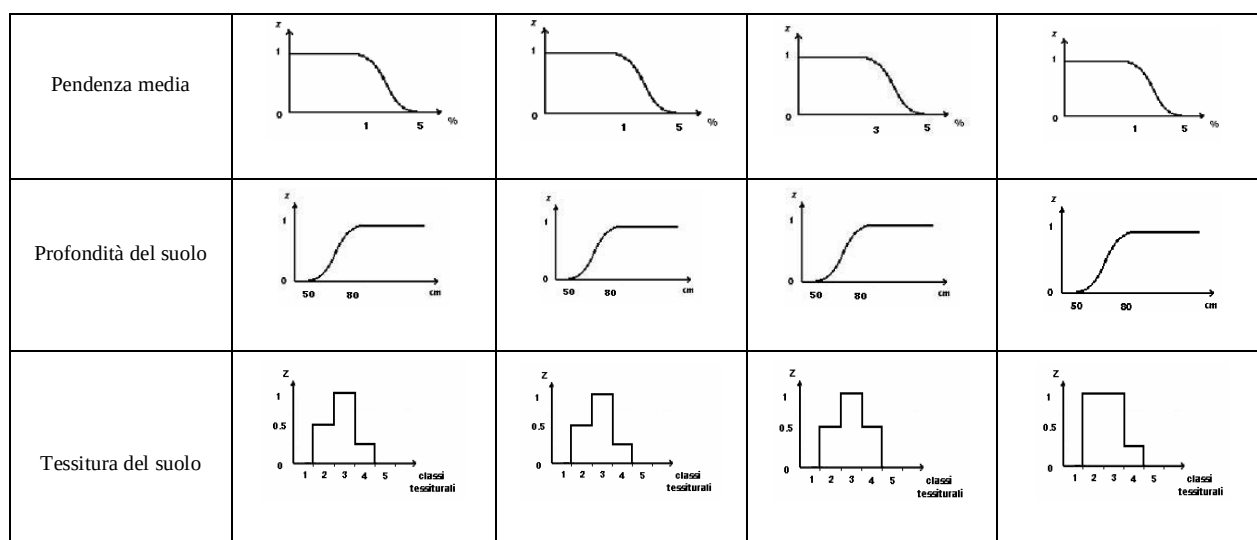
La distanza dalla costa è stata calcolata tramite un algoritmo lineare a partire dai limiti di amministrativi nazionali. La pendenza è stata calcolata a partire da un modello digitale del terreno con passo originale di 75 m. I dati di uso/copertura del suolo sono quelli del progetto Corine Land Cover 2000 (CLC2000, MARICCHIOLO *et al.*, 2005): in particolare, il contesto territoriale di riferimento per la realizzazione di colture SRF risulta caratterizzato da terreni agricoli di tipo intensivo o semi intensivo nei quali l'impianto di biomassa può prospettarsi quale alternativa economicamente competitiva rispetto alle colture agricole tradizionali.

4.4. Elaborazione

Per ciascun fattore ambientale e per ciascuna specie *target* sono state innanzitutto elaborate le funzioni che permettono di definire il grado di appartenenza all'insieme *fuzzy* di idoneità in una scala continua di valori nell'intervallo [0, 1], dove 1 esprime un grado di idoneità ottimale del fattore rispetto alla data specie e 0 la non idoneità (Tabella 6).

Tabella 6 – Funzioni di appartenenza *fuzzy* rappresentative delle condizioni di idoneità di coltivazione delle specie target rispetto ai fattori ambientali considerati.

	<i>Populus alba</i>	<i>Populus euroamericana</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Salix alba</i>
Temperatura media annua				
Precipitazione media annua				
Temperatura minima invernale (minima assoluta)				
Distanza dalla costa				



La scelta della funzione di appartenenza più appropriata è stata condotta tenendo conto sia del valore ottimale di ciascun fattore ambientale considerato rispetto alle preferenze ecologiche di ciascuna delle due specie, sia del campo di variazione dei singoli fattori entro il quale ciascuna specie target esprima le migliori *performance* vegetative (optimum ecologico). Queste funzioni sono state messe a punto sulla base delle valutazioni di un *panel* indipendente di cinque esperti nominati appositamente. L'applicazione di queste funzioni *fuzzy* agli strati informativi acquisiti ha permesso quindi di ottenere una serie di immagini che esprimono, per ciascun pixel e per ciascuna specie, il livello di idoneità in funzione di ciascun fattore ambientale.

I valori di idoneità riferiti ai singoli fattori sono stati successivamente combinati linearmente (*Weighted Linear Combination*) mediante pesi la cui assegnazione è stata effettuata dal *panel* di esperti (tabella 7) con metodo comparativo a coppie (*matrice di Saaty*) e successivamente sottoposta ad analisi di congruità allo scopo di stabilizzare il *ranking* di valori ottenuti.

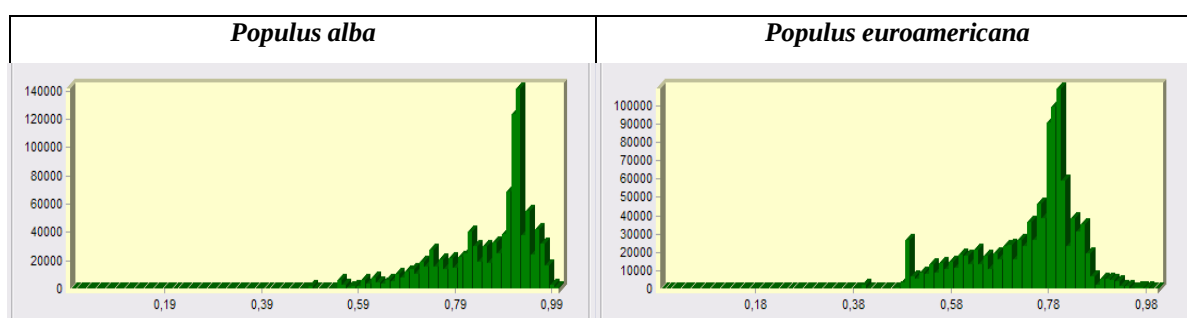
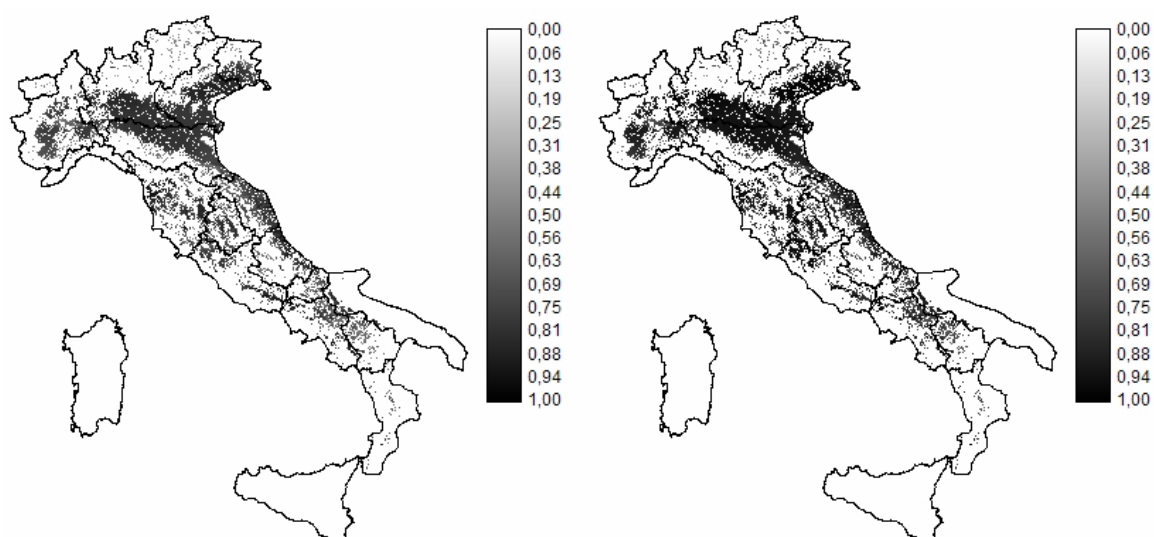
I singoli fattori sono stati trattati in modo diverso: i fattori *fuzzy* sono stati aggregati tramite un operatore logico OR pesato che, da un punto di vista algebrico, equivale a una media pesata. La somma dei fattori è sempre pari a 1. I fattori booleani (o maschere), invece, sono stati aggregati tramite un operatore logico AND che, da un punto di vista algebrico, equivale a un prodotto.

La differenza nella scelta degli operatori di aggregazione è stata importante ai fini della definizione del livello di rischio di analisi. L'operatore OR è più rischioso in quanto un punteggio d'idoneità pari a 0 in uno dei fattori non determina necessariamente un punteggio finale d'idoneità basso in quanto può essere mediato da fattori con punteggi più alti. L'operatore AND è invece più conservativo in quanto un punteggio d'idoneità pari a 0 in uno dei fattori determina necessariamente un valore d'idoneità finale pari a 0.

Tabella 7 - Pesi assegnati a ciascuna specie target e per ciascun fattore *fuzzy* considerato, impiegati per l'aggregazione dei valori *fuzzy* di idoneità.

Fattore	<i>Populus alba</i>	<i>Populus euroamericana</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Salix alba</i>
Temperatura media annua	0.3058	0.2418	0.1546	0.0567
Precipitazione media annua	0.0487	0.0496	0.0247	0.1029
Temperatura minima (minima assoluta)	0.3004	0.4006	0.0208	0.0223
Distanza dalla costa	0.0563	0.0411	0.1562	0.1127
Pendenza	0.0862	0.0897	0.2412	0.2535
Profondità del suolo	0.1172	0.1141	0.1210	0.3209
Tessitura	0.0854	0.0631	0.2815	0.1310

Il prodotto finale della combinazione lineare pesata è un'immagine digitale che restituisce il complessivo valore *fuzzy* di idoneità di ciascun pixel, espresso nell'intervallo [0, 1], per ciascuna specie considerata (Figura 9).



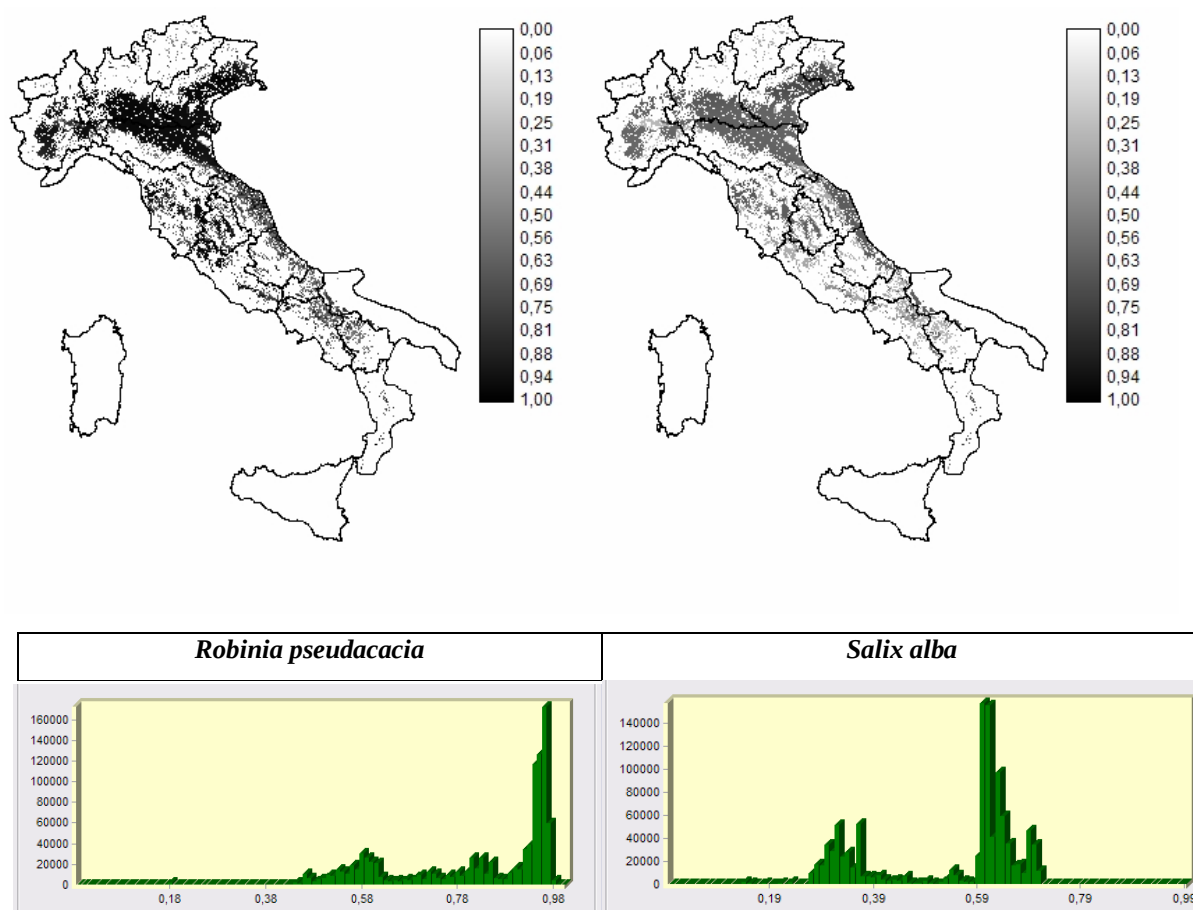


Figura 9 – Rappresentazione cartografica e relativa distribuzione di frequenza del grado di attitudine *fuzzy* del territorio per la realizzazione di piantagioni SRF in riferimento alle quattro specie target.

4.5. Validazione

Per riuscire a stimare il grado di affidabilità del modello è stata effettuata una verifica, indipendente da esso, attraverso una serie di osservazioni (campionamento colturale) nelle aziende per verificare se la valutazione stimata “da modello” corrisponde realmente a quella riscontrata nella realtà. I dati raccolti sono stati elaborati geostatisticamente, ottenendo vari indici di stima complessiva dell’affidabilità della valutazione e conoscendo la distribuzione nel territorio delle aree dove la valutazione è più incerta e avrebbe bisogno di maggiori indagini e verifiche.

Una campagna di rilievi su impianti SRF (Figura 10) dislocati nell’Italia centro-settentrionale ha permesso di sogliare i valori *fuzzy* di idoneità così ottenuti in tre classi, di cui la prima (idoneità, con riferimento ad una produttività media annua di biomassa superiore a 8 t ha⁻¹) è concettualmente corrispondente alle classi S1 e S2 dello schema FAO (1976) di *land suitability classification*, la seconda (idoneità marginale, con riferimento ad una produttività media annua di biomassa compresa tra 4 e 8 t ha⁻¹) alla classe S3 e la terza (non idoneità, con riferimento ad una produttività media annua di biomassa inferiore a 4 t ha⁻¹) alle classi N1 e N2. La sogliatura è avvenuta mediante confronto dei risultati produttivi effettivamente riscontrati rispetto al valore

predetto dal modello: (i) idoneità [valore *fuzzy* = 0,9-1]; (ii) idoneità marginale [valore *fuzzy* = 0,7-0,89]; (iii) non idoneità [valore *fuzzy* = 0-0,69].

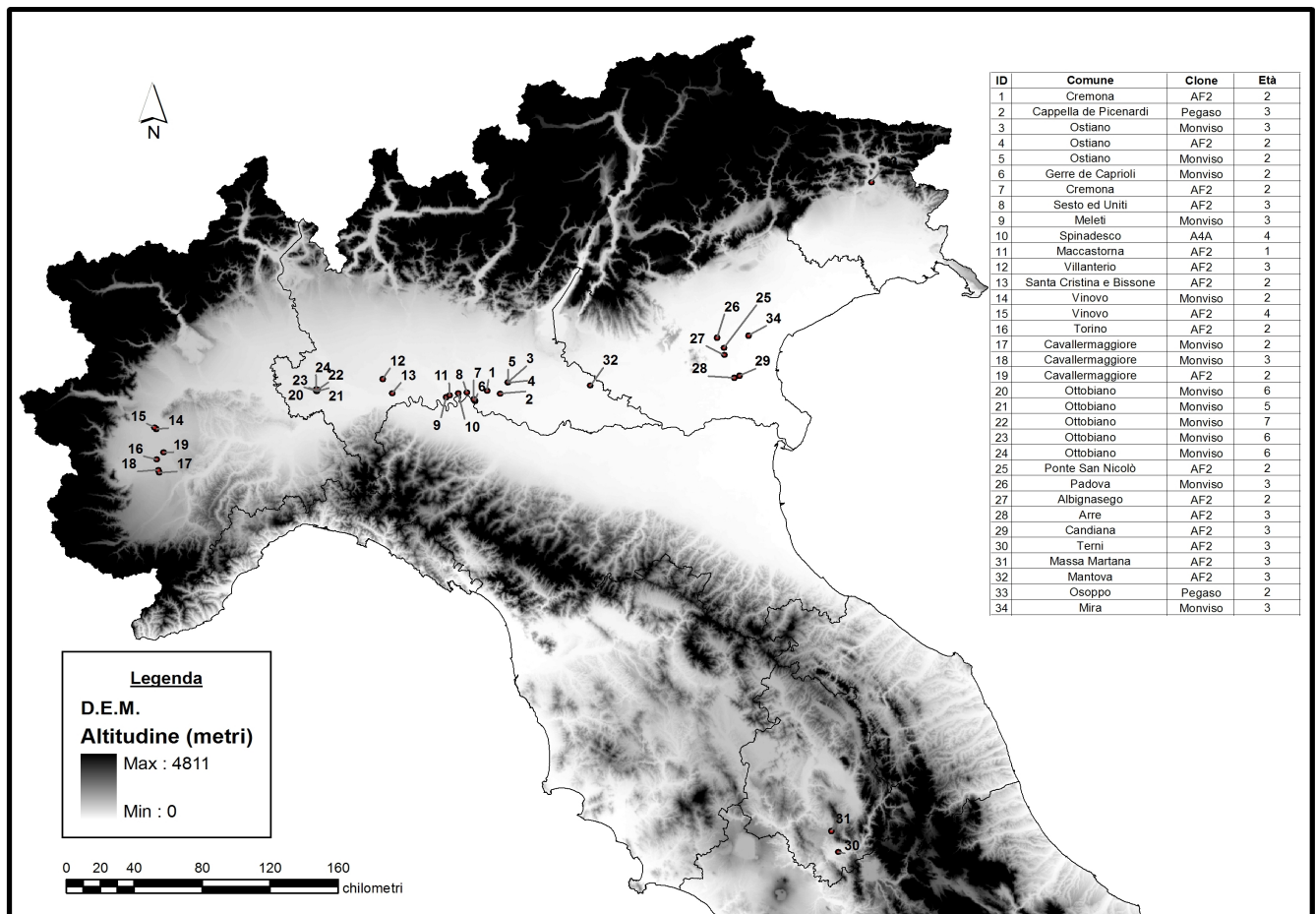


Figura 10 - Localizzazione geografica degli impianti SRF rilevati.

4.6. Mappatura

L'ultima fase di elaborazione ha riguardato la derivazione di un prodotto cartografico vettoriale compatibile con la copertura CLC2000. Sono state innanzitutto escluse le aree per le quali non è ipotizzabile un cambiamento dell'attuale destinazione di uso in quanto destinate a coltivazioni economicamente più redditizie (ortive, fruttiferi, vite, olivo ecc.) rispetto alle colture SRF. Dal database CLC2000 sono stati quindi considerati i poligoni delle seguenti classi di uso/copertura del suolo (Figura 11): seminativi in aree non irrigue (codice 211); prati stabili (codice 231); colture temporanee associate a colture permanenti (codice 241); sistemi colturali e particellari complessi (codice 242); aree agroforestali (codice 244). Dato il carattere relativamente intensivo delle colture SRF, sono stati esclusi anche i poligoni ricadenti in aree protette (rete EUAP) e in aree della rete Natura 2000.

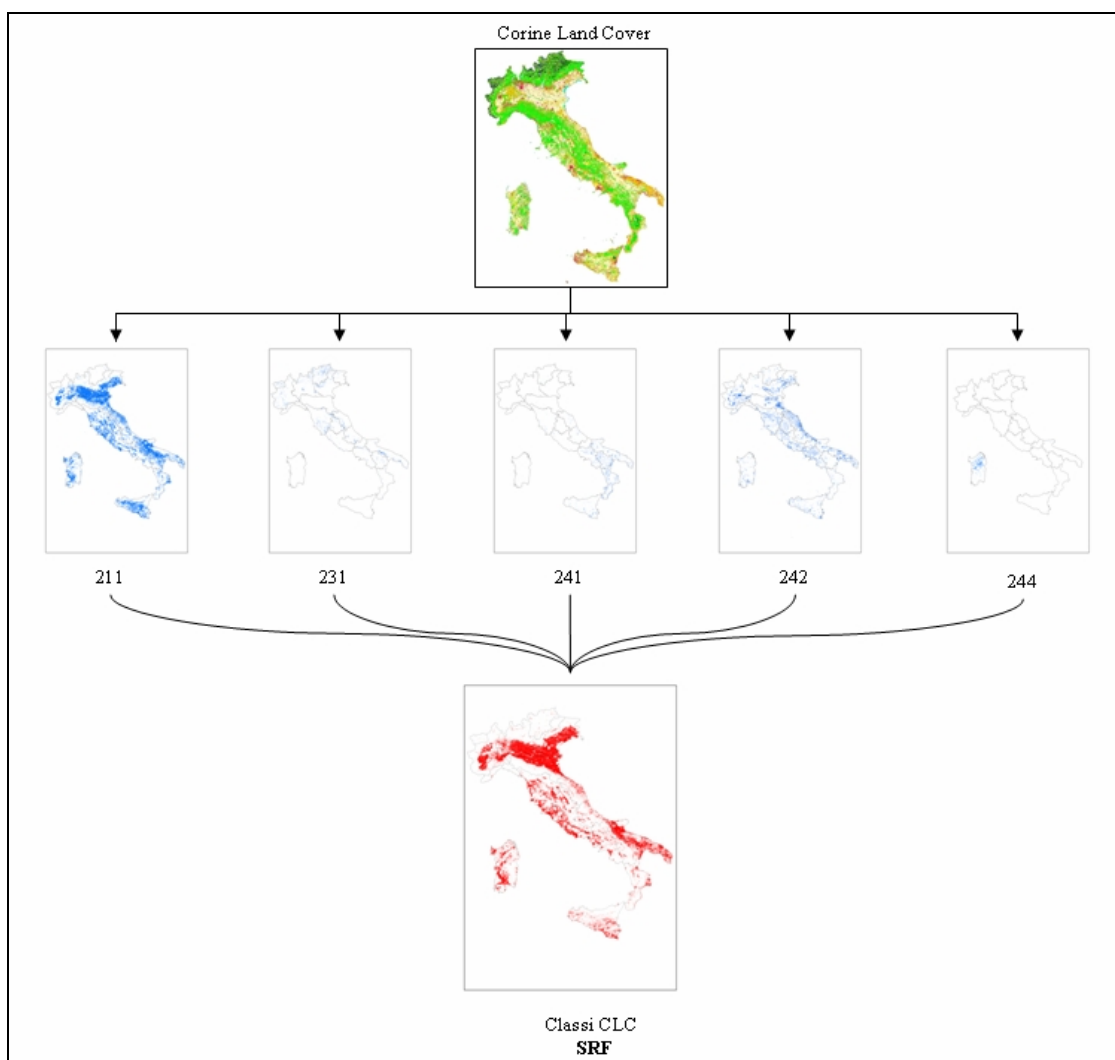


Figura 11 - Processo di derivazione cartografica da CLC2000 degli ambiti territoriali di reperimento per colture SRF.

Per considerare il fattore di stress idrico estivo è stato utilizzato l'Indice Ombrotermico Estivo (IOV). Si tratta di un indice bioclimatico proposto da Rivas Martinez dato dal rapporto tra la somma delle precipitazioni estive e la somma delle temperature medie mensili estive (trimestre di riferimento: giugno, luglio e agosto). Sulla base dei valori assunti da detto indice si individua la regione climatica di appartenenza: in particolare per la regione mediterranea $IOV < 1,5$, mentre per la regione temperata $IOV > 2$. Si è proceduto quindi alla selezione delle unità territoriali afferenti alla regione temperata secondo schema riportato in figura 12.

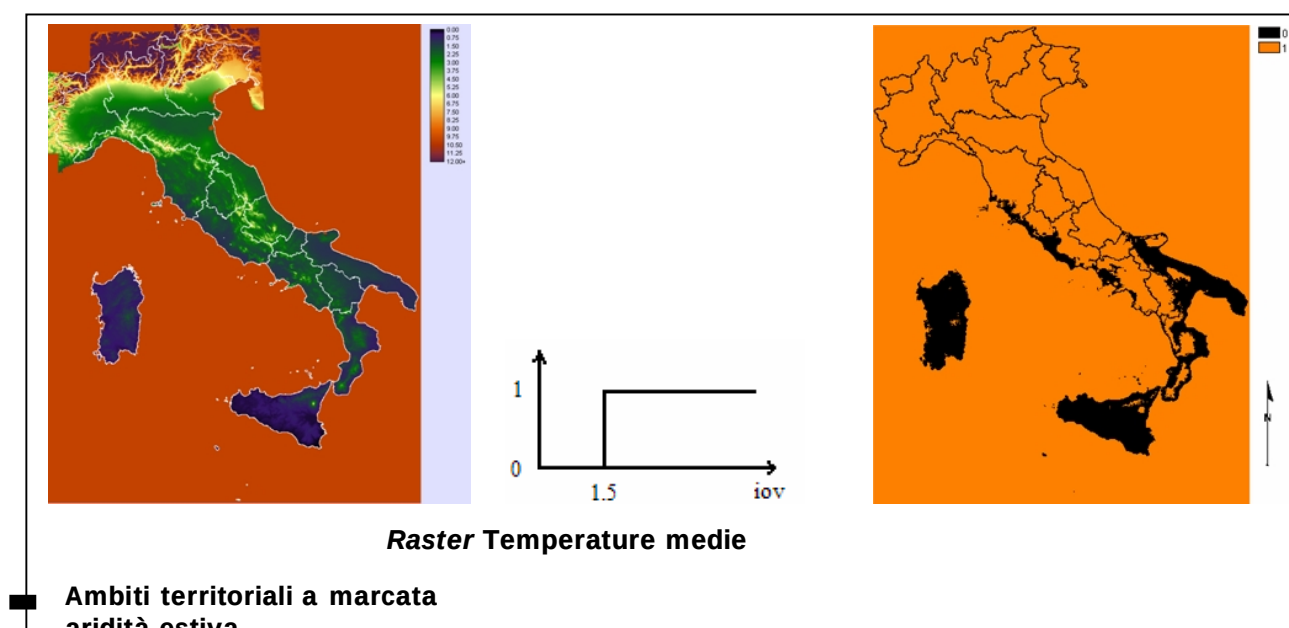


Figura 12 - Percorso logico per l'individuazione degli ambiti territoriali non idonei dal punto di vista climatico alle colture SRF.

Per ciascuno dei rimanenti poligoni sono state estratte una serie di statistiche derivate dalla soglia di idoneità multicriteriale (*defuzzy*) e sono stati eliminati i poligoni con pixel tutti a idoneità nulla. Si è quindi proceduto ad attribuire ai restanti poligoni una classe di idoneità sulla base dei seguenti criteri: i poligoni puri, contenenti pixel tutti della stessa classe di idoneità, sono stati assegnati alla classe stessa; per i poligoni misti (contenenti pixel di classi di idoneità diverse), se la distribuzione di pixel con diversa idoneità era tale da giustificare una partizione interna del poligono si è proceduto a uno *split*, associando poi a ciascuna subarea l'appropriata classe; se la distribuzione dei pixel con diversa idoneità non aveva andamento tale da giustificare una partizione del poligono si è proceduto nell'assegnazione al poligono stesso della classe prevalente. Dovendo valutare l'idoneità complessiva all'interno di ciascun poligono Corine Land Cover rispetto a differenti livelli di idoneità che possono presentarsi al suo interno, è stata definita una soglia pari al 60% (maggioranza relativa) per attribuire i poligoni ai tre livelli di idoneità (idoneo, marginalmente idoneo, non idoneo) a loro volta definiti sulla base della superficie relativa dei diversi livelli di idoneità presenti nel poligono (Figura 13).

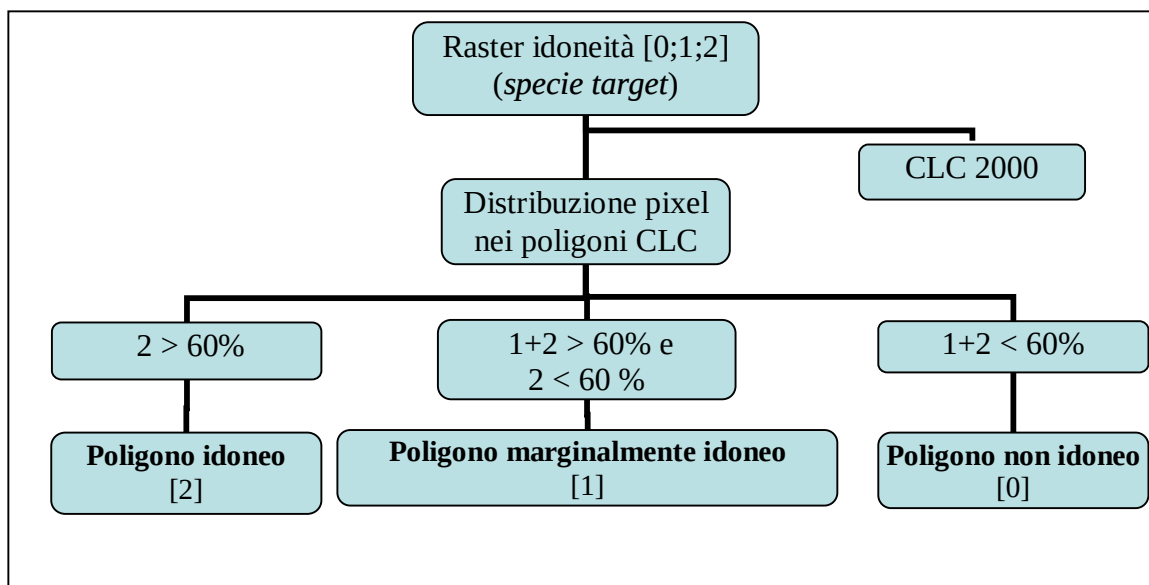


Figura 13 – Procedura seguita per il clip tra *raster* di idoneità e poligoni CLC 2000.

Per ciascuna specie target è stata ripetuta la procedura sopra indicata: la mappa di idoneità complessiva risulta dalla sovrapposizione (*overlay*) di tutte le mappe e dalla successiva classificazione (*reclass*) ai valori 0, 1 e 2.

5. Criticità e limitazioni

5.1. Criticità nell'applicazione dei metodi MCDM

È stato posto in evidenza che ciascuno dei metodi MCDM si basa sulla conoscenza preventiva della *matrice di decisione* (dunque delle valutazioni di tutte le alternative rispetto a ciascun criterio di giudizio) nonché dei *pesi dei criteri*. Note tali quantità, infatti, ciascuno dei metodi descritti in precedenza consente, in generale, di giungere a definire una soluzione ottima (o un gruppo di soluzioni compromesso) in modo praticamente “automatico”. Molte delle difficoltà oggettive nell'applicazione di tali metodi risiede, però, proprio nella compilazione della matrice di decisione e nella definizione dei pesi dei criteri. Per quanto riguarda il primo aspetto, occorre tener conto del fatto che, mentre la valutazione delle alternative rispetto ai criteri cosiddetti *quantitativi* può essere espressa in maniera diretta (da soggetti competenti del settore investito), per quella nei riguardi dei criteri *qualitativi*, data la natura stessa di detti criteri, non sono consentiti che giudizi di tipo linguistico. Si pone, pertanto, ai fini della completa e numerica compilazione della matrice di decisione, il problema della conversione dei giudizi qualitativi in valutazioni di tipo quantitativo.

Esistono diverse procedure in letteratura che consentono tale tipo di conversione. In questa sede si ritiene tra le più efficaci e di pratico utilizzo quella basata sul metodo dell'autovalore di Saaty, descritto al paragrafo 4.1.6. Fissato il criterio qualitativo rispetto al quale occorre fornire le valutazioni numeriche, essa richiede al DM di esprimere, servendosi della scala semantica di Saaty, giudizi di preferenza delle alternative, prese due alla volta, in termini di grado di rispondenza al criterio in esame. Si compila, in tal modo, la matrice dei confronti binari.

Un'apposita misura di consistenza (vd. § 4.1.7), consente, poi, di giudicare se i giudizi binari del DM sono stati da lui espressi in maniera sufficientemente coerente. In caso di esito negativo di tale controllo, l'autovettore calcolato è da intendersi non attendibile e la procedura va ripetuta (reinterpellando il decisore) finché non si raggiunge un grado di consistenza ritenuto adeguato (in accordo ai criteri descritti nel paragrafo citato).

5.2. Criticità nell'uso di GIS nella LSA

Il pericolo insito dell'impiego del GIS nella LSA è relativo alla coerenza tra la scala nominale dei tematismi utilizzati, il loro contenuto informativo e la scala di riferimento della valutazione. Se ad esempio una certa valutazione richiede un'uscita cartografica di un certo dettaglio, è necessario che anche le qualità funzionali degli strati informativi siano stabilite a quel dettaglio. Utilizzando un DEM ad alta risoluzione e, invece, un'informazione pedologica o climatica al riconoscimento, si otterrà una valutazione solo apparentemente dettagliata.

Vi è poi il problema della propagazione dell'errore. Ogni tematismo porta con sé una serie di errori che si possono ricondurre alla misurazione, all'elaborazione, alla spazializzazione, ecc., che viene moltiplicata per gli errori di ogni singolo tematismo. Per cui, più strati informativi vengono utilizzati e maggiore è il loro grado di approssimazione, più grande è l'errore nella valutazione. Poiché la propagazione dell'errore è in genere esponenziale, si può facilmente intuire quanto sia importante una oculata scelta dei tematismi da utilizzare.

5.3. Criticità nella scelta dei fattori

Un passaggio cruciale nell'analisi dell'attitudine territoriale, consiste nella scelta dei fattori ambientali da considerare al fine di evidenziare la distribuzione spaziale delle aree in cui la loro combinazione è tale da soddisfare i requisiti richiesti per l'uso considerato. Le difficoltà in questa fase possono derivare prevalentemente dalla relativa carenza di informazioni di tipo quantitativo sufficientemente dettagliate circa l'influenza che i diversi fattori esercitano nei confronti dell'adattamento e della produttività delle specie arboree considerate (CORONA *et al.*, 1998).

5.4. Criticità nella diffusione delle colture SRF

Le motivazioni che impediscono uno sviluppo su larga scala delle colture SRF possono essere ricondotte a:

- assenza di convenienza economica per gli operatori della filiera a partire dall'imprenditore agricolo;
- costi di produzione ancora troppo elevati;
- scarso rapporto con le industrie di prima trasformazione;
- complessità nell'applicazione della normativa e nel recepimento integrato delle risorse finanziarie;
- assenza di significativi contributi integrativi al reddito per gli agricoltori (erogazione da Piani di Sviluppo Rurale di 45 €/ha);
- utilizzo limitato dei terreni a *set aside* disponibili;
- scarsa organizzazione della filiera foresta legno;
- scarsa informazione e comunicazione.

5.5. Scenari produttivi delle colture SRF

5.5.1. Attuali produzioni a scala territoriale

Le superfici degli impianti SRF realizzati nel nostro Paese coprono oltre 5000 ha. La Lombardia è la regione con la maggiore superficie investita (3200 ettari di coltivazione di pioppi per biomassa); seguono il Veneto con circa 1200 ha, il Friuli con 250, il Piemonte con 140, l'Umbria con 90, le Marche con 60, l'Emilia Romagna con 40, il Lazio con 15, la Toscana con 10 e l'Abruzzo con 5 (BOCCASILE, 2007).

L'affinamento delle tecniche colturali e soprattutto l'opera di miglioramento genetico nell'ultimo quinquennio ha consentito di elevare le rese. Varie esperienze in ambiente padano (MARESCHI *et al.*, 2005; FACCIOTTO *et al.*, 2006) dimostrano come gli ibridi selezionati per la pioppicoltura tradizionale non massimizzano la produzione, che in stazioni con fertilità da media a ottima si mantiene intorno a 8-12 t s.s. ha⁻¹anno⁻¹ per turni biennali, mentre il materiale di pioppo appositamente selezionato per un rapido accrescimento giovanile riesce a raggiungere, nelle stesse condizioni pedoclimatiche, produzioni di 12-20 t s.s. ha⁻¹anno⁻¹ in asciutta, con punte di 22 t s.s. ha⁻¹anno⁻¹ (BOCCASILE, 2007). In zone irrigue le medie possono raggiungere 20-25 t s.s. ha⁻¹anno⁻¹, con punte di 30 t s.s. ha⁻¹anno⁻¹ (MARESCHI *et al.*, 2005). Prove condotte in impianti SRF nella provincia di Roma dimostrano la possibilità di coltivare le nuove selezioni di cloni di pioppo ottenendo produzioni di biomassa soddisfacenti senza irrigazione anche in Italia centrale, allungando il turno a tre anni (FACCIOTTO *et al.*, 2006).

Dal primo al secondo turno si ha in genere un aumento di produzione; per il terzo turno si può ipotizzare un mantenimento della produzione su livelli pari a quelli del secondo; successivamente la produttività tende a diminuire in conseguenza di una progressiva mortalità delle ceppaie (ALTENER BIOGUIDE, 1999; FACCIOTTO e MUGHINI, 2003).

Esperienze condotte in impianti di pioppo nella pianura litoranea toscana su terreni di media granulometria, con falda superficiale e fertilità tipica della bassa valle dell'Arno mostrano rese più elevate se si distanziano nel tempo i tagli (BONARI E PICCIONI, 2006): negli ambienti considerati, la frequenza annuale di taglio ha fatto registrare rese di poco meno di 10 t s.s. ha⁻¹anno⁻¹ rispetto a turni biennali (circa 18 t s.s. ha⁻¹anno⁻¹) e triennali (circa 20 t s.s. ha⁻¹anno⁻¹). Anche altri Autori confermano le complessive maggiori prestazioni produttive dei turni più lunghi (HERVE e CEULEMANS, 1996; LIESEBACH *et al.*, 1999; PROE *et al.*, 1999). Peraltro, a parità di altri fattori, l'allungamento del turno può avere riflessi negativi sulle possibilità di completa meccanizzazione della fase di raccolta del materiale prodotto.

5.5.2. Produttività potenziale delle colture SRF

Il prodotto ottenuto è il database geografico degli ambiti territoriali nazionali idonei (concettualmente corrispondenti alle classi S1 e S2 dello schema FAO) e marginalmente idonei (concettualmente corrispondenti alla classe S3) alla coltura SRF (Figure 14-17 e Allegato I).

Figura 14 - Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per colture SRF con *Populus x euroamericana*.

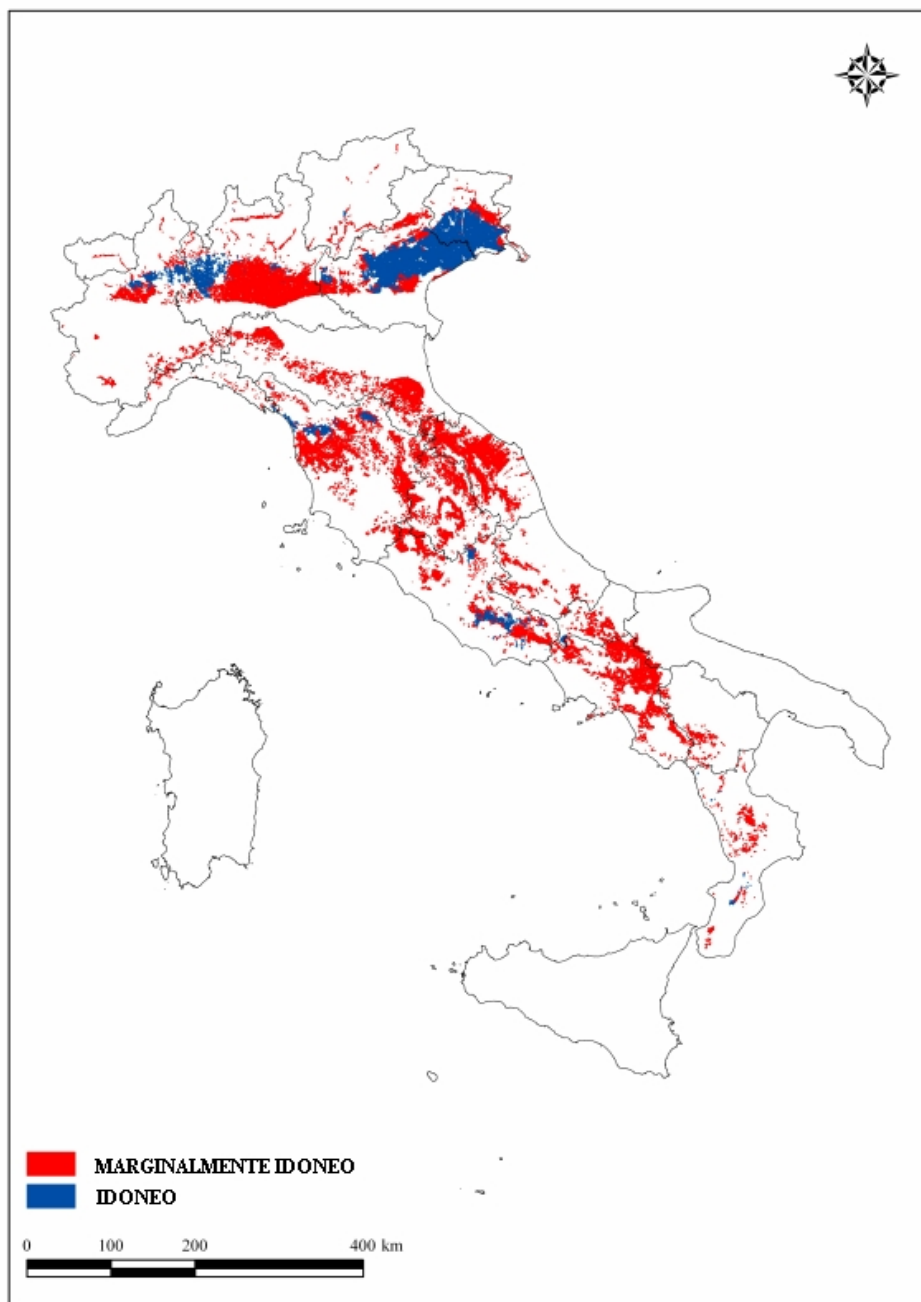


Figura 15 - Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per colture SRF con *Populus alba*.

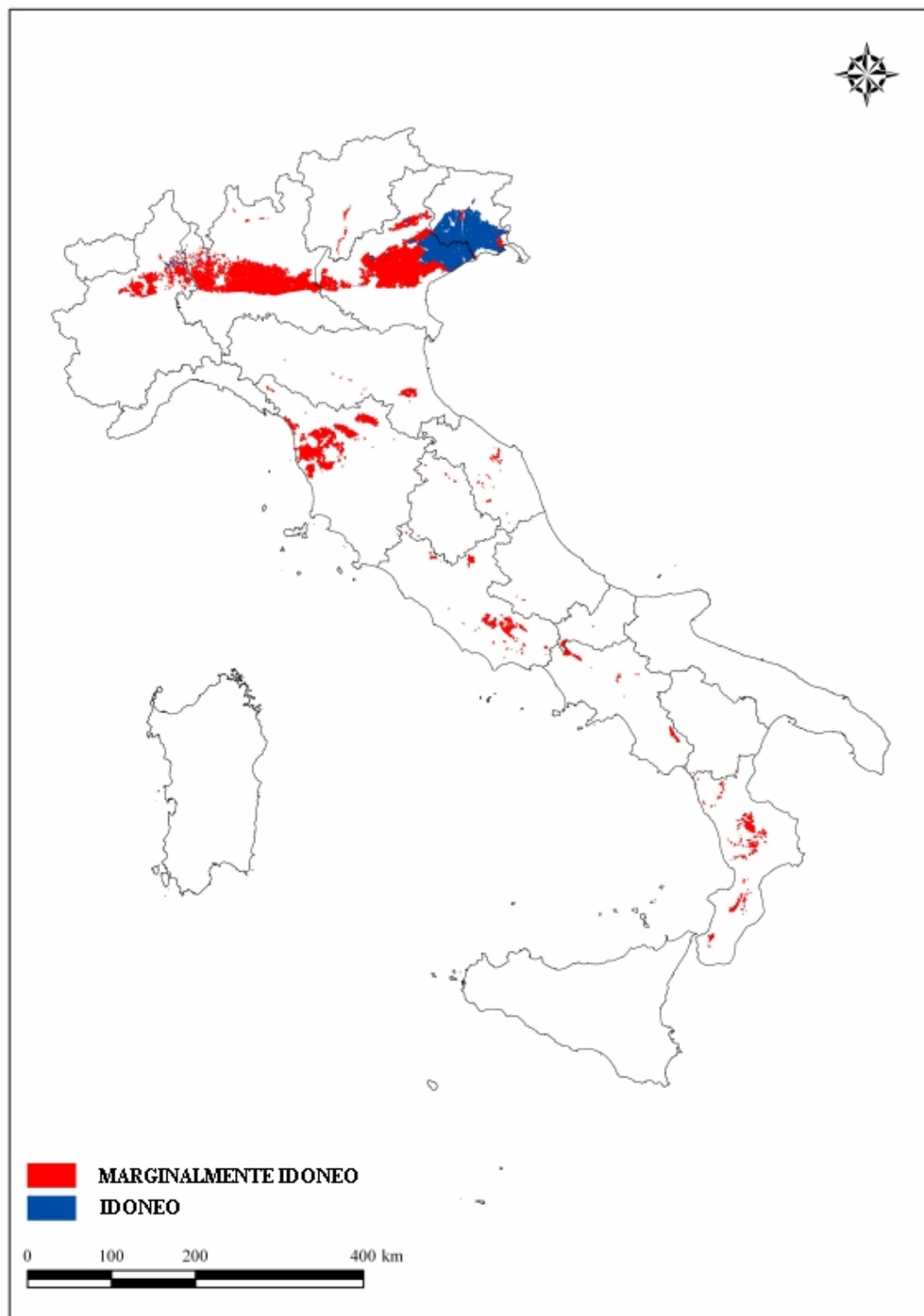


Figura 16 - Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per colture SRF con *Salix alba*.

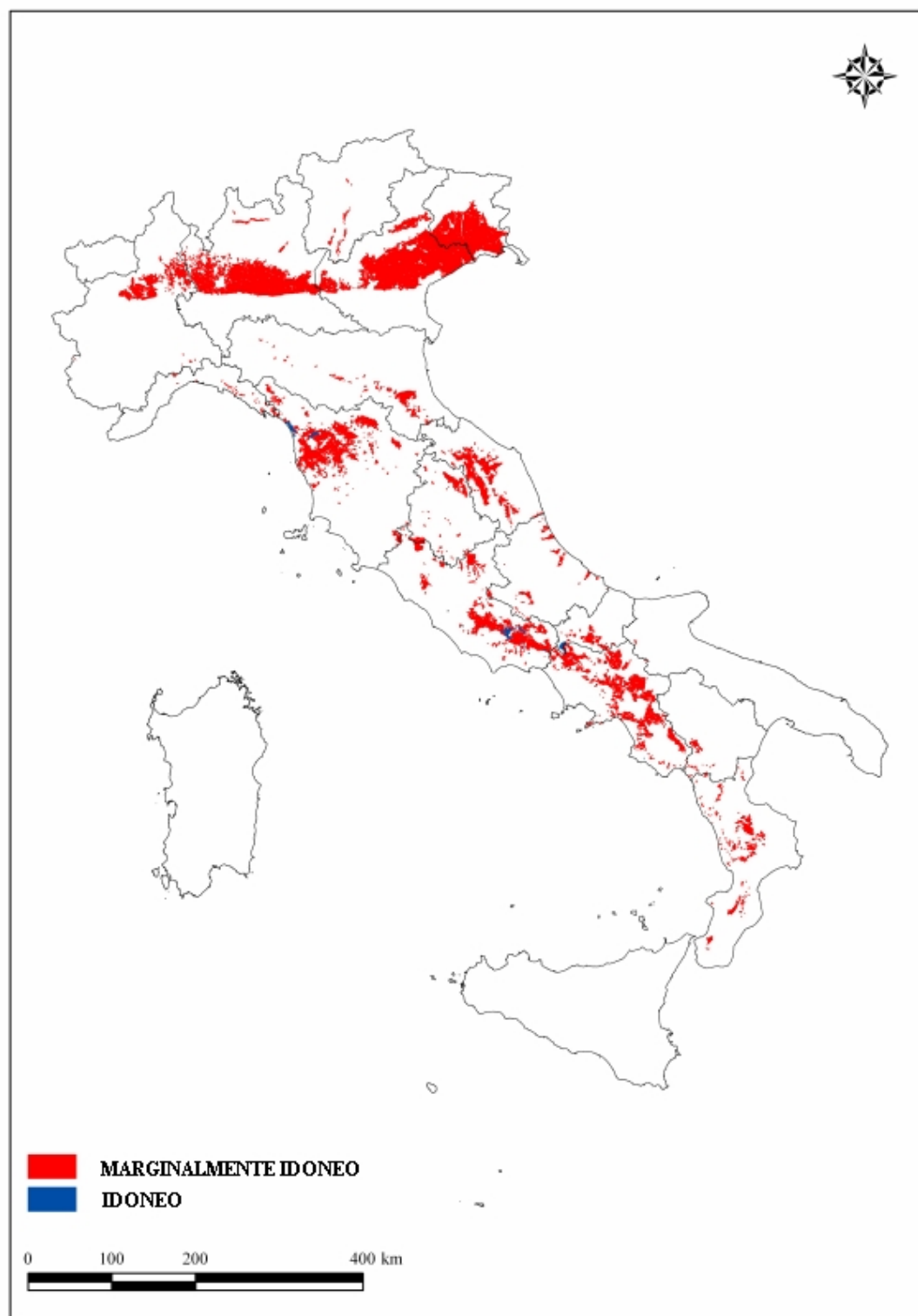
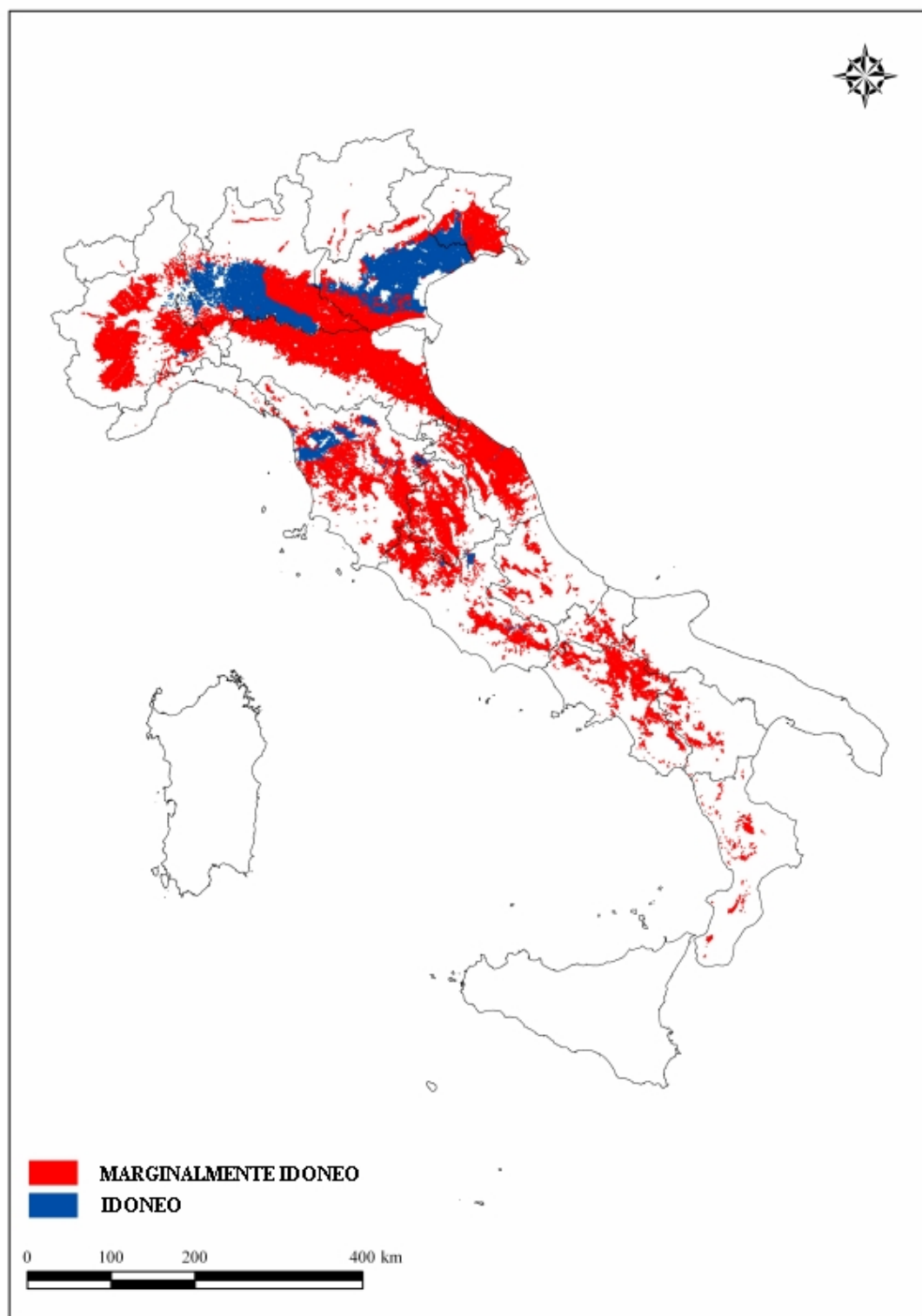


Figura 17 - Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per colture SRF con *Robinia pseudoacacia*.



Nel complesso, in Italia gli ambiti territoriali idonei, da un punto di vista fisico-ambientale, alla produzione di biomasse a fini energetici con impianti SRF risultano pari a 1.301.051 ha e quelli marginalmente idonei risultano pari a 5.380.431 ha (Tabella 8).

Tabella 8- Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per colture SRF in Italia.

<i>Ambiti territoriali</i>	<i>Specie arborea</i>				Totale*
	<i>Populus alba</i>	<i>Populus x euroamericana</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Salix alba</i>	
Idonei (ha)	19.588	711.472	1.014.516	298.342	1.098.551
Marginalmente idonei (ha)	1.556.178	1.951.767	3.243.998	784.552	4.277.164

* I valori di questa colonna non sono uguali alle somme dei valori delle colonne precedenti, essendo le aree di idoneità riferite alle diverse specie in parte sovrapposte.

In riferimento al database elaborato è possibile ipotizzare lo scenario produttivo massimo teorico riportato in Tabella 9. Le aree maggiormente vocate si concentrano nell'Italia settentrionale, in particolare in pianura padana. La Lombardia e il Veneto sono le regioni con il più alto grado di diffusione potenziale.

Tabella 9 - Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei in ciascuna Regione.

<i>Regione</i>	<i>Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)</i>	<i>Ambiti territoriali idonei (ha)</i>
Abruzzo	96743	712
Basilicata	61045	28
Calabria	39567	4132
Campania	288543	1212
Emilia-Romagna	845623	1762
Friuli-Venezia Giulia	233451	501
Lazio	215432	58865
Liguria	10165	1034
Lombardia	521042	358567
Marche	320646	4198
Molise	47893	3325
Piemonte	401245	42312

Puglia	17654	0
Sardegna	0	0
Sicilia	0	0
Toscana	405245	127447
Trentino-Alto Adige	12510	963
Umbria	211541	7103
Valle d'Aosta	19854	0
Veneto	528965	486390
TOTALE	4.277.164	1.098.551

5.6. Potenzialità di diffusione delle colture SRF

Vari progetti e documenti affrontano il tema della potenzialità delle colture SRF in Italia: tra questi, a esempio, si segnalano il progetto COFIN-MURST 1998-2000 riguardante la selezione di specie e ibridi di pioppo per impianti SRF (SABATTI *et al.*, 2000), l'attività svolta nell'ambito del Progetto Bioenergy Farm 2001-2004 volta alla valutazione delle potenzialità produttive in Toscana, le attività svolte nell'ambito del Programma Nazionale Biocombustibili (PROBIO). Non è comunque ancora disponibile un quadro omogeneo a livello nazionale sulle potenzialità di diffusione operativa delle colture SRF e la presente indagine ha mirato a colmare in parte questa lacuna con l'elaborazione di un modello georeferenziato di delineazione degli ambiti territoriali maggiormente vocati.

6. Stima della produzione potenziale di biomassa arborea epigea con *Populus x canadensis* (clone AF2).

La stima della biomassa arborea è di particolare importanza per la conoscenza relativa ai flussi energetici e di nutrienti che si sviluppano in un ecosistema forestale e per approntare una corretta gestione sostenibile delle risorse ad esso connesse. Le metodologie applicabili differiscono a seconda degli obiettivi, degli errori tollerabili, dei dati disponibili, della scala di riferimento, ecc.

I metodi distruttivi prevedono l'abbattimento di alberi per il calcolo della biomassa presente in un dato momento su una data superficie; questi metodi sono molto accurati, ma implicano un notevole dispendio di tempo e costi elevati, e sono applicabili limitatamente a piccole aree o alberi campione. Tra i metodi diretti particolarmente impiegato è il metodo degli *alberi modello*: per la sua applicazione è preferibile stratificare il popolamento da analizzare in base alle classi dimensionali e esaminare più alberi modello per ogni strato, secondo la variabilità riscontrata. Su ciascun albero si rileva il diametro alla base e l'altezza totale, si calcola il volume mediante cubatura per sezioni, si determina il peso fresco e il peso secco (anidro) attraverso essiccazione in stufa, si calcola la densità basale e si ottiene la biomassa arborea epigea moltiplicando il peso fresco per il rapporto peso secco/peso fresco.

Nel presente lavoro, la metodologia impiegata per la stima della biomassa epigea proveniente dall'utilizzazione di cedui a turno breve a fini energetici è stata sviluppata seguendo quattro diverse fasi:

- studio del modello elaborato riguardante l'individuazione degli ambiti idonei alle colture SRF e definizione delle aree a maggiore vocazione da selezionare come unità di investigazione;
- stima dei principali parametri dendrometrici;
- applicazione di relazioni allometriche per il calcolo del volume della biomassa investigata;
- stima della quantità di biomassa potenzialmente ottenibile con la realizzazione di piantagioni delle specie considerate sulle superfici risultate idonee nel nostro Paese.

6.1. Stima dei parametri dendrometrici

Dopo aver individuato le unità territoriali idonee alle colture SFR (vd. § 4.3.2.) è stata condotta una campagna di rilievi (inverno 2007) volti alla raccolta delle principali parametri dendrometrici. In particolare i dati raccolti in campo, attraverso l'ausilio di apposite schede di rilievo (vd. Allegato II), hanno riguardato:

- diametro del fusto alla base e ad 1,30 m da terra;
- altezza totale del fusto;
- numero medio di polloni per talea/ceppaia;
- percentuale di sopravvivenza delle talee/ceppaie;
- principali caratteristiche pedologiche della stazione;
- eventuali cure colturali effettuate.

L'indagine è stata condotta su impianti SRF di *P. x canadensis* (clone AF2) in Pianura Padana, con età da 1 a 3 anni (Figura 18).

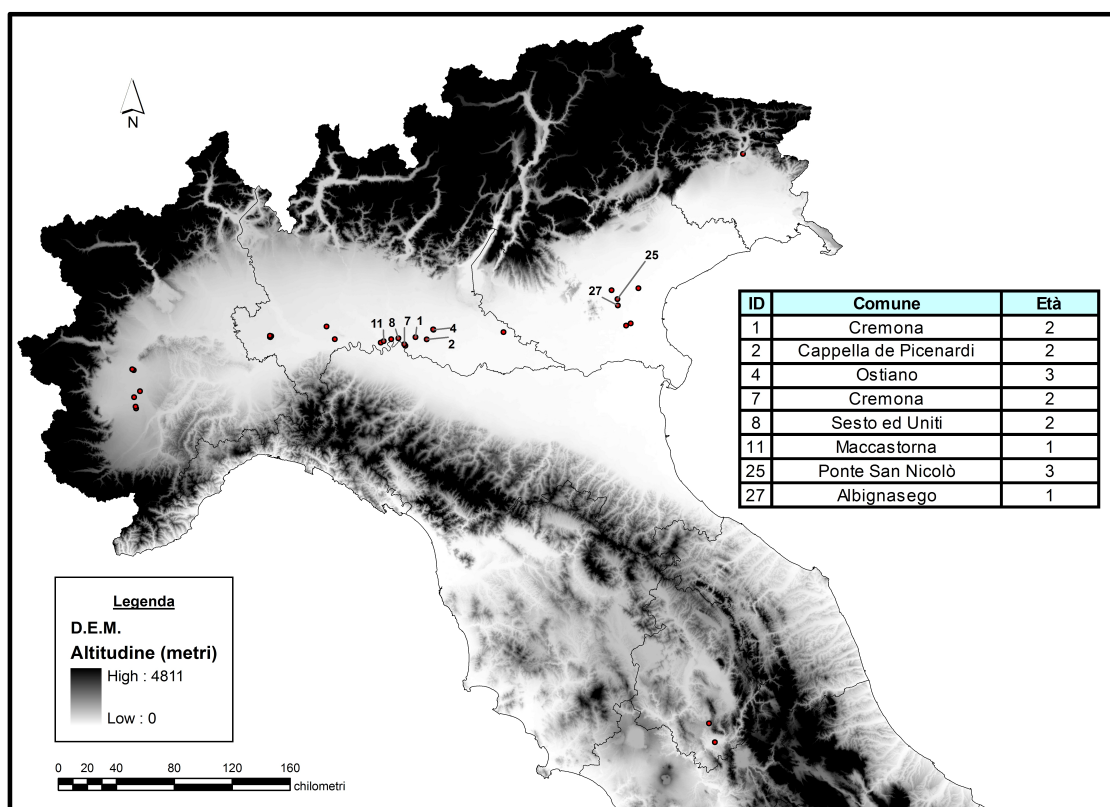


Figura 18 - Localizzazione geografica degli impianti SRF (*P. x canadensis* clone AF2) selezionati per la raccolta dei dati dendrometrici.

In relazione all'elevata densità di impianto e al tipo di modello colturale, caratterizzato da sesti di impianto piuttosto regolari, il campione di alberi rappresentativo di ciascun impianto è stato scelto adottando uno schema di campionamento di tipo *sistematico*. Le unità campionarie sono state selezionate secondo uno schema preordinato: fissata in modo casuale la prima unità campionaria la dislocazione di tutte le altre unità incluse nel campione è stata determinata automaticamente. Lo schema delle singole unità campionarie (Figura 19) è stato individuato in campo selezionando le file centrali di ogni parcella (*plot*) e lasciando sempre quelle laterali (*buffer*) per evitare l'effetto bordo.

Per ogni singola fila sono state ripetute le misurazioni dei parametri precedentemente descritti in modo alternato per gruppi di cinque talee/ceppaie consecutive (direzione di avanzamento nord).

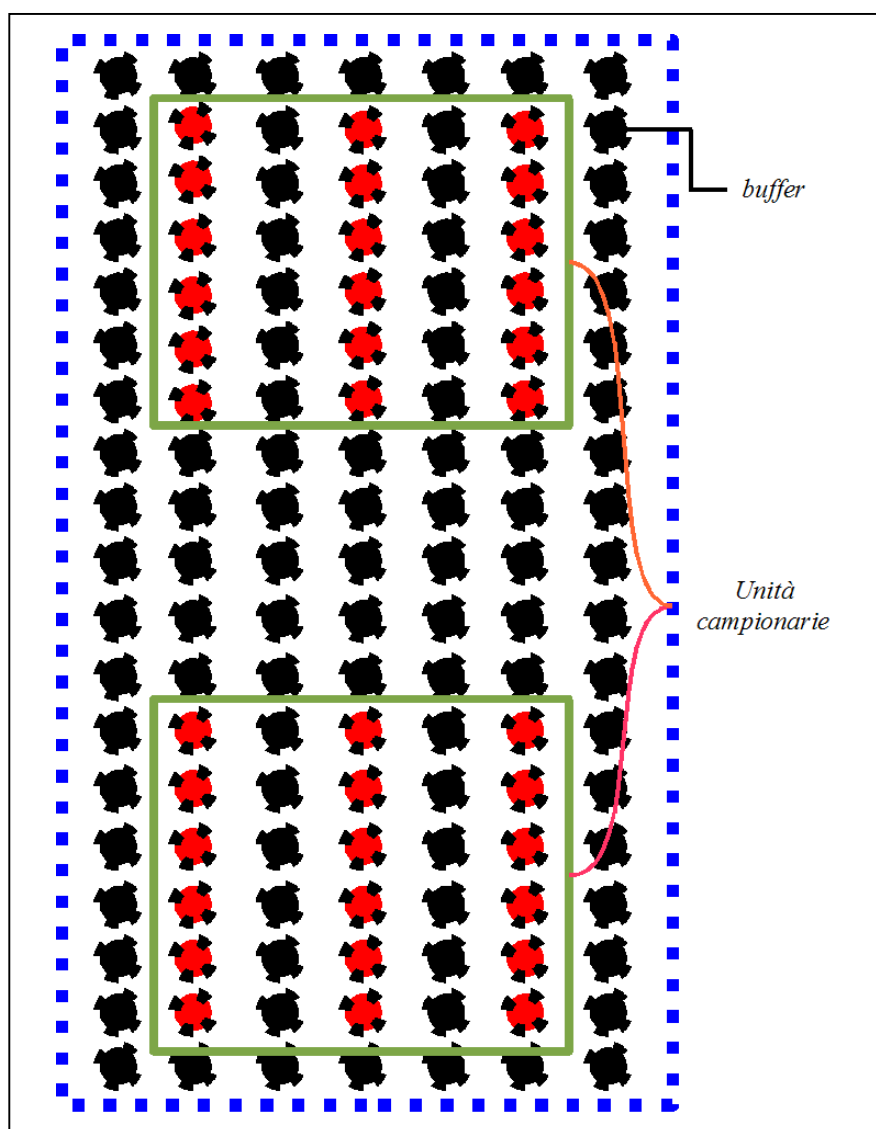


Figura 19 – Localizzazione delle unità campionarie all'interno del plot.

5.2. Relazioni allo metriche

Il ricorso a equazioni di predizione delle varie componenti della biomassa (equazioni *allometriche*), in grado di mettere in relazione la biomassa con attributi dendrometrici facilmente misurabili, quali diametro alla base e altezza totale del fusto, rappresenta il metodo più usato per studi a livello operativo per la stima della biomassa di popolamenti forestali (CALAMINI e GREGORI, 2001; ALBERTI *et al.*, 2005). Tra i modelli di riferimento, il più usato è quello potenziale (BROWN, 2002):

$$B = aD^b$$

dove B è il peso fresco della biomassa arborea e D è il diametro alla base. I parametri a e b sono coefficienti variabili in relazione alla specie, età del popolamento, qualità della stazione, caratteristiche climatiche, ecc. (ZIANIS e MENCUCCINI, 2004). Molteplici sono le esperienze condotte al fine di sviluppare equazioni allometriche di validità generale o specifiche per zone ecologiche o per specie. In genere è preferibile adottare equazioni differenziate per specie dal momento che alberi di specie diverse possono differire significativamente per forma e densità del legno (KETTERINGS *et al.*, 2001).

Alla luce di questo è stato scelto per la stima della biomassa epigea di colture SRF l'equazione allometrica messa a punto da FACCIOOTTO *et al.* (2005) e successivamente ripresa da MINOTTA e MUZZI (2007) in un'indagine su cedui di pioppo nella Pianura Ferrarese, specifica per il clone AF2 a fila singola.

$$y = ax^b \text{ con } a = 37,143 \text{ e } b = 2,7650 \text{ (} r^2=0,9934 \text{)}$$

dove x è il diametro alla base (espresso in cm), y il peso fresco dei polloni (espresso in g) calcolati al termine del secondo anno. Successivamente è stato riportato il valore ottenuto in termini di sostanza secca applicando una seconda equazione allometrica $y=ax$ con $a=0,359$ e $r^2=0,9726$ che esprime il rapporto peso fresco/peso secco (y e x espressi in g). In Allegato III vengono illustrati i parametri dendrometrici rilevati negli impianti SRF campionati e la loro successiva elaborazione, mentre nella tabella 10 si riporta un riepilogo di questi dati.

Tabella 10 – Confronto di produttività tra i dati raccolti in campo e il modello di valutazione elaborato (*P. x canadensis* clone AF2).

ID	Stadio vegetativo	Densità media di impianto (talee*ha-1)	D med. (cm)	H med. (m)	G (m) ²	Attecchimento (%)	Produttività (t*ha-1*anno-1)		Livello di idoneità da modello SRF
							FRESCO	SECCO	
1	R2F2	7110	5.9	7.9	19.5	91	18.0	6.4	marginalmente idoneo
2	R2F2	9110	5.2	8.2	19.5	93	16.3	5.8	marginalmente idoneo
4	R3F1	17065	2.6	3.8	8.8	96	8.5	3.5	marginalmente idoneo
7	R2F2	6666	7.1	8.2	26.0	97	27.5	9.9	idoneo
8	R2F2	6962	6.5	8.5	23.1	97	22.9	8.2	idoneo
11	R1F1	7740	4.3	4.0	11.2	97	8.1	5.8	idoneo
25	R3F1	18239	3.3	4.7	15.7	93	18.5	6.6	idoneo
27	R1F1	6543	4.5	4.0	10.5	96	15.7	5.6	idoneo

La percentuale di sopravvivenza è apparsa generalmente superiore al 90%. Anche per quanto riguarda gli altri parametri rilevati (diametro ed altezza del fusto, n. di polloni/ceppaia) non si sono osservate differenze significative tra i diversi impianti, seppure i diametri e le altezze medie più elevate siano state raggiunte negli impianti 7 e 8 (nella pianura cremonese); in entrambi i casi si sono manifestate le percentuali più basse di mortalità (3%). Anche i dati riguardanti la produttività confermano ulteriormente la spiccata idoneità dei siti alle colture SRF (fino a 9,9 t s.s. ha⁻¹ anno⁻¹). Emerge inoltre il notevole incremento di produzione ottenuto nel secondo anno delle prove rispetto al primo: ciò può essere collegato all'effetto positivo del *back cutting* e della concimazione realizzata al termine del primo anno.

Nel complesso, le produttività osservate negli impianti campionati sono in linea con quanto riportato da MARESCHI *et al.* (2005) per ambienti padani caratterizzati da analoghe condizioni pedologiche e cioè da suoli moderatamente alcalini, a tessitura fine.

6.3. Calcolo della biomassa potenzialmente ottenibile

In riferimento ai valori di produttività registrati negli impianti SRF della Pianura Padana, considerando una produttività media pari a 9 t s.s. ha⁻¹ anno⁻¹ negli ambiti territoriali idonei e 6 t s.s. ha⁻¹ anno⁻¹ in quelli marginalmente idonei, è possibile ipotizzare uno scenario produttivo massimo teorico, nell'ipotesi di piantagione SRF utilizzando *Populus x canadensis* (clone AF2), riportato in Tabella 11.

Tabella 11- Produttività potenziale delle colture SRF in Italia nell'ipotesi di piantagione attraverso l'utilizzo di *P. x canadensis* (clone AF2).

<i>Ambiti territoriali</i>	<i>Quantità</i>
Idonei al <i>P. x canadensis</i> (ha)	711.472
Produttività potenziale (t s.s. anno ⁻¹)	6.403.248
Marginalmente idonei al <i>P. x canadensis</i> (ha)	1.951.767
Produttività potenziale (t s.s. anno ⁻¹)	11.710.602
Totale	18.113.850

Complessivamente in Italia, nell'ipotesi teorica che siano interessati tutti i terreni idonei e marginalmente idonei, la quantità di biomassa lignocellulosica potenzialmente proveniente dalla realizzazione di impianti forestali specializzati governati a ceduo con turni molto brevi (SRF) risulterebbe pari a circa 18 milioni di t s.s. anno⁻¹.

7. Conclusioni

Le biomasse legnose prodotte da colture SRF possono costituire una risorsa energetica importante, ma affinché le potenzialità produttive di questi impianti possano concretamente esprimersi occorre concentrare la coltivazione negli ambiti territoriali idonei. A tal fine è importante che la programmazione, la pianificazione nonché l'erogazione di eventuali benefici a sostegno del prezzo del prodotto e/o parziale copertura dei costi colturali per favorirne la redditività (vd. Piani di Sviluppo Rurale) siano connesse a vincoli di effettiva localizzazione in aree vocate, quali quelle delineate nel modello descritto.

La competitività delle SRF nei confronti dei combustibili fossili è tuttavia ancora insufficiente; bisogna quindi ridurre i costi di produzione ottimizzando le tecniche agronomiche e sostenere economicamente la filiera.

Le sperimentazioni condotte negli ultimi anni hanno, tuttavia, consentito di ottenere positive indicazioni, secondo moduli a elevata densità di impianto e turni molto brevi: in particolare, con riferimento a cloni di pioppo appositamente selezionati, i moduli più idonei risulterebbero comparativamente quelli a file singole, con 7.000 – 9.000 alberi ad ettaro all'impianto e turni di 2-3 anni.

Nel lavoro presentato è stato messo a punto un modello di valutazione dell'attitudine territoriale alla potenziale introduzione di cedui a turni brevissimi per la produzione di biomassa in Italia. Il risultato importante del lavoro è stato quello di individuare un modello di analisi territoriale in grado di prendere in considerazione le differenti direttrici dello sviluppo e le variabili in gioco, al fine di predisporre un quadro informativo più puntuale per meglio finalizzare le differenti misure contenute nei redigenti piani di sviluppo rurale regionali.

La metodologia descritta, basata sull'uso di sistemi GIS, si presenta come uno tra gli strumenti di gestione e analisi del territorio appropriati per la corretta pianificazione di sistemi e processi di valorizzazione delle biomasse agro-forestali per usi energetici. Questa metodologia ha permesso di effettuare un'analisi d'insieme e su larga scala delle potenzialità delle colture SRF in Italia. La metodologia proposta è oggettivamente ripercorribile: a partire dagli stessi dati, il risultato è univoco.

Le innovazioni metodologiche sperimentate nel lavoro proposto, rispetto alle tradizionali conoscenze, hanno portato:

- al reperimento di informazioni omogeneamente disponibili a livello nazionale, in modo da applicare il modello in modo omogeneo a tutte le aree geografiche del nostro Paese;
- ad una facilitazione dell'operazione di aggregazione dei fattori *fuzzy* nell'analisi multicriteriale attraverso la verifica di tecniche e operatori logici differenti;

- ad un miglioramento del grado di accuratezza della valutazione attraverso una validazione *ad hoc* del modello elaborato, aspetto importante e trascurato nelle precedenti applicazioni.

La validazione oltre a permettere una verifica indipendente delle previsioni modellistiche, ha consentito di fornire elementi oggettivi per la partizione *hard* dei risultati cartografici *fuzzy*, come spesso richiesto dai tecnici in sede di implementazione operativa delle misure di programmazione degli impianti di colture SRF. Inoltre l'approccio multicriteriale impiegato ha permesso di superare numerosi limiti tecnici, dovuti essenzialmente all'impossibilità di integrare le diverse informazioni in un unico modello decisionale.

Alla luce dei risultati si ravvisa la necessità di sperimentare l'applicazione della metodologia su ambiti territoriali più ristretti. Ciò consentirebbe di testarne la validità in condizioni caratterizzate da una minore variabilità complessiva dei fattori valutati. In simili condizioni potrebbe aprirsi anche la possibilità di introdurre nuovi fattori, nonché quella di migliorare la quantificazione dei fattori scelti, posto che siano disponibili dati adeguati e omogenei per l'ambito geografico considerato.

Al di là dei valori quantitativi e della loro rappresentazione cartografica è opportuno sottolineare soprattutto l'aspetto qualitativo delle evidenze ottenute: la valutazione condotta va intesa nel senso di qualificazione georeferenziata prevalente per ambiti omogenei a scala vasta e in tal senso il modello elaborato costituisce un significativo contributo informativo e orientativo a disposizione e supporto dei soggetti responsabili della programmazione agricolo-forestale e della pianificazione del territorio per la delineazione dei territori ove privilegiare le misure di incentivazione finanziaria degli impianti SRF.

Naturalmente l'approccio illustrato si limita ad essere semplicemente una proposta operativa, suscettibile di miglioramento e sicuramente di adattamento ai diversi contesti di applicazione ed alle diverse problematiche da analizzare. Ciò non toglie che, a fronte del corpus metodologico di base, si dimostri estremamente elastico per essere efficacemente impiegato nei molteplici campi di applicazione della pianificazione.

I risultati acquisiti potranno fornire un utile contributo nell'ambito dell'elaborazione di linee guida per una utilizzazione sostenibile delle principali tipologie di biomasse forestali legnose potenzialmente disponibili per impieghi energetici.

Si ritiene che possa essere interessante approfondire studi a scala locale a supporto dell'eventuale realizzazione di impianti a combustione di biomasse legnose.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare G. Facciotto, G. Minotta, G. Mughini, P. Paris e M. Sabatti per il supporto fornito come *panel* di esperti, M. Pagliai, M. Paolanti e L. Perini per le informazioni pedologiche e A. Barbati per la successiva elaborazione. Un particolare ringraziamento è rivolto al Prof. G. Chirici e al Prof. P. Corona per le indicazioni fornite durante lo svolgimento del lavoro.

Desidero inoltre ringraziare mio padre per l'efficace supporto tecnico fornito durante la campagna di rilievi negli impianti SRF in Pianura Padana.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 1997A – *Libro Bianco per una strategia e un piano d'azione della comunità*. Commissione Europea «Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili».
- AA.VV., 1997B – *Progetto U.E. Saving optimizing renewable traditional energy*. ARSIA - Regione Toscana.
- AA.VV., 2004 – *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy farm*. Quaderno Arsia 6, Firenze, 160 p.
- AGENZIA INTERNAZIONALE PER L'ENERGIA, 2006 – *Energy Technologi Perspectives 2006. Scenari e strategie da oggi al 2050*.
- AHARONY A., STAUFFER D., 1985 - *Introduction to percolation theory*. Taylor and Francis, London, England.
- AIROLDI G., BARSALI P., MANZONE M., 2006 – *Trapiantatrici per impianti da biomassa. Prestazioni e costi di alcuni modelli*. Sherwood, 128: 49-55.
- ALBERTI G., CANDIDI P., PERESOTTI A., TURCO S., PIUSSI P., ZERBI G., 2005 – *Aboveground biomass relationships for mixed ash (*Fraxinus excelsior* L. and *Ulmus glabra* Hudson) stands in Eastern Prealps of Friuli Venezia Giulia (Italy)*. Annals of Forest Science, 62 (8): 831-836.
- ALTENER-BIOGUIDE, 1999 - *Le coltivazioni da biomassa per un'energia alternativa*. Agricoltura 47 (293), pp. 57-99.
- ANPA, 2001 – *Biomasse agricole e forestali, rifiuti e residui organici: fonti di energia rinnovabile. Stato dell'arte e prospettive di sviluppo a livello nazionale. Elementi di sintesi*. Studio effettuato da ITABIA, Roma, 11 p.
- APAT 2004 – *Le biomasse legnose: un'indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia*. Rapporti APAT 30, Roma, 99 p.
- BELLOTTI A., 1998 – *Una proposta metodologica per la valutazione dell'attitudine del territorio all'arboricoltura da legno mediante l'uso integrato di differenti strati informativi territoriali*. Tesi di Dottorato, Università degli Studi della Basilicata.
- BERGANTE S., FACCIOTTO G., 2006 – *Impianti annuali, biennali, quinquennali. Produttività e costi di alcune realtà nel Nord Italia*. Sherwood 128, pp. 25-30.
- BERNETTI I., FAGARAZZI C., 2002 – *L'impiego dei modelli multicriteriali geografici nella pianificazione territoriale*. Aestimum, 41 - Dicembre 2002, pp. 1-26.
- BISOFFI S., FACCIOTTO G., 2000 – *I cedui a turno breve (SRF)*. Sherwood, n. 59: 21-24.
- BLASI C., 2003 – *Conoscenze naturalistiche in Italia*. Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione per la Conservazione della Natura, Società Botanica Italiana, Commissione per la promozione della ricerca botanica. Roma.

- BLASI C., CHIRICI G., CORONA P., MARCHETTI M., MASELLI F., PULETTI N., 2007 - *Spazializzazione di dati climatici a livello nazionale tramite modelli regressivi localizzati*. Forest@ 4 (2): 213-219.
- BOCCASILE G., 2007 – *Il pioppo per la biomassa*. In: Commissione Nazionale per il Pioppo. Il libro bianco della pioppicoltura, Vegetalia, Cremona, pp. 119-122.
- BONARI E., PICCIONI E., 2006 – *SRF di pioppo nella pianura litoranea toscana. Principali risultati di alcune esperienze a lungo periodo*. Sherwood 128, pp. 31-36.
- BOOTH T.H., SAUNDERS J.C., 1985 – *Applying FAO guidelines on land evaluation for forestry*. Forest Ecology and Management 12, pp. 129-142.
- BROWN S., 2002 – *Measuring carbon in forest: current status and future challenges*. Environmental Pollution, 116: 363-372.
- BURROUGH P.A., MCDONNELL R.A., 1998 – *Principles of Geographical Information System*. Oxford University Press, Oxford.
- CALAMINI G., GREGORI E., 2001 – *Study in a beech stand of central Italy: allometric relations for the above ground biomass estimation*. L'Italia Forestale e Montana 56 (1):1-3.
- CEBALLOS-SILVA A., LOPEZ-BLANCO J., 2003 – *Delineation of suitable areas for crops using Multi-Criteria Evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico*. Agricultural System, 77, 117-136.
- CHAKHAR S., MARTEL J.M., 2003 – *Enhancing Geographical Information Systems Capabilities with Multi-Criteria Evaluation Functions*. Journal of Geographic Information and Decision Analysis, n. 2: 47-71.
- CHIRICI G., CORONA P., MARCHETTI M., TRAVAGLINI D., WOLF U., 2002 - *Modello di valutazione dell'attitudine fisica del territorio per la realizzazione di piantagioni di noce comune e di douglasia in Italia meridionale*. Monti e Boschi 6, pp. 25-31.
- CHIRICI G., CORONA P., SALVATI R., 2006 - *Land suitability for short rotation coppice plantations as a tool to support rural planning..* – In: Laforteza R., Sanesi G. (a cura di), *Patterns and processes in forest landscapes*. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 437-442.
- CHIRICI G., DRIGO R., LASSERRE B., MARCHETTI M., 2007A – *Analisi su base geografica della domanda e dell'offerta di combustibili legnosi in Italia*. L'Italia Forestale e Montana 5/6: 303-324.
- CHIRICI G., CORONA P., SALVATI R., 2007B - *Modello di valutazione dell'attitudine fisica del territorio per la realizzazione di impianti cedui da biomassa in Italia..* L'Italia Forestale e Montana, 2007, n°5/6, pp. 399-410.
- CIANCIO O., LA MARCA O., MERCURIO R., SANESI G., 1992 – *Arboricoltura da legno di quantità e di qualità*. Cellulosa e Carta, 43 (3): 19-22.

- CIANCIO O., NOCENTINI S., 2004 – *Il bosco ceduo, selvicoltura, assestamento, gestione*. Accademia Italiana di Scienze Forestali. Firenze.
- CICCARESE L., PETTENELLA D., SPEZIANI E., 2004 - *Le biomasse legnose - un'indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia*. APAT, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, Roma.
- COOLS N., DE PAUW E., DECKERS J., 2003 - *Towards an integration of conventional land evaluation methods and farmers' soil suitability assessment: a case study in northwestern Syria*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 95: 327-342.
- CORONA P., SCOTTI R., TARCHIANI N., 1998 – *Valutazione della produttività stazionale in funzione dei caratteri pedoclimatici in piantagioni forestali*. L'Italia Forestale e Montana 1, pp. 6-19.
- DAVIDSON D.A., 1980 – *Soils and land use planning*. Longman, London, 129.
- DE NATALE F., 1994 – *L'individuazione di unità territoriali idonee all'arboricoltura da legno mediante analisi di Land Suitability ed applicazione dei fuzzy sets*. Tesi di Dottorato, Università degli Studi della Basilicata.
- DENT D., YOUNG A., 1981. *Soil survey and land evaluation*. George Allen & Unwin, London.
- DICKMANN D.I., 2006 – *Silviculture and biology of short-rotation woody crops in temperate regions: then and now*. Biomass & Bioenergy, 30: 696-705.
- ENEA, 2007 – *Rapporto energia e ambiente 2006. Analisi e scenari*.
- FACCIOTTO G., MUGHINI G., 2003 – *Modelli colturali e produttività della selvicoltura da biomassa*. L'Informatore Agrario, 59: (10) 95-98.
- FACCIOTTO G., ZENONE T., FAILLA O., 2005 – *Aboveground biomass estimation for Italian poplar SRF. Proceedings of the 14th European Biomass Conference*, Paris 17-21 October 2005, p. 298-299.
- FACCIOTTO G., BERGANTE S., LIOIA C., ROSSO L., MUGHINI G., ZENONE T., NERVO G., 2006 – *Produttività di cloni di pioppo e salice in piantagioni a turno breve*. Forest@, 3 (2): 238-252.
- FACCIOTTO G., 2007 – *Cedui a turno breve per produzione di biomassa*. In: Commissione Nazionale per il Pioppo. Il libro bianco della pioppicoltura, Vegetalia, Cremona, pp. 74-77.
- FAGGIANI A., 1999 – *La logica fuzzy nella soluzione dei problemi territoriali multicriteriali*. Tesi di laurea di Agostino Nardocci, n.3, DAESRT, Venezia.
- FALGE E., BALDOCCHI D., OLSON R.J., ANTHONI P., AUBINET M., BERNHOFER C., BURBA G., CEULEMANS R., CLEMENT R., DOLMAN H., GRANIER A., GROSS P., GRÜNWALD T., HOLLINGER D., JENSEN N.O., KATUL G., KERONEN P., KOWALSKI A., TA LAI C., LAW B.E., MEYERS T., MONCRIEFF J., MOORS E., MUNGER J.W., PILEGAARD K., RANNIK U., REBMANN C., SUYKER A., TENHUNEN J., TU K., VERMA S., VESALA T., WILSON K., WOFSY S., 2001 – *Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange*. Agricultural Forest and Meteorology 107: 43-69.

- FAO, 1976 – *A framework for land evaluation*. Soils Bulletin 32, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO, 1984 – *Land evaluation for forestry*. Forestry paper 48, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- GALLI M., PAMPANA S., 2004 – *Le fonti rinnovabili per la produzione di energia: il ruolo delle biomasse*. In: *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm*. Quaderno ARSIA 6, Firenze.
- GOLDEN B.L., WASIL E.A., LEVY D.E., 1989 – *Application of the Analytic Hierarchy Process: a categorized, annotated bibliography*, in *'The Analytic Hierarchy Process – Applications and Studies'* (Golden, Wasil and Harker eds.), Springer – Verlag, Berlin.
- GUSTAVSSON L., BORJESSON P., JOHANSSON B., SVENNINGSSON P., 1995 – *Reducing CO2 emissions by substituting biomass for fossil fuels*. Energy, 20 (11), pp. 1097-1013.
- HELLRIGL B., 2003 – *Osservazioni e riflessioni sulle cerealocolture arboree per energia*. Monti e Boschi, n. 1: 4-17.
- HERVE C., CEULEMANS R., 1996. *Short rotation coppiced vs non-coppiced poplar: a comparative study at two different fields sites*. Biomass and Bioenergy 2-3, pp. 139-150.
- HOFFMANN D., WEIH M., 2004 – *Limitations and improvement of the potential utilisation of woody biomass for energy derived from short rotation woody crops in Sweden and Germany*. Biomass & Bioenergy, 28: 267-279.
- ISTAT, 2007 – *Statistiche ambientali*. Annuario n. 9 - 2007.
- KETTERINGS Q.M., COE R., VAN NOORDWIJK M., AMBAGAU Y., PALM C.A., 2001 – *Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests*. Forest Ecology and Management, 146: 199-209.
- LIESEBACH M., VON WUEHLISCH G., MUHS H.J., 1999. *Aspen for short rotation coppice plantations on agricultural sites in Germany: effects of spacing and rotation time on growth and biomass production of aspen progenies*. Forest Ecology and Management 121, pp. 25-39.
- MALCZEWSKI J., 2004 - *GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview*. Progr. Plann. 62: 3-65.
- MARESCHI L., PARIS P., SABATTI M., NARDIN F., GIOVANARDI R., MANAZZONE S., SCARASCIA MUGNOZZA G., 2005 – *Le nuove varietà di pioppo da biomassa garantiscono produttività interessanti*. L'Informatore Agrario, 61 (18): 49-53.
- MARICCHIOLO C., SAMBUCINI V., PUGLIESE A., MUNAFÒ M., CECCHI G., RUSCO E., BLASI C., MARCHETTI M., CHIRICI G., CORONA P., 2005 – *La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2000*. Rapporti APAT 61, Roma.
- MARLAND G., SCHLAMADINGER B., 1997 - *FORESTS FOR CARBON SEQUESTRATION OR FOSSIL FUEL SUBSTITUTION? A SENSITIVITY ANALYSIS*. BIOMASS AND BIOENERGY 13: 389-397.

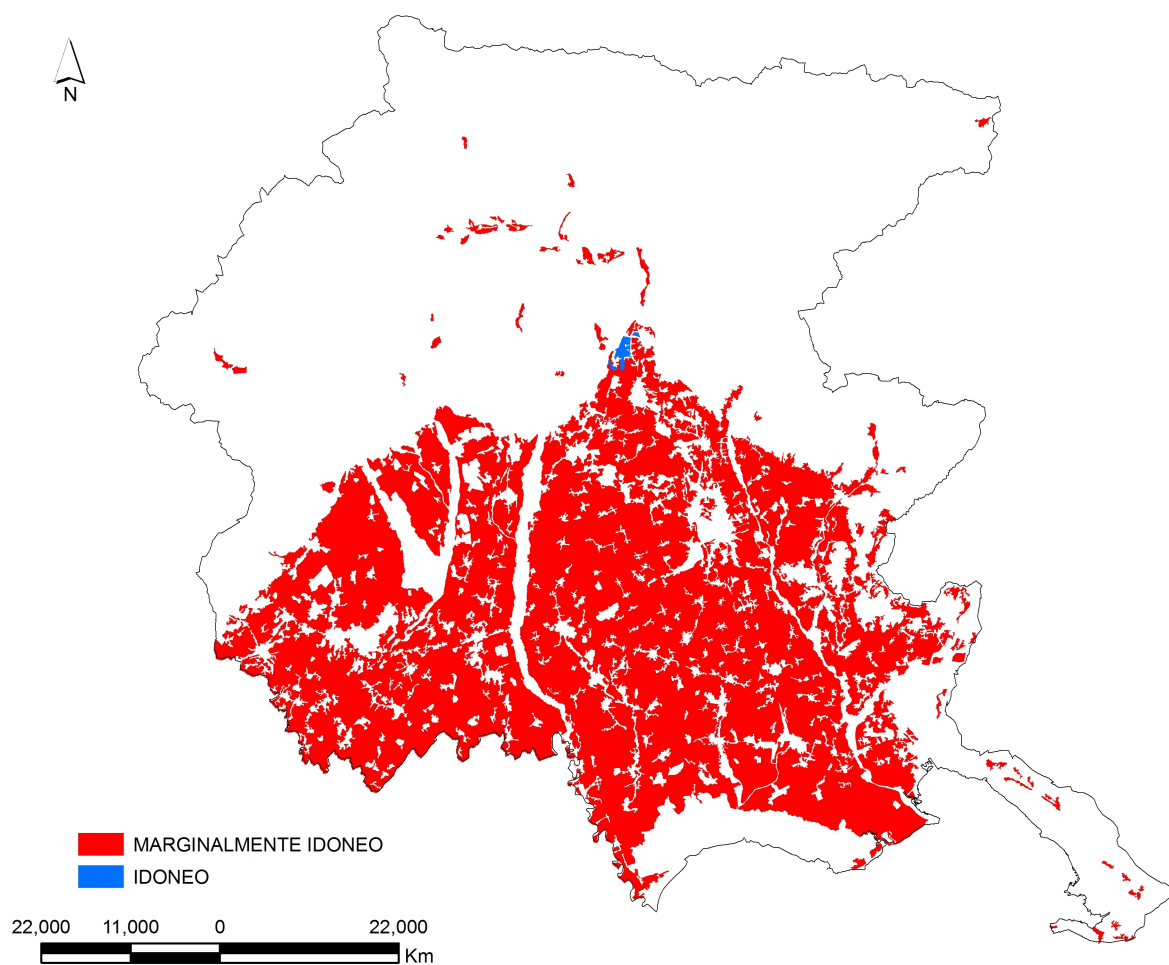
- MEAD D.J., 2005 – *Opportunities for improving plantation productivity. How much?How quikly? How realistic?* Biomass & Bioenergy, 28: 249-266.
- MERCURIO R., NAPOLI R., 2002 – *Criteri e metodi per la pianificazione territoriale dell'arboricoltura da legno*. In: Rimboschimenti e trasformazioni del paesaggio. Quaderni IAED 15, pp. 37-52.
- MINOTTA G., MUZZI E., 2007 – *Indagini su cedui di pioppo a turno breve nella pianura ferrarese*. L'Italia Forestale e Montana 5/6: 411-419.
- PERI M., PRETOLANI R., 2006 – *Biomasse legnose da SRF: convenienza economica*. Raccogliamo l'energia n. 54, Regione Lombardia. 63 p.
- PIERANGELI D., MANCINO G., CALVANO F., 2001 – *Utilizzo dei SIT per l'individuazione di modelli produttivi agro-selvicolturali e per la salvaguardia degli ecosistemi*. Atti della Terza Conferenza di MondoGIS, Roma 23/25 Maggio, pp. 113-124.
- PINAZZI P., 2005 – *L'utilizzo energetico del pioppo e del legno in generale*. Convegno: La pioppicoltura nella filiera legno-energia: prospettive e azioni di rilancio, Casale Monferrato, 23 giugno 2005.
- PROE M.F., CRAIG J., GRIFFITHS J., WILSON A., REID A., 1999 – *Comparition of biomass production in coppice and single stem woodlands managements systems on an imperfectly drained gley soil in central Scotland*. Biomass and Bioenergy 17, pp. 41-151.
- ROMANO S., 2004 – *Le potenzialità di sviluppo delle bioenergetiche in un'area interna della Basilicata*. Convegno PROBIO della Regione Basilicata, Maggio 2004.
- SAATY T.L., 1977 - *A scaling method for priorities in hierarchical structures*, Journal of Math. Psycology 15, pp. 234-281.
- SAATY T.L., 1980 - *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- SABATTI M., KUZMINSKY E., GIORDANO E., ANSELMi N., SCARASCIA MUGNOZZA G., 2000 – *Esperienze di rinaturalizzazione di terreni agricoli in pianura padana mediante piantagioni forestali*. Italia Forestale e Montana 4, pp. 241-252.
- SCARELLI A., 1997 – *Modelli matematici nell'analisi multicriterio*. Edizioni Settecittà, Viterbo.
- SCHENONE G., FACCIOOTTO G., GROPPi F., MUGHINI G., PARI L., 1997 – *Short rotation woody crops for energy: The research program of ENEL (Italian Electric Company)*. Making a business from biomass in energy, environment, chemicals, fibres and materials. The Third Biomass Conference of the Americas. Montreal, Quebec, August 24-29, 1997, p. 237-245.
- TODARO L., SCOPA A, DE FRANCHI AS, 2007 – *Caratterizzazione energetica di biomasse agro-forestali presenti in aree collinari e montane della Basilicata*. Forest@ 4 (1): 42-50.
- TRIANTAPHYLLOU D. E., 2000 - *Multi-Criteria Decision Making Methods: a comparative study*. Springer, New York.

- TROSSERO M., 2000 – *The current wood energy use in Europe*. Lavoro presentato alla Conferenza «woody biomass as an energy source challenges in Europe». EFI, University of Joensuu, Ita Bionergy, Cost E21, Silva Network. 25-28 Settembre 2000. Jaensum, Finlandia.
- VAN DIEPEN C.A., VAN KEULEN H., WOLF J., BERKHOUT J.A.A., 1991 – *Land evaluation: from intuition to quantification*. In: *Advances in Soil Science*, STEWART B.A., (Ed.), Springer, New York, 139-204.
- VAN RANST E., TANG H., GROENEMANS R., SINTHURAHAT S., 1996 – *Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand*. *Geoderma* 70, pp. 1-19.
- VINCKE P., 1992 – *Multicriteria Decision-Aid*. John Wiley e Sons, 1992.
- ZIANIS D., MENCUCCINI M., 2004 - *On simplifying allometric analyses of forest biomass*. *Forest Ecology and Management*, 187 (2-3): 311-332.
- ZIMMERMANN H.J., 1996 - *Fuzzy set theory and its applications* (3rd ed.). Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.

APPENDICE CARTOGAFICA

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

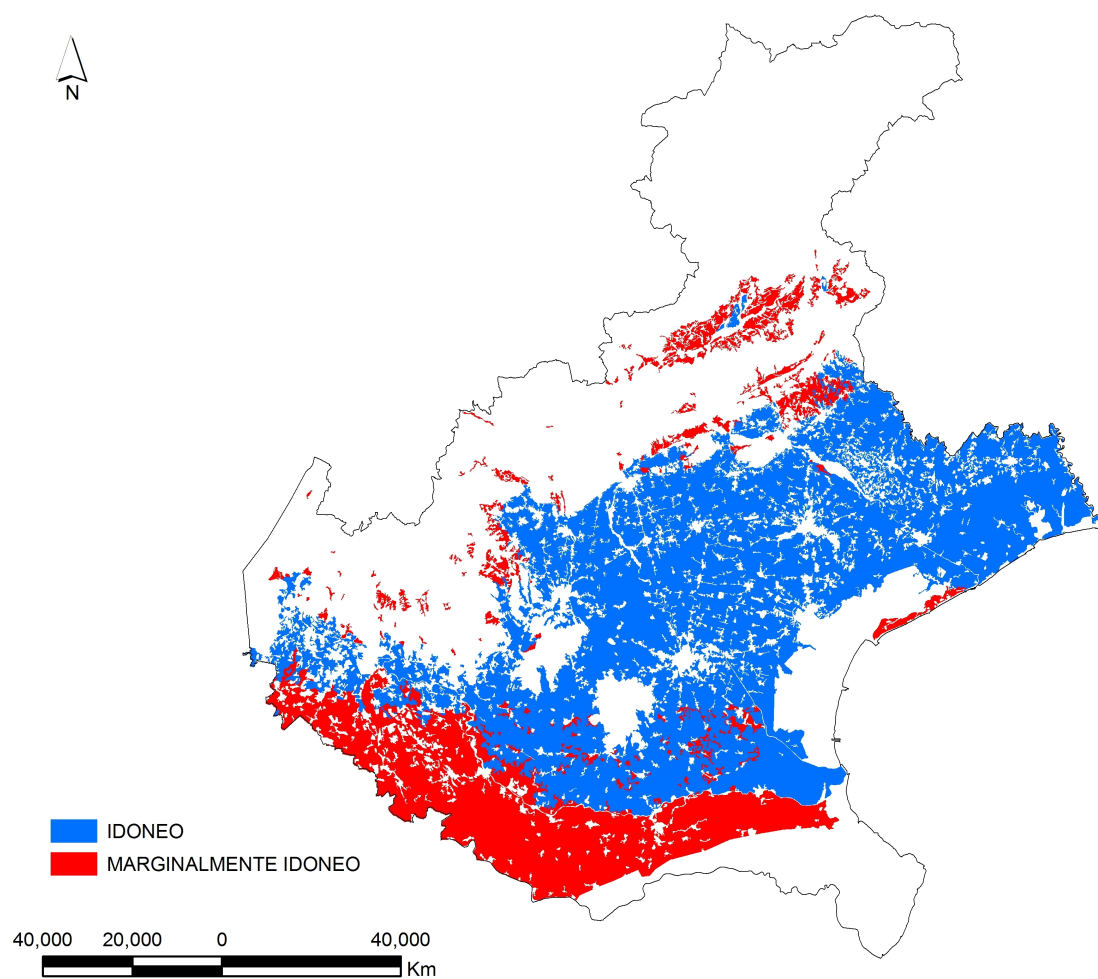
Regione Friuli Venezia Giulia



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
233451	501

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

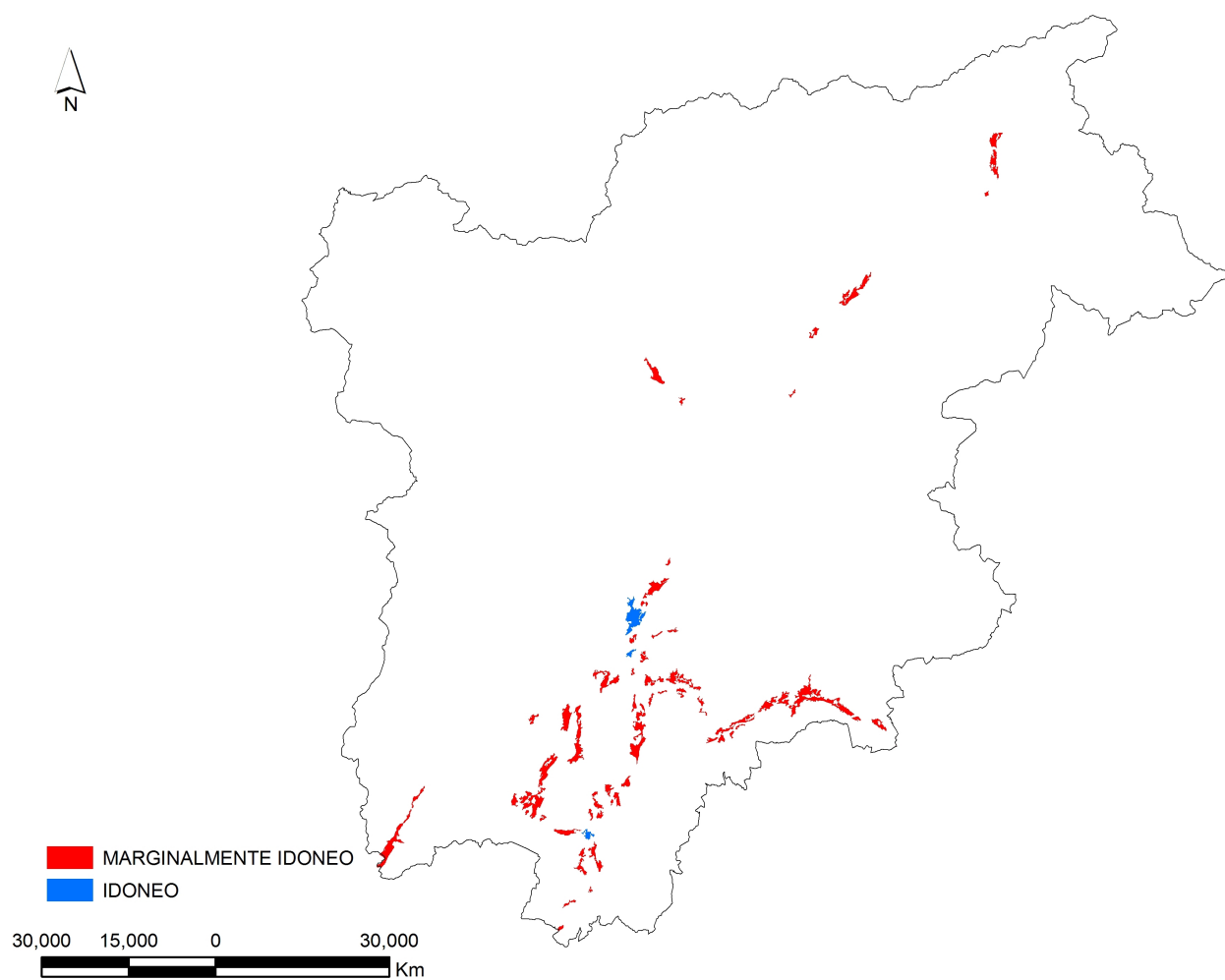
Regione Veneto



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
528965	486390

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

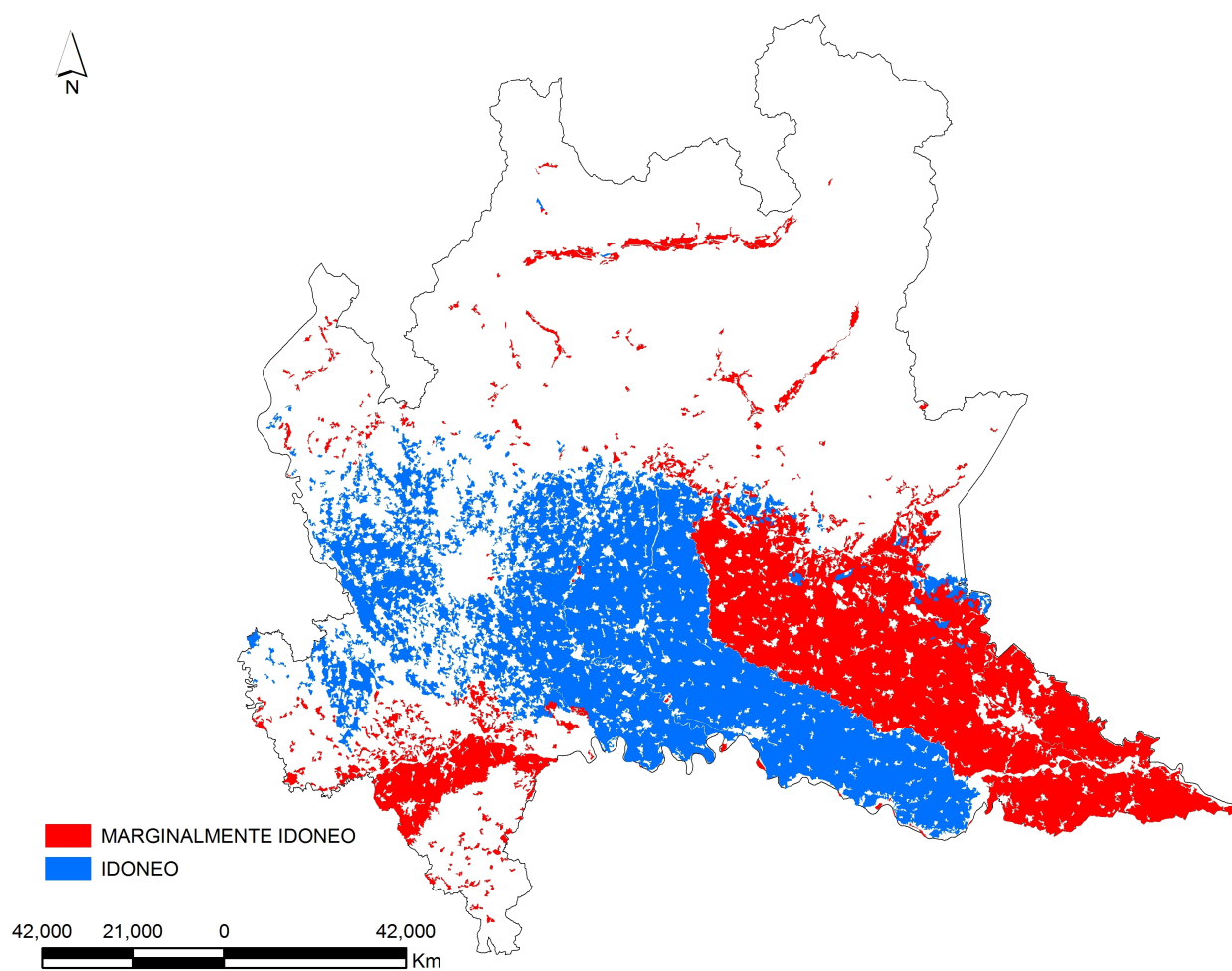
Regione Trentino Alto Adige



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
12510	963

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

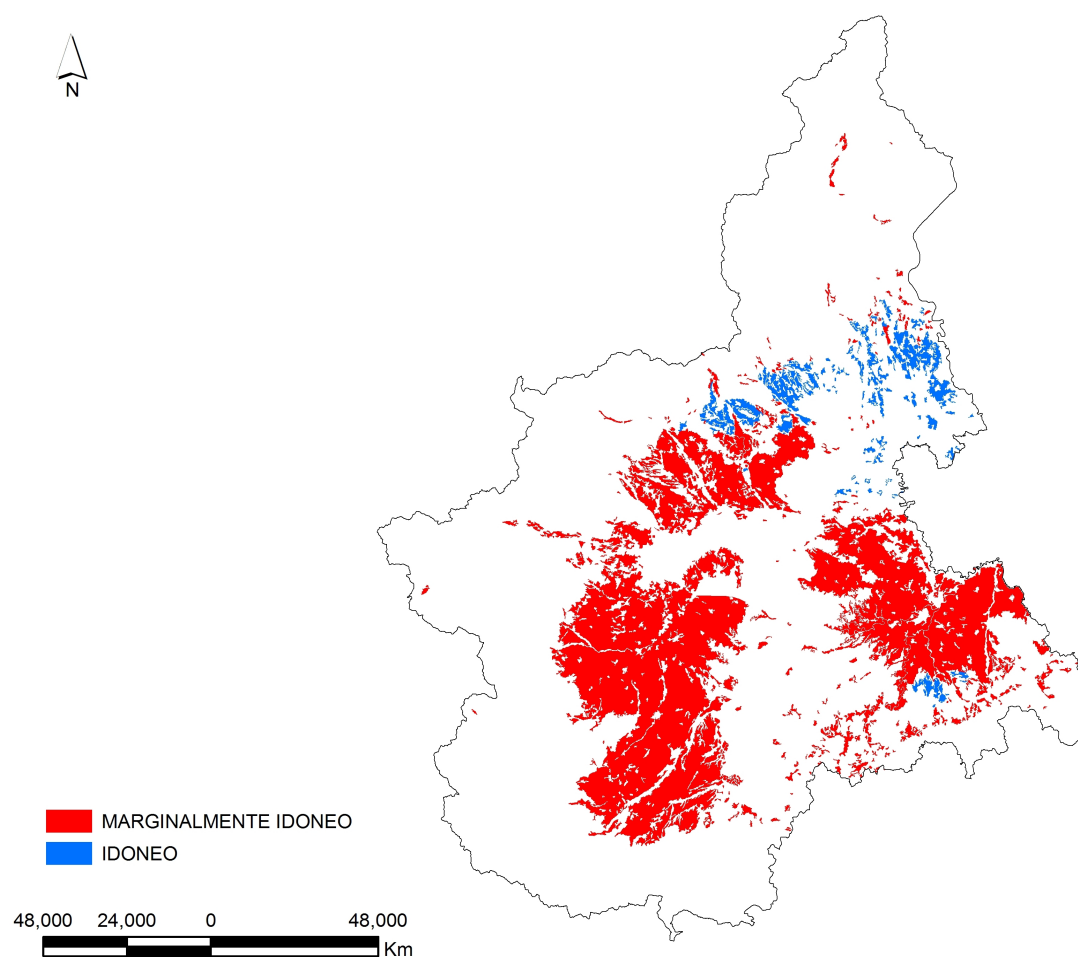
Regione Lombardia



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
521042	358567

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

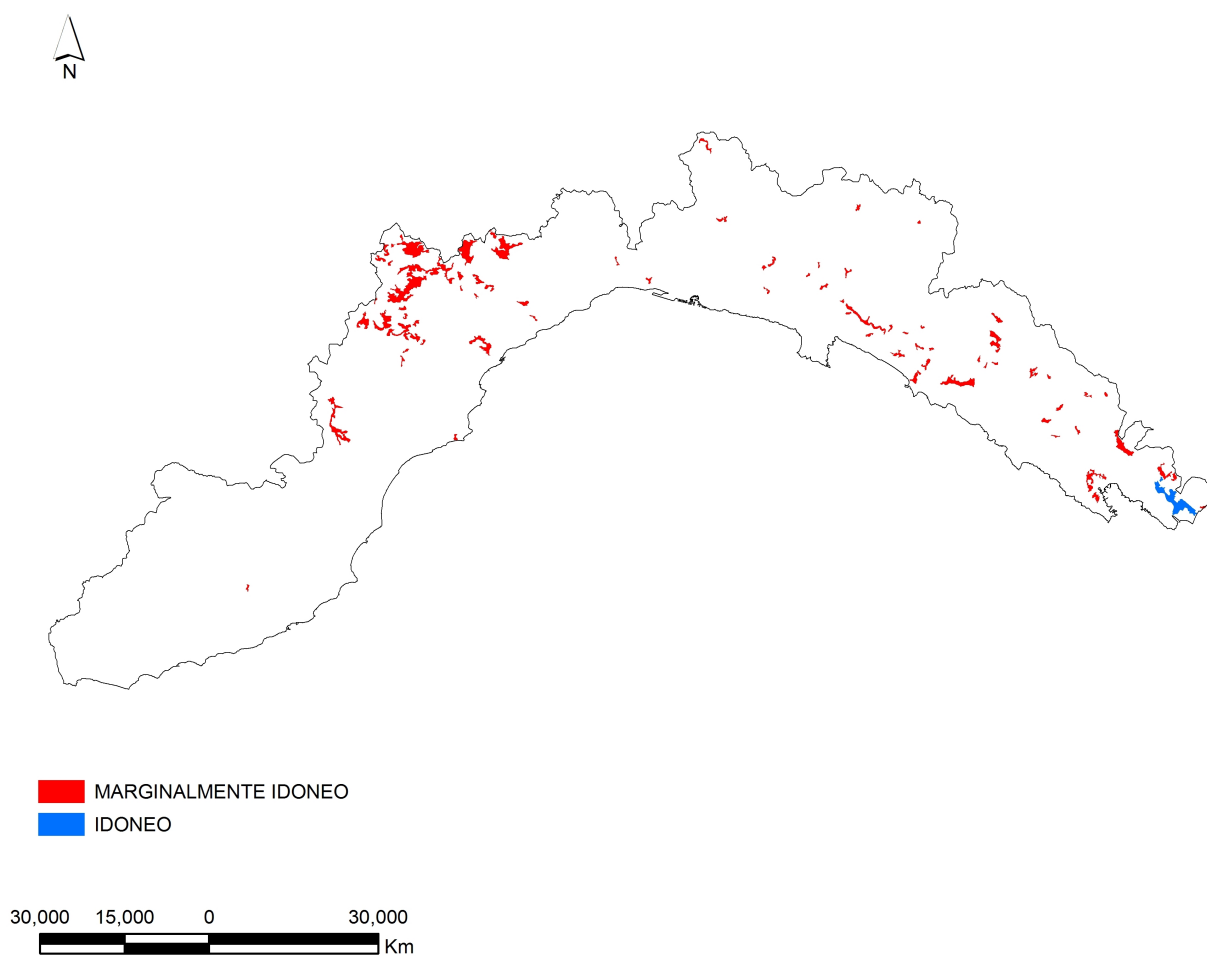
Regione Piemonte



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
401245	42312

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

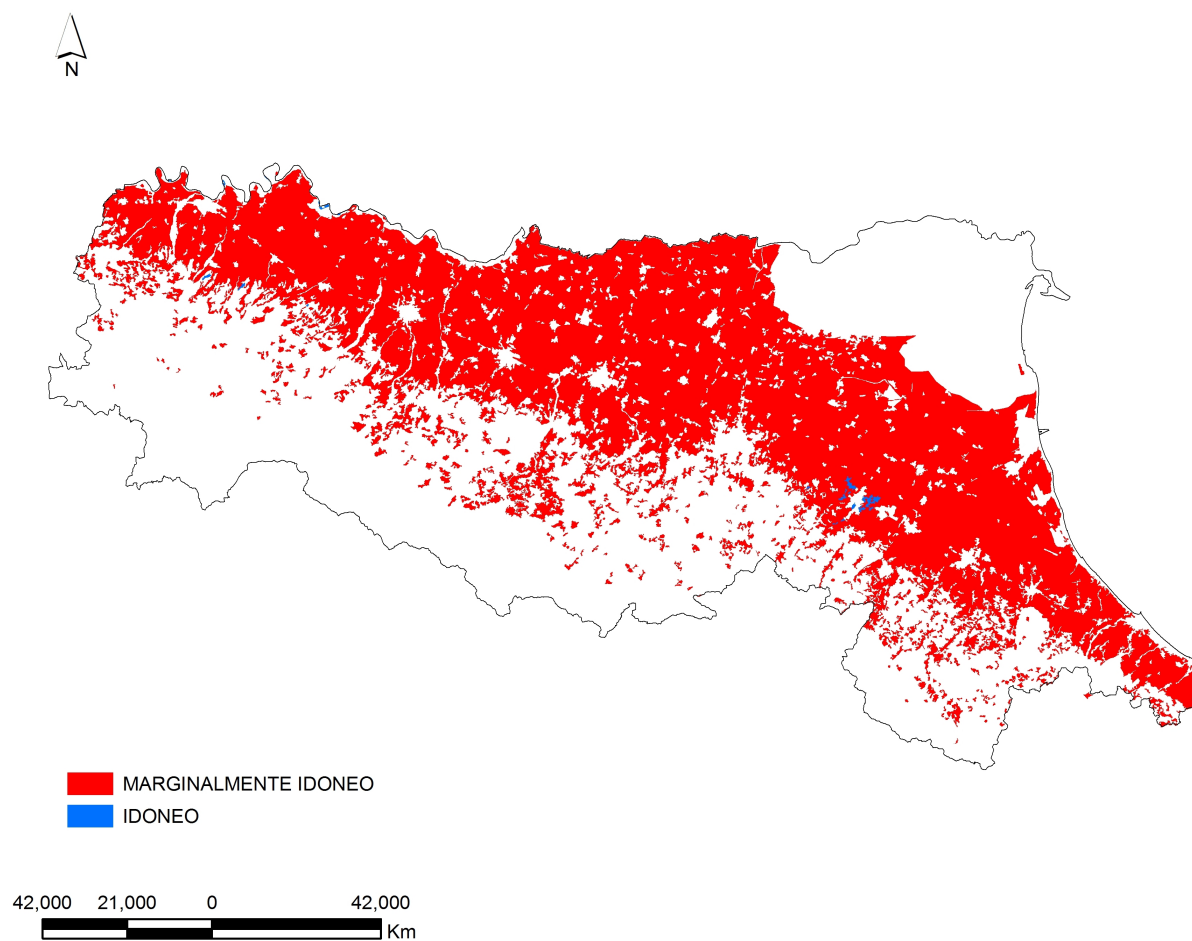
Regione Liguria



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
10165	1034

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

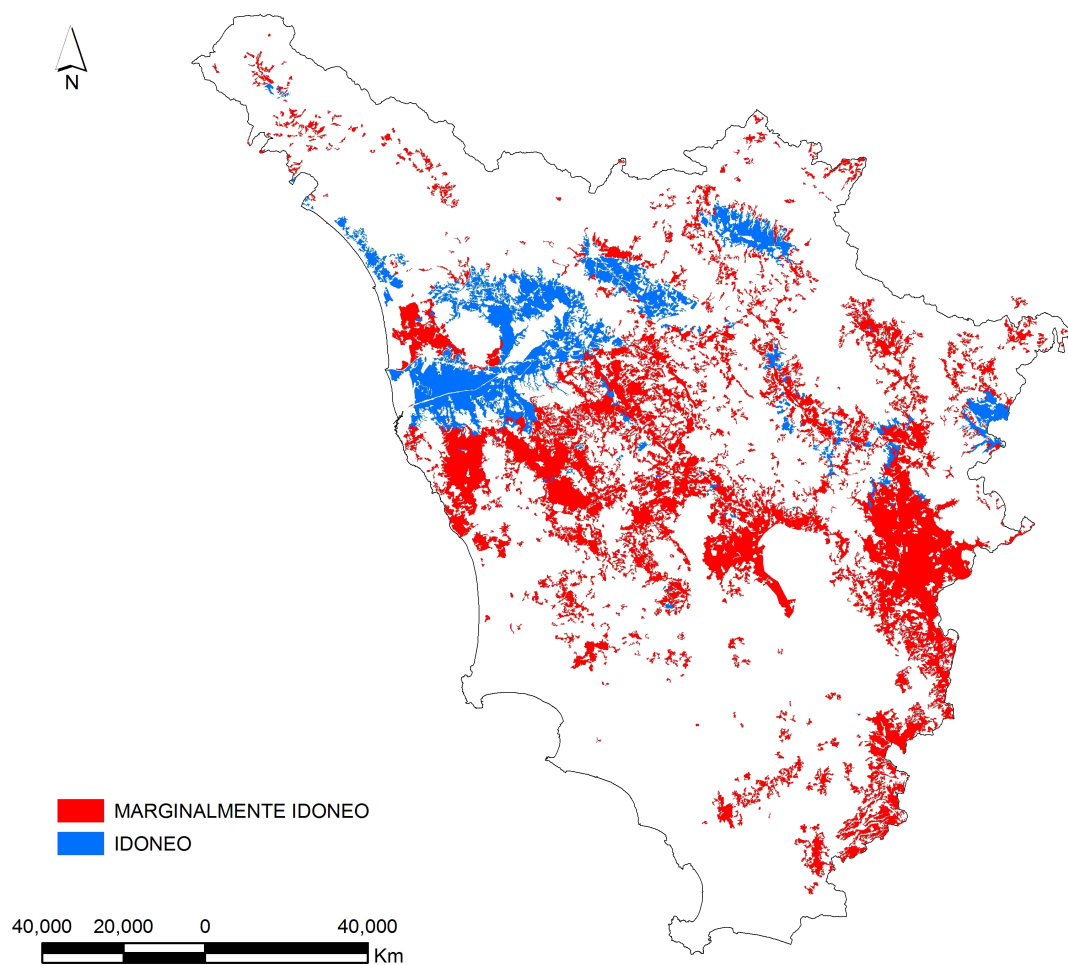
Regione Emilia Romagna



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
845623	1762

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

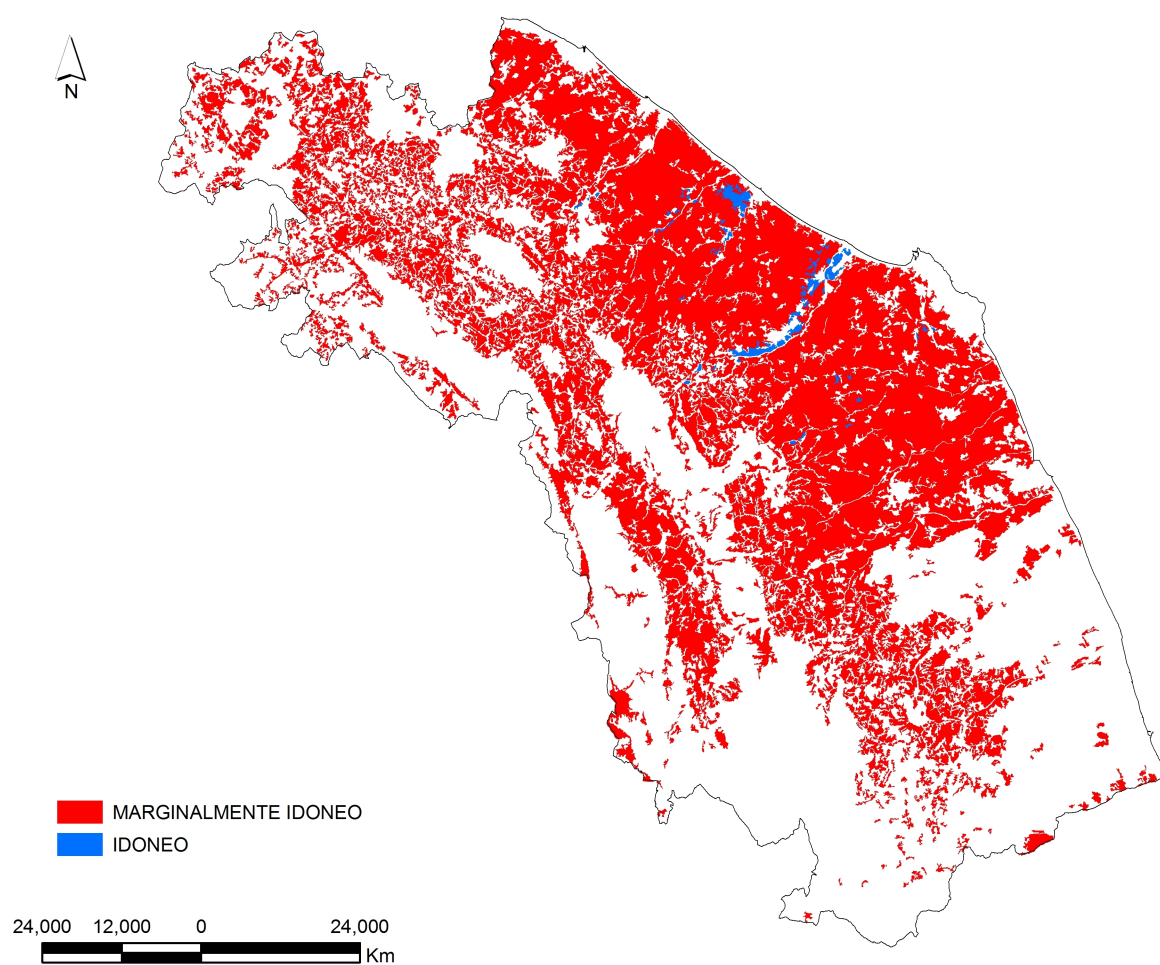
Regione Toscana



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
405245	127447

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

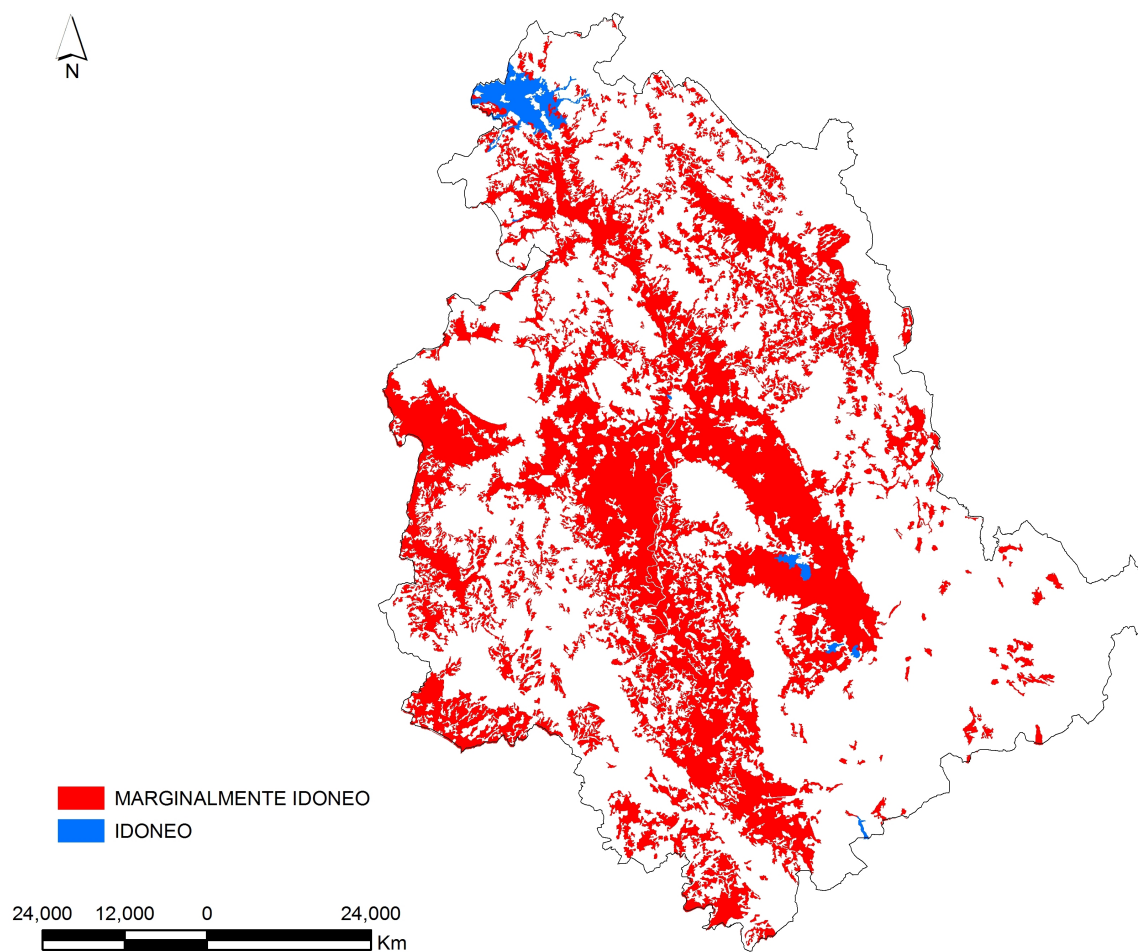
Regione Marche



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
320646	4198

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

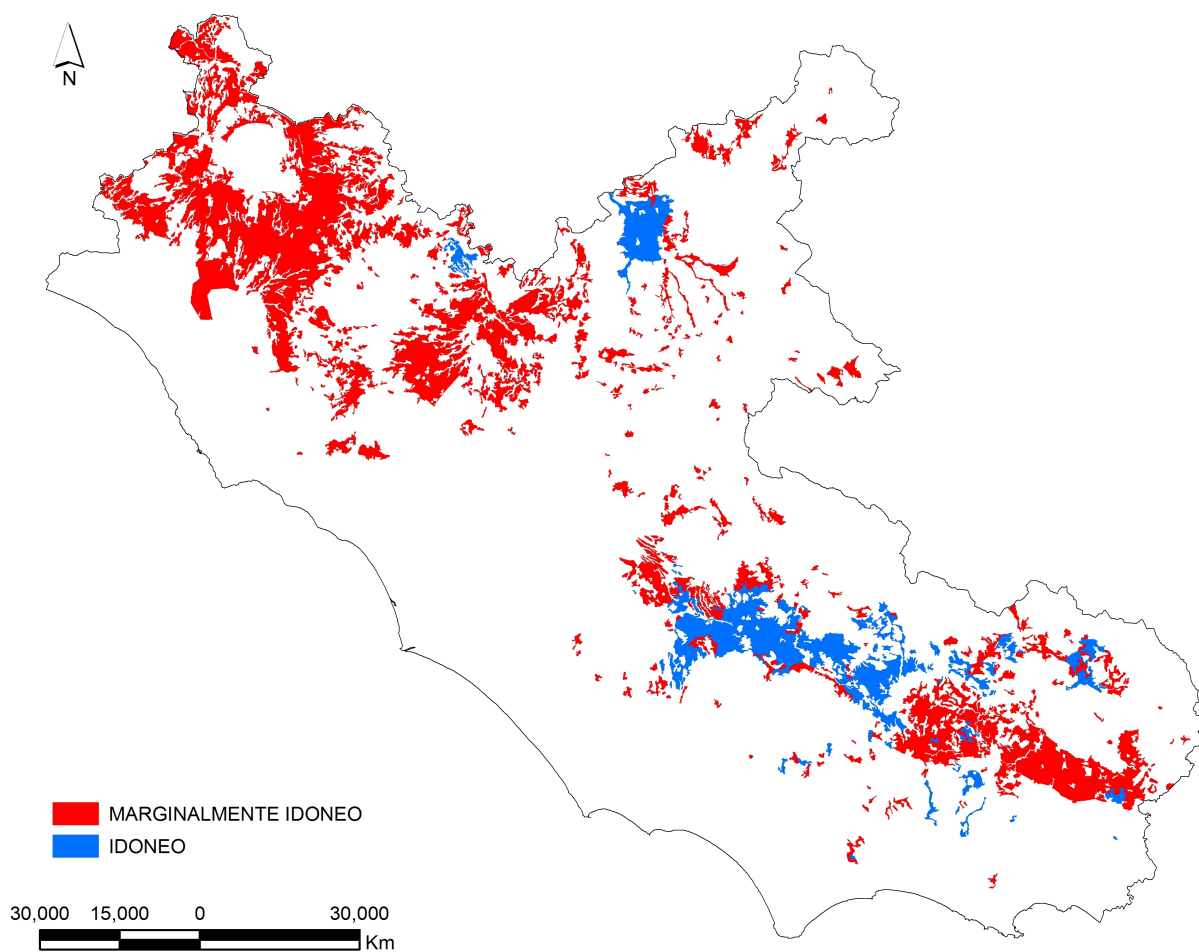
Regione Umbria



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
211541	7103

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

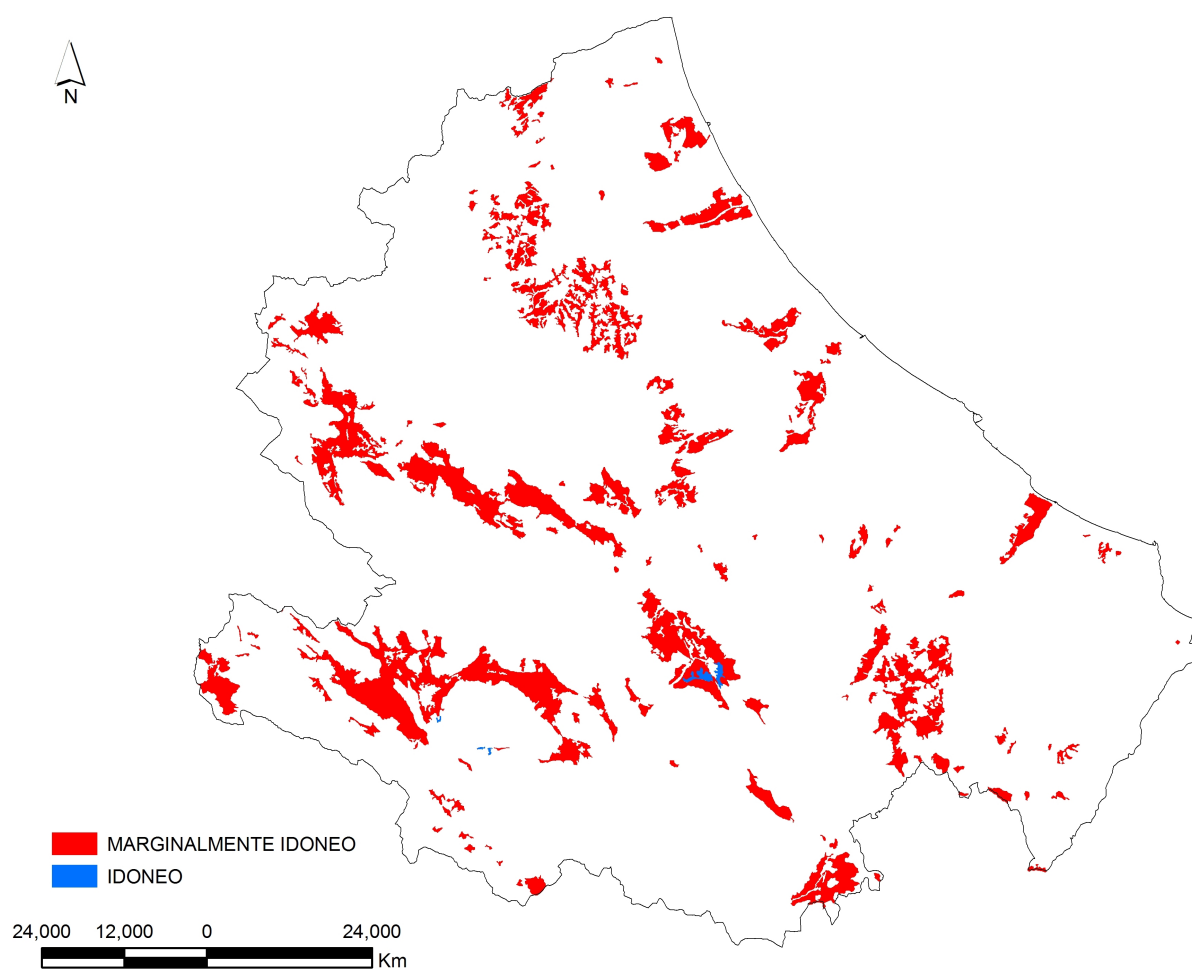
Regione Lazio



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
215432	58865

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

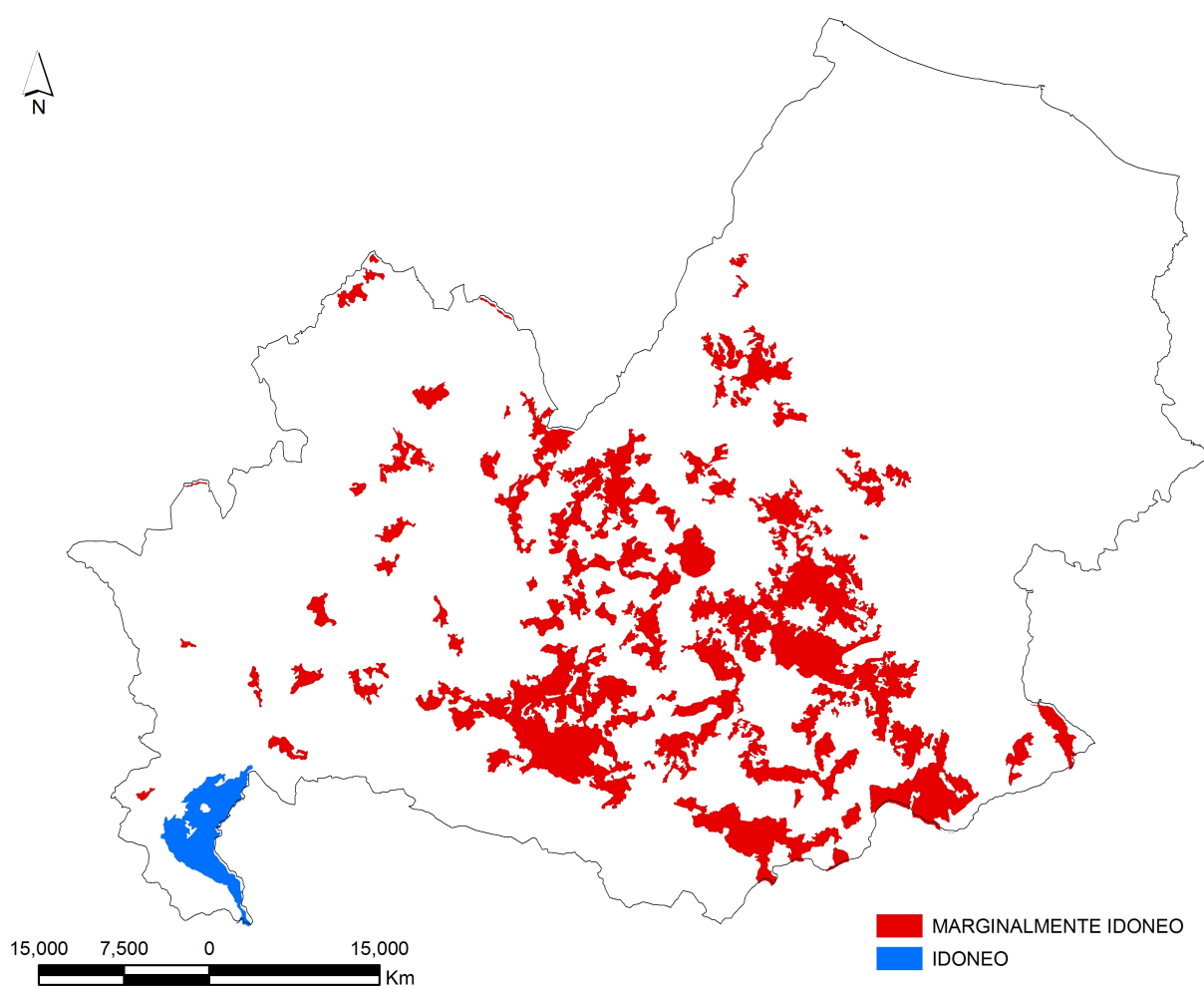
Regione Abruzzo



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
96743	712

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

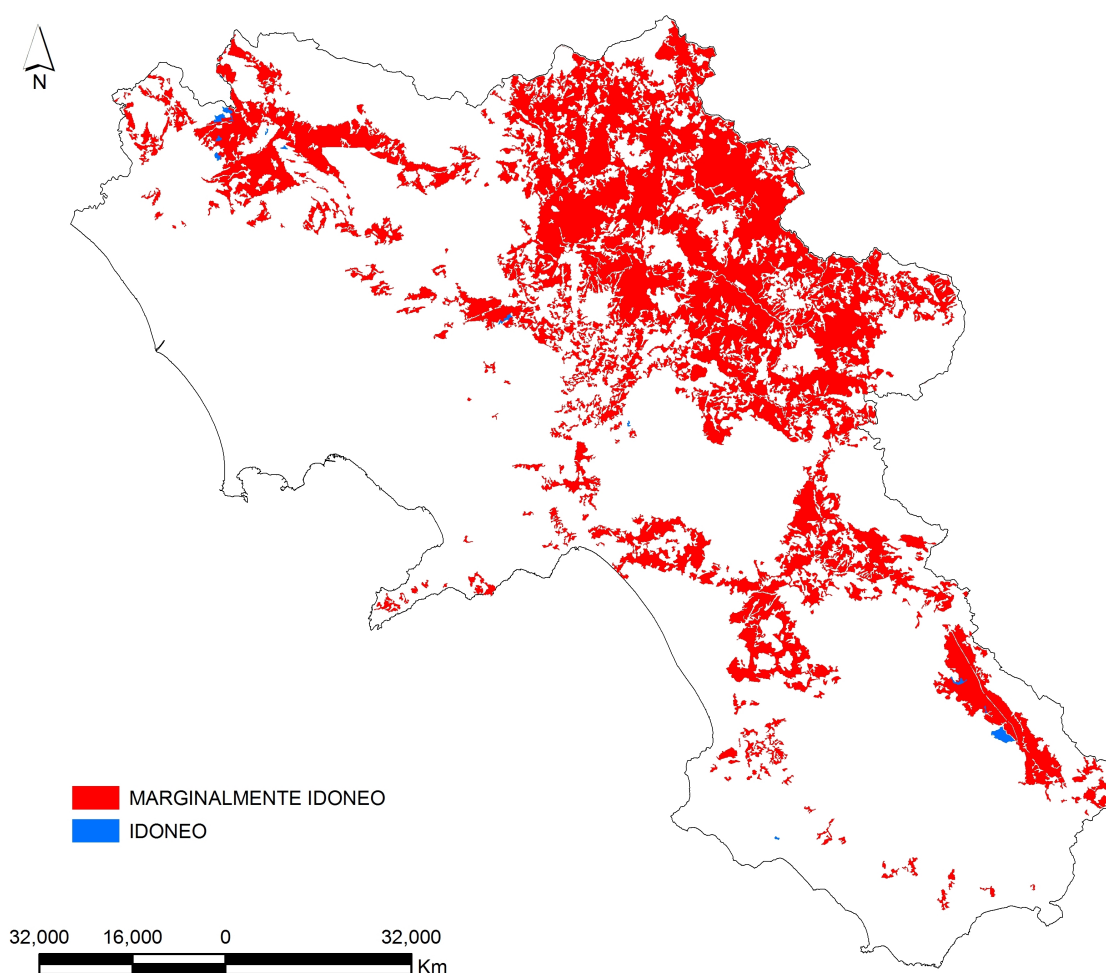
Regione Molise



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
47893	3325

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

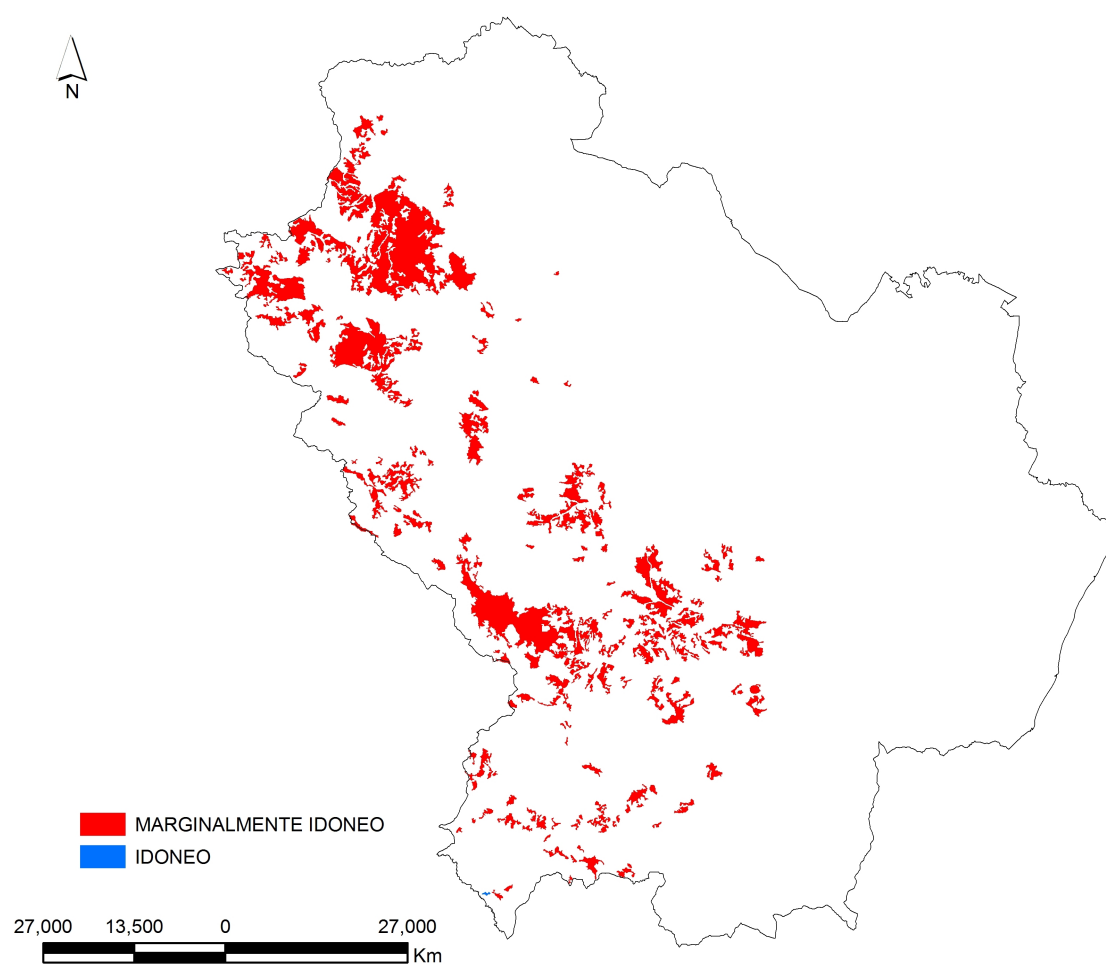
Regione Campania



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
288543	1212

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

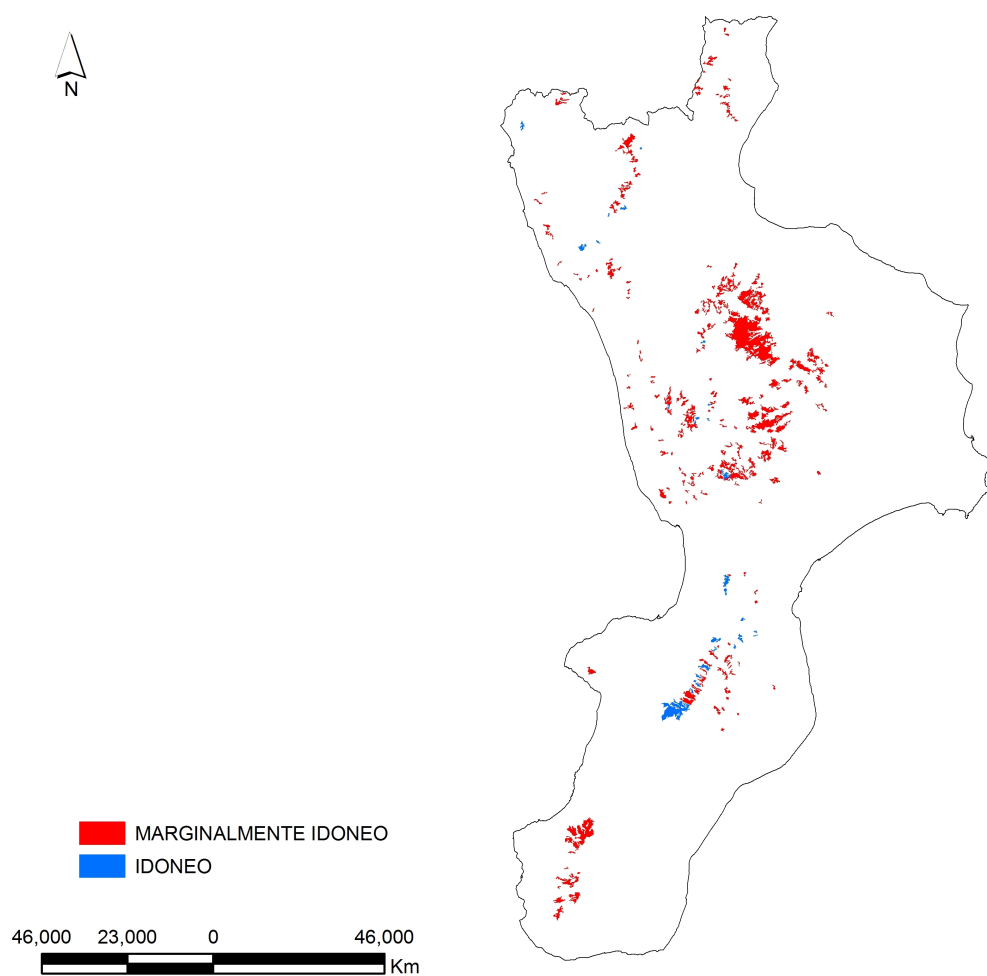
Regione Basilicata



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
61045	28

Ambiti territoriali idonei e marginalmente idonei per le colture SRF

Regione Calabria



Ambiti territoriali marginalmente idonei (ha)	Ambiti territoriali idonei (ha)
39567	4132

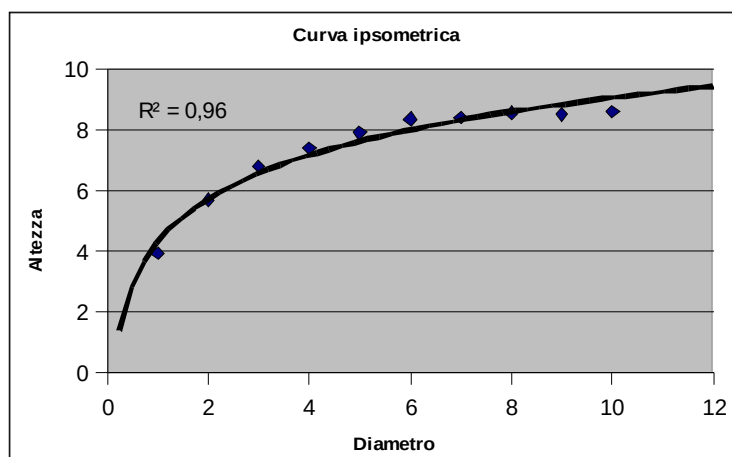
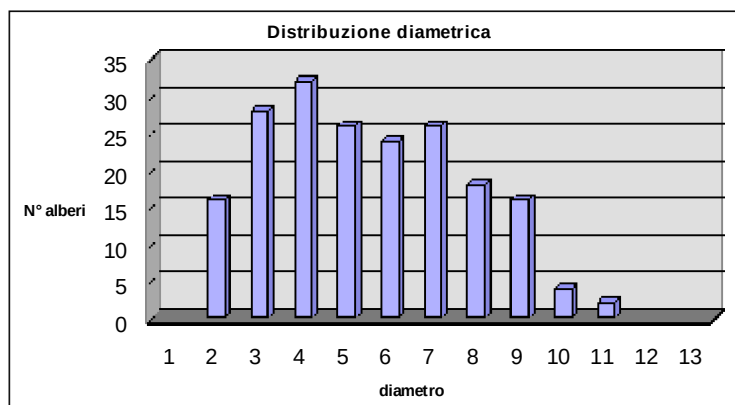
- Parametri dendrometrici -

Area n. 1

Regione	Lombardia
Provincia	Cremona
Comune	Cremona
Località	Gadesco Pieve di Mona
Anno d'impianto	2006
Sesto d'impianto	3.00 x 0.50 m
Clone	AF2

D med. (cm)	5,9
H med. (m)	7,9
% fallanze	9
N° polloni/ceppaia	1,1
G (m ²)	19,51
N° alberi/ha	7110

Diametri	N° alberi		g unit.	g tot.
1	0	0	0	0
2	16	32	0	0,01
3	28	84	0	0,02
4	32	128	0	0,04
5	26	130	0	0,05
6	24	144	0	0,07
7	26	182	0	0,1
8	18	144	0,01	0,09
9	16	144	0,01	0,1
10	4	40	0,01	0,03
11	2	22	0,01	0,02
12	0	0	0,01	0
13	0	0	0,01	0
totale	192	1050	0,064	0,527

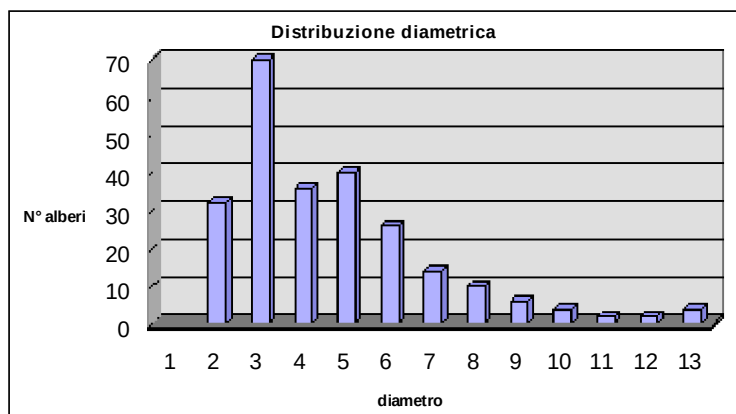
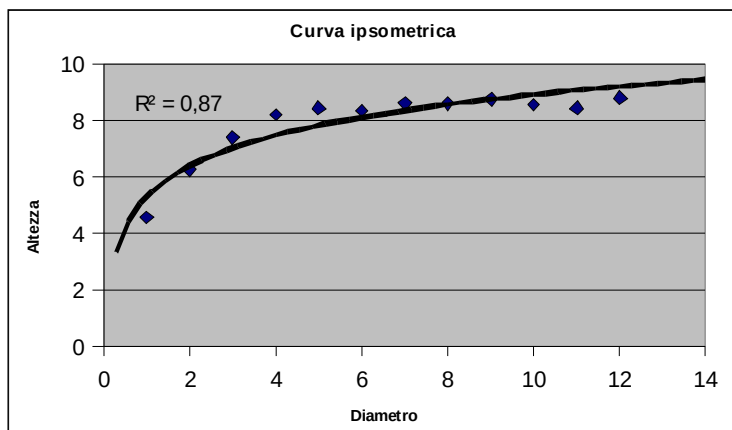


Area n. 2

Regione	Lombardia
Provincia	Cremona
Comune	Vidizzolo
Località	Cappella de Picenardi
Anno d'impianto	2006
Sesto d'impianto	3.00 x 0.50 m
Clone	AF2

D med. (cm)	5,2
H med. (m)	8,2
% fallanze	7
N° polloni/ceppaia	1,4
G (m ²)	19,45
N° alberi/ha	9110

Diametri	N° alberi		g unit.	g tot.
1	0	0	0	0
2	32	64	0	0,01
3	70	210	0	0,05
4	36	144	0	0,05
5	40	200	0	0,08
6	26	156	0	0,07
7	14	98	0	0,05
8	10	80	0,01	0,05
9	6	54	0,01	0,04
10	4	40	0,01	0,03
11	2	22	0,01	0,02
12	2	24	0,01	0,02
13	4	52	0,01	0,05
totale	246	1144	0,064	0,525

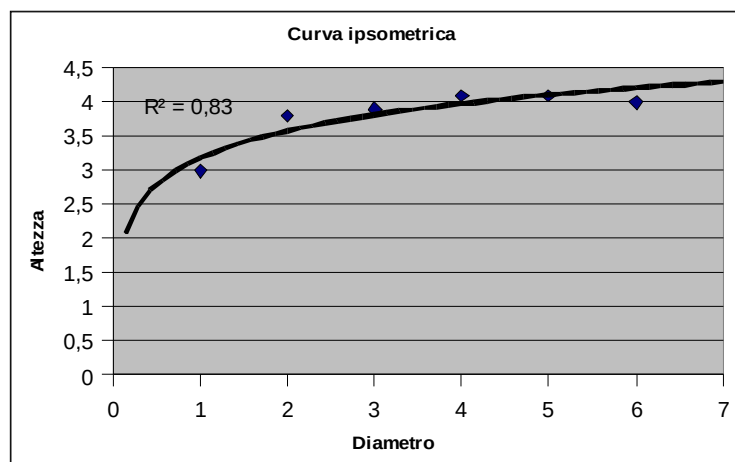
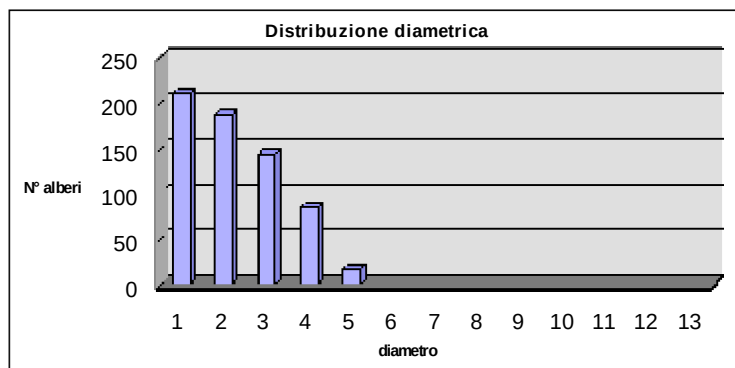


Area n. 4

Regione	Lombardia
Provincia	Cremona
Comune	Ostiano
Località	San Faustino
Anno d'impianto	2005
Sesto d'impianto	3.00 x 0.50 m
Clone	AF2

D med. (cm)	2,6
H med. (m)	3,8
% fallanze	4
N° polloni/ceppaia	2,6
G (m ²)	8,77
N° alberi/ha	17065

Diametri	N° alberi		g unit.	g tot.
1	210	210	0	0,03
2	187	374	0	0,06
3	143	429	0	0,1
4	84	336	0	0,11
5	16	80	0	0,03
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0,01	0
9	0	0	0,01	0
10	0	0	0,01	0
11	0	0	0,01	0
12	0	0	0,01	0
13	0	0	0,01	0
totale	640	1429	0,064	0,329

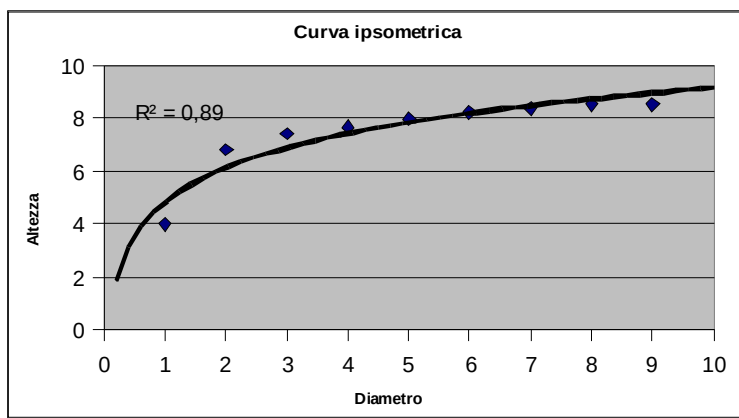
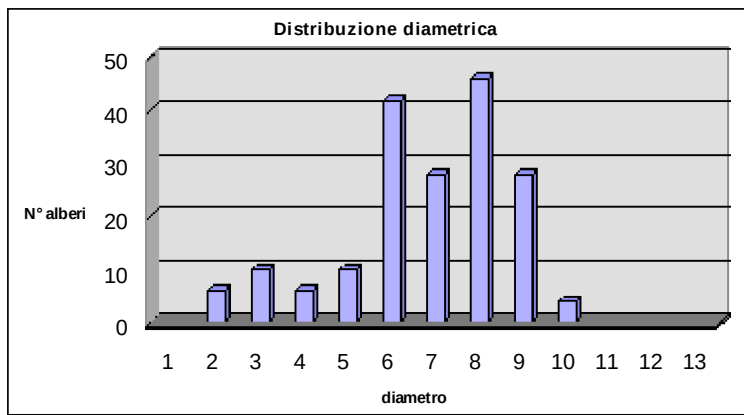


Area n. 7

Regione	Lombardia
Provincia	Cremona
Comune	Cremona
Località	Bosco ex parmigiano
Anno d'impianto	2006
Sesto d'impianto	3.00 x 0.50 m
Clone	AF2

D med. (cm)	7,1
H med. (m)	8,2
% fallanze	3
N° polloni/ceppaia	1,0
G (m²)	26,05
N° alberi/ha	6666

Diametri	N° alberi		g unit.	g tot.
1	0	0	0	0
2	6	12	0	0
3	10	30	0	0,01
4	6	24	0	0,01
5	10	50	0	0,02
6	42	252	0	0,12
7	28	196	0	0,11
8	46	368	0,01	0,23
9	28	252	0,01	0,18
10	4	40	0,01	0,03
11	0	0	0,01	0
12	0	0	0,01	0
13	0	0	0,01	0
totale	180	1224	0,064	0,703

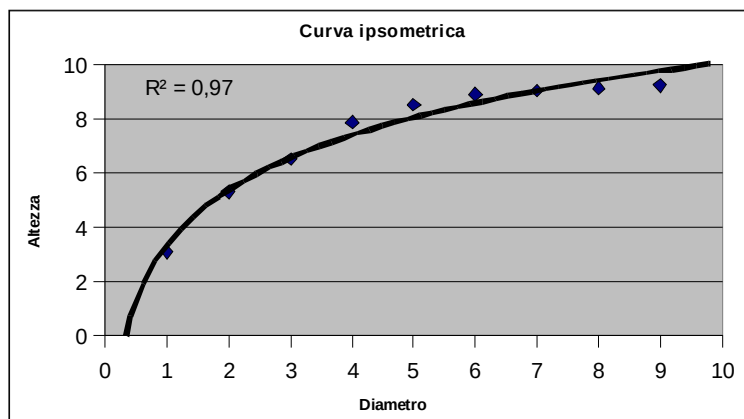
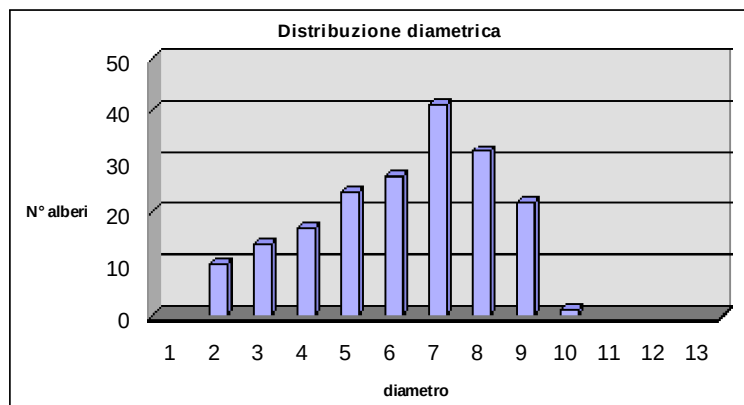


Area n. 8

Regione	Lombardia
Provincia	Cremona
Comune	Sesti ed Uniti
Località	Casanova del Morbasco
Anno d'impianto	2006
Sesto d'impianto	3.00 x 0.50 m
Clone	AF2

D med. (cm)	6,5
H med. (m)	8,5
% fallanze	3
N° polloni/ceppaia	1,0
G (m ²)	23,12
N° alberi/ha	6962

Diametri	N° alberi		g unit.	g tot.
1	0	0	0	0
2	10	20	0	0
3	14	42	0	0,01
4	17	68	0	0,02
5	24	120	0	0,05
6	27	162	0	0,08
7	41	287	0	0,16
8	32	256	0,01	0,16
9	22	198	0,01	0,14
10	1	10	0,01	0,01
11	0	0	0,01	0
12	0	0	0,01	0
13	0	0	0,01	0
totale	188	1163	0,064	0,624

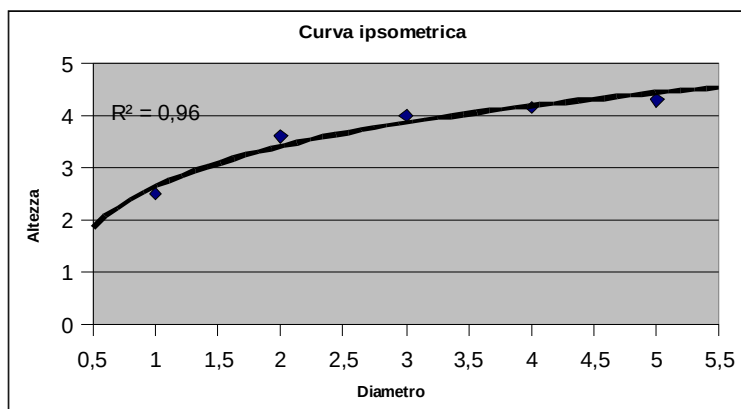
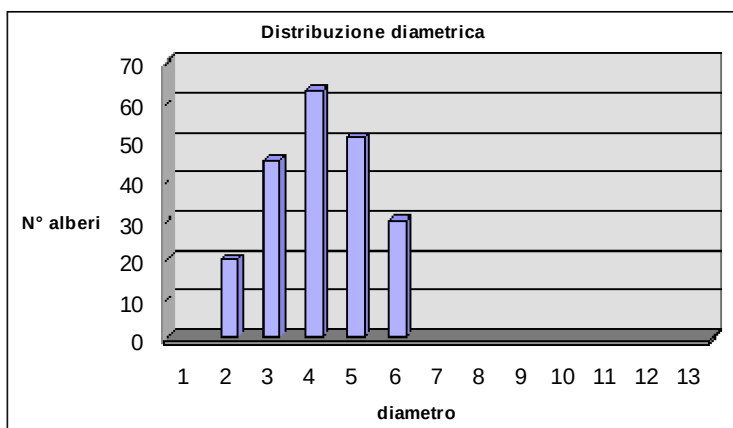


Area n. 11

Regione	Lombardia
Provincia	Cremona
Comune	Maccastorna
Località	Pinasco
Anno d'impianto	2007
Sesto d'impianto	3.00 x 0.50 m
Clone	AF2

D med. (cm)	4,3
H med. (m)	4,0
% fallanze	3
N° polloni/ceppaia	1,2
G (m ²)	11,19
N° alberi/ha	7740

Diametri	N° alberi		g unit.	g tot.
1	0	0	0	0
2	20	40	0	0,01
3	45	135	0	0,03
4	63	252	0	0,08
5	51	255	0	0,1
6	30	180	0	0,08
7	0	0	0	0
8	0	0	0,01	0
9	0	0	0,01	0
10	0	0	0,01	0
11	0	0	0,01	0
12	0	0	0,01	0
13	0	0	0,01	0
totale	209	862	0,064	0,302

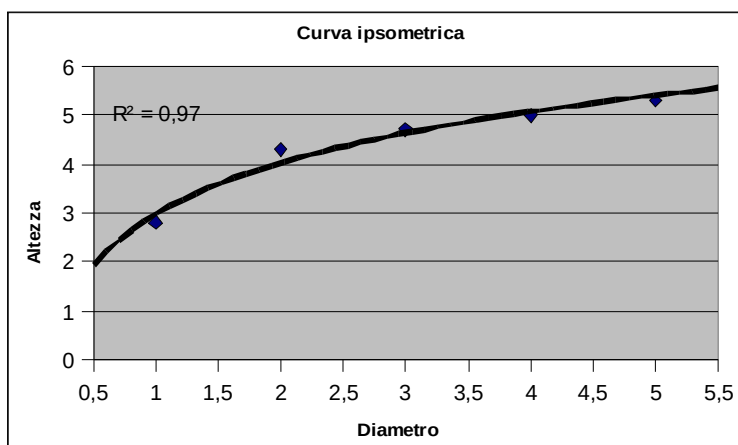
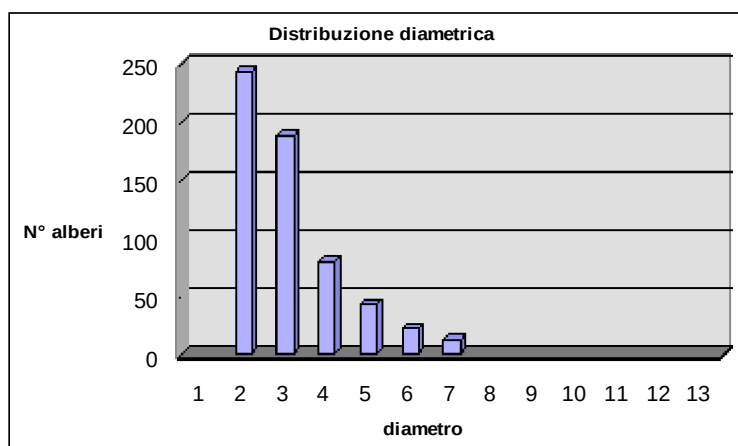


Area n. 25

Regione	Veneto
Provincia	Padova
Comune	Ponte San Nicolò
Località	Ponte San Nicolò
Anno d'impianto	2005
Sesto d'impianto	3.00 x 0.60 m
Clone	AF2

D med. (cm)	3,3
H med. (m)	4,7
% fallanze	7
N° polloni/ceppaia	3,3
G (m ²)	15,66
N° alberi/ha	18239

Diametri	N° alberi		g unit.	g tot.
1	0	0	0	0
2	244	488	0	0,08
3	189	567	0	0,13
4	80	320	0	0,1
5	43	215	0	0,08
6	22	132	0	0,06
7	13	91	0	0,05
8	0	0	0,01	0
9	0	0	0,01	0
10	0	0	0,01	0
11	0	0	0,01	0
12	0	0	0,01	0
13	0	0	0,01	0
totale	591	1813	0,064	0,507



Area n. 27

Regione	Veneto
Provincia	Padova
Comune	Albignasego
Località	Ponte lugano
Anno d'impianto	2007
Sesto d'impianto	3.00 x 0.60 m
Clone	AF2

D med. (cm)	4,5
H med. (m)	4,0
% fallanze	4
N° polloni/ceppaia	1,2
G (m ²)	10,49
N° alberi/ha	6543

Diametri	N° alberi		g unit.	g tot.
1	13	13	0	0
2	14	28	0	0
3	25	75	0	0,02
4	50	200	0	0,06
5	67	335	0	0,13
6	43	258	0	0,12
7	0	0	0	0
8	0	0	0,01	0
9	0	0	0,01	0
10	0	0	0,01	0
11	0	0	0,01	0
12	0	0	0,01	0
13	0	0	0,01	0
totale	212	909	0,064	0,340

