



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'AGRICOLTURA, LE
FORESTE,
LA NATURA E L'ENERGIA

Corso di Dottorato di Ricerca in

Scienze e tecnologie per la gestione forestale e ambientale - XXV Ciclo

Algoritmo per la gestione dei reflui zootecnici nel Sud Italia
(AGR/10)

Tesi di dottorato di:

Dott.ssa Stefania Pindoizzi

Coordinatore del corso

Prof.ssa Rosanna Bellarosa

Tutore

Prof. Lorenzo Boccia

Data della discussione

28 Maggio 2013

1	INTRODUZIONE	5
2	MATERIALI E METODI	9
2.1	Normative applicabili al contesto di studio.....	9
2.2	Definizioni.....	14
2.3	L'allevamento bufalino in regione Campania	16
2.4	Caratterizzazione dei reflui zootecnici.....	17
2.4.1	Caratterizzazione chimica dei reflui bufalini	19
2.5	Principali tecniche di gestione dei reflui zootecnici	21
2.5.1	La gestione del paddock.....	21
2.5.2	Trattamenti aerobici e anaerobici	23
2.5.3	Movimentazione, separazione S/L e stoccaggio dei reflui zootecnici.....	25
2.5.4	Tecniche di asportazione, stoccaggio e gestione dello spandimento dei reflui bufalini in regione Campania	29
2.5.5	Costi e tecniche di spandimento dei reflui bufalini	32
2.6	Il sito sperimentale.....	36
2.7	Gestione dei reflui nell'azienda di riferimento.....	37
2.7.1	Caratteristiche pedologiche e strutturali.....	37
2.7.2	Calendario e tecniche colturali	40
2.7.3	Trattamento, stoccaggio, trasporto e distribuzione dei reflui	43
2.7.4	Utilizzazione agronomica.....	48
2.8	Sistema di pesa sperimentale dei reflui.....	52
2.9	Dimensionamento del sistema di misura del peso dei reflui.....	54
2.10	Stazione agrometeorologica e acquisizione dei dati	57

2.11	Collegamento della stazione di misura e calibratura delle apparecchiature	61
2.12	Ulteriori misure	62
2.13	Attività di prelievo dei dati.....	64
2.14	Stima dell'evaporazione dei reflui dal paddock	64
2.14.1	Introduzione all'evapotraspirazione.....	65
2.15	Modello predittivo delle variazioni di peso dei reflui sulla pesa sperimentale	69
2.15.1	Accuratezza e performance dei modelli	70
2.15.2	Implementazione del modello più efficiente sulle serie storiche di dati meteo	71
3	RISULTATI E DISCUSSIONI	76
3.1	Software per la compilazione del modello di comunicazione.....	76
3.2	Costi e tempi di spandimento applicati all'azienda reale	77
3.3	L'evapotraspirazione nell'area studio.....	77
3.4	Caratterizzazione del clima sulla base delle serie storiche.....	83
3.4.1	Dati meteorologici.....	83
3.4.2	Classificazione del clima delle stazioni.....	86
3.1	Misure reflui ed altre misure aziendali.....	90
3.2	Risultati dell'analisi di dati	91
3.1	Predizione dei volumi su base annuale.....	94
4	CONCLUSIONI	97
5	BIBLIOGRAFIA	100

1 INTRODUZIONE

L'allevamento intensivo della bufala (*Bubalus bubalis*) riveste un ruolo fondamentale per l'economia della regione Campania. I dati Istat dell'ultimo censimento dell'agricoltura, riportano circa 260.000 capi allevati (ISTAT, 2010), mentre l'industria di trasformazione del latte ha un fatturato annuo di circa 500 M€ (Infascelli *et al.*, 2010). Conseguenza diretta del sempre crescente aumento della domanda di prodotti derivati dal latte di bufala, in primis la mozzarella, soprattutto sui mercati internazionali, è stato un incremento del numero di capi allevati per ettaro di azienda. Questo ha prodotto, nel tempo, un aumento dell'inquinamento da fonti diffuse (Non Point pollution Source, NPS) legato al contenuto di nutrienti (specialmente azoto) nelle aree di produzione.

Nel corso degli ultimi decenni, è stata osservata una significativa riduzione della qualità delle acque in più zone del mondo, nonostante siano stati fatti considerevoli sforzi per la riduzione delle fonti diffuse di inquinamento (NPS). Questa riduzione della qualità delle acque è stata attribuita ad un incremento di inquinamento da fonti diffuse, che sono a loro volta strettamente dipendenti dall'uso del suolo. In letteratura sono riportati molti casi riferiti a questa problematica (Haycock and Muscutt, 1995; Sims *et al.*, 1999; Arheimer *et al.*, 2004; Viaud *et al.*, 2004). C'è un generale accordo a considerare l'agricoltura come la principale fonte di NPS riguardo ai nutrienti nelle acque sotterranee e superficiali (Sharpley *et al.*, 1994; Frost, 1999; Rekolainen *et al.*, 1999; Sims *et al.*, 1999).

L'attuale gestione integrata dei reflui zootecnici, mirata alla prevenzione dell'inquinamento da fonti diffuse, comporta l'utilizzazione agronomica in campo (Burton e Turner, 2003; Infascelli *et al.*, 2009; Infascelli *et al.*, 2007). Tuttavia, la

limitata disponibilità di superfici agricole nelle aree limitrofe agli allevamenti, pone un problema enorme in termini di costi, tempi, attrezzature e impatti ambientali. A ciò si aggiunge il problema dell'elevata volatilità dell'azoto, sotto forma di ammoniacale, durante le operazioni di spandimento in campo. In particolare quando si utilizza un sistema relativamente economico come il piatto deviatore, è stata stimata una volatilizzazione anche del 68%, dell'azoto ammoniacale, se lo spandimento viene effettuato nelle ore più calde della giornata (Huijsmans *et al.*, 2001; Huijsmans *et al.*, 2003; Webb *et al.*, 2010).

Uno studio sui reflui zootecnici in regione Campania (Infascelli *et al.*, 2009) esamina la distribuzione dei capi sul territorio della provincia di Caserta e la concentrazione attesa di nitrati nelle falde. Il confronto con i dati rilevati in oltre 100 pozzi, dimostra che non v'è correlazione tra l'inquinamento misurato e quello atteso in base alla distribuzione dei capi. Da ciò emergono due considerazioni: la prima è che il contenuto di azoto nei reflui bufalini potrebbe non essere quello atteso e previsto dalle normative. La seconda è che, a causa degli elevati costi di gestione o di difficoltà operative legate ai cicli colturali, la pratica dello spandimento in campo sia poco perseguita dagli allevatori, contravvenendo alle vigenti normative.

Approfondendo la prima possibilità, si è rilevato che, nel caso degli effluenti bufalini, il contenuto di azoto è circa il 50% in meno di quanto riportato in letteratura per gli effluenti bovini (Campanile *et al.*, 2010; Pindozi *et al.*, 2012). In conseguenza a questi studi, da cui è scaturita una nuova disciplina regionale di gestione, sono stati rivalutati anche i costi per lo spandimento. L'argomento, già discusso in letteratura per le altre specie (Provolo, 2000) è stato approfondito per la bufala mediterranea (Faugno *et al.*, 2012) e si è rilevato che i costi sono molto più elevati e se paragonati ai benefici agronomici ottenibili con una concimazione chimica divengono talvolta antieconomici.

Tutto ciò ha condotto alla convinzione che per valutare quale sia la migliore strategia di gestione, è necessario conoscere l'andamento nel tempo,

dell'evaporazione dei reflui depositi al suolo. Difatti, per ridurre i costi di gestione potrebbe essere conveniente minimizzare l'uso del raschiatore nei periodi più caldi dell'anno per sfruttare la naturale evaporazione in situ. Riducendo i volumi da dover gestire, è possibile ridurre sia il problema economico sia per alcuni versi, ridurre gli impatti ambientali.

Il presente lavoro di tesi affronta la gestione dei reflui zootecnici, partendo da una disamina delle principali tecniche di gestione e dalla caratterizzazione del refluo stesso soprattutto per quanto riguarda il contenuto di nutrienti. Questa prima parte del lavoro, occorre per evidenziare l'incidenza sugli oneri di gestione della concentrazione dei nutrienti e delle quantità da dover impiegare agronomicamente. A tal fine si è ritenuto anche di produrre un software redatto in linguaggio visuale (Visual Basic), utile sia a generare il modello di comunicazione per l'utilizzazione agronomica degli effluenti zootecnici, sia ad aiutare gli allevatori nella gestione dei reflui.

La seconda parte della tesi è mirata alla individuazione delle condizioni opportune per sfruttare la naturale evaporazione dei reflui, massimizzandola quando è possibile. Ciò per ridurre i costi di gestione e i fabbisogni di carburante per lo spandimento, evitando l'introduzione di ulteriori fasi di trattamento.

Per questa seconda parte è necessaria l'implementazione di un algoritmo per la previsione dell'evaporazione dei reflui zootecnici nella zona di stabulazione degli animali, basato sui modelli di evapotraspirazione potenziale, utile all'ottimizzazione delle attività di gestione dei reflui stessi.

L'importanza dell'ottimizzazione dei quantitativi è valutabile non solo in termini assoluti di costi. Infatti non v'è solo un interesse economico ed ambientale ma v'è anche un'effettiva difficoltà gestionale. Le aziende, non solo in Campania, si trovano a dover gestire in limitati periodi dell'anno, grandi quantitativi, in periodi concomitanti con lavorazioni o semine. Certo in Campania v'è la consuetudine della coltura invernale oltre a quella estiva, che aggrava il problema e quindi la riduzione dei quantitativi diviene strategica. comunque in tutta Europa

la problematica è sentita e da anni si cerca di favorire la corretta gestione del problema, a partire dalla Direttiva Nitrati sino alle più recenti best management practices (BMP). In questo spirito, i risultati di questa tesi possono condurre ad una diversa strategia gestionale e quindi ad una nuova BMP.

2 MATERIALI E METODI

2.1 Normative applicabili al contesto di studio

L'approccio alla gestione dei reflui è storicamente scaturito dai decreti connessi alla legge Merli e con la delibera del Comitato Interministeriale per la Tutela delle Acque del 8 maggio 1980 che imponeva il limite di 40 q di peso vivo per ettaro ai sensi dell'art. 17 della legge 24 dicembre 1979 n. 650. Quindi, storicamente, un rapporto tra capi e superficie, indipendentemente dall'uso (non risulta che mai questa delibera sia stata esplicitamente annullata e pertanto in sede di contenzioso potrebbe ancora essere cogente).

L'origine di queste norme è stato l'inquinamento delle acque, soprattutto in Pianura Padana, ma anche in tutta Europa. Ciò ha spinto inizialmente verso i sistemi di depurazione e quindi negli anni '80 verso la logica dei "Piani di spandimento". Anche in questo caso è un rapporto brutto capi e superficie prescindendo dall'ordinamento colturale e quindi dal fabbisogno di nutrienti delle colture.

Anche la direttiva nitrati degli anni '90 partiva dall'inquinamento delle acque, dai problemi di eutrofizzazione, dall'accumulo dei nitrati in falda. L'attenzione era sull'acqua che mobilita i nutrienti e li trasferisce nelle falde e

nei recettori. I "Piani di concimazione" disciplinati dagli anni '90 (in Campania dal 2003), partivano dal considerare i problemi dei nitrati e del fosforo. L'enfasi è stata sul valore agronomico dei reflui. L'attenzione è comunque stata al controllo degli inquinanti nell'acqua.

La direttiva CEE 91/676, nota come "direttiva nitrati", è la prima normativa a livello europeo relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. La direttiva mira a:

- ridurre l'inquinamento delle acque causato direttamente o indirettamente dai nitrati di origine agricola;
- prevenire qualsiasi ulteriore inquinamento di questo tipo.

La Direttiva nitrati impone alle regioni l'individuazione, nel proprio territorio, delle zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola e prevede che esse definiscano programmi di azione da applicare all'interno di tali zone.

In base al Testo Unico in materia ambientale D. Lgs 152/06 (Sezione II - Tutela delle acque dall'inquinamento, Titolo I - Principi generali e competenze, art. 74, comma 1, lettera p) si definisce con utilizzazione agronomica "la gestione di effluenti di allevamento, acque di vegetazione residue dalla lavorazione delle olive, acque reflue provenienti da aziende agricole e piccole aziende agro-alimentari, dalla loro produzione fino all'applicazione al terreno ovvero al loro utilizzo irriguo o fertirriguo, finalizzati all'utilizzo delle sostanze nutritive e ammendanti nei medesimi contenute".

Per quanto concerne l'utilizzazione agronomica degli effluenti zootecnici, in Campania vige quanto riportato dalla Legge regionale n° 14 del 22 novembre 2010 e dal Decreto ministeriale 7 aprile 2006, recepito con DGR n°120 del 9 febbraio 2007. In Campania l'impossibilità allo spandimento va dal 1° Dicembre al 28 Febbraio, fermo restando il rispetto delle altre limitazioni previste, per gli altri periodi, dal D.G.R. 610/03.

Inoltre, con la Delibera regionale n°583 del 02/08/2010, sono state apportate delle integrazioni relative al contenuto in azoto ed al volume degli effluenti prodotti dall'allevamento bufalino, in base a risultati sperimentali ottenuti proprio da queste ricerche, nell'ambito di una convenzione tra la Regione Campania e l'Università di Napoli Federico II.

Il D.Lgs n. 152 del 3 aprile 2006 e ss.mm.ii, della Legge Regionale n. 14 del 22 novembre 2010 ad oggetto *“Tutela delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati di origine agricola”* e il *“DM del 7 aprile 2006”*, fissano i criteri e le norme tecniche relative alle attività di utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue provenienti dalle piccole aziende agroalimentari. In tali decreti sono dettati, altresì, i criteri e le norme tecniche relative alle attività di utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, dei concimi e degli ammendanti organici nei terreni ubicati nelle Zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola vigenti in Regione Campania, in conformità all'art. 91 del D.Lgs n. 152/2006 e ss.mm.ii e al *“Programma d'azione della Campania”* vigente.

Resta fermo quanto previsto dall'art. 91 sulle aree sensibili, dall'art. 92 sulle zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola, dall'art 94 sulla disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano del D.Lgs n. 152/2006 e ss.mm.ii e dal D.Lgs n. 128/2010 per gli impianti di allevamento intensivo.

L'utilizzazione agronomica dello stallatico, effettuata ai sensi dei su citati provvedimenti, non necessita del documento commerciale, dell'autorizzazione sanitaria, dell'identificazione specifica e del riconoscimento degli impianti di immagazzinaggio.

L'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento è finalizzata al recupero delle sostanze nutritive ed ammendanti contenute negli stessi effluenti. Essa è consentita purché siano garantiti:

- a) la tutela dei corpi idrici e, per gli stessi, il non pregiudizio del raggiungimento degli obiettivi di qualità di cui agli art. 76 e successivi del D.Lgs n. 152/2006;
- b) la produzione, da parte degli effluenti, di un effetto concimante e/o ammendante sul suolo e l'adeguatezza della quantità di azoto efficiente applicata e dei tempi di distribuzione ai fabbisogni delle colture;
- c) il rispetto delle norme igienico sanitarie, di tutela ambientale e urbanistiche.

La Regione Campania promuove, anche nell'ambito delle attività dell'Assessorato Agricoltura, ricerche e sperimentazioni relative alle modalità di trattamento dei reflui al fine di razionalizzare gli apporti di azoto.

L'utilizzo dei liquami, ai sensi dell'art. 5 del DM del 7 aprile 2006 è vietato:

- a) sui terreni con pendenza media superiore al 10%, con riferimento ad un'area aziendale omogenea. Detta pendenza può essere aumentata fino al 20% a condizione che tali terreni presentino adeguate sistemazioni idraulico agrarie atte ad evitare fenomeni di ruscellamento ed erosione e si adottino tecniche di spandimento come di seguito riportate:
 - a.1. dosi di liquami frazionate in più applicazioni;
 - a.2. sui seminativi in prearatura, l'iniezione dei liquami nel suolo o lo spandimento superficiale a bassa pressione con interrimento entro le 12 ore;
 - a.3. sulle colture prative, l'iniezione diretta dei liquami nel suolo, ove tecnicamente possibile, o lo spandimento a raso;

- a.4. su colture cerealicole o di secondo raccolto, lo spandimento dei liquami a raso in bande o superficiale a bassa pressione in copertura.
- b) entro 10 metri dalle sponde dei corsi d'acqua;
 - c) entro 10 metri di distanza dall'arenile per le acque marino costiere e lacustri;
 - d) entro 10 metri dalle strade ed entro 100 metri dagli immobili adibiti a civile abitazione, a meno che i liquami, al fine di evitare le emissioni sgradevoli, non vengano interrati contestualmente allo spandimento;
 - e) nei casi in cui i liquami possano venire a diretto contatto con i prodotti destinati al consumo umano;
 - f) in orticoltura, a coltura presente, nonché su colture da frutto a meno che il sistema di irrigazione non consenta di salvaguardare integralmente la parte aerea delle piante;
 - g) dopo l'impianto della coltura nelle aree adibite a parchi o giardini pubblici, o campi da gioco, utilizzate per la ricreazione o destinate in genere ad uso pubblico;
 - h) su colture foraggere nelle tre settimane precedenti lo sfalcio del foraggio o il pascolamento.

Inoltre è vietato l'utilizzo dei liquami dal 1° dicembre fino alla fine del mese di febbraio dell'anno successivo.

Infine, relativamente alla Regione Campania, con DRD n. 160 del 22.04.2013 del Settore SIRCA, in corso di pubblicazione sul BURC, è stato approvato l'Allegato tecnico alla "Disciplina tecnica regionale per l'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue derivanti da aziende di cui all'art. 101, comma 7, lettere a), b), c) del d.lgs n. 152/2006 e da

piccole aziende agroalimentari", in attuazione dell'art. 3 della legge regionale 22 novembre 2010, n. 14 "Tutela delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati di origine agricola".

Nell'Allegato tecnico sono contenute le modalità operative per l'emanazione della deroga al divieto temporale di spandimento, la ripartizione dell'azoto nei reflui in seguito ad alcune tipologie di trattamento, i quantitativi di azoto in alcune acque reflue, le direttive tecniche ed amministrative per l'elaborazione del Piano di Utilizzazione Agronomica (PUA) di obbligatoria presentazione per alcune tipologie di aziende zootecniche (www.agricoltura.regione.campania.it).

2.2 Definizioni

Nel seguito si riportano le definizioni indicate dal D.M. 7 Aprile 2006 n.209 di cui si riportano le principali voci:

- **Stallatico** ai sensi del Regolamento CE 1774/2002 e sue modificazioni, gli escrementi e/o l'urina di animali di allevamento, con o senza lettiera, o il guano, non trattati o trattati;
- **Effluente zootecnico:** consiste essenzialmente nelle deiezioni, liquide e solide degli animali, mescolate con le eventuali lettiere, a cui si aggiungono acque di bevanda e di lavaggio, residui di alimento ecc. ecc.
- **Effluenti di allevamento palabili/non palabili Effluenti solidi (palabili):** miscele di stallatico e/o residui alimentari e/o perdite di abbeverata e/o acque di veicolazione delle deiezioni e/o materiali lignocellulosici utilizzati come lettiera in grado/non in grado, se disposti in cumulo su platea, di mantenere la forma geometrica ad essi conferita;

- **Liquami:** effluenti di allevamento non palabili. Sono assimilati ai liquami, se provenienti dall'attività di allevamento:
 - a. i liquidi di sgrondo di materiali palabili in fase di stoccaggio;
 - b. i liquidi di sgrondo di accumuli di letame;
 - c. le deiezioni di avicoli e cunicoli non mescolate a lettiera;
 - d. le frazioni non palabili, da destinare all'utilizzazione agronomica, derivanti da trattamenti di effluenti zootecnici di cui all'allegato I, tabella 3, del D.M. 209/06;
 - e. i liquidi di sgrondo dei foraggi insilati.

Le acque di lavaggio di strutture, attrezzature ed impianti zootecnici, se mescolate ai liquami definiti alla presente lettera e qualora destinate ad utilizzo agronomico, sono da considerare come liquami;

- **Letami:** effluenti di allevamento palabili, provenienti da allevamenti che impiegano la lettiera; sono assimilati ai letami, se provenienti dall'attività di allevamento:
 - a. le lettiere esauste di allevamenti avicunicoli;
 - b. le deiezioni di avicunicoli anche non mescolate a lettiera rese palabili da processi di disidratazione naturali o artificiali che hanno luogo sia all'interno, sia all'esterno dei ricoveri;
 - c. le frazioni palabili, da destinare all'utilizzazione agronomica, risultanti da trattamenti di effluenti zootecnici di cui all'allegato I, tabella 3 del D.M. 209/06;
 - d. i letami, i liquami e/o i materiali ad essi assimilati, sottoposti a trattamento di disidratazione e/o compostaggio.

2.3 L'allevamento bufalino in regione Campania

La consistenza degli allevamenti in regione Campania è riportata in Figura 2-1. Tra le varie specie allevate, quella di maggiore rilievo produttivo ed economico è senz'altro la bufala mediterranea (*Bubalus bubalis*), che si concentra soprattutto nelle province di Caserta e Salerno come riportato in Tabella 2-1.

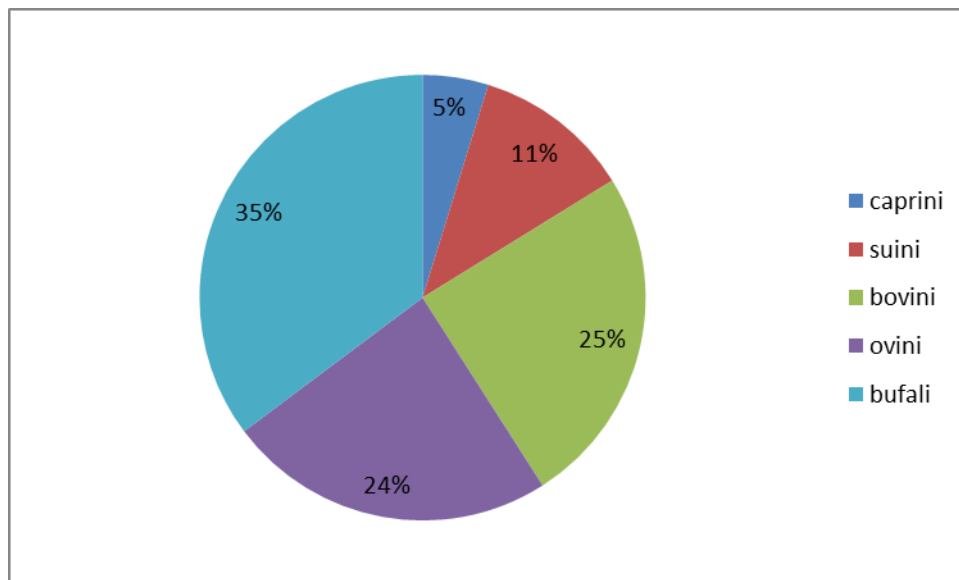


Figura 2-1: Capi allevati in Campania (Assessorato agricoltura Regione Campania – Settore SIRCA – 3 marzo 2013)

Tabella 2-1: Allevamenti bufalini in Campania (Banca dati Teramo - dati al 30 dicembre 2008)

PROVINCIA	Aziende	Capi	Aziende in ZVN*	Capi in ZVN
AVELLINO	9	466	1	71
BENEVENTO	24	1.176	-	-
CASERTA	1.064	181.121	257	41.133
NAPOLI	18	2.536	7	1.247
SALERNO	541	77.750	34	4.941
TOTALE	1.656	263.049	293	47.392

*ZVN = Zone vulnerabili ai nitrati

Inoltre da dati censuari riferiti al territorio nazionale, si evince come la Campania sia la regione con il maggior numero di capi allevati, circa il 75% del totale, seguita dalla regione Lazio con appena il 19% (ISTAT, 2012).

Tutto ciò ha determinato nel tempo un'unicità nella gestione dell'azienda, molto legata anche al contesto regionale, ma comunque derivata dalla specie bovina. Nel seguito si riportano le principali tecniche di gestione e di stoccaggio presenti nelle zone di maggiore diffusione dell'allevamento della bufala.

2.4 Caratterizzazione dei reflui zootecnici

Ai fini di una corretta gestione dei reflui zootecnici è necessario conoscerne le principali caratteristiche chimiche e fisiche. Attualmente le bufale sono assimilate alle bovine. Va premesso che il grande numero di fattori che influiscono sul volume e sulla composizione dei liquami rende difficile fornire dati certi sulle quantità prodotte dagli animali. Inoltre, lo stadio produttivo e l'alimentazione incidono sulla quantità giornalmente prodotta (*Sangiorgi et al., 1986*).

Le caratteristiche principali degli effluenti zootecnici che è necessario conoscere sono:

- il volume;
- le caratteristiche chimiche.

La determinazione del volume è necessaria ai fini di:

- dimensionare la capacità di stoccaggio;
- impostare correttamente i piani di concimazione;
- verificare se i volumi di reflui prodotti si discostano da quelli calcolati indirettamente;
- dimensionare gli impianti di trattamento dei reflui.

La determinazione delle caratteristiche chimiche è necessaria ai fini della:

- loro corretta utilizzazione nella fertilizzazione delle colture;
- individuazione delle tecniche di trattamento e per il dimensionamento degli impianti (Lazzerini, 2010).

Nelle tabelle seguenti si riporta la composizione attesa dei reflui zootecnici così come indicata in diversi studi europei:

Tabella 2-2: Media e range dei valori di composizione per differenti tipi di effluenti zootecnici riportati in diversi Paesi nell'ambito del progetto MATRESA (kg per m³) (Burton et al, 2003)

	Sostanza Secca		Azoto totale		Azoto Ammoniacale		Fosforo (come Ortofosfati)	
	Media	Range	Media	Range	Media	Range	Media	Range
<i>Liquame</i>								
Bovini	65	15-123	3,9	2,0-7,0	2,3	1,0-4,9	1,3	0,2-6,0
Maiali	51	15-92	4,8	1,2-8,2	3,5	1,9-6,1	2,0	0,3-5,0
Polli	170	10-300	11,1	2-18	5,2	1,9-7,8	8,9	0,9-15
<i>Letame</i>								
Bovini	208	140-300	5,3	4,2-8,1	1,2	0,3-2,0	2,4	1,1-4,8
Maiali	243	150-330	6,9	3,5-11	2,2	0,5-6,0	5,6	1,7-15
Polli	455	220-700	22,5	10-58	6,2	2,4-18	16,7	6,2-39

Tabella 2-3: Caratteristiche e composizione delle deiezioni tal quali di bovini e suini (Sangiorgi, 1986)

	Bovini			Suini		
	A	B	C	A	B	C
Deiezioni (D) tal quali kg/giorno	30-45	27-45	-	5,0-6,5	4,8-0,6	-
Solidi Totali (ST) (%D)	11,6-12,8	10-25	12,7-14,8	8,6-9,2	8,2-9,3	11,4-14,8
Solidi Volatili (%ST)	82-85	76-80	83-88	75-80	65-70	75-79
BOD ₅ (%ST)	16-23	15-22	12	30-33	18-42	20-25
COD (%ST)	88-95	65-95	126	90-95	66-93	57-87

A = American Society of Agricultural Engineers (ASAE)

B = AA.VV. francesi

C = Istituto di Chimica agraria - Milano

Tabella 2-4: Sostanza secca e alcune caratteristiche chimiche dei liquami di diverse specie animali (Di.Re.Zo., 2000)

	Sostanza secca (s.s.)	Solidi volatili (s.v.)	Azoto totale (N)	Fosforo totale (P₂O₅)	Potassio totale (K₂O)
	% t.q.	% s.s.		kg/m ³ t.q. (kg/t t.q.)	
Bovini da latte	7-10	75-85	2,5-3,5	0,8-1,5	3,5-7,0
Bovini da carne	10-16	75-85	3,5-4,0	0,8-2,5	4,5-7,0
Vitelli carne bianca	0,6-2,9	60-75	1,2-3,0	0,6-2,5	1,8-4,5

Più recentemente la Guido Rota Impianti riporta i seguenti valori:

Tabella 2-5: Caratteristiche e composizione delle deiezioni tal quali di bovini (www.rotaguido.it)

Parametro	Quantità
Solidi Totali (%)	10-25
Solidi Volatili (% su ST)	77-86
BOD ₅ (g/kg)	13-25
COD (g/kg)	70-120
pH	6,9-8,8

2.4.1 CARATTERIZZAZIONE CHIMICA DEI REFLUI BUFALINI

Il Decreto Ministeriale n. 209 del 7 Aprile 2006 non effettua distinzione tra le deiezioni bovine e quelle bufaline. Per entrambe difatti alla massa corporea di circa 550 kg assegna una produzione di azoto di circa 85 kg/anno comprensiva delle perdite per lo stoccaggio. Recenti studi fisiologici sulla bufala hanno mostrato che l'ingestione di azoto per quest'ultima è inferiore rispetto a quanto riportato in letteratura per la bovina da latte. Questo è spiegato sia dalla minore ingestione di sostanza secca che dai più bassi livelli proteici della dieta (Campanile *et al.*, 2010).

Il bilancio di azoto nella specie bufalina è riportato in Tabella 2-6. Il quantitativo medio prodotto da una bufala adulta è stimato essere mediamente di 56,7 kg/anno. Tale dato è derivato dal calcolo dell'ingestione media di sostanza secca e delle sue caratteristiche in termini di azoto ingerito e azoto ritenuto, effettuato su una bufala adulta in produzione per 270 giorni e in regime di asciutta, con una dieta razionata, per circa 100 giorni. Il dato è stato, inoltre, corretto per la fertilità media della mandria bufalina (circa 75%) che condiziona il numero di giorni di lattazione delle bufale. Per i capi in rimonta si stimano circa 32 kg di azoto prodotti in un anno (Campanile *et al.*, 1998; 2006).

Tabella 2-6: Bilancio di azoto (N) nella bufala adulta e nei soggetti in accrescimento (rimonta)

	Bufala adulta (kg)	Rimonta (kg)
Peso medio*	670	300
Ingestione sostanza secca**	4410	2409
Ingestione proteina grezza**	576	289
N ingerito	92,2	46,3
N ritenuto	13,5	1,9
Perdita di N per volatilizzazione (28%)	22	12,4
N escreto	56,7	31,9

*Il peso medio è stato calcolato per la bufala adulta considerando il 20% di incidenza di primipare e per la rimonta l'incidenza delle varie fasi di accrescimento.

**Calcolata in funzione delle razioni utilizzate nei diversi momenti fisiologici

I dati riferiti alla fisiologia della bufala hanno trovato conferma nelle analisi di laboratorio del Dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli Federico II riferite alle vasche di stoccaggio di circa 35 aziende nella provincia di Caserta. Il campionamento è stato eseguito con fondi dell'Assessorato all'agricoltura della Regione Campania nell'ambito progetto di ricerca dal titolo “Azioni per una strategia integrata di gestione di alcune biomasse prodotte in agricoltura”. Di seguito si riportano le concentrazioni medie di azoto totale ammoniacale e degli ortofosfati risultanti.

Tabella 2-7: Contenuti medi e deviazione standard (σ) di N_{tot} , $N\text{-NH}_3$, e PO_4 nei reflui bufalini

Caratteristiche chimiche	Quantità (mg/l)	σ
N_{tot}	1960	578,5
$N\text{-NH}_3$	504	190
PO_4	995	197

Il fattore per ricavare il fosforo nel PO_4 è 0,3262. Pertanto il $\text{PO}_4\text{-P}$ è 325 mg/l che evidenzia un rapporto N/P di 6:1 nel refluo bufalino.

2.5 Principali tecniche di gestione dei reflui zootecnici

Il sistema di gestione degli effluenti d'allevamento viene definito come l'insieme delle tecniche necessarie alla movimentazione, al trattamento e allo stoccaggio del liquame e/o del letame; i differenti sistemi di gestione prevedono dotazioni specifiche in opere edili, impianti e attrezzature (C.R.P.A. 2009).

2.5.1 LA GESTIONE DEL Paddock

La gestione della zona di riposo della stalla consiste nel periodico allontanamento delle deiezioni animali con sistemi di rimozione variabili a seconda del tipo di stabulazione dell'allevamento.

I diversi sistemi di asportazione delle deiezioni possono essere divisi in due gruppi:

- sistemi meccanici;

- sistemi idraulici.

I sistemi meccanici sono a loro volta suddivisi nei seguenti:

- a. mezzi manovrati direttamente dall'operatore, come trattrici con lama raschiante o ruspetta (questa tecnologia è molto impiegata in Campania);
- b. mezzi meccanici automatici quali raschiatori di varia tipologia (a ribaltina o a farfalla) e con differenti metodi di trascinamento (a catena o ad asta rigida). Lo scarico delle deiezioni movimentate dai sistemi meccanici può avvenire per semplice gravità in una fossa interrata, oppure in una cunetta trasversale dotata di trasportatore a moto continuo o alternato che convoglia il materiale alla concimaia, in abbinamento con un elevatore o sfruttando un dislivello naturale. Un'ulteriore possibilità è quella di prevedere all'esterno della stalla, in corrispondenza della fine della corsia, una piccola struttura interrata di accumulo temporaneo del letame misto a paglia, con rampa di accesso per il trattore che deve trasferire periodicamente il materiale alla concimaia.

Il secondo tipo di sistemi di asportazione delle deiezioni è costituita dai sistemi idraulici. Tali sistemi hanno cominciato ad essere applicati negli anni '70 e risultano ad oggi ancora poco diffusi rispetto ai sistemi meccanici. Nel settore bovino vengono generalmente proposti due diversi sistemi di asportazione:

- a. sotto-pavimento fessurato in fosse di veicolazione a scarico continuo;
- b. mediante ricircolo dei liquami (*flushing*), cioè utilizzando deiezioni già raccolte, chiarificate e stoccate, per la rimozione di quelle fresche depositate dagli animali. Da sottolineare che la tecnica di asportazione mediante ricircolo di liquame ha portato alla

conseguente applicazione nel settore bovino da latte di tecniche di separazione delle deiezioni, al fine di ottenere una frazione di liquame chiarificato da utilizzare come liquido di lavaggio (Gastaldo *et al.*, 2006).

2.5.2 TRATTAMENTI AEROBICI E ANAEROBICI

I trattamenti aerobici sono alla base della maggior parte degli impianti di depurazione esistenti. Nel caso dei reflui zootecnici, viceversa, questi trattamenti, se presenti, sono di solito, solo una parte del sistema in quanto i costi per giungere all'ossidazione e successiva rimozione dell'azoto per via aerobica sarebbero elevatissimi. Poiché il trattamento aerobico interviene in alcuni processi, un accenno ai principi di funzionamento viene dato. I principali sistemi di trattamento aerobici sono:

- *Aerazione*: la condizione principale per ciascun sistema di trattamento aerobico, sia per decomposizione di biomassa solida o liquida, è mantenere una fornitura di ossigeno sufficiente per i microrganismi;
- *Operazioni Batch e semi-batch*: Sono trattamenti non stazionari utilizzati sia per la frazione liquida che solida dei reflui zootecnici. Per il trattamento della prima si ha generalmente un singolo reattore che viene riempito, aerato e quindi completamente svuotato, questo comporta inevitabilmente un'ampia variazione dei livelli di aerazione. Per questo motivo tali trattamenti sono molto più comuni per gli impianti di compostaggio, e quindi per la frazione solida dei reflui;
- *Operazioni in continuo*: Sono i più usati per le frazioni liquide, meno per quelle solide. In genere si usano in quei casi in cui i quantitativi in ingresso sono più o meno costanti nella giornata.

Tra i trattamenti anaerobici il più diffuso è senz'altro la digestione anaerobica. Si tratta di un processo biologico che in assenza di ossigeno trasforma la sostanza organica in biogas, cioè una miscela costituita principalmente da metano e anidride carbonica.

L'azione di decomposizione avviene in due fasi:

1. la prima ad opera di diversi gruppi di microrganismi in grado di trasformare la sostanza organica essenzialmente in acido acetico, anidride carbonica ed idrogeno;
2. Nella seconda fase, in cui questi composti intermedi vengono trasformati in metano e anidride carbonica dai microrganismi metanigeni.

Il vantaggio del processo è che partendo da materia organica si ottiene energia rinnovabile sotto forma di un gas combustibile ad elevato potere calorifico. Il limite è dato invece dal fatto che i batteri anaerobi presentano basse capacità di crescita e di reazione, ciò significa che per ottenere buoni risultati l'ambiente di reazione deve essere tenuto il più possibile in condizioni ottimali.

I batteri metanigeni sono molto sensibili ai cambiamenti di pH ed hanno uno sviluppo ottimale per valori di pH tra 7-7,5, per valori inferiori a 6 si ha un'inibizione nel loro sviluppo, con conseguente accumulo degli acidi volatili.

L'impianto di trattamento non depura il refluo zootecnico ed inoltre è uso aumentare il carico in ingresso con silo mais o scarti dell'industria agroalimentare, per aumentare la resa in biogas. Ovviamente ciò aumenta i problemi gestionali del digestato.

Le tecniche di digestione anaerobica possono essere suddivise in due gruppi principali:

- *Digestione ad umido*, quando il substrato in digestione ha un contenuto di sostanza secca inferiore al 10%; è questa la tecnica più diffusa, in particolare con i liquami zootecnici;

- *Digestione a secco*, quando il substrato in digestione ha un contenuto di sostanza secca superiore al 20%.

Processi con valori intermedi di sostanza secca sono meno comuni e vengono in genere definiti a semisecco. Per esempio in un impianto svizzero studiato per questa convenzione avviene una separazione a monte del refluo zootecnico e le due frazioni sono digerite separatamente.

Il processo di digestione anaerobica è anche suddiviso in:

- processo monostadio: quando le fasi di idrolisi, fermentazione acida e metanigena avvengono contemporaneamente in unico reattore;
- processo bistadio: quando si ha un primo stadio durante il quale il substrato organico viene idrolizzato e contemporaneamente avviene la fase acida, mentre la fase metanigena avviene in un secondo momento.

Una ulteriore suddivisione dei processi di digestione anaerobica può essere fatta in base al tipo di alimentazione del reattore, che può essere continua o in discontinuo, e in base al fatto che il substrato all'interno del reattore venga miscelato o venga spinto lungo l'asse longitudinale attraversando fasi di processo via via diverse (flusso a pistone o plug-flow).

2.5.3 MOVIMENTAZIONE, SEPARAZIONE S/L E STOCCAGGIO DEI REFLUI ZOOTEKNICI

Al fine di massimizzare i benefici dovuti allo spandimento del refluo zootecnico, per consentire l'utilizzo dei nutrienti al suolo, è indispensabile effettuare questa operazione in periodi opportuni, è pertanto v'è l'esigenza di stoccare il liquame nella rimanente parte dell'anno. I tempi minimi di stoccaggio sono variabili da un paese all'altro dell'Europa.

Per il letame potrebbe essere opportuno aumentare il rapporto C/N al fine di ridurre gli odori e le emissioni di NH_3 . Questo incremento può essere ottenuto aumentando la quantità di materiale per la lettiera come ad esempio la paglia o un'altra fonte di fibre di carbonio. Va però sottolineato che ciò è difficile in Campania, soprattutto nel casertano e nel salernitano, in quanto la paglia è molto poco disponibile.

Lo sviluppo di biomassa in grado di degradare il carbonio organico porta ad un'immobilizzazione dell'azoto inorganico attraverso la sua incorporazione alla biomassa batterica, riducendo così le perdite per volatilizzazione dell'ammoniaca.

Un effetto simile lo si può ottenere attraverso la copertura dei cumuli al fine di ridurre gli scambi gassosi e la dilavazione dovuta alle piogge.

Lo stoccaggio di liquami rappresenta una delle maggiori fonti sia di cattivi odori che di emissioni di ammoniaca. Per esempio si ritiene che più del 50% dell'azoto iniziale contenuto nei liquami di maiale si perda a causa della volatilizzazione. La quantità di emissioni aumenta per stoccaggi con elevate superfici in cui il rapporto superficie/volume è molto alto.

Lo stoccaggio dei reflui è parte integrante delle attività di gestione dei reflui zootecnici, contribuendo alla messa in sicurezza igienico sanitaria, a garantire la protezione dell'ambiente e la corretta gestione agronomica degli effluenti stessi, rendendoli disponibili all'utilizzo nei periodi più idonei sotto il profilo agronomico e nelle condizioni adatte per l'utilizzazione, come riportato nel D.M. n. 209 del 7 Aprile 2006. Le modalità di stoccaggio e le strutture impiegate allo scopo variano soprattutto in base al contenuto di sostanza secca del materiale; si parla comunemente di *materiale palabile* quando il refluo accumulato mantiene una forma propria, potendo essere movimentato con una semplice pala meccanica, e di *materiale non palabile* quando il refluo deve essere stoccato in contenitori con pareti, prendendone la forma (Gastaldo *et al.*, 2006). Le caratteristiche dello stoccaggio e dell'accumulo, nel caso dei materiali palabili, così come le

caratteristiche e il dimensionamento dei contenitori per lo stoccaggio, nel caso di materiali non palabili, sono riportate nel già citato D.M. 209 del 7 Aprile 2006.

Al fine di migliorare l'utilizzo e ridurre i costi di trasporto dei reflui zootecnici, è possibile procedere ad un'operazione di separazione da cui ottenere una frazione solida, secca e ricca di nutrienti ed una frazione liquida.

I metodi di separazione sono vari, tra i quali si distinguono tecniche semplici e meno costose quali:

- separazione meccanica;
- sedimentazione;
- centrifuga;

cui si aggiungono tecniche più complesse e costose quali

- trattamenti biologici;
- evaporazione;
- ultrafiltrazione;
- osmosi inversa.

Uno dei parametri di maggiore importanza di questi sistemi è l'efficienza di separazione che viene intesa come la capacità del separatore di separare il refluo in una frazione solida, secca e ricca di nutrienti ed una frazione liquida contenente invece pochissima sostanza secca e pochissimi nutrienti. Generalmente l'efficienza di separazione viene valutata considerando la quantità di nutrienti contenuti nella frazione solida ed il rapporto tra quest'ultima e la quantità di nutrienti nella frazione liquida.

In regione Campania, uno studio condotto dal Dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli Federico II e finanziato dalla regione Campania ha rilevato una scarsa diffusione della tecnica di separazione solido-liquido. Difatti,

solo il 26% degli allevamenti bufalini campionati possiede un separatore solido-liquido, cui si aggiunge un ulteriore 28% delle aziende che effettua una separazione per gravità, con vasche poste a quota differente.

Le due principali tipologie di separatori utilizzati sono:

- Separatore a rulli (60% del campione);
- Separatore a vite elicoidale (40% del campione).



Figura 2-2: a) separatore a rulli con vista della corsia del separato solido; b) particolare del separatore a rulli



Figura 2-3: Separatore a vite elicoidale (www.ersaf.lombardia.it)

2.5.4 TECNICHE DI ASPORTAZIONE, STOCCAGGIO E GESTIONE DELLO SPANDIMENTO DEI REFLUI BUFALINI IN REGIONE CAMPANIA

L'asportazione meccanica è tuttora poco perseguita essendo generalmente effettuata con lama raschiante o ruspetta sebbene essa crei disturbo agli animali.

Per quanto attiene alle metodologie utilizzate per la movimentazione e lo stoccaggio del refluo, esse variano soprattutto in base al contenuto di sostanza secca del materiale.

I reflui palabili, vengono generalmente stoccati all'interno dei ricoveri zootecnici ed asportati periodicamente, con operazioni piuttosto onerose, mediante trattrice munita di apposita benna e trattrice con carro con pianale e sponde. Non sempre è presente la letamaia che consentirebbe la maturazione corretta del letame.

Lo stoccaggio reflui non palabili (liquami) viene attuato in apposite vasche di varie dimensioni, forma e materiali costruttivi. Poche aziende hanno lagoni in terra battuta con eventuale rivestimento plastico impermeabile.

Una delle maggiori criticità nella conduzione degli allevamenti bufalini in Campania è sicuramente il problema della gestione e successivo spandimento in campo degli effluenti essendo elevato il carico di azoto rispetto alle superfici aziendali disponibili. Difatti considerando il quantitativo di N prodotto da ogni capo (56,7 kg/anno), la consistenza totale delle mandrie (261.000 capi), e le superfici necessarie per l'utilizzazione agronomica, riportati in Tabella 2-8, ci si accorge dell'entità del problema.

Tabella 2-8: Azoto prodotto da allevamenti bufalini in Campania (*Assessorato agricoltura Regione Campania – Settore SIRCA – 3 marzo 2013*)

Azoto bufalino in Campania (t/anno)	SAU necessaria in Zona Ordinaria (ha)	SAU necessaria in Zona Vulnerabile (ha)	SAU Regionale (ha)
~15.000	~ 43.500	~87.000	549.270

Uno studio territoriale di Infascelli *et al.* (2009, 2010), riferito alla sola provincia di Caserta, riporta la distribuzione spaziale della densità media di azoto, prodotta in un anno dalle aziende esistenti sul territorio. Le aziende sono state individuate mediante elaborazione di foto aeree, la spazializzazione dei dati è stata ottenuta attraverso una funzione di convoluzione (Figura 2-4). In alcune aree si raggiungono carichi di azoto per ettaro insostenibili (400-500 kg/ha), molto superiore ai limiti legislativi.

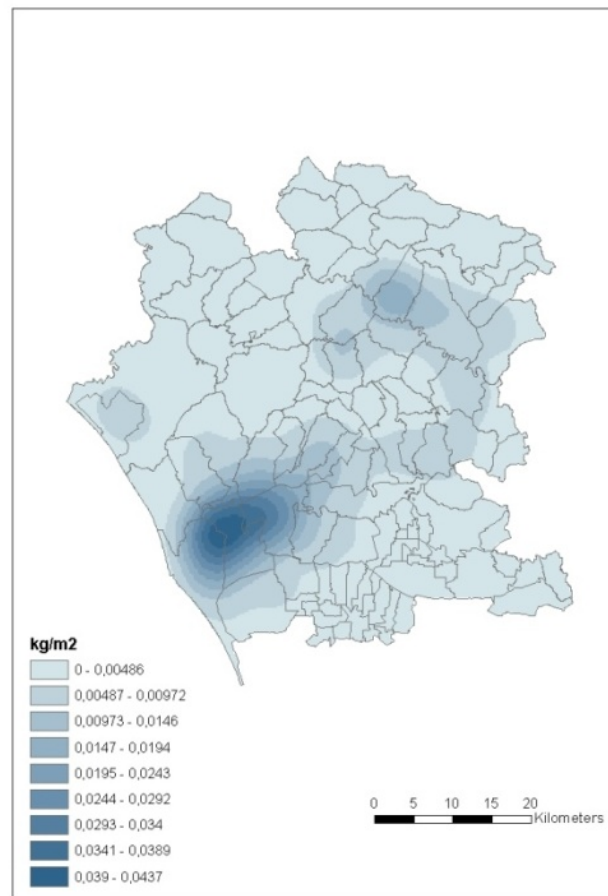


Figura 2-4: Distribuzione spaziale dell'azoto prodotto dalle aziende annualmente, ottenuta attraverso una funzione di convoluzione (*Infascelli et al. 2010*)

Tutto ciò determina la necessità di ricorrere a superfici extra aziendali, spesso distanti, per effettuare lo spandimento del refluo nel rispetto delle normative vigenti.

Il trasporto del liquame per le sue prerogative è complesso ed oneroso e a dir il vero diventa quasi improponibile quando la distanza che intercorre tra la zona di spandimento e il centro aziendale supera i 2 km (Provolo, 2000).

Altro aspetto da considerare è legato al fatto che gran parte della superficie zootecnica regionale ricade in zone vulnerabili ai nitrati, in cui la vigente normativa abbassa il limite da 340 kg/ha/anno a 170 kg/ha/anno in termini di carico massimo di azoto distribuibile annualmente.

Viene riportata una rappresentazione grafica della consistenza e della variazione delle ZVN in Campania tra il 2003 e il 2013 (Figura 2-5).

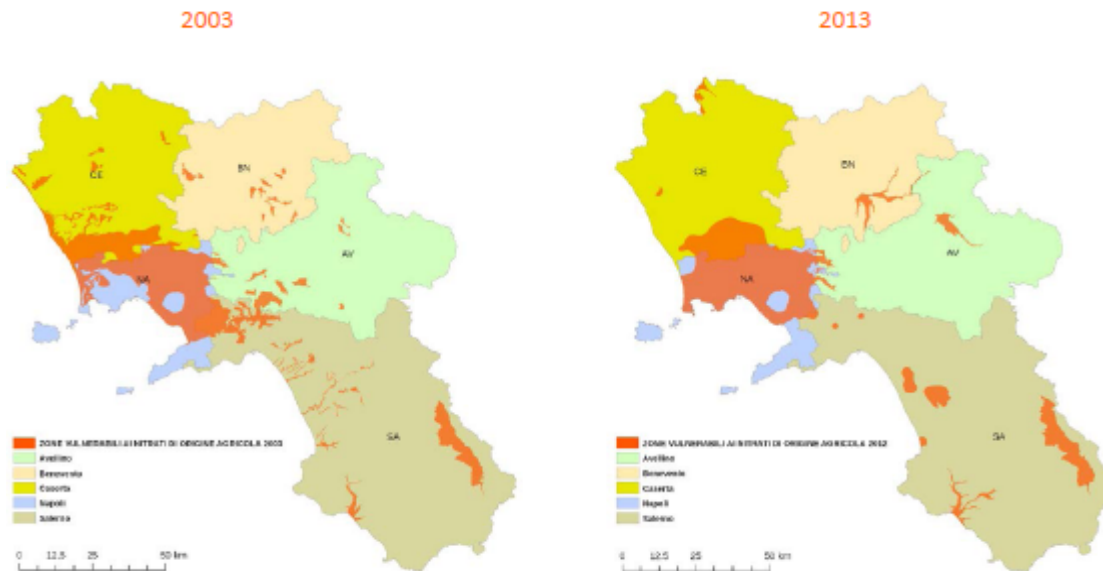


Figura 2-5: Zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola in Campania (*Assessorato agricoltura Regione Campania – Settore SIRCA – 3 marzo 2013*)

2.5.5 COSTI E TECNICHE DI SPANDIMENTO DEI REFLUI BUFALINI

La distribuzione dei liquami zootecnici è l'attività più onerosa e critica nella gestione aziendale dei reflui ed è opportuno che la scelta della tecnica di distribuzione sia effettuata tenendo conto sia degli aspetti qualitativi (uniformità di distribuzione trasversale e longitudinale), sia della capacità di lavoro ottenibile con un determinato cantiere di spandimento. Quest'ultimo deve anche garantire la tempestività dell'intervento, necessaria per rendere possibile la distribuzione nei periodi in cui ciò è consentito. Inoltre, questa stessa operazione, spesso si sovrappone ad altri interventi meccanici (lavorazione del terreno, preparazione del letto di semina, ecc.) caratterizzati da problemi di maggior urgenza.

Le tecniche di spandimento dei reflui sono molteplici ed i costi di gestione sono estremamente variabili. Il costo varia abbastanza linearmente con la distanza

di spandimento e soprattutto in base alla tecnica adottata. In Campania, tranne pochissime aziende completamente accorpate e altamente tecnologiche, lo spandimento con tecniche irrigue (aspi, subirrigazione ecc.) risulta poco praticabile. L'unica tecnica perseguibile con aziende non accorpate, è lo spandimento con trattore e carro-botte.

Inoltre l'uso dei carri-botte e simili garantisce vantaggi legati ad una maggiore flessibilità e presenta costi di investimento relativamente ridotti. Di contro presenta un'incidenza dei costi variabili largamente influenzata dalle distanze di trasporto (Provolo, 2000), specialmente se si relazionano tali costi all'unità di fertilizzante distribuita.

Per le ragioni esposte, le tecnologie per il trasporto e la distribuzione dei liquami zootecnici utilizzate nell'area oggetto di studi, sono sostanzialmente costituite da carri-botte con piatto deviatore e solo raramente da tubazioni interrato. In merito a ciò va sottolineato che la possibilità di ricorrere a quest'ultima tecnica dipende dal contenuto di sostanza secca nei reflui da distribuire. Valori superiori al 2% la rendono improponibile. Tali valori sono ottenibili solo se l'azienda è munita di separatori solido-liquido. Vanno infine menzionati i sistemi ombelicali fissi o semoventi (rotolone) ma anche questi trovano scarsa applicazione per lo spandimento della frazione liquida dei reflui, perché presuppongono una rete di distribuzione dalla vasca al bordo campo, in cui sia possibile immettere il refluo.

2.5.5.1 Carro-botte con piatto deviatore

Questo sistema di spandimento è caratterizzato tendenzialmente da una bassa capacità di lavoro legata soprattutto ai tempi di carico e di spostamento dalle vasche agli appezzamenti.

L'utilizzo di carri-botte con serbatoi di maggior volume (10 m^3) ha ripercussioni positive sulla quantità di lavoro svolto, sebbene al crescere dei volumi di carico la corrispondente massa trasportata determini l'insorgenza di

fenomeni di compattazione del suolo, si incontrino maggiori difficoltà di movimentazione dei mezzi meccanici nell'accesso ai campi ed un aumento dello slittamento con incremento dei consumi di carburante. Inoltre, questo sistema è caratterizzato da una distribuzione laterale e longitudinale del refluo irregolare. Dati di letteratura segnalano differenze del prodotto distribuito tra il 18-20% (Provolo, 2000), che difficilmente viene compensata dalle sovrapposizioni volutamente attuate nella passata contigua. Altre difficoltà possono derivare dall'imbrattamento delle coltivazioni presenti con problematiche di carattere sanitario e con possibili ustioni ai tessuti vegetali.

Diversi studi (Huijsmans *et al.*, 2001; 2003) riportano perdite per volatilizzazione a seguito dello spandimento con piatto deviatore, del 68% del TAN (Total Ammonia Nitrogen: azoto ammoniacale totale) nel caso di spandimento superficiale su terreno nudo, e del 77% sull'erbaio. Queste perdite, oltre alla riduzione del valore agronomico del refluo, causano una dispersione nell'atmosfera dell'ammoniaca, ritenuta molto impattante in quanto principale responsabile delle piogge acide.

Certamente queste perdite per volatilizzazione variano sensibilmente in base a differenti fattori esterni, come mostrato in altri studi (Webb *et al.*, 2010). L'uso dei carri-botte è, pertanto, più indicato nella concimazione di fondo. In tal modo, infatti, le successive lavorazioni, rimescolando il terreno, compensano la scarsa uniformità di distribuzione e, non essendo presente copertura vegetale, vengono scongiurati gli altri rischi.

2.5.5.2 Carro-botte con sistema di interrimento sotto superficiale

Tale sistema garantisce un livello di uniformità di distribuzione, con differenze del prodotto distribuito dell'ordine del 5-6% (Provolo, 2000). Le perdite di azoto per volatilizzazione si riducono sino al 17% sul suolo nudo (Huijsmans *et al.*, 2003, Webb *et al.*, 2010) e le esalazioni maleodoranti sono limitate. Di contro, la capacità di lavoro è ridotta rispetto ai sistemi con piatto deviatore, a causa della ridotta larghezza di lavoro che raramente supera i quattro

metri. Questa tecnica è poco diffusa nel casertano, una sua incentivazione sarebbe auspicabile.

2.5.5.3 I sistemi ombelicali

I sistemi ombelicali sono caratterizzati dalla possibilità di ottenere elevate capacità di lavoro, specie per la grande gittata che sono in grado di assicurare (anche 40 m), il tutto con un ridotto impiego di mano d'opera. Anche in questo caso i problemi sono legati alla scarsa uniformità di distribuzione con differenze del 20-25% (Provolo, 2000) e con perdite di azoto che raggiungono il 30-35% (Balsari, 1989).

2.5.5.4 Costi di spandimento stimati

Sulla base di uno studio condotto da Faugno *et al.* (2012) un ciclo col carro-botte dotato di piatto deviatore comporta un consumo di 2,35 l di gasolio, costa 14,14 € e dura 21 minuti. In tal caso l'apporto al campo è di 10 kg di azoto. Il costo a metro cubo di liquame utilizzato è quindi pari a 1,4 €/m³, mentre il costo per chilo di azoto utilizzato è pari a 1,4 €/kg di N.

Il ciclo con organi interranti del refluo al terreno comporta un consumo di 4,94 l di gasolio, un costo di 22,57 € e una durata di 29,5 minuti, il tutto apportando al campo 17,5 kg di azoto. Il costo a metro cubo di liquame utilizzato è quindi pari a circa 2,3 €/m³, mentre il costo per unità fertilizzante utilizzato è pari a 1,3 €/kg di N.

Il riepilogo dei costi per tipo di fertilizzante e spandimento effettuato è riportato in Tabella 2-9.

Tali valutazioni sono state fatte considerando una concentrazione di azoto del 2‰ nel carro-botte come riportato in §2.4.1.

Tabella 2-9: Riepilogo costi per le attività di spandimento dei reflui zootecnici (Faugno et al., 2012)

Tipo di fertilizzante/metodo di applicazione	Durata di un ciclo (min)	Consumo di carburante (l)	Costi (€/ciclo)					
			Nolo Trattore	Nolo Attrezzature	Manodopera	Combustibil	Fertilizzante	Totale
Liquame/ piatto deviatore (10 m ³ , 0,4 ha)	21,00	2,35	4,20	4,27	4,14	1,53	0	14,14
Liquame/organici interranti (10 m ³ , 0,4 ha)	29,50	4,93	6,60	7,03	5,80	3,21	0	22,64

2.6 Il sito sperimentale

Le attività sperimentali sono state condotte presso un'azienda bufalina di circa 600 capi, sita in Serre (SA) (Figura 2-6); l'azienda dispone di una superficie totale di 62,10 ha, così ripartiti:

- Superficie agricola utilizzata (SAU): 56,50 ha;
- Fabbricati e aree di servizio: 2 ha;
- Strade e tare: 3,60 ha.

Le coordinate geografiche della stalla, sono: 40° 35' 09" N , 15° 07' 48" E.

La scelta di una dimensione aziendale medio grande, è funzionale agli scopi della ricerca, in primo luogo per affrancarsi dalla variabilità intrinseca tipica delle piccole aziende. Inoltre si ritiene che una azienda medio grande sia più

rappresentativa anche degli scenari futuri, dato il crescente aumento di aziende medio grandi (+326%).

Sono state esaminate le caratteristiche pedologiche, i cicli colturali, le concimazioni tipiche. Le tecniche e i valori risultanti sono stati utilizzati nel seguito per tutte le considerazioni di questa tesi.



Figura 2-6: Localizzazione delle attività sperimentali, Serre (SA), regione Campania

2.7 Gestione dei reflui nell'azienda di riferimento

2.7.1 CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE E STRUTTURALI

Al fine di utilizzare agronomicamente i reflui in modo corretto ed efficace, oltre che nel rispetto della legislazione vigente, occorre una serie di valutazioni tra cui quelle sul suolo su cui avverrà lo spandimento. L'attitudine del suolo a ricevere i reflui zootecnici viene valutata anche sulla base dell'interazione tra le seguenti caratteristiche del terreno:

- capacità di accettazione delle piogge nel corso della stagione umida;
- infiltrabilità;

- capacità depurativa del suolo;
- rischio inondazione.

Anche sulla base di queste caratteristiche si pianificano il calendario e le tecniche di spandimento.

I suoli hanno giacitura completamente pianeggiante a quota 100 m s.l.m., la falda idrica è mediamente superficiale (a 4 m di profondità). L'acqua è idonea all'uso agricolo, non è salina. La sistemazione idraulico-agraria prevede una affossatura del terreno con baulatura al 2% per lo sgrondo delle acque e scoline principali e secondarie. Le opere sono efficienti e mantenute perfettamente. Il suolo è di natura alluvionale e il terreno è molto fertile.

Le analisi dei suoli sono state effettuate dal Laboratorio di Chimica Agraria della Facoltà di Agraria di Portici su un campione di suolo prelevato nel comune di Eboli. Le metodiche di analisi sono conformi ai "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo", approvati con Decreto Ministeriale del 13/09/99 pubblicato sulla G.U. n ° 284 del 21/10/99. Nel seguito sono riportate le tabelle relative ai risultati delle analisi:

Tabella 2-10: Composizione granulometrica del terreno aziendale

Costituenti curva granulometrica	g/kg
Sabbia grossa	159
Sabbia fine	272
Limo	206
Argilla	363

Tabella 2-11: Proprietà chimiche del terreno aziendale

Parametri	Valori	Unità di misura
pH	8,03	-
Calcare totale	9,76	g/kg
Calcare attivo	12,4	g/kg
Carbonio organico	11,8	g/kg
Sostanza organica	20,3	g/kg
Azoto totale	1,07	g/kg
Rapporto C/N	11,0	-
Fosforo assimilabile (P ₂ O ₅)	77,2	mg/kg
Potassio di scambio	1,40	meq /100 g
Magnesio	6,00	meq /100 g
Calcio	18,7	meq /100 g
Ferro assimilabile	13,3	mg/kg
Boro assimilabile	1,18	mg/kg
Conduttività elettrica	0,097	dS/m

Sulla scorta delle indagini effettuate, i suoli mostrano le seguenti caratteristiche:

- suolo franco, leggermente alcalino, mediamente dotato di calcare;
- ben fornito di azoto e sostanza organica;
- elevato fosforo e potassio assimilabile;
- capacità di scambio cationico (CSC): elevata;
- capacità assimilativa del suolo: alta;
- rischio di incrostamento superficiale assente;
- pietrosità: assente;
- rocciosità: assente;

- ben drenato, in conseguenza delle basse pendenze, della baulatura dei terreni, la struttura ecc;
- indice di ruscellamento superficiale: basso;
- rischio di erosione potenziale molto basso.

La superficie aziendale è interamente irrigua; la disponibilità dell'acqua è garantita da una licenza quinquennale che prevede una portata di 100 l/s e raggiunge la totalità dei campi grazie ad un impianto irriguo consortile.

In base alla media trentennale (1955-1997) dei dati della stazione meteorologica di Eboli, la temperatura media del mese più freddo, gennaio, si attesta a +9,18 °C, quella del mese più caldo, luglio, è di +24,32 °C. Le precipitazioni medie annue sfiorano i 1.171 mm, distribuite mediamente in 83 giorni, e presentano un minimo estivo ed un picco in autunno-inverno. Il vento è mediamente di 4,8 m/s ed ha direzione in prevalenza SW. Il vento regnante è quindi il libeccio, mentre il dominante è il maestrale. Il clima è di tipo mediterraneo temperato.

2.7.2 CALENDARIO E TECNICHE COLTURALI

Le esigenze di azoto delle colture sono solitamente differenti da quelle previste dalla normativa, ma soprattutto differenti dagli apporti tipici effettuati nelle aziende reali ed ancora da quelli che sembrerebbero corretti in base alle regole teoriche agronomiche. Le aziende usano dosi di concime ben superiori a quelle necessarie, talvolta anche in modo antieconomico. Ciò per riparare ad errori di gestione (concimazioni a ridosso di eventi piovosi) o per forzare coltivazioni e produrre il massimo quantitativo di foraggi. Tale forzatura è spesso applicata nelle zone della Campania, in cui è tipico l'allevamento bufalino, e viene attuata per il

mais da insilare, che è un prodotto poco trasportabile e che incide fortemente sul bilancio economico aziendale.

Inoltre il prezzo trinciato di mais è di 35÷40 €/t, a fronte di quello del fieno di erba medica che è 100÷150 €/t, e di quello del fieno di loiessa che è 100÷120 €/t. Conseguentemente la domanda di insilato di mais è maggiore rispetto agli altri insilati.

L'ordinamento produttivo prevede la coltivazione del Mais (*Zea mays* L.) per l'ottenimento di insilato, l'Erba medica (*Medicago sativa* L.) da affienare e la Loiessa (*Lolium multiflorum* L.) anch'essa da affienare, ma che sovente viene anche in parte somministrata subito dopo lo sfalcio.

Tabella 2-12: Tipi di colture ed epoche di lavorazioni in azienda

TIPO DI COLTURA	Periodo SEMINA/IMPIANTO	Periodo RACCOLTA
Erba medica	Settembre-Ottobre	Settembre-Ottobre
Loiessa	Settembre-Ottobre	Maggio
Mais	Maggio	Agosto-Settembre

Tabella 2-13: Tecniche colturali tipiche della zona

Loiessa		Mais		Erba medica	
EPOCA	LAVORAZIONI	EPOCA	LAVORAZIONI	EPOCA	LAVORAZIONI
Settembre	Concimazione di fondo	Maggio	Ripuntatura	Ottobre	Concimazione di fondo
	Aratura		Erpicatura		Ripuntatura
	Erpicatura		Semina		Aratura
	Semina		Diserbo pre-emergenza		Erpicatura
Novembre	Rullatura	Giugno	Concimazione minerale	Novembre I anno	Impianto
	Concimazione minerale		Trattamento fitoiatrico		Rullatura
	Sfalcio		Sarchiatura		Diserbo
Marzo, Maggio	Rivoltamento	Settembre	Raccolta e trinciatura	Marzo	Concimazione minerale
	Andanatura		Carico e trasporto	Maggio-Luglio	Sfalcio
	Raccolta				Rivoltamento Andanatura, Raccolto carico e trasporto

Tabella 2-14: Rotazione agronomica dell'azienda di riferimento

	COLTURA	ANNO
Campo A	Loiessa	dal I al IV
	Mais	dal I al IV
Campo B	Erba medica	I
	Erba medica	II
	Erba medica	III
	Erba medica	IV

La loiessa è una graminacea foraggera dal portamento cespitoso, a taglia alta, di eccezionale qualità, resistente al freddo e all'umidità. È caratterizzata da una velocità di insediamento e da una produttività in tempi brevi, in aggiunta si adatta perfettamente alla pianura fertile del Sele e si presta alla successione con il mais. Nella concimazione azotata si devono ottimizzare le quantità da somministrare in modo da minimizzare il rischio di allettamento. La resa media aziendale è dell'ordine di 90÷120 q/ha di fieno con 2 sfalci ed interrimento dei residui colturali.

Il mais è una graminacea a ciclo annuale primaverile-estivo. Alta erba annuale, il fusto è un culmo e presenta radici primarie, secondarie ed avventizie. È una specie monoica, caratterizzata da un elevato tasso di sviluppo ed accrescimento. La classe di appartenenza FAO è la 400 (giorni 106-115), quindi un mais a ciclo medio-precocce. La concimazione deve soddisfare le esigenze della coltura ed evitare il decremento della fertilità del suolo nonché l'eventuale inquinamento delle falde in caso di eccessi. Il mais aziendale è una coltura irrigua e viene trinciato a maturazione cerosa. La resa media aziendale è dell'ordine di 500÷575 q/ha di trinciato integrale. Mais e Loiessa si avvicendano sul Campo A nello stesso anno.

L'erba medica è la leguminosa più importante per i prati monofiti. Ha radice fittonante, resiste alla siccità e richiede clima con inverno ed estate piuttosto miti. Preferisce terreni profondi, ricchi e freschi. Nel suo primo anno di vita, è in grado di fornire due o al massimo 3 tagli di erba (la falciatura si esegue quando la pianta è in fioritura) mentre al secondo anno oscillano da quattro a sei. Viene coltivata a ciclo quadriennale sul Campo B, alla fine del 4° anno di coltivazione i due corpi ruoteranno. La resa media aziendale è dell'ordine di 120÷150 q/ha. Nel caso in esame, è una coltura irrigua e viene affienata.

Il prodotto di un ettaro investito a mais, è adatto a soddisfare circa 7-8 capi. Il fieno di medica prodotto da 1 ha integra la razione di 2 capi (mediamente 1,5 kg/capo/d). La risorsa irrigua viene somministrata con irrigatore semovente con aspo autoavvolgente (rotolone).

2.7.3 TRATTAMENTO, STOCCAGGIO, TRASPORTO E DISTRIBUZIONE DEI REFLUI

L'asportazione dei reflui dalla zona di stabulazione (Figura 2-7) avviene mediante raschiatore meccanico.



Figura 2-7: Vista di una delle corsie di stabulazione dell'azienda

Tale sistema consiste in un'asta rigida, azionata in moto alternato da una centralina oleodinamica, che consente l'avanzamento del raschiatore. Quest'ultimo si impegna sull'asta mediante un arpione che entra in contrasto con appositi rialzi posti sull'asta.

Alla fine delle corsie o del paddock, i raschiatori convogliano i reflui in una canalina (Figura 2-8) in cui opera un ulteriore raschiatore a palette, che sposta i reflui in una prevasca di raccolta.



Figura 2-8: Canalina di raccolta dei reflui convogliati dall'azione del raschiatore meccanico, posta al termine delle corsie di stabulazione

Da quest'ultima, mediante una pompa, il refluo arriva al separatore solido-liquido del tipo a rulli contrapposti. Il risultato finale è una frazione palabile molto compatta. Tale sistema risulta più resistente, in caso di corpi estranei, ma meno efficiente in termini operativi ed energetici e più costoso come primo impianto rispetto ai separatori a coclea e cestello forato.

Dalla separazione dei solidi presenti nei liquami si ottiene una frazione palabile, ovvero il letame, ed una frazione di liquame non palabile.

Il refluo palabile viene movimentato con una pala meccanica e può essere utilizzato per lo spandimento sui terreni, previa maturazione nella concimaia. Quest'ultima ha pianta quadrangolare, è pavimentata in calcestruzzo ed è munita di cordoli di contenimento perimetrali. Il percolato è raccolto in un contenitore impermeabile, posto al di sotto (pozzettone) della platea.

Il refluo non palabile (liquame, acque reflue della mungitura, dei paddock e acque di scolo derivanti da reflui palabili stoccati e da foraggi insilati) viene stoccato in due vasche fuori suolo (Figura 2-10) ed è movimentato tramite l'ausilio di pompe (Figura 2-9). Lo stoccaggio degli effluenti di allevamento è localizzato in prossimità di alcuni campi e questo comporta una serie di vantaggi, quali: facile trasporto del liquame durante tutto l'anno, non soltanto al momento della distribuzione; riduzione dell'emissione di odori molesti in prossimità dell'allevamento e la possibilità di distribuire il liquame nel corso di interventi irrigui. Il trasporto dei reflui zootecnici avviene mediante carro-botte.



Figura 2-9: Particolare della pompa per la movimentazione del liquame



Figura 2-10: Vista di una delle due vasche di stoccaggio dei reflui

2.7.4 UTILIZZAZIONE AGRONOMICA

Sulla base delle caratteristiche del terreno si può formulare un giudizio riguardante l'attitudine o meno dello stesso a ricevere i reflui zootecnici.

Considerando i risultati delle analisi del terreno riportate nella Tabella 2-11, la capacità di accettazione delle piogge risulta molto alta; la capacità depurativa moderata; ed ai fini dell'infiltrabilità l'indice di incrostamento basso. Nel complesso l'attitudine del suolo ad accettare reflui zootecnici è moderata.

I quantitativi di azoto e i corrispondenti volumi di refluo dell'azienda sono stati calcolati con il software "Modello Comunicazione" realizzato nell'ambito di una convenzione tra la Regione ed il Dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli Federico II. Il software è parte delle attività sviluppate dalla sottoscritta per questo dottorato, è stato sviluppato in Visual Basic® e viene periodicamente aggiornato. In Figura 2-11 se ne riporta una schermata. Il software, basato sulle indicazioni della Tabella A della Delibera regionale n°583 del 02 Agosto 2010, tiene conto anche degli apporti meteorici che vanno a raccogliersi nelle vasche di stoccaggio nel periodo di stoccaggio forzato. L'applicazione sarà disponibile a breve anche on-line sulla pagina dedicata alla gestione dei reflui zootecnici dell'Assessorato all'Agricoltura della Regione Campania.

Figura 2-11: Schermata del software realizzato

Le epoche di spandimento sono condizionate dall'agibilità del terreno, dalla presenza e dal grado di sviluppo della coltura e, infine, dal sistema di distribuzione adottato. Le colture prative permettono più occasioni di distribuzione durante l'anno: tipicamente, le restituzioni organiche si eseguono con facilità sia all'uscita dall'inverno, sia dopo ogni taglio. L'epoca di spandimento interagisce con le varie fasi del ciclo di sviluppo di una coltura. Quindi il trattamento eseguito in vicinanza dell'impianto, o, meglio ancora, della fase di maggior richiesta della coltura realizza un'efficienza elevata, mentre le concimazioni effettuate con molto anticipo conseguono generalmente risultati peggiori.

L'obiettivo del calendario degli spandimenti in campo è quello di razionalizzare la concimazione organica. Il calendario degli apporti non dovrebbe conformarsi alla dinamica di produzione dei reflui e alle necessità di svuotamento delle vasche di stoccaggio, bensì seguire una programmazione ragionata, in primo luogo, in funzione delle esigenze delle colture praticate.

Somministrazione dei reflui dopo la raccolta delle sarchiate (ovvero del mais)

In questo caso lo spandimento dopo mais può precedere un altro mais, un prato di graminacee o un cereale vernino. Le somministrazioni dei reflui in pre-aratura sono effettuate in settembre-ottobre, talvolta si ricorre a somministrazioni in post-aratura per quanto riguarda i liquami, determinate dalla necessità di intervenire su terreni argillosi prima che questi diventino impraticabili. Un ulteriore motivo per la scelta di questa epoca è il concetto tradizionale che le letamazioni in tale epoca sono utili sia per il bilancio umico del terreno sia per le colture sarchiate che seguiranno. In questo caso le perdite per volatilizzazione di ammoniaca sono modeste e anche il rischio di ruscellamento superficiale è basso.

La loiessa è caratterizzata da una buona crescita autunno-invernale, proprio quando le percolazioni si fanno più probabili; ciò la identifica come pianta trappola per i nitrati residui nel terreno. Come tutte le graminacee foraggiere la loiessa è una buona utilizzatrice dell'azoto, che produce vistosi aumenti di resa. L'eccesso di tale elemento, però, risulta sfavorevole, perché provoca la crescita di un'imponente massa di foraggio, che va poi facilmente incontro ad allettamenti e marciumi, rendendo per di più difficoltosi sia lo sfalcio, sia la fienagione. Conviene riservare la maggior parte del quantitativo permesso alla concimazione della coltura principale (per esempio al mais) e solo l'eventuale residuo a favore di questa coltura.

Somministrazione dei reflui all'inizio della primavera

La somministrazione dei reflui in marzo-aprile, prima delle semine primaverili, fa parte della tecnica tradizionale sui suoli di medio impasto o sciolti, in zone ben drenate. Gli spandimenti in questo periodo, specialmente di liquami, consentono di produrre nitrati per mineralizzazione quando le colture hanno i più elevati assorbimenti e, pertanto, conseguono il più efficiente utilizzo da parte delle colture e il minor rischio di inquinamento per percolazione e per ruscellamento.

In genere il mais apre la rotazione in veste di coltura da rinnovo. Le si attribuiscono ottime capacità di utilizzazione dei liquami e più in generale di sfruttamento delle concimazioni organiche. Il ciclo colturale si svolge dalla

primavera all'autunno, dunque in periodo caldo e relativamente secco, nel quale le precipitazioni sono inferiori all'evapotraspirazione reale, per cui difficilmente può ipotizzarsi un surplus idrico responsabile della lisciviazione dell'azoto. In condizioni non limitanti, grazie all'elevata efficienza fisiologica questa coltura realizza la maggiore produzione di sostanza secca ad ettaro e le maggiori asportazioni azotate.

Il ritmo di assorbimento dei principi nutritivi e in particolare dell'azoto si sovrappone abbastanza bene all'andamento della mineralizzazione della sostanza organica del terreno e di quella apportata con i liquami, per cui queste colture sono in grado di sfruttare al meglio il flusso di nitrati che si produce nel terreno col procedere della stagione vegetativa.

L'assenza di surplus idrici durante la stagione vegetativa tipica di questa coltura consente di indicarla potenzialmente a basso rischio di inquinamento ambientale, a condizione che la concimazione sia appropriata e l'irrigazione corretta in quantità e modalità di somministrazione.

Le integrazioni con eventuali concimi azotati di sintesi variano in funzione della composizione del liquame e del letame. Elevata efficienza dell'azoto si ottiene anche su prati con somministrazione di reflui prima della ripresa vegetativa e pertanto tale pratica è auspicabile anche se occorre fare attenzione alla praticabilità in campo e al rispetto della cotica prativa. Le perdite ammoniacali nell'aria sono in genere modeste, ma comunque variabili in funzione dell'andamento meteorologico e della modalità di distribuzione.

Somministrazione dei reflui dopo gli sfalci nei prati

Questa somministrazione è riservata ai liquami non troppo concentrati, perché occorre garantire la loro infiltrazione nel terreno, sia per evitare l'imbrattamento dei ricacci di foraggio, sia per ridurre la volatilizzazione ammoniacale. La migliore efficienza dell'azoto si ottiene negli sfalci primaverili, mentre in quelli estivi essa è notevolmente influenzata dall'andamento

pluviometrico e dal soccorso dell'irrigazione. I rischi per percolazione e per ruscellamento sono minimi, mentre la volatilizzazione di ammoniaca può aumentare in caso di stagione secca.

Tabella 2-15: Efficienze in funzione delle epoche di spandimento

COLTURE	EPOCHE	EFFICIENZA
Mais	Prearatura(estate/inizio autunno)	Bassa
	Terreno nudo (autunno)	Bassa
	Presemina (primavera)	Alta
	Copertura(primavera)	Alta
	Fertirrigazione(estate)	Media
Erbai autunno-primaverili	Prearatura(estate/inizio autunno)	Bassa
	Presemina (autunno)	Bassa
	Copertura (autunno)	Media
	Levata (primavera)	Alta
Erba medica	Impianto(primavera)	Bassa
	Penultimo anno (autunno)	Bassa
	Ultimo anno (primavera)	Alta

2.8 Sistema di pesa sperimentale dei reflui

L'evaporazione dal paddock è stata misurata come variazione di peso dei reflui, depositi al suolo, nel tempo. Per far ciò è stato progettato un sistema di pesatura di precisione, che misuri il peso del tal quale, in una condizione di esercizio indisturbato dell'azienda.

Tale sistema di pesatura, è composto da una lamiera di acciaio inox AISI 316, reso ruvido per godronatura, posta a livello del piano di campagna, e da 4 celle di carico sottostanti. Tali celle poggiano su una coppia di molle a tazza ciascuna (Figura 2-12) e sono protette da dispositivi di fine corsa, per far sì che carichi eccessivi, quali il passaggio di mezzi meccanici o lo stesso deambulare degli animali, non ecceda il carico limite di esercizio delle celle.

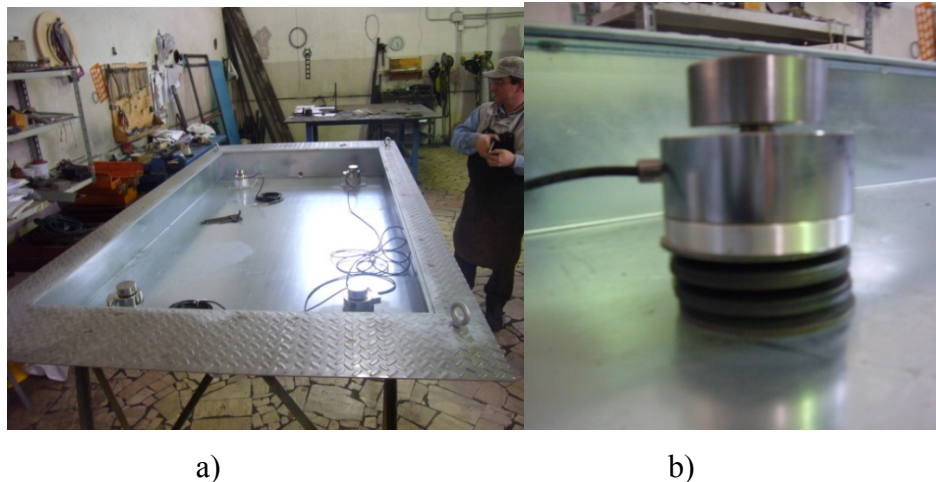


Figura 2-12: Assemblamento della pesa: a) Disposizione delle celle di carico b) Particolare della cella e molle a tazza

Le dimensioni della pesa sperimentale sono state poste pari a 2 m². Queste dimensioni garantiscono di avere una superficie sufficientemente ampia da rendere apprezzabili le differenze di peso, ma sono anche tali per cui non c'è bisogno di avere un numero eccessivo di celle di carico e infine, da non rendere troppo onerose le attività di scavo.

Tutto il sistema di pesa è stato sistemato all'interno del paddock, creando un alloggiamento al di sotto del piano campagna, come mostrato in Figura 2-13.



Figura 2-13: Disposizione del sistema di pesatura: a) fase di scavo; b) preparazione del fondo

In fase di esercizio il sistema è totalmente integrato nel paddock senza soluzione di continuità con esso (Figura 2-14).



Figura 2-14: Disposizione finale del sistema di pesa sperimentale: a) al termine della posa; b) in fase di esercizio.

2.9 Dimensionamento del sistema di misura del peso dei reflui

Nel dimensionamento del sistema di misura sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Il peso proprio (P) della parte mobile è stimato in 120 kg;
- Il carico di esercizio (Q_e) è pari a 10000 N.
- lunghezza dei travetti di rinforzo (l) è pari ad 1 m;
- Lunghezza delle barre laterali di rinforzo (L) è pari a 2 m;
- Il carico concentrato limite ultimo (Q_{clu}) cui deve resistere la pesa è posto pari a 10000 N, ovvero al passaggio di una ruota di trattore in un punto qualsiasi del piano. A questo proposito stante il fondo scala delle celle di carico sono stati previsti dei fine corsa che intervengono oltre i 5 N, sulla singola cella.

Il carico che s'intende risolvere (q) è quello generato da 1 mm di altezza di liquido uniformemente distribuito, pari a 20 N. L'errore combinato di ciascuna cella, appartenenti alla classe 3, è minore dello 0,02% che rapportato ad un fondo scala di 5 N/cella, equivale ad un errore combinato di 4 N sulle 4 celle;

La lamiera è stata rinforzata con dei travetti trasversali appoggiati a due barre laterali (poste sul lato lungo della lamiera). Entrambi i sistemi di rinforzo sono stati dimensionati con il metodo delle tensioni ammissibili.

a. Dimensionamento dei travetti trasversali (Figura 2-15)

Per il dimensionamento con il metodo delle tensioni ammissibili si deve verificare che $\sigma_{l.u.} < \sigma_{snerv.}$, dove $\sigma_{l.u.}$ è la tensione allo stato limite ultimo, pari al rapporto di M/W (con M momento e W modulo di resistenza della sezione del travetto) e $\sigma_{snerv.}$ è la tensione di snervamento del materiale

Il momento massimo in mezzzeria è pari a:

$$M_{max} = Q_e \cdot l^2 / 8 = 1.250 \text{ Nm};$$

Assumendo $\sigma_{snerv.} = 35.000 \text{ N/cm}^2$ si ottiene $W > 1.250 \cdot 100 / 35.000$ quindi $W > 3,57 \text{ cm}^3$. Pertanto sono stati scelti come elementi di rinforzo delle vergelle $0,5 \times 5 \text{ cm}$ ($W = 5,2 \text{ cm}^3$ il cui peso unitario è di $1,75 \text{ kg/m}$).

b. Dimensionamento delle barre laterali (Figura 2-15)

Analogamente a quanto fatto per i travetti trasversali, si ha

$$M_{max} = 5.000 \text{ Nm};$$

assumendo $\sigma_{snerv.} = 35.000 \text{ N/cm}^2$ $W > 5.000 \cdot 100 / 35.000$ quindi $W > 14,30 \text{ cm}^3$. Impiegando barre di rinforzo a U si è scelto di utilizzare il profilo ad U da 65 mm ($W = 17,7 \text{ cm}^3$ peso $7,1 \text{ kg/m}$)

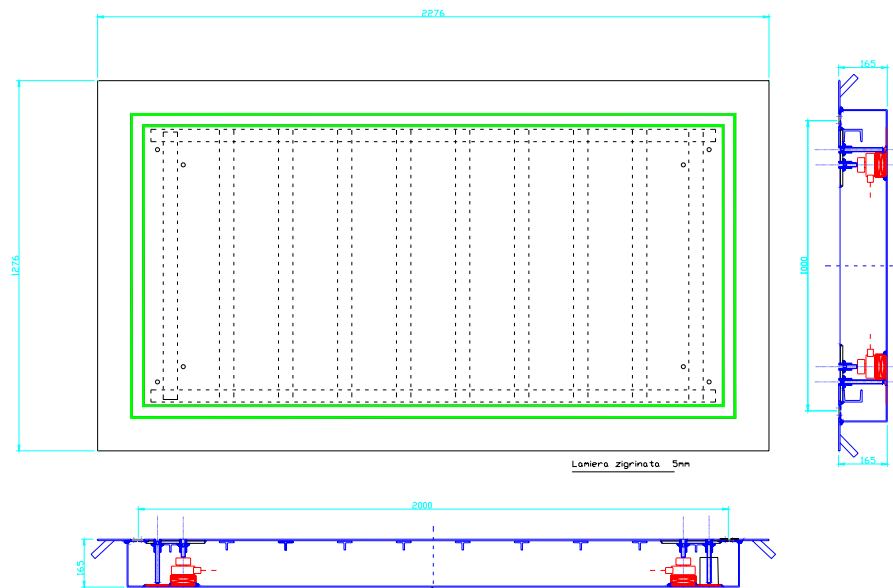


Figura 2-15: Pianta e sezione della pesa sperimentale

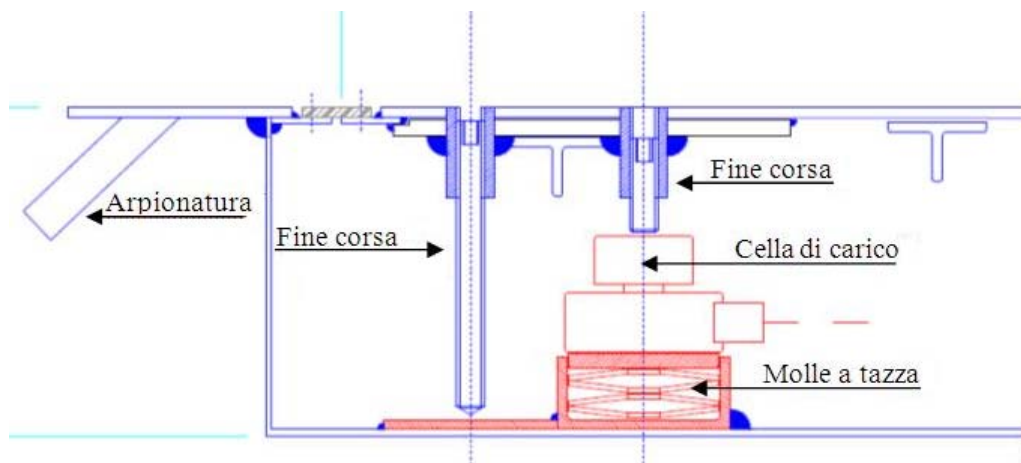


Figura 2-16: Particolare della cella di carico alloggiata sulle molle a tazza.

Le 4 celle di carico sono della AEP transducers (MO) modello C2S (CC2S82500KC35), sono posizionate ai quattro angoli dell'alloggiamento dell'apparato di misura sperimentale. Il carico nominale (E_{max}) è pari a 500 kg. Il carico dinamico limite è il 50% in più.

Le celle di carico sono appoggiate su un sistema di molle a tazza, come mostrato in Figura 2-16, la cui deformazione Δy (da catalogo della Gandini) è posto pari a 5 mm sotto un carico $F = 500$ kg. La costante elastica delle molle è quindi $K = F/\Delta y$ quindi $K = 500 \text{ kg}/5 \text{ mm}$. Conseguentemente si prevede che ad un

carico di 500 kg, la deformazione delle molle a tazza sia di 5 mm e consenta l'intervento dei fine corsa (Figura 2-16)

2.10 Stazione agrometeorologica e acquisizione dei dati

La stazione agrometeorologica è composta da un data logger Campbell CR10X (Figura 2-17), cui sono collegati gli strumenti posti sul tetto e il sistema di pesatura.



Figura 2-17: Cabina contenente il datalogger CR10X

La velocità del vento è misurata con un anemometro a mulinello a coppe. Questo è costituito da tre coppe, che ruotano attorno ad un asse verticale (Figura 2-18). E' un vecchio modello meccanico che è stato attrezzato con un relais reed e collegato al datalogger. La taratura è stata fatta basandosi su dati di un anemometro portatile.

La temperatura e l'umidità relativa sono state rilevate con sensore Skye skh2053 (Figura 2-18).



Figura 2-18: Particolare dell'anemometro e del termoigrometro

Per la misura della radiazione globale è stato impiegato un piranometro di Kipp, modello Kipp&Zonen CM 5 (Figura 2-19). Questo è costituito da un massiccio blocco di ottone in contatto termico con una delle due serie di termogiuinzioni, caratteristica che rende la risposta quasi indipendente dalla temperatura del sensore; la cupola è costituita da due cupole semisferiche concentriche di vetro. Per poterlo installare in posizione orizzontale, vi è un piatto imbiancato dotato di livella.



Figura 2-19: Particolare del piranometro

Nella Figura 2-20 si mostra parte della stazione agrometeorologica, sia in fase di assemblaggio che dopo l'installazione.



Figura 2-20: Assemblaggio e installazione finale dell'anemometro, piranometro e termoigrometro

Oltre agli strumenti di cui prima, sono state valutate anche il regime delle precipitazioni nell'azienda. Le precipitazioni atmosferiche, segnalate in termine di millimetri d'acqua equivalenti, sono state misurate con un pluviometro con risoluzione di 0,2 mm (Figura 2-20). Questo è uno strumento semplice e di buon funzionamento soprattutto per deboli portate. Il pluviometro è munito di un condotto ricevitore che canalizza la precipitazione verso un trasduttore, il quale invia un impulso elettrico allo stesso Data logger. Il pluviometro è stato installato poco distante dagli altri strumenti di misura (Figura 2-22).



Figura 2-21: Particolare del pluviometro



Figura 2-22: Veduta d'insieme dell'azienda e della strumentazione installata, a) posizione del datalogger, b) posizione dell'anemometro, piranometro e termoigrometro, c) posizione del pluviometro

Questi strumenti, alimentati a 12 volt producono un'uscita in corrente. L'uscita è posta a terra tramite una resistenza d'altissima qualità potenzialmente stabile in funzione della temperatura e la differenza di tensione misurata ai capi della resistenza è così proporzionale alla grandezza rilevata.

L'intervallo di campionamento per tutti i dati è di 15 minuti, il dato di pioggia è pertanto corrispondente alla somma registrata nello stesso tempo. In queste condizioni il CR10X è in grado di memorizzare circa 20 die di dati.

2.11 Collegamento della stazione di misura e calibratura delle apparecchiature

Come anticipato al paragrafo precedente, la pesa è stata montata nel paddock. Il livello inferiore della fossa è stato preparato con un magrone di calcestruzzo, su cui è stato realizzato uno strato di pietrame per far sì che il drenaggio di eventuali percolazioni di reflui all'esterno della pesa potessero essere scaricati. È stata poi scavata una traccia nel calcestruzzo per portare i cavi delle celle di carico al datalogger.

Le celle di carico, con relativo certificato di taratura, forniscono il peso direttamente in kg misurando lo sbilanciamento del ponte di Wheatstone di ciascuna cella. Un precarico è dovuto al peso stesso della lastra superiore ed è stato sottratto come tara a tutte le successive misure. Controlli sulla corretta lettura sono stati effettuati con pesature ripetute di una massa nota di quasi 100 kg e valutando la ripetibilità delle misure che si è dimostrata essere dell'ordine del $\frac{1}{2}$ kg sulla somma delle letture delle 4 celle.

La calibratura dell'anemometro è stata fatta acquisendo in 5 differenti date la velocità del vento con un anemometro portatile. I cinque differenti valori sono stati mediati e si è giunti ad un coefficiente correttivo che è stato utilizzato per una correzione lineare del dato di velocità del vento.

I sensori di umidità e temperatura sono stati verificati per confronto con altri della stessa classe di precisione, mostrando tolleranze inferiori al °C ed inferiori al 5% per l'UR.

Il pluviografo è stato verificato prima dell'istallazione con acqua versata con una siringa graduata ed ha fornito errori inferiori al 5%.

I dati acquisiti dal data logger sono stati trasferiti al computer, con cadenza non superiore a 20 d per un periodo di tre mesi dall'istallazione dal 24 giugno 2011 (giorno Giuliano 175°) al 25 settembre 2011 (giorno Giuliano 268°). I dati della pesa sono stati rilevati per ciascuna cella e poi mediati.

I valori in cui è presente un animale sopra la pesa sono chiaramente individuabili e sono stati eliminati sostituendoli con l'ultimo valore utile, il tutto con una procedura in Microsoft Excel.

Poiché i dati variano anche nel corso della giornata, per le elaborazioni è stato assunto come dato sulla pesa, la media delle celle del primo quarto d'ora utile dopo le 24 di ciascun die.

E' stato così generato un file di 90 dati per ciascuna cella che mediati indicano l'andamento del fenomeno a meno dell'azionamento del raschiatore.

2.12 Ulteriori misure

Oltre alla stazione agrometeorologica, sono stati predisposti anche altri sistemi di misura, volti alla stima del consumo d'acqua e del livello dei reflui in vasca. A tale scopo sono stati installati un contatore volumetrico dell'acqua (Figura 2-23), sul tubo di adduzione dell'acqua alla sala mungitura e agli abbeveratoi degli animali, e un'asta metrica (Figura 2-24), posizionata su uno dei muri di contenimento della vasca di stoccaggio.

Il contatore utilizzato è un contatore per acqua fredda, a turbina con quadrante bagnato. La lettura è diretta sui rulli cifrati, i raccordi sono in ottone filettato da 1" ½, tipo beta LFC.



Figura 2-23: Contatore volumetrico per misurare gli apporti di acqua in sala d'attesa e di mungitura

L'asta metrica è stata realizzata artigianalmente su un foglio d'alluminio da 2 mm, la lunghezza è pari a 4 m e copre la profondità della vasca. La verniciatura è stata fatta con semplice smalto acrilico, su una maschera ritagliata in plastica.



Figura 2-24: Asta metrica per la lettura del livello dei reflui nelle vasche di stoccaggio

2.13 Attività di prelievo dei dati

I dati della sperimentazione in campo, sono stati prelevati con modalità e tempi differenti a seconda delle misure effettuate.

In particolare i dati accumulati in continuo nel datalogger sono stati scaricati con cadenza bisettimanale (Figura 2-25). Le operazioni di scarico sono state fatte con un cavo SC-USB di interfaccia dalla porta USB del PC portatile alla porta CS I/O del CR10X.



Figura 2-25: Attività di prelievo dati dal datalogger CR10X

La lettura dell'asta metrica e del contatore volumetrico sono state eseguite manualmente settimanalmente.

2.14 Stima dell'evaporazione dei reflui dal paddock

L'ipotesi fondamentale per la predizione dell'evaporazione dei reflui zootecnici nel paddock, è che l'acqua traspirata ed evaporata dallo strato di effluenti deposto al suolo, sia correlata agli stessi parametri climatici che

determinano l'evapotraspirazione di riferimento ETo . Questa è indipendente dalle caratteristiche intrinseche della superficie e dalla natura del terreno, ma è strettamente correlata al potere evaporante dell'atmosfera.

La principale assunzione per lo sviluppo del modello predittivo è che l'evaporazione del refluo (EV) possa essere espresso dalla seguente equazione:

$$EV = K \cdot ETo \quad (2-1)$$

con K costante da stimare.

La predizione di evaporazione è stata effettuata implementando due diversi modelli di evapotraspirazione e successivamente confrontati sulla base di parametri statistici. I modelli presi in considerazione sono quello di Tombesi-Lauciani (Tombesi, 1985) e la formula proposta Hargreaves *et al.* (1985), di cui si dirà nel seguito.

2.14.1 INTRODUZIONE ALL'EVAPOTRASPIRAZIONE

Per evapotraspirazione si intende la combinazione di due processi separati per i quali l'acqua viene ceduta all'atmosfera dal suolo (evaporazione) e dalla vegetazione (traspirazione); essendo i due fenomeni simultanei, risulta molto difficile distinguerli, motivo per cui si parla generalmente di evapotraspirazione come di un singolo processo.

Nello specifico l'*evaporazione* è il processo per cui si ha il passaggio dell'acqua dalla fase liquida alla fase vapore (vaporizzazione) e viene rimossa dalla superficie evaporante. L'acqua evapora da una serie di superfici, come laghi, fiumi, manto stradale, suoli e vegetazione fresca.

La *traspirazione* consiste nella vaporizzazione dell'acqua in fase liquida contenuta nei tessuti delle piante con rilascio di vapore nell'atmosfera. Le piante perdono l'acqua prevalentemente attraverso gli stomi, piccole aperture delle foglie attraverso le quali passano gas e vapore acqueo.

La misura dell'evapotraspirazione è un'operazione complessa, per la determinazione della quale occorrono apparecchiature e metodi di applicazione delicati. Essa è caratterizzata, inoltre, da una forte variabilità nello spazio.

Data la difficoltà di ottenere misure accurate su campo, l'evapotraspirazione viene spesso calcolata a partire da dati climatologici, attraverso equazioni che possono essere semiempiriche o a base termodinamica. I metodi empirici sono validi solo in specifiche condizioni climatiche e di uso del suolo e non possono dunque essere applicati in modo generalizzato.

Nella definizione di evapotraspirazione si deve distinguere tra le seguenti ulteriori definizioni di *reference crop evapotranspiration* ET_o , *crop evapotranspiration under standard conditions* ET_c e *crop evapotranspiration under non standard conditions* $ET_{c\ adj}$.

- *Reference crop evapotranspiration* ET_o : Il tasso di evapotraspirazione da una superficie di riferimento, non in deficit idrico, è detta evapotraspirazione di riferimento ed è indicata come ET_o . La superficie di riferimento è una superficie estesa d'erba di altezza uniforme, nella fase di crescita, adeguatamente irrorata che nasconde completamente il terreno. Gli unici fattori che influenzano ET_o sono parametri climatici, di conseguenza ET_o è un parametro climatico e può essere calcolato da dati meteo. ET_o esprime il potere evaporante dell'atmosfera in un luogo specifico e in un determinato periodo dell'anno e non considera le caratteristiche delle colture e i fattori del suolo.
- ET_c indica l'evapotraspirazione da una superficie coltivata gestita ottimamente, molto estesa e ben irrorata.
- $ET_{c\ adj}$ è l'evapotraspirazione da superfici coltivate sviluppatesi in condizioni climatiche e di gestione differenti da quelle standard. (Allen *et al.* 1998; Vigliano, 2004)

2.14.1.1 Formula di Tombesi-Lauciani

La formula di Tombesi-Lauciani (Tombesi L. *et al.*, 1972; 1985) mostra una maggiore affinità alla realtà italiana (Leone, 2011) ed ha come parametri di calcolo la temperatura media giornaliera, l'umidità relativa e una costante ambientale, tenendo inoltre, conto della latitudine.

La formula di Tombesi Lauciani, basata sull'ipotesi che l'evapotraspirazione potenziale sia molto prossima all'evaporazione dell'evaporimetro di classe A, è fornita dall'Eq. (2-2):

$$ET_{TL} = aT^{0.91}10^{-0.8UR}F \quad (2-2)$$

dove, ET_{TL} è l'evapotraspirazione espressa in mm/d, a è una costante ambientale (si è preso come riferimento quella di Rutigliano, in provincia di Bari, pari a 1.13); T è la temperatura media del giorno in ° C; UR è l'umidità relativa media giornaliera espressa in % ed F è il fattore correttivo di Thornthwaite (1948) e rappresenta la possibile durata media giornaliera di luce solare, espressa in unità di 30 giorni di 12 h ognuna. I valori correttivi sono riportati in Tabella 2-16.

Tabella 2-16: Valori correttivi di Thornthwaite (1948)

Mese	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
F (Lat. 40° N)	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81

2.14.1.2 Formula di Hargreaves

Il secondo modello usato è quello sviluppato sulla base dell'equazione di Hargreaves (Hargreaves *et al.*, 1985). Tra le formule per il calcolo dell'ET_o, accreditate dalla FAO, quella proposta da Hargreaves, è la più diffusa in quanto richiede la sola misura diretta della temperatura massima e minima, facilmente ed economicamente ottenibile con comuni termometri o con termografi. Va rilevato che tale formula potrebbe fornire valori poco precisi, soprattutto in relazione a

particolari fattori climatici, che sono esclusi dal calcolo dell'ET_o. In particolare non compaiono né il vento né l'umidità relativa, mentre la radiazione è stimata, con un approccio semplificato, a partire dall'escursione termica. (Fagnano *et al.*, 2001).

La formula di Hargreaves utilizzata è fornita dalla seguente:

$$ET_H = 0.0022 \cdot R_{extra} \cdot (T_{media} + 17.8) \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad (2-3)$$

dove ET_H è l'evapotraspirazione di riferimento (mm/d); T_{media}, T_{max}, T_{min} (°C) sono Temperatura media, massima e minima giornaliera, rispettivamente, misurate a 2 m di altezza dal suolo; R_{extra} è la radiazione giornaliera all'esterno dell'atmosfera (MJ/m²/d) ed è stata calcolata secondo quanto indicato da Allen *et al.* (1998), che si riporta nel seguito.

Il valore di R_{extra}, in dipendenza della latitudine, della stagione e dell'ora, si ricava dalla seguente relazione:

$$R_{extra} = \frac{24 \cdot 60}{\pi} \cdot R_o \cdot d_r \cdot (\omega_s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s) \quad (2-4)$$

con

R_o costante solare dell'ordine dei 0,0820 MJ/m²/min;

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{365} \cdot J \right) \quad (2-5)$$

$$\delta = 0,409 \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{365} \cdot J - 1,39 \right) \quad (2-6)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad (2-7)$$

dove:

- d_r è la distanza relativa Terra-Sole,
- δ è la declinazione solare [rad],
- φ è la latitudine [rad],

- ω_s è l'angolo orario al tramonto [rad],
- GG è il numero del giorno nell'anno (Giorno Giuliano).

Per un bilancio nel mese, il valore di GG può essere determinato utilizzando la relazione:

$$GG = \text{int}(30.42M - 15.23) \quad (2-8)$$

mentre in un bilancio giornaliero J lo si può ricavare:

$$GG = \text{int}(275M//9 - 30 + D) - 2 \quad (2-9)$$

con:

- M numero del mese,
- D numero del giorno del mese (Viglione, 2004)

2.15 Modello predittivo delle variazioni di peso dei reflui sulla pesa sperimentale

Il modello predittivo delle variazioni di peso dei reflui nel paddock, necessario per valutare l'evaporazione, è stato sviluppato a partire dal bilancio di massa sulla pesa sperimentale, che è dato dall'Eq. (2-10);

$$AW_i = AW_{i-1} + P + A_d - EV \quad (2-10)$$

dove, AW_i è il peso medio del refluo sulla piattaforma nell' i -mo giorno giuliano dell'anno ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{d}$); AW_{i-1} è il peso medio del refluo sulla piattaforma nell' $(i-1)$ -mo giorno giuliano dell'anno; P è la pioggia cumulata giornaliera; EV è l'evaporazione del refluo e A_d è la produzione giornaliera di escreto, stimata in $4 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{d}$. L'apporto di reflui, giornaliero (A_d), è stato stimato approssimando l'escreto di un singolo capo adulto, in $40 \text{ kg}/\text{d}/\text{capo}$. Di questi $20 \text{ kg}/\text{d}/\text{capo}$ nel

paddock ed altrettanti nella zona di riposo e alimentazione. La superficie del paddock è di circa 5 m²/capo e quindi l'apporto medio è stimato in 4 kg/m²/d. I termini EV e P vengono espressi in kg/m²/d assumendo una densità del refluo paria a quella dell'acqua (1000 kg/ m³).

Esplicitando il termine EV nell'Eq. (2-10) una volta rispetto alla formula di Tombesi-Lauciani e l'altra rispetto alla formula di Hargreaves, si ottengono due modelli predittivi basati sulle formule di evapotraspirazione di Tombesi-Lauciani e Hargreaves. Nello specifico, quando si considera il modello di Tombesi Lauciani, la massa totale di refluo accumulata sulla pesa è data dall'Eq. (2-11)

$$AW_i = AW_{i-1} + P + A_d - K_{TL} \cdot ET_{TL} \quad (2-11)$$

Quando si considera il modello di Hargreaves, la massa totale di refluo accumulata sulla pesa è data dall'Eq. (2-12).

$$AW_i = AW_{i-1} + P + A_d - K_H \cdot ET_H \quad (2-12)$$

dove K_{TL} e K_H sono le costanti da determinare per risolvere i modelli.

2.15.1 ACCURATEZZA E PERFORMANCE DEI MODELLI

Il periodo di osservazione va dal 24 Giugno 2011 al 24 di Settembre 2011 che equivale a dire dal 178° Giorno Giuliano (GG) al 286° GG. Dall'elaborazione sono stati esclusi tutti i giorni con dati mancanti o in cui le attrezzature hanno registrato valori anomali. I criteri applicati per la definizione dei dati anomali sono stati i seguenti: $T_{min} < 0^{\circ}C$, $T_{max} > 45^{\circ}C$; umidità relativa $> 100\%$; escursione termica $> 30^{\circ}C$; valori della radiazione totale giornaliera maggiori dei valori della radiazione extra atmosferica (Fagnano *et al.* 2001).

I valori di K_{TL} e K_H sono stati calcolati come il valore che minimizzi lo scarto quadratico medio tra i valori stimati e quelli misurati.

Le performance dei due modelli sono stati analizzate e confrontate in termini di accuratezza, che in modellistica, viene intesa come una stima dello scarto tra valori misurati e simulati (Confalonieri *et al.*, 2009). Esistono molti indici per valutarla, quali l'F-test per valutare la significatività del modello, associata ad un determinato livello di probabilità $p(t)$. Altri parametri statistici investigati sono l'efficienza del modello (EF), il coefficiente di correlazione fra dati stimati e misurati (R) e il coefficiente di determinazione (R^2).

L'indice di efficienza del modello (EF) è stato calcolato usando la Eq. (2-13);

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (D_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \overline{M})^2} \quad (2-13)$$

dove, n è il numero di valori stimati; D_i è la differenza tra S_i and M_i , che rappresentano l'i-mo valore simulato e misurato, rispettivamente; $\overline{M}$ è la media dei valori misurati. EF varia tra il valore minimo pari a $-\infty$ ed un massimo e ottimo pari a 1; se negativo, la media dei misurati è migliore del modello. L'indice di efficienza è utile perchè consente di individuare i modelli inefficienti (Loague e Green, 1991). La statistica F-value è il rapporto tra la predittività e la precisione del modello e viene fornita insieme con il livello di significatività $p(t)$. Se $p(t) \leq 0.05$, allora il modello è significativo (Confalonieri *et al.*, 2009, 2010). I calcoli sono stati eseguiti usando lo strumento Analisi Dati del software Microsoft Excel[®].

2.15.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO PIÙ EFFICIENTE SULLE SERIE STORICHE DI DATI METEO

Una volta trovato il modello più accurato, si è proceduto ad una implementazione su cinque anni, usando le serie storiche di dati della stazione

meteo più vicina, ovvero di Battipaglia (SA). Il modello si riferisce a 1 m² di paddock posto a Battipaglia nel periodo dal 1° Gennaio 2006 al 31 Dicembre 2010.

L'evaporazione totale, EV, su base annua è stata infine calcolata considerando la differenza tra l'evaporazione potenziale massima (EV_{max}) e la minima (EV_{min}). L'evaporazione massima potenziale EV_{max} corrisponde ad una pratica di gestione in cui i reflui sono lasciati nella zona di stabulazione tanto a lungo quanto possibile, senza attivare il raschiatore. Per contro l'evaporazione potenziale minima EV_{min} è il valore che si registra quando i reflui vengono rimossi continuamente.

2.15.2.1 Dati delle stazioni agrometeorologiche nella zona di studio

L'agrometeorologia è la disciplina scientifica che si occupa dell'applicazione della meteorologia all'agricoltura. Questa studia le interazioni dei fattori meteorologici ed idrologici con l'ecosistema agricolo-forestale e con l'agricoltura, intesa nel suo senso più ampio. Negli ultimi anni la scienza agronomica può esprimere i suoi concetti matematicamente, tramite opportuni modelli la cui soluzione permette di seguire e prevedere l'evoluzione del sistema considerato (Mariani, 2005).

Per poter caratterizzare il microclima presente nell'azienda oggetto di studio, e quindi i fattori agrometeorologici che influenzano direttamente la concentrazione del refluo ed indirettamente la sua gestione, sono stati presi in esame dati riportati dalle seguenti fonti:

- Centro Agrometeorologico Regionale (C.A.R.);
- Piano di tutela delle acque (P.T.A.) della Regione Campania;
- Annali idrologici pubblicati dell'ex Ufficio idrografico e Mareografico Nazionale.

Dal C.A.R. sono state estratte le precipitazioni medie mensili ed annue relative alla stazione di Battipaglia (Lat. N 405821; Long. E 142650M; Alt. 29 m s.l.m.) .

Dal P.T.A. e dagli Annali idrologici sono stati estratti i dati relativi ad un periodo di osservazione di 39 anni (dal 1971 al 2010) delle precipitazioni medie mensili ed annue e le temperature mensili ed annue. Le stazioni pluviometriche considerate sono le 288, 295, 284, 262, 290, 296; Le stazioni termometriche: 288, 296, 299.

Tabella 2-17: Stazioni pluviometriche e termometriche

Cod.	Nome stazione	Bacino	N° anni
262	Campagna	Sele	30
284	Eboli	Sele	32
288	Battipaglia	Tuscano	32
290	Persano diga	Calore Luc. A. Confluenza Fiume Sele	10
295	Battipaglia (aversana)	Bacino bonifica a monte foce sele	2
296	Persano	Sele a conf. Fiume Calore Luc.	1
299	Persano sele	Calore Luc. A. conf. F. sele	1

Sono state calcolate le medie mensili delle piogge, per ciascuna stazione, ed è stato individuato il valor massimo e minimo mensile delle piogge e delle temperature tra i vari anni di ciascuna stazione. Per queste valutazioni non si è tenuto conto dei dati mancanti.

Poiché le serie storiche di Eboli e Persano (serie 284 e 299) in alcuni casi risultavano complementari, si è pensato di valutare se fosse possibile generare un'unica serie di oltre 40 anni per poter fare un'analisi statistica con estrapolazione di dati probabili.

A tal fine sono state calcolate media e varianza dei dati mensili degli anni comuni. Confrontando le medie e la varianza delle medie mensili si è controllato se lo scostamento tra le due stazioni rientrasse nella varianza della singola serie di dati. Dato che lo scostamento rientra nella varianza si è ipotizzato che le due serie di dati fossero integrabili.

2.15.2.2 Classificazione del clima delle stazioni

La classificazione del clima delle diverse stazioni occorre per valutare se le stazioni sono effettivamente assimilabili. In particolare è stato utilizzato l'indice climatico annuale di De Martonne (1926) fornito dalla (2-14):

$$H = \frac{P}{T} + 10 \quad (2-14)$$

in cui P indica la pioggia totale annua (mm) e T la temperatura media annuale (°C)

La successiva tabella riporta la classificazione climatica sulla base di questo indice (Leone, 2011)

Tabella 2-18: Tipologie climatiche in base all'indice annuale di De Martonne

Tipo di clima	Indice H di De Martonne
Desertico	0÷5
Arido	5÷15
Semiarido (mediterraneo)	15÷20
Subumido	20÷30
Umido	30÷60

L'indice di De Martonne su scala mensile occorre per valutare i periodi aridi e quindi, per gli scopi di questa tesi, per individuare in prima approssimazione i periodi in cui è possibile effettuare gli spandimenti. Inoltre è possibile individuare i periodi in cui è verosimile che dai paddock evaporino più acqua dai reflui di quanta ne piove usando la seguente formula riferita al mese i-mo:

$$H_i = 12 \cdot \frac{P_i}{T_i} + 10 \quad (2-15)$$

Altro indice utilizzato è l'indice xerotermico di Bagnolus-Gaussen (utilizzato anche dalla FAO (1963) per la redazione delle mappe bioclimatiche delle aree mediterranee) che prevede la rappresentazione cartesiana di piogge e temperature medie mensili in modo che la scala delle temperature sia doppia di quella delle

piogge, ovvero si abbia la seguente corrispondenza $P_i = 2 \cdot T_i$ dove il termine P_i indica il valore delle piogge medie mensili (mm) e T_i quello delle temperature medie mensili ($^{\circ}$ C). Il periodo di aridità coincide con quello in cui il diagramma della pioggia cade al di sotto di quello della temperatura (Leone A., 2004).

3 RISULTATI E DISCUSSIONI

3.1 Software per la compilazione del modello di comunicazione

Il software fornisce i risultati dei calcoli necessari alla compilazione del modello di comunicazione per l'utilizzazione agronomica degli effluenti zootecnici.

Nelle tabelle seguenti si riportano i principali dati di output del software.

Tabella 3-1: Dati di output del software: kg/anno di azoto prodotti

AZOTO	Tipologia di effluente	Quantità (kg/anno)
1.1 Azoto da effluenti zootecnici prodotto in allevamento	1.1.1 palabile	13.300
	1.1.2 non palabile	4.400
	1.1.3 pascolo	0
1.2 Azoto da effluenti zootecnici utilizzato su superfici aziendali	1.2.1 palabile	12.838
	1.2.2 non palabile	4.252
	1.2.3 pascolo	0
Azoto totale prodotto in azienda		34.790

Tabella 3-2: Dati di output del software: volume stoccaggi

Tipologia effluente	Durata (giorni)	Volumi (m ³)
Effluenti non palabili	120	373
Effluenti palabili	120	1.635

3.2 Costi e tempi di spandimento applicati all'azienda reale

Utilizzando i dati relativi ai costi di spandimento esposti nella sezione § 2.5.5.4 e considerato che l'azienda ospite della pesa sperimentale, effettua le operazioni di spandimento con carro botte con piatto deviatore, si ha un costo orientativo totale di circa 16.000 €/anno. L'aspetto che però è importante sottolineare, sono i tempi necessari a questa operazione: per spandere i circa 8.000 m³ prodotti annualmente occorrono circa 50 giornate lavorative, che devono trovare spazio all'interno delle finestre colturali e le giornate in cui è possibile effettivamente andare in campo.

3.3 L'evapotraspirazione nell'area studio

La Figura 3-1 mostra l'andamento dei parametri climatici utilizzati ai fini del calcolo dell'evapotraspirazione secondo le formule di Hargreaves e Tombesi Lauciani di cui a § 2.14.1.1 e 2.14.1.2. I risultati dei calcoli, relativi al periodo di osservazione, sono riportati in Tabella 3-3.

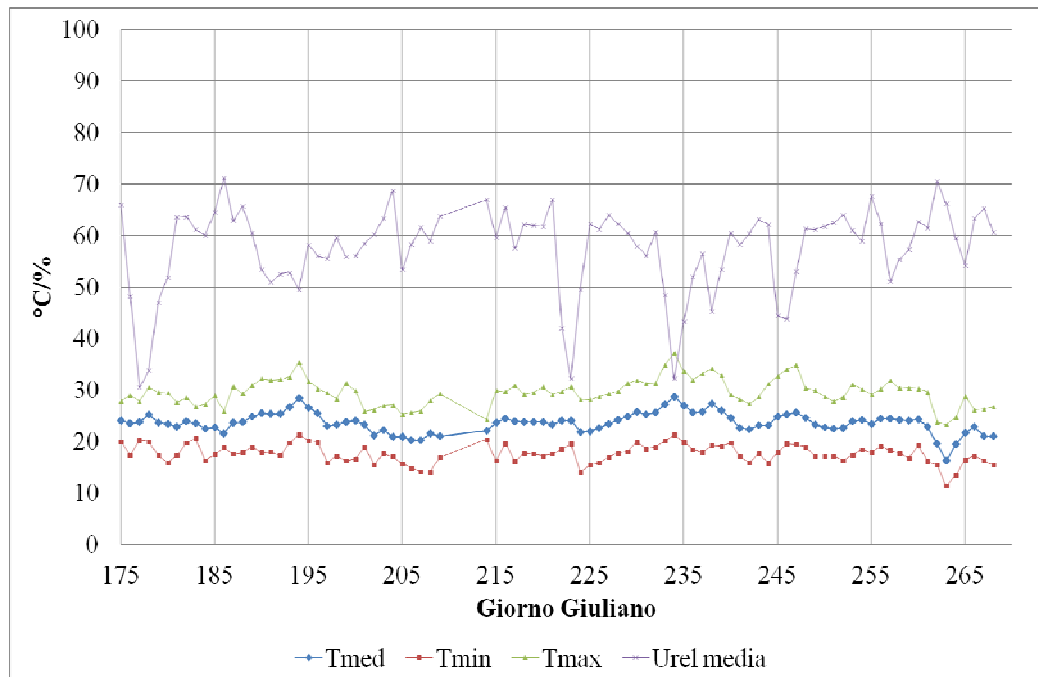


Figura 3-1: Andamento dei parametri climatici T (°C) e UR (%) nel periodo di osservazione

Tabella 3-3: Risultati del calcolo della Radiazione extratmosferica (e dei parametri utili alla sua determinazione) e dell'evapotraspirazione potenziale secondo i modelli di Hargreaves e Tombesi Lauciani

GG	d _r	δ (rad)	ω _s (rad)	R _a (MJ/m ² /d)	T _{med} (°C)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	UR _{media} (%)	Pioggia (mm/d)	ET _H (mm/d)	ET _{TL} (mm/d)
175	0,96727	0,40845	1,95063	41,8581	23,979	20,004	27,828	65,9078	0	11,2507	7,55739
176	0,96721	0,40803	1,95017	41,8415	23,4479	17,332	28,975	48,1724	0	13,5447	10,2661
177	0,96715	0,40748	1,94957	41,8215	23,8085	20,227	27,76	30,4708	0	10,9848	14,4227
178	0,9671	0,40682	1,94884	41,7979	25,1714	20,004	30,533	33,7802	0	13,4047	14,2749
179	0,96706	0,40603	1,94798	41,7709	23,6995	17,295	29,571	47,0448	0	13,9693	10,5838
180	0,96703	0,40513	1,94699	41,7405	23,3177	15,921	29,431	51,9228	0	14,5092	9,53235
181	0,96701	0,4041	1,94587	41,7066	22,9112	17,295	27,648	63,5529	0	12,5655	7,57198
182	0,967	0,40295	1,94463	41,6692	23,8466	19,744	28,494	63,6007	0	11,8066	7,9714
183	0,967	0,40169	1,94325	41,6284	23,5147	20,598	26,791	61,1944	0	9,84402	8,22707
184	0,96701	0,4003	1,94175	41,5842	22,4314	16,255	27,199	60,0647	0	12,7294	8,04719
185	0,96703	0,3988	1,94012	41,5365	22,7601	17,406	28,867	64,4595	0	13,118	7,52028
186	0,96706	0,39718	1,93837	41,4854	21,5851	18,705	25,906	71,1838	6	10,0844	6,33129
187	0,9671	0,39544	1,93649	41,4308	23,5943	17,517	30,648	62,8819	0	14,2936	7,99986
188	0,96715	0,39358	1,9345	41,3729	23,8185	17,815	29,279	65,6626	0	13,4091	7,66609
189	0,96721	0,39161	1,93238	41,3115	24,8798	18,928	30,875	60,5988	0	14,0168	8,75614
190	0,96727	0,38952	1,93014	41,2467	25,5242	17,814	32,208	53,4002	0	15,5933	10,2331
191	0,96735	0,38731	1,92779	41,1785	25,3212	17,963	31,909	50,8953	0	15,2515	10,6387
192	0,96744	0,38499	1,92532	41,1069	25,3818	17,295	32,02	52,5455	0	15,6665	10,3427
193	0,96754	0,38256	1,92273	41,0319	26,7172	19,67	32,502	52,7935	0	15,0496	10,7873
194	0,96764	0,38001	1,92003	40,9536	28,3727	21,303	35,327	49,5215	0	16,287	12,1018
195	0,96776	0,37735	1,91723	40,8718	26,5635	20,115	31,686	58,2258	0	14,1861	9,70901
196	0,96789	0,37458	1,91431	40,7867	25,4883	19,819	30,284	56,0701	0	13,1367	9,72954
197	0,96802	0,3717	1,91129	40,6983	23,0389	15,817	29,391	55,4987	0	14,0842	8,96878

GG	d _r	δ (rad)	ω _s (rad)	Ra (MJ/m ² /d)	T _{med} (°C)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	UR _{media} (%)	Pioggia (mm/d)	ET _H (mm/d)	ET _{TL} (mm/d)
198	0,96817	0,36871	1,90816	40,6065	23,1932	17,22	28,316	59,5953	0	12,7532	8,36753
199	0,96832	0,3656	1,90493	40,5113	23,743	16,221	31,247	55,9692	0	15,0046	9,13832
200	0,96849	0,36239	1,9016	40,4128	23,9941	16,555	29,877	56,0568	0	14,179	9,21136
201	0,96866	0,35908	1,89817	40,311	23,2116	18,891	25,868	58,4557	0,6	10,0437	8,55122
202	0,96884	0,35565	1,89464	40,2059	21,1163	15,441	26,203	60,2508	0	11,8058	7,59063
203	0,96903	0,35212	1,89102	40,0974	22,1903	17,667	26,945	63,2721	0	11,2338	7,51127
204	0,96923	0,34849	1,8873	39,9857	20,8468	16,998	27,093	68,7848	2,4	11,2927	6,41106
205	0,96944	0,34475	1,8835	39,8707	20,8518	15,629	25,238	53,4357	0	10,9873	8,50781
206	0,96966	0,34091	1,8796	39,7524	20,2463	14,85	25,646	58,38	0	11,4297	7,56166
207	0,96989	0,33697	1,87562	39,6308	20,1541	14,11	25,943	61,609	0	11,9006	7,09548
208	0,97013	0,33293	1,87156	39,506	21,5919	14,071	27,944	58,9225	0	13,3316	7,93792
209	0,97037	0,3288	1,86741	39,378	20,9748	16,85	29,275	63,664	0	12,3788	7,08459
214	0,97173	0,30667	1,84551	38,6899	22,0164	20,375	24,198	67,0076	0	6,92771	6,46844
215	0,97203	0,30196	1,84092	38,5428	23,6964	16,22	29,872	59,6889	0	13,5919	7,91427
216	0,97234	0,29717	1,83625	38,3925	24,4476	19,559	29,652	65,458	0	11,8519	7,32135
217	0,97265	0,29229	1,83152	38,2392	23,8549	16,107	30,767	57,4676	0	14,0272	8,29498
218	0,97297	0,28732	1,82673	38,0828	23,7683	17,74	29,133	62,176	0	12,2896	7,58071
219	0,9733	0,28227	1,82187	37,9233	23,7775	17,517	29,465	62,0107	0	12,5355	7,60653
220	0,97364	0,27713	1,81696	37,7608	23,7415	17,221	30,616	61,7797	0	13,2045	7,62843
221	0,97399	0,27191	1,81199	37,5953	23,2279	17,554	29,096	67,0328	0	12,0526	6,7884
222	0,97434	0,26661	1,80696	37,4268	24,075	18,445	29,763	41,9603	0	12,1269	11,1302
223	0,9747	0,26123	1,80188	37,2554	24,0877	19,486	30,578	32,1997	0	11,9539	13,329
224	0,97507	0,25578	1,79674	37,081	21,8043	14,074	28,13	49,4867	0	12,6634	8,85401
225	0,97544	0,25025	1,79156	36,9037	21,8694	15,442	28,057	62,2333	0	11,9591	7,02014
226	0,97583	0,24464	1,78632	36,7235	22,6247	15,814	28,689	61,2301	0	12,2516	7,37547

GG	d _r	δ (rad)	ω _s (rad)	Ra (MJ/m ² /d)	T _{med} (°C)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	UR _{media} (%)	Pioggia (mm/d)	ET _H (mm/d)	ET _{TL} (mm/d)
227	0,97622	0,23896	1,78104	36,5405	23,371	16,961	29,245	63,9501	0	12,1273	7,2253
228	0,97662	0,23321	1,77572	36,3546	24,1554	17,703	29,726	62,3441	0	12,1642	7,66923
229	0,97702	0,2274	1,77035	36,166	24,7734	18	31,247	60,614	0	12,8892	8,10169
230	0,97743	0,22151	1,76494	35,9747	25,7176	19,856	31,837	57,9472	0	12,4634	8,80424
231	0,97785	0,21556	1,75949	35,7806	25,1641	18,557	31,211	56,1048	0	12,5775	8,92962
232	0,97827	0,20954	1,75401	35,5839	25,5667	18,891	31,32	60,7488	0	12,5128	8,31676
233	0,9787	0,20347	1,74848	35,3845	27,1843	20,041	34,807	48,4236	0	14,068	11,0357
234	0,97914	0,19733	1,74292	35,1825	28,6957	21,229	37,104	32,2343	0	14,9908	15,6207
235	0,97958	0,19113	1,73733	34,978	26,966	19,856	33,658	43,2638	0	13,3796	12,0474
236	0,98003	0,18488	1,7317	34,771	25,6778	18,372	31,988	52,0323	0	12,8303	9,80391
237	0,98049	0,17857	1,72605	34,5615	25,7478	17,777	33,176	56,4803	0	13,5842	9,05507
238	0,98095	0,17221	1,72036	34,3496	27,3254	19,225	34,14	45,2837	0	13,7684	11,7481
239	0,98142	0,1658	1,71465	34,1353	26,067	19,039	32,839	53,3822	0	12,7941	9,69495
240	0,98189	0,15934	1,70891	33,9187	24,6149	19,67	29,023	60,5104	0	10,1196	8,06988
241	0,98237	0,15283	1,70314	33,6999	22,5954	17,003	28,133	58,263	0	10,4456	7,78062
242	0,98285	0,14628	1,69735	33,4788	22,3793	15,816	27,316	60,4334	0	10,4918	7,4106
243	0,98334	0,13968	1,69154	33,2556	23,063	17,704	28,615	63,183	0	10,3242	7,24018
244	0,98383	0,13305	1,68571	33,0303	23,0483	15,78	31,099	62,1566	0	12,1459	6,49921
245	0,98433	0,12637	1,67985	32,8029	24,8708	17,815	32,619	44,4415	0	12,3869	9,6529
246	0,98483	0,11966	1,67398	32,5736	25,2686	19,484	33,954	43,7832	0	12,2741	9,91279
247	0,98534	0,11291	1,66809	32,3423	25,6052	19,412	34,805	53,066	0	12,6678	8,45593
248	0,98585	0,10612	1,66218	32,1092	24,5789	18,891	30,32	61,3546	0	10,5806	6,99339
249	0,98636	0,09931	1,65626	31,8743	23,2074	17,111	29,911	61,2106	0	10,7556	6,65498
250	0,98688	0,09246	1,65032	31,6377	22,7024	17,151	28,689	61,7977	0	10,011	6,4529
251	0,9874	0,08559	1,64437	31,3994	22,3973	17,073	27,799	62,5363	0	9,50745	6,28781

GG	d _r	δ (rad)	ω _s (rad)	Ra (MJ/m ² /d)	T _{med} (°C)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	UR _{media} (%)	Pioggia (mm/d)	ET _H (mm/d)	ET _{TL} (mm/d)
252	0,98793	0,07869	1,6384	31,1595	22,5598	16,262	28,578	63,9276	0	10,1508	6,16917
253	0,98846	0,07177	1,63243	30,9181	23,9086	17,372	31,062	61,0398	0	10,9741	6,85926
254	0,989	0,06483	1,62644	30,6752	24,1446	18,409	30,134	58,948	0	10,1332	7,19274
255	0,98953	0,05787	1,62045	30,431	23,3526	17,781	29,097	67,6806	0	9,6892	5,94091
256	0,99007	0,05089	1,61445	30,1854	24,4807	19,04	30,211	62,3044	0	9,81101	6,8471
257	0,99062	0,0439	1,60844	29,9387	24,4532	18,19	31,803	51,0893	0	10,7349	8,40975
258	0,99116	0,03689	1,60242	29,6908	24,1341	17,745	30,358	55,338	0	10,1701	7,68424
259	0,99171	0,02988	1,5964	29,4419	24,0947	16,669	30,394	57,2466	0	10,5101	7,40778
260	0,99226	0,02285	1,59038	29,1919	24,2934	19,189	30,248	62,7256	0	9,39858	6,74685
261	0,99282	0,01582	1,58435	28,9411	22,8641	16,115	29,58	61,5378	0	9,93247	6,52589
262	0,99337	0,00878	1,57832	28,6894	19,4911	15,411	23,716	70,5456	58	7,09128	4,78077
263	0,99393	0,00174	1,57229	28,4371	16,2445	11,365	23,307	66,1999	10,2	7,69482	4,38789
264	0,99449	-0,0053	1,56626	28,184	19,4452	13,407	24,644	59,5223	0,2	8,09332	5,84458
265	0,99505	-0,01234	1,56023	27,9304	21,7151	16,446	28,797	54,2442	0	8,92113	7,12216
266	0,99561	-0,01937	1,5542	27,6764	22,8001	17,221	26,126	63,2941	2	7,71225	6,30206
267	0,99617	-0,0264	1,54817	27,4219	20,9519	16,189	26,275	65,3467	0	7,76207	5,61889
268	0,99674	-0,03342	1,54215	27,1672	21,0095	15,448	26,683	60,6746	9	8,12824	6,13921

3.4 Caratterizzazione del clima sulla base delle serie storiche

3.4.1 DATI METEOROLOGICI

Al fine di determinare l'andamento pluviometrico dell'area oggetto di studio sono state calcolate le precipitazioni medie mensili ed annue desunte dal PTA per le diverse stazioni. La lunghezza delle serie di dati per ciascuna stazione è riportata in Tabella 3-1:

Tabella 3-4: Stazioni pluviometriche ed anni utilizzati

Stazione	Periodo	N ° anni
Battipaglia	Dal 1971 al 1993	21
Battipaglia (aversana)	Dal 1985 al 2010	14
Campagna	Dal 1971 al 1999	19
Eboli	Dal 1971 al 1999	23
Persano	Dal 1988 al 1998	4
Persano diga	Dal 1982 al 1999	15

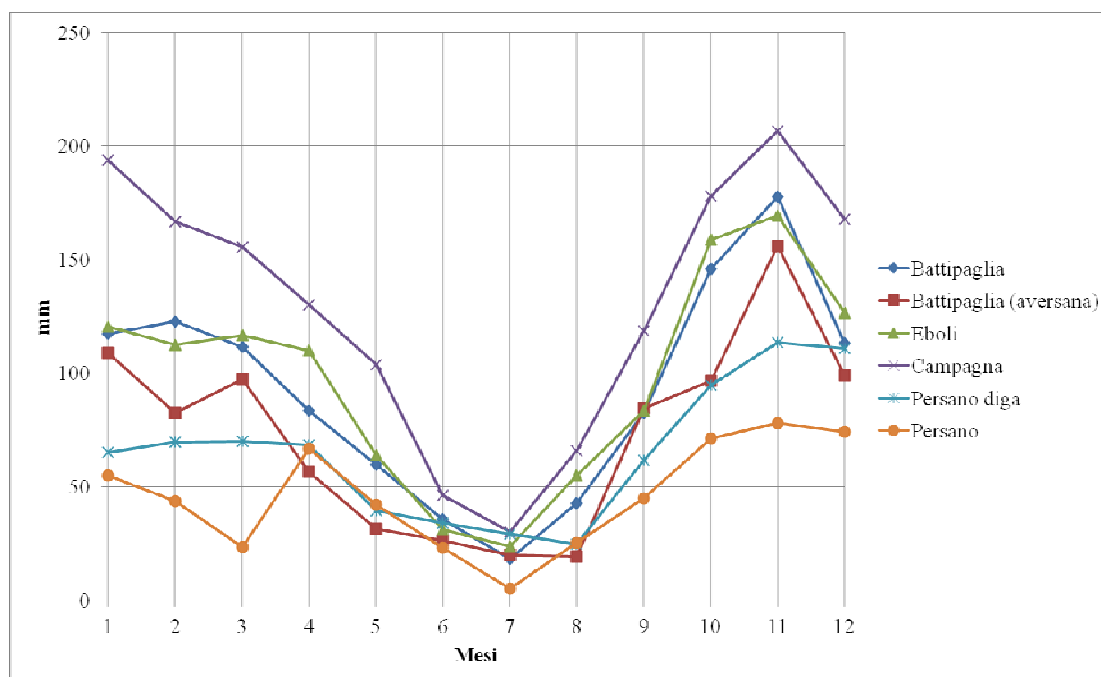


Figura: 3-2: Andamenti pluviometrici

In seguito è stata calcolata, sulla base dei dati considerati in precedenza, la media del numero di giorni piovosi per mese delle stazioni di riferimento.

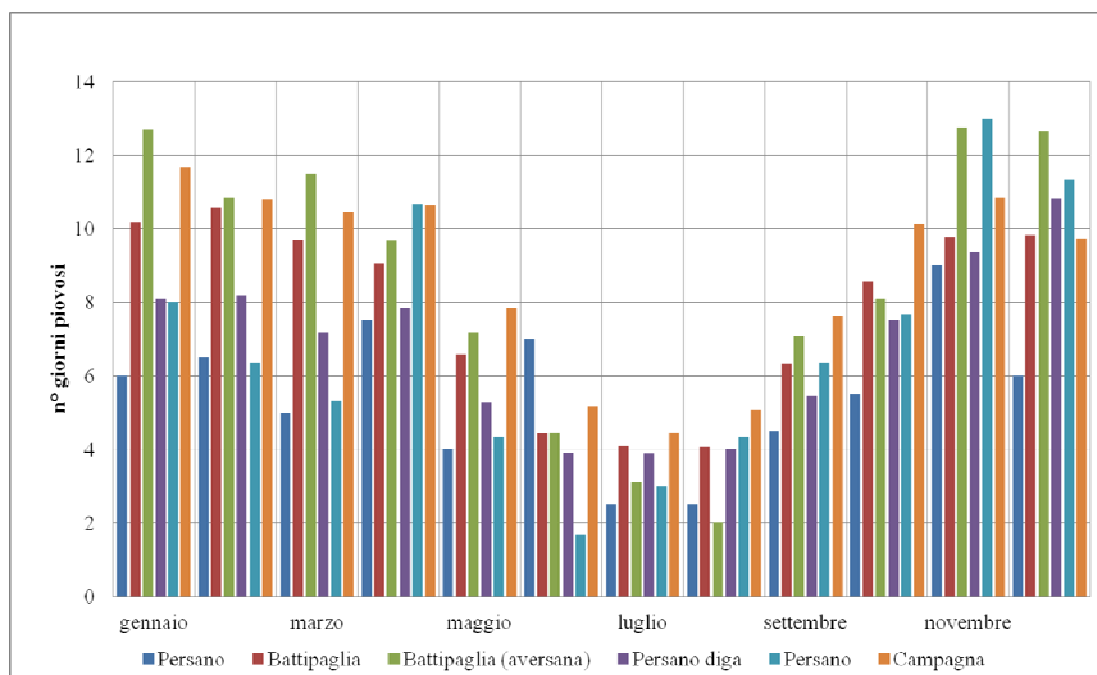


Figura 3-3: Numero giorni piovosi per mese

In Figura 3-4 si riporta un confronto tra gli andamenti dell'evapotraspirazione stimati con le formule di Hargreaves e Tombesi Lauciani, per la sola stazione di Battipaglia. I valori di temperatura e umidità relativa sono mediati sia rispetto al periodo temporale, che va dal 1999 al 2010, sia rispetto al mese riportato nel grafico.

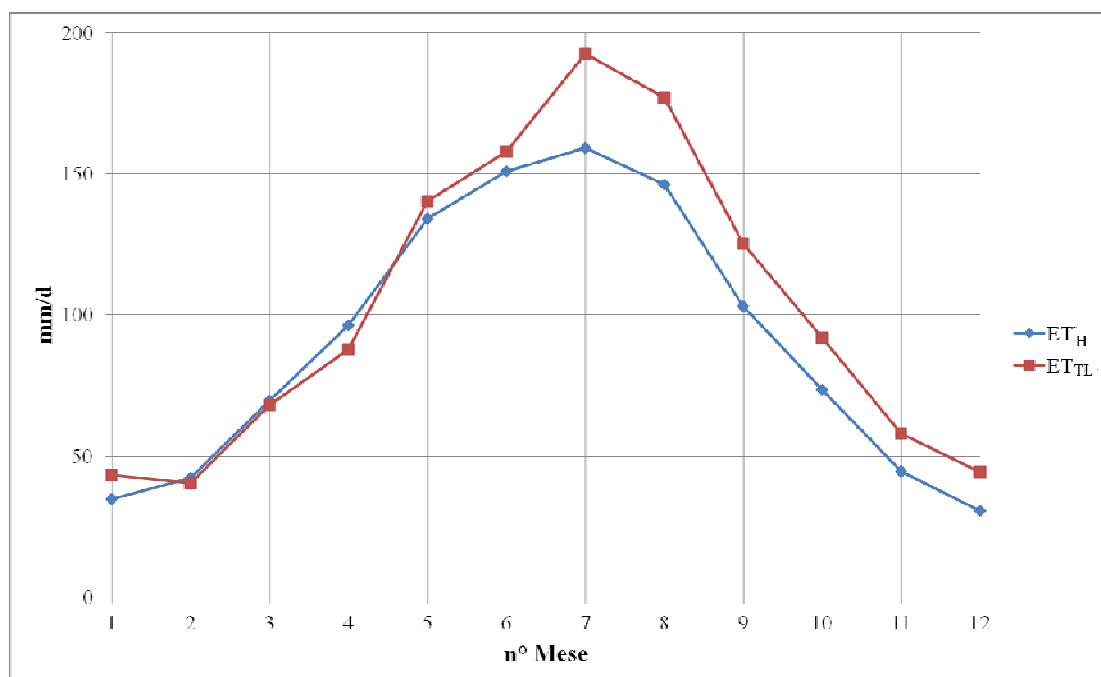


Figura 3-4: Andamento delle evapotraspirazione potenziale secondo il modello di Tombesi Lauciani (ET_{TL}) e Hargreaves (ET_H), riferite alla stazione meteo di Battipaglia

3.4.2 CLASSIFICAZIONE DEL CLIMA DELLE STAZIONI

Al fine di voler riuscire a caratterizzare il microclima dell'areale di riferimento sono stati calcolati gli indici annuali di De Martonne (H) con le serie di dati riportati in Tabella 3-5:

Tabella 3-5: Stazioni meteorologiche ed anni utilizzati

Stazioni	Periodo	N ° anni
Battipaglia	Dal 1972 al 1991	15
Eboli	Dal 1971 al 1997	20
Persano sele	Dal 1994 al 1999	6

Da questi sono stati ottenuti gli indici riportati in Tabella 3-6 e Tabella 3-7, riferiti all'anno e ai singoli mesi rispettivamente.

Tabella 3-6: Valori annuali dell'indice di De Martonne (H) per le stazioni di Eboli Battipaglia e Persano Sele

Stazione	Indice H di De Martonne	Tipo di clima
Eboli	45	Umido
Battipaglia	39	Umido
Persano sele	32	Umido

Tabella 3-7: Valori mensili dell'indice di De Martonne (H) per le stazioni di Eboli Battipaglia e Persano Sele

Mese	Stazione		
	Battipaglia	Eboli	Persano Sele
Gennaio	Umido	Umido	Umido
Febbraio	Umido	Umido	Umido
Marzo	Umido	Umido	Umido
Aprile	Umido	Umido	Umido
Maggio	Subumido	Subumido	Subumido
Giugno	Arido	Arido	Arido
Luglio	Arido	Arido	Arido
Agosto	Arido	Semiarido	Arido
Settembre	Umido	Umido	Subumido
Ottobre	Umido	Umido	Umido
Novembre	Umido	Umido	Umido
Dicembre	Umido	Umido	Umido

L'indice xerotermico di Bagnolus-Gaussen è stato utilizzato per caratterizzare e completare lo studio del microclima. Al fine di ciò sono stati utilizzate le medesime serie di cui all'indice di de Martonne riportate in Tabella 3-5.

Nelle Figura 3-5, Figura 3-6, e Figura 3-7 si riportano i relativi diagrammi di Bagnolus Gaussien, i quali confermano che il periodo da Agosto a Settembre è sostanzialmente arido per le tre stazioni considerate.

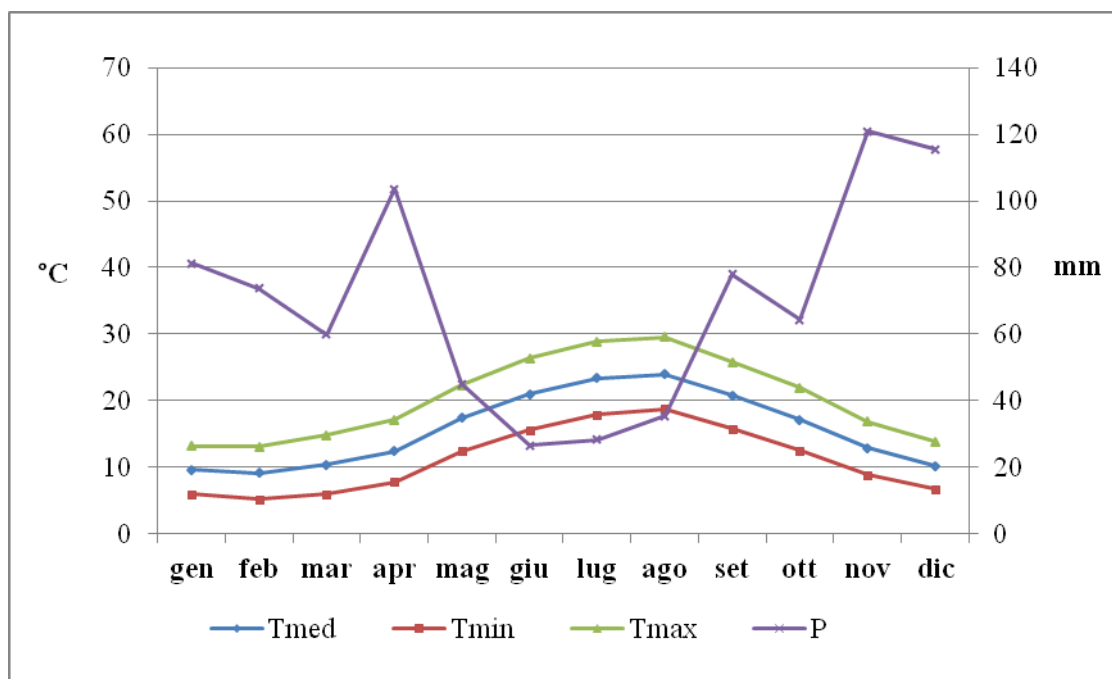


Figura 3-5: Diagramma di Bagnolus-Gaussien per la stazione di Persano Sele

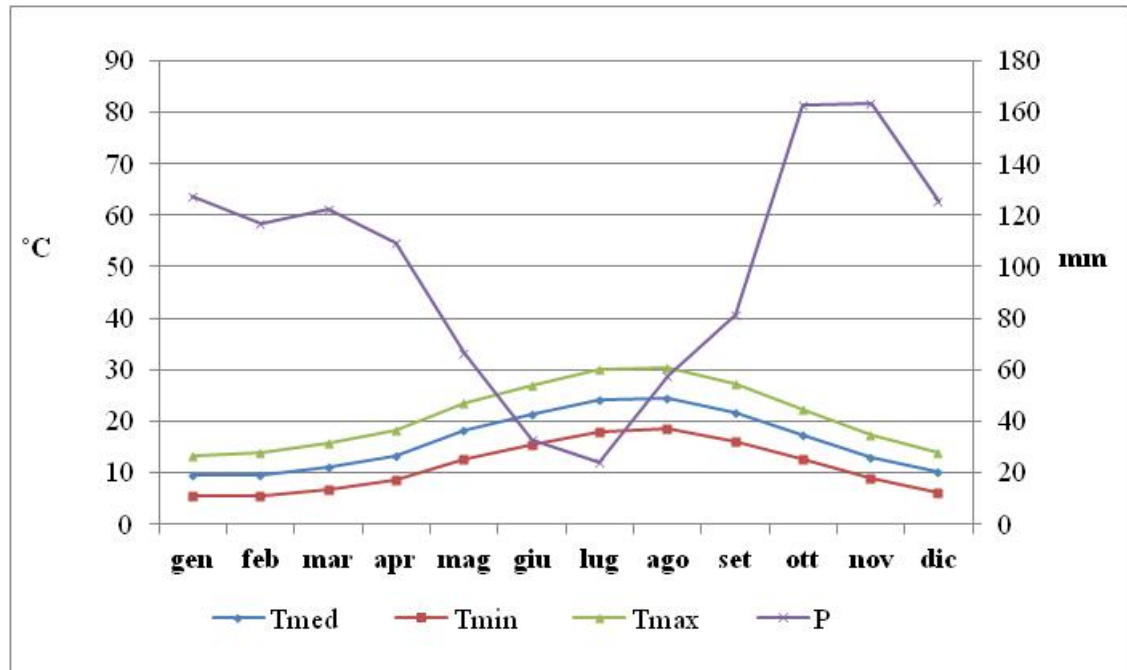


Figura 3-6: Diagramma di Bagnolus-Gaussen per la stazione di Eboli

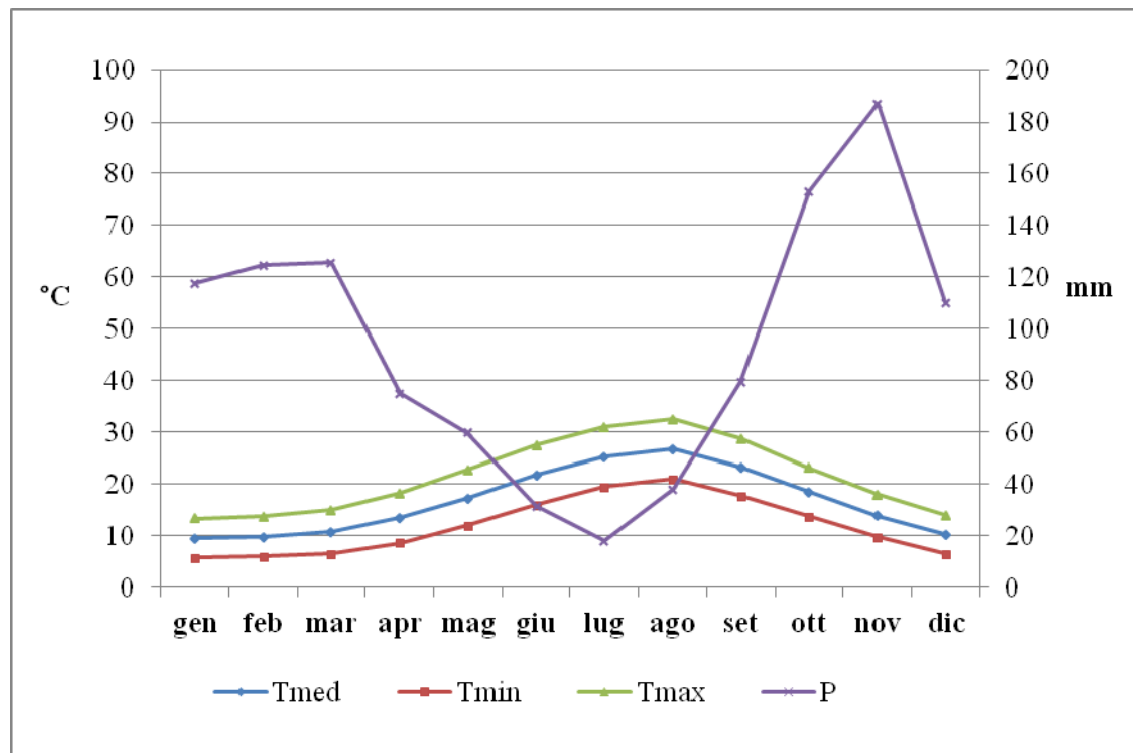


Figura 3-7: Diagramma di Bagnolus-Gaussen per la stazione di Battipaglia

3.1 Misure reflui ed altre misure aziendali

Nel periodo in esame il numero di capi adulti in azienda è stato approssimativamente di circa 600 unità. Il volume d'acqua apportato per il lavaggio della sala di mungitura e della sala d'attesa risulta nel grafico di Figura 3-8.

Più interessante è il rapporto tra l'acqua impiegata ed il numero di capi in lattazione che è un parametro classico in letteratura. Nel caso in esame il quantitativo medio è stato di circa 25 l/d/capo in lattazione.

Il livello della vasca reflui è stato notevolmente variabile, ciò a causa di diversi fattori tra cui: l'influenza delle piogge, gli azionamenti del raschiatore, che non sono quotidiani e i prelievi per lo spandimento. Il separatore solido liquidi

non è stato azionato nel periodo di sperimentazione. In Figura 3-8 è presentato un grafico del livello dei reflui in vasca.

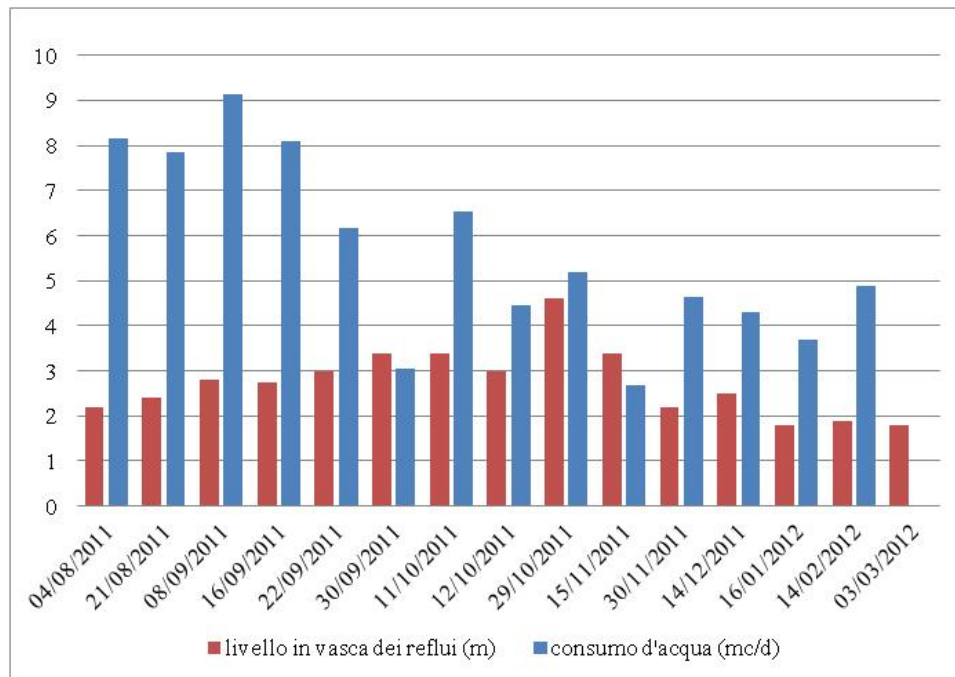


Figura 3-8: Andamento del livello della vasca di stoccaggio dei reflui

3.2 Risultati dell'analisi di dati

I valori risultanti di K_{TL} e K_H sono 0,416 e 0,291, rispettivamente, pertanto i modelli predittivi, indicati con S_{TL} and S_H sono presentati nelle seguenti Eq. (3-1) e (3-2);

$$S_{TL}: AW_i = AW_{i-1} - 0.416 ET_{TL} + 4 \quad (3-1)$$

$$S_H: AW_i = AW_{i-1} - 0.291 ET_H + 4 \quad (3-2)$$

In Figura 3-9 sono riportati entrambi i modelli delle Eq. (3-1) e (3-2) confrontati ai dati misurati.

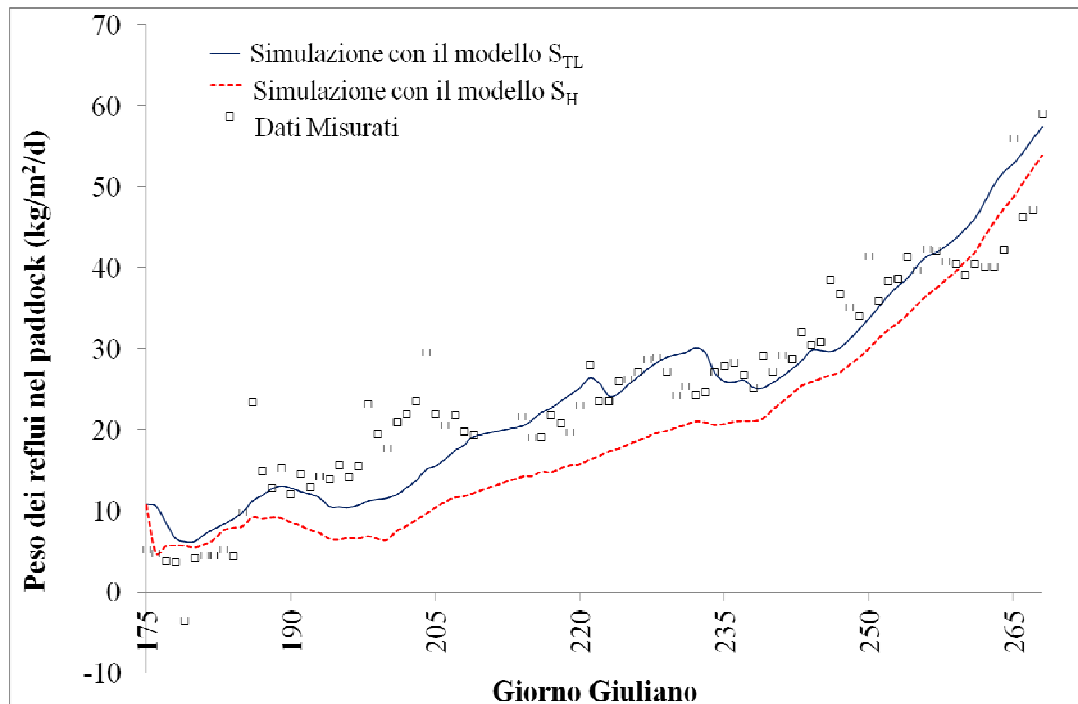


Figura 3-9: Confronto tra i dati previsti (modelli S_{TL} e S_H) e misurati mediante la pesa sperimentale

Le stime del peso rilevate dalla cella risultano alquanto variabili nei giorni in quanto, col calpestio, gli animali spostano una parte del refluo producendo più volte variazioni.

I parametri dell'analisi di regressione, relativi ai due modelli, sono riportati in Tabella 3-8 e Tabella 3-9.

Tabella 3-8: Statistica di regressione per il confronto delle previsioni di evaporazione con i due modelli S_{TL} e S_H

Parametri	S_{TL}	S_H
R	0.922	0.913
R^2	0.851	0.834
S.E.*	4.827	5.296
EF	0,81	0,78
N° di osservazioni	90	90

*S.E. = Standard Error

Tabella 3-9: Tabella Anova per il confronto delle previsioni di evaporazione con i due modelli S_{TL} e S_H

	gdl*		SQ [†]		MQ [‡]		F-value		p(t)	
	S_{TL}	S_H	S_{TL}	S_H	S_{TL}	S_H	S_{TL}	S_H	S_{TL}	S_H
Regressione	1	1	11703.8	12411.2	11703.8	12411.2	502.9	442.6	3.9E-38	4.3E-36
Residuo	88	88	2050.5	2467.8	23.30	28.04				
Totale	89	89	13754.3	14879						

*gdl= gradi di libertà

[†]SQ = Somma dei Quadrati della regressione

[‡]MQ=Media dei Quadrati della Regressione

Dal confronto dei parametri statistici riportati in Tabella 3-8 e Tabella 3-9 si evidenzia quanto i due modelli trovati siano molto simili fra loro: i valori di R^2 sono molto prossimi e l'indice di efficienza EF è in entrambi i casi molto prossimo ad 1, ciò implica che entrambi i modelli sono accurati. Ciononostante il modello S_{TL} risulta avere una performance maggiore in termini di precisione e predittività, come dimostrato dal confronto dei dati in Tabella 3-9, dalla retta di regressione e dai coefficienti di regressione riportati in Figura 3-10.

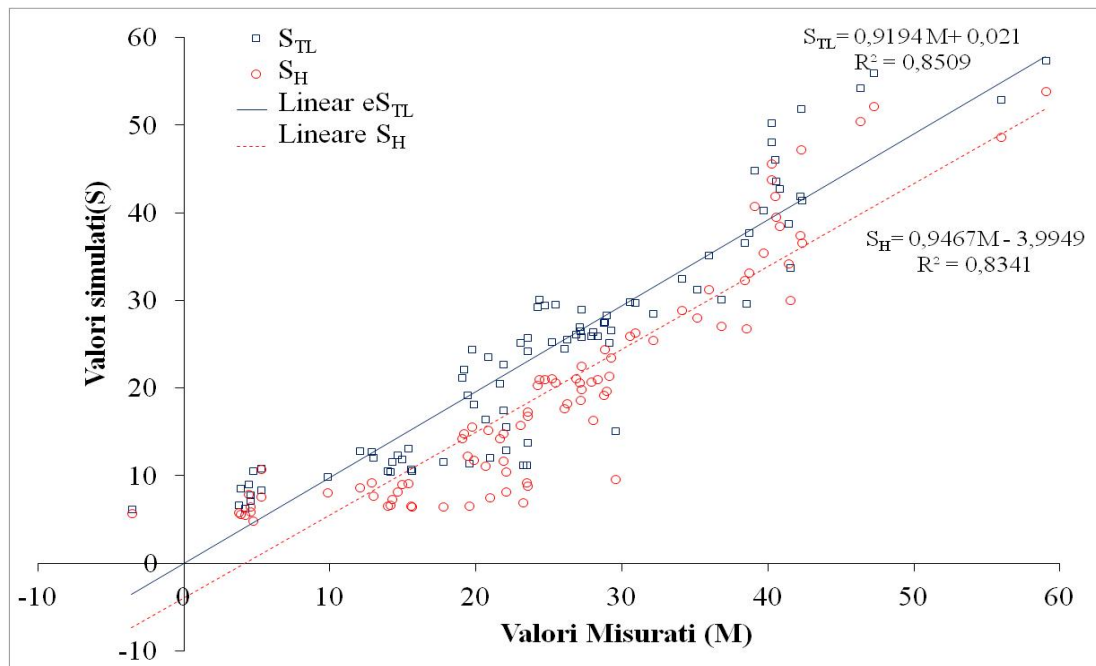


Figura 3-10: Confronto fra i dati simulati e misurati del peso del refluo

3.1 Predizione dei volumi su base annuale

Il modello è stato esteso ad un periodo di un anno solare, dal 1° al 365° GG, sulle serie di dati climatici della stazione meteo di Battipaglia, dall'anno 2006 al 2010. Il risultato è mostrato nella Figura 3-11, in cui è possibile leggere la previsione dei valori di peso di refluo, senza che questo venga mai rimosso.

Per l'implementazione del modello si è tenuto conto dei seguenti dati di input: su 1 m² di paddock, sito nelle vicinanze di Battipaglia, piovono, mediamente, in un anno circa 800 mm d'acqua. L'escreto annuo per unità di superficie è dell'ordine di circa 1200 kg/m². Pertanto l'apporto totale è di circa 2000 kg/m². L'evapotraspirazione potenziale, predetta con la formula di Tombesi Lauciani è dell'ordine di 1600 mm ovvero kg/m² annui. Tenuto conto dell'evaporazione il dato predetto (1450-1800 kg/anno) è abbastanza verosimile.

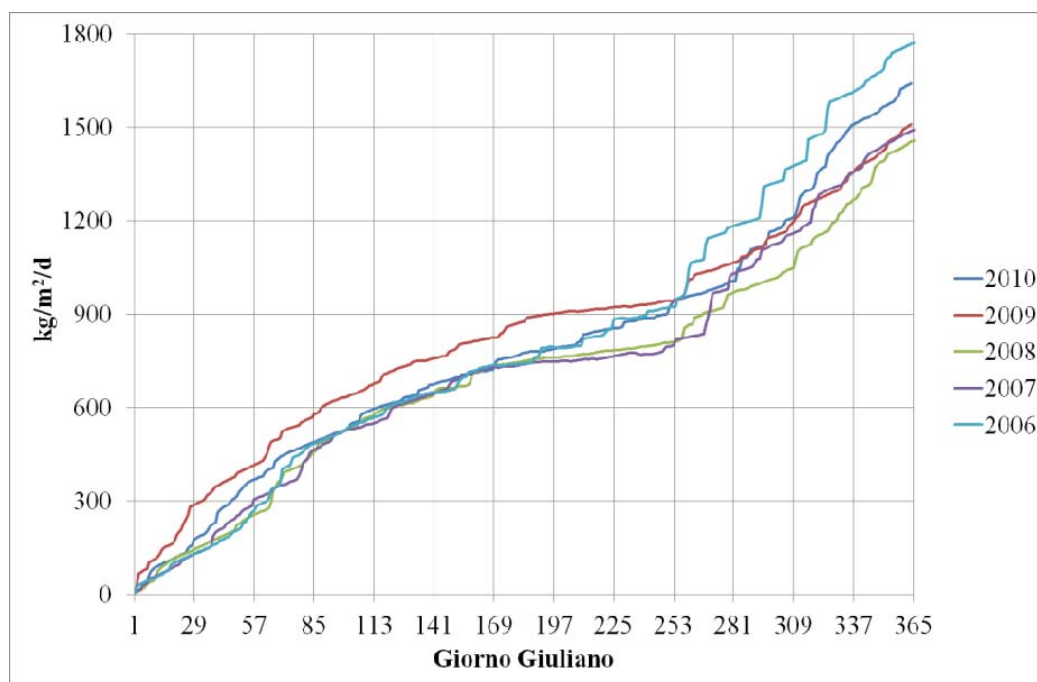


Figura 3-11: Predizione del peso di refluo considerando le serie storiche meteorologiche su un periodo di 5 anni

Si può notare come il gradiente di peso è quasi sempre positivo e la Figura 3-11 mostra come sia importante l'apporto di pioggia.

Considerando il valor medio sui 5 anni di ciascun punto, è possibile costruire il grafico che rappresenti come evolve l'evaporazione del refluo su base annua, sfruttando, quindi, al massimo la naturale evaporazione del refluo. E' interessante il confronto della predizione con quella che si avrebbe senza considerare l'evaporazione presentata in Figura 3-10. In maniera analoga si è quindi considerato lo stesso grafico in cui si è ritenuto trascurabile il contributo dell'evaporazione, che corrisponde a un'asportazione quotidiana.

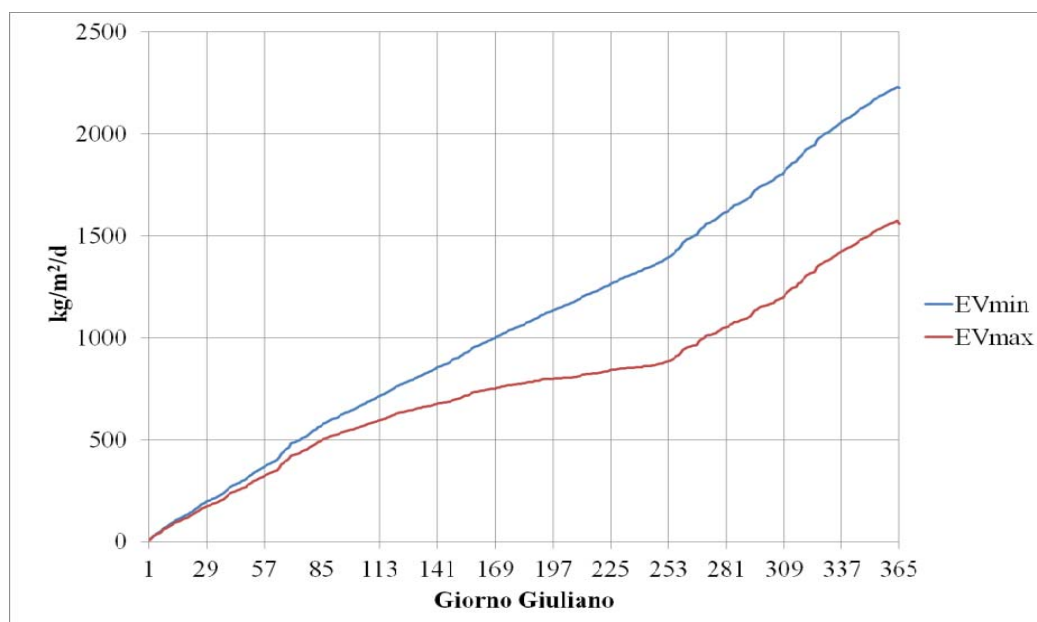


Figura 3-12: Predizione del peso di refluo nella vasca di stoccaggio considerando due diverse strategie di gestione

La Figura 3-12 mostra il confronto tra due opposte strategie di gestione. La serie EV_{max} è stata costruita considerando il peso del refluo cumulato nella vasca di stoccaggio, ipotizzando una rimozione continua dalla zona di stabulazione, mentre EV_{min} si riferisce ad una gestione che minimizzi l'uso del raschiatore. Dai grafici risulta un potenziale risparmio di 650 kg/m²/anno che corrisponde al 30% del peso dei reflui. È da rilevare che questa gestione non è auspicabile dal punto di vista del benessere animale e della produzione di ammoniaca. L'ammoniaca è infatti un gas irritante che può causare l'insorgenza di alcuni disturbi respiratori, quali asma e bronchiti croniche, sia agli operatori che agli animali. (Portejoie, *et al.* 2002).

Dalla lettura del grafico si evince la seguente strategia ottimale: raschiatori accesi dal 1° al 100° giorno; raschiatori spenti o accesi il meno possibile dal 100 al 250° giorno; raschiatori accesi dal 250° giorno al 365°. Ciò comporta che nel periodo dal 100° al 250° giorno si dovrebbero azionare i raschiatori solo quando in base al calendario agronomico è possibile spandere.

Per poter effettuare una valutazione è necessario considerare come riferimento il costo del fertilizzante chimico. Il costo dell' urea nel 2011 è di circa 40 €/q e quindi ogni chilo di azoto costa 0,80÷0,90 €/kg .

Osservando gli aspetti economici, agronomici e tecnici delle varie tecniche di spandimento, è possibile effettuare una serie di considerazioni: la prima è che la somministrazione del fertilizzante chimico rispetto alla somministrazione del refluo bufalino risulta economicamente più conveniente; che tra la tecnica di spandimento con carro-botte con piatto deviatore e quella con la barra interrante: la prima risulta una tecnica economicamente più conveniente ma forse meno perseguibile in termini di sostenibilità ambientale della seconda.

4 CONCLUSIONI

Dall'approfondimento della tematica della gestione dei reflui zootecnici, con particolare riferimento ai reflui della bufala, scaturisce un'analisi critica della situazione reale che è di per se un primo risultato. Soprattutto è interessante leggere la sequenza storica dell'approccio per meglio intuire le attuali tendenze.

L'approccio è stato dapprima mirato ad un semplice rapporto capi superficie, e solo in ultimo ad un rapporto tra nutrienti effettivamente gestiti e fabbisogni culturali. In questa linea, gli studi di questa tesi hanno portato ad una più corretta determinazione del contenuto di nutrienti nel refluo bufalino ed all'implementazione di un software per la presentazione dei piani di utilizzazione agronomica dei reflui zootecnici.

Il percorso della normativa, non può però prescindere da nuovi approcci e da valutazioni più generali. In futuro bisognerà tener conto di life cycle assessment, di forme indirette di inquinamento (come l'uso di combustibili per lo spandimento), di comparazione tra differenti inquinanti (per esempio l'ammoniaca ed i nitrati) e di costi per la gestione.

In questa linea, una delle conclusioni di questa tesi è che il valore agronomico dei reflui zootecnici è piccolo. Se confrontiamo il reale contenuto di azoto nel refluo bufalino con i costi ed i tempi per lo spandimento, ci accorgiamo che il bilancio non è enormemente positivo. Inoltre i tempi per la gestione sono lunghi e le finestre colturali in cui è realmente possibile lo spandimento sono

strettissime (con lo spandimento col carro botte tipico della regione Campania, occorrono per lo spandimento circa 1,4 € per kg di azoto di origine zootecnica effettivamente reso al campo).

Non ci si meraviglia se con questi costi e queste difficoltà alcuni allevatori “non apprezzino” il valore agronomico dei reflui.

Si può affermare, per le bufale (non per le bovine), che con questi numeri, l'attenzione potrebbe essere concentrata alla riduzione dei costi e dell'energia per lo spandimento, anche a costo di aumentare l'ammoniaca volatilizzata.

Il principale obiettivo della tesi deriva quindi dall'esigenza di cercare una strategia per ridurre i costi di spandimento e quindi dei volumi. L'approccio per la riduzione dei volumi non può essere di tipo qualitativo, se si vogliono ottenere risultati significativi. Anche riduzioni di qualche punto percentuale sono significative nei bilanci aziendali, ma soprattutto rendono più compatibile la corretta gestione con le finestre delle lavorazioni. Sono d'esempio le passate stagioni 2010/11 e 2011/12, dove fino a maggio non si è riusciti ad entrare in campo per le lavorazioni e le semine. In questi contesti il valore fertilizzante dei reflui è in secondo piano rispetto ai tempi ed ai problemi delle lavorazioni.

In questo scenario i risultati ottenuti con la strumentazione implementata sono estremamente interessanti.

Dal modello tarato con i dati sperimentali si deduce che l'evaporazione annua dal paddock sia dell'ordine di 650 kg/m². Sfruttare al meglio questa evaporazione potrebbe essere l'obiettivo della gestione di precisione.

Ovviamente già con una gestione empirica di un buon allevatore è possibile risparmiare parte di questi 650 kg/m² di paddock ma certo con uno strumento di supporto alle decisioni, sarebbe più facile questa ottimizzazione.

Si può concludere che la differenza tra le due gestioni estreme, quella col raschiatore acceso ogni giorno e quella in cui l'impiego è razionalizzato, sia del 30% delle quantità e quindi dei costi di gestione e delle strutture di stoccaggio.

Ma ancora riducendo i volumi è più probabile una gestione virtuosa, prevenendo il degrado ambientale.

In conclusione l'obiettivo di questa sperimentazione e di questa tesi è stato dimostrare che è possibile preparare un algoritmo che suggerisca la gestione, da mediare in base ai calendari colturali e alle previsioni meteorologiche.

Dei due modelli confrontati, risulta più efficiente in termini di rispondenza tra dati misurati e dati previsti, il modello basato sulla formula di evapotraspirazione di Tombesi Lauciani.

Con questo modello, si è dedotto che è opportuno ridurre l'uso del raschiatore tra il 100° ed il 250° Giuliano.

Il modello previsionale, che sinteticamente è riassumibile come somma di una quantità che rappresenta l'escreto giornaliero più le piogge cui si sottrae una frazione dell'evapotraspirazione potenziale calcolata con Tombesi Lauciani, è fisicamente basato e quindi di per se concettualmente robusto.

Vista l'attualità degli impianti aziendali a biogas, va detto che l'eventuale presenza del digestore anaerobico, costringerebbe l'allevatore all'azionamento quotidiano del raschiatore. Conseguentemente la gestione sarebbe opposta al criterio ipotizzato e quindi tale da avere il massimo dei reflui in vasca. Anche la tendenza di installare sistemi asportazione delle deiezioni a flushing, appare contrapposta alle esigenze di riduzione dei volumi di reflui perché non si può sperare in evaporazioni dal paddock.

5 BIBLIOGRAFIA

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. *FAO Paper No. 56*. FAO, Rome, Italy.

Arheimer, B., Andersson, L., Larsson, M., Lindström, G., Olsson J., 2004. Modelling diffuse nutrient flow in eutrophication control scenarios. *Water Sci Technol* 49, 37-45.

Balsari P. 1989. Macchine ed attrezzature per la distribuzione dei reflui zootecnici. Ed. Ed agricole

Boccia L, Infascelli R, Campanile G. 2010. Environmental issues of buffalo husbandry. In: *Allevamento animale e riflessi ambientali*. (Crovetto M, Sandrucci A, eds). Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, Brescia, Italy, pp. 133-149

Burton, C. H., Turner, C., 2003. *Manure Management – Treatment Strategies for sustainable agriculture*, Silsoe Research Institute, Silsoe, UK (2003) ISBN 0 9531282 6 1.

C.R.P.A., 2009. Effluenti zootecnici nelle stalle per vacche da latte. *Sistemi di asportazione e stoccaggio*. C.R.P.A. NOTIZIE, 4

Campanile, G. (2006). Nutrition and milk production in dairy buffalo. *Proc. III Simposio búfalos de las Américas and 2nd Buffalo Symposium of the Europe and Americas*. 6-8 September 2006 Medellin (Columbia), (p. 132- 141).

Campanile, G., De Filippo, C., Di Palo, R., Taccone, W., Zicarelli, L., 1998. Influence of dietary protein on urea levels in blood and milk of buffalo cows. *Lives Prod Sci* (55), 135-143.

Campanile, G., Neglia, G., Vecchio, D., Di Palo, R., Gasparini, B., Zicarelli, L., 2010. Protein nutrition and nitrogen balance in buffalo cows. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* (5), 1-8.

Confalonieri, R., Acutis, M., Bellocchi, G., Donatelli, M., (2009). Multi-metric evaluation of the models WARM, CropSyst, and WOFOST for rice. *Ecological Modelling*, 220, 1395–1410.

Confalonieri, R., Bregaglio, S., Acutis, M., 2010. A proposal of an indicator for quantifying model robustness based on the relationship between variability of errors and of explored conditions. *Ecological Modelling*, 221, 960–964.

El Nesr, M.N., Alazba, A.A., Amin, M.T., 2011. Modified Hargreaves' Method as an Alternative to the Penman-Monteith Method in the Kingdom of Saudi Arabia. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(6), 1058-1069.

Fagnano, M., Acutis, M., Postiglione, L., 2001. Valutazione di un metodo semplificato per il calcolo dell'ET_o in Campania. *Proceedings of the Conference in Salerno on Modelli di Agricoltura sostenibile per la pianura meridionale: gestione delle risorse idriche nelle pianure irrigue*. Gutenberg Ed., Lancusi (SA, Italy), pp 8-16.

Faugno, S., Pindozi, S., Infascelli, R., Okello, R., Ripa, M.N., Boccia, L. 2012. Nitrogen content in buffalo manure and land application costs assessment. *Journal of Agricultural Engineering*, 43.

Frost, A., 1999. A summary of the agricultural issues raised at the Conference. *Water Sci Technol* 39, 361-364.

Gastaldo, A., Rossi, P., Ferrari P., 2006. Gestione dei reflui, tante soluzioni tra cui scegliere. *Speciale Gestione Reflui - Informatore Agrario*(20), p. 57-61.

Hargreaves, G.L., Hargreaves, G.H., Riley J.P., 1985. Agricultural benefits for Senegal River Basin. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111, 113-124.

Haycock, N.E., Muscutt, AD, 1995. Landscape management strategies for control of diffuse pollution. *Landscape Urban Plan* 31, 313-321

Huijsmans J.F.M., Verwijs B., Rodhe L., Smith K., 2004. Costs of emission-reducing manure application. *Bioresource Technologies*, 93: 11-19

Huijsmans, J.F.M, Hol, J.M.G, Vermeulen, G.D. 2003. Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. *Atmospheric Environment*, 37, 3669–3680.

Huijsmans, J.F.M., Hol J.M.G., Hendriks M.M.W.B., 2001. Effect of application technique, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 49, 323-342.

Infascelli, R., Boccia, L., Pelorosso, R., 2007. Nitrate leakage in a high buffalo breeding district (Caserta province). *Italian Journal of Animal Science*, 6, Supplement Part 2, 1277-1280.

Infascelli, R., Pelorosso, R., Boccia, L., 2009. Spatial assessment of animal manure spreading and groundwater nitrate pollution. *Geostatistical Health*, 4(1) , 27-38.

Infascelli, R., Faugno, S., Pindozi, S., Pelorosso, R., Boccia, L., 2010. The environmental impact of buffalo manure in areas specialized in mozzarella production, southern Italy. *Geospatial Health*, 5, 131-137

ISTAT, 2012. Tavola B01B - Consistenza del bestiame bovino e bufalino al 1° dicembre. Bovini di 2 anni e più, bufalini e totali (numero di capi). Dettaglio per regione - Anno 2012.

Lazzerini, G., Cecchi, S., Zanchi, C., Vazzana, C., 2010. Metodologia di gestione dei reflui zootecnici. In A. Masoni, *Riduzione dell'inquinamento delle acque dai nitrati provenienti dall'agricoltura* (p. 391 - 418). San Giuliano Terme (PI): Felici Editore.

Leone, A., 2011. *Ambiente e pianificazione – Analisi, processi, sostenibilità*. ED. Franco Angeli, Milano.

Loague, K.M., Green, R.E., 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology*, 7, 51–73.

Mariani L., 2005. Agricoltura e cambiamenti climatici. Analisi, incertezze, controversie, interdipendenze. *Atti Workshop Climagri, Facoltà di Agraria Università Politecnica delle Marche Ancona*, 27-28 giugno, p. 1.

Pindozi, S., Faugno, S., Okello, C., Boccia, L., 2012. Experimental evaluation of manure evaporation in the paddock for a management algorithm development. *Proceedings of International Conference of Agricultural Conference*, 8-12 July 2012, Valencia Conference Center, Valencia, Spain.

Portejoie, S., Martinez, J., Landmann, G., 2002 L'ammoniac d'origine agricole: impacts sur la santé humaine et animale et sur le milieu naturel. *Productions Animales*, 15.

Provolo, G., 2000. Il trasporto dei liquami ed i relativi cantieri, i costi di distribuzione. *Di.Re.Zo. DISTRIBUZIONE REFLUI ZOOTEKNICI*. Regione Lombardia

Rekolainen, S., Grönroos, J., Bärlund, I., Nikander, A., Laine, Y., 1999. Modelling the impacts of management practices on agricultural phosphorus losses to surface waters of Finland. *Water Sci Technol* 39, 265-272.

Sharpley, A.N., Chapra, S.C., Wedepohl, R., Sims, J.T., Daniel, T.C., Reddy, K.R., 1994. Managing agriculture phosphorus for protection of surface waters: issues and options. *J Environ Qual* 23, 437-451.

Sims, J., Goggin, N., McDermott, J., 1999. Nutrient management for water quality protection: integrating research into environmental policy. *Water Sci Technol* 39, 291-298

Thorntwaite, C. W., 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*. 38, 55-94.

Tombesi, L. Moretti, R., Francaviglia, R. , Favola, G., 1985. Produttività potenziale e classificazione dei terreni. Supplemento annali dell'Istituto per la Nutrizione delle Piante, Roma.

Tombesi, L., Lauciani, E., Scandella P., 1972. Ricerche sull' evapotraspirazione compiute nel 1972. Roma : Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante.

Viaud, V., Merot, P., Baudry, J., 2004. Hydrochemical buffer assessment in agricultural landscapes: from local to catchment scale. *Environ Manage* 34, 559-573.

Viglione, A., 2004. Stima dell'evapotraspirazione media mensile sul territorio piemontese.

Webb, J., Pain B., Bittman, S., Morgan, J., 2010. The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response—A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 137, 39-46.

www.ersaf.lombardia.it

www.rotaguido.it/

<http://www.agricoltura.regione.campania.it/>

<http://www.agricoltura.regione.campania.it/meteo/agrometeo.htm>

RINGRAZIAMENTI

Le ricerche effettuate per il presente lavoro di tesi sono state finanziate dall'Assessorato all'Agricoltura - Settore sperimentazione, Informazione, Ricerca e Consulenza in Agricoltura (SeSIRCA) della Regione Campania. Un mio particolare ringraziamento va alla dott.ssa Maria Rosaria Ingenito, per il suo sostegno e incoraggiamento.

Un doveroso ringraziamento va al dott. Franco Consalvo, per la sua accoglienza. Sua è l'azienda che ha ospitato tutte le misure che sono fondamento di questo lavoro, sostenendone anche una parte dei costi.

Ringrazio infine i proff. Lorenzo Boccia e Salvatore Faugno per la disponibilità e l'amicizia dimostratami in questi anni di lavoro insieme.