

LOTTA ALLA SICCAITA' E ALLA DESERTIFICAZIONE



Progetto Pilota Attività e risultati in Sicilia



Dipartimento di Ingegneria Idraulica
ed Applicazioni Ambientali
Università di Palermo



Dipartimento di Ingegneria Civile
ed Ambientale
Università di Catania



Dipartimento di Colture Arboree
Università di Palermo



Dipartimento di Agronomia
Ambientale e Territoriale
Università di Palermo



Dipartimento di Ingegneria
e Tecnologie Agro-Forestali
Università di Palermo

INDICE

Capitolo 1 -	Premessa.....	1
Capitolo 2 -	Il cambiamento climatico.....	4
2.1	I cambiamenti climatici.....	4
2.1.1	Cambiamenti della temperatura a scala globale.....	6
2.1.2	Cambiamenti delle precipitazioni a scala globale.....	12
Capitolo 3 -	Il fenomeno della desertificazione.....	18
3.1	Zone della terra interessate dalla desertificazione.....	19
3.2	Le cause della desertificazione.....	22
3.2.1	Fattori predisponenti.....	23
3.2.2	Cause naturali.....	23
3.2.3	Cause antropiche.....	24
Capitolo 4 -	Caratterizzazione dei processi di siccità e di desertificazione su scala regionale.....	31
4.1	Dati.....	31
4.2	Metodologie.....	32
4.2.1	Test per la verifica dell'esistenza di un trend.....	32
4.2.2	Test a scala areale.....	32
4.3	Analisi dei trend delle serie di precipitazione (1921-2000).....	33
4.4	Analisi dei trend delle serie di temperatura (1924-2006).....	44
4.5	Analisi dei trend degli indici climatici (1924-2000).....	50
4.6	Considerazioni sui risultati.....	56
4.7	Redazione di bilanci idrologici, anche a scala regionale.....	57
Capitolo 5 -	Linee guida per l'individuazione di misure di mitigazione della siccità e della desertificazione e realizzazione di un intervento dimostrativo di prevenzione e mitigazione.....	71
5.1	Vulnerabilità alla siccità e desertificazione nell'area di studio.....	72
5.1.1	Proposte di interventi.....	75
5.1.1.1	Analisi di fonti idriche alternative.....	76
5.1.1.2	Tecniche di lotta alla salinizzazione del suolo.....	79
5.1.1.3	Riutilizzo di reflui urbani depurati per scopi irrigui.....	84
5.1.1.4	Impiego di acque dissalate.....	86
5.2	Indagine sperimentale sugli effetti di acque salmastre e piovane sulla produttività di colture in serra.....	88
5.2.1	Materiali e metodi.....	89
5.3	Risultati.....	99
5.4	Conclusioni.....	109
Capitolo 6 -	Il ruolo della forestazione nella mitigazione dei processi di desertificazione.....	110
6.1	Area di studio.....	110
6.2	Risorse forestali all'interno dell'area di studio.....	115
6.3	Risultati.....	119
6.3.1	Carta dell'uso del suolo a scala 1:25.000.....	119
6.3.2	Caratterizzazione dei soprassuoli forestali e preforestali.....	123
6.3.2.1	Eucalipteti.....	123

	6.3.2.2 Pinete.....	126
	6.3.2.3 Boschi misti.....	131
	6.3.2.4 Arbusteti termofili.....	134
6.4	Grado di desertificazione del bacino.....	136
6.5	Linee guida di gestione forestale per la mitigazione dei processi di desertificazione.....	137
	6.5.1 Tipologie di intervento.....	140
	6.5.2 Linee guida per attività di rimboschimento.....	142
Allegato	6.1 – Organizzazione gerarchica dei tipi di uso del suolo secondo il sistema CLC.....	146
Allegato	6.2 – Carta dell’uso del suolo dei sistemi agrari.....	148
Allegato	6.3 – Carta dell’uso del suolo dei sistemi forestali (dettaglio scala 1:100.000)..	149
Allegato	6.4 - Carta dell’uso del suolo dei sistemi forestali (dettaglio scala 1:250.000)..	150
Allegato	6.5 – Carta delle aree vulnerabili al rischio desertificazione in Sicilia.....	151
Allegato	6.6 – Carta del rischio desertificazione del bacino del Fiume Imera meridionale.....	152
Allegato	6.7 – Carta del rischio desertificazione dei sistemi forestali e preforestali del bacino del Fiume Imera meridionale.....	153
Capitolo 7 -	Monitoraggio della salinità del suolo a seguito della irrigazione con acque a diverso grado di salinità.....	154
7.1	Introduzione.....	154
7.2	La proposta di indagine.....	155
7.3	Materiali e metodi.....	157
7.4	Il suolo oggetto di indagine.....	160
7.5	I risultati del monitoraggio.....	162
	7.5.1 Le acque di irrigazione.....	165
	7.5.2 Il suolo.....	171
7.6	Conclusioni.....	179
Capitolo 8 -	Identificazione delle aree sensibili alla desertificazione in Sicilia dal punto di vista della qualità del clima e del suolo.....	188
8.1	Metodologia, tempi e fasi della ricerca inerente il bacino del Fiume Imera meridionale.....	188
8.2	Risultati.....	189
	8.2.1 Determinazione del contributo erosivo rill nel calcolo della perdita di suolo complessiva.....	189
	8.2.2 Analisi dell’influenza del fattore topografico sulla perdita di suolo.....	197
8.3	Determinazione del fattore di erodibilità, del fattore climatico e dell’erosione potenziale per il bacino del Fiume Imera meridionale.....	206
8.4	Determinazione dell’indice di qualità del suolo per il bacino del Fiume Imera meridionale.....	221
8.5	Determinazione dell’indice di qualità del clima per il bacino del Fiume Imera meridionale.....	233
8.6	Determinazione delle aree sensibili alla desertificazione per il bacino del Fiume Imera meridionale.....	237
Allegato	8.1 – Dati caratteristici dei 228 campioni prelevati per la determinazione del fattore di erodibilità del suolo.....	239
Bibliografia	248

Capitolo 1 - Premessa

Ing. Giuseppe Geraci, Ing. Gianluca La Placa

Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque – Settore Osservatorio delle Acque

La presente pubblicazione raccoglie le esperienze, gli studi e le ricerche condotte nell'ambito dell'Accordo di Programma tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), il Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione (CNLSD) e l'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque - Settore Osservatorio delle Acque della Regione Siciliana al fine di promuovere attività di azioni regionali di lotta alla desertificazione attraverso il finanziamento di progetti pilota nelle cinque regioni italiane considerate a maggiore rischio di desertificazione (Basilicata, Calabria, Puglia, Sardegna e Sicilia).

Nell'ambito del predetto Accordo, l'Osservatorio delle Acque è intervenuto con l'elaborazione di un "Progetto Pilota per la lotta alla siccità ed alla desertificazione" in Sicilia, approvato nella seduta del 3 maggio 2007 dal CNLSD, con l'obiettivo di approfondire, con studi applicativi, gli aspetti concernenti il problema della mitigazione degli effetti negativi legati alla desertificazione; a tal fine, esso è stato strutturato in modo che abbia significative ricadute sul territorio e sia d'indirizzo e supporto alle Amministrazioni locali nella gestione delle risorse e nella tutela e salvaguardia del territorio.

Lo scopo specifico del progetto, in particolare, ha riguardato la messa a punto di linee guida per l'individuazione delle misure di mitigazione della siccità e della desertificazione, la realizzazione di un intervento sperimentale e dimostrativo di prevenzione e mitigazione, nonché la diffusione nella misura più ampia possibile delle conoscenze tecnico-scientifiche sulle tematiche inerenti i fenomeni di siccità e desertificazione.

Le attività previste in progetto hanno avuto la finalità d'integrare la dimensione ambientale nel processo di sviluppo del territorio e mirano, inoltre, a contribuire alla lotta contro la desertificazione e alla preservazione della biodiversità locale mediante misure di salvaguardia, valorizzazione e sviluppo razionale e sostenibile delle risorse.

Dette attività sono state portate avanti con l'adozione di soluzioni tecnologiche e metodologie di alto livello, con l'apporto delle più qualificate strutture di ricerca all'interno delle Università dell'Isola.

Gli studi previsti nel progetto pilota hanno richiesto particolari attività per l'organizzazione e la strutturazione unitaria di una notevole mole di informazioni idrologiche e morfologiche insieme a quelle riguardanti l'uso e le caratteristiche del territorio, ed hanno costituito supporto utile al completo sviluppo del sistema informativo che si sta realizzando ad opera dell'Osservatorio delle Acque.

I Dipartimenti Universitari individuati dall'Osservatorio quali centri di riferimento scientifico, con i quali ha portato avanti sinergicamente le attività progettuali al fine di perseguire i migliori risultati possibili, sono:

- Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali (DIIAA) - Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Palermo (Resp. Scientifico: Prof. Goffredo La Loggia);
- Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale (DICA) - Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Catania (Resp. Scientifico: Prof. Giuseppe Rossi);
- Dipartimento di Colture Arboree (DCA) - Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Palermo (Resp. Scientifico: Prof. Federico Guglielmo Maetzke);
- Dipartimento di Agronomia Ambientale e Territoriale (DAAT) - Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Palermo (Resp. Scientifico: Prof. Carmelo Dazzi);
- Dipartimento di Ingegneria e Tecnologie Agro-Forestali (ITAF) - Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Palermo (Resp. Scientifici: Prof. Giuseppe Giordano e Prof. Vito Ferro).

Nei mesi di giugno e luglio 2007 sono state ratificate apposite convenzioni con i predetti Dipartimenti, delle quali si riporta di seguito l'oggetto, con lo scopo di definire le attività nelle materie di competenza da attuare nei tempi previsti dal progetto.

- Osservatorio delle Acque - DIIAA: "Ricerche e studi finalizzati a dimostrare l'efficacia di un approccio integrato per la definizione, caratterizzazione e mitigazione dei processi di desertificazione su scala regionale, mettendo anche a punto delle linee guida per l'individuazione delle misure di mitigazione della siccità e della desertificazione".
- Osservatorio delle Acque - DICA: "Ricerche e studi orientati alla messa a punto di linee guida per l'individuazione delle misure di mitigazione della siccità e della

desertificazione, alla realizzazione di un intervento dimostrativo di prevenzione e mitigazione, nonché alla diffusione delle conoscenze tecnico-scientifiche sui fenomeni di siccità e desertificazione”.

- Osservatorio delle Acque - DCA: “Ricerche e studi sul ruolo della forestazione nella mitigazione dei processi di desertificazione”.
- Osservatorio delle Acque - DAAT: “Ricerche e studi per la realizzazione di un intervento sperimentale e dimostrativo in aree campione particolarmente sensibili e finalizzato al «Monitoraggio della salinità del suolo a seguito della irrigazione con acque a diverso grado di salinità» per la prevenzione e/o mitigazione dei processi di degradazione/desertificazione del suolo”.
- Osservatorio delle Acque - ITAF: “Ricerche e studi sullo stato dell’arte della carta dell’erosione potenziale della Sicilia e delle aree sensibili alla desertificazione dal punto di vista della qualità del clima e del suolo”.

Capitolo 2 - Il cambiamento climatico

Ing. Giuseppe Geraci, Ing. Gianluca La Placa

Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque – Settore Osservatorio delle Acque

2.1 I Cambiamenti climatici

I cambiamenti climatici, recentemente sempre più al centro dell'attenzione da parte dell'intera opinione pubblica oltre che del mondo tecnico e scientifico, possono giocare un ruolo chiave rispetto ai processi di desertificazione. Se si dovesse, ad esempio, confermare il *trend* crescente che riguarda la temperatura, l'evapotraspirazione (perdita di acqua dal suolo per evaporazione diretta e per traspirazione da parte delle piante) tenderà di conseguenza a crescere progressivamente. Se oltre a ciò si verificasse un *trend* negativo per le precipitazioni l'indice di aridità crescerebbe: ci sarebbe cioè un maggiore squilibrio tra la quantità di acqua perduta dai terreni e quella invece intercettata da essi. Ciò li renderebbe, quindi, meno ospitali per la vita. Stesso discorso andrebbe fatto rispetto alla siccità, se anche in tal caso venissero confermate le tendenze che prevedono una progressiva maggiore frequenza degli eventi siccitosi.

Diversi studi condotti recentemente in Italia nell'ambito di specifici progetti sull'impatto dei cambiamenti climatici in agricoltura confermano d'altronde tali tendenze rilevate a livello internazionale. In particolare, mentre per le temperature risulta confermato in tutte le regioni del nostro Paese un aumento medio di circa 1 °C per secolo a partire dal 1865, per le precipitazioni la situazione è molto più diversificata nell'ambito del territorio nazionale. La Sicilia, secondo tali studi di lungo periodo (l'analisi in tal caso inizia dal 1750) condotti su un paio di stazioni della nostra Isola, risulterebbe interessata da una situazione stazionaria o di lievissimo *trend* positivo. Una situazione ben diversa viene evidenziata invece da una recente analisi del SIAS, condotta su numerose stazioni ma su un periodo più breve (dal 1921 al 2004).

Ma ciò che spesso non si comprende bene è il danno che potrà venire dall'eventuale, ma anche qui plausibile e confermato dagli stessi studi prima citati, maggiore frequenza ed intensità degli eventi pluviometrici estremi. Quanto accaduto, ad esempio in un episodio alluvionale che ha interessato la Sicilia (in alcune zone della provincia di Siracusa, nella notte a cavallo tra il 16 e 17 settembre 2003, in 7 ore sono caduti circa 450 mm, cioè ben oltre la metà del valore medio annuo della stessa provincia, pari in media a circa 650 mm), ha fatto

dire a qualcuno che non è poi così vero che si va incontro alla desertificazione se accadono tali eventi. Invece, e qui è il caso di sottolinearlo in maniera chiara, i fenomeni intensi di precipitazione sono proprio una delle più importanti cause di desertificazione, e poco giova sapere che essi innalzeranno, per quell'anno in cui si sono verificati, i valori delle precipitazioni totali fino ai livelli teoricamente ottimali per la vita e per l'agricoltura.

Va infine evidenziato che anche la salinizzazione dei suoli si aggraverebbe se si andasse incontro, come ormai appare sempre più evidente, ai fenomeni di *global change*. L'incremento degli indici di aridità e di siccità porterebbe, infatti, ad un maggiore fabbisogno di acqua irrigua per le coltivazioni: se le quantità di acqua disponibili tenderanno a decrescere è verosimile che essa, in alcune zone, potrebbe progressivamente concentrarsi in sali. Così, se ad esempio si continuerà a prelevare acqua in eccesso dalle falde in prossimità delle coste è possibile attendersi una sempre più frequente intrusione di acqua marina verso le stesse falde, con un conseguente innalzamento del loro contenuto salino. Analogo discorso, anche se con implicazioni diverse, può essere fatto per le acque superficiali, quali quelle dei fiumi e dei laghi di alcune parti della Sicilia.

Le proiezioni dei modelli climatici fanno pensare, per la fine di questo secolo, ad un riscaldamento compreso tra 1.8 e 4°C rispetto al periodo 1980-1999. Si attende, dunque, con un elevato grado di probabilità, un ulteriore aumento della temperatura e dei fenomeni generalmente ascritti ai cambiamenti climatici, ad esempio: variazione del regime delle precipitazioni con un aumento delle intensità di pioggia; aumento di fenomeni quali piene in autunno o inverno, siccità in primavera ed estate, ondate di calore, incendi. Il Sud Europa, essendo una regione già particolarmente vulnerabile, potrebbe risentire in maniera più marcata del riscaldamento globale e degli impatti conseguenti. Cambiamenti, in alcuni casi ancora più repentini e gravi riguardano le anomalie delle temperature superficiali dei nostri mari sia costieri sia profondi, e potrebbero portare ad un'alterazione del regime delle correnti e dei delicati equilibri che regolano la produzione di risorse biologiche ed il ciclo dell'acqua. In particolare si prevede che tali cambiamenti avranno un forte impatto sugli ecosistemi marini costieri e i beni e servizi che essi offrono. Le variazioni del clima e della temperatura hanno già notevoli impatti sul sistema socio-economico ed ecologico dell'Italia. È necessario perciò che siano intraprese serie politiche di mitigazione, come quella lanciata nel marzo 2007 dalla Commissione Europea per la riduzione delle emissioni, per l'incremento dell'efficienza energetica e l'aumento del contributo delle fonti rinnovabili al 2020. Tuttavia, a causa della grande inerzia nella risposta del sistema Terra a tali riduzioni, l'effetto delle politiche di mitigazione si farà sentire solo nel lungo termine.

Per questa ragione è necessario intraprendere parallelamente anche una seria politica di adattamento ai cambiamenti climatici globali. Essa deve prevedere anche un ripristino e restauro del funzionamento degli ecosistemi naturali, sia acquatici sia terrestri. In particolare, sistemi quali foreste e praterie sono in grado di rimuovere grandi quantità di gas serra dall'atmosfera contribuendo in maniera attiva ed efficace alla mitigazione del cambiamento climatico globale, alla moderazione degli eventi climatici estremi. È perciò estremamente importante limitare in ogni modo la deforestazione a livello globale, che rappresenta quasi il 20% delle emissioni di gas serra. Si pensi che in Italia i soli incendi estivi del 2007 hanno comportato la distruzione di 113.000 ettari e un'emissione di 4,8 milioni di tonnellate di anidride carbonica, corrispondenti a quanto emette in un anno l'intera città di Milano.

2.1.1 Cambiamenti della temperatura a scala globale

Le numerose osservazioni, nel corso degli ultimi 157 anni, mostrano che le temperature sulla superficie terrestre sono aumentate globalmente, con importanti variazioni regionali. In generale, il riscaldamento nell'ultimo secolo si è verificato in due fasi, dal 1910 al 1940, con un aumento medio globale di 0,35°C e più fortemente dal 1970 ad oggi, con un aumento di 0,55°C. Un crescente tasso di riscaldamento ha avuto luogo negli ultimi 25 anni, e 11 dei 12 anni più caldi, si sono verificati negli ultimi 12 anni. Le osservazioni globali, mostrano che la troposfera ha subito un riscaldamento leggermente maggiore rispetto alla superficie, mentre la stratosfera ha subito un graduale raffreddamento dal 1979 ad oggi, in accordo con le aspettative fisiche e i risultati di molti modelli previsionali. Viene così ad essere confermato il cosiddetto fenomeno di *Global Warming* causato dal riscaldamento degli oceani, dallo scioglimento dei ghiacciai e dalla diminuzione di neve nell'emisfero Nord.

Naturalmente, non esiste un unico termometro che ci possa restituire una misura della temperatura globale, esiste invece una fitta rete di stazioni dislocate sulle terre emerse e negli oceani che permettono una stima della temperatura media globale ogni mese.

In contrapposizione a un *trend* crescente delle temperature, alcune parti del globo si sono raffreddate sin dal 1901, in particolare il Nord Atlantico in prossimità della Groenlandia meridionale. Tuttavia, il riscaldamento durante questo periodo è stato notevole nelle regioni interne dell'Asia e del Nord America, anche se, poiché queste ultime sono zone con grande variabilità annuale, il segnale più evidente di riscaldamento si è verificato a latitudini più basse, in particolare, negli oceani tropicali.

Un altro aspetto particolarmente interessante, che viene fuori dalle osservazioni fatte sulle innumerevoli stazioni presenti in tutto il mondo, è che a partire dal 1950 ad oggi, si è assistito ad una diminuzione dei giorni e delle notti molto fredde e ad un aumento dei giorni e delle notti estremamente caldi. Coerentemente con l'aumento della temperatura della superficie terrestre, si è assistito ad una diminuzione della lunghezza dei fiumi e ad una diminuzione della durata dei laghi ghiacciati, inoltre, vi è stata una riduzione in tutto il mondo della massa glaciale e del manto nevoso in tutte le stagioni, specialmente in primavera e in estate.

Numerosi studi sono stati condotti a livello globale per stabilire eventuali *trend* e anomalie nell'andamento delle temperature, e per fare ciò è stata necessaria la ricostruzione, ma soprattutto l'aggiornamento dei *data set* delle temperature medie globali sia della superficie terrestre che degli oceani. A tal proposito un buon lavoro è stato fatto da Jones e Moberg (2003) che hanno rivisto e aggiornato il *Climatic Research Unit* (CRU) delle temperature medie-mensili. Ulteriore revisione è stata apportata da Brohan et al. (2006) attraverso una rivalutazione degli errori su un *data set* che parte dal 1950. Nonostante questi miglioramenti, rimangono notevoli lacune di dati, soprattutto nelle zone tropicali, a Sud e in Antartide. Queste lacune sono più grandi durante le due guerre mondiali.

Sono stati effettuati molti studi sui *data set* delle temperature per determinare anomalie e *trend*; questi studi differiscono essenzialmente per i *data set* utilizzati e per le tecniche di interpolazione e modellazione utilizzate.

La Figura 2.1 mostra le anomalie annuali della temperatura della superficie terrestre relative al periodo 1950-2005 che sono state determinate tramite le analisi effettuate dal CRUTEM3 (CRU/Hadley Centre gridded land-surface air temperature version 3) da Brohan et al. (2006), dal NCDC (*National Climatic Data Center*) da Smith e Reynolds (2005), dal GISS (*Goddard Institute for Space Studies*) da Hansen et al. (2001) e infine le analisi effettuate da Lugina et al. (2005).

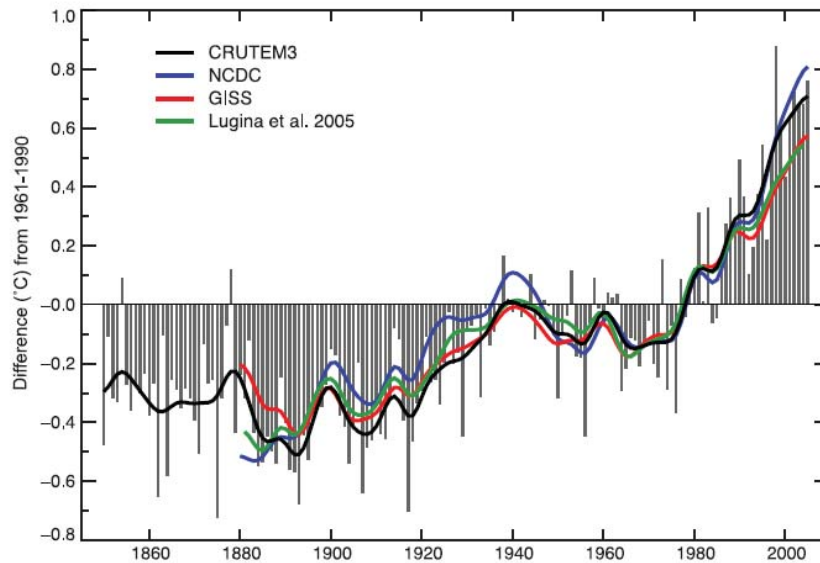


Fig. 2.1 - Anomalie annuali della temperatura della superficie terrestre.

Le analisi viste in precedenza differiscono per il modo in cui viene calcolata la media globale delle temperature: per CRUTEM3 è una media pesata in funzione dell'area delle terre emerse, a seconda che siamo nell'emisfero Nord (NH) o nell'emisfero Sud (SH), secondo l'espressione $(0,68 \cdot NH + 0,32 \cdot SH)$; per NCDC è una media ponderata della griglia-*box* delle anomalie di tutto il mondo; per GISS è la media delle anomalie per le zone da 90° N a $23,6^\circ$ N, da $23,6^\circ$ N a $23,6^\circ$ S, da $23,6^\circ$ S a 90° N, con peso 0.3 0.4 0.3 rispettivamente per ogni fascia; infine, per Lugina et al. (2005) è $(NH + 0.866 \cdot SH)/1.866$ in quanto egli esclude le latitudini a sud di 60° S.

Le differenze, possono anche sorgere, a causa del numero di stazioni prese in considerazione dai differenti metodi; CRUTEM3, NCDC e GISS assumono rispettivamente 4394, 7230 e un numero maggiore di 7200 stazioni rispettivamente, anche se molti dei dati delle stazioni di base sono in comune.

Dal 1950 al 2004, il *trend* annuale dei minimi e dei massimi, delle temperature medie della superficie terrestre, ha mostrato un aumento di 0.20°C per i minimi e di 0.14°C per i massimi per decade, con un *trend* nelle DTR (*Diurnal Temperature Range*), dato dalla differenza di temperatura tra il minimo registrato durante la notte e il massimo durante il giorno, di $-0,07^\circ\text{C}$ per decade (Vose et al., 2005; Fig. 2.2).

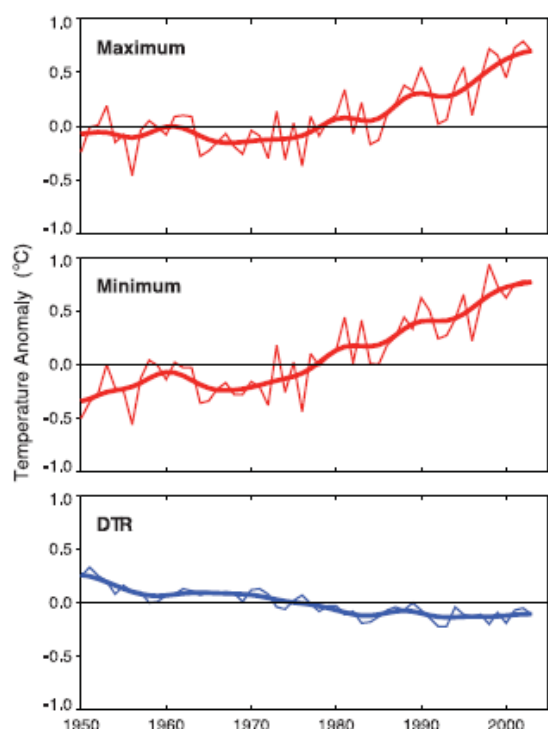


Fig. 2.2 - Andamento delle temperature minime, massime e DTR nel periodo 1950-2004.

Questi risultati, sono in accordo con il TAR (*Third Assessment Report*) che si estendeva dal 1950 al 1993 e che comprendeva le analisi effettuate con una copertura spaziale del 54% rispetto al 71% delle analisi effettuate nell'ultimo *Report*.

Quando si parla di riscaldamento della superficie terrestre, particolare attenzione deve essere volta ai meccanismi di trasferimento e accumulo di calore che avvengono all'interno delle città e delle aree urbanizzate in generale che vengono poi ad essere, l'*habitat* giornaliero della maggior parte delle persone. La modifica dell'uso del suolo, nelle città, ha effetti notevoli sul trasferimento di calore e sulla partizione in sensibile e latente; il relativo aumento di calore all'interno delle città rispetto alle zone rurali circostanti, nota come isola di calore urbana (UHI, *Urban Heat Island*), nasce da questi cambiamenti e può anche essere influenzato dai valori delle precipitazioni, dall'inquinamento e dall'*aerosol*. L'instaurarsi della cosiddetta isola di calore urbana dipende, però, anche da fattori quali il clima locale, la nuvolosità, il vento, che a loro volta dipendono dalle stagioni. Molti studi locali, hanno dimostrato che il microclima all'interno delle città è in media più caldo rispetto alle zone non urbanizzate circostanti.

Tuttavia, studi condotti su larga scala hanno evidenziato che la tendenza all'aumento di temperatura all'interno delle città, per decadi, è di un ordine di grandezza inferiore rispetto alle tendenze che si registrano nelle zone non urbanizzate (*Jones et al.*, 1990; *Peterson et al.*,

1999). La correlazione tra UHI e sviluppo economico potrebbe essere anche una causa del riscaldamento delle città, tuttavia si è visto che le località di maggiore sviluppo economico sono anche quelle dove la principale causa di *trend* positivo delle temperature è il riscaldamento dell'atmosfera. Pertanto la correlazione tra riscaldamento e sviluppo socio economico cessa di essere statisticamente significativa.

Numerosi sono stati gli studi effettuati per la determinazione di *trend* delle temperature a scala globale; ciascuno di essi differisce per il *data set* preso in considerazione e per i modelli di interpolazione utilizzati. La Tabella 2.1 mostra le principali differenze dei metodi visti in precedenza.

Dataset	Temperature Trend (°C per decade)		
	1850–2005	1901–2005	1979–2005
Northern Hemisphere			
CRU/UKMO (Brohan et al., 2006)	0.047 ± 0.013 $R^2=54$	0.075 ± 0.023 $R^2=63$	0.234 ± 0.070 $R^2=69$
NCDC (Smith and Reynolds, 2005)		0.063 ± 0.022 $R^2=55$	0.245 ± 0.062 $R^2=72$
Southern Hemisphere			
CRU/UKMO (Brohan et al., 2006)	0.038 ± 0.014 $R^2=51$	0.068 ± 0.017 $R^2=74$	0.092 ± 0.038 $R^2=48$
NCDC (Smith and Reynolds, 2005)		0.066 ± 0.009 $R^2=82$	0.096 ± 0.038 $R^2=58$
Globe			
CRU/UKMO (Brohan et al., 2006)	0.042 ± 0.012 $R^2=57$	0.071 ± 0.017 $R^2=74$	0.163 ± 0.046 $R^2=67$
NCDC (Smith and Reynolds, 2005)		0.064 ± 0.016 $R^2=71$	0.174 ± 0.051 $R^2=72$
GISS (Hansen et al., 2001)		0.060 ± 0.014 $R^2=70$	0.170 ± 0.047 $R^2=67$

Tab. 2.1 - Differenze tra vari studi sui *trend* termometrici.

Tutte le serie mostrano che l'anno più caldo si è verificato dopo il 1997, anche se vi è un leggero disaccordo nello stabilire quale sia l'anno più caldo. L'HadCRUT3 *data set* mostra il 1998 come anno più caldo in contrapposizione al 2005 per l'NCDC e GISS.

La Figura 2.3 illustra i *pattern* spaziali dei cambiamenti delle temperature della superficie terrestre dal 1901 al 2005 e dal 1979 al 2005, mentre la Figura 2.4 mostra i *trend* stagionali dal 1979 al 2005.

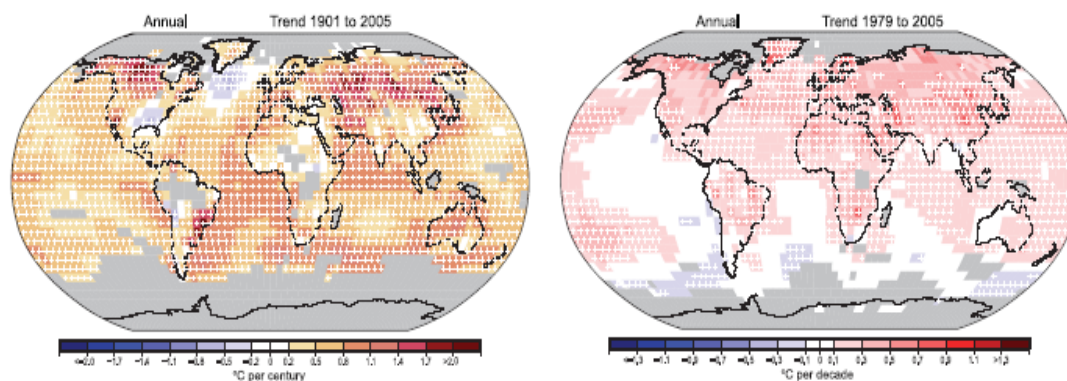


Fig. 2.3 - *Pattern* spaziali dei cambiamenti delle temperature della superficie terrestre.

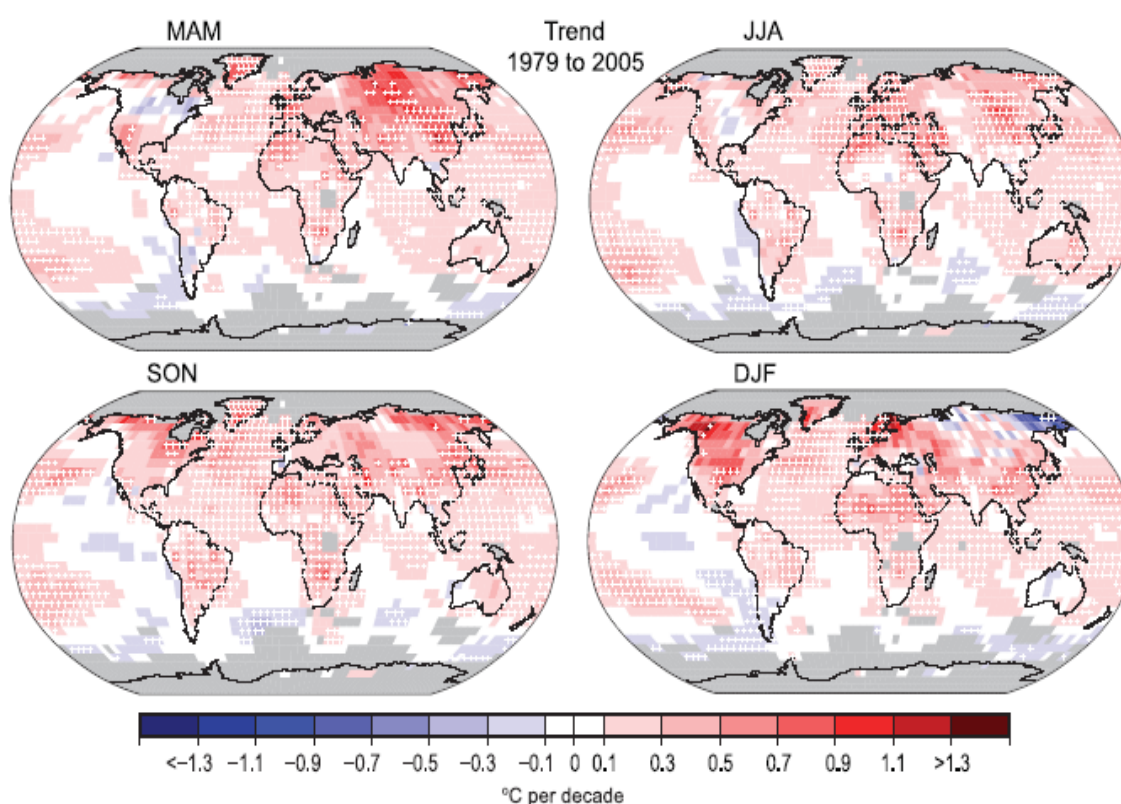


Fig. 2.4 - *Trend* stagionali delle temperature.

Da queste mappe si evince come il riscaldamento è statisticamente significativo sulla maggior parte della superficie del mondo con l'eccezione di una zona a sud della Groenlandia, tre regioni più piccole negli Stati Uniti Sud-Est e le parti della Bolivia e del bacino del Congo. Il riscaldamento è più forte nelle zone interne del continente asiatico e nelle zone Nord-occidentali del Nord America e su alcune zone del Sud-Est come il Brasile. A livello stagionale, il riscaldamento è stato maggiore nella parte occidentale del Nord America, dell'Europa del Nord e della Cina in inverno, in Europa del Nord e in Asia orientale in

primavera, in Europa e in Africa del Nord in estate, e infine, in America settentrionale e in Asia orientale in autunno.

2.1.2 Cambiamenti delle precipitazioni a scala globale

Parallelamente al trend che vede le temperature medie globali aumentare di anno in anno, è possibile osservare valori di precipitazione, che presentano una grande variabilità sia spaziale che temporale.

Osservazioni indicano che i cambiamenti sono presenti in quantità, intensità, in frequenza e nel tipo di precipitazione. Questi aspetti delle precipitazioni, generalmente, presentano grande variabilità naturale, e *El Niño* e i cambiamenti nella circolazione atmosferica nel Nord Atlantico hanno una sostanziale influenza su questo. *El Niño*, infatti, è un fenomeno globale coinvolgente la coppia oceano-atmosfera. La parte del fenomeno riguardante l'oceano è chiamato *El Niño*, che non è altro che un'importante variazione periodica della temperatura dell'Oceano Pacifico orientale: le oscillazioni delle temperature medie delle correnti comportano pesanti conseguenze sul clima di tutto il pianeta e in particolare su quelli della zona centro-occidentale dell'America, delle zone più orientali del continente asiatico e dell'Australia. La parte del fenomeno riguardante l'atmosfera è invece chiamata Oscillazione meridionale, la quale riflette le fluttuazioni mensili o stagionali della differenza di pressione atmosferica tra Tahiti e Darwin (Australia).

Le tendenze registrate dal 1900 al 2005 mostrano una diminuzione delle precipitazioni nel Nord e Sud America, Nord Europa, Asia settentrionale e centrale, Sud Africa e Mediterraneo. Si registrano numerosi cambiamenti nel tipo di precipitazione che in molte regioni settentrionali è passata da neve a pioggia; inoltre, si verificano sempre più fenomeni estremi come precipitazioni intense e brevi. Questi cambiamenti sono associati a un aumento del vapore acqueo in atmosfera derivante dal riscaldamento globale degli oceani, soprattutto a basse latitudini.

L'andamento generale delle precipitazioni è rappresentato in Figura 2.5, dove il *trend* delle precipitazioni è espresso tramite il PDSI (*Palmer Drought Severity Index*). Palmer (1965), basandosi sul concetto di offerta-domanda nell'equazione di bilancio idrico, sviluppò questo indice per avere una misura non solo della carenza di precipitazione in una certa regione, ma anche delle condizioni di umidità della regione stessa. L'indice richiede per il suo calcolo dei valori di precipitazione e di temperatura, di capacità idrica del suolo e di altre

variabili meteorologiche. Tale indice, sebbene abbia vaste applicazioni, ha anche alcune limitazioni. Tra queste segnaliamo la sensitività rispetto alla capacità idrica del suolo e la difficoltà di confrontare i risultati ottenuti per regioni aventi un bilancio idrologico molto diverso (l'indice, infatti, necessita per il suo calcolo di alcune costanti che sono state stimate da Palmer attraverso l'analisi di dati meteorologici relativi a nove divisioni degli Stati Uniti). L'indice varia tra -6 e +6 e la classificazione ad esso associata è mostrata nella Tabella 2.2:

VALORI PDSI	CLASSE
> 4	Estremamente umido
da 3 a 4	Molto umido
da 2 a 3	Moderatamente umido
da 1 a 2	Lievemente umido
da 0.5 a 1	Incipiente periodo umido
da 0.5 a -0.5	Quasi normale
da -0.5 a -1	Incipiente periodo secco
da -1 a -2	Lievemente siccitoso
da -2 a -3	Siccità moderata
da -3 a -4	Siccità severa
< -4	Siccità estrema

Tab. 2.2 - Classificazione dell'indice PDSI.

Quest'indice, infatti, dà indicazioni sul grado di umidità di una determinata regione basandosi sui valori di temperatura e umidità registrati in atmosfera; i valori positivi sono indicativi di un clima umido, mentre i valori negativi indicano un clima siccitoso. Analizzando la Figura 2.5 (in alto) possiamo vedere come quest'indice restituisca valori positivi in alcune aree del Sud e del Nord America. Ciò è legato anche al fatto che, in queste aree, l'aumento della temperatura è stato minore che altrove. Le principali zone che mostrano un indice negativo sono localizzate in Africa centro-occidentale e meridionale, dove si localizzano i principali deserti del mondo, ma anche nel Sud Europa nell'area del Mediterraneo. La Figura 2.5 (in basso) mostra la variazione del segno e dell'intensità di questo indice. A partire dal 1900 si nota, infatti, una tendenza generale ad una diminuzione dell'indice per la prima metà del secolo e successivamente un'inversione di tendenza con un aumento repentino negli ultimi 20 anni.

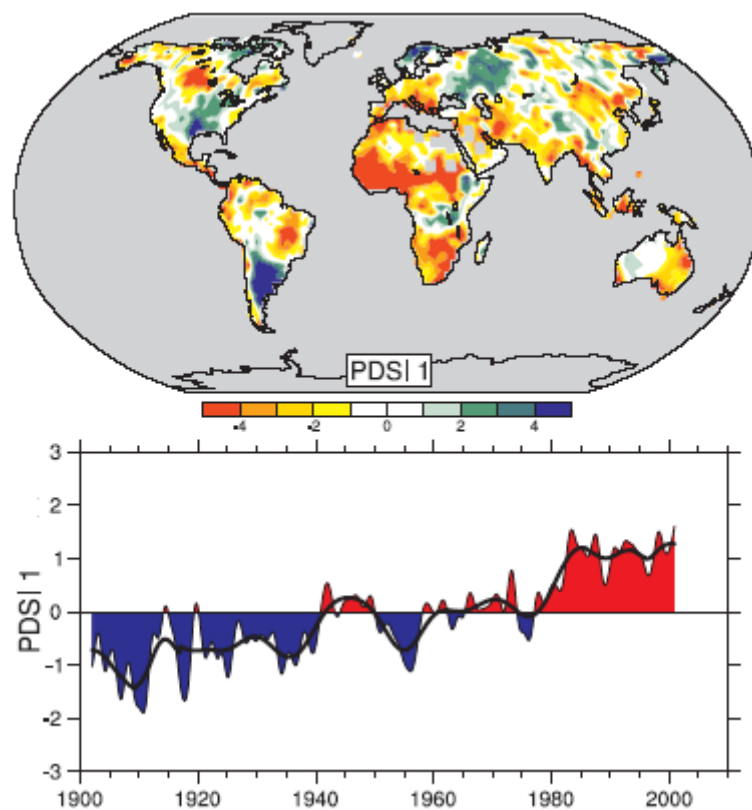


Fig. 2.5 - Rappresentazione dell'indice PDSI dal 1900 al 2002 (alto) e variazioni dell'indice dal 1900 al 2000 (basso).

In generale, quindi, i cambiamenti climatici influenzano e alterano il regime delle precipitazioni, il riscaldamento accelera i processi di essiccazione e aumenta la potenziale incidenza e la gravità della siccità, osservata in molti paesi di tutto il mondo. La relazione di Clausius Claperyon dimostra che la capacità di immagazzinare vapore acqueo da parte dell'atmosfera aumenta di circa il 7% per ogni 1°C di aumento della temperatura. Questo fenomeno ha aumentato le precipitazioni in intensità, il rischio di fenomeni estremi e il verificarsi di fenomeni a carattere nevoso. Il clima più caldo, pertanto, gioca un duplice ruolo; aumenta il rischio siccità dove non è piovuto e il rischio inondazioni dove è piovuto a causa degli eventi di pioggia estrema, in diversi tempi e/o luoghi. Per esempio, l'estate del 2002 in Europa è stata interessata da fenomeni di pioggia intensa e di breve durata con l'istaurarsi di numerose inondazioni, ma un anno più tardi, nel 2003, si è assistito al *record* di ondate di caldo e siccità.

Le variazioni nel tipo di precipitazione sono state osservate in molti luoghi, specialmente nelle zone di media e alta latitudine dove l'aumento delle piogge e la diminuzione delle

precipitazioni nevose hanno portato ad un abbassamento delle risorse idriche in estate, quando sono più necessarie.

Quando si parla di fenomeni che hanno una forte variabilità spaziale, una delle principali difficoltà, è sempre la misurazione della grandezza pioggia. Un'area di preoccupazione è, infatti, quella relativa alla quantificazione e misurazione delle precipitazioni. I principali problemi nascono essenzialmente per le misure *in situ*, mentre per le misurazioni telerilevate (*radar* e basi spaziali), le principali incertezze nascono nell'utilizzo di algoritmi di conversione delle misure radiometriche in tassi di precipitazione superficiale.

I *trend* globali delle precipitazioni sono stati analizzati utilizzando i dati del GHCN, prendendo come base di dati per i calcoli le anomalie rispetto al periodo 1981-2000 (*Vose et al.*, 1992; *Peterson e Vose*, 1997). Tuttavia esistono numerosi altri *data set* che coprono periodi più recenti; in Tabella 2.3 vengono descritte le principali caratteristiche di questi *data set*, mentre in Tabella 2.4 vengono presentate le loro tendenze significative.

Series	Period of Record	Gauge only	Satellite and gauge	Spatial infilling	Reference
GHCN	1900–2005	X		No	Vose et al., 1992
PREC/L	1948–2002	X		Yes	Chen et al., 2002
GPCP	1979–2002		X	Yes	Adler et al., 2003
GPCC VASCLimO	1951–2000	X		Yes	Beck et al., 2005
GPCC v.3	1951–2002	X		Yes	Rudolf et al., 1994
CRU	1901–2002	X		Yes	Mitchell and Jones, 2005

Tab. 2.3 - Caratteristiche dei sei *data set* utilizzati per il calcolo di *trend* sulle precipitazioni.

Series	Precipitation Trend (mm per decade)		
	1901–2005	1951–2005	1979–2005
PREC/L		-5.10 ± 3.25^a	-6.38 ± 8.78^a
CRU	1.10 ± 1.50^a	-3.87 ± 3.89^a	-0.90 ± 16.24^a
GHCN	1.08 ± 1.87	-4.56 ± 4.34	4.16 ± 12.44
GPCC VASCLimO		1.82 ± 5.32^b	12.82 ± 21.45^b
GPCC v.3		-6.63 ± 5.18^a	-14.64 ± 11.67^a
GPCP			-15.60 ± 19.84^a

Tab. 2.4 - *Trend* globali delle precipitazioni con un livello di significatività pari al 95%.
Tutti i *trend* sono stimati su medie annuali.

Naturalmente, tra i vari metodi visti, ci sono un certo numero di differenze nelle modalità di trattare i dati, nelle fonti dei dati, nel periodo di tempo preso in esame, che portano ad una

naturale differenza nelle stime di tendenza. La stima delle precipitazioni fatta dal GHCN deriva da una interpolazione di dati ottenuti tramite l'utilizzo di satelliti. La ricostruzione delle precipitazioni negli oceani (PREC/L *Che net al.*, 2002) include i dati del GHCN, i dati del *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA), i dati del *Climate Prediction Center's* ottenuti tramite il *Climate Anomaly Monitoring System* (CAMS), e i dati del *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP; *Adler et al.*, 2003). Il *data set* denominato GPCC VASCLimO (*Beck et al.*, 2005) utilizza solo dati presi da stazioni semi-continue a lungo termine, la cui omogeneità può essere assicurata, mentre GPCCv.3 ha utilizzato tutte le stazioni disponibili in modo da fornire una più completa copertura territoriale. La serie dell'andamento globale delle anomalie sulle precipitazioni è riportata in Figura 2.6.

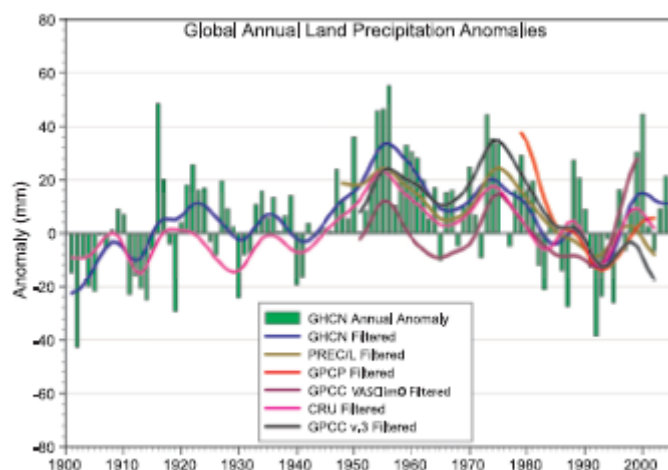


Fig. 2.6 - Anomalie nelle precipitazioni.

Per il periodo che va dal 1951 al 2005, le tendenze vanno da -7 a +2 mm ogni decennio e solo la tendenza GPCCv.3 sembra essere statisticamente significativa. Per il periodo 1979-2005, le tendenze vanno da -16 a +13 mm ogni decennio, ma nessuno è significativo. Si nota però, che le sostanziali differenze riscontrate nei vari metodi, evidenziano la difficoltà di monitoraggio di una variabile come la precipitazione che presenta una grande variabilità sia spaziale che temporale; tale variabilità sussiste anche per la temperatura anche se in misura minore.

I pattern spaziali dei trend delle precipitazioni annuali durante il periodo 1901-2005 e 1979-2005 sono mostrati in figura 2.7. Le tendenze osservate, sono state calcolate sulla base dei dati della stazione GHCN interpolati su una griglia di 5° x 5° di latitudine/longitudine; le aree in grigio hanno dati insufficienti per produrre *trend* attendibili mentre le croci indicano le aree in cui si ha un *trend* significativo al 95%.

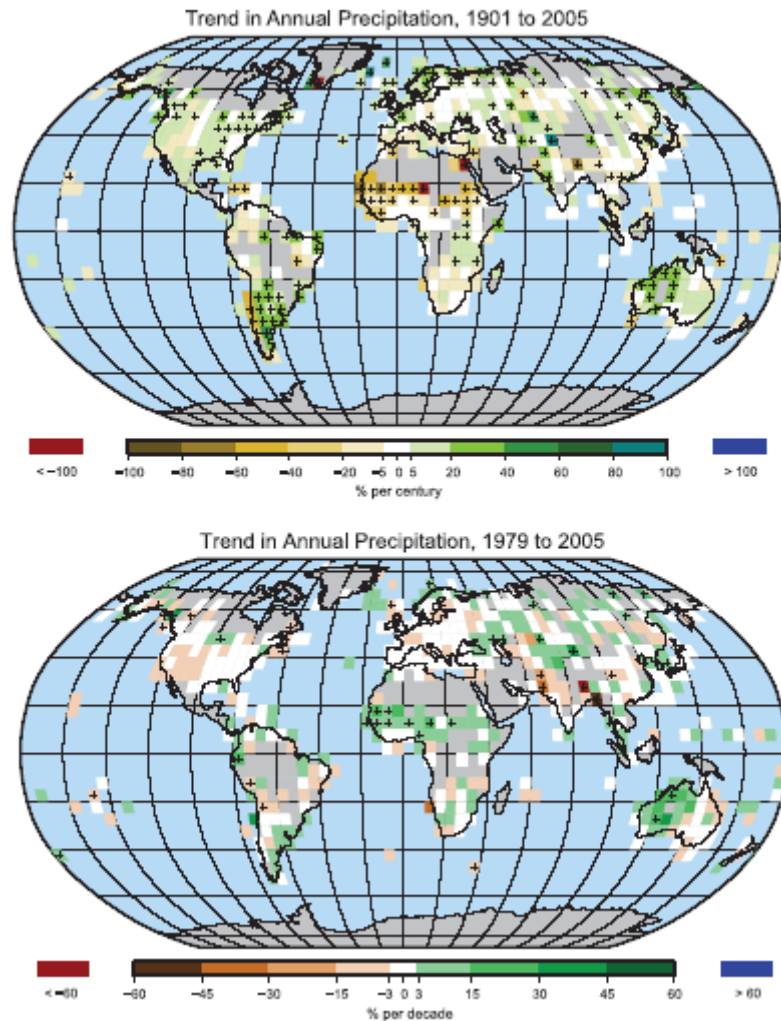


Fig. 2.7 - *Trend* delle precipitazioni annuali sulla superficie terrestre determinati tramite il GHCN data set.

Per la maggior parte del Nord America e, in particolare, per le alte latitudini e per le regioni del Canada, la precipitazione annuale è aumentata durante i 105 anni presi in considerazione. La prima eccezione è nel Sud-Ovest degli Stati Uniti, nel Nord-Ovest del Messico e nella penisola di Baja California, dove la tendenza delle precipitazioni annue è stata negativa (1-2% per decennio) e la siccità ha prevalso negli ultimi anni. Si sono osservate tendenze negative anche nelle parti della costa occidentale del Cile e in Africa, nel Sahel dove si sono registrate le più grandi tendenze negative. Per alcune zone del mondo non è stato possibile ricostruire un *trend* delle precipitazioni (Groenlandia, Sahara, Antartide e Plateau tibetano); per queste regioni, infatti, non sono stati ritenuti sufficientemente affidabili i dati. In Figura 2.8, viene ripreso il *trend* annuale delle precipitazioni per il periodo che va dal 1901 al 2005; per 19 regioni, inoltre, viene illustrato l'andamento medio e le anomalie delle precipitazioni.

Capitolo 3 - Il fenomeno della desertificazione

Ing. Giuseppe Geraci, Ing. Gianluca La Placa

Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque – Settore Osservatorio delle Acque

Tra i fenomeni maggiormente preoccupanti che coinvolgono molte zone del globo terrestre vi è sicuramente quello della desertificazione. Da tale considerazione scaturisce un crescente interesse, da parte della comunità scientifica, nel conoscere e approfondire quelle che sono le problematiche connesse a tale fenomeno e all'identificazione delle aree maggiormente a rischio.

Quando si parla del fenomeno di desertificazione bisogna, innanzitutto, sottolineare come questo termine non abbia una definizione univoca; nel tempo ne sono state date varie interpretazioni, tra cui le più importanti sono:

- “La creazione di condizioni simili a deserto risultanti da processi di erosione” (*Auberville*, 1949);
- “La riduzione o distruzione del potenziale biologico della terra che può condurre a condizioni desertiche. È un aspetto di degradazione dell'ecosistema conseguente a una consistente riduzione nel loro potenziale biologico [...]” (Programma Ambientale delle Nazioni Unite, UNEP, 1977);
- “Il processo che porta ad una riduzione irreversibile della capacità del suolo di produrre risorse e servizi” (Organizzazione per l’Alimentazione e l’Agricoltura - FAO, Organizzazione delle Nazioni Unite per l’Educazione la Scienza e la Cultura - UNESCO, UNEP, 1979);
- “L’impoverimento di ecosistemi terrestri sotto l’effetto dell’impatto umano, che può essere misurato attraverso la riduzione di produttività di specie utili, la riduzione di biomassa e la riduzione di biodiversità nella micro e macrofauna e flora, e l’accelerata degradazione del suolo” (*Dregne*, 1983);
- “Tutte le espressioni comprese per indicare i processi socio-economici, naturali e antropici, che causano una modifica nel suolo, nella vegetazione, nell’atmosfera e nel bilancio idrico di regioni caratterizzate da aridità indotta da fattori edafici e climatici” (FAO/UNEP, 1984);
- “Degradazione del suolo e delle risorse idriche in aree aride, semiaride e secche/sub-umide, dovuta principalmente agli impatti antropici negativi” (UNEP, 1991).

Oggi la definizione ufficiale di desertificazione è quella elaborata durante la Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo (Rio, 1992), in termini di “degrado delle terre nelle zone aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause, fra le quali le variazioni climatiche e le attività antropiche”. Questa definizione, recepita nell’ambito della Convenzione Internazionale delle Nazioni Unite sulla lotta alla Siccità e Desertificazione (UNCCD), è considerata profondamente innovativa rispetto alle definizioni precedenti in quanto il degrado del suolo è visto sia in termini di degrado fisico-chimico, sia in termini di perdita della redditività economica derivante dalla sua coltivazione; inoltre evidenzia come la desertificazione può essere determinata dal sovrapporsi di cause di origine naturale ed antropica.

3.1 Zone della terra interessate dalla desertificazione

Le zone potenzialmente più esposte alla desertificazione sono quelle aride e semiaride, che rappresentano oltre il 30% della superficie terrestre, soprattutto quelle in prossimità delle aree desertiche del pianeta.

I deserti veri e propri, rappresentano circa il 7% delle terre emerse. Tra i più importanti ed estesi è possibile ricordare il Deserto di Sonora che si sviluppa nel Messico nord-occidentale e nella zona sud-occidentale degli USA, e quello di Acatama nel Sud America tra le Ande e il Pacifico. In Africa i maggiori deserti sono quelli del Kalahari, in Sud Africa e il Deserto del Sahara che è il più esteso al mondo, nel Nord Africa. In Asia si evidenziano il Deserto Arabico, le aree desertiche dell’ex Unione Sovietica, il Deserto dell’Iran, il Gran Deserto Indiano del Thar (Rajasthan), il Deserto del Gobi in Mongolia e del Taka-makan in Cina. Infine, in Australia si sottolineano il Gran Deserto Sabbioso e il Gran Deserto Vittoria. Attorno ai deserti si estendono poi delle aree semidesertiche che possono andare incontro alla desertificazione in funzione dei cambiamenti climatici o a causa dello sfruttamento non sostenibile da parte dell’uomo.

Tuttavia, negli ultimi decenni, anche le regioni a clima temperato come l’Europa, in particolare i Paesi del Bacino del Mediterraneo, sono state interessate da fenomeni di desertificazione causate da un uso non sostenibile del suolo, nonché dalla concomitanza tra aumento delle temperature e riduzione delle precipitazioni.

I dati che si riferiscono alla desertificazione, alla sua evoluzione e ai suoi innumerevoli risvolti ambientali, economici e sociali sono in parte condizionati dalla complessità insita nel

gran numero di variabili naturali, antropiche, politiche e sociali che interagiscono tra di loro. In ogni caso, alcuni numeri possono aiutare a capire l'estensione del fenomeno che interessa, seppur in misura differente, 110 nazioni in tutti i continenti.

Secondo il "Rapporto 1998 su Lo sviluppo Umano" delle Nazioni Unite, "Dal 1945, quasi 2 miliardi di ettari sono stati degradati cioè più di un sesto dei terreni produttivi del mondo, riducendo la capacità della terra di sopportare le attività umane. In circa due terzi di tale area, pari alla Cina e all'India, la produttività agricola si è notevolmente ridotta o è stata annullata e i Paesi in via di sviluppo, in particolare l'Africa e l'Asia, hanno sopportato più dell'80% del danno: quasi la metà delle terre degradate nel mondo si trova in Asia e circa 500 milioni di ettari sono modestamente o seriamente compromessi in Africa - due continenti che nell'insieme hanno due terzi dei poveri del mondo. La coltivazione eccessiva, il pascolo intensivo e l'abbattimento delle foreste rilevano ognuno per il 30% del danno, e lo sfruttamento eccessivo della legna da ardere per un altro 7%".

Per quanto riguarda le superfici, a livello mondiale, a causa dei processi di inaridimento e desertificazione, ogni anno circa 12 milioni di ettari di terreni agrari diventano inutilizzabili, e si stima che la perdita di terra coltivabile ammonti a circa 24 miliardi di tonnellate/anno, con una velocità superiore di 30-35 volte la velocità naturale. Secondo l'UNEP, Programma Ambientale delle Nazioni Unite (1997), il 69% dei 5.2 miliardi di ettari di terre emerse è in una situazione di degrado o è soggetta a desertificazione e il 70% dei terreni aridi utilizzati in agricoltura si sta degradando. Secondo l'*Office for land management* (USA) è vulnerabile ai fenomeni della desertificazione il 40% del territorio degli Stati Uniti, e già attualmente circa i 2/5 dei terreni a pascolo del Texas è in uno stato di aridità tale da non consentire la loro utilizzazione.

La situazione più preoccupante è comunque in Africa dove 494 milioni di ettari risultano degradati (*Matthews e Hammond*, 1999) e recenti studi stimano che nel continente si siano già trasformati in deserto 65 milioni di ettari di terre fertili. Nella sola regione del Sahel il deserto è avanzato verso Sud di oltre 100 km tra il 1950 e il 1975. Vaste aree sono interessate anche in Australia dove il Gran Deserto Vittoria e il Gran Deserto Sabbioso sono in espansione e si registrano inoltre numerose aree agricole soggette ad una progressiva perdita di fertilità.

In America latina, tra i Paesi dove avanza la desertificazione si sottolineano il Perù, dove circa il 16% del territorio nazionale va incontro a processi di desertificazione e 28 milioni di ettari nella regione delle Ande sono particolarmente esposti all'erosione; l'Argentina, dove il territorio colpito ammonta a circa 46,4 milioni di ettari; il Cile, con circa 38 milioni di ettari di aree desertiche e alcune vaste aree del Brasile.

Altro continente particolarmente colpito è quello asiatico, nel quale si stimano 747 milioni di ettari di terreni già degradati (*Matthews e Hammond, 1999*), e dove per i prossimi anni si calcola un'ulteriore potenziale perdita di circa 275 milioni di ettari di terre fertili.

In Europa, secondo i dati pubblicati nel 1998 dal rapporto del Programma delle Nazioni Unite per lo Sviluppo (UNDP), si stima che le aree di suolo degradato siano pari a circa 219 milioni di ettari e che il 25% delle terre interessate dall'agricoltura e il 35% circa dei pascoli sono in una condizione di rischio. Si sottolinea che il primo tentativo di applicazione di una metodologia comune a livello del bacino del Mediterraneo è stato compiuto dal Progetto DISMED - *Desertification Information System for the Mediterranean*, coordinato dall'UNCCD, in collaborazione con l'Agenzia Europea per l'Ambiente e la Fondazione di Meteorologia Applicata.

Questo studio ha portato all'individuazione delle aree a rischio desertificazione nei Paesi che si affacciano sul Mediterraneo e si è basato su un indice di sensibilità alla desertificazione a sua volta funzione di un indice di qualità della vegetazione, di un indice di qualità del clima e di uno di qualità del suolo. Dai risultati è poi emerso che la Spagna è il Paese più a rischio in Europa, come si evince in Figura 3.1, mentre tra le regioni italiane quella più a rischio è la Sicilia (Fig. 3.2).

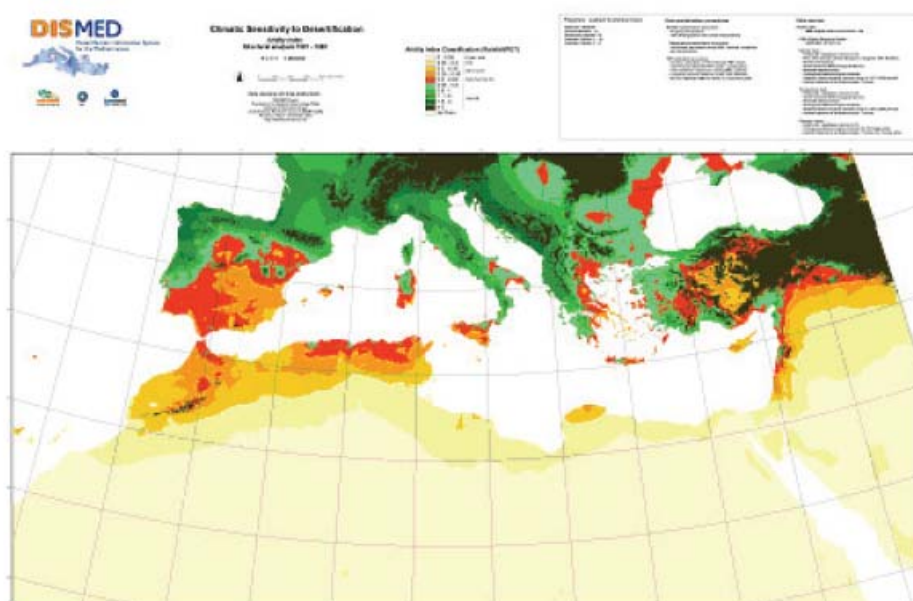


Fig. 3.1 - Aree sensibili alla desertificazione nel bacino del Mediterraneo, Progetto DISMED 2003, scala 1:5.000.000.

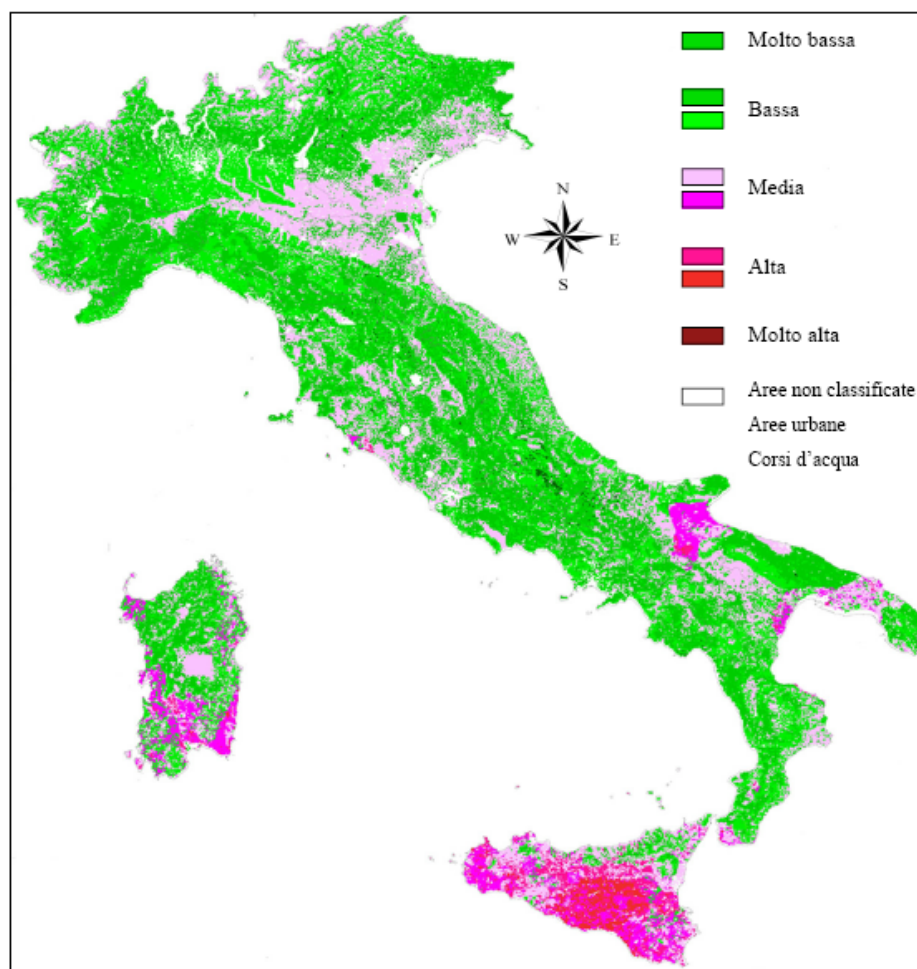


Fig. 3.2 - Classificazione del territorio italiano in base al rischio di desertificazione, Progetto DISMED 2003.

A causa del fenomeno della desertificazione, il Programma Ambientale delle Nazioni Unite (UNEP), già nel 1978, quantificava a livello globale una perdita di reddito pari a circa 42 miliardi di \$ USA/anno, di cui 21 miliardi in Asia, 9 in Africa, 5 in Nord America, 3 rispettivamente in Sud America e in Australia e 1 in Europa, il continente meno colpito, ma anche quello di dimensione più piccola.

3.2 Le cause della desertificazione

La desertificazione è un problema complesso e le sue cause vanno ricercate nella interazione tra fattori predisponenti, cause di origine naturale e cause antropiche; tanto che spesso risulta anche difficile capire fino a che punto una causa è da attribuire alla natura o all'azione dell'uomo.

3.2.1 Fattori predisponenti

I fattori predisponenti che possono favorire le forme di degrado sono molteplici; tra questi, si possono considerare l'intrinseca fragilità di molti ecosistemi, spesso già alterati dall'urbanizzazione e dall'inquinamento e dunque incapaci di opporsi con efficacia e prontezza alle trasformazioni esterne. Anche l'aspetto pedologico e morfologico svolge un ruolo fondamentale; infatti, zone ad elevata pendenza sono maggiormente soggette a fenomeni di erosione con conseguente mancanza di struttura del terreno, scarso contenuto di sostanza organica e scarsa permeabilità. Inoltre, i versanti che sono esposti a Sud, nell'emisfero boreale e a Nord, nell'emisfero australe, ricevono un flusso di radiazione solare maggiore rispetto agli altri e ciò determina condizioni microclimatiche sfavorevoli alla rigenerazione della vegetazione naturale, una volta rimossa dall'azione diretta o indiretta dell'uomo. La pendenza e l'esposizione concorrono quindi a determinare la vulnerabilità del territorio a fenomeni erosivi di tipo meteorico. Al degrado del suolo è associata anche la degradazione della copertura vegetale, specie se essa non è abituata a resistere a lunghi periodi di siccità; un degrado del suolo e della vegetazione finisce per ripercuotersi anche sulla fauna sconvolgendo così l'intero ecosistema.

3.2.2 Cause naturali

Le cause naturali della desertificazione sono da ricercare essenzialmente nella scarsità delle precipitazioni specie se associate ad elevati valori delle temperature. In questo contesto si inquadrano i problemi di aridità e di siccità climatica di una regione definiti precedentemente. Altra causa del fenomeno può essere considerata l'intensità delle precipitazioni, infatti, quando precipitazioni brevi e intense colpiscono terreni privi di copertura vegetale, il ruscellamento rimuove dal terreno lo strato superficiale più ricco di sostanza organica dando vita, col tempo, a forme di erosione estrema come i calanchi. Le zone aride, semiaride e sub-umide secche sono spesso esposte al rischio di piogge brevi, ma intense che, invece di mitigare gli effetti della scarsità delle precipitazioni, provocano fenomeni erosivi e quindi incrementano la desertificazione stessa.

Nelle zone aride e semiaride un'ulteriore causa naturale di desertificazione è costituita dall'azione erosiva del vento; l'erosione eolica avviene per dissipazione dell'energia del vento sul terreno o sui materiali di copertura, quali la vegetazione. Essa può essere ridotta diminuendo la velocità del vento radente al suolo mediante schermature realizzate con strutture elastiche ed in particolare con materiale vegetale vivo o morto. La velocità del vento

si riduce rapidamente con la quota, ma essa crea a contatto con il terreno uno strato di forte turbolenza. Tale strato dipende dalla rugosità del suolo in termini di granulometria o di altezza e densità del manto vegetale. Le turbolenze iniziano a formarsi quando la velocità del vento supera i 2-3 Km/h, ma solo con velocità di 10-15 Km/h il vento riesce a sollevare particelle terrose. In zone aride dominano i litosuoli privi di sostanza organica, per cui le particelle disaggregate sono spesso soggette a trasporto eolico in funzione del rapporto tra la dimensione e il peso.

In presenza di alberi di grandi dimensioni gran parte dell'energia del vento viene assorbita dalle fronde battute dal vento per cui a valle degli alberi si instaura una zona riparata meno ventosa, ove si riduce l'erosione del suolo. Se il vento, però, investe un ostacolo rigido come un ammasso roccioso, devia al suo intorno esercitando con la sabbia un effetto di smerigliatura che con il tempo finisce per erodere l'ammasso stesso. L'azione erosiva del vento, quindi, è caratterizzata da fasi e forme diverse, che presentano una loro nomenclatura: con il termine di deflazione, in particolare, si indica l'azione di trasporto dovuta al vento; con la corrosione, l'azione di smerigliamento di superfici resistenti per effetto del trasporto di sabbia in sospensione; con la deiezione, la fase dinamica dell'allontanamento del materiale eroso; mentre con l'accumulazione, la stabilizzazione del materiale depositato in una zona più o meno lontana dalla sua zona di origine. Spesso in questi climi l'azione di sgretolamento delle rocce e dei terreni è causata non solo dall'azione erosiva del vento, ma anche dalle forti escursioni termiche tra il giorno e la notte che provocano delle dilatazioni e delle contrazioni che progressivamente distruggono la roccia stessa.

3.2.3 Cause antropiche

Le cause antropiche della desertificazione sono molteplici; tra di esse un ruolo importante spetta alla trasformazione degli ecosistemi forestali in ecosistemi agricoli che ha predisposto al rischio di degrado ampie porzioni della superficie terrestre. Il disboscamento provoca, infatti, una forte riduzione della capacità di ritenzione idrica da parte del suolo; inoltre, si verifica l'asportazione dello stato organico di superficie, a causa delle piogge, ossia quello strato maggiormente responsabile della regolazione dei deflussi idrici e dell'attività biologica del suolo. Anche il decespugliamento è una pratica dannosa perché scopre il suolo, accentuando l'erosione, altera il microclima e danneggia la fauna presente. Le azioni di deforestazione sono principalmente causate dalla competizione esistente tra i diversi usi del territorio e quindi costituiscono il risultato dello scontro tra le forze ambientali, sociali,

politiche e culturali presenti su un certo territorio. Il carattere spesso non sostenibile di tali attività è legato alla necessità di soddisfare diverse esigenze economiche; in particolare, si stima che il settore agricolo nel corso dei prossimi 25 anni richiederà dai 250 ai 300 milioni di ettari di nuove terre per soddisfare la domanda delle aziende, delle colture di sussistenza e della pastorizia, a spese delle foreste tropicali. La deforestazione, inoltre, può determinare conseguenze negative in termini di riscaldamento climatico globale dovuto all'aumento di CO₂ in atmosfera e può provocare anche drastici cambiamenti microclimatici che comportano alterazioni in termini di produttività e di funzionalità degli ecosistemi.

Spesso la deforestazione è seguita da una agricoltura intensiva che sfrutta in maniera non sostenibile il suolo causandone la completa perdita di fertilità. I processi di degrado del suolo sono il risultato dell'uso, a volte erroneo, dei mezzi di produzione come fertilizzanti e acqua. In questo senso, un ulteriore aggravio della situazione è stato causato in epoca recente dall'uso dei mezzi meccanici che causano la compattazione del terreno e riducono la fertilità chimico-fisica dello strato di suolo arato, ma anche dalla potenza dei trattori che permettono sistemazioni artificiali delle superfici collinari causando delle modifiche alla morfologia naturale del territorio e dunque alterando i naturali percorsi del deflusso superficiale. Il substrato organico, da elemento principale nel determinare le scelte produttive, è divenuto oggi un elemento secondario, comunque sostituibile con concimi artificiali prodotti industrialmente. Si trascura il ruolo della sostanza organica quale elemento regolatore della fertilità fisica e microbiologica del suolo, per l'effetto delle sostanze colloidali sulla struttura del terreno e della capacità di ritenzione idrica, entrambi elementi benefici e contrastanti i processi di erosione superficiale.

La zootecnia, specie nelle sue forme intensive, ha modificato l'uso del territorio, causando da una parte fenomeni di inquinamento a causa della necessità di smaltimento delle deiezioni animali, dall'altra ha causato un maggiore sfruttamento delle aree adibite a pascolo, specialmente quelle meglio servite da acqua, strade e servizi, con conseguenti fenomeni di degrado della vegetazione, compattazione ed erosione dei suoli. Viceversa, in altre aree meno raggiungibili, si sta verificando la sottoutilizzazione di pascoli naturali gradualmente in fase di riconquista da parte del bosco. In molti Paesi a clima arido e semiarido, l'attività zootecnica costituisce il settore principale dell'agricoltura ed è ritenuta una delle più importanti cause di desertificazione anche perché associata all'impiego del fuoco per la pulizia dei pascoli ed alla errata coltivazione dei terreni poveri e fortemente acclivi.

In seguito allo sfruttamento eccessivo da parte dell'agricoltura e della zootecnia il terreno finisce per essere improduttivo nel senso che la sua coltivazione non è più conveniente dal

punto di vista economico; ciò genera un fenomeno noto come abbandono delle terre. Gli ultimi 4000 anni hanno visto nell'Europa mediterranea un forte incremento di terre agricole che, a causa di insufficienti misure di conservazione del suolo, hanno spesso subito fasi di impoverimento così intenso da essere conseguentemente abbandonate. Nella storia, queste fasi sono state a volte concomitanti con fasi di esplosione o contrazione demografica. Il processo si è intensificato nel '900 col risultato che, in molte regioni, terreni che fino a 50 anni fa venivano coltivati a cereali, vite e olivo, sono quasi del tutto improduttivi e attualmente abbandonati.

Il processo di abbandono delle terre agricole può essere connesso a fattori legati all'ambiente fisico, alla gestione territoriale e al contesto socioeconomico. Per quanto riguarda i fattori ambientali, il principale fattore limitante è la disponibilità idrica, che dipende dalle condizioni climatiche e dalla capacità di immagazzinamento idrico del suolo e che quindi limita la crescita delle piante. Diverse possono essere le motivazioni socioeconomiche che portano all'abbandono delle terre. Il rapido sviluppo delle attività turistiche, l'urbanizzazione e l'intensificazione dell'agricoltura nelle aree costiere del Mediterraneo, hanno determinato la migrazione dalle zone più interne e, conseguentemente, l'abbandono di molte zone a se stesse. Inoltre, la maggior parte dei terreni difficilmente possono riprendersi da soli dal deterioramento, anzi il loro abbandono li espone ulteriormente al rischio incendio, all'erosione e a forme di zootecnia molto povere. In altre situazioni, i sussidi dell'Unione Europea, forniti in base al numero di capi di bestiame, hanno contribuito a creare fenomeni di sovra-pascolamento con conseguente degradazione del territorio e, in casi estremi, abbandono delle terre stesse. In sintesi, l'abbandono delle terre è nello stesso tempo un sintomo della perdita di fertilità del terreno, ma esso stesso contribuisce all'aggravio progressivo del fenomeno.

Strettamente legato al fenomeno dell'abbandono delle terre è il crescente fenomeno della litoralizzazione, definita come la concentrazione delle attività economiche e degli insediamenti residenziali nelle aree costiere in conseguenza della crescita urbana, delle attività industriali, del turismo e dell'irrigazione. In alcuni casi, tale processo può essere associato all'abbandono degli insediamenti e delle terre delle zone più interne e quindi ad un flusso di popolazione dall'interno verso la costa. La litoralizzazione e l'abbandono delle terre costituiscono, quindi, due aspetti della medesima problematica.

L'urbanizzazione delle zone litoranee può risultare particolarmente rischiosa per il contesto ambientale costiero, che già presenta elementi di notevole vulnerabilità intrinseca; il forte prelievo di acqua nelle zone costiere può causare, infatti, un abbassamento nel livello

delle falde freatiche, comportando l'infiltrazione di acqua marina nel sottosuolo e la progressiva salinificazione delle falde; inoltre, si verifica un intenso sfruttamento dei suoli a scopo insediativo, determinando, di conseguenza, la perdita dei tradizionali usi del territorio.

L'urbanizzazione delle zone costiere, spesso nelle vicinanze delle foci dei fiumi, espone ulteriormente la popolazione al rischio di alluvioni e disastri idrogeologici.

Questi problemi ambientali diffusi nel Mediterraneo del Nord sono più intensi in quelle aree dove le politiche di sviluppo economico hanno favorito il turismo di massa nel periodo estivo, introducendo nuovi schemi di urbanizzazione, caratterizzati da alti consumi di terra procapite e *standard* di qualità di vita più esigenti. La pressione esercitata da questi movimenti di massa stagionali causa un impatto sul contesto ambientale, economico e culturale, che in alcuni casi può favorire lo sviluppo, ma in molti altri favorisce l'alterazione dei fragili equilibri. Alla litoralizzazione non sostenibile di molte delle coste, contribuiscono, da oltre quarant'anni, i fenomeni di abuso edilizio di tipo essenzialmente residenziale che purtroppo non sono mai stati adeguatamente contrastati.

Gli incendi, quasi sempre di origine antropica, sono un'altra causa della desertificazione; essi, infatti, distruggono boschi e foreste che hanno impiegato decenni o secoli a formarsi e che non riacquisteranno facilmente la ricchezza di flora e di fauna preesistente l'incendio stesso. Le alte temperature dovute al fuoco possono anche avere effetti negativi sulle proprietà fisico-chimiche del terreno, esse causano cambiamenti nella sua struttura rendendolo meno permeabile e, quindi, più esposto a processi erosivi. Con l'incendio si formano sostanze idrorepellenti che accelerano lo scorrimento superficiale e quindi il trasporto solido. Gravi problemi idrologici si sviluppano pressoché sistematicamente nelle aree bruciate acclivi nella prima stagione piovosa immediatamente successiva all'incendio per effetto di tali fenomeni chimici e a causa del mancato effetto di trattenuta del terreno ad opera delle radici. Per capire la gravità del fenomeno basti citare che, nell'ultimo decennio, solo in Italia, si sono perduti più di 600.000 ettari di bosco a causa degli incendi.

Un utilizzo errato delle risorse idriche è una delle cause principali della desertificazione; spesso nei Paesi, soprattutto in quelli industrializzati, si assiste ad un uso dissennato della risorsa idrica, caratterizzato da prelievi eccessivi e non pianificati nonché dall'inquinamento puntiforme e diffuso di origine urbana, agricola e industriale. Altro grave aspetto è costituito dalle perdite nella rete di distribuzione che in alcuni casi arrivano a percentuali elevate. L'incremento dei fabbisogni idrici dovuto alla crescente urbanizzazione, all'aumento del consumo procapite e al passaggio ad una agricoltura di tipo intensivo, ha portato ad un eccessivo prelievo dalle falde sotterranee, causandone l'abbassamento. Questo fenomeno può

produrre delle modificazioni nei rapporti idraulici fra falde sotterranee e corsi d'acqua superficiali. Problematiche associate a pratiche irrigue intensive sono state riscontrate, ad esempio, in Spagna nel bacino di Guadalentin (*Gonzalez Barbera, 2004*), dove, nel corso degli ultimi 50 anni, le terre irrigate sono aumentate più del 150% e il tasso di emungimento è quattro volte superiore rispetto a quello di ricarica della falda, con conseguente salinazione delle acque sotterranee, dovuta alla progressiva intrusione delle acque marine nell'acquifero. In Italia, la piana costiera lucana è stata interessata da una notevole intensificazione delle attività agricole, e dunque delle pratiche irrigue rese possibili dalla costruzione di invasi (*Quaranta e Salvia, 2006*), che hanno consentito l'irrigazione di notevoli porzioni di territorio, e dunque la produzione di raccolti proficui.

L'industria, l'urbanizzazione ed il turismo incidono sul fenomeno della desertificazione causando una drastica riduzione delle aree naturali e una forte richiesta di risorse idriche, concentrate nel tempo e nello spazio. L'industrializzazione comporta dei danni molto elevati soprattutto in quei Paesi nei quali la normativa, in termini di tutela dell'ambiente e del territorio, è labile o addirittura inesistente. In questi Paesi, generalmente in via di sviluppo, si sta assistendo alla creazione di tutta una serie di emergenze ambientali di livello mondiale alle quali è difficile riuscire a porre rimedio, a causa del tumultuoso sviluppo economico e della volontà della popolazione di avvicinarsi al modello di vita occidentale con un forte uso delle risorse naturali.

Le piogge acide sono un'altra causa di desertificazione; esse sono essenzialmente delle precipitazioni contaminate dalla presenza di acidi che si sono formati nell'atmosfera come conseguenza di processi di combustione. A partire dalla rivoluzione industriale, infatti, le quantità di anidride solforosa e di ossidi di azoto riversate nell'aria sono aumentate notevolmente per effetto del crescente consumo dei combustibili fossili. Tutto ciò ha causato un aumento corrispondente del fenomeno delle piogge acide, sia come precipitazioni che come deposizioni secche.

Per quanto riguarda le precipitazioni a livello globale, le nazioni più colpite sono quelle sulle quali, per effetto dei venti dominanti, si scaricano le nubi acide prodotte anche in altri Paesi. Il problema è particolarmente grave per il Canada che riceve le piogge acide statunitensi, mentre in Europa le nazioni più colpite sono quelle scandinave. In Germania più dell'8% dell'intero patrimonio boschivo è stato gravemente danneggiato, se non compromesso. In Italia l'azione delle piogge acide viene in parte tamponata dalla particolare costituzione geologica del terreno, ricco di carbonato di calcio che neutralizza gli acidi, per

cui non si raggiungono gli effetti che si possono rilevare negli altri Paesi europei; il fenomeno interessa, comunque, quasi esclusivamente la zona della Pianura Padana.

I danni causati dalle piogge acide nei confronti della vegetazione riguardano sia il terreno che le foglie. Le foglie rappresentano le parti della pianta più esposte e vulnerabili all'azione degli inquinanti dell'aria, in quanto sono la sede degli scambi gassosi. Attraversando gli stomi, i gas e le altre sostanze tossiche che si depositano sulla foglia penetrano all'interno e si sciolgono nel velo liquido intercellulare che permea le pareti delle cellule del mesofillo; da qui si diffondono nella foglia dove si possono accumulare in concentrazioni tossiche.

Per quanto riguarda l'azione tossica delle piogge acide nei confronti del terreno, essa è da imputare soprattutto all'anidride solforosa che cadendo sul terreno sottoforma di precipitazioni o di deposizioni secche causa l'acidificazione del suolo. A causa del pH acido, nel terreno si libera lo ione alluminio che è in grado di sostituire il calcio dai suoi siti di legame sui peli radicali delle piante; avviene, quindi, una diminuzione dell'apporto dei nutrienti e la pianta si indebolisce notevolmente, esponendosi all'attacco di insetti, malattie e variazioni climatiche eccessive. Questi fenomeni si evidenziano particolarmente nelle zone dove il suolo è più sottile e nelle aree nelle quali le piante sono maggiormente esposte alle intemperie come l'alta montagna. Inoltre il suolo, dopo la morte delle piante, non viene più protetto dalle radici e dalle fronde degli alberi contro l'erosione causata dalle precipitazioni, per cui le foreste soggette a piogge acide vanno incontro ad una successiva erosione del terreno, come nel caso degli incendi, che ne compromette il recupero futuro.

Le sostanze acide contenute nell'acqua piovana danneggiano anche le acque dei fiumi e dei laghi che vengono inquinate dai metalli, resi solubili, attraverso reazioni chimiche, proprio dall'acidità delle piogge. Il pH di un lago, che normalmente è pari a 8, con le piogge acide e lo scioglimento primaverile delle nevi, si abbassa causando notevoli danni. Infatti, al di sotto del valore 5,5 di pH muore la maggior parte dei pesci, dei crostacei e dei molluschi. Per avere un'idea del fenomeno, si può sottolineare come ben 140 sono i laghi ormai privi di vita in Canada, 107 sono in pericolo in Finlandia e 1750 in Norvegia.

Negli ultimi 50 anni, con l'intento teorico di risistemare delle aree degradate, sono state introdotte in molte regioni dell'Europa delle specie esotiche inidonee per quella tipologia di suolo e clima. In questi casi si è, invece, verificata un'erosione più spinta nelle aree collinari o montane ed una drastica diminuzione del numero delle specie locali con gravi ripercussioni sulla biodiversità. Per difendere aree a rischio è necessario, quindi, individuare e utilizzare le specie vegetali autoctone, ripristinando, ove possibile, la vegetazione naturale.

Capitolo 4 - Caratterizzazione dei processi di siccità e di desertificazione su scala regionale

Prof. Goffredo La Loggia, Ing. Leonardo Noto

Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali - DIIAA, Università degli Studi di Palermo

4.1 Dati

La ricerca di *trend* nelle serie di variabili climatiche richiede l'utilizzo di dati che soddisfino determinate caratteristiche; in particolare nell'analisi dei dati storici è necessario osservare: la distribuzione spaziale delle stazioni sul territorio, la lunghezza e la completezza della serie temporale, la qualità e l'omogeneità dei dati. Nella scelta delle stazioni da inserire nello studio dei *trend* a scala regionale è necessario disporre di una rete di stazioni di misura che risulti il più possibile uniforme dal punto di vista spaziale. La lunghezza della serie deve essere adeguata agli scopi dell'analisi: il WMO (*World Meteorological Organization*), a tal proposito, raccomanda l'uso di serie temporali di almeno 30 anni. Lo studio dei *trend* di grandezze climatiche e idrologiche richiede inoltre l'utilizzo di serie storiche complete. I dati storici presentano spesso delle discontinuità legate a numerosi fattori. In questi casi è possibile fare uso di opportune tecniche di interpolazione per ricostruire i dati mancanti.

Nel presente lavoro si è fatto uso dei dati di precipitazione mensili relativi a 247 stazioni distribuite sull'intero territorio siciliano, forniti dall'Osservatorio delle Acque (OA-ARRA) della Sicilia. Il periodo analizzato comprende gli anni dal 1921 al 2000. Tali dati risultano incompleti, in quanto nessuna stazione ha funzionato ininterrottamente per il periodo in esame. Al fine di ottenere delle serie storiche continue è stato necessario sottoporre le serie ad un procedimento di interpolazione che ha consentito di fare uso di un *dataset* completo e omogeneo (Bono, 2005). I dati mensili di partenza sono stati interpolati attraverso una tecnica che associa ad un metodo di tipo deterministico un modello stocastico: dapprima è stata eseguita la spazializzazione dei dati attraverso una regressione lineare, successivamente è stato applicato il *kriging* ai "residui" ottenuti nei punti noti, in modo da correggere l'errore del modello, ove con il termine residui si intendono le differenze tra la precipitazione prevista in ogni punto di campionamento e la precipitazione stimata dal modello deterministico.

Per quanto riguarda l'analisi dei *trend* termometrici, si è fatto uso dei dati di temperatura media annua e mensile forniti dall'Osservatorio delle Acque (OA-ARRA) della Sicilia, relativi a più di 80 stazioni meteorologiche distribuite sull'intero territorio siciliano per il

periodo che comprende gli anni dal 1924 al 2006. Anche queste serie risultavano incomplete, e sono state quindi sottoposte ad un procedimento di interpolazione, mediante il quale è stato possibile ottenere un *dataset* completo e omogeneo. In particolare le serie storiche sono state ricostruite utilizzando una relazione quote-temperature ed un interpolatore spaziale geostatistico, il *Residual Ordinary Kriging* (Varvaro, 2007).

4.2 Metodologie

4.2.1 Test per la verifica dell'esistenza di un trend

La presenza di un *trend* nelle serie storiche è stata verificata mediante l'applicazione del *test* non-parametrico di Mann-Kendall. Utilizzato originariamente da Mann (1945) e successivamente modificato da Kendall (1962), questo *test* consente di ricercare la presenza di una tendenza di lungo periodo nei dati climatici senza la necessità di fare assunzioni sulla forma della distribuzione dei dati stessi. Inoltre, i *test* non parametrici in generale sono meno influenzati dalla presenza di eventuali *outliers* nelle serie storiche.

Dato che il *test* non parametrico di Mann-Kendall consente l'individuazione dell'esistenza di un *trend* monotono ma non ne permette la quantificazione, si è effettuata una stima robusta del coefficiente angolare β della retta interpolante i dati (Hirsh et al., 1982) mediante l'espressione:

$$\beta = \text{Mediana} \left[\frac{(y_j - y_i)}{(j - i)} \right] \quad \forall i < j \quad [4.a]$$

4.2.2 Test a scala areale

Il *test* di Mann-Kendall è stato applicato anche per la determinazione di *trend* a scala areale.

Lettenmaier et al. (1994) hanno evidenziato che l'effetto della eventuale presenza di *cross-correlazione* spaziale nei dati, è quello di influenzare la probabilità di rigettare l'ipotesi nulla quando questa è vera, essa pertanto incide sulla capacità del *test* di determinare correttamente la significatività del *trend*; d'altronde nell'applicazione di un *test* statistico è estremamente importante considerare il livello di confidenza dei risultati ottenuti (Livezey e Chen, 1984). Una valida alternativa per valutare la presenza di *trend* a scala areale, senza incorrere negli

inconvenienti di cui si è detto, è quella di utilizzare una procedura *bootstrap* (Efron, 1979), che consente la ricostruzione della funzione di ripartizione empirica della statistica S_m , con lo scopo di valutare il livello di confidenza associato al valore di S_m calcolato a partire dai dati storici. Il metodo *bootstrap*, utilizzato per numerosi scopi in ambito scientifico, si basa su un campionamento semplice con ripetizione su un campione formato da k dati. Il campione *bootstrap* è ottenuto a partire dal campione iniziale, attraverso un'estrazione con ripetizione, che fa sì che alcuni dati siano ripetuti ed altri siano assenti, in modo tale da mantenere lo stesso numero di osservazioni. Questa modalità di estrazione, genera una variabilità nelle stime, in tal modo attraverso un unico campione disponibile se ne generano molti altri che consentono di costruire la distribuzione empirica di riferimento e quindi di calcolare il livello di significatività associato al valore di S_m ; ovviamente se questo risulta maggiore del livello di significatività prefissato si accetta l'ipotesi di assenza di *trend* nell'area considerata.

4.3 Analisi dei trend delle serie di precipitazione (1921-2000)

Per ciascuna delle 247 stazioni pluviometriche considerate in questa analisi è stata verificata la presenza di un *trend* negli afflussi annui, mensili e stagionali. Gli afflussi mensili sono stati aggregati in afflussi stagionali secondo quanto segue:

- inverno - dicembre, gennaio, febbraio;
- primavera - marzo, aprile, maggio;
- estate - giugno, luglio, agosto;
- autunno - settembre, ottobre, novembre.

In Figura 4.1 è riportata la distribuzione spaziale delle 247 stazioni pluviometriche utilizzate nello studio; inoltre, attraverso una scala di colori è evidenziata la variabilità della precipitazione media annua nella regione. I valori più elevati si concentrano nella province di Messina e di Palermo e raggiungono il valore massimo di circa 1270 mm, mentre i più bassi sono localizzati lungo la costa meridionale e raggiungono il valore minimo di 400 mm.

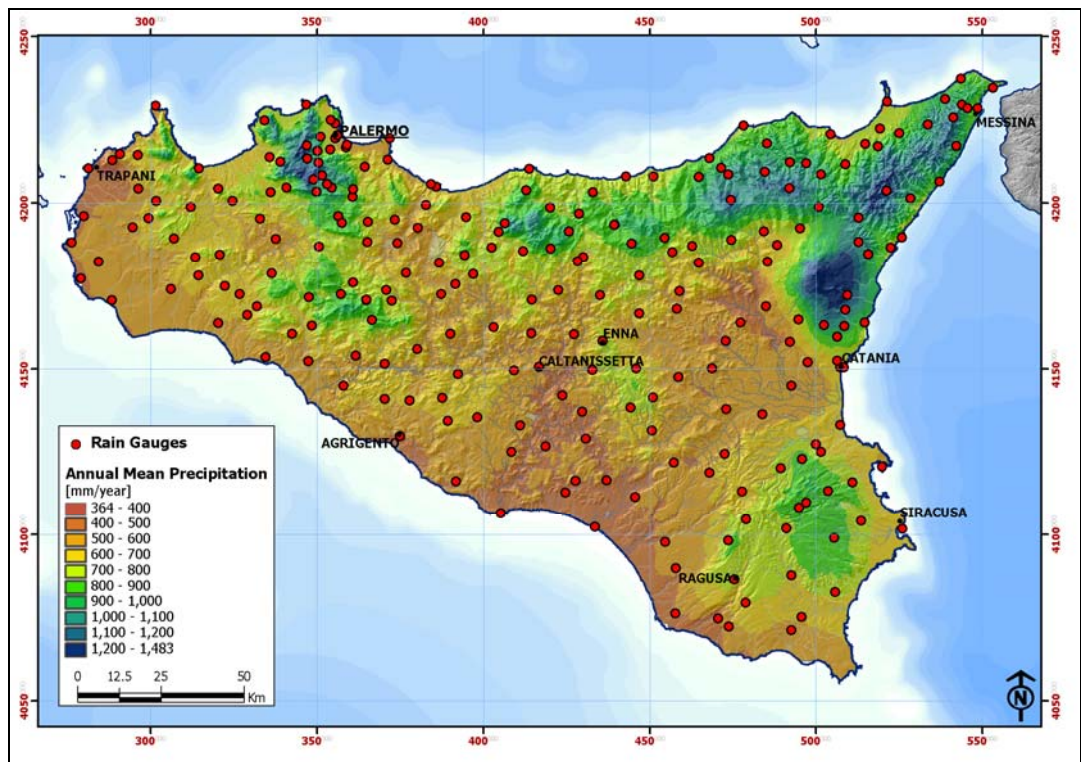


Fig. 4.1- Media degli afflussi totali annui per il periodo 1921-2000.

Nel caso delle stazioni messinesi nelle quali si riscontrano i valori medi di pioggia annua maggiori, si può osservare che esse, nella maggior parte dei casi, non presentano *trend* significativi per nessuno dei tre livelli di confidenza considerati. Le stazioni nella provincia di Palermo invece, mostrano valori di pioggia media annua più alti rispetto alle altre stazioni del territorio siciliano, ma sono anche caratterizzate da decrementi che risultano significativi fino al 99%.

Per una visualizzazione più immediata i risultati sono stati rappresentati in un diagramma a barre, in cui è stato indicato il numero di stazioni pluviometriche che presentano *trend* per ciascuno dei livelli di significatività fissati e il numero di stazioni in un cui il *trend* è assente (Fig. 4.2). La barra dei *trend* nulli è suddivisa in tre parti, ciascuna delle quali si riferisce rispettivamente ad un livello di confidenza del 90%, 95% e 99%.

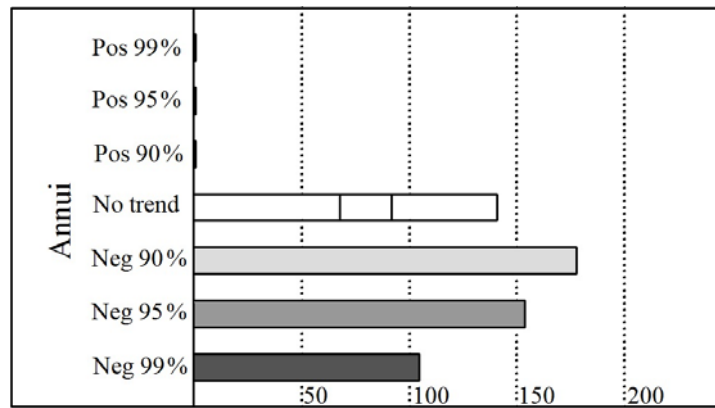


Fig. 4.2 - *Trend* osservati nelle precipitazioni annue ai livelli di confidenza del 90%, 95% e 99%.

L'istogramma mostra che la maggior parte delle stazioni presenta un *trend* negativo per tutti i livelli di confidenza considerati. In particolare il 62% delle stazioni analizzate (155 stazioni) mostra *trend* significativi al 95%. Le stazioni per le quali il *test* non ha rilevato un *trend* significativo variano da un minimo di 68 (per un livello di confidenza del 90%) ad un massimo di 141 (considerando un livello di confidenza del 99%). Nel caso delle stazioni nella zona di Messina, per le quali si riscontrano i valori medi di pioggia annua maggiori, non si riscontrano, nella maggior parte dei casi, *trend* significativi per nessuno dei tre livelli di confidenza considerati, mentre per le stazioni nella provincia di Palermo, anch'esse caratterizzate da valori di pioggia media annua particolarmente elevati, si sono rilevati decrementi che risultano significativi fino al 99%. Il decremento più rilevante è stato osservato nella stazione di Buccheri, nel versante orientale dell'isola, dove negli ultimi ottant'anni la precipitazione è diminuita mediamente di 7,65 mm/anno, mentre l'unica stazione a mostrare un *trend* positivo è quella di Erice, nella estrema punta Nord-Ovest della Sicilia, con un aumento medio annuo di 2,86 mm.

L'analisi dei *trend* è stata estesa anche agli afflussi stagionali. I risultati, illustrati in Figura 4.3, evidenziano che l'inverno è la stagione con il maggior numero di *trend* negativi e, di contro, l'estate è una stagione che non presenta quasi alcun *trend*.

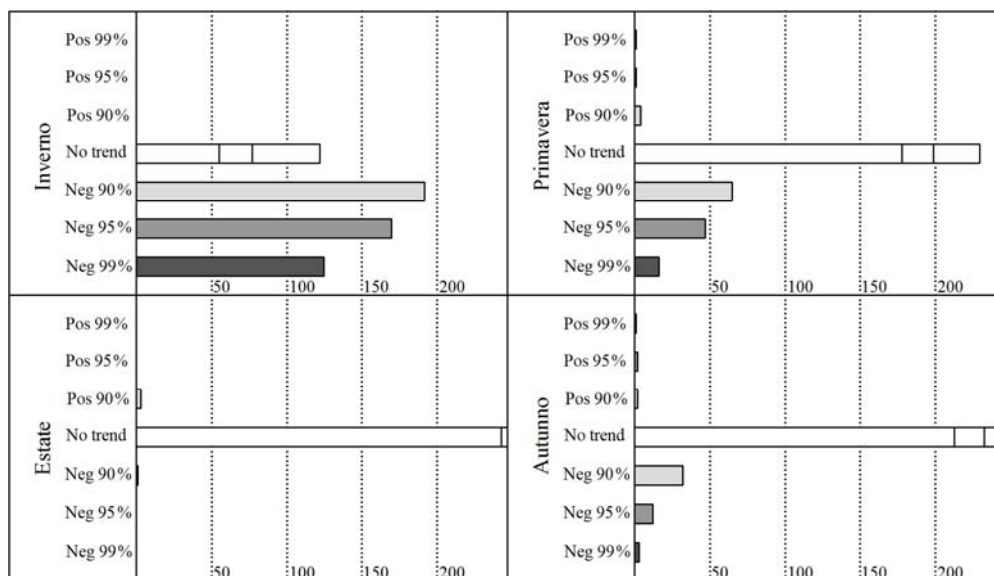


Fig. 4.3 - *Trend* osservati negli afflussi stagionali ai livelli di confidenza del 90%, 95% e 99%.

In inverno circa il 60 % delle stazioni è interessata da *trend* negativo con un livello di confidenza del 95%. Questo risultato è praticamente coincidente con quello già visto nello studio a scala annua e ciò porta ad affermare che la riduzione osservata nelle precipitazioni annue è essenzialmente legata alla diminuzione delle piogge nel trimestre invernale. Questo comportamento è da ricondursi al clima tipicamente mediterraneo dell'isola, caratterizzato dal fatto che più del 40% delle precipitazioni è concentrata nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio. L'analisi dei risultati ottenuti per gli afflussi mensili mostra comportamenti estremamente differenti da un mese all'altro (Fig. 4.4); infatti, anche a questa scala temporale si riscontra talvolta un numero rilevante di stazioni con *trend* significativo e altre volte totale assenza di *trend*.

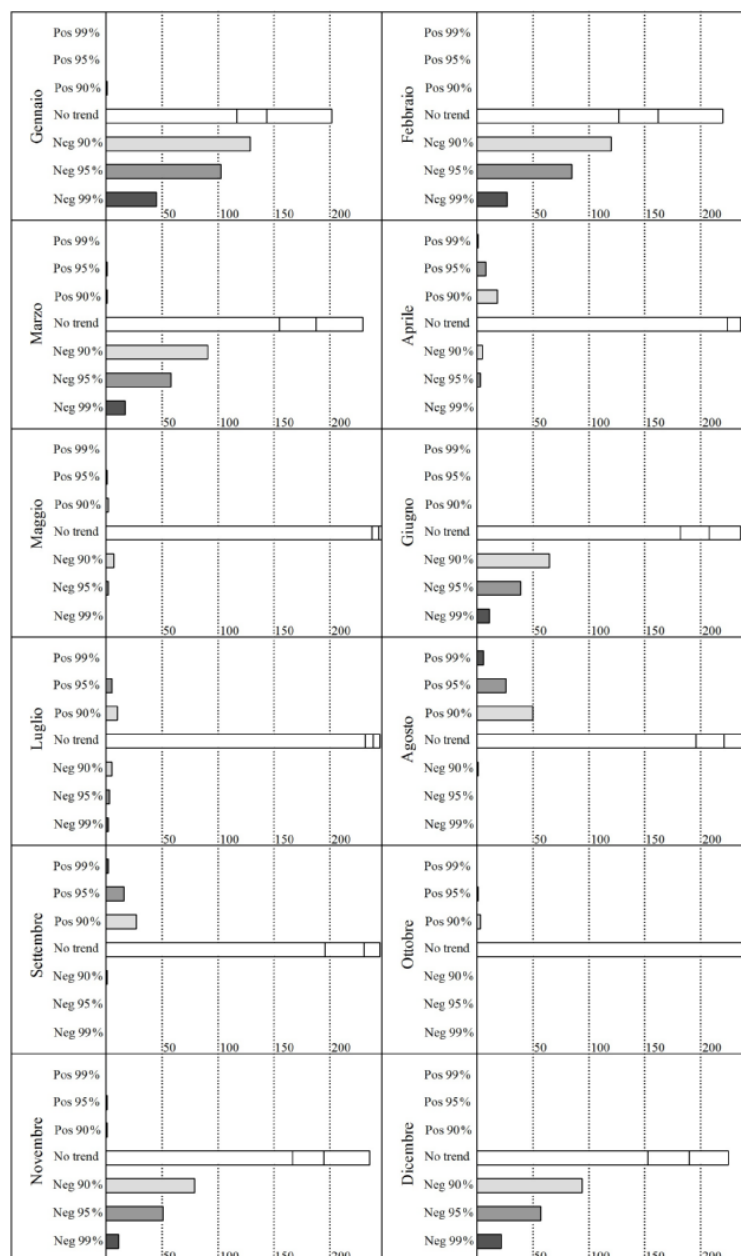


Fig. 4.4 - *Trend* osservati nelle precipitazioni mensili ai livelli di confidenza del 90%, 95% e 99%.

In particolare, per un livello di confidenza del 95%, i mesi di gennaio e febbraio sono caratterizzati da *trend* negativo nel 50% delle stazioni, mentre nei mesi di marzo, giugno, novembre e dicembre questa percentuale scende al 35%. Gli unici mesi per i quali si è individuata l'esistenza di *trend* positivi sono agosto e settembre con il 10-20% di stazioni con *trend* significativo al 95%.

Dopo aver determinato i *trend at-site*, si è proceduto alla spazializzazione dei risultati sull'intero territorio siciliano. Attraverso il metodo IDW sono state create delle mappe, in ognuna delle quali è stata rappresentata la distribuzione spaziale di una determinata grandezza nell'area in esame. La rappresentazione spaziale dei risultati permette dunque una migliore

comprensione della distribuzione dei *trend* e l'individuazione di zone nelle quali si verificano fenomeni simili.

Il livello di significatività locale *p-value* per ciascun *trend* è stato interpolato sull'area in studio utilizzando il metodo dell'*Inverse Distance Weighting* (IDW). La Figura 4.5 mostra il risultato ottenuto relativamente ai *p-value* per i *trend* annui. Da essa si evince che la parte Sud-Ovest della Sicilia è caratterizzata dalla presenza di *trend* con elevato livello di confidenza, dato che lì si riscontrano i più bassi valori del parametro; viceversa, i *trend* relativi alla zona Est mostrano un livello di confidenza mediamente molto più basso.

La mappa riportata in Figura 4.6 consente di visualizzare in maniera immediata quali sono le stazioni in cui è presente un *trend* e il relativo livello di confidenza. Come si può osservare la distribuzione sul territorio delle zone su cui si è riscontrato un *trend* per prefissato livello di significatività non è regolare.

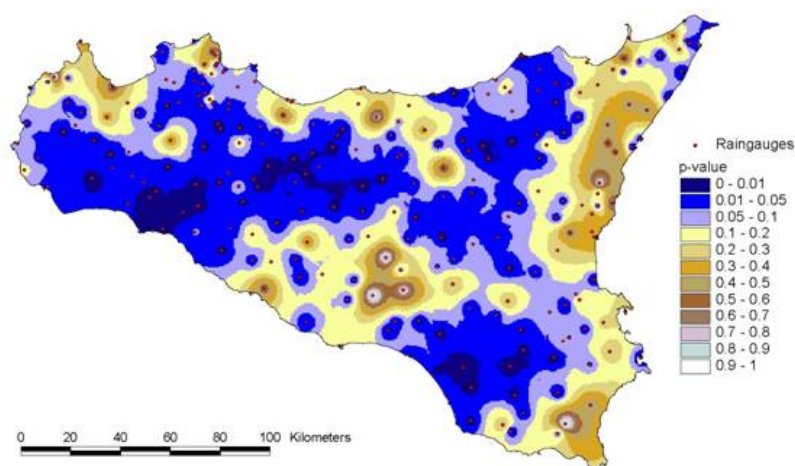


Fig. 4.5 - Distribuzione spaziale dei *p-value* per le precipitazioni annue (1921-2000).

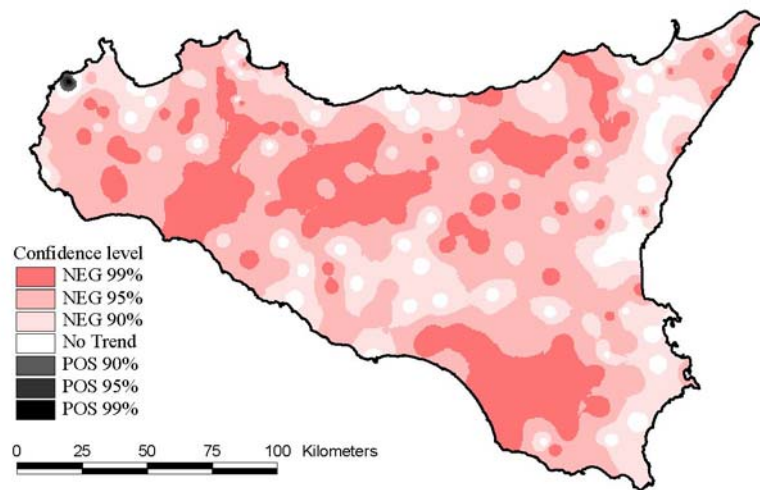


Fig. 4.6 - Distribuzione spaziale dei *trend* individuati negli afflussi annui con il *test* di Mann-Kendall e relativo livello di confidenza.

Dal confronto tra la mappa dei *p-value* e quella dei *trend* si evidenzia come esista una logica corrispondenza tra le zone dove l'ipotesi di assenza di *trend* è accettata e le zone dove il *p-value* assume i valori più elevati, in quanto più grande è il valore assunto da questa grandezza, maggiore è l'evidenza a favore dell'ipotesi nulla. Una volta nota la distribuzione spaziale del *p-value* è stato possibile realizzare delle mappe sovrapponendo la mappa in cui sono riportati i coefficienti angolari delle rette di regressione sugli afflussi totali annui con una carta in cui sono evidenziate le zone nelle quali il *p-value* assume valori superiori al livello di significatività assegnato, cioè le aree dove l'eventuale *trend* non è significativo; in altre parole in queste rappresentazioni spaziali sono indicati i coefficienti angolari delle rette di regressione solo per le serie degli afflussi annui che presentano *trend* significativi.

Nella mappa riportata in Figura 4.7 per fissato livello di confidenza, in particolare del 95%, è stata riportata la distribuzione spaziale del coefficiente angolare β calcolato usando la 4.a. In bianco sono state indicate le aree che non mostrano alcun *trend*.

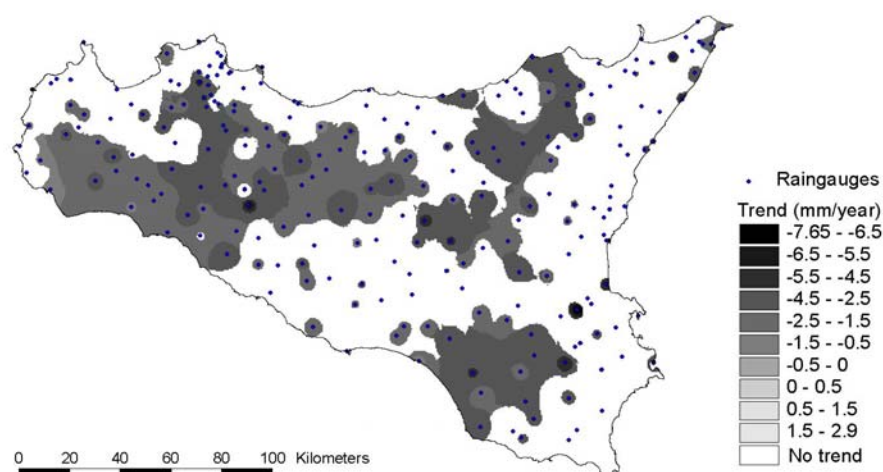


Fig. 4.7 - *Trend* sugli afflussi annui per un livello di confidenza del 95% e relativo coefficiente angolare.

Si evidenzia la presenza di alcune zone isolate in cui non ci sono *trend* significativi e tre ampie zone con *trend* significativi, che coprono all'incirca il 35% del territorio siciliano e risultano distribuite in maniera irregolare tanto da non sembrare riconducibili a particolari condizioni geografiche o morfologiche. La presenza di queste aree contigue con *trend* significativi rappresenta una conferma dei risultati *at-site*, tuttavia l'esistenza di un piccolo numero di stazioni sparse senza alcuna correlazione spaziale, in cui il *trend* è assente, suscita un dubbio legittimo sul significato statistico e fisico di questo risultato. Per tale motivo la distribuzione spaziale dei *trend*, influenzata dal metodo di interpolazione utilizzato, non è sufficientemente chiara, tuttavia gli elevati valori dei coefficienti angolari portano a considerare i risultati come attendibili.

È già stato accennato che nella stagione invernale molte stazioni esibiscono un *trend* decrescente, mentre nelle altre stagioni non si è individuata nessuna particolare tendenza. Per questo motivo è stata studiata la distribuzione spaziale dei *trend* del trimestre invernale. I risultati, rappresentati in Figura 4.8, evidenziano un differente comportamento tra la parte Est e quella Ovest e Sud-Ovest dell'isola.

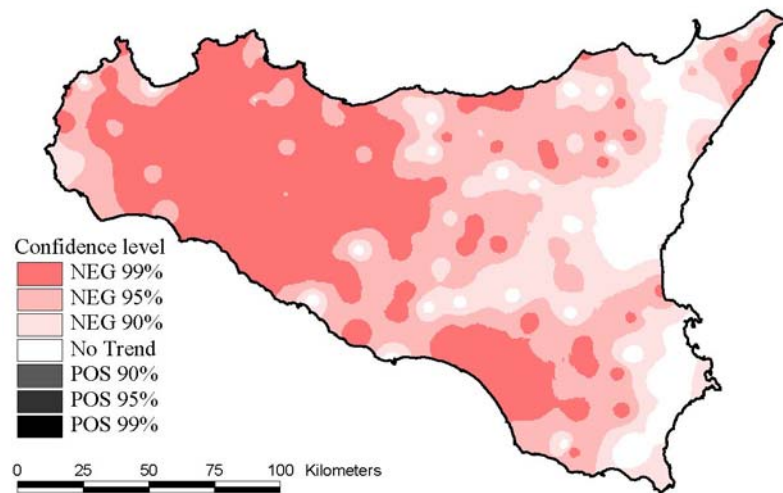


Fig. 4.8 - *Trend* rilevati con il *test* di Mann-Kendall sugli afflussi invernali e relativo livello di confidenza.

Nonostante quasi l'intero territorio esaminato sia soggetto ad una riduzione degli afflussi invernali, questo *trend* è meno significativo nella zona Est, mentre nella maggior parte della zona Ovest il livello di confidenza è del 99%.

Un'analisi spaziale analoga è stata condotta con riferimento agli afflussi di ciascun mese. Come è già stato affermato, gennaio è il mese interessato dal maggior numero di *trend* significativi negativi (Fig. 4.9).

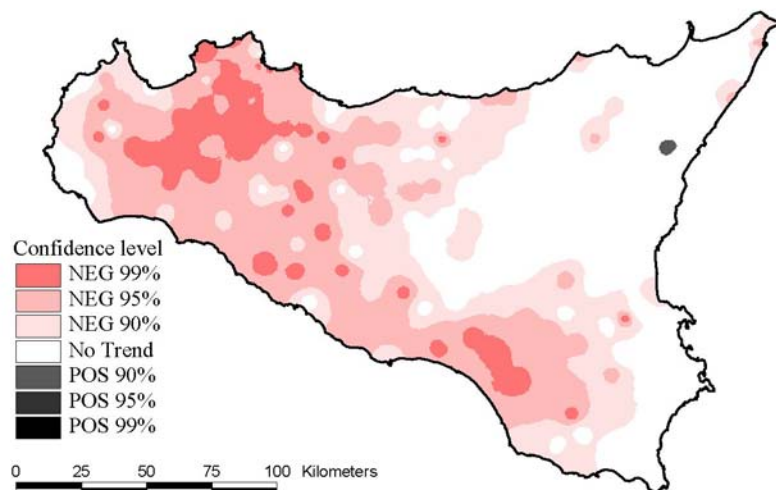


Fig. 4.9 - *Trend* rilevati con il *test* di Mann-Kendall sugli afflussi del mese di gennaio e relativo livello di confidenza.

Come nel caso degli afflussi invernali, l'isola appare suddivisa in maniera visibile in due zone principali, quella Est, dove non si osservano *trend* negativi, e quella Ovest nella quale sono presenti significative riduzioni negli afflussi, distribuite in maniera non uniforme nello spazio; tuttavia il *pattern* spaziale dei *trend* negativi è meno pronunciato rispetto a quello che si osserva nella stagione invernale.

Confrontando la distribuzione spaziale dei *trend* del mese di gennaio, riportata in Figura 4.9, con quella osservata per i *trend* del mese di agosto (Figura 4.10), che è l'unico mese a presentare un'ampia zona caratterizzata da *trend* crescenti significativi, emerge una certa corrispondenza tra le aree. Sembra, infatti, che laddove si è verificato un significativo *trend* negativo a gennaio, non è risultato alcun *trend* positivo ad agosto e viceversa, laddove ad agosto si è riscontrato il *trend* positivo non risulta esserci alcun *trend* negativo a gennaio.

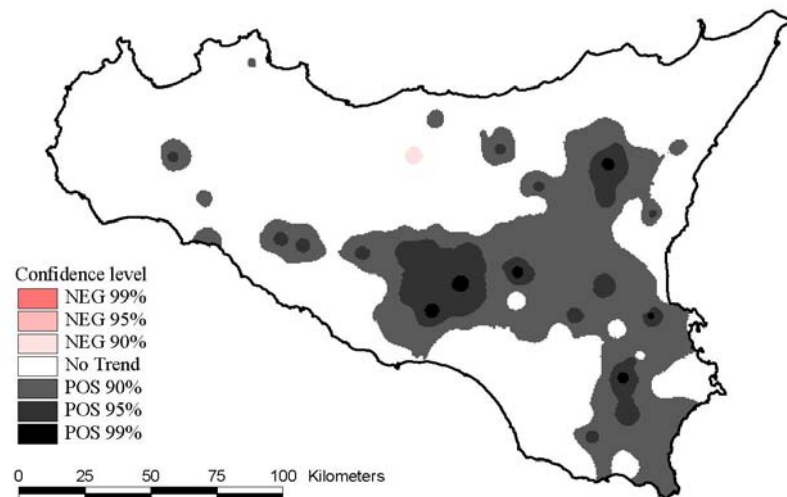


Fig. 4.10 - *Trend* rilevati con il *test* di Mann-Kendall sugli afflussi del mese di agosto.

Al fine di valutare i *trend* a scala regionale sono state applicate due metodologie: il *test* di Mann-Kendall a scala areale e la tecnica *bootstrap*. L'analisi è stata condotta con riferimento agli afflussi annui, mensili e stagionali e per i tre livelli di confidenza considerati nell'analisi *at-site*.

In particolare, l'analisi condotta sulle precipitazioni annue, considerando l'intero territorio, ha fornito un valore della statistica di Mann-Kendall S_m pari a -563. Confrontando tale valore con la funzione di ripartizione empirica di S_m , riportata in Figura 4.11, si evince che essa è inferiore al quantile 95%, pari a -298; questo implica il rigetto dell'ipotesi nulla. Si può quindi concludere che la Sicilia è caratterizzata da un *trend* regionale negativo con un livello di confidenza del 95%.

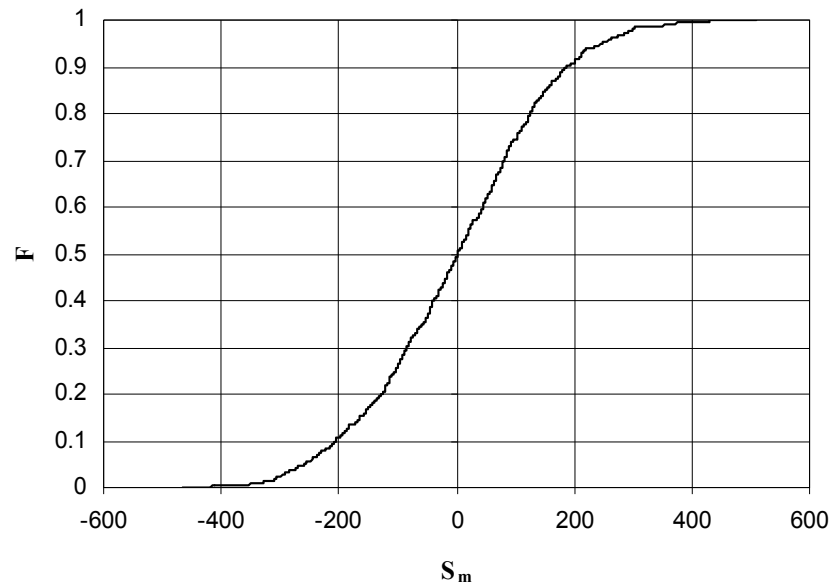


Fig. 4.11 - Funzione di ripartizione empirica della statistica S_m relativa agli afflussi annui.

I risultati di tutte le analisi a carattere regionale sono riportati sinteticamente nella Tabella 4.1. In essa il simbolo “TMK” indica il *test* di Mann-Kendall, il simbolo “TB” indica l’analisi *bootstrap*, mentre i punti indicano i casi in cui, essendo rigettata l’ipotesi nulla, è verificata la presenza di *trend*.

Osservando l’insieme dei risultati si evince una certa differenza tra i risultati ottenuti con le due procedure utilizzate. In particolare l’applicazione del *test* di Mann-Kendall conduce ad un numero di *trend* regionali a tutte le scale temporali considerate. È interessante sottolineare però che, a scala annua, il *trend* regionale esiste per tutti i livelli di confidenza considerati e per entrambe le procedure applicate; questo fatto rappresenta una conferma ulteriore della ipotizzata riduzione delle precipitazioni in Sicilia negli ultimi ottant’anni. Per gli afflussi di gennaio, febbraio e della stagione invernale la presenza di *trend* a scala regionale è confermata, con entrambi i *test*, ad un livello di confidenza del 95%.

	$\alpha = 0,1$		$\alpha = 0,05$		$\alpha = 0,01$	
	T _{MK}	T _B	T _{MK}	T _B	T _{MK}	T _B
ANNUI	•	•	•	•	•	•
GENNAIO	•	•	•	•	•	
FEBBRAIO	•	•	•	•	•	
MARZO	•	•	•		•	
APRILE						
MAGGIO						
GIUGNO	•		•		•	
LUGLIO						

AGOSTO	•		•		•	
SETTEMBRE	•		•			
OTTOBRE						
NOVEMBRE	•	•	•		•	
DICEMBRE	•	•	•		•	
INVERNO	•	•	•	•	•	
PRIMAVERA	•		•		•	
ESTATE						
AUTUNNO						

Tab. 4.1 - Risultati dei *test* a scala regionale. Il punto indica l'esistenza di *trend*.

Oltre al *test* di Mann-Kendall si è deciso di applicare ai dati anche la tecnica *bootstrap*, con lo scopo di verificare che i metodi di interpolazione spaziale utilizzati per completare il *dataset* di partenza (Bono *et al.*, 2005) non abbiano introdotto una correlazione spaziale spuria, che avrebbe potuto influenzare l'analisi dei *trend*. A tal proposito è stata condotta un'ulteriore analisi su un *subset* costituito da 50 stazioni con il minor numero di dati interpolati. I risultati ottenuti mostrano che, a scala annuale, i *trend* esistono per tutti i livelli di confidenza considerati, applicando entrambe le procedure; questo fatto costituisce un'ulteriore conferma della presenza di *trend* negativi nelle piogge in Sicilia nell'ottantennio considerato.

4.4 Analisi dei trend delle serie di temperatura (1924-2006)

L'analisi *at-site* dei *trend* è stata condotta utilizzando dati medi annui, mensili e stagionali di 83 stazioni meteorologiche siciliane con riferimento al periodo 1924-2006. In Figura 4.12 è rappresentata la distribuzione spaziale delle 83 stazioni termometriche utilizzate nello studio e, attraverso una scala di colori, è evidenziata la variabilità della temperatura media annua nella regione.

I risultati ottenuti dall'analisi dei *trend* delle temperature medie annue sono schematizzati in Figura 4.13 dove, per assegnato livello di confidenza, è stato riportato il numero di stazioni con *trend* positivo, negativo o nullo. La barra dei *trend* nulli è suddivisa in tre parti, ciascuna delle quali si riferisce rispettivamente ad un livello di confidenza del 90%, 95% e 99%. Gli istogrammi mostrano che la maggior parte delle stazioni è interessata da *trend* positivi a tutti i livelli di confidenza. Delle 83 stazioni considerate, il 76% mostra un *trend* crescente con un

livello di confidenza del 95%. Il 22% delle stazioni (18 su 83) non presenta *trend* con un livello di confidenza del 90%.

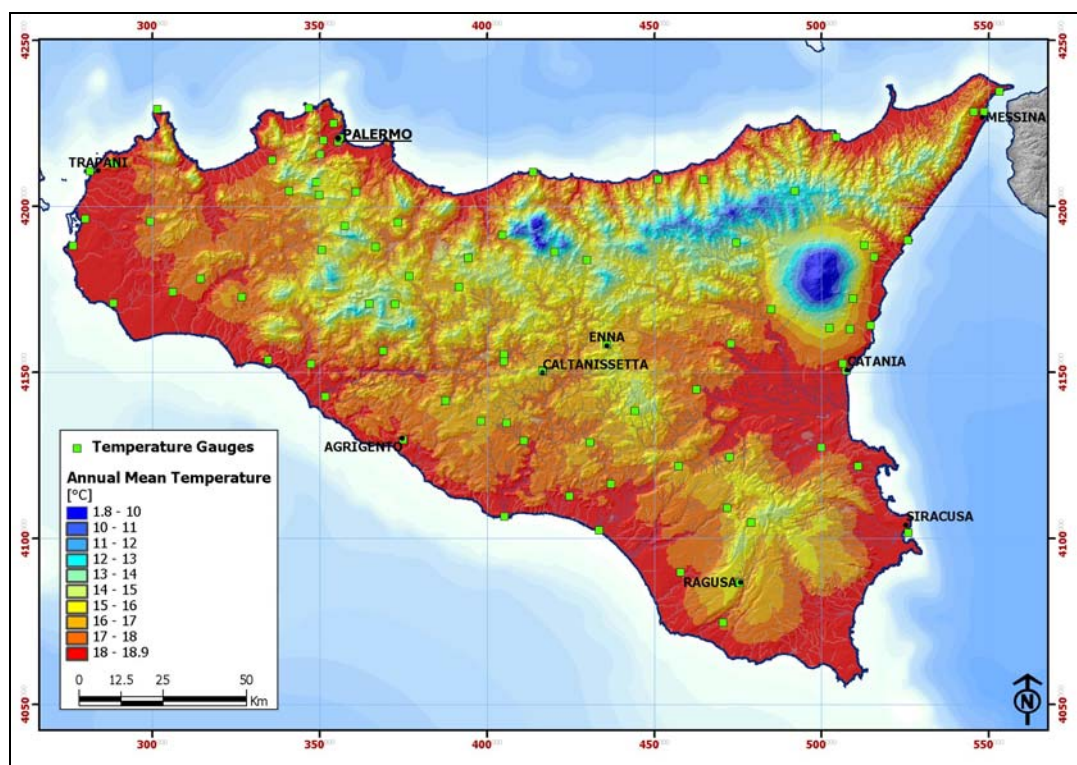


Fig. 4.12 - Temperature medie annue per il periodo 1924-2006.

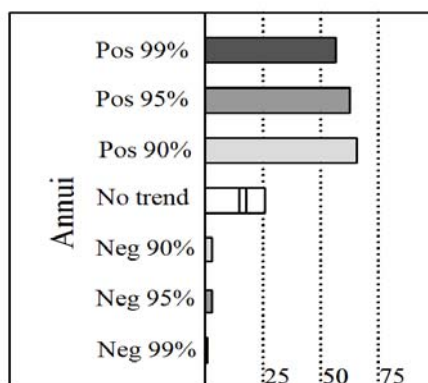


Fig. 4.13 - *Trend* osservati nelle temperature annue ai livelli di confidenza del 90%, 95% e 99%.

L'analisi dei *trend* è stata condotta anche utilizzando dati medi stagionali. I grafici in Figura 4.14 illustrano i risultati ottenuti, i quali mostrano un incremento nelle temperature medie in tutte le stagioni, e in particolare in quelle invernali. Circa l'81% delle stazioni (67 su 83) presenta un *trend* invernale positivo con livello di confidenza del 95%, e tale percentuale coincide all'incirca con quella che mostra un *trend* positivo allo stesso livello di confidenza ma alla scala annua.

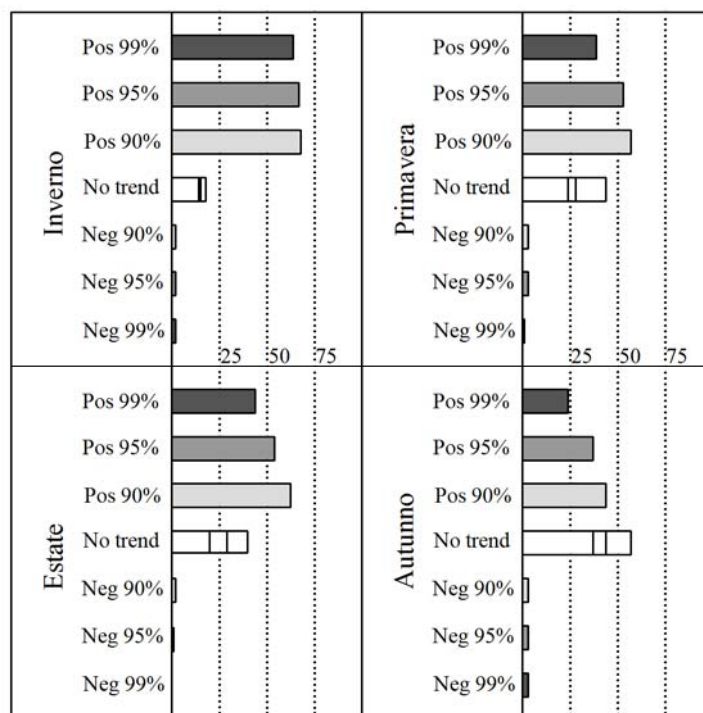


Fig. 4.14 - Trend osservati nelle temperature medie stagionali ai livelli di confidenza del 90%, 95% e 99%.

L'analisi a scala mensile ha consentito di individuare la presenza di *trend* crescenti nei mesi invernali, ossia dicembre, gennaio e febbraio, nei mesi estivi, da giugno ad agosto, e infine nei mesi di maggio e ottobre (Fig.4.15).

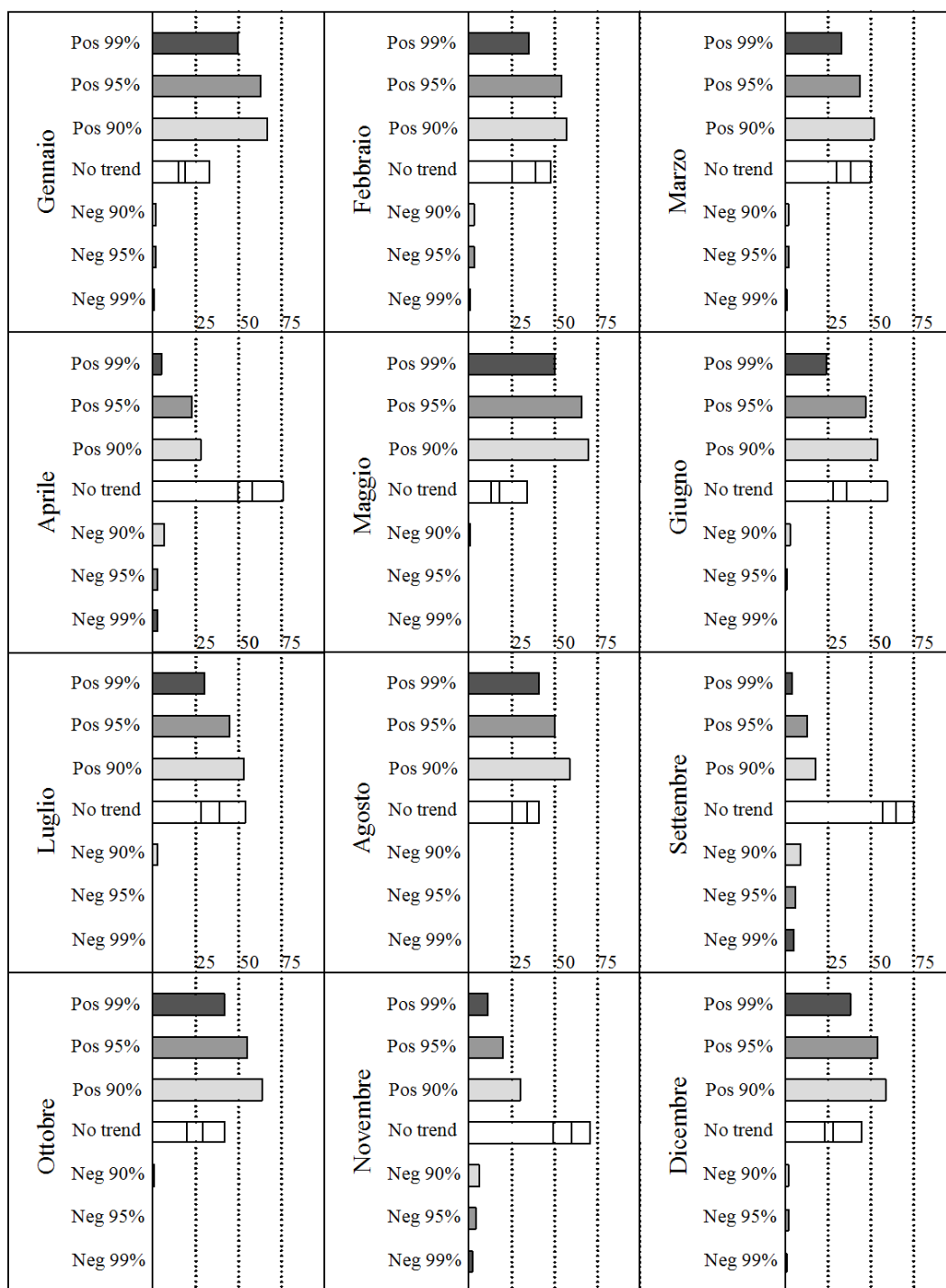


Fig.4.15 - *Trend* osservati nelle temperature medie mensili ai livelli di confidenza del 90%, 95% e 99%.

Al fine di analizzare la distribuzione spaziale dei *trend*, i risultati ottenuti sono stati interpolati spazialmente sull'intero territorio siciliano mediante la tecnica dell'*Inverse Distance Weighted*, o IDW. Come nel caso dell'analisi dei *trend* di precipitazione, tale metodo ha consentito la creazione delle mappe relative ai *pattern* spaziali a tutte le scale temporali considerate, di cui di seguito si riporta qualche esempio. La Figura 4.16 mostra i

risultati del *test* di Mann-Kendall applicato alle temperature annuali. La maggior parte della regione è interessata dalla presenza di un *trend*. I *trend* con il livello di confidenza più alto sono concentrati nella parte orientale dell'isola (Fig. 4.16). L'entità del *trend* è stata rappresentata in una mappa (Fig. 4.17) in cui, per fissato livello di confidenza, è stata riportata la distribuzione spaziale del coefficiente angolare β calcolato usando la (4.a). In grigio sono state indicate le aree che non mostrano alcun *trend*. Il maggiore incremento di temperatura osservato è pari a $0.035^{\circ}\text{C}/\text{anno}$. La maggior parte della regione esaminata è interessata da una variazione compresa tra $0.01 \div 0.02^{\circ}\text{C}/\text{anno}$.

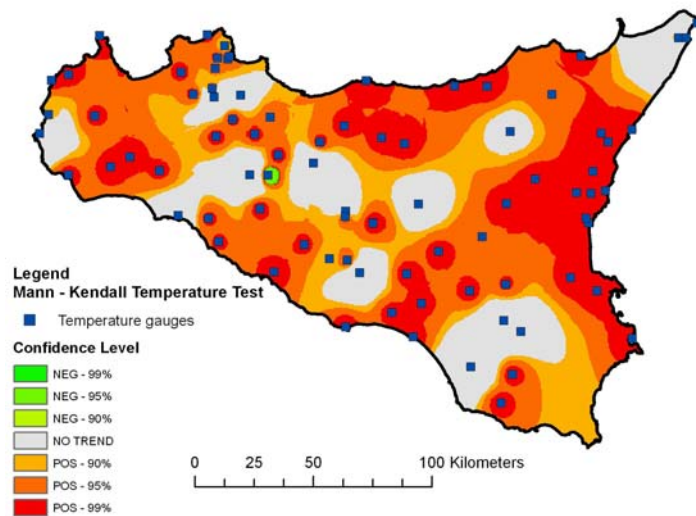


Fig. 4.16 - *Trend* delle temperature medie annue nel periodo 1924-2006 e relativo livello di confidenza.

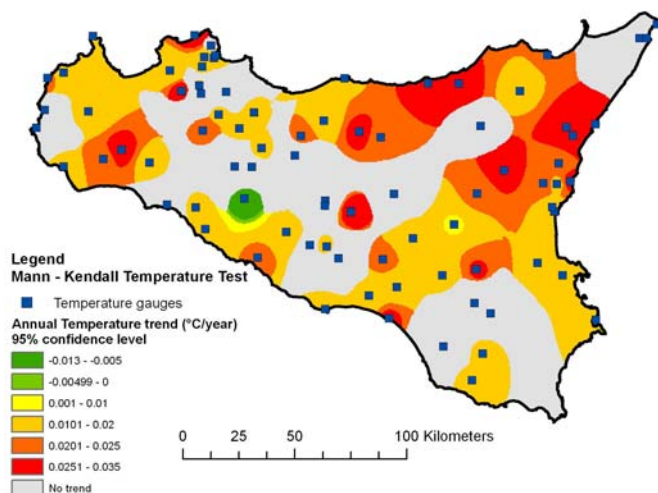


Fig. 4.17 - *Trend* nelle temperature medie annue per un livello di confidenza del 95% e relativo coefficiente angolare.

Con l'obiettivo di valutare i *trend* a scala regionale sono state applicate due metodologie: il *test* di Mann-Kendall a scala areale e la tecnica *bootstrap*. L'analisi è stata condotta con

riferimento alle temperature medie annue, mensili e stagionali. Entrambe le metodologie hanno individuato la presenza di un *trend* regionale nel caso delle temperature medie annue e invernali. Nella maggior parte degli altri casi solo il *test* areale di Mann-Kendall rileva la presenza di un *trend* regionale, mentre la tecnica *bootstrap* afferma l'assenza di *trend* (Tab. 4.2).

Anche l'analisi delle anomalie dalle temperature medie sul periodo 1961-1990 evidenzia la presenza di una tendenza generalizzata all'aumento (Fig. 4.18). Tale *trend* si osserva sia su tutta la serie sia sulle serie ottenute considerando solo gli ultimi 50 anni e gli ultimi 25. In particolare se si considera l'intera serie si osserva un incremento di 0,14°C/decade. L'incremento appare più rapido negli ultimi 50 anni (0,35°C/decade) e negli ultimi 25 anni (0,52°C/decade).

	$\alpha = 0,1$		$\alpha = 0,05$		$\alpha = 0,01$	
	T _{MK}	T _B	T _{MK}	T _B	T _{MK}	T _B
ANNUI	•	•	•	•	•	•
GENNAIO	•	•	•	•	•	
FEBBRAIO	•	•	•	•	•	
MARZO	•	•	•		•	
APRILE						
MAGGIO	•		•		•	
GIUGNO	•		•		•	
LUGLIO	•					
AGOSTO	•		•		•	
SETTEMBRE						
OTTOBRE						
NOVEMBRE	•		•		•	
DICEMBRE	•	•	•	•	•	
INVERNO	•	•	•	•	•	
PRIMAVERA	•		•		•	
ESTATE	•		•		•	
AUTUNNO						

Tab 4.2 - Risultati dei *test* a scala regionale. Il punto indica l'esistenza di *trend*.

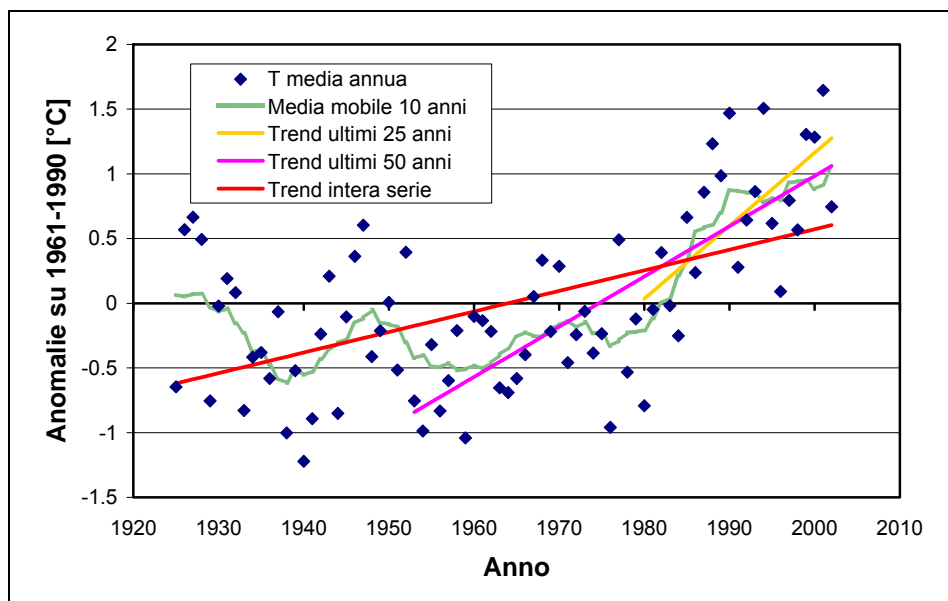


Fig. 4.18 - Anomalie delle temperature medie annue sul periodo 1961-1990.

4.5 Analisi dei trend degli indici climatici (1924-2000)

L'applicazione del *test* di Mann-Kendall mostra l'esistenza di una riduzione generale delle precipitazioni, in particolare negli afflussi annui e quelli dei mesi invernali. A queste scale le temperature e le precipitazioni mostrano tendenze opposte e pertanto è possibile immaginare in futuro uno scenario caratterizzato da temperature più alte e da una ridotta piovosità, fenomeni il cui effetto combinato potrebbe condurre ad un aumento dell'aridità nella regione. Al fine di verificare la presenza di una relazione tra il cambiamento climatico riscontrato e l'aridità in Sicilia, sono stati calcolati gli indici climatici precedentemente descritti, utilizzando precipitazioni e temperature da 73 stazioni, per le quali si dispone contemporaneamente di dati per il periodo 1924-2000. Il *test* di Mann-Kendall è stato applicato a ciascuno di questi indici alla scala locale e regionale.

Il valore medio degli indici nel periodo 1924-2000 è stato interpolato spazialmente al fine di visualizzare su mappe la distribuzione spaziale degli indici calcolati. Il risultato ottenuto, riportato nelle Figure 4.19, 4.20, 4.21 e 4.22, mostra che la maggior parte della regione è caratterizzata da bassi valori dell'indice di Lang o Pluviofattore, e in particolare la zona a sud e quella ad est; gli indici di Martonne e l'indice UNEP concordemente, attribuiscono alla maggior parte dell'isola un clima umido o sub-umido, e un clima semiarido solo lungo la costa meridionale. Infine, la mappa dell'Indice Globale di Umidità mostra risultati abbastanza simili a quelli del Pluviofattore.

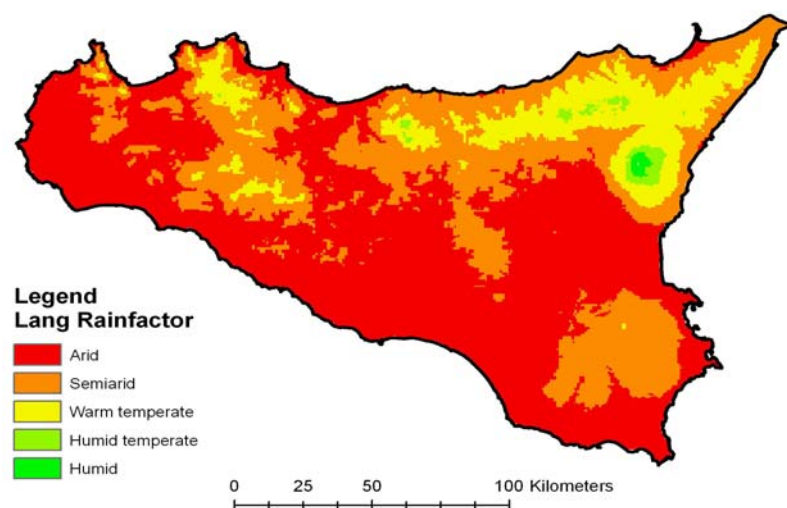


Fig. 4.19 - Distribuzione spaziale sul territorio siciliano del valore medio dell'indice di Lang o Pluviofattore.

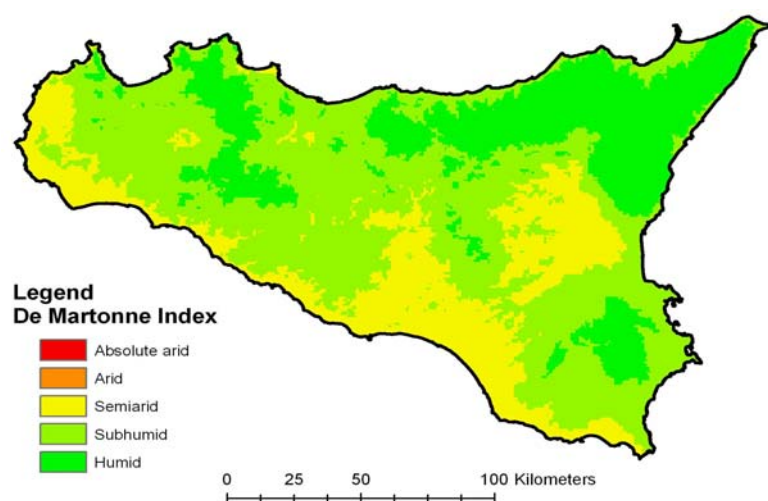


Fig. 4.20 - Distribuzione spaziale sul territorio siciliano del valore medio dell'indice di De Martonne.

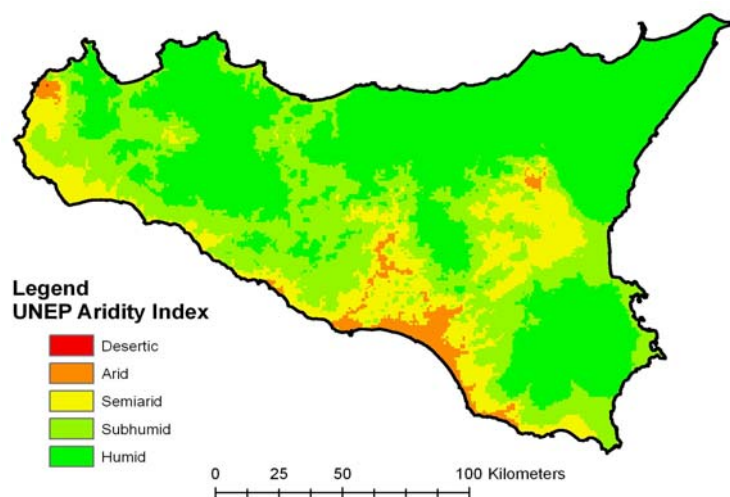


Fig. 4.21 - Distribuzione spaziale sul territorio siciliano del valore medio dell'indice di aridità UNEP.

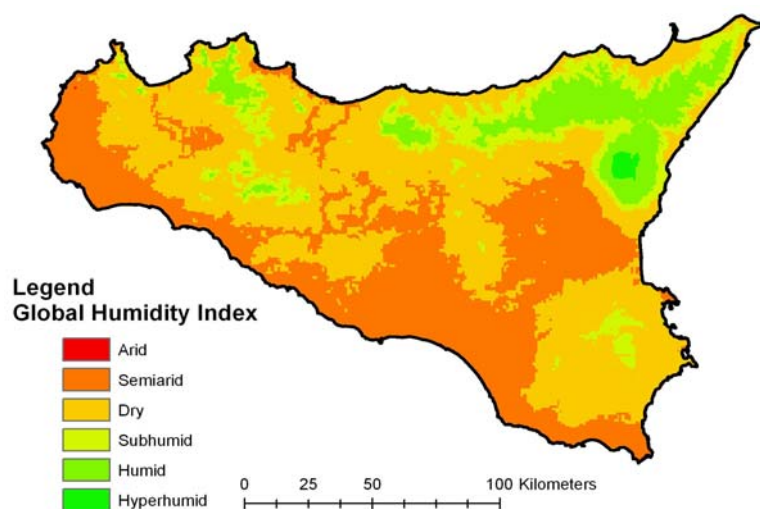


Fig. 4.22 - Distribuzione spaziale sul territorio siciliano del valore medio dell'indice di Umidità Globale.

L'applicazione del *test* di Mann-Kendall a ciascuno di questi indici a scala locale ha individuato *trend* che indicano la presenza di una tendenza negativa generalizzata causata dai *trend* opposti di precipitazione e temperatura. Per ciascun livello di confidenza questo *test* individua all'incirca lo stesso numero di stazioni con *trend* negativo per tutti gli indici esaminati (Fig. 4.23).

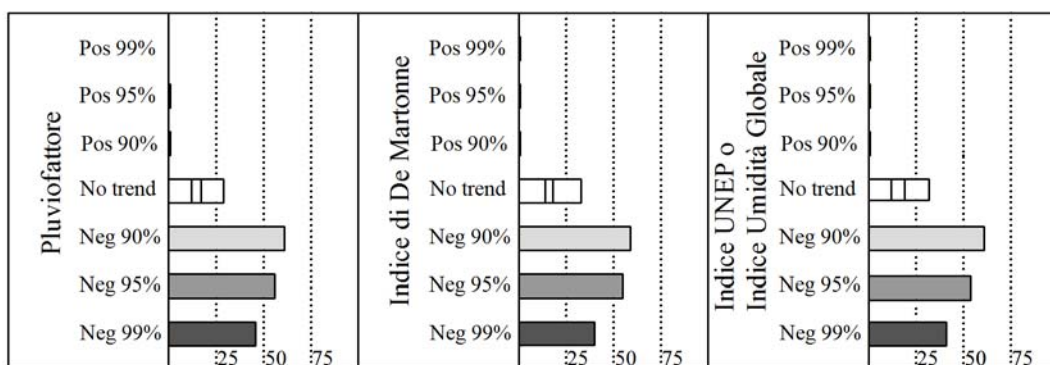


Fig. 4.23 - *Trend* osservati negli indici climatici ai livelli di confidenza del 90%, 95% e 99%.

L'indice di Martonne è stato calcolato anche a scala mensile; in questo caso il numero maggiore di *trend* è stato riscontrato per in mesi invernali, mentre gli altri mesi sono interessati da un numero limitato di *trend*. L'indice di aridità dell'UNEP, invece, è stato calcolato anche utilizzando temperature e precipitazioni aggregate alla scala stagionale. Il *test* in questo caso ha individuato una diminuzione dell'indice durante la stagione invernale e assenza di *trend* durante l'estate e l'autunno.

I risultati dell'analisi dei *trend at-site* sono stati spazialmente interpolati al fine di identificare l'esistenza di area a rischio di aridità, ossia di aree in cui è possibile prevedere l'esasperazione della situazione climatica. Le mappe nelle Figure 4.24, 4.25, 4.26 e 4.27, mostrano che la regione è caratterizzata dalla presenza di un'ampia zona con *trend* negativi ad alto livello di confidenza, localizzata nella parte centrale dell'isola.

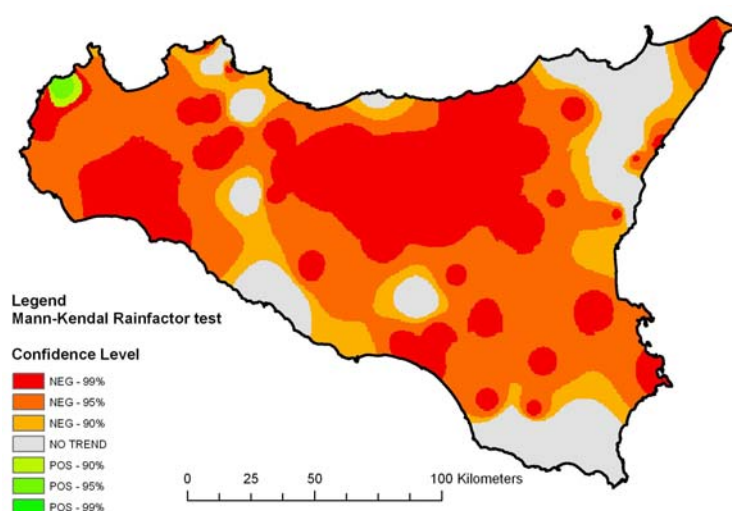


Fig. 4.24 - *Trend* rilevati con il *test* di Mann-Kendall nel Pluviofattore.

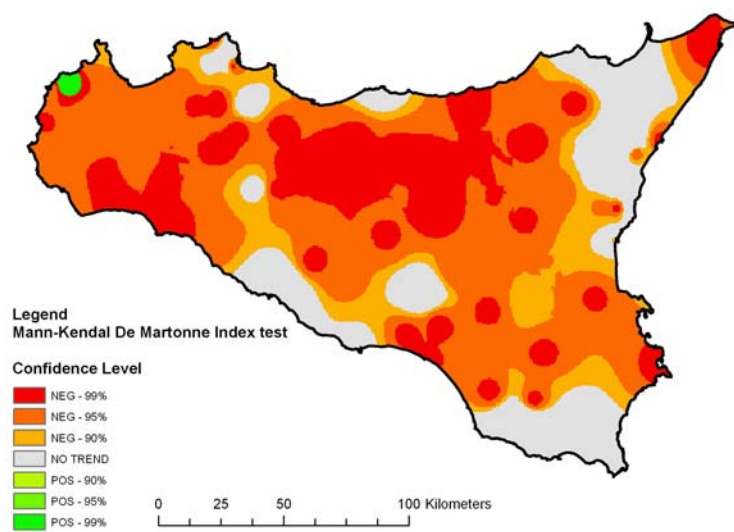


Fig. 4.25 - *Trend* rilevati con il *test* di Mann-Kendall nell'indice di De Martonne.

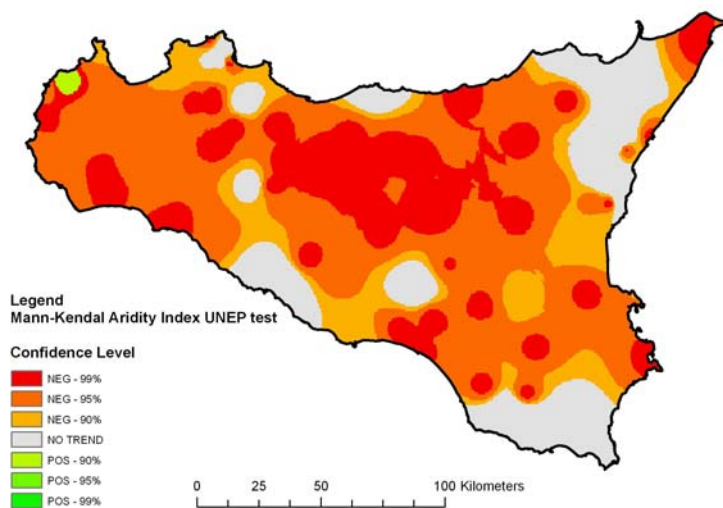


Fig. 4.26 - *Trend* rilevati con il *test* di Mann-Kendall nell'indice di De Martonne.

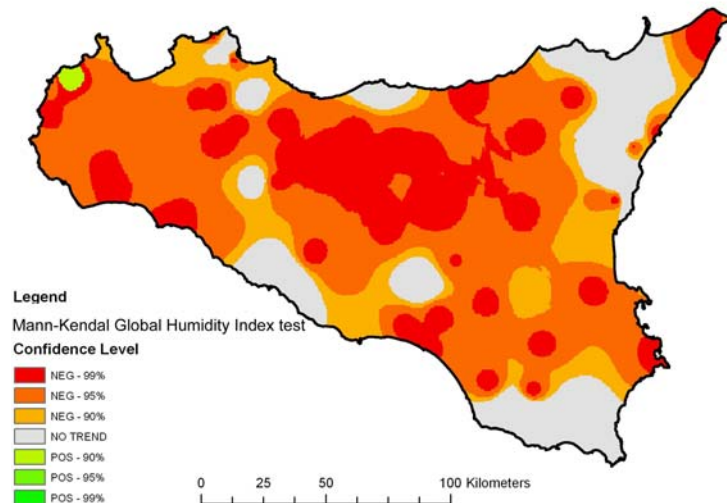


Fig. 4.27- *Trend* rilevati con il *test* di Mann-Kendall nell'Indice di Umidità Globale.

Le distribuzioni spaziali dei *trend* del Pluviofattore, dell'indice di Martonne, dell'indice di aridità UNEP e dell'Indice Globale di Umidità, sono state combinate in un'unica mappa che rappresenta quanti tra gli indici considerati presentano un *trend* in ciascun punto della regione. In questa mappa di sovrapposizione (Fig. 4.28) si evidenzia l'esistenza di una macrozona interessata da *trend* per ciascuno degli indici calcolati. Tale zona è chiaramente interessata da un aumento dell'aridità. Il confronto con la Figura 4.16 in cui è riportata la mappatura del *trend* delle temperature fa risaltare il ruolo sicuramente dominante della riduzione della piovosità sull'aumento delle temperature. Infatti, laddove non è stato riscontrato un *trend* significativo delle temperature, ossia in tutta la zona centrale dell'isola, è comunque presente un *trend* significativo di tutti gli indici di aridità, riconducibile alla riduzione della piovosità in quella stessa zona.

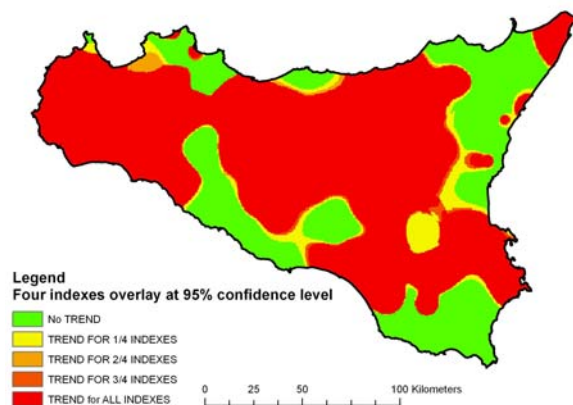


Fig. 4.28 - Mappa del numero di indici climatici che presentano *trend* con livello di confidenza del 95%.

Il *test* di Mann-Kendall è stato applicato a ciascuno degli indici climatici anche a scala areale e i risultati sono stati confrontati con quelli ottenuti mediante la tecnica di campionamento *bootstrap*. La Tabella 4.3 mostra tutti i risultati. Da entrambi i *test* si evince l'esistenza di un *trend* a scala areale per tutti gli indici calcolati a partire da temperature e precipitazioni annue. Per quanto riguarda l'indice di aridità UNEP a scala stagionale, le due tecniche sono concordi sia nell'individuare la presenza di un *trend* in inverno, sia nell'escluderla in estate e in autunno, mentre in primavera l'esistenza di un *trend* è individuata solo dal *test* di Mann-Kendall.

Indice	90%		95%		99%	
	T _{MK}	T _B	T _{MK}	T _B	T _{MK}	T _B
Pluviofattore	•	•	•	•	•	•
Indice di De Martonne	•	•	•	•	•	•
Indice UNEP annuo	•	•	•	•	•	•
Indice UNEP invernale	•	•	•	•	•	•
Indice UNEP primaverile	•		•		•	
Indice UNEP autunnale						
Indice UNEP estivo						
Indice di Umidità Globale	•	•	•	•	•	•

Tab. 4.3 - Risultati dei *test* a scala regionale. Il simbolo T_{MK} indica il *test* di Mann-Kendall a scala areale, il simbolo T_B indica la tecnica *bootstrap*, il punto indica l'esistenza di *trend*.

4.6 Considerazioni sui risultati

La conoscenza dei processi alla base dei cambiamenti climatici e la costruzione di modelli a scala regionale e locale per le variabili meteo-climatiche sono obiettivi fondamentali da perseguire, affinché sia possibile una proiezione veritiera degli eventi futuri e degli interventi necessari a contrastare gli effetti di questi mutamenti. In questo contesto lo studio dei *trend* pluviometrici diventa un importante strumento per una conoscenza più approfondita dell'evoluzione dei regimi idrologici e quindi un miglioramento della qualità dei modelli previsionali.

Il presente studio è stato condotto con la finalità di individuare i *trend* di precipitazione, temperatura e di alcuni indici climatici in Sicilia sia a scala locale, ovvero nelle singole stazioni, che a scala regionale, cioè considerando tutte le stazioni sul territorio in esame. L'analisi condotta ha evidenziato un cambiamento del clima siciliano, caratterizzato da una riduzione generale della piovosità e da un aumento della temperature medie annue.

Per quanto riguarda le precipitazioni, i risultati ottenuti mostrano che i *trend* positivi sono poco frequenti e sono stati riscontrati solo per un limitato numero di stazioni nei mesi estivi, mentre *trend* negativi significativi sono molto comuni nelle precipitazioni annue e invernali.

Numerose stazioni con *trend* significativi decrescenti sono localizzate nelle zone Ovest e Sud-Ovest dell'isola. L'assenza di *trend* è comunque un caso abbastanza frequente a tutte le scale temporali considerate.

L'analisi delle temperature mostra che *trend* positivi significativi sono molto più frequenti nei dati medi annui, invernali ed estivi. La zona maggiormente interessata da *trend* con livello di confidenza del 99% è situata nella parte orientale dell'isola. Al fine di indagare quale possa essere l'effetto combinato di tali *trend* di temperatura e precipitazione sul clima siciliano, sono stati calcolati alcuni indici climatici e successivamente è stato applicato il *test* di Mann-Kendall anche a queste variabili, alla scala locale e regionale. Dai risultati è emersa l'esistenza di una tendenza alla diminuzione di tali indici, e ciò si traduce in un aumento dell'aridità in Sicilia, in particolare nella zona centrale e occidentale dell'isola.

4.7 Redazione di bilanci idrologici, anche a scala regionale

Obiettivo di questo punto è l'analisi di modellistica idrologica finalizzata alla redazione di bilanci idrologici, anche a scala regionale, per la valutazione delle risorse idriche utilizzabili; tali modelli devono anche costituire la base per le analisi di eventuali alternative di approvvigionamento idrico a scopo prevalentemente irriguo.

Relativamente alla valutazione delle risorse idriche tramite bilanci idrologici, bisogna sottolineare che nel passato la pianificazione e la gestione dell'utilizzo di tali risorse è stata attuata con lo scopo di soddisfare la domanda di acqua per tutti gli usi di natura antropica, mentre erano del tutto assenti considerazioni relative alla capacità della risorsa di rinnovarsi (Gleick, 1996). In questo modo negli ultimi cinquanta anni lo sfruttamento antropico della risorsa idrica si è fatto sempre più pressante, a tal punto da provocare l'abbassamento delle falde acquifere e la scomparsa di corpi idrici, a causa di una domanda superiore alla capacità produttiva. Si assiste dunque ad una riduzione progressiva di acqua disponibile per i bisogni umani. La scarsità idrica è un fenomeno che può essere ricondotto a numerose cause tra le quali, in primo luogo, la crescita demografica, l'urbanizzazione e l'industrializzazione, che hanno evidentemente provocato un aumento della richiesta d'acqua per gli usi civili, agricoli e industriali. A questi fattori si aggiunge l'effetto dei possibili cambiamenti climatici in atto da alcuni decenni ad oggi. Da diversi anni la letteratura accoglie studi idrologici e climatologici, che rilevano apprezzabili modifiche nei caratteri climatici in numerose località del pianeta. In particolare il ciclo idrologico è soggetto a significative variazioni nel tempo, su una varietà di

scale temporali e spaziali, per effetto di numerose cause, tra le quali quelle antropogeniche risultano prevalenti da alcuni decenni. Il costante aumento delle emissioni di gas serra costituisce, secondo quanto affermato dall' IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2001), la principale causa di tale cambiamento.

Gli effetti più evidenti del cambiamento climatico si manifestano nelle modifiche del regime delle precipitazioni, con la riduzione del numero di giorni piovosi, che sono causa dell'aggravarsi del problema delle risorse idriche anche in relazione al cambiamento nelle modalità delle piogge primaverili e estive; la loro intensità superiore alla velocità di infiltrazione dei terreni, non consente un buon immagazzinamento nelle falde, non a caso le fluttuazioni piezometriche pluriennali delle falde sono fortemente condizionate dalle mutazioni dei regimi termo-pluviometrici.

Recenti analisi delle tendenze di pioggia giornaliera a scala globale nei mesi più caldi dell'anno mostrano che, su circa il 40% delle terre emerse, mentre la frequenza dei giorni piovosi non è variata significativamente, la pioggia media mensile è aumentata quasi ovunque di circa il 5% nello scorso secolo e gli eventi pluviometrici più intensi sono cresciuti di circa il 20% (*Groisman et al.*, 1999). Questo aumento delle precipitazioni intense estive è associato ad un rilevante aumento della concentrazione di vapore acqueo nell'atmosfera e un riscaldamento della bassa e media troposfera. Sul Mediterraneo risulta significativa la diminuzione delle precipitazioni durante tutte le stagioni a partire dalla fine degli anni '50 ad oggi (*Piervitali et al.*, 1998). Oltre che in termini di quantità totale, le piogge sembrano aver cambiato anche le modalità con cui si verificano: nelle regioni tropicali e subtropicali si denota un aumento dei giorni con pioggia intensa ed una riduzione del numero di giorni piovosi. Alle medie ed elevate latitudini la frequenza delle piogge intense è aumentata dal 2 al 4% (*Cacciamani et al.*, 2001). Le conseguenze dirette di questo andamento sono da una parte la maggiore incidenza delle situazioni di alluvione causate da forti piogge (su questo naturalmente incide non solo il carattere della pioggia, ma anche la gestione del territorio), dall'altra una progressiva tendenza alla desertificazione, causata da periodi asciutti sempre più prolungati a fronte di un maggior consumo di acqua da parte della vegetazione, conseguente all'aumento delle temperature.

Tenendo in considerazione la presenza di rilevanti *trend* pluviometrici decrescenti in vaste zone del pianeta e l'aumento della domanda d'acqua legato alla crescita demografica in atto, si ottiene dunque un quadro mondiale che evidenzia una situazione di progressiva diminuzione delle risorse idriche. Non bisogna inoltre sottovalutare il fatto che sia l'acqua, superficiale e sotterranea, che la popolazione sono distribuite in maniera non uniforme sul

territorio mondiale e questo fa sì che numerose aree del pianeta siano già afflitte da una grave carenza di acqua dolce. In molte zone si assiste invece ad un sovrasfruttamento idrico, in quanto i prelievi superano ampiamente la capacità di apporto dei corsi d'acqua e delle piogge, e quella di ricostituzione delle riserve sotterranee; di conseguenza ogni variazione climatica si riflette sulla disponibilità d'acqua e rende problematica la possibilità di prelievi. Inoltre sia le acque superficiali che quelle sotterranee sono spesso soggette a fenomeni di inquinamento che ne compromettono l'utilizzo.

L'esigenza di poter prevedere quali saranno gli scenari climatici futuri e determinarne i relativi impatti sulle risorse naturali, e in primo luogo sulla risorsa idrica, si è concretizzato nella realizzazione di modelli di circolazione atmosferica globale (GMC); tali modelli inizialmente sono stati sviluppati per la simulazione della circolazione atmosferica per effetto di determinate condizioni esterne forzanti. Successivamente sono stati utilizzati per valutare la risposta climatica al progressivo aumento della concentrazione di biossido di carbonio in atmosfera e dunque per effettuare una stima del cambiamento climatico futuro. I modelli GMC però non consentono di rispondere a quesiti riguardanti la variabilità idrologica a scala regionale, in quanto l'accuratezza di tali modelli diminuisce quando si considerano scale spaziali e temporali poco estese (Xu, 1999).

La conoscenza reale della disponibilità e della qualità dei prelievi effettuati di risorse idriche costituiscono requisiti indispensabili per una gestione sostenibile della risorsa. Con questo scopo negli ultimi anni sono stati condotti numerosi studi per valutare, in zone molto estese, le condizioni di scarsità idrica in relazione allo sfruttamento antropico e al cambiamento climatico, che costituisce la principale causa di alterazione nei tempi e nell'entità dei deflussi (Guo *et al.*, 2002).

La necessità di simulare i fenomeni idrologici su aree molto estese deriva dalla esigenza di stimare la variabilità della risorsa idrica e di valutare gli effetti del cambiamento climatico su un ampio dominio geografico. La varietà dei processi idrologici non consente, infatti, di estendere a grande scala un modello applicato alle piccole scale. L'approccio più diffuso prevede la definizione di scenari futuri attraverso l'utilizzo di modelli idrologici a macro-scala, in quanto la gestione della risorsa idrica richiede la conoscenza della variabilità dei processi idrologici su aree estese (Arnell, 1999). L'uso di modelli a macro-scala presenta numerosi vantaggi rispetto all'utilizzo di modelli a scala di bacino; in primo luogo questi modelli possono essere applicati ad aree molto estese, senza la necessità di una calibrazione, come avviene nel caso dei modelli a scala di bacino, inoltre, rispetto a questi ultimi, necessitano di un numero di parametri inferiore. Poiché questi modelli sono utilizzati per

prevedere le variazioni a cui la risorsa idrica sarà soggetta in futuro, essi devono essere basati sulla rappresentazione fisica dei processi idrologici che sono coinvolti nella trasformazione delle precipitazioni in evaporazione e deflusso (Arnell, 1999).

Un modello a macro-scala si basa sul bilancio idrologico calcolato sulle singole celle di un reticolo, in cui è suddiviso il territorio in esame; il modello assume che alcuni parametri in ingresso risultino costanti all'interno di ogni cella, mentre altri, ad esempio la capacità di accumulo del terreno, variano in ciascuna cella secondo una distribuzione statistica. I parametri del modello devono essere ricavati quantitativamente a partire dai dati spaziali relativi alle grandezze considerate; per questo motivo la qualità dei risultati forniti da modelli di questo tipo è strettamente legata alla qualità e alle caratteristiche dei dati in ingresso.

Negli ultimi anni sono stati sviluppati numerosi modelli per lo studio della variabilità dei fenomeni idrologici su domini geografici estesi. Il primo tra questi modelli (Vörösmarty *et al.*, 1991) si basa su un bilancio idrologico mensile valutato su una griglia con celle di dimensione assegnata; per ciascuna di queste celle i parametri del modello derivano da grandezze relative alle caratteristiche del terreno e della vegetazione. Si tratta di un modello di tipo *lumped*, ovvero un modello a parametri concentrati, caratterizzato dall'invariabilità spaziale dei parametri fisici utilizzati. Successivamente sono stati sviluppati modelli simili al precedente, ma con una differenza sostanziale; il modello VIC (*Variable Infiltration Capacity*) ad esempio considera le caratteristiche del suolo variabili all'interno delle celle di un reticolo secondo una distribuzione di probabilità (Abdulla e Lettenmaier, 1997).

Il macro-PDM (*Probability Distributed Model*) è un modello molto simile al VIC, in quanto attribuisce alle caratteristiche del suolo una variabilità statistica (Arnell, 1999); tale modello, basato su un bilancio idrologico mensile, tiene conto nelle seguenti componenti: la precipitazione, che si assume distribuita in maniera uniforme all'interno di una cella; il deflusso diretto, generato dalla pioggia in eccesso rispetto a quella necessaria a saturare il suolo, che alimenta il flusso nei corsi d'acqua; l'evaporazione, distinta in potenziale ed effettiva, l'intercettazione degli afflussi meteorici da parte della vegetazione; l'evaporazione da laghi, paludi e zone umide. L'applicazione di un modello di questo tipo richiede la conoscenza delle proprietà del suolo e della copertura vegetale nell'area in esame, che attualmente vengono ottenute attraverso l'utilizzo di tecniche di telerilevamento. Il deflusso totale in ogni cella è fornito dalla somma di più termini che comprendono le perdite legate all'evaporazione e all'infiltrazione.

L'HRM (*Hydrological Recursive Model*) è un modello caratterizzato da quattro parametri, che simula il deflusso utilizzando come dati in *input* la precipitazione e l'evapotraspirazione; tale metodo è applicabile a media e grande scala (Droque *et al.*, 2004).

In generale l'applicazione di un modello a macro-scala consente di simulare e predire quali saranno le possibili variazioni subite dai processi idrologici per effetto del cambiamento climatico; ciò è possibile attraverso la definizione di differenti scenari futuri, ottenuti ipotizzando variazioni nelle grandezze in *input*. Gli scenari così definiti possono tenere in conto gli effetti prodotti dalla combinazione di più fattori, ad esempio l'incremento della temperatura, che determina variazioni nel fenomeno dell'evaporazione, o la riduzione degli afflussi.

L'approccio utilizzato nei modelli idrologici a macro-scala associato a stime riguardanti la richiesta idrica e la disponibilità di acque superficiali e sotterranee può diventare un utile strumento per la stima delle condizioni di scarsità idrica in aree estese (Meigh *et al.*, 1999). La conoscenza quantitativa di questi elementi consente la definizione di alcuni indici che derivano da un confronto tra la domanda e la risorsa disponibile. Nell'applicazione del modello a macro-scala è possibile servirsi di “*sub-modelli*” per la determinazione dei termini che compaiono nell'equazione del bilancio idrologico, ad esempio per stimare le perdite dovute all'intercettazione delle piogge nelle aree ricoperte da foreste oppure dovute all'infiltrazione nei corpi idrici sotterranei (Meigh *et al.*, 1999).

La domanda d'acqua è valutata a partire dalle proiezioni demografiche, dalle informazioni relative alle attività di allevamento e a quelle riguardanti l'uso irriguo e industriale, ove queste sono disponibili; nei casi in cui non si dispone di queste informazioni, si può fare uso delle stime ottenute dall'applicazione di opportuni modelli. Un aspetto importante è l'esame della distribuzione spaziale della domanda, per individuare le zone in cui essa assume i valori più elevati (in genere le città e le zone coltivate).

Con riferimento alla disponibilità della risorsa idrica sotterranea, essa può essere stimata tramite modellistica idrologica basata sull'analisi di mappe idrogeologiche. In particolare, dopo aver individuato i corpi idrici sotterranei utilizzati per il prelievo di acqua occorre stimarne i tempi di ricarica e soprattutto la quantità d'acqua potenzialmente prelevabile; anche in questo caso è necessario ricorrere all'utilizzo di *sub-modelli* che forniscano stime sufficientemente attendibili delle grandezze ricercate. Una volta applicato il modello a macro-scala, per simulare la variazione dei processi idrologici, e stimate la domanda e le disponibilità di acque sotterranee nell'area di interesse si procede alla definizione dei possibili scenari futuri, mediante il calcolo di indici per ciascuna cella del reticolo. Un modello di

questo tipo consente di individuare situazioni di scarsità idrica nelle condizioni attuali o negli scenari futuri ottenuti considerando la combinazione di più fattori, quali l'aumento della concentrazione dei gas serra, la crescita demografica, i cambiamenti nella distribuzione della popolazione e l'incremento della domanda d'acqua legato al miglioramento degli *standard* di vita (Meigh *et al.*, 1999).

Nell'ambito di questa convenzione si è deciso di mettere a punto un modello di bilancio a scala regionale e media annua che si riveli uno strumento capace di restituire il deflusso e soprattutto la portata che attraversa una determinata sezione di un corso d'acqua; disporre di tale strumento è di fondamentale importanza sia per la pianificazione delle risorse idriche nella regione Sicilia sia per l'individuazione delle possibili zone soggette al rischio della desertificazione. Partendo dalla rassegna bibliografica esposta in precedenza, tra i modelli a macro-scala si è scelto di utilizzare i modelli a mappa di deflusso (Arnell, 1995, 1999).

I modelli a mappe di deflusso rappresentano un utile strumento attraverso il quale è possibile stimare i deflussi in una data regione. Tali mappe possono anche essere utilizzate per la stima delle perdite idrologiche, attraverso la differenza tra le informazioni relative alla precipitazione meteorica e al deflusso medio annuo. In letteratura scientifica la maggior parte delle mappe sono state prodotte a diverse scale, dalla scala di bacino a quella continentale (Liebscher, 1972; Bishop e Church, 1992, 1995; Sauquet *et al.*, 2000); quasi tutte si basano su una rappresentazione a isolinee. Tali mappe risultano adatte per descrivere la variabilità spaziale di una grandezza continua nello spazio, come la precipitazione, mentre si rivelano meno adatte per descrivere il deflusso idrico. Per questo tipo di variabile le mappe coroplate, ricavate riportando i dati su di una griglia regolare, si mostrano più adatte (Arnell, 1995). La mappa coroplate è un sistema di rappresentazione cartografica, utilizzata per raffigurare la distribuzione spaziale di un fenomeno, che impiega colori di distinzione applicati ad aree differenti; la gradazione di intensità esprime la variazione del fenomeno sulle unità territoriali scelte. Si è pertanto cercato di realizzare mappe spazialmente distribuite relative al deflusso medio annuo a scala regionale siciliana attraverso l'impiego delle tecniche GIS.

La prima fase di questo lavoro è stata quella di reperimento dei dati; si sono esaminati i dati mensili e annui di afflusso e di deflusso contenuti degli annali idrologici forniti dall'Osservatorio delle Acque della Sicilia a partire dal 1923 fino al 1997. Al fine di garantire una maggiore affidabilità alle successive analisi si sono dapprima eliminate le stazioni con numerosità campionaria inferiore a dieci anni e successivamente si è verificato se nel tempo sono accaduti eventi che abbiano potuto alterare la serie storica della stazione stessa riconducendo pertanto l'informazione idrografica inizialmente disponibile da 105 stazioni a

69. Tramite tecniche GIS si sono individuati i bacini idrografici a partire dal DEM della Sicilia (Fig. 4.29).

Terminata la fase di *screening* dei dati, il passo successivo è stato l'individuazione delle zone omogenee, basandosi sul concetto di similitudine idrologica secondo cui i bacini con caratteristiche geomorfoclimatiche simili dovrebbero avere comportamenti analoghi dal punto di vista idrologico. Per la determinazione delle regioni idrometriche omogenee si sono calcolate le statistiche riassuntive dei dati, calcolati i valori dei rapporti tra gli L-moments (Lcv, Lskew, Lkur) espressi come combinazione lineare dei momenti pesanti in probabilità (Hosking e Wallis, 1997) e l'utilizzo di due *test*: il *test* di discordanza, che permette di identificare quelle stazioni in cui i valori dei suddetti rapporti sono significativamente diversi da quelli delle altre stazioni e il *test* di eterogeneità, che verifica se un gruppo di stazioni possano essere considerate o meno appartenenti ad una regione omogenea. Si riporta in Figura 4.30 la suddivisione della Sicilia nelle sei sottozone idrometriche omogenee ottenuta tramite l'applicazione dei *test* basati sugli L-moments.

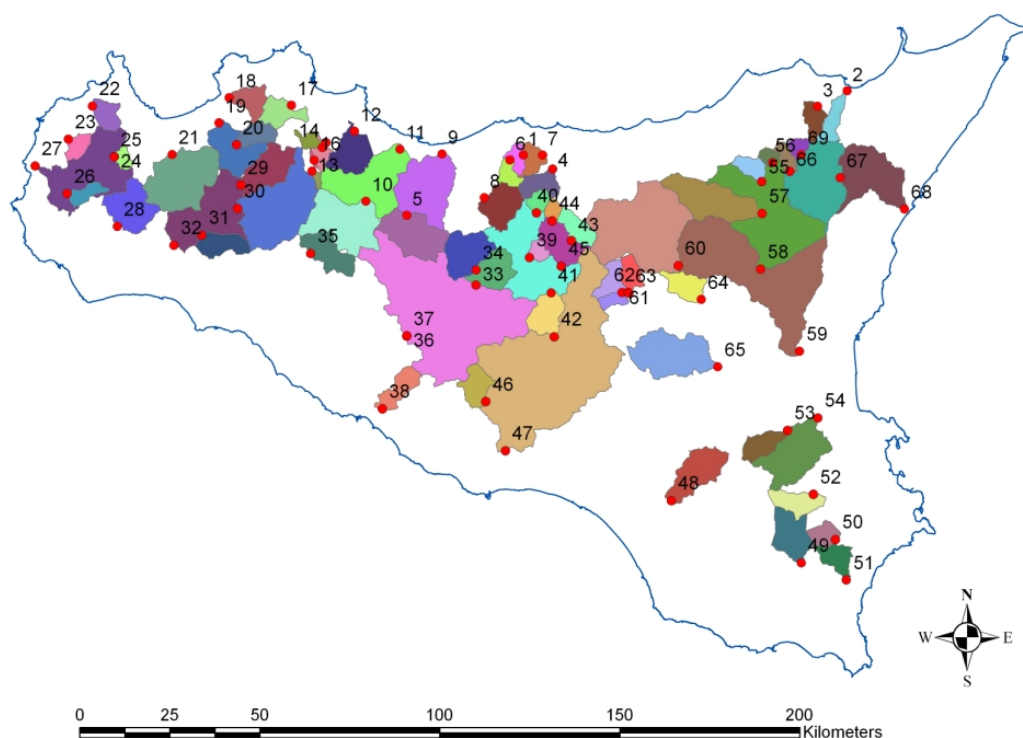


Fig. 4.29 - Ubicazione e delimitazione dei bacini idrografici.



Fig. 4.30 - Suddivisione della Sicilia in 6 sottozone idrometriche omogenee.

Per la realizzazione del modello di trasformazione afflussi-deflussi valido per ogni sottozona omogenea in cui si è suddivisa la Sicilia, è stato necessario elaborare una grande quantità di dati, utilizzando il software ArcGIS. Si è svolta un'analisi critica sui bacini contenenti le 44 “grandi dighe” presenti sul territorio siciliano, in quanto la realizzazione di un invaso artificiale, provoca, oltre alla variazione del regime idrico e fluviale nella superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso, l'arresto del deflusso che viene intercettato dallo sbarramento e quindi non giunge più attraverso la rete fluviale alla sezione di misura dove vi può essere la presenza della stazione idrometrica.

Al fine di stimare il deflusso anche nei bacini non strumentati, si è cercato di implementare un semplice modello di trasformazione afflussi-deflussi a scala annua. Il metodo che verrà qui di seguito presentato fornisce una curva di “previsione” del deflusso annuale in funzione dell'afflusso stimato sulla stessa finestra temporale. Si è analizzata la particolare configurazione morfologica e geografica dei bacini in quanto in alcuni casi lungo lo stesso corso d'acqua e quindi all'interno dello stesso bacino idrografico, è presente più di una stazione idrometrica che sottende bacini diversi. In questi casi l'informazione idrologica contenuta nel bacino sotteso dalla stazione di valle comprende l'informazione contenuta nei bacini di monte ed è pertanto necessario rendere le informazioni idrologiche di ogni sottobacino indipendenti dalle altre escludendo in questo modo informazioni ridondanti. A titolo di esempio in Figura 4.31 vengono riportate le unità territoriali individuate relativamente al bacino del Belice. Per ciascuna di queste unità indipendenti si sono calcolate le altezze medie annue di afflusso e di deflusso e disposte nel diagramma riportato in Figura 4.32. Realizzato il diagramma si è cercata la funzione che rappresenti al meglio la relazione tra afflussi e deflussi. La funzione adottata al fine di minimizzare gli scarti è data dall'insieme di due equazioni che, in funzione di un parametro discretizzante (afflusso critico, A_c),

tendono a rappresentare al meglio la relazione cercata. La scelta delle due differenti equazioni è legata alla non linearità dei processi idrologici soprattutto nel caso di afflussi bassi; pertanto si preferisce utilizzare la funzione esponenziale nei casi in cui la pioggia risulti inferiore ad un valore critico A_c , mentre si impiega la funzione lineare per valori delle precipitazioni maggiori di A_c . Il modello afflussi-deflussi è descritto dalle seguenti formule che minimizzano la somma dei quadrati degli errori tra deflussi misurati e stimati:

$$D = 0.10725 \cdot A \cdot e^{(0.00123 \cdot A)} \quad \text{per } A < A_c \quad [4.b]$$

$$D = 0.65342 \cdot A - 296.38 \quad \text{per } A \geq A_c \quad [4.c]$$

in cui D è il deflusso medio annuo [mm annuo^{-1}] e A è l'afflusso medio annuo [mm annuo^{-1}].

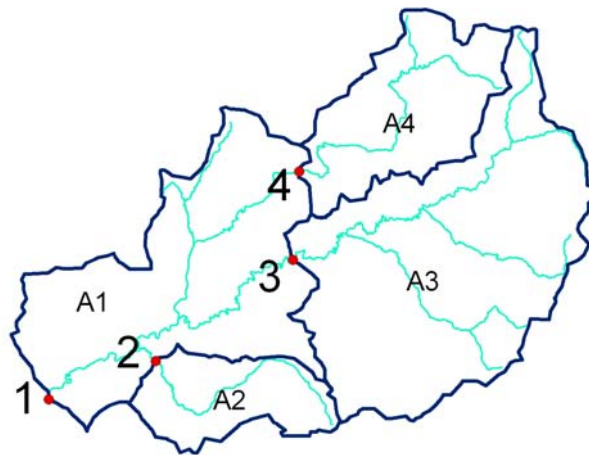


Fig. 4.31 - Sottobacini del Belice.

La procedura fin qui mostrata, non viene applicata a scala di bacino, bensì alla scala delle sei zone idrologicamente omogenee precedentemente individuate. Il fatto che i dati relativi ai bacini con dimensioni da poche decine ad alcune centinaia di chilometri quadrati seguano la stessa relazione e quindi lo stesso *trend*, è un indice del fatto che il fenomeno osservato risulta poco dipendente dalla dimensione del bacino giungendo quindi alla conclusione che il comportamento della curva del deflusso atteso, è tipicamente scala-invariante, il che rappresenta un risultato di notevole interesse.

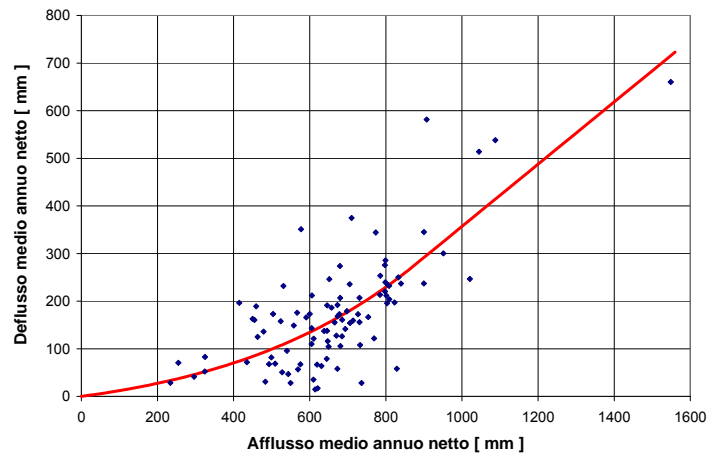


Fig. 4.32 - Relazione afflussi netti-deflussi netti relativi al bacino del Belice.

Le relazioni ottenute, utilizzate per stimare il deflusso superficiale in ognuna delle sei sottozone omogenee, vengono applicate, tramite l'utilizzo di tecniche GIS, a scala regionale, utilizzando una struttura di tipo *raster*, realizzando, come prodotto ultimo, mappe spazialmente distribuite relative al deflusso medio annuo. In particolare, a partire dallo strato informativo delle precipitazioni medie annuali (Fig. 4.33), avente risoluzione di cella 500m, è stato creato, applicando il modello afflussi-deflussi descritto dalle [4.b] e [4.c] lo strato informativo del deflusso medio annuo “atteso” (Fig. 4.34).

Realizzato lo strato informativo relativo al deflusso medio “atteso” si osserva che questo per i bacini strumentati non fornisce valori uguali a quelli medi annui con cui il modello è stato creato; ciò è dovuto alla circostanza che le relazioni utilizzate per la determinazione del deflusso, stimano il comportamento medio dei bacini appartenenti a ciascuna delle sei sottozone, e tali stime si discostano di una quantità più o meno variabile dal comportamento del singolo sottobacino. A titolo di esempio si riportano in Tabella 4.4, relativamente ai sottobacini del Belice, i valori dell'afflusso medio annuo \bar{A} e del deflusso medio annuo \bar{D} entrambi relativi alle unità territoriali A_i ; si riporta infine il valore del deflusso medio stimato \bar{D}^* come la media areale dal *layer* del deflusso medio annuo “atteso”.

Sottobacini del Belice				
Valori medi dei sottobacini	Belice destro a Sparacia [mm]	Belice sinistro a Casa Balate [mm]	Senore a Finocchiara [mm]	Belice a Belice [mm]
\bar{A}	702.78	692.19	661.67	583.60
\bar{D}	219.86	192.25	147.97	128.44
\bar{D}^*	181.12	176.99	159.98	117.76

Tab. 4.4 - Valori di afflusso e di deflusso medi netti relativi ai sottobacini del Belice.

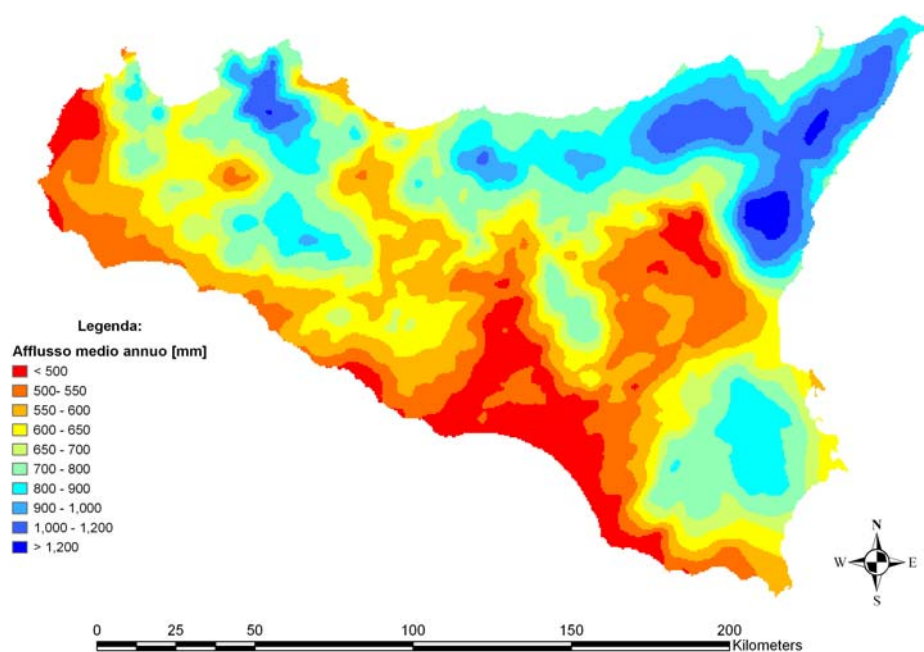


Fig. 4.33 - Strato informativo delle precipitazioni medie annuali.

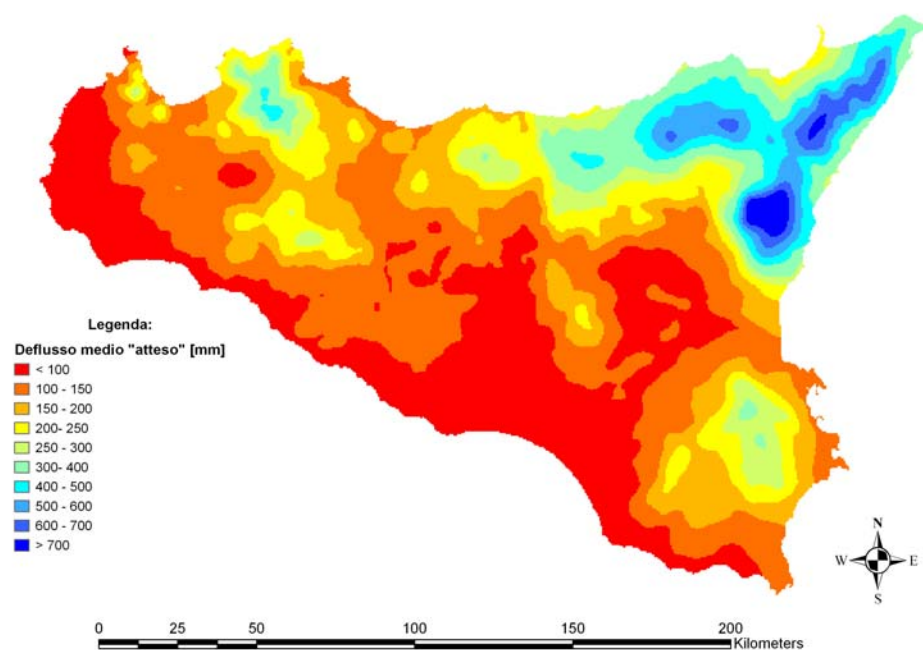


Fig. 4.34 - Strato informativo del deflusso medio "atteso".

Lo strato informativo "correttivo", riportato in Figura 4.35, è uno strato in cui ai diversi bacini strumentati viene assegnato il relativo valore del deflusso necessario per far coincidere il valore del deflusso medio, stimato nella mappa in una sezione di chiusura di un bacino strumentato, con quello misurato dalla relativa stazione idrometrica.

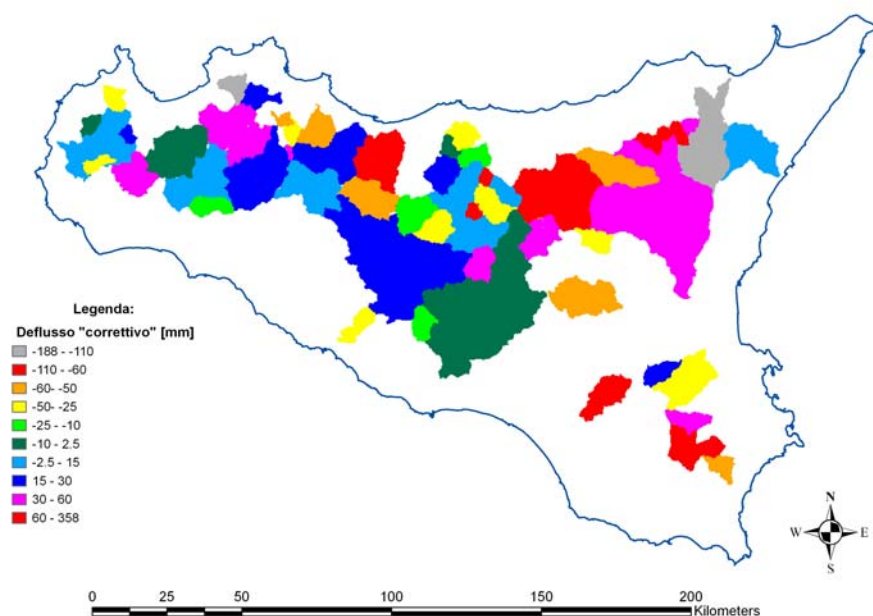


Fig. 4.35 - Strato informativo del deflusso annuo "correttivo".

Tale strato viene quindi sommato allo strato informativo del deflusso atteso ottenendo in tal modo lo strato informativo del deflusso “reale” (Fig. 4.36) che esprime per ciascuna cella, avente dimensione caratteristica di 500 m, il valore del deflusso specifico, cioè quello generato nella stessa.

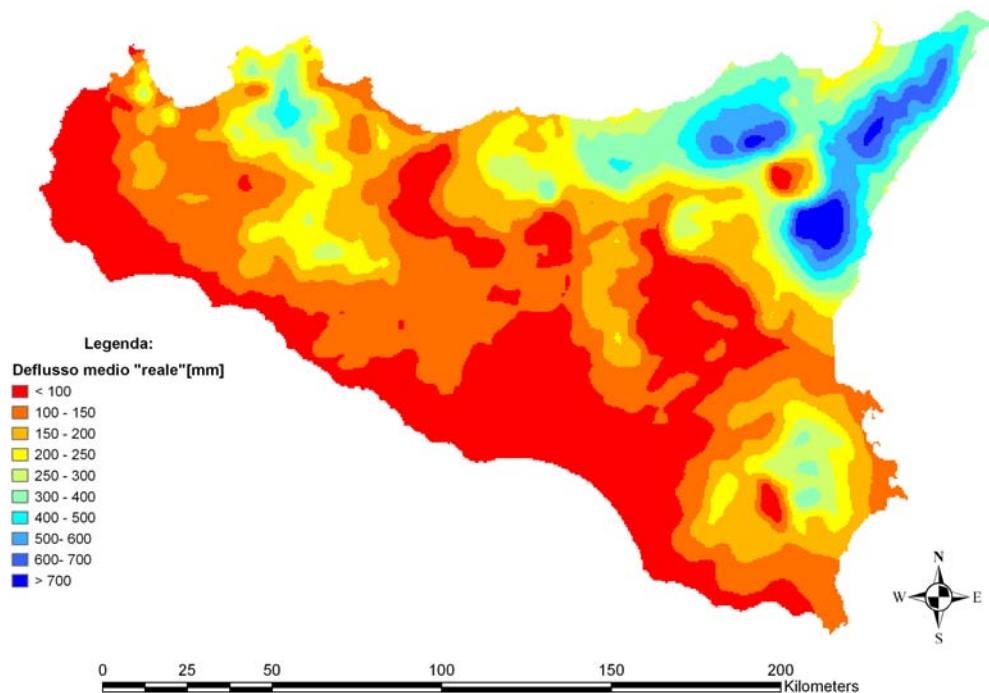


Fig. 4.36 - Strato informativo del deflusso annuo medio “reale”.

Obiettivo ultimo di questo lavoro è la creazione di uno strato informativo che esprima in ogni cella il deflusso prodotto da tutte le aree contribuenti che sversano in quel punto, ossia il deflusso cumulato. Lo strato informativo dei deflussi cumulati è stato ottenuto implementando l'algoritmo *Weighted Flow-Accumulation* in *ArcMap*. L'algoritmo in *input* utilizza lo strato informativo *Flow Direction*, e restituisce un *raster* in cui ogni cella assume il valore cumulato dei *pixel*, dello strato informativo utilizzato come *raster* dei pesi, che sversano in quel punto. Poiché il *raster* dei pesi utilizzato è quello relativo al deflusso medio “reale” in termini di altezza di deflusso, ogni cella del *raster* in *output* è caratterizzato dal valore del deflusso cumulato specifico [mm/anno] riferito all'unità di cella (100 m x 100 m). Si riporta in Figura 4.37 lo strato informativo delle portate medie annue per portate superiori a 100 l/s.

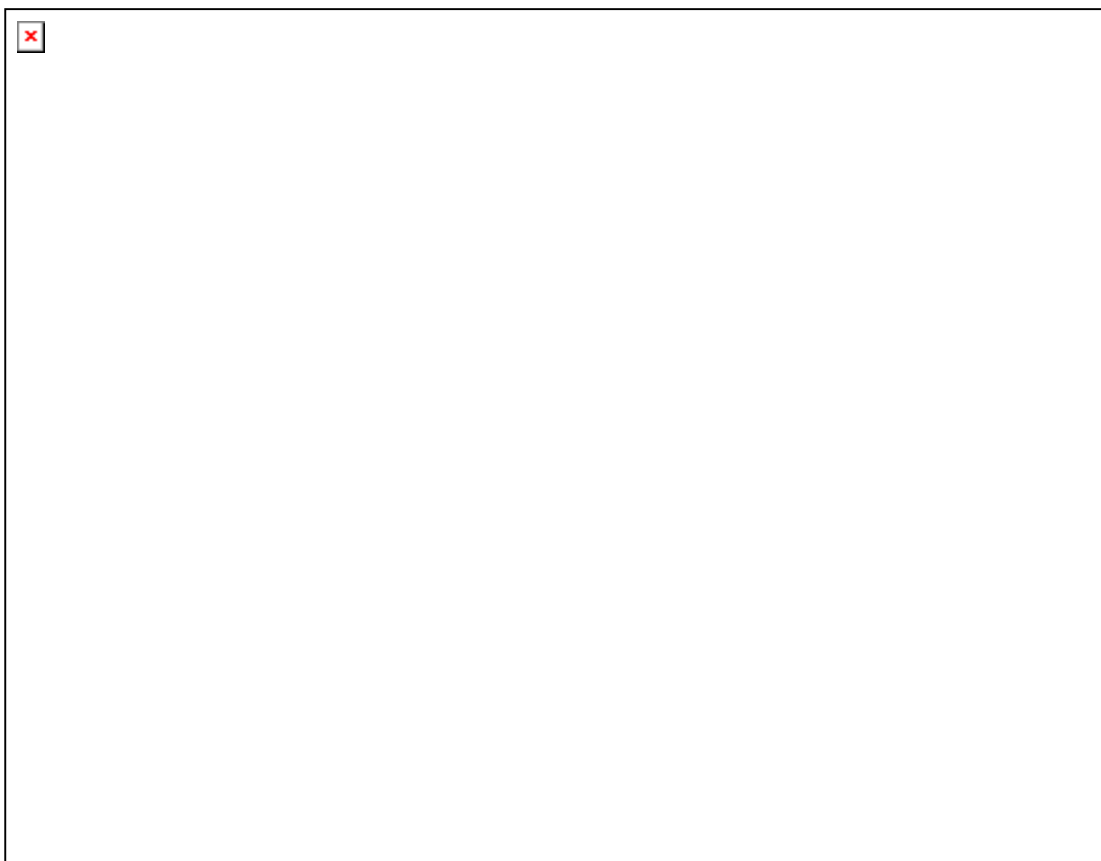


Fig. 4.37 - Portate medie annue (l/s) con valore di soglia posto uguale a 100 l/s.

Questo tipo di mappatura ha fornito buoni risultati e rappresenta un ottimo punto di partenza in molti altri campi come quello della determinazione delle perdite idrologiche con particolare riguardo all'attuale e diffuso fenomeno della desertificazione; costituisce inoltre un ottimo strumento di supporto per la stesura del PTA (Piano di Tutela delle Acque) previsto dal D. Lgs 152/99 in quanto permette la stima della concentrazione degli inquinanti a partire dalla conoscenza dei relativi carichi.

Capitolo 5 - Linee guida per l'individuazione di misure di mitigazione della siccità e della desertificazione e realizzazione di un intervento dimostrativo di prevenzione e mitigazione

Prof. Giuseppe Rossi

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - DICA, Università degli Studi di Catania

Sempre nell'ambito del manifestarsi di fenomeni di desertificazione all'interno del territorio regionale, notizie aggiornate sono state ricavate dal Piano di Azione Locale sulla lotta contro la desertificazione in Sicilia avviato dall'Osservatorio delle Acque della Regione Sicilia nell'ambito dell'Accordo di Programma 2005 tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, il CNLSD e l'Università degli Studi della Calabria. Tale studio, relativo all'individuazione ed all'analisi di un'area di intervento particolarmente esposta a siccità e desertificazione è stato condotto su due diverse aree:

- la porzione valliva del bacino dell'Imera meridionale, corrispondente essenzialmente con il territorio del Comune di Licata (a cura del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Catania, 2007);
- l'area costiera della Sicilia occidentale compresa fra Trapani e Mazara del Vallo (a cura del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali dell'Università degli Studi di Palermo, 2007).

L'analisi dei due studi ha suggerito che in entrambe le aree analizzate i fenomeni di salinizzazione del suolo hanno assunto particolare evidenza, caratterizzandosi come principale causa dei processi di desertificazione in atto. Nello specifico, all'interno dell'area licatese, la grave carenza idrica ed il conseguente utilizzo indiscriminato di acque salmastre naturali per l'irrigazione porta inevitabilmente a fenomeni di salinizzazione e ad alterazione dei processi di formazione della sostanza organica. Altresì, nel territorio della pianura compresa tra Marsala e la foce del fiume Modione, la zona individuata quale area vulnerabile ai processi di salinizzazione corrisponderebbe con le aree irrigue della zona, suggerendo che, anche in questo caso, la pericolosità dei processi di salinizzazione in atto risulterebbe strettamente legata alla qualità poco idonea delle acque utilizzate per l'irrigazione.

Terminata la fase di raccolta della documentazione esistente sui temi della desertificazione in Sicilia, è stata avviata la fase relativa all'individuazione e delimitazione

delle zone a rischio attraverso un confronto dettagliato fra le aree del territorio regionale risultate maggiormente vulnerabili ai suddetti fenomeni. Dall'analisi effettuata, di comune accordo con le altre istituzioni tecnico-scientifiche coinvolte nel presente progetto, si è eseguita la scelta dell'area di studio che è stata identificata con l'area agricola ricadente nella piana di Licata.

5.1 Vulnerabilità alla siccità e desertificazione nell'area di studio

Al fine di identificare gli ambiti su cui intervenire con azioni mirate, si è proceduto ad analizzare le caratteristiche dell'area oggetto del presente lavoro di ricerca in termini di vulnerabilità ai fenomeni di siccità e desertificazione. In particolare, è emerso che nell'agro di Licata esistono diversi fattori predisponenti alla siccità ed alla desertificazione i quali risultano legati sia a cause naturali che a cause antropiche.

Dal punto di vista naturale, la predisposizione dell'area ai suddetti fenomeni va ricercata nella sua litologia costituita da sedimenti argillosi ed evaporatici a bassa permeabilità che consentono un'infiltrazione molto bassa e, di conseguenza, una scarsa ricarica degli acquiferi. Inoltre, tale composizione naturale del terreno lo rende poco resistente all'erosione e ne favorisce la perdita dello strato di suolo fertile. Fra le cause naturali vanno anche annoverati i problemi di carenza quali-quantitativa delle risorse idriche.

Per ciò che concerne l'aspetto quantitativo, l'area di Licata si colloca all'interno di un quadro climatico più vasto di tipo *sub*-umido secco con precipitazioni scarse che si attestano intorno ad una media annua di 430 mm circa (periodo di riferimento 1925-2003) con una certa variabilità interannuale (coefficiente di variazione delle precipitazioni annue c_v pari a 0.3) che, tra l'altro, appare più marcata nell'ultimo trentennio considerato rispetto a quello precedente. Da un'analisi condotta sulle precipitazioni registrate presso la stazione di Licata nel suddetto periodo di osservazione è emerso che solo nell'11% circa del periodo di riferimento si è verificata una precipitazione con valori superiori a 550 mm annui, mentre nell'89% dei casi si sono registrati valori inferiori. Alla scarsa piovosità dell'area si associa inoltre il carattere spesso torrenziale degli eventi che, oltre a danneggiare le colture locali, tende a generare zone ad elevata erosione.

Con riferimento alla scarsità delle precipitazioni nell'area di studio, allo scopo di valutare in che misura essa risulti affetta da condizioni di siccità, nel corso della presente ricerca si è calcolato l'indice SPI (*Standardized Precipitation Index*) per la stazione di Licata. Tale indice, sviluppato da McKee et al. (1933), consente di quantificare il *deficit* di precipitazione per diverse scale temporali al fine di considerare gli impatti della siccità sulle differenti risorse idriche. Infatti, su scale temporali brevi, dell'ordine di 1÷6 mesi, è essenzialmente l'umidità del suolo a risentire delle anomalie di precipitazione con conseguenze immediate sul piano agricolo; al contrario, su scale più lunghe (da 6 a 48 mesi), il *deficit* di pioggia influenza maggiormente i deflussi superficiali e sotterranei e gli invasi. A partire dalle precipitazioni mensili registrate a Licata nel periodo 1928-2003, si è quindi calcolato l'indice SPI per le scale temporali k pari a 1, 3, 6, 12, 24 e 36 mesi. Sulla base dell'analisi condotta e dei risultati mostrati in figura 5.1 si evince che i periodi siccitosi (nelle colorazioni che vanno dal giallo al rosso) appaiono sicuramente più frequenti e più persistenti rispetto a quelli umidi (nelle colorazioni dal celeste al blu). Si può notare, infatti, come solo sporadicamente si presentino periodi umidi per tutte le scale di aggregazione considerate, mentre in generale la condizione nettamente prevalente appare quella di siccità quasi normale (con SPI compreso fra -1 e 1). Con riferimento all'ultimo trentennio di analisi, va notato come le più alte scale di aggregazione evidenzino una sorta di accentuarsi delle condizioni di siccità. In particolare, dalla fine degli anni Settanta in poi, con eccezione di pochi anni intorno al 1997, si nota in maniera evidente un accentuarsi della siccità con valori di SPI inferiori a -1.5.

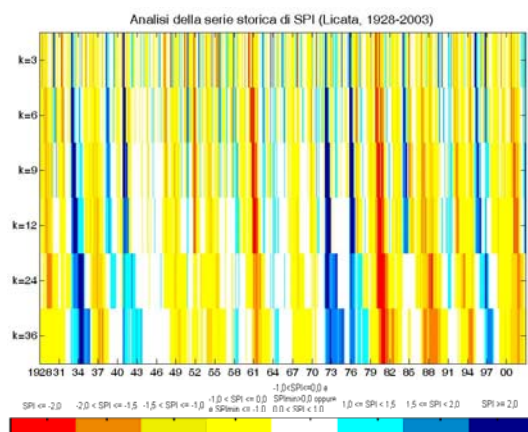


Fig. 5.1 - Indice SPI per la stazione di Licata (1928-2003).

Ma la quantità delle risorse idriche non rappresenta l'unico elemento in grado di influenzare la loro disponibilità, poiché anche lo stato qualitativo delle risorse condiziona la possibilità dell'utilizzo. Nel caso dell'area oggetto di studio, la qualità delle acque superficiali risulta compromessa dalla presenza di affioramenti della serie gessoso-solfifera naturalmente presenti nel terreno del bacino del fiume Imera meridionale che, nel suo tratto terminale, interessa anche l'agro di Licata. Tale gruppo litologico deteriora la qualità delle risorse idriche per contatto fra l'acqua piovana e la roccia affiorante, conferendo loro un elevato tasso di salinità che aumenta man mano che ci si avvicina alla foce del fiume. L'eccessivo arricchimento in sali delle acque che interessano il territorio della piana di Licata le rende non sempre adatte all'utilizzo irriguo, in quanto il loro uso determina un accumulo di sali in terreni non salini in origine e ne accelera i processi di desertificazione. Oltre a far aumentare i valori di conducibilità elettrica del terreno, nonché la sua concentrazione in cloruri, l'uso di acque salmastre altera i processi di formazione della sostanza organica con un progressivo abbassamento della fertilità dei suoli ed un aumento della loro impermeabilizzazione, entrambi fattori chiave nel processo di desertificazione.

Va anche osservato che l'elevata salinità delle acque superficiali della zona non rappresenta solo un elemento di degrado per i suoli, ma anche per le acque dolci dell'acquifero. In corrispondenza della foce dell'Imera meridionale, infatti, si verificano fenomeni di salinizzazione delle falde per intrusione di cunei di acque marine anche in conseguenza al sovrasfruttamento delle falde.

In un'area a forte vocazione agricola come quella della piana di Licata, le acque di falda o quelle provenienti dall'Imera meridionale, sebbene notoriamente poco adatte all'utilizzo in agricoltura, hanno rappresentato e rappresentano tuttora una risorsa alla quale gli agricoltori ricorrono per ovviare alla limitata disponibilità dell'approvvigionamento idrico, non senza conseguenze su terreno e coltivazioni. Ciò, in particolare, è avvenuto a seguito della massiccia diffusione delle colture in serra, settore di traino dell'economia licatese, che sta modificando lo scenario relativo alla richiesta ed alla disponibilità della risorsa idrica in loco. Pertanto, fra i fattori predisponenti a siccità e desertificazione di natura antropica, occorre annoverare anche la forte pressione esercitata dall'uomo sul territorio licatese, sia in termini di eccessivo sfruttamento delle falde acquifere, che in termini di attività agricola particolarmente intensa.

5.1.1 Proposte di interventi

Alla luce dell'analisi condotta sulla vulnerabilità dell'area di studio ai fenomeni di siccità e desertificazione, emerge un quadro in cui ai fattori naturali, quali le caratteristiche climatiche, la carenza quali-quantitativa della risorsa idrica, il degrado dei suoli per salinizzazione del terreno, l'alterazione dei processi di formazione della sostanza organica, la diminuzione della fertilità e l'impermeabilizzazione dei terreni, si aggiunge una forte pressione antropica sul territorio che, oltre a comportare un eccessivo sfruttamento delle falde, tende ad aggravare alcune delle suddette cause naturali. Nel seguito, pertanto, sono riportate alcune proposte relative ad interventi atti a prevenire o mitigare i suddetti fattori.

Nello specifico, dal momento che il reperimento di acqua di qualità e quantità adeguata da destinare all'uso agricolo rappresenta una questione di rilievo nell'ambito della lotta al processo di desertificazione nell'area in oggetto, le misure proposte in questa sede riguardano:

- l'analisi di eventuali fonti integrative da destinare all'approvvigionamento idrico a scopo irriguo per limitare il ricorso ad acque ad elevato contenuto salino;
- l'individuazione di appropriate tecniche di utilizzo di acque salmastre per uso agricolo nell'ottica di mitigare gli effetti negativi legati ad un loro uso inadeguato;
- l'identificazione di misure di lotta al processo di salinizzazione dei suoli nelle aree irrigue;
- la possibilità di impiego di risorse non convenzionali, quali reflui urbani depurati o acque dissalate, da destinare all'irrigazione per far fronte alle carenze idriche dell'area.

5.1.1.1 Analisi di fonti idriche alternative

Secondo uno studio condotto alcuni anni fa dall'ENEA (Pizzichini et al., 2002), ogni abitante di Licata consuma circa 37 l al giorno di acqua a fronte di un valore nazionale medio di circa 200 l al giorno. In questa situazione, considerata in numerosi studi come un vero e proprio caso limite dello scenario italiano, l'individuazione di fonti idriche integrative rappresenta una sfida non solo in termini di sviluppo socio-economico dell'area, ma anche nell'ambito della lotta alla desertificazione. A tal fine, innanzitutto, si potrebbe prevedere una

più efficiente utilizzazione delle acque dell'Imera meridionale, nel cui bacino sono stati realizzati diversi serbatoi di regolazione dei deflussi superficiali:

1. il Villarosa sul fiume Morello ricadente nel territorio della provincia di Enna che sottende un bacino di 102 km^2 e ha una capacità utile di circa 10.3 Mm^3 . Gestito dall'Ente Minerario Siciliano per alimentare gli impianti industriali di Pasquasia, risulta inutilizzato dal 1992, anno in cui cessò la produzione di tale impianto;
2. l'Olivo sul torrente Braemi ubicato nel territorio provinciale ennese che sottende un bacino di circa 60 km^2 e presenta una capacità utile pari a circa 14.9 Mm^3 . Fu costruito dall'Ente di Sviluppo Agricolo ed è in esercizio dal 1983 per scopi irrigui;
3. il Gibbesi costruito sul torrente omonimo dall'Ente Minerario Siciliano che si trova al confine tra le province di Caltanissetta e Agrigento, sottende un bacino di 116 km^2 ed ha una capacità utile di circa 7.9 Mm^3 (6.4 Mm^3 , secondo un recente studio idrologico della SOGESID S.p.A.). Commissionato per uso industriale e irriguo, non è ancora in esercizio (ad eccezione di una condotta posta in passato a servizio della zona industriale di Licata, ma che recentemente è stata utilizzata per distribuire nella piana acqua per uso irriguo), tuttavia, una delibera regionale del 2006 ha indicato una destinazione esclusivamente irrigua per le acque in esso invase;
4. il Blufi sull'Imera meridionale ancora in fase di completamento che, secondo il progetto esecutivo, dovrebbe sottendere un bacino di 73.2 km^2 e avrebbe una capacità utile di 22 Mm^3 circa. Cominciato nel 1991, dovrebbe integrare o soddisfare l'intero fabbisogno idropotabile di otto comuni nelle province di Caltanissetta, Enna e Agrigento, tuttavia, ad esclusione di una traversa ad uso potabile posta in coda al futuro invaso, attualmente l'opera si trova in uno stato cosiddetto di "incaglio", con lavori avviati, ma sospesi a causa di un significativo contenzioso e di molteplici problematiche ambientali sulle quali è in corso l'attività di studio e di analisi da parte dei consulenti della struttura.

Sulla base di quanto precedentemente indicato, appare chiaro che, ad eccezione dell'Olivo, le cui acque invase vengono attualmente impiegate in campo irriguo, nessuno degli altri serbatoi considerati sfrutta in pieno la propria funzionalità. Pertanto, sia il completamento dello schema idrico del fiume Imera meridionale che l'allocazione più

opportuna di risorse idriche attualmente inutilizzate potrebbero consentire l'integrazione di fonti di approvvigionamento idrico al fine di disporre di acqua di qualità idonea da destinare all'agricoltura. In particolare, per quanto riguarda il Villarosa, sebbene uno studio effettuato alcuni anni fa dalla SOGESID S.p.A. abbia individuato un utilizzo idropotabile delle acque invasate (a seguito di opportuni trattamenti per la riduzione del loro elevato contenuto salino), si potrebbe pensare di trasferire per i fabbisogni irrigui i volumi non utilizzati a scopo potabile. Nel caso del Gibbesi, invece, data la qualità poco pregiata delle acque invasate, gli studi condotti in passato hanno già individuato nel settore irriguo l'allocazione più opportuna di tali risorse; tuttavia, nonostante il completamento del serbatoio risulti fra gli interventi della programmazione regionale 2006-2011, l'opera non è stata ancora ultimata sia per mancanza di finanziamenti che per ritardi di natura burocratica.

Un'ulteriore ipotesi di integrazione delle fonti idriche riguarda una proposta avanzata in passato, ma che ancora oggi appare particolarmente valida. Essa è relativa all'intercettazione, al convogliamento ed all'invaso delle acque di alcuni affluenti dell'Imera meridionale che presentano un basso valore di salinità. A tal proposito, agli inizi degli anni Ottanta, l'Aquater S.p.A.(1982) condusse uno studio su alcuni torrenti affluenti del fiume Imera meridionale e del fiume Platani per definire il rapporto salinità-portata durante l'anno idrologico al fine di poter "stabilire la norma per l'utilizzazione delle acque per gli usi irrigui ed industriali". A seguito di un'analisi statistica sulle misure di salinità in funzione della portata relativamente al periodo 1978-1981, lo studio avanzava due ipotesi relative alla realizzazione di due diversi serbatoi di accumulo: il primo con le acque dei corsi d'acqua dei torrenti S. Cataldo, Binaria, Castellazzo, Braemi e Tardara ed il secondo con gli apporti degli affluenti San Giorgio, Castello e Gangi. In particolare, con riferimento alla realizzazione del primo serbatoio, si ipotizzavano due differenti soluzioni: la prima prevedeva di invasare tutte le acque del torrente Braemi e la portata degli altri corsi d'acqua solo quando l'altezza idrometrica fosse superiore ai 25 cm in alveo; mentre la seconda presupponeva la derivazione di tutte le portate dei suddetti torrenti indipendentemente dalla soglia idrometrica. Sulla base di tali ipotesi, il primo serbatoio avrebbe presentato una salinità media dell'acqua di 2.212 dS/m con la prima soluzione e di 2.102 dS/m con la seconda, mentre il secondo serbatoio una salinità media di 1.284 dS/m.

Nonostante la scarsa attendibilità delle letture effettuate per la stima della salinità media (cui, comunque, sono state apportate opportune correzioni in seno allo studio stesso), il lavoro condotto dall'Aquater S.p.A. mette in luce l'utilità della suddetta proposta al fine di disporre di acqua a ridotto contenuto salino per scopi irrigui. Pertanto, anche se ad oggi, per quanto detto, sono state invase solo le acque del torrente Braemi, la proposta di intercettazione e successivo accumulo delle acque di alcuni affluenti dell'Imera meridionale in relazione alla loro salinità potrebbe consentire di utilizzare in modo più efficace le risorse superficiali di tale corso d'acqua.

Sempre in tema di integrazione delle fonti idriche esistenti per l'area oggetto di indagine, utili indicazioni si possono trovare all'interno del Programma degli Interventi del Piano di Tutela delle Acque della Sicilia, redatto dalla SOGESID S.p.A. nel 2007. Infatti, fra i vari obiettivi prefissati dal PTA regionale per il sistema dell'Imera meridionale, sono previsti: il completamento degli schemi idrici acquedottistici, l'integrazione delle capacità di riserva attualmente disponibili ed il miglioramento delle funzionalità di impianti di sollevamento e pompaggio. Inoltre, con specifico riferimento al Comune di Licata, alcuni fra gli interventi programmati che potrebbero concorrere ad un aumento dei volumi idrici disponibili per l'area riguardano il completamento della rete idrica a copertura del servizio idropotabile e la sostituzione della rete idrica e delle adduttrici vetuste e/o in cattivo stato di conservazione.

5.1.1.2 Tecniche di lotta alla salinizzazione del suolo

Come già precedentemente evidenziato, sia le acque del fiume Salso che quelle sotterranee che interessano l'area di Licata presentano livelli di salinità variabili durante l'anno che spesso le rendono inutilizzabili per uso irriguo. Tuttavia, vista l'attuale carenza di ulteriori fonti alternative di acque di buona qualità, gli agricoltori sono costretti ad utilizzare acque più o meno salmastre per uso irriguo. Come è noto, però, il rischio maggiore di tale utilizzazione è l'accumulo di sali nel terreno che dà luogo alla cosiddetta salinizzazione secondaria e che porta, come conseguenza finale, alla desertificazione.

Recenti studi e indagini sperimentali hanno dimostrato che acque un tempo considerate non utilizzabili per fini irrigui possono essere usate con successo e senza particolari rischi sia per le colture sia per il suolo. Del resto, in molti Paesi del bacino del Mediterraneo, acque con salinità pari a 5-8 dS/m sono le sole acque che possono e vengono utilizzate abitualmente. Inoltre, la scelta di colture e varietà più o meno tolleranti alla salinità delle acque (Tabb. 5.1 - 5.2) l'introduzione e la diffusione degli impianti di microirrigazione (goccia, manichetta forata, *driplines*, ecc.) hanno dato un contributo notevole all'utilizzazione di acque con elevata concentrazione salina. Ad esempio, con l'irrigazione a goccia, anche acque con salinità pari a 7 dS/m hanno fornito risultati simili a quelli ottenuti con acque normali. Classico è l'esempio del pomodoro "*Desert Sweet*" coltivato in Israele o del "Ciliegiino di Pachino" in Sicilia.

Tolleranza alla salinità	Soglia di salinità (dS/m)	Livello di produttività zero (dS/m)
Sensibili	1.4	8.0
Moderatamente sensibili	3.0	16.0
Moderatamente tolleranti	6.0	24.0
Tolleranti	10.0	32.0

Tab. 5.1 - Soglia di salinità per quattro gruppi di tolleranza (Jensen, 1980).

Sensibile	Moderatamente sensibile	Moderatamente tollerante	Tollerante
Mandorlo	Erba medica	Bietola	Barbabietola da zucchero
Melo	Broccolo	Girasole	Cotone
Avocado	Cavolo	Olivo	Palma da datteri
Fagiolo	Pomodoro	Soia	
Carota	Lattuga	Grano	
Pompelmo	Mais		
Arancio	Cocomero		
Limone	Vite		
Cipolla	Patata		
Fragola	Ravanello		
Pesco	Riso		
Susino			

Tab. 5.2 - Esempio di colture appartenenti a quattro gruppi di tolleranza alla salinità (Jensen, 1980).

Pertanto, in attesa di individuare fonti alternative di acque di buona qualità, si può pensare di ricorrere a misure di lotta e mitigazione del processo di salinizzazione soprattutto nel settore delle colture protette individuando tecniche che consentano un utilizzo adeguato delle acque salmastre in agricoltura. In primo luogo, si può guardare agli stessi agricoltori

licatesi che, in questi ultimi decenni, hanno imparato, da soli e/o con l'assistenza tecnica della SOAT locale, a difendersi dagli impatti della siccità e dal rischio di salinizzazione e desertificazione incombente sull'area. Innanzitutto, a seconda delle caratteristiche del suolo, le aziende agricole utilizzano due diverse tipologie di strutture: le serre ed i *tunnels*. Le prime vengono realizzate laddove i terreni sono di migliore qualità (sabbiosi e di medio impasto) o dove vengono utilizzati terreni di riporto e l'acqua ha una minore salinità. I *tunnels*, invece, sono maggiormente utilizzati nel resto dell'area e, allo scopo di evitare un eccessivo accumulo di sali nel terreno, vengono spostati ogni anno, talvolta anche ogni due anni, per consentire alle piogge invernali una lisciviazione del terreno. Tali *tunnels* entrano a far parte di un vero e proprio avvicendamento colturale: al *tunnel* viene fatta seguire la coltivazione di ortaggi da pieno campo quali carciofo, finocchio, cavolfiore, fava e cereali (frumento). L'esposizione dei terreni alle piogge invernali, come già accennato, consente, infatti, un abbassamento del tenore salino ed un miglioramento della qualità del suolo che ritorna ad avere caratteristiche più compatibili con la coltivazione degli ortaggi.

È noto come il problema della salinità assuma maggiore rilevanza quando le acque salmastre vengono impiegate su terreni argillosi e scarsamente permeabili: è questo il caso della piana oggetto di studio, ma un uso opportuno delle acque salmastre può, ancora una volta, abbassare il rischio di salinizzazione di suoli di questo tipo. Un corretto utilizzo di acque ad elevato contenuto salino, soprattutto per la coltivazione di ortive, presuppone una lisciviazione della zona esplorata dalle radici con volumi di adacquamento "superiori a quelli necessari per portare alla capacità di campo lo strato di terreno interessato dalle radici" (Sciortino e Iapichino, 1995). Diventa quindi di basilare importanza il drenaggio delle acque saline di percolazione con sistemi tradizionali (muotti: ottimi dreni di antica fattura) o moderni (con tubazioni perforate). Molte aziende, infatti, dispongono di una buona rete di drenaggio che allontana e convoglia le acque saline di percolazione all'esterno dell'azienda o in vasche per il loro riutilizzo dopo opportuni trattamenti.

All'interno di serre e *tunnels* sono utilizzati esclusivamente impianti di microirrigazione a goccia, manichette perforate, ali in polietilene con gocciolatori incorporati (*drip-lines*, Fig. 5.2), talvolta anche interrati (subirrigazione), che, insieme con la pacciamatura, consentono

una buona lisciviazione della rizosfera, un grosso risparmio nel numero e nel volume degli adacquamenti ed un drastico abbassamento delle perdite per evapotraspirazione.



Fig. 5.2 - Impianto di microirrigazione con *drip-lines*.

Sempre nell'ambito delle misure locali adoperate per difendersi dal rischio di salinizzazione dei suoli, una tecnica per ovviare all'utilizzo di acque salmastre, divenuta sempre più frequente negli ultimi anni, riguarda la raccolta delle acque piovane dai tetti delle serre (Fig. 5.3), effettuata non tanto per aumentare le disponibilità idriche aziendali quanto per poter disporre di acqua di buona qualità. Per far ciò gli agricoltori utilizzano attrezzature artigianali di raccolta, come piccoli invasi in terra, impermeabilizzati con teli di plastica, in cui viene accumulata l'acqua piovana (Fig. 5.4).



Fig. 5.3 - Raccolta delle acque piovane dai tetti delle serre.

Ma oltre che per la raccolta della pioggia, tali invasi vengono utilizzati da alcuni agricoltori anche per l'accumulo di acqua prelevata dal Salso durante il periodo invernale o dai pozzi aziendali per effettuare la miscelazione con le acque piovane.



Fig. 5.4 - Esempio di invaso per l'accumulo di acque piovane (Bellini, 2004).

Inoltre, in alcuni casi tali invasi vengono anche utilizzati per miscelare acque caratterizzate da differenti valori di salinità al fine di abbassarne il tasso finale. In questi ultimi anni, però, si sta diffondendo sempre più la tecnica indicata dalla letteratura anglosassone con il termine di “*Cyclic strategy*” con la quale i due tipi di acqua (salmastra e piovana) non vengono miscelati fra loro (*Blending strategy*), ma vengono mantenuti e distribuiti separatamente. Abitualmente, l’agricoltore effettua due-tre irrigazioni con acqua salmastra e una-due con acqua piovana. In particolare, quest’ultima ha il compito di sostituire l’acqua salmastra nella zona radicale e nello stesso tempo di lisciviare i sali presenti nella stessa zona. L’agricoltore del luogo ha anche imparato che in particolari fasi fenologiche della pianta deve o può utilizzare l’uno o l’altro tipo di acqua.

L’acqua piovana rappresenta senza dubbio una risorsa alla quale ricorrere in caso di gravi carenze idriche come quelle che si verificano nell’area oggetto di studio, tuttavia, il suo utilizzo è principalmente legato alla pluviometria dell’annata ed allo sviluppo delle capacità di raccolta aziendale delle acque piovane.

Ulteriori interventi di mitigazione della salinizzazione del suolo, già individuati durante l’elaborazione del PAL (*DICA*, 2007), possono essere quelli riportati nel seguito:

- arature colmanti al centro dell’appezzamento per innalzare il piano di campagna e favorire il deflusso dell’acqua verso le scoline laterali;
- livellamento del terreno al fine di evitare ristagni d’acqua in superficie;
- creazione di una rete drenante aziendale efficiente (drenaggio tubolare, vespaie, drenaggi verticali, ecc.);
- realizzazione di una rete di drenaggio collettiva per l’allontanamento dei sali dal suolo;
- apertura di canali in terra compresoriali (senza pareti impermeabilizzate);
- somministrazione di sostanza organica e concimazione minerale programmata in relazione alle esigenze della coltura ed alla reale dotazione in elementi nutritivi del suolo;
- somministrazione di gesso allo scopo di allontanare il sodio dal complesso di scambio del terreno.

Ma oltre alle tecniche agronomiche, sarebbe anche opportuno rafforzare le capacità dei tecnici e degli agricoltori mediante corsi di formazione e di sensibilizzazione su misure di mitigazione della siccità e della desertificazione facilmente adottabili in ambito aziendale.

5.1.1.3 Riutilizzo di reflui urbani depurati per scopi irrigui

La limitata disponibilità di acqua nell'area di Licata può essere affrontata destinando all'uso irriguo le cosiddette "risorse non convenzionali", cioè quelle fonti idriche integrative di qualità inferiore ritenute non idonee ad utilizzi diversi da quello agricolo.

Quando si fa riferimento a risorse idriche non convenzionali, innanzitutto, occorre prendere in considerazione le acque reflue urbane. Previo un adeguato processo di depurazione che assicuri la decontaminazione di tali acque, infatti, i reflui depurati possono trovare largo impiego in ambito agricolo, in alternativa all'uso di acque salmastre. Ma un tale utilizzo non va inserito soltanto nell'ottica degli interventi di lotta alla salinizzazione dei suoli licatesi, ma va anche inteso come una misura di ampio respiro ambientale, in quanto consente di evitare lo sversamento degli effluenti degli impianti di depurazione in corpi idrici.

Relativamente alla situazione dell'area oggetto di indagine, alcuni anni fa, nell'ambito del cosiddetto "Progetto Licata" (*Pizzichini et al.*, 2002), era stata avanzata la proposta di riutilizzare in ambito irriguo le acque reflue depurate dall'impianto licatese. Infatti, a seguito della grave crisi idrica che interessò un po' tutta la Sicilia nel 2002, ma soprattutto la parte più a Sud dell'isola, il Comune di Licata aveva richiesto all'ENEA, già impegnato in attività di lotta alla desertificazione nella Regione, di elaborare una proposta al fine di far fronte ai problemi di gravi deficienze idriche che affliggevano la cittadina, vero e proprio caso limite di area con forti carenze di acqua dolce. Secondo quanto riportato nel suddetto studio, l'impianto di depurazione di cui è dotato la cittadina di Licata, in cui giungono soltanto i reflui dei settori della città attualmente collegati alla rete fognaria, scarica in mare circa 1000 m³ di reflui depurati ogni giorno (Fig. 5.5). Ai fini dell'utilizzo irriguo, il COD (*Chemical Oxygen Demand*, un indice che misura il grado di inquinamento dell'acqua da parte di sostanze ossidabili, principalmente organiche) che caratterizza tali acque, pari a 120 ppm, le rende

abbastanza compatibili per l'impiego in agricoltura. Tuttavia, le tracce di metalli pesanti riscontrabili, l'elevato contenuto di cloruri ed una certa presenza di flora batterica imporrebbero il ricorso ad un processo di trattamento più spinto per l'eventuale uso agricolo. Nondimeno, nonostante la necessità di spingere ulteriormente il processo depurativo, i reflui depurati licatesi potrebbero fornire agli agricoltori un volume idrico giornaliero di 2000 m³, pari alla somma fra quelli attualmente sversati in mare, di cui si è precedentemente detto, e ad altri 1000 m³/g che dovrebbero ottenersi dal completamento della rete fognaria della città. Tale quantitativo giornaliero di acqua potrebbe ulteriormente aumentare (fino ad un valore di circa 3800 m³/g) prevedendo un processo di depurazione anche per le acque del Salso in prossimità della foce che risultano contaminate da scarichi organici dovuti a fognature abusive.



Fig. 5.5 - Scarico in mare delle acque reflue del depuratore di Licata (Pizzichini et al., 2002).

Si vuole fare notare che, insieme all'adeguamento e completamento della rete fognaria ed all'adeguamento dell'impianto di depurazione al D.Lgs 152/06, il riuso delle acque reflue da destinare alla distribuzione irrigua nel Comune di Licata ricade fra le azioni previste dal "Programma degli Interventi" del Piano di Tutela delle Acque per il sistema del bacino dell'Imera meridionale. Tuttavia, prima di attuare un intervento di questo tipo è necessario che le amministrazioni locali promuovano una cultura che ne incoraggi l'impiego. Ancora oggi, infatti, si guarda con una certa diffidenza alla risorsa costituita dalle acque reflue e ciò

ne penalizza particolarmente l'utilizzo. In tal senso, pertanto, sarebbe opportuno eseguire indagini preliminari sulle opinioni degli agricoltori del luogo riguardo al riutilizzo dei reflui, quindi, avviare specifiche campagne di informazione in merito e, eventualmente, attivare programmi di incentivi per promuoverne l'impiego.

Nondimeno, a dispetto delle opinioni dominanti, alcuni agricoltori licatesi hanno già avviato un processo di utilizzo dei reflui depurati. Vale la pena di ricordare, infatti, che tre associazioni di produttori locali hanno realizzato un'opera di canalizzazione che va dal depuratore cittadino ad un vascone comune che consente di distribuire ai soci che ne fanno richiesta l'acqua reflua trattata per un impiego irriguo. Nella contrada Fiume Vecchio, ad esempio, all'associazione CORA aderiscono già 44 aziende che utilizzano l'acqua reflua.

5.1.1.4 Impiego di acque dissalate

Nell'ottica di razionalizzare le fonti idriche esistenti si può guardare al mare come risorsa particolarmente preziosa e praticamente inesauribile. Tra le fonti idriche non convenzionali, infatti, vanno annoverate anche le acque marine sottoposte a processi di dissalazione le quali, sebbene ottenute a costi spesso elevati, possono rappresentare un'importante risorsa idrica integrativa. Ma quelle marine non sono le uniche acque su cui si possono effettuare processi di dissalazione. Nel caso specifico dell'area in oggetto, infatti, si potrebbe pensare di sottoporre a dissalazione sia le acque del fiume Salso che quelle dei pozzi artesiani il cui utilizzo, come detto precedentemente, può rappresentare, per via dell'elevato contenuto salino, un elevato fattore di rischio per il terreno, in grado di comprometterne la fertilità e la capacità d'uso nel tempo provocando problemi di salinizzazione del suolo indotta o secondaria.

Per ciò che concerne l'impiego di acque dissalate nell'area di studio, attualmente la città di Licata, insieme a diversi Comuni limitrofi, usufruisce delle acque provenienti dal dissalatore di Gela che riescono a soddisfare solo in parte i bisogni idropotabili di un'area troppo spesso esposta a gravi carenze idriche come quella agrigentina. Teoricamente, soprattutto a seguito della recente attivazione di ulteriori moduli dell'impianto, l'acqua fornita

dal dissalatore gelese potrebbe coprire buona parte dei fabbisogni dei Comuni serviti, ma di fatto risulta del tutto insufficiente a causa di fattori di varia natura che finiscono per ridurre inevitabilmente la disponibilità d'acqua: perdite lungo la rete e conseguenti sospensioni del servizio di erogazione per riparazioni e manutenzione, nonché furti lungo le condutture che testimoniano un'elevata richiesta di acqua per usi civili o irrigui.

Sempre nell'ambito del succitato "Progetto Licata" (*Pizzichini et al.*, 2002), qualche anno fa, era stata avanzata anche la proposta di integrare i volumi idrici forniti dall'impianto gelese con quelli di un piccolo dissalatore da realizzare nell'area di Licata e in grado di fornire un quantitativo di 10500 m³/g di acqua da destinare all'uso idropotabile proveniente dalla dissalazione delle acque del mare. Anche se pensato per soddisfare scopi prettamente civili, tale impianto avrebbe garantito un esubero di circa 2500 m³/g che avrebbe potuto coprire i fabbisogni agricoli. Inoltre, l'autosufficienza idrica che avrebbe così raggiunto il Comune di Licata avrebbe avuto un benefico effetto anche sull'economia idrica dei Comuni limitrofi che si sarebbero avvalsi di almeno 1500 m³/g di acqua potabile in più destinati alla città di Licata dal dissalatore di Gela. Nello specifico, il dissalatore proposto, da realizzarsi secondo la tipologia ad osmosi inversa, avrebbe dovuto operare in continuo 24 ore al giorno per garantire una resa produttiva del 38%. Relativamente all'ubicazione dell'impianto, all'interno della proposta veniva individuata la zona orientale del centro urbano, in prossimità del mare e ad una distanza minima di 800 m dal depuratore civile per motivi di natura igienico-sanitaria.

Tuttavia, sebbene la costruzione di un tale dissalatore (o in alternativa l'ampliamento e l'ammodernamento del dissalatore di Gela, peraltro già nel programma di interventi dell'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque) potrebbe assicurare l'autosufficienza idrica alla cittadina licatese, sarebbe opportuno realizzare preventivamente uno studio di fattibilità ai fini di valutare la convenienza di un impianto di questo tipo. Oltre agli inevitabili impatti ambientali, legati agli squilibri chimici e biologici provocati ai sistemi marini dalla reimmissione in mare di un'acqua più salata e dallo scarico dei prodotti chimici impiegati nel processo di dissalazione, vanno valutati seriamente anche i costi di produzione. Infatti, nonostante si potrebbe ricorrere all'utilizzo di energie rinnovabili per il funzionamento dell'impianto (energia eolica o solare) per compensare parte dei costi, destinare ad un utilizzo

irriguo le acque dissalate potrebbe risultare particolarmente oneroso. Infatti, sebbene l'ipotesi di realizzare un impianto di dissalazione sia stata presa in considerazione fin dagli anni Sessanta, essa è stata scartata, in quanto anche allora il costo per metro cubo (77 lire) era inaccettabile per l'agricoltura (Ballatore, 1968). Proprio a causa degli elevati costi di produzione del processo di dissalazione delle acque, infatti, il ricorso a mini-impianti di desalinizzazione, utilizzati attualmente da pochi agricoltori locali per abbassare il contenuto salino delle acque salmastre del Salso o di pozzi da destinare all'uso irriguo, non ha trovato ampia diffusione in zona.

5.2 Indagine sperimentale sugli effetti di acque salmastre e piovane sulla produttività di colture in serra.

Il rischio di salinizzazione secondaria a cui sono esposti i suoli licatesi a causa dell'irrigazione effettuata con le acque salmastre disponibili in zona è stato investigato attraverso l'esecuzione di un'indagine sperimentale in un'azienda agricola sita nell'area di studio.

Come già anticipato, scopo di tale indagine era quello di valutare gli impatti sul suolo e sulla produzione agricola dei vari interventi irrigui effettuati utilizzando sia acqua salmastra sia acqua piovana. A tal uopo sono state effettuate due attività congiunte e parallele: il monitoraggio dei valori di salinità del terreno e dell'acqua utilizzata per l'irrigazione nel corso di tutta la stagione irrigua condotto dal Dipartimento di Agronomia Ambientale e Territoriale della Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Palermo e l'esecuzione di opportuni rilievi a carattere agronomico sulla coltura in studio ed in particolare sulla produzione sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo, a cura del DICA di Catania. Della seconda attività i materiali e metodi utilizzati ed i risultati ottenuti.

5.2.1 Materiali e metodi

L'indagine sperimentale è stata effettuata presso l'azienda agricola del sig. Giuseppe Cammilleri sita in contrada Fiume Vecchio, a circa due chilometri da Licata. La scelta di tale

azienda è legata alla precedente presenza al suo interno di alcune infrastrutture necessarie alla realizzazione dell'intervento, quali:

- diverse serre;
- strutture per la raccolta delle acque piovane (dai tetti delle serre);
- una vasca di accumulo delle acque piovane da utilizzare per l'irrigazione (Fig. 5.6);
- un pozzo a bocca larga (profondo circa 4 m) con acqua salmastra (Fig. 5.7);
- un impianto di microirrigazione con ali gocciolanti (*driplines*).



Fig. 5.6 - Pozzo aziendale a bocca larga.



Fig. 5.7 - Invaso delle acque piovane raccolte dai tetti delle serre.

Il monitoraggio della salinità è stato eseguito in tre parcelle coltivate con pomodoro da mensa, varietà Naxos, nel periodo settembre 2007-febbraio 2008 e con melone nel periodo marzo-maggio 2008, con tre tesi e tre repliche, e cioè con:

- irrigazione con acqua piovana raccolta dai tetti delle serre ed accumulata in una vasca in terra impermeabilizzata con telo di plastica (Tesi AP);
- irrigazione con acqua salmastra prelevata da un pozzo aziendale (Tesi AS);
- irrigazione con entrambe le acque alternativamente, due-tre irrigazioni con acque salmastre ed una-due irrigazioni con acqua piovana (Tesi AP-AS), in accordo con i criteri di gestione dell'irrigazione comunemente adottati nell'azienda.

Quest'ultima tesi (mista) rispecchia il metodo che normalmente viene utilizzato dagli agricoltori nella pratica irrigua della zona. In tal caso, il numero delle irrigazioni con acqua salmastra e acqua piovana viene stabilito dall'agricoltore ed in genere dipende principalmente dall'andamento climatico ed in particolare dalla piovosità (che permette d'invasare più o meno acqua piovana e di conseguenza fa crescere o diminuire le disponibilità idriche aziendali) e dall'andamento termometrico stagionale. Ad esempio, se la temperatura si mantiene elevata rispetto alla media stagionale la pianta tende a svilupparsi di più. In tal caso l'agricoltore irriga con acqua salmastra per rallentarne lo sviluppo. Al contrario, se la temperatura si mantiene bassa, l'irrigazione viene effettuata utilizzando acqua piovana.

L'indagine sperimentale ha avuto inizio durante il periodo estivo del 2007 con i lavori di preparazione all'interno delle serre (Fig. 5.8) consistenti in: un'aratura a 40-50 cm con *tiller* ed un leggera fresatura a 20-30 cm con zappatrice. In data 22/07/07, previa bagnatura dello strato superficiale del terreno con l'impianto di nebulizzazione per circa mezz'ora, è stato effettuato il trattamento di disinfestazione del suolo con una soluzione al 60% di Dicloropropene (Telone) per 1000 m². Successivamente, ogni 2 giorni e per una settimana, si è effettuata la bagnatura superficiale del terreno. Infine, in data 10/08/07 è stato effettuato un trattamento con Metam-potassio (fumigante) 100 l/1000 m². L'indagine, come già detto, ha riguardato due colture: il pomodoro da mensa ed il melone.



Fig. 5.8 - Serre durante la preparazione del terreno.

Pomodoro

Il trapianto delle piantine di pomodoro, varietà Naxos (Camones) è stato effettuato il 5 settembre 2007. Le piantine di pomodoro (Fig. 5.9) sono state trapiantate con un sesto di 0.90 m tra i filari e 0.35 m lungo il filare (3.170 piante/1000 m²). In tutte le parcelle sono state effettuate le stesse pratiche e trattamenti colturali. L'irrigazione è stata effettuata con un impianto di microirrigazione a goccia con un'ala gocciolante (dripline) con gocciolatori incorporati nel tubo di polietilene a 33 cm di distanza l'uno dall'altro ed una portata di 4 l/h a 1 bar di pressione.

Per ogni parcella e per ogni intervento irriguo, il proprietario (sig. G. Cammilleri), oltre alla durata per determinare il relativo volume di adacquamento, effettuava la misura della conducibilità elettrica, espressa in mS/cm, dell'acqua usata (Fig. 5.10, Tab. 5.3, Figg. 5.11 e 5.12). Da notare che la variabilità dei valori della conducibilità dell'acqua prelevata dal pozzo è legata all'andamento climatico. Le piogge influenzano il livello della falda e di conseguenza anche i valori della conducibilità elettrica (Fig. 5.11). Inoltre, periodicamente, sono stati prelevati dei campioni di acqua e di terreno da analizzare al fine di monitorare la salinità del suolo delle parcelle relative alle tre tesi in funzione del tipo di acqua utilizzata.



Fig. 5.9 - Parcelle sperimentali di pomodoro da tavola coltivato in serra.



Fig. 5.10 - Controllo della conducibilità elettrica dell'acqua prima dell'intervento irriguo.

La durata totale dell'irrigazione con acqua salmastra prelevata dal pozzo è stata di 1034 minuti (pari a 17,23 ore). Il volume di adacquamento sulla parcella di 500 m² per le 1585 piante è stato ricavato considerando 1 gocciolatore per pianta avente una portata di 4 l/h. Considerando la durata totale dell'irrigazione, il volume di adacquamento complessivo nella parcella è quindi pari a 109.259 litri (1 x 4 x 1585 x 17.23), cioè 109 m³ circa.

Per quanto riguarda l'irrigazione con acqua piovana prelevata dall'invaso, la durata totale dell'irrigazione è stata di 17,83 ore, con un volume di adacquamento complessivo nella parcella che risulta pari a 113 m³ circa.

La prima raccolta è stata effettuata in data 14/12/07 (Figg. 5.13, 5.14 e 5.15) e le altre hanno avuto cadenza pressoché settimanale fino all'ultima raccolta del 20/02/08. Per ogni replica delle tre tesi sono state scelte 10 piante campione secondo lo schema a W consigliato dalla Direttiva 2002/63/CE della Commissione Europea del 11/07/2002 (G.U. n. 221 - Decreto 23 settembre 2003). Per le 10 piante campione di ogni tesi e replica, sono stati registrati il peso ed il numero dei frutti raccolti.

Per quanto concerne la qualità del prodotto all'inizio della raccolta (14/12/07), nella fase intermedia (17/01/08) ed a fine campagna (20/02/08), sono stati prelevati 9 campioni per ogni tesi e replica per un totale di 27 campioni e sono state effettuate le seguenti analisi fisico-chimiche dei frutti: consistenza, solidi solubili totali, acidità titolabile, glucosio, fruttosio, saccarosio e residuo secco. Per l'analisi della consistenza è stato utilizzato un campione di 10 pomodori mentre per le altre analisi, il campione era costituito da un kg di frutti circa per ogni replica. Tale campione è stato omogeneizzato e centrifugato.

IRRIGAZIONE CON ACQUA SALMASTRA				IRRIGAZIONE CON ACQUA PIOVANA			
Data	Durata adacquamento (min)	Durata cumulata (min)	Conducibilità elettrica dell'acqua (mS/cm)	Data	Durata adacquamento (min)	Durata cumulata (min)	Conducibilità elettrica dell'acqua (mS/cm)
22.07.2007	90	90	3700	22.07.2007	90	90	1400
29.07.2007	60	150	5900	29.07.2007	60	150	1500
09.08.2007	60	210	6100	09.08.2007	60	210	1900
10.09.2007	15	225	6300	10.09.2007	15	225	2200
29.09.2007	35	260	500	29.09.2007	35	260	1400
02.10.2007	30	290	1000	02.10.2007	30	290	1300
05.10.2007	45	335	2200	05.10.2007	45	335	1300
09.10.2007	45	380	3300	09.10.2007	45	380	1300

12.10.2007	25	405	3500	12.10.2007	45	425	1500
16.10.2007	60	465	3100	16.10.2007	60	485	1500
20.10.2007	60	525	6000	20.10.2007	60	545	1500
22.10.2008	60	585	6700	24.10.2008	60	605	1100
29.10.2007	60	645	6200	29.10.2007	60	665	1100
05.11.2007	30	675	6200	05.11.2007	30	695	900
10.11.2007	45	720	6500	10.11.2007	45	740	900
16.11.2007	50	770	6200	16.11.2007	50	790	900
21.11.2007	40	810	6300	21.11.2007	40	830	900
30.11.2007	20	830	6000	30.11.2007	20	850	700
10.12.2007	30	860	4600	10.12.2007	30	880	600
20.12.2007	24	884	200	20.12.2007	40	920	500
30.12.2007	10	894	200	30.12.2007	10	930	500
09.01.2008	30	924	150	09.01.2008	30	960	600
17.01.2008	30	954	1000	17.01.2008	30	990	600
28.01.2008	50	1004	2300	28.01.2008	50	1040	700
15.02.2008	30	1034	5300	10.02.2008	30	1070	700

Tab. 5.3 - Interventi irrigui, loro durata e conducibilità elettrica dell'acqua (pomodoro).

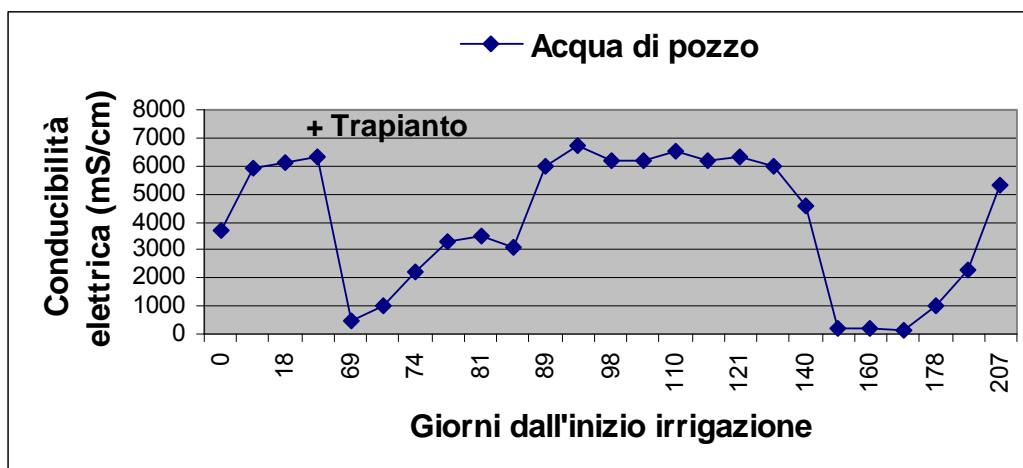


Fig. 5.11 - Andamento dei valori della conducibilità elettrica dell'acqua prelevata dal pozzo per l'irrigazione del pomodoro.

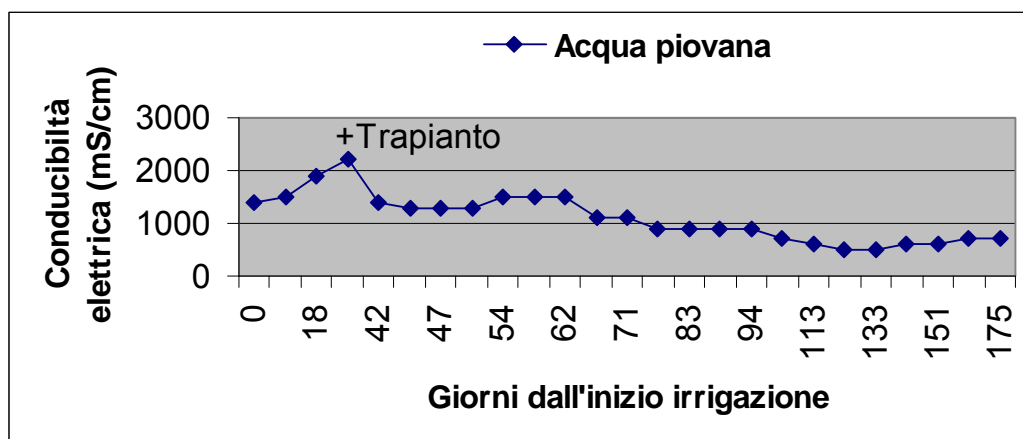


Fig. 5.12 - Andamento dei valori della conducibilità elettrica dell'acqua prelevata dall'invaso.

La consistenza dei frutti è stata determinata con un penetrometro, su ogni frutto, facendo due determinazioni in punti opposti e siti pressappoco a metà di ogni guancia, previa asportazione di un sottile dischetto buccia del diametro di 12-15 mm.

I solidi solubili totali sono stati determinati, secondo il metodo UNI EN 12630:2000, misurando l'indice di rifrazione a temperatura di 20 °C ed espresso in grammi di saccarosio per 100 grammi o in °Brix.

L'acidità titolabile del succo è stata misurata, secondo quanto indicato dal metodo UNI EN 12147:1999, per titolazione con sodio idrossido per via potenziometrica con elettrodo a vetro. L'acidità è stata espressa in mmoli di H⁺ per litro.

Sulla base del metodo UNI EN 12630:2000, gli zuccheri sono stati determinati in HPLC con separazione per mezzo di una colonna a scambio cationico mediante eluizione isocratica con una soluzione acquosa di sale bisodico di EDTA. Gli zuccheri sono stati identificati mediante rivelatore a indice di rifrazione differenziale.

Il residuo secco è stato determinato essiccando il succo attraverso la termobilancia a temperatura di 105 °C per 35 minuti.



Fig. 5.13 - Prima raccolta di pomodori Tesi AP.



Fig. 5.14 - Prima raccolta di pomodori Tesi AS.



Fig. 5.15 - Prima raccolta di pomodori Tesi AP-AS.

Melone

La stessa metodologia è stata applicata per la coltura di melone (*Cucumis melo* L. fam. Cucurbitaceae). Il trapianto delle piantine è stato fatto i primi di marzo con un sesto di 2 m x 1 m (500 piante/1000 m). Per l'irrigazione è stato utilizzato lo stesso impianto sopra descritto ma con 2 ali per filare e quindi con 6 gocciolatori per pianta. Anche in questo caso, per ogni parcella e per ogni intervento irriguo, oltre alla durata per determinare il relativo volume di adacquamento il proprietario ha effettuato la misura della conducibilità elettrica (in mS/cm) dell'acqua usata (Tab. 5.4, Figg. 5.16 e 5.17).

Per ciò che concerne il melone la durata totale dell'irrigazione sia nella tesi AS che nella tesi AP è stata di 19 ore, il volume di adacquamento complessivo in tutta la parcella con 250 piante è stato di circa 114 m³ (4 x 6 x 250 x 19).

La raccolta è stata effettuata alla fine di maggio. Purtroppo, un aumento della temperatura nella seconda metà di maggio ed un grave attacco di *Fusarium* hanno obbligato il proprietario ad effettuare la raccolta contemporaneamente in tutte e tre le tesi. Inoltre, soprattutto per motivi finanziari, non è stato possibile effettuare il controllo della produzione delle varie repliche e quindi è stato effettuato il controllo della produzione di tutta la parcella di ogni singola tesi. Per quanto riguarda le repliche di ogni tesi sono stati prelevati 10 frutti a

caso e sono stati pesati al fine di determinare il peso medio dei frutti. Infine, sono stati scelti a caso tre frutti per ogni tesi, uno per ogni replica, per effettuare delle analisi qualitative¹. Relativamente a quest'ultime sono stati presi in considerazione: il peso fresco (g), il peso secco (g), la sostanza secca in %, la lunghezza frutto (cm), la larghezza frutto (cm), lo spessore epicarpo (cm), lo spessore polpa (cm), la lunghezza della cavità (cm), l'indice di rifrazione a temperatura di 20 °C (°Brix) ed i parametri cromatici dell'epicarpo e della polpa stessa.

IRRIGAZIONE CON ACQUA SALMASTRA				IRRIGAZIONE CON ACQUA PIOVANA			
Data	Durata adac- quamento (min)	Durata cumulata (min)	Conducibilità elettrica dell'acqua (mS/cm)	Data	Durata adac- quamento (min)	Durata cumulata (min)	Conducibilità elettrica dell'acqua (mS/cm)
11.03.2008	180	180	1400	11.03.2008	180	180	700
18.03.2008	90	270	4000	18.03.2008	90	270	700
26.03.2008	75	345	4500	26.03.2008	75	345	700
30.03.2008	90	435	4100	30.03.2008	90	435	700
06.04.2008	60	495	3000	06.04.2008	60	495	700
11.04.2008	90	585	4100	11.04.2008	90	585	700
18.04.2008	90	675	5200	18.04.2008	90	675	700
24.04.2008	60	735	5600	24.04.2008	60	735	700
29.04.2008	60	795	6200	29.04.2008	60	795	700
03.05.2008	90	885	6200	03.05.2008	90	885	700
07.05.2008	75	960	6000	07.05.2008	75	960	700
11.05.2008	60	1020	5800	11.05.2008	60	1020	700
16.05.2008	60	1080	5800	16.05.2008	60	1080	700
23.05.2008	60	1140	5800	23.05.2008	60	1140	700

Tab. 5.4 - Interventi irrigui, loro durata e conducibilità elettrica dell'acqua (melone).

¹ Tali analisi sono state gentilmente eseguite dalla Sezione Ortofloricoltura del Dipartimento di Ortofloroarboricoltura e Tecnologie Agroalimentari (DOFATA) dell'Università degli Studi di Catania.

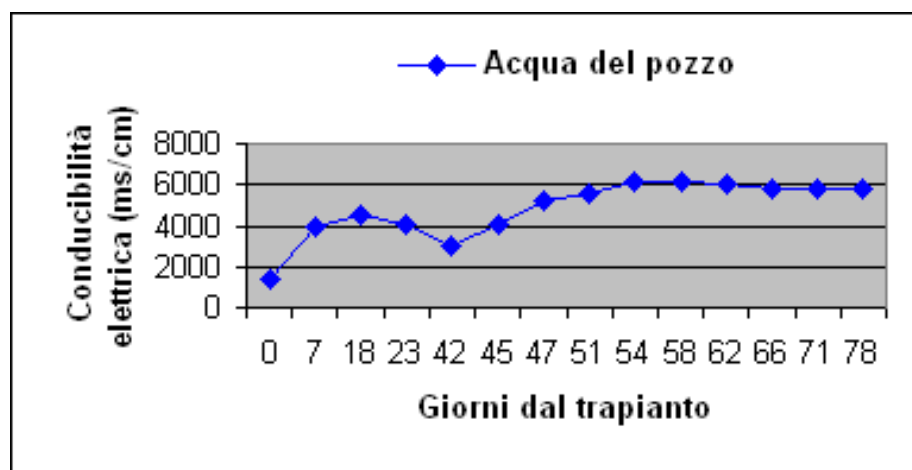


Fig. 5.16 - Andamento dei valori della conducibilità elettrica dell'acqua prelevata dal pozzo per l'irrigazione del melone.

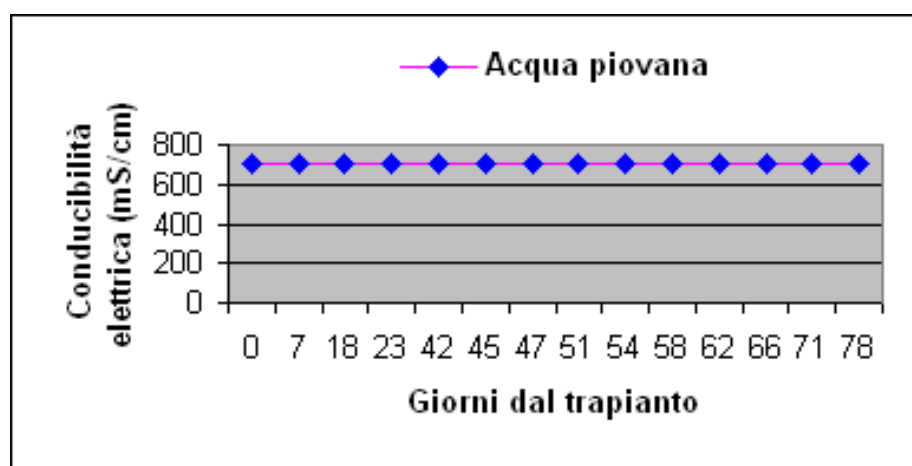


Fig. 5.17 - Andamento dei valori della conducibilità elettrica dell'acqua piovana per l'irrigazione del melone.

5.3 Risultati

Pomodoro

I risultati della produzione quantitativa in termini di peso totale, numero e peso medio dei frutti raccolti dalle 10 piante campione (Fig. 5.18), durante tutto il periodo di raccolta, per ognuna delle tre repliche di ogni tesi descritte precedentemente, sono riportati nella Tabella 5.5. Nelle Tabelle 5.6, 5.7 e 5.8 sono riportati invece i valori della produzione media cumulata, del numero medio di frutti e del peso medio cumulato dei frutti relativi alle tre tesi (Figg. 5.19, 5.20 e 5.21).



Fig. 5.18 - Piante campione.

DESCRIZIONE/TESI	Acqua Piovana (AP)				Acqua Salmastra (AS)				Mista (AP-AS)			
	Repliche				Repliche				Repliche			
	1	2	3	Media	1	2	3	Media	1	2	3	Media
Raccolta 14/12/07												
Peso (kg)	1.0	1.7	1.1	1.3	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	1.0	1.5	1.3
Numero di frutti	10.0	19.0	15.0	14.7	20.0	21.0	19.0	20.0	14.0	13.0	18.0	15.0
Peso medio frutti (gr)	100.0	89.5	73.3	87.6	65.0	66.7	68.4	66.7	92.9	76.9	83.3	84.4
Raccolta 18/12/07												
Peso (kg)	0.8	1.0	0.8	0.9	0.7	1.0	1.2	1.0	0.9	0.7	0.7	0.8
Numero di frutti	10.0	12.0	8.0	10.0	11.0	15.0	18.0	14.7	11.0	9.0	10.0	10.0
Peso medio frutti (gr)	80.0	83.3	93.8	85.7	59.1	66.7	66.7	64.1	77.3	77.8	70.0	75.0
Raccolta 27/12/07												
Peso (kg)	2.3	2.7	2.6	2.5	1.5	1.6	1.6	1.6	2.3	2.5	2.2	2.3
Numero di frutti	25.0	33.0	37.0	31.7	25.0	26.0	28.0	26.3	31.0	35.0	32.0	32.7
Peso medio frutti (gr)	92.0	80.3	68.9	80.4	60.0	59.6	57.1	58.9	74.2	71.4	68.8	71.5
Raccolta 03/01/08												
Peso (kg)	2.5	2.7	2.7	2.6	2.1	2.5	2.9	2.5	2.0	1.9	2.7	2.2
Numero di frutti	30.0	37.0	41.0	36.0	39.0	43.0	45.0	42.3	32.0	33.0	45.0	36.7
Peso medio frutti (gr)	83.3	73.0	65.9	74.1	53.8	58.1	64.4	58.8	62.5	57.6	60.0	60.0
Raccolta 10/01/08												
Peso (kg)	2.6	2.0	2.0	2.2	2.3	2.1	2.0	2.1	2.2	2.0	1.8	2.0

Numero di frutti	39.0	32.0	34.0	35.0	40.0	36.0	37.0	37.7	39.0	37.0	33.0	36.3
Peso medio frutti (gr)	66.7	62.5	58.8	62.7	57.5	58.3	54.1	56.6	56.4	54.1	54.5	55.0
Raccolta 17/01/08												
Peso (kg)	2.3	1.6	2.0	2.0	2.0	1.3	1.5	1.6	1.3	1.5	1.4	1.4
Numero di frutti	38.0	28.0	38.0	34.7	40.0	25.0	29.0	31.3	26.0	27.0	27.0	26.7
Peso medio frutti (gr)	60.5	57.1	52.6	56.8	50.0	52.0	51.7	51.2	50.0	55.6	51.9	52.5
Raccolta 28/01/08												
Peso (kg)	2.2	1.9	1.8	2.0	1.1	1.8	2.1	1.7	2.1	1.5	1.8	1.8
Numero di frutti	41.0	37.0	39.0	39.0	22.0	38.0	41.0	33.7	40.0	31.0	36.0	35.7
Peso medio frutti (gr)	53.7	51.4	46.2	50.4	50.0	47.4	51.2	49.5	52.5	48.4	50.0	50.3
Raccolta 05/02/08												
Peso (kg)	3.1	1.6	1.8	2.2	1.7	1.5	1.3	1.5	2.0	1.5	1.2	1.6
Numero di frutti	50.0	30.0	33.0	37.7	32.0	28.0	25.0	28.3	38.0	30.0	22.0	30.0
Peso medio frutti (gr)	62.0	53.3	54.5	56.6	53.1	53.6	52.0	52.9	52.6	50.0	54.5	52.4
Raccolta 11/02/08												
Peso (kg)	2.7	1.8	1.7	2.1	1.3	1.7	1.8	1.6	1.9	1.4	1.7	1.7
Numero di frutti	47.0	34.0	35.0	38.7	26.0	32.0	36.0	31.3	35.0	26.0	35.0	32.0
Peso medio frutti (gr)	57.4	52.9	48.6	53.0	50.0	53.1	50.0	51.0	54.3	53.8	48.6	52.2
Raccolta 15/02/08												
Peso (kg)	2.5	1.5	1.5	1.8	1.2	1.4	1.5	1.4	1.6	1.0	1.5	1.4
Numero di frutti	42.0	30.0	28.0	33.3	23.0	27.0	30.0	26.7	29.0	22.0	28.0	26.3
Peso medio frutti (gr)	59.5	50.0	53.6	54.4	52.2	51.9	50.0	51.3	55.2	45.5	53.6	51.4
Raccolta 20/02/08												
Peso (kg)	2.0	2.4	3.1	2.5	3.6	3.6	3.5	3.6	1.6	2.5	1.8	2.0
Numero di frutti	40.0	49.0	62.0	50.3	69.0	73.0	69.0	70.3	35.0	57.0	39.0	43.7
Peso medio frutti (gr)	50.0	49.0	50.0	49.7	52.2	49.3	50.7	50.7	45.7	43.9	46.2	45.2

Tab. 5.5 - Produzione (kg) delle piante campione per Tesi e repliche durante il periodo di raccolta.

Data raccolta/Tesi	Acqua Piovana (AP)		Acqua Salmastra (AS)		Mista (AP-AS)	
10-14/12/07	1.27	a	1.33	a	1.27	a
18.12.2007	2.12	a	2.28	a	2.02	a
27.12.2007	4.62	a	3.83	a	4.35	a
03.01.2008	7.25	a	6.33	a	6.55	a
10.01.2008	9.45	a	8.47	a	8.55	a
17.01.2008	11.42	a	10.07	b	9.95	b
28.01.2008	13.38	a	11.73	b	11.75	b
05.02.2008	15.55	a	13.23	b	13.32	b
11.02.2008	17.62	a	14.83	a	14.98	a
15.02.2008	19.45	a	16.20	b	16.35	b
20.02.2008	21.95	a	19.77	ab	18.32	b

Tab. 5.6 - Produzione media cumulata (kg) delle piante campione per Tesi durante il periodo di raccolta.

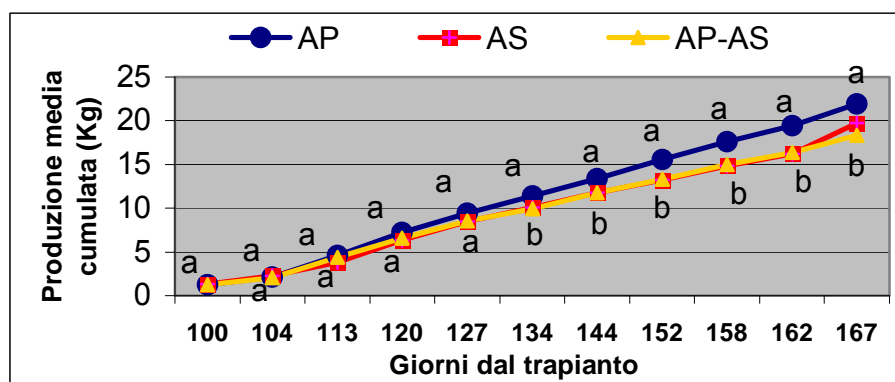


Fig. 5.19 - Produzione media cumulata delle piante campione per Tesi (kg) durante il periodo di raccolta.

Data raccolta	Acqua Piovana (AP)		Acqua Salmastra (AS)		Mista (AP-AS)	
10-14/12/07	14.67	a	20.00	a	15.00	a
18.12.2007	24.67	b	34.67	a	25.00	ab
27.12.2007	56.33	a	61.00	a	57.67	a
03.01.2008	92.33	a	103.33	a	94.33	a
10.01.2008	127.33	a	141.00	a	130.67	a
17.01.2008	162.00	ab	172.33	a	157.33	b
28.01.2008	201.00	ab	206.00	a	193.00	b
05.02.2008	238.67	a	234.33	a	223.00	a
11.02.2008	277.33	a	265.67	a	255.00	a
15.02.2008	310.67	a	292.33	a	281.33	a
20.02.2008	361.00	a	362.67	a	325.00	b

Tab. 5.7 - Numero medio cumulato di frutti per Tesi.

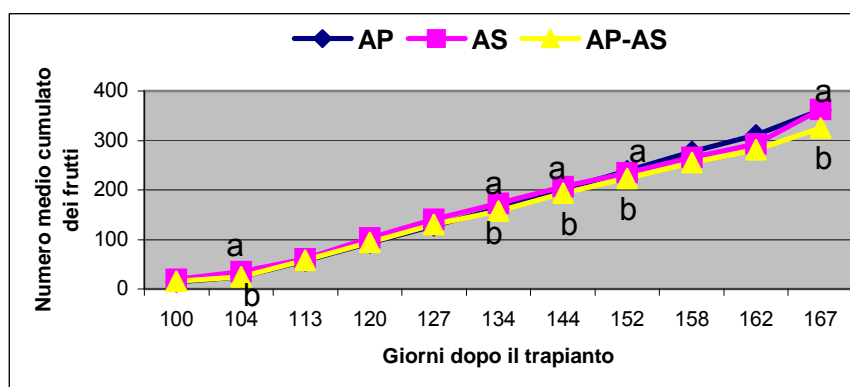


Fig. 5.20 - Numero medio cumulato dei frutti campione per Tesi (kg) durante il periodo di raccolta.

Data raccolta	Acqua Piovana (AP)		Acqua Salmastra (AS)		Mista (AP-AS)	
10-14/12/07	87.60	a	66.70	a	84.37	a
18.12.2007	85.00	a	64.77	b	75.00	a
27.12.2007	78.95	a	58.86	b	71.43	a
03.01.2008	73.15	a	59.06	b	60.00	b

10.01.2008	62.86	a	56.64	b	55.05	b
17.01.2008	56.73	a	51.06	b	52.50	b
28.01.2008	50.43	a	49.50	a	50.47	a
05.02.2008	57.52	a	52.94	b	52.22	b
11.02.2008	53.45	a	51.06	b	52.08	ab
15.02.2008	55.00	a	51.25	b	51.90	b
20.02.2008	59.67	a	50.71	b	45.04	c

Tab. 5.8 - Peso medio cumulato (gr) dei frutti campione per Tesi durante il periodo di raccolta.

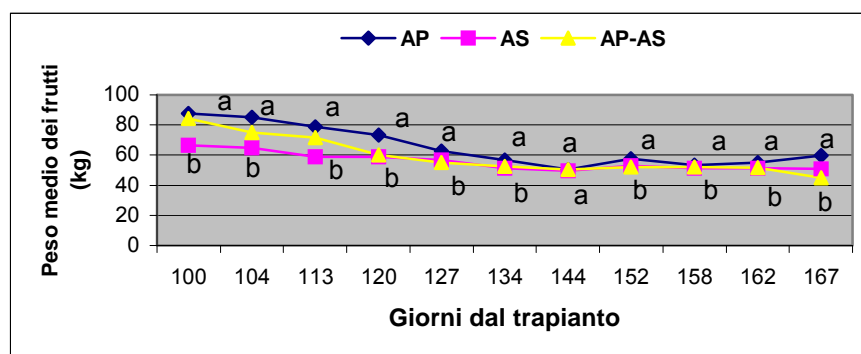


Fig. 5.21 - Peso medio dei frutti campione per Tesi (kg) durante il periodo di raccolta.

Per ciò che riguarda invece le analisi qualitative² effettuate sui frutti campione delle tre tesi del pomodoro oggetto di indagine, i valori medi sono stati riportati in Tabella 5.9 e in Figura 5.22.

Analisi	Unità	Fase di Raccolta	TESI					
			AP		AS		AP-AS	
CONSISTENZA	kg	Iniziale	6.09	a	7.03	a	6.65	a
		Intermedia	8.40	a	8.60	a	8.67	a
		Finale	7.20	a	7.53	a	7.27	a
SOLIDI SOLUBILI	°BRIX	Iniziale	5.40	b	6.08	a	6.07	a
		Intermedia	6.18	a	6.48	a	6.10	a
		Finale	7.65	b	7.48	b	8.45	a
ACIDITA' TITOLABILE	mmol/H/l	Iniziale	151.67	a	147.00	a	147.33	a
		Intermedia	124.67	a	134.00	a	130.83	a
		Finale	118.67	a	114.33	a	115.00	a
GLUCOSIO	gr/l	Iniziale	14.33	a	14.28	a	13.25	a
		Intermedia	20.25	a	18.23	a	16.55	a
		Finale	20.03	a	22.23	a	23.20	a
FRUTTOSIO	gr/l	Iniziale	16.17	a	13.39	a	15.51	a
		Intermedia	25.43	a	22.73	a	20.81	a
		Finale	21.83	a	23.33	a	24.13	a

² Tali analisi sono state eseguite dal Laboratorio Agroalimentare-Ambientale di Catania (L.AG.AM.ESA-CT).

ZUCCHERI TOTALI	gr/l	Iniziale	30.50	a	27.67	a	28.75	a
		Intermedia	45.67	a	40.97	a	37.36	a
		Finale	41.87	a	45.57	a	47.33	a
RESIDUO SECCO	%	Iniziale	5.93	b	7.78	a	7.72	a
		Intermedia	6.75	a	6.89	a	6.85	a
		Finale	7.72	a	7.69	a	8.15	a

Tab. 5.9 - Valori medi delle analisi fisico-chimiche dei frutti campione delle tre tesi.

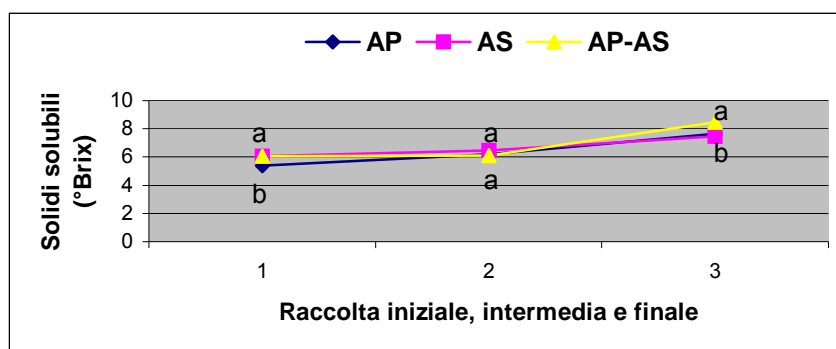


Fig. 5.22 - Contenuto in solidi solubili nei frutti campione.

Sui dati raccolti è stata effettuata un'analisi di varianza (ANOVA) ed in caso di significatività è stato applicato il *test* per confronti multipli (separazione delle medie) di Student-Neuman-Keuls (SNK). Da tali procedure statistiche si evince che la qualità dell'acqua usata per l'irrigazione non ha effetti significativi sulla produzione delle prime cinque raccolte mentre l'influenza diventa significativa sulla produzione cumulata a partire da 134-152 e 158-167 giorni dal trapianto (Fig. 5.19). In particolare, la produzione cumulata totale alla fine della periodo di raccolta è stata significativamente più elevata per la tesi irrigata con acqua piovana rispetto sia alla tesi irrigata con acqua salmastra sia a quella mista. Tra queste ultime due, invece, non c'è alcuna differenza significativa durante tutto il periodo di raccolta. Anche il peso medio dei frutti raccolti nella tesi irrigata con acqua piovana è significativamente più elevato rispetto alle altre due tesi che mostrano solo lievi differenze tra loro (Fig. 5.20). Da notare che, in tutte le tre tesi, il peso medio dei frutti è più elevato all'inizio del periodo di raccolta e diminuisce gradatamente fino all'ultima raccolta. Per quanto riguarda il numero medio cumulato di frutti, durante tutto il periodo di raccolta, si rileva solo qualche differenza significativa nel numero medio di frutti della tesi irrigata con acqua salmastra rispetto alle altre due tesi, in particolare a 104 gg, a 144 gg e a 167 gg dal

trapianto (Fig. 5.21). Per quanto concerne le analisi fisico-chimiche l'analisi dei risultati non ha evidenziato differenze significative tra le tre tesi relativamente a: consistenza, acidità titolabile, glucosio, fruttosio e residuo secco, mentre per i solidi solubili totali la tesi Acqua piovana ha una differenza significativa (valori più bassi) nella raccolta iniziale rispetto alla tesi Acqua salmastra che però non è significativa rispetto alla tesi mista. Nella raccolta intermedia non esiste alcuna differenza significativa tra le tre tesi mentre nella raccolta finale la tesi mista ha una differenza significativa rispetto alle altre due tesi, tra le quali tuttavia la differenza non è significativa (Fig. 5.22).

Melone

I risultati della produzione quantitativa, in termini di peso totale di frutti raccolti (Fig. 5.23) in ogni parcella (500 m²) relativa ad ogni singola tesi, sono riportati nella Tabella 5.10 e in Figura 5.24. Il peso medio dei 10 frutti campione per ognuna delle tre repliche di ogni tesi descritte precedentemente sono riportati nella Tabella 5.11 e in Figura 5.25. Le Caratteristiche dei frutti campione di melone delle tre tesi e relative repliche sottoposte ad analisi qualitative sono riportate nella Tabella 5.12. Nella Tabella 5.13, invece, sono riportati i valori medi delle caratteristiche qualitative di ogni singola tesi e dell'ANOVA e *test* SNK effettuati.



Fig. 5.23 - Frutti campione da analizzare.

TESI	Qli/500m ²
AP	14
AS	11
AP-AS	13

Tab. 5.10 - Produzione complessiva di melone.

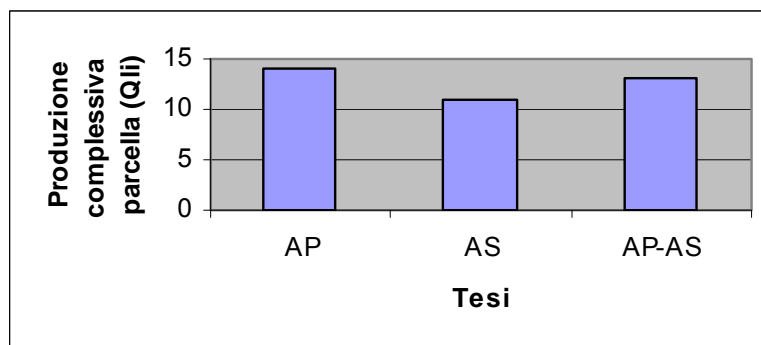


Fig. 5.24 - Produzione complessiva di melone.

Tesi/Repliche	1	2	3	Totale
AP	2.285	2.245	1.516	6.046
AS	1.273	1.925	1.075	4.273
AP-AS	1.595	1.53	1.782	4.907

Tab. 5.11 - Peso medio dei 10 frutti campione pesati (kg).

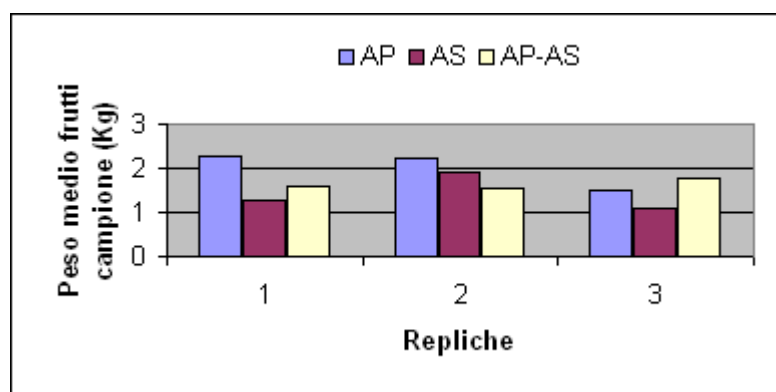


Fig. 5.25 - Peso medio dei 10 frutti campione pesati (kg).

Caratteristiche/Tesi	Acqua Piovana (AP)				Acqua Salmastra (AS)				Mista (AP-AS)			
	Repliche				Repliche				Repliche			
	1	2	3	Media	1	2	3	Media	1	2	3	Media
Peso fresco (g)	2236	2195	1473	1968.0	1845.0	1029.0	1209.0	1361.0	1706.0	1477.0	1529.0	1570.7
Lunghezza frutto (cm)	17.8	17.9	14.2	16.6	15.8	12.5	13.9	14.1	15.8	14.6	15.3	15.2
Larghezza frutto (cm)	15.5	15.7	13.9	15.03	15.1	12.7	13.6	13.8	15.3	14.7	13.7	14.6
Spessore epicarpo (cm)	0.6	0.4	0.5	0.50	0.7	0.5	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4
Spessore polpa media (cm)	4.2	4.5	3.8	4.1	2.8	2.7	3.2	2.9	3.5	3.1	4.3	3.6
Lunghezza cavità (cm)	11.8	12.2	9.2	11.1	11.7	8.5	9.0	9.7	11.2	9.7	9.2	10.0
Larghezza cavità (cm)	6.6	7.1	6.2	6.6	8.5	7.3	6.7	7.5	8.2	7.9	4.5	6.9
Indice rifrattometrico (°Brix)	14.44	13.42	13.52	13.8	14.3	15.4	15.2	15.0	14.2	13.9	14.9	14.3
Sostanza secca (%)	14.59	13.66	12.92	13.7	14.1	14.9	14.9	14.6	13.8	14.4	14.6	14.3
Peso secco (g)	326.29	299.76	190.26	272.1	259.7	153.5	180.7	198.0	235.9	212.8	223.3	224.0
Colore epicarpo L*	60.65	59.38	59.59	59.9	60.1	59.6	57.7	59.1	59.0	59.6	64.7	61.1
Colore epicarpo a*	1.07	0.62	1.27	1.0	0.4	2.0	2.8	1.7	-0.8	0.6	2.3	0.7
Colore epicarpo b*	18.22	18.44	14.96	17.2	18.04	20.56	17.32	18.6	19.4	14.67	18.1	17.4
Colore polpa L*	53.48	53.04	61.56	56.0	55.16	59.26	56.98	57.1	58.7	57.29	60.95	58.97
Colore polpa a*	12.03	11.99	13.65	12.6	12.72	11.82	11.06	11.89	14.6	15.38	14.49	14.83
Colore polpa b*	26.76	24.2	29.95	21.0	25.49	26.57	23.53	25.2	31.5	31.96	31.04	31.50

Tab. 5.12 - Caratteristiche qualitative dei frutti campione di melone.

Caratteristiche³/Tesi	Acqua Piovana (AP)	Acqua Salmastra (AS)	Mista (AP-AS)
Peso fresco (g)	1968,0 a	1361,0 a	1570,7 a
Peso secco (g)	272,1 a	198,0 a	224,0 a
Sostanza secca (%)	13,7 a	14,6 a	14,3 a
Lunghezza Frutto (cm)	16,6 a	14,1a	15,2a
Larghezza frutto (cm)	15,0a	13,8a	14,6a
Spessore epicarpo (cm)	0,5 a	0,5 a	0,4 a
Spessore polpa (cm)	4,1b	2,9a	3,6ab
Lunghezza cavità (cm)	11,1a	9,7a	10,0a
Larghezza cavità (cm)	6,6a	7,5a	6,9a
Indice rifrattometrico (° Brix)	13,8a	15,0a	14,3a
Colore epicarpo L*	59,9a	59,1a	61,1a
Colore epicarpo a*	1,0a	1,7a	0,7a
Colore epicarpo b*	17,2a	18,6a	17,4a
Colore polpa L*	56,0a	57,1a	59,0a
Colore polpa a*	12,6a	11,9a	14,8b
Colore polpa b*	27,0a	25,2a	31,5b

Tab. 5.13 - *Test* statistico SNK delle caratteristiche qualitative dei frutti campione di melone.

Dai risultati su esposti si evince che, come per il pomodoro, anche per il melone la tesi irrigata con acqua piovana ha avuto la maggiore produzione ma le differenze non sono significative. Per quanto riguarda invece la tesi mista (AP-AS), contrariamente al pomodoro, la produzione ha un valore intermedio tra la tesi irrigata con acqua piovana (AP) e quella irrigata con acqua salmastra (AS). Questa ultima nel caso del melone ha avuto la produzione più bassa. Anche i pesi medi dei frutti hanno avuto lo stesso andamento. Per quanto concerne le caratteristiche qualitative dei frutti sono stati determinati: il peso fresco e secco, la sostanza secca, la lunghezza e larghezza del frutto, lo spessore di epicarpo e polpa, la lunghezza e larghezza della cavità, il colore di epicarpo e polpa ed l'indice rifrattometrico in gradi Brix. Tuttavia, le differenze fra le tre tesi sono apparse molto modeste e quasi mai significative

³ Media dei valori delle tre ripetizioni.

all'analisi della varianza (*Test* di Student-Newman-Keuls, $P=0,05$). Le uniche differenze significative si sono avute per spessore polpa e parametri cromatici della polpa stessa (Tab. 5.13), alla componente a (asse verde-rosso) e b (asse giallo-blu). Pur con i limiti sopra indicati (per il numero delle repliche e per la necessità di una raccolta anticipata dei frutti), i risultati per il peso fresco, il peso secco e lo spessore della polpa danno un'indicazione positiva per la tesi irrigata con acqua piovana. Per l'indice rifrattometrico (rappresentativo del contenuto in zuccheri) invece, come per il pomodoro, i risultati indicano un valore più elevato per la tesi irrigata con acqua salmastra.

5.4 Conclusioni

Dai risultati precedentemente esposti si possono trarre le seguenti conclusioni.

- Il metodo aziendale di alternare acqua salmastra e acqua piovana negli interventi irrigui rappresenta una misura di mitigazione degli effetti dell'irrigazione solo con acqua salmastra, ma è legata alla capacità aziendale di raccogliere ed invasare acqua piovana;
- L'utilizzazione dell'acqua piovana, raccolta dai tetti delle serre, per uso irriguo può essere considerata una migliore tecnica per incrementare e migliorare la produzione di alcune colture ortive anche se tale tecnica è dipendente dalle condizioni climatiche della zona ed in particolare dalla pluviometria dell'annata;
- L'indagine effettuata può essere considerata positiva e sarebbe opportuno proseguirla con mezzi finanziari adeguati per adottare uno schema di sperimentazione più rigoroso.

Si ringrazia il sig. Giuseppe Cammilleri, proprietario dell'azienda che ha consentito lo svolgimento dell'indagine sperimentale, collaborando con grande entusiasmo e squisita disponibilità.

Si ringraziano il Prof. G. Restuccia e il Prof. L. Cosentino del Dipartimento di Scienze Agronomiche Agrochimiche e Produzioni Animali (DACPA) - Sez. Scienze Agronomiche, Università degli Studi di Catania, per i suggerimenti e l'aiuto dato nelle elaborazioni statistiche dei risultati relativi al pomodoro.

Si ringraziano il Prof. G. La Malfa, la Prof.ssa D. Romano ed il Dott. Argento del Dipartimento di Ortofloroorboricoltura e Tecnologie Agroalimentari (DOFATA) - Sez. Ortofloricoltura, Università degli Studi di Catania, per le analisi effettuate sulle caratteristiche qualitative dei frutti campione di melone e per le relative elaborazioni statistiche, eseguite presso detta Sezione.

Capitolo 6 - Il ruolo della forestazione nella mitigazione dei processi di desertificazione

Prof. F. Maetzke

Dipartimento di Colture Arboree- DCA, Università degli Studi di Palermo

6.1. Area di studio

Il bacino idrografico del Fiume Imera meridionale, o Salso, rappresenta il secondo corso d'acqua della Sicilia, sia per l'ampiezza del bacino che per la lunghezza dell'asta principale. Si localizza nella porzione centrale del versante meridionale dell'Isola e ha una forma allungata in senso N-S, occupando una superficie complessiva poco superiore a 2000 km² (Fig. 6.1). Confina ad Est con i bacini idrografici del Fiume Simeto e del Fiume Gela, ad Ovest con quelli del Fiume Platani, del Fiume Naro e del Fiume Palma, a Nord con quelli del Fiume Imera settentrionale e del Fiume Pollina.

Da un punto di vista amministrativo, il bacino del Fiume Imera meridionale si estende nei territori delle province di Agrigento, Caltanissetta, Enna e Palermo, mentre ricadono totalmente o parzialmente in esso 23 centri abitati: Campobello di Licata, Licata, Ravanusa, Caltanissetta, Delia, Mazzarino, Riesi, Resuttano, San Cataldo, Santa Caterina Villarmosa, Barrafranca, Calascibetta, Enna, Pietraperzia, Villarosa, Alimena, Blufi, Bompietro, Castellana Sicula, Gangi, Petralia Soprana e Petralia Sottana (Fig. 6.2).



Fig. 6.1 - Localizzazione geografica del Fiume Imera meridionale.

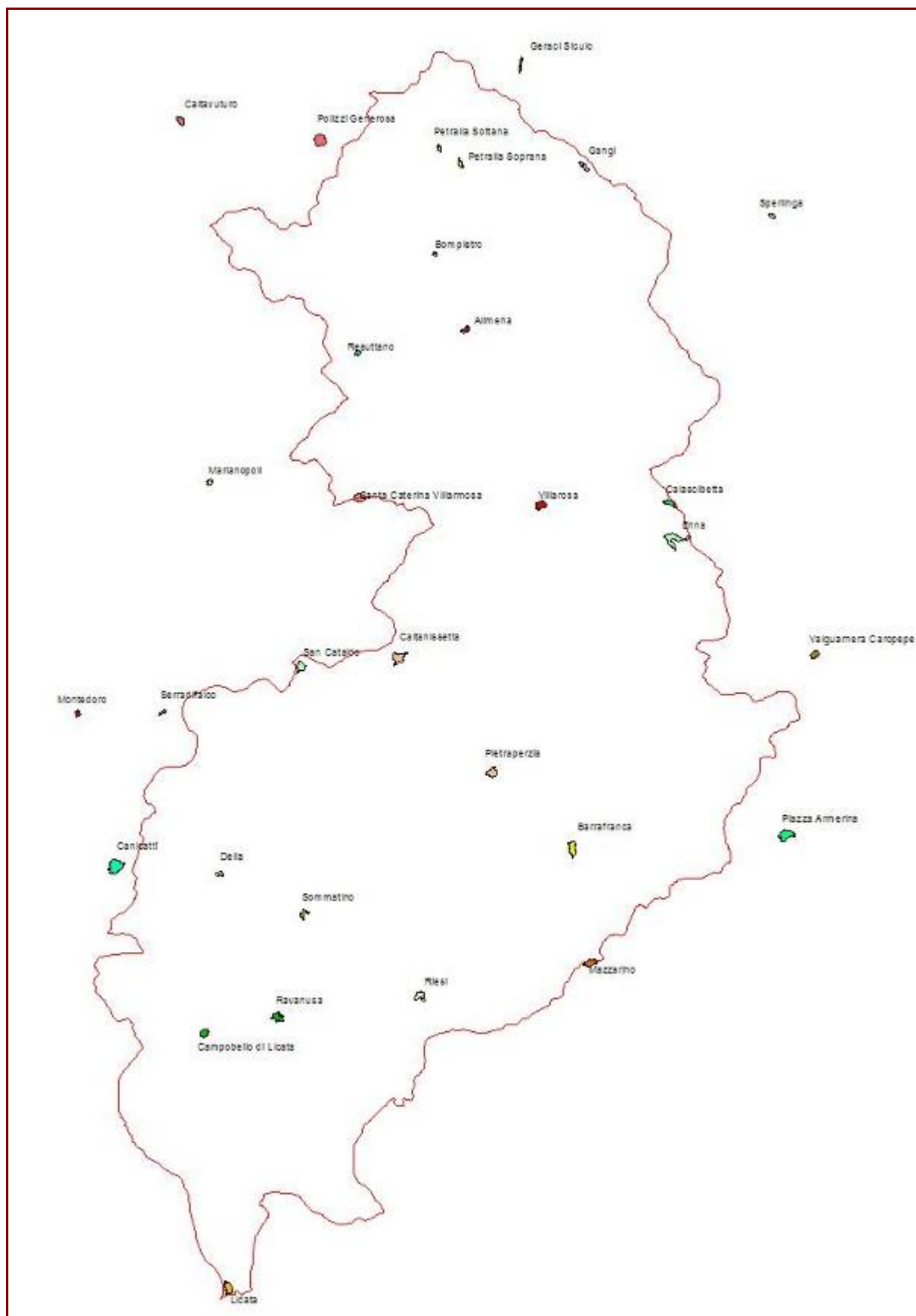


Fig. 6.2 - Localizzazione dei centri abitati all'interno ed intorno al bacino del fiume Imera meridionale.

All'interno del bacino si incontrano le dighe Morello, Olivo e Gibbesi derivanti rispettivamente dallo sbarramento del Fiume Morello, del Torrente Olivo e del Fiume Gibbesi. Sono presenti, inoltre, 4 aree minerarie per lo sfruttamento di sali potassici ormai dismesse: S. Caterina I, Corvillo, Sambuco - Casazze e Pasquasia.

Il bacino comprende anche numerose aree protette tra riserve regionali, siti Natura 2000 e una porzione del Parco delle Madonie: in provincia di Caltanissetta, la R.N.O. Monte Capodarso e Valle dell'Imera, R.N.I. geologica di C.da Scalera e i S.I.C. C.da Caprara, Monte Capodarso e Valle dell'Imera, T. Vaccarizzo; in provincia di Enna, la R.N.O. Monte Altesina, R.N.O. Rossomanno - Grottascura Bellia e il S.I.C. V.ne Rossomanno - Boschi di Piazza Armerina - Serre di Monte Cannarella - Monte Altesina; in quella di Palermo, il Parco delle Madonie, i S.I.C. Complesso calanchivo di Castellana Sicula - Monte San Calogero (Gangi) - Rocche di Entella - Monte San Salvatore, Monte Catarineci e Vallone Mandarinini (Fig. 6.3).

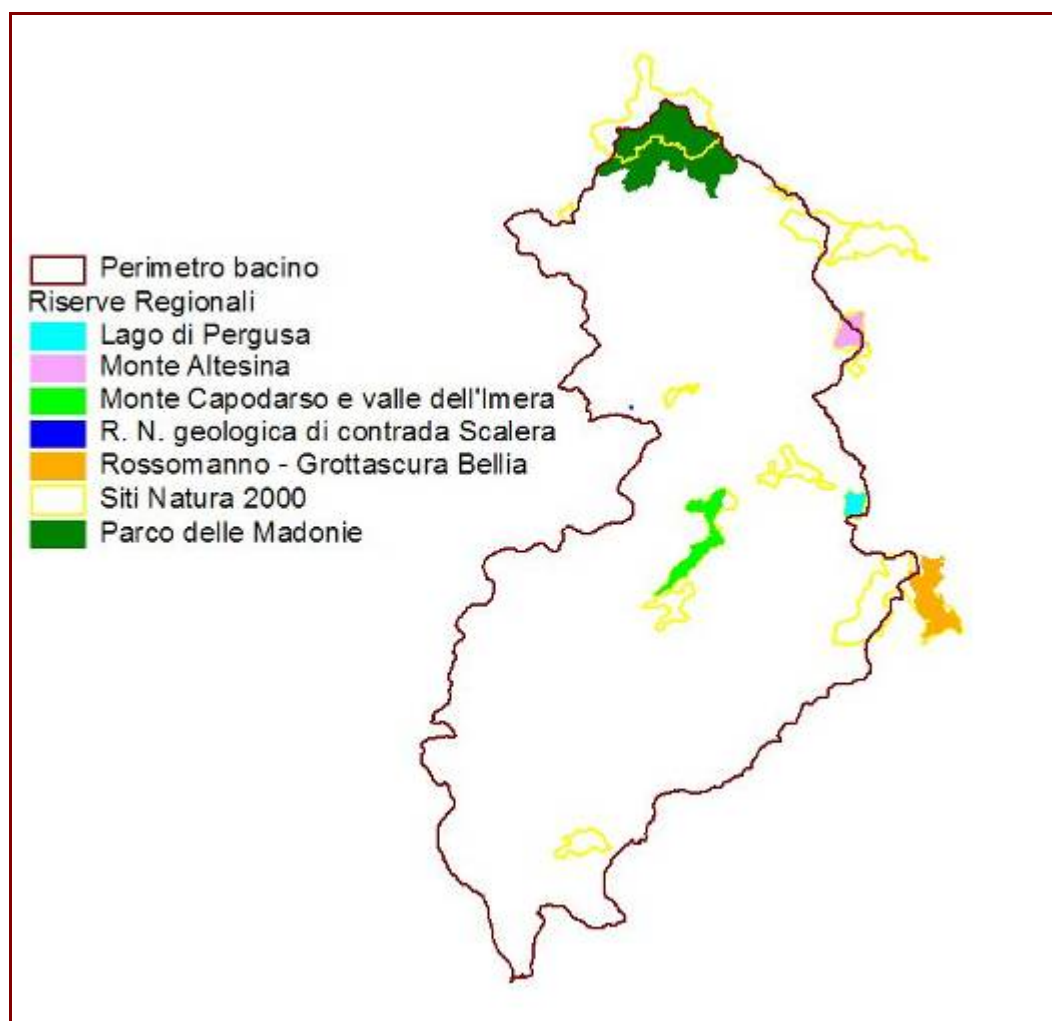


Fig. 6.3 - Localizzazione delle aree protette all'interno del bacino.

L'analisi e l'interpretazione delle caratteristiche di uso del suolo dell'area in studio sono state realizzate avvalendosi del sistema europeo di classificazione del suolo *Corine Land Cover* approfondito al 4° livello. I paesaggi sono quelli tipici della collina interna siciliana in cui dominano i seminativi (frumento, leguminose da granella e foraggere varie) che occupano i terreni a matrice prevalentemente argillosa, ove spesso è deficitaria la disponibilità idrica, per una superficie poco superiore ai 110.000 ettari, pari al 55% circa di quella complessiva del bacino. Si riscontrano su estensioni limitate, soprattutto in prossimità dei centri abitati, oliveti e mandorleti spesso frammisti a piante di carrubo, fico e pistacchio. La vite in coltura specializzata domina nel tratto terminale del bacino, mentre trovano una maggiore diffusione le colture legnose agrarie miste (olivo-mandorlo, vite-olivo). Ad Est della piana di Licata, è presente un'ampia area irrigua destinata alla coltivazione di piante orticole (peperoni, pomodori, zucchine, ecc.) in coltura protetta (*tunnels* e serre), mentre i cosiddetti mosaici culturali, aree destinate a diverse coltivazioni riconducibili a orti familiari con presenza di piante arboree e ortive, sono presenti a macchia di leopardo su tutta la superficie del bacino. In ambiti molto circoscritti, invece, confinati su substrati alquanto aridi (es. pareti rocciose, piccoli promontori ben esposti, versanti ripidi con notevole erosione, ecc.) si possono riscontrare gli aspetti tipici di gariga e della macchia mediterranea come l'ampelodesma, gli oleandri, l'euforbia, l'asfodelo, il timo, il cisto, la palma nana, l'olivastro, la rosa canina, ecc. Le aree destinate ai pascoli rappresentano, invece, circa il 10% della superficie complessiva del bacino.

Le aree boscate sono molto limitate, spesso fortemente degradate, ed occupano una superficie poco superiore ai 5000 ettari (2.5% circa): si tratta per lo più di boschi a prevalenza di querce sempreverdi (leccio, sughera) o altre latifoglie (roverella, eucaliptus, ecc.) e di rimboschimenti a prevalenza di conifere (pini mediterranei, cipressi, ecc.). Sono presenti, infine, soprattutto nella parte centromeridionale del bacino, diversi impianti artificiali di noce, ciliegio, robinia, olivastro, eccetera, per scopi produttivi, risultato dell'attività di forestazione promossa e finanziata dalla Comunità Europea.

Infine, meritano un cenno le diffuse aree calanchive, prive di vegetazione a causa dell'intensa attività erosiva a cui sono sottoposte, e la vegetazione ripariale che si sviluppa a ridosso dei corsi d'acqua e in prossimità delle zone umide. In Tabella 6.1 è, infine, riportata la classificazione del territorio del bacino a scala 1:100000 nelle classi di legenda CLC e la loro distribuzione sia in termini superficiali che percentuali.

CLC		Superficie	
		ha	%
Insedimento continuo	111	2193.90	1.08
Insedimento discontinuo	112	1413.66	0.70
Insedimento industriale, commerciale	121	282.69	0.14
Aree portuali	123	4.43	0.00
Aree estrattive	131	421.28	0.21
Aree ricreative e sportive	142	34.88	0.02
Totale		4350.84	2.14
Vigneti	221	6324.55	3.12
Frutteti	222	398.75	0.20
Oliveti	223	13383.99	6.59
Colture temporanee associate colture permanenti	241	5525.61	2.72
Sistemi colturali e particellari complessi	242	9847.30	4.85
Aree prevalentemente occupate da colture agrarie	243	3555.03	1.75
Colture intensive	2111	106928.10	52.67
Colture estensive	2112	3474.35	1.71
Totale		149437.66	73.60
Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	332	487.62	0.24
Aree con vegetazione rada	333	1274.66	0.63
Totale		1762.28	0.87
Brughiere e cespuglieti	322	6178.48	3.04
Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva	324	539.80	0.27
Boschi a prevalenza di querce e altre latifoglie sempreverdi	3111	2725.81	1.34
Boschi a prevalenza di querce caducifoglie	3112	426.85	0.21
Boschi a prevalenza di castagno	3114	109.62	0.05
Boschi a prevalenza di faggio	3115	141.21	0.07
Boschi ed ex piantagioni di latifoglie esotiche	3117	3947.35	1.94
Boschi a prevalenza di pini mediterranei e cipressi	3121	175.14	0.09
Boschi ed ex piantagioni di conifere esotiche	3125	32.77	0.02
Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di querce sempreverdi	31311	43.54	0.02
Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di pini e cipressi	31321	214.38	0.11
Totale		14534.95	7.16
Praterie continue	3211	16419.31	8.09
Praterie discontinue	3212	4872.32	2.40
Totale		21291.62	10.49
Macchia alta	3231	2109.58	1.04
Macchia bassa e garighe	3232	9267.81	4.56
Totale		11377.39	5.60
Bacini d'acqua	512	271.85	0.13
Totale		203026.58	100.00

Tab. 6.1 - Classi di uso del suolo secondo la classificazione CLC e relative superfici investite del bacino dell'Imera meridionale a scala 1:100000.

6.2 Risorse forestali all'interno dell'area di studio

Come prima esposto, le risorse forestali del bacino del Fiume Imera meridionale sono alquanto limitate e occupano una superficie poco superiore ai 5000 ettari pari al 2.5% circa della superficie complessiva. All'interno dell'area ricadono, tuttavia, numerose aree naturali protette tra le quali una porzione del Parco Regionale delle Madonie, varie riserve naturali, Siti di Importanza Comunitaria - SIC (Direttiva Habitat 92/43/EEC, adottata in Italia con la legge 357/97) e Zone di Protezione Speciale - ZPS (Direttiva Uccelli 79/409/EEC, adottata in Italia con la legge 157/92).

L'analisi delle aree protette e del patrimonio forestale attualmente presente in esse è stata condotta attraverso il sistema europeo di classificazione del suolo Corine Land Cover approfondito al 4° livello.

Il versante meridionale delle Madonie è lo spartiacque settentrionale del bacino nonché il luogo in cui nasce il Fiume Imera meridionale (Fig. 6.4).

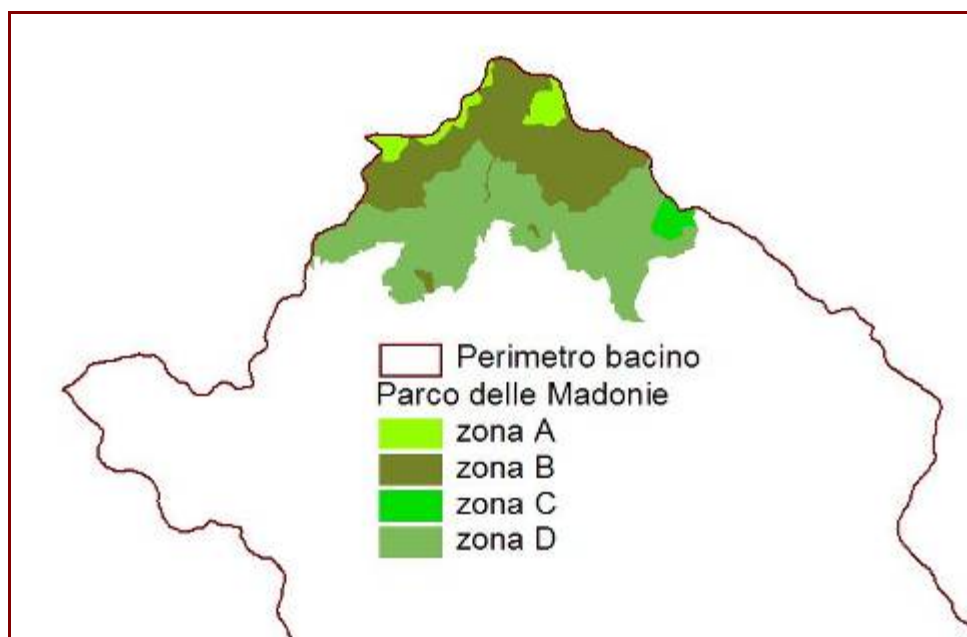


Fig. 6.4 - Localizzazione del Parco delle Madonie e zonizzazione del parco.

In questa porzione del parco dominano gli aspetti di vegetazione ad oleastro, euforbie, rosa canina, ferula, ampelodesma, oleandro, orchidee, eccetera, le praterie intervallate da boschi a prevalenza di querce sempreverdi come la sughera e il leccio ma anche in maniera discontinua querceti caducifogli a roverella e cespuglieti. Nell'estremità settentrionale del bacino, ad una quota superiore ai 1800 m s.l.m., si localizzano, invece, le faggete (Fig. 6.5).

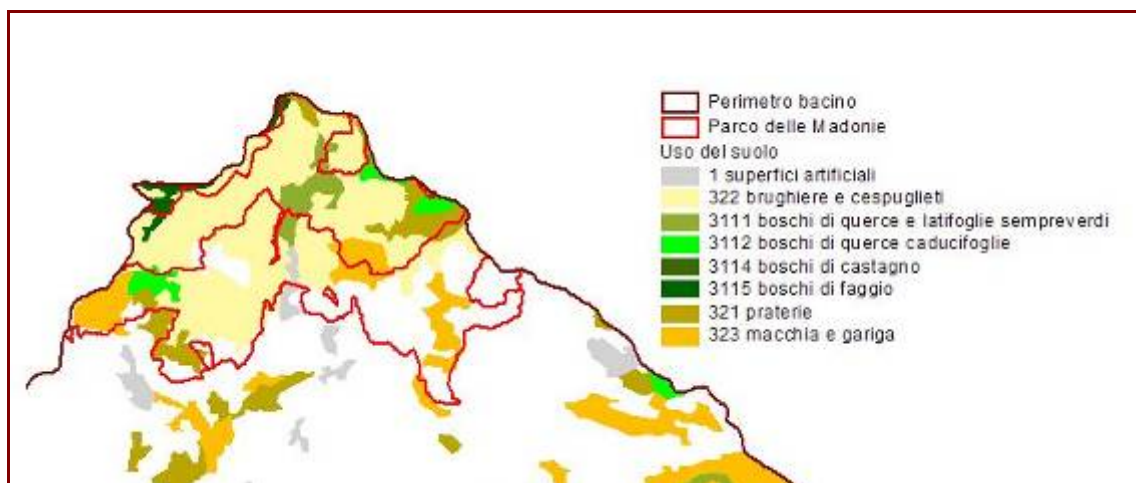


Fig. 6.5 - Uso del suolo del Parco delle Madonie.

Nella parte centrale del bacino si localizzano, invece, le seguenti riserve naturali:

- R.N.O “Monte Altesina” istituita nel 1997, ricade nei territori comunali di Nicosia e Leonforte (EN) ed è gestita dall’Azienda Foreste Demaniali;
- R.N.I geologica di “Contrada Scalera” istituita nel 1997, ricade nel comune di Santa Caterina Villarmosa (CL) e viene gestita dalla provincia di Caltanissetta;
- R.N.O “Monte Capodarso e Valle dell’Imera” istituita nel 1999, ricade nei territori comunali di Caltanissetta, Enna e Pietraperzia ed è gestita da Italia Nostra;
- R.N.S “Lago di Pergusa” istituita nel 1995, ricade nel comune di Enna ed è gestita dalla provincia di Enna;
- R.N.O “Rossomanno - Grottascura Bellia” istituita nel 2000, ricade nei territori comunali di Enna, Piazza Armerina e Aidone ed è gestita dall’Azienda FF.DD.

L’analisi delle classi di uso del suolo *Corine Land Cover*, definisce un quadro vegetazionale alquanto povero. Le formazioni forestali di maggior rilievo si trovano nella R.N.O “Monte Altesina” (700 - 1200 m s.l.m.) in cui i boschi a prevalenza di querce e latifoglie sempreverdi (leccio, sughera, ecc.) si alternano a formazioni di macchia bassa e gariga; confinati nella parte settentrionale e nell’estremità meridionale della R.N.O “Monte Capodarso e Valle dell’Imera” alla quota di 600-800 m s.l.m. ritroviamo brughiere e cespuglieti, praterie continue, aree a vegetazione di sclerofille e aspetti di macchia alta, boschi ed *ex* piantagioni a prevalenza di latifoglie esotiche (robinia e ailanto), nella parte centrale (200-500 m s.l.m.) trovano spazio le colture intensive ed estensive, gli oliveti e aree con vegetazione arbustiva e boschiva; meritano un cenno i boschi ed *ex* piantagioni a prevalenza di conifere esotiche che insistono nella parte meridionale (600-800 m s.l.m.) della R.N.S “Lago di Pergusa” (Fig. 6.6).

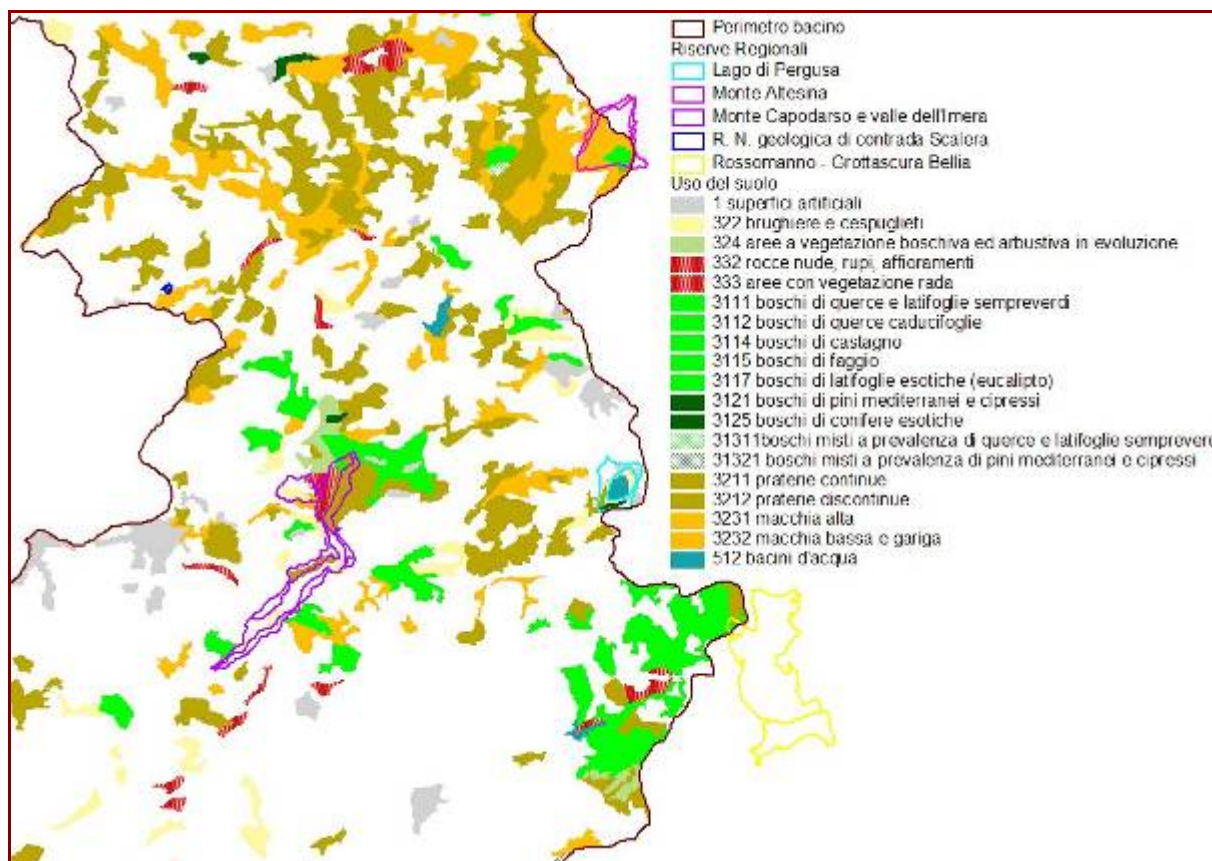


Fig. 6.6 - Localizzazione ed uso del suolo delle Riserve Naturali ricadenti nel bacino.

Alle suddette aree naturali protette si aggiungono i seguenti Siti Natura 2000 (SIC e ZPS) (Fig. 6.7):

- SIC “Monte S.Salvatore, M. Catarineci, V.ne Mandarinini, Ambienti Umidi” esteso circa 5700 ettari e ricadente nei territori comunali di Petralia Soprana, Petralia Sottana, Gangi, Polizzi Generosa e Castellana Sicula;
- SIC “Monti di Piazza Armerina” esteso 4400 ettari e ricadente nei comuni di Enna, Aidone e Piazza Armerina;
- SIC “Pizzo Muculufa” esteso 798 ettari e ricadente nei comuni di Ravanusa e Butera;
- SIC “Contrada Caprara” esteso circa 830 ettari e ricadente nel territorio comunale di Pietraperzia;
- SIC “Monte Capodarso e Valle dell’Imera” esteso circa 1730 ettari e ricadente nei comuni di Enna, Caltanissetta e Pietraperzia;
- SIC “Serre di M. Cannarella” esteso 910 ettari e ricadente nel comune di Enna;
- SIC “Torrente Vaccarizzo” esteso circa 190 ettari e ricadente nei comuni di Alimena e Santa Caterina Villarmosa;

- SIC “M. Altesina” esteso 1140 ettari e ricadente nei comuni di Nicosia, Leonforte e Calascibetta;
- SIC “M. S.Calogero” esteso 1770 ettari e ricadente nei comuni di Gangi e Sperlinga;
- SIC “Bosco di Sperlinga, Alto Salso” esteso 1760 ettari e ricadente nei comuni di Sperlinga e Nicosia;
- SIC “Rocche di Entella” esteso 195 ettari e ricadente nel comune di Gangi;
- SIC “Complesso Calanchivo di Castellana Sicula” esteso circa 140 ettari ricadente nel comune omonimo;
- ZPS “Lago di Pergusa” esteso circa 430 ettari ricadente nel comune di Enna.

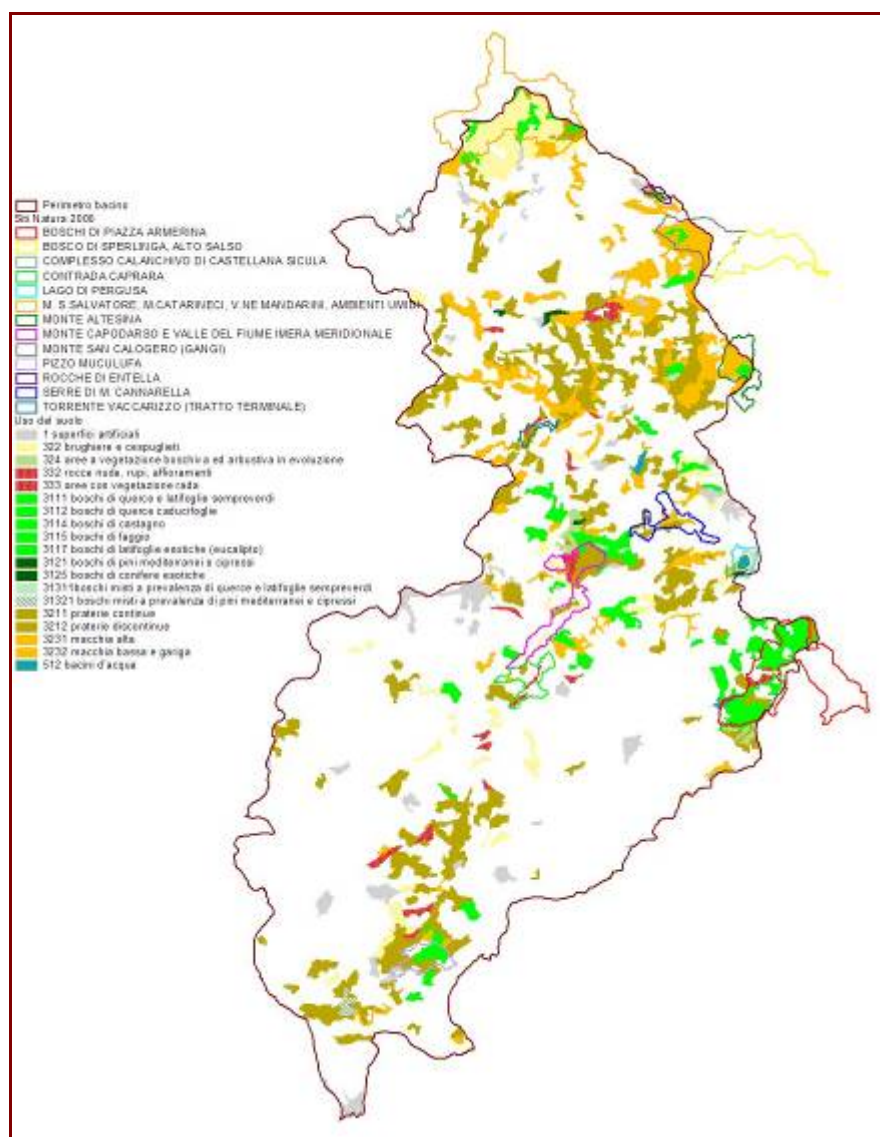


Fig. 6.7 - Localizzazione ed uso del suolo dei Siti Natura 2000 all'interno del bacino.

Queste basi conoscitive rappresentano il primo inquadramento delle risorse forestali all'interno dell'intero bacino in esame, l'insieme delle aree forestali e preforestali sia interne sia esterne alle aree protette, su cui saranno mirata le successive indagini di maggior dettaglio sugli aspetti compositivi, strutturali e funzionali dei sistemi forestali.

6.3 Risultati

Concordemente con gli obiettivi del presente studio, ed in relazione a quanto definito sopra, nel seguente capitolo è presentata la carta dell'uso del suolo del territorio del bacino del Fiume Imera meridionale a scala 1:25.000 derivante dall'attività di implementazione della stessa a scala 1:100.000 e sono analizzati dettagliatamente i principali sistemi forestali e preforestali ricadenti nel bacino stesso. Infine, per tali risorse sono formulate una serie di linee di intervento e di gestione mirate ad un aumento della loro biodiversità, ad una gestione sostenibile e alla mitigazione dei fenomeni di desertificazione.

6.3.1 Carta dell'uso del suolo a scala 1:25.000

L'attività di fotointerpretazione ha consentito la perimetrazione, la localizzazione geografica, la classificazione dell'uso del suolo e la stima delle superfici interessate dalle diverse unità di compartimentazione nonché la stratificazione delle formazioni forestali e preforestali, secondo il sistema di classificazione europeo *Corine Land Cover* approfondito al IV e V livello gerarchico (Allegato 6.1). Di seguito, è riportato un quadro sintetico della classificazione del territorio del bacino nelle classi di legenda CLC e la loro distribuzione superficiale (Tab. 6.2).

<i>CLC</i>		<i>Superficie</i>	
		<i>ha</i>	<i>%</i>
Insedimento continuo	111	1719.1	0.793
Insedimento discontinuo	112	2056.2	0.948
Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati	121	296.2	0.137
Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche	122	6.3	0.003
Aree portuali	123	8.0	0.004
Aree estrattive	131	136.1	0.063
Aree ricreative e sportive	142	9.7	0.004
Totale		4231.5	1.95
Colture intensive	2111	88465.0	40.798
Colture estensive	2112	20804.9	9.595

<i>CLC</i>		<i>Superficie</i>	
		<i>ha</i>	<i>%</i>
Seminativi in aree irrigue	212	72.8	0.034
Vigneti	221	5682.0	2.620
Frutteti	222	209.9	0.097
Oliveti	223	10178.6	4.694
Colture temporanee associate a colture permanenti	241	5027.2	2.318
Sistemi colturali e particellari complessi	242	24578.5	11.335
Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali importanti	243	4273.9	1.971
Aree agroforestali	244	291.1	0.134
Totale		159583.8	73.6
Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	332	47.4	0.022
Aree con vegetazione rada o assente	333	2229.2	1.028
Totale		2276.6	1.05
Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	324	2410.1	1.111
Arbusteti termofili	3222	15711.1	7.246
Boschi a prevalenze di querce e altre latifoglie sempreverdi	3111	506.7	0.234
Boschi a prevalenze di querce caducifoglie	3112	444.9	0.205
Boschi a prevalenza di castagno	3114	48.7	0.022
Boschi a prevalenza di faggio	3115	197.6	0.091
Boschi ed ex piantagioni di latifoglie esotiche	3117	5364.9	2.474
Boschi a prevalenza di pini mediterranei e cipressi	3121	729.0	0.336
Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di latifoglie esotiche	31317	1941.5	0.895
Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di pini mediterranei e cipressi	31321	678.8	0.313
Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di pini oro-mediterranei e montani	31322	110.3	0.051
Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di conifere esotiche	31325	36.2	0.017
Totale		28179.6	13.00
Praterie continue	3211	14061.0	6.485
Praterie discontinue	3212	7348.5	3.389
Totale		21409.5	9.87
Corsi d'acqua, canali e idrovie	511	897.1	0.414
Bacini d'acqua	512	236.7	0.109
Mari (foce del Fiume Imera meridionale)	523	20.9	0.010
Totale		216835.7	100.00

Tab. 6.2 -. Classi di uso del suolo secondo la classificazione CLC e relative superfici investite del bacino dell'Imera meridionale a scala 1:25000.

L'analisi dei dati mostra come l'area più estesa è identificata dalle superfici agricole che si estendono abbondantemente per oltre la metà della superficie totale del bacino (73.6%) e si localizzano prevalentemente nella porzione meridionale e centro-settentrionale dello stesso (Allegato 6.2). Si tratta per buona parte dei paesaggi tipici della collina interna siciliana in cui dominano i seminativi in aree non irrigue (frumento, leguminose da granella e foraggiere varie) che occupano i terreni a matrice prevalentemente argillosa, per una superficie poco inferiore ai 110.000 ettari, pari al 50% circa di quella complessiva del bacino (Fig. 6.8). Per la restante parte, si riscontrano su estensioni limitate, soprattutto in prossimità dei centri

abitati, oliveti e mandorleti spesso frammisti a piante di carrubo, fico e pistacchio. La vite in coltura specializzata domina nel tratto terminale del bacino, mentre trovano una maggiore diffusione le colture legnose agrarie miste (olivo-mandorlo, vite-olivo). La parte terminale del bacino, in corrispondenza dell'ampia area irrigua quale è la piana di Licata, è destinata invece alla coltivazione prevalente di piante orticole (peperoni, pomodori, zucchine, ecc.) in coltura protetta (*tunnels* e serre). Sono, infine, presenti a macchia di leopardo su tutta la superficie del bacino e in particolare in prossimità dei centri abitati, i cosiddetti mosaici colturali o sistemi colturali e particellari complessi (11.3%), cioè aree destinate a diverse coltivazioni riconducibili a orti familiari con presenza di piante arboree e ortive.



Fig. 6.8 - Paesaggio agrario tipico dell'entroterra siciliano e della matrice del paesaggio del bacino dell'Imera meridionale.

Le superfici forestali e preforestali sono piuttosto limitate, occupano una superficie poco superiore ai 28000 ettari pari al 13% di quella complessiva del bacino e si localizzano soprattutto in corrispondenza delle aree naturali protette, Parco Regionale delle Madonie, Riserve, SIC e ZPS (Allegato 6.3). Il dato più rilevante è la superficie coperta dagli arbusteti termofili, stimata in oltre 15000 ettari (7.2%). Questa classe racchiude gran parte della vegetazione preforestale presente nel bacino: tipici esempi sono i consorzi di mantello a *Crataegus* e *Rubus* sp. pl., *Spartium junceum*, *Calicotome infesta*, eccetera, e tutti gli aspetti

di vegetazione ripariale a *Tamarix* sp. pl., *Nerium oleander*, *Salix* e *Populus* sp. pl., presenti lungo il Fiume Imera meridionale e gli altri corsi d'acqua suoi affluenti.

Gli aspetti prettamente forestali sono dominati, invece, dai rimboschimenti a prevalenza di latifoglie esotiche (eucalipteti) che si estendono per oltre 5000 ettari, pari a circa il 2.5% della superficie complessiva del bacino, e da impianti misti di latifoglie e conifere a prevalenza di eucalipti o di pini mediterranei (pino d'Aleppo, pino domestico) e cipressi. Si tratta di impianti nati nel secondo dopoguerra per far fronte alla necessità di rimboschire zone a forte rischio idrogeologico. La scelta di queste specie, molto comuni in tutta l'isola, è da attribuire alla capacità di colonizzare terreni difficili (argillosi e sterili), alla rapidità di affermazione e di crescita, alle supposte elevate potenzialità produttive. Questo ha comportato, pertanto, la incondizionata diffusione di tali specie considerate frugali, produttive e facilmente adattabili ad ambienti diversi. Completano il quadro, i boschi a prevalenza di querce sempreverdi (leccio, sughera), di querce caducifoglie (roverella, rovere), di altre latifoglie (castagno, faggio) o di conifere (pini mediterranei, pini oro-mediterranei e montani, cipressi) i quali occupano una superficie molto ridotta (1% circa) e si localizzano per la gran parte nella parte settentrionale del bacino, all'interno dei confini meridionali del Parco Regionale delle Madonie.

Le aree destinate ai pascoli rappresentano circa il 10% della superficie complessiva del bacino. Questa classe comprende le praterie ad *Ampelodesmos mauritanicus* presenti un po' su tutta la superficie del bacino e le praterie a *Lygeum spartum*, *Aster sorrentinii*, *Lavatera agrigentina* Tineo, *Limonium optima*, eccetera, rinvenibili sui suoli poco evoluti delle aree marnoso-argillose della serie evaporitica siciliana che interessano la porzione centro-meridionale del bacino. Infine, meritano un cenno le diffuse aree calanchive e i substrati aridi come ad esempio le pareti rocciose, i piccoli promontori ben esposti, i versanti ripidi soggetti a notevole erosione, che rappresentano poco più dell'1% della superficie del bacino e si presentano generalmente privi di vegetazione.

In conclusione, il confronto tra la carta di uso del suolo del bacino del Fiume Imera meridionale a scala 1:25.000 con quella a scala 1:100.000 (Allegato 6.4) ha evidenziato in quest'ultima un *gap* informativo complessivamente non trascurabile per quanto riguarda sia la classificazione del territorio nelle varie classi di legenda CLC che le rispettive distribuzioni superficiali. In particolare, le differenze più sostanziali sono state riscontrate nella classificazione delle superfici forestali e preforestali: la superficie complessiva è pari al 7.16% nella carta a scala 1:100.000 rispetto al 13% di quella derivata a scala 1:25.000, nella prima inoltre non compare la classe 31317 (boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di

latifoglie esotiche) che raggiunge circa l'1% nella seconda, mentre le superfici classificate come macchia e gariga nella carta a scala maggiore sono state opportunamente incluse nella classe arbusteti termofili in quella a scala minore.

6.3.2 Caratterizzazione dei soprassuoli forestali e preforestali

In questo paragrafo è presentata un'analisi dettagliata sugli aspetti ambientali, strutturali e gestionali dei maggiori sistemi forestali e preforestali del bacino del fiume Imera meridionale derivante dall'attività di rilevamento eseguita in campo. In particolare, si riporta per i sistemi maggiormente diffusi (eucalipteti, pinete, boschi misti e arbusteti termofili) un'analisi approfondita riguardante le caratteristiche di distribuzione e le specie che li costituiscono, l'entità della superficie occupata, le caratteristiche stazionali e selvicolturali in cui versano oggi i relativi popolamenti.

6.3.2.1 Eucalipteti

L'introduzione degli eucalipti su larga scala in Sicilia avvenne a partire dalla seconda metà degli anni '50 dello scorso secolo in seguito allo sviluppo di alcune linee di politica forestale che tendevano a privilegiare, nelle attività di forestazione, l'impiego di specie esotiche e a rapido accrescimento. Tra gli anni '50 e '60 furono realizzati i più estesi rimboschimenti di eucalipto concentrati principalmente nell'entroterra siciliano e in entità non trascurabile nel territorio del bacino del Fiume Imera meridionale e del Fiume Salso tra le provincie di Enna e Caltanissetta, per finalità prettamente di difesa e conservazione del suolo.

La superficie totale degli eucalipteti in formazione pura nel bacino del Fiume Imera meridionale è poco superiore ai 5000 ettari pari al 2.5% della superficie complessiva, distribuiti prevalentemente nella parte centro-meridionale del bacino. Gli eucalipteti puri sono formati da una o più specie, generalmente con mescolanze per pedali o per gruppi, ma con una netta prevalenza di *Eucalyptus camaldulensis*, seguito da *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus occidentalis* e più raramente *Eucalyptus gomphocephala* (Saporito, 1998). La specie in assoluto più diffusa negli impianti di rimboschimenti è tuttavia *Eucalyptus camaldulensis*. Questa notevole diffusione è da mettere in relazione alla notevole plasticità di adattamento della specie a terreni e caratteristiche climatiche diverse, in condizioni spesso difficili per il rimboschimento e alla rapida copertura del suolo. Pertanto, tale plasticità e capacità di

attecchimento ne hanno determinato una grande diffusione nell'ambito del rimboschimento protettivo, in stazioni molto degradate e con caratteristiche pedologiche difficili.

Questo è il caso ad esempio degli eucalipteti diffusi nella porzione centrale del bacino tra le province di Caltanissetta ed Enna, su substrati argillosi, spesso a carattere vertico, di spessore variabile (sottile, medio ed elevato) in una fase evolutiva variabile da erosa a calanchiva a salina. In tali condizioni le piante sono riuscite ad attecchire ma si presentano poco vigorose il che si traduce in risultati produttivi molto modesti. In questi popolamenti *Eucalyptus camaldulensis* è l'unica specie presente nello strato arboreo raggiungendo un grado di copertura piuttosto elevato (60-80%) e non riesce da sola ad innescare alcun processo evolutivo che porti all'insediamento di una qualsiasi forma di prateria o sottobosco cespuglioso. Lo strato arbustivo è, infatti, generalmente assente, mentre si riscontrano individui di ferula (*Ferula communis*) e ampelodesma (*Ampelodesmos mauritanicus*) che costituiscono lo strato erbaceo. La rinnovazione naturale è assente. Il soprassuolo si presenta strutturalmente povero ed omogeneo, si tratta di fustaie monoplane con copertura regolare-colma, con piante esili ed incrementi legnosi modestissimi, la cui lettiera non si accumula al suolo ma viene dilavata dalle piogge, unitamente agli strati superficiali del terreno che vengono erosi nonostante la copertura arborea (Figg. 6.9 e 6.10).



Fig. 6.9 - Assetto strutturale e condizioni stazionali di un impianto ad *Eucalyptus camaldulensis*.



Fig. 6.10 - Assetto strutturale e condizioni stazionali degli eucalipteti.

L'impiego di *Eucalyptus camaldulensis* ha in ogni modo permesso l'insediamento di una copertura forestale su suoli molto degradati e di difficile copertura arborea, con elevato grado di salinità per effetto della serie gessoso solfifera, in cui anche la colonizzazione con specie arbustive cespugliose pone non pochi problemi tecnici in fase d'impianto. Tali rimboschimenti, rispetto ad eventuali pinete di pino d'Aleppo, che darebbero sicuramente

migliori risultati selvicolturali, presentano il solo vantaggio dell'eventuale ricaccio in caso d'incendio peraltro frequenti. A scopo illustrativo, si riporta uno scorcio di un eucalipteto in cui sono evidenti i segni del passaggio del fuoco (Fig. 6.11).



Fig. 6.11 - Impianto artificiale di eucalipto segnato dal passaggio di un incendio.

Gli eucalipteti di Enna e di Piazza Armerina presentano invece caratteristiche strutturali e produttive migliori. Si tratta di impianti misti ad *Eucalyptus globulus* e *E. camaldulensis* su regosuoli e suoli bruni lisciviati, spesso su arenaree, da media ad elevata profondità, suscettibili all'erosione e che hanno fornito risultati produttivi da buoni a mediocri in funzione delle caratteristiche stazionali. Negli eucalipteti a composizione mista invece la specie principale è *Eucalyptus camaldulensis*, associato generalmente a conifere mediterranee quali *Pinus halepensis*, *Pinus pinea*, *Cupressus sempervirens* o esotiche come *Cupressus arizonica* e *Cupressus macrocarpa*.

6.3.2.2 Pinete

Le pinete pure sono formazioni peculiari sparse in zone ristrette del bacino. La specie in assoluto più diffusa in questi impianti è il pino d'Aleppo in quanto tra le conifere

mediterranee è quello più utilizzato in interventi di rimboschimento e imboschimento in Sicilia grazie alla sua capacità di attecchire e crescere su substrati pedogenetici fortemente degradati e di resistere ad alte temperature e prolungata siccità. In effetti, il massimo utilizzo e la diffusione nell'Isola di questa specie è conseguente all'intensa attività di forestazione avviata nel secondo dopoguerra, che mirava ad ottenere il rimboschimento di vaste superfici nude o degradate o di *ex* seminativi con specie di facile attecchimento e rapido sviluppo.

La scelta del pino d'Aleppo, quindi, appagava l'impegno sistematorio-produttivo del forestale siciliano perché, costretto spesso a destinare al bosco i terreni più ingrati e marginali e ad impiegare manodopera occasionale e non qualificata, poteva in tempi brevi realizzare una copertura verde omogenea. Non bisogna dimenticare, infatti, che tali interventi di rimboschimento sono stati realizzati prevalentemente su suoli argillosi collinari o di montagna, spesso con notevole rocciosità affiorante e con enormi difficoltà tecniche legate all'impianto (Figg. 6.12 e 6.13).



Fig. 6.12 - Scorcio di una pineta a *Pinus halepensis*.



Fig. 6.13 - Pinete artificiali di *Pinus halepensis*.

Le pinete a *Pinus halepensis* coprono una superficie poco superiore ai 700 ettari pari allo 0.3% di quella complessiva del bacino. La modesta entità delle superfici impiegate a questa specie in purezza è la prova che essa è stata utilizzata, generalmente, come specie preparatoria più che per formare boschi di produzione. Di contro, il pino d'Aleppo è presente in numerose formazioni miste con altre conifere mediterranee per circa 650 ettari e con eucalipti per circa 2000 ettari.

Questi impianti sono stati realizzati su substrati alquanto degradati e comunque si riferiscono a suoli abbandonati dall'agricoltura: il panorama pedologico spazia dai regosuoli di natura argillosa alle formazioni gessoso-solfifere delle provincie di Caltanissetta, Enna e Agrigento. Il pino d'Aleppo costituisce soprassuoli strutturalmente poveri ed omogenei, l'elevato grado di copertura (>80%) dovuto alla carenza di cure colturali non lascia spazio alla diffusione di specie secondarie ad eccezione di pochissimi soggetti di *Cupressus sempervirens*. Lo strato arbustivo è assente mentre il manto erbaceo risulta costituito esclusivamente da *ampelodesma* (*Ampelodesmos mauritanicus*), la rinnovazione naturale è assente (Fig. 6.14).

Sotto l'aspetto colturale, il modulo di coltivazione presupponeva, oltre che di eliminare la vegetazione infestante e assicurare la protezione delle piantine e dei semenzali dagli attacchi e dai danni provocati dalla selvaggina, anche di effettuare tutte quelle cure

cosiddette di allevamento, tra le quali rientravano gli sfollamenti, i diradamenti e le potature basse in modo da mantenere nel tempo la copertura del suolo. In realtà, su buona parte delle pinete di pino d'Aleppo non sono state effettuate cure colturali successive al loro impianto (sfolli, diradamenti, spalcatore) se non sporadicamente e non eseguiti a tempo debito.



Fig. 6.14 - Assetto strutturale e condizioni stazionali delle pinete a pino d'Aleppo.

Infine, agli effetti dell'assenza di cure colturali adeguate, quali presenza di fusti irregolari, contorti e sciabolati e con scarsa stabilità dimensionale, si aggiungono, inoltre, gli

effetti del frequente passaggio del fuoco con danni a volte irreparabili a carico dei popolamenti (Fig.6.15).



Fig. 6.15 - Pinete di pino d'Aleppo attraversate rispettivamente da un incendio di superficie (A) e un incendio di chioma (B).

In alcuni popolamenti, viceversa, appropriati interventi selvicolturali quali ad esempio l'esecuzione dei diradamenti nella giusta misura e nei tempi opportuni ha ridotto il rischio degli incendi boschivi e ha permesso un migliore sviluppo delle piante che, svolgendo una azione di baliatico per la rinnovazione naturale e/o artificiale, ne hanno garantito

l'attecchimento e la crescita favorendo l'instaurarsi di processi di rinaturalizzazione. Operando in questo modo è stata mantenuta la funzione protettiva del bosco avviando, allo stesso modo, i diversi popolamenti verso una fase di equilibrio più stabile con l'ambiente.

6.3.2.3 Boschi misti

In questa categoria sono inserite tutte quelle formazioni arboree che identificano sistemi forestali caratterizzati da due o più specie a diverso grado di mescolanza. Si tratta di quei popolamenti classificati come boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di latifoglie esotiche (eucalipti), a prevalenza di conifere mediterranee quali pini e cipressi (Fig. 6.16), a prevalenza di pini montani o a prevalenza di conifere esotiche.



Fig. 6.16 - Impianto misto di conifere e latifoglie a prevalenza di pino d'Aleppo.

L'entità della consistenza all'interno del bacino in esame ha indirizzato un maggiore approfondimento verso le formazioni miste di conifere e latifoglie a prevalenza di eucalipti. Questi impianti rivestono una superficie di circa 2000 ettari pari allo 0.9% di quella complessiva del bacino. Il nucleo maggiormente esteso si trova nel cuore del bacino in corrispondenza della Riserva di Monte Capodarso, i restanti nuclei sono diffusi a macchia di leopardo su tutta la superficie del bacino. Questi rimboschimenti, in cui la specie principale è l'*Eucalyptus camaldulensis* (non meno del 60%) associato generalmente a *Pinus halepensis*

(circa 40%), sono stati realizzati tra gli anni '50 e '70 del secolo scorso nel tentativo di ottenere la difesa dal dissesto idrogeologico in zone a forte rischio erosivo, si tratta in alcuni casi di impianti di eucalipto su stazioni non idonee a finalità produttive per i quali negli anni '70 era stata prevista la riconversione in pinete di pino d'Aleppo attuata però solo in parte. L'assetto strutturale di questi soprassuoli è alquanto omogeneo, struttura orizzontale uniforme e distribuzione delle specie per gruppi, il grado di copertura dello strato arboreo è inferiore al 60% a causa della presenza di lacune. Lo strato arbustivo è pressoché assente ad eccezione di rarissimi individui di olivastro (*Olea europea* var. *sylvestris*), biancospino (*Crataegus monogyna*) e asparago (*Asparagus acutifolius*). Lo strato erbaceo presenta un grado di copertura inferiore al 60% ed è costituito da graminacee, ferula (*Ferula communis*) e ampelodesma (*Ampelodesmos mauritanicus*). La rinnovazione naturale è assente. Sono soprassuoli poco vigorosi a causa dei frequenti incendi e dei limiti stazionali, si riscontrano frequentemente soggetti morti o schiantati (Figg. 6.17 e 6.18).



Fig. 6.17 - Impianto interessato da grave dissesto idrogeologico.



Fig 6.18 - Assetto strutturale degradato e condizioni stazionali di un impianto artificiale misto di conifere e latifoglie a prevalenza di eucalipto all'interno della R.N.O Monte Capodarso e Valle dell'Imera meridionale.

6.3.2.4 Arbusteti termofili

La classe degli arbusteti termofili comprende gran parte della vegetazione preforestale presente nel bacino ed occupa una superficie di circa 15700 ettari pari al 7.2% della superficie complessiva del bacino del fiume Imera meridionale. Si tratta di formazioni rese spesso stabili dall'azione di fattori limitanti di natura pedo-climatica o dal disturbo antropico diretto (taglio, incendio) o indiretto (pascolo) esercitata sulla vegetazione, che non riesce dunque ad evolvere verso cenosi potenziali (Fig. 6.19).



Fig. 6.19 - Particolare di un arbusteto sviluppatosi su versanti e costoni rocciosi alquanto ripidi.

Tali formazioni introducono elementi di diversificazione del paesaggio e sono il risultato dei processi di distruzione della vegetazione arborea ed arbustiva originaria o dell'abbandono di coltivi, e rivestono ancora un ruolo importante sia nei processi dinamici della vegetazione sia perché ospitano specie rare o addirittura endemiche. Esse derivano dai consorzi di tipo forestale e li precedono, una volta cessate le azioni di disturbo. Gli arbusteti svolgono inoltre un ruolo fondamentale nella conservazione della fauna e della flora: vi sono, infatti, adattate numerose specie animali e vegetali (erbacee ed arbustive). Queste formazioni sviluppandosi nell'area climatica potenziale dei consorzi ascrivibili alla *Quercetalia ilicis* sono dinamicamente collegate ai boschi di querce sempreverdi e misti con querce caducifoglie. Venendo meno i fattori di disturbo, essi consentirebbero la formazione di boschi

sempreverdi a *Quercus ilex* e *Quercus suber*. Inoltre, sotto un profilo prettamente dinamico, interponendosi tra i boschi e gli spazi aperti o coltivati, rappresentano strutture che, facilitando la sussistenza e l'inserimento in ambienti aperti delle specie arboree, possono evolvere verso formazioni boschive stabili (Fig. 6.20). Tipici esempi sono i consorzi di mantello in cui figurano alcune specie di biancospino (*Crataegus monogyna*, *C. laciniata*, *C. oxyacantha*) e di rosa (*Rosa canina*, *R. pouzini*, ecc.), il rovo comune (*Rubus ulmifolius*), la ginestra comune (*Spartium junceum*), la ginestra spinosa (*Calicotome infesta*), i perastri (*Pyrus amygdaliformis* e *P. pyraster*), l'olivastro (*Olea europea* var. *sylvestris*), ecc..



Fig. 6.20 - Aspetti di formazioni arbustive caratterizzanti il territorio del bacino.

In questa categoria sono stati inclusi, infine, tutti gli aspetti di vegetazione ripariale termoxerofila a tamerici (*Tamarix gallica* e *T. africana*) e oleandro (*Nerium oleander*), e igrofila a *Salix* e *Populus* sp. pl., che si localizzano rispettivamente nei tratti medio-vallivo e vallivo su suoli limoso-argillosi subsalsi e in quelli montani su substrati più freschi e profondi del fiume Imera meridionale e gli altri corsi d'acqua suoi affluenti. Dal punto di vista strutturale, questo tipo di vegetazione costituisce raramente delle vere e proprie gallerie impenetrabili nei corsi d'acqua permanenti, mentre si osservano cespuglieti più o meno radi nel caso dei torrenti affluenti dell'Imera meridionale o dei valloni asciutti durante la stagione estiva.

6.4 Grado di desertificazione del bacino

La stratificazione della Carta delle aree vulnerabili alla desertificazione della Sicilia in scala 1:250.000 con il perimetro del bacino (Allegato 6.5), la Carta di uso del suolo e il mosaico delle aree naturali protette ricadenti all'interno del bacino (Parco Regionale, Riserve, SIC e ZPS) ha permesso di definire una classificazione del territorio del bacino e in particolare delle principali superfici forestali e preforestali in funzione dei diversi gradi di suscettibilità ai processi di desertificazione. La carta del rischio di desertificazione del bacino del fiume Imera meridionale (Allegato 6.6) evidenzia come buona parte della superficie del bacino sia fortemente vulnerabile ai processi di desertificazione, in particolare le porzioni centrale e centro-meridionale del bacino, caratterizzate dai substrati tipici della serie gessoso-solfifera, si presentano come quelli più a rischio.

Di seguito si riporta un quadro sintetico (Tab. 6.3) delle classi di rischio desertificazione e della loro distribuzione superficiale nell'area di studio e in particolare nei principali sistemi forestali e preforestali del bacino: eucalipteti, pinete a pino d'Aleppo, boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di eucalipto, arbusteti termofili.

	Bacino Imera		Eucalipteti		Pinete		Boschi misti a prev. di eucalipto		Arbusteti	
Classe di rischio	sup. (ha)	%	sup. (ha)	%	sup. (ha)	%	sup. (ha)	%	sup. (ha)	%
1 - Basso	171.5	0.1								
2 - Medio basso	37441.2	18.4	934.6	17.4	176.2	24.2	1.3	0.1	3156.4	20.1
3 - Medio alto	103645.5	51.1	3133.4	58.4	328.4	45.1	807.3	41.6	9483.0	60.4
4 - Elevato	61776.2	30.4	1296.8	24.2	224.3	30.8	1132.1	58.3	3071.4	19.5
Totale	203034.4	100.0	5364.8	100.0	728.9	100.0	1940.7	100.0	15710.8	100.0

Tab. 6.3 - Classi di rischio desertificazione e distribuzione superficiale per il bacino dell'Imera e per i principali sistemi forestali e preforestali.

L'analisi dei dati evidenzia come circa l'81% della superficie complessiva del bacino sia soggetta a forte rischio desertificazione: il 51% della superficie rientra nella terza classe (rischio medio alto), il 30% circa rientra invece nella quarta classe (rischio elevato). Il 18% della superficie del bacino è classificato in seconda classe (rischio medio basso), mentre solo 171.5 ettari pari allo 0.1% della superficie rientra nella prima classe (rischio basso).

Lo stesso scenario si ripete quando si analizzano i dati inerenti la distribuzione spaziale e percentuale dei soprassuoli sopra elencati, come ben evidenzia l'Allegato 6.7. L'80% circa delle superfici ad eucalipteto, a pinete e ad arbusteto sono classificate a forte rischio desertificazione (terza e quarta classe), le superfici restanti (20% circa) rientrano invece nella classe di rischio medio basso. La situazione si aggrava ulteriormente nel caso degli impianti misti a prevalenza di eucalipto, in quanto insistono nella loro totalità (99.9%) su terreni classificati a forte rischio desertificazione: il 58.3% della superficie complessiva rientra nella quarta classe (rischio elevato), mentre il 41.6% rientra nella terza classe (rischio medio alto).

6.5 Linee guida di gestione forestale per la mitigazione dei processi di desertificazione

In quest'ultimo paragrafo è fornito un quadro di ipotesi gestionali per la redazione delle linee guida di gestione dei soprassuoli forestali e preforestali del bacino del fiume Imera meridionale funzionali per la mitigazione dei processi di desertificazione.

Gestire un sistema naturale e semi-naturale è un compito arduo in virtù della grande variabilità delle componenti abiotiche e biotiche, sia naturali che artificiali, che vi concorrono.

È necessario un approccio multicriteriale e multifattoriale dell'intero sistema, studiato come un superorganismo capace di reagire e rispondere in maniera diversa a differenti *input* esterni. In tal caso, nelle fitocenosi forestali si studiano non solo le strutture e la composizione specifica, ma soprattutto il funzionamento delle dinamiche evolutive in risposta agli interventi effettuati, per meglio pre-determinare le risposte ottenibili (Ciancio, 1998). Gli obiettivi individuati e da raggiungere con le linee di intervento e di gestione sono fondamentalmente: la preservazione e la conservazione.

Per preservazione si intende la protezione dei soprassuoli forestali e preforestali del bacino ottenibile mediante delle linee di intervento o di non intervento che si identificano nella libera evoluzione e nel monitoraggio. Per conservazione si tratta di applicare dei metodi di gestione che portino ad un aumento della biodiversità, delle complessità organizzativa ed alla gestione sostenibile delle risorse presenti. La principale linea di intervento prevista, per il raggiungimento di tale obiettivo, è la rinaturalizzazione, cioè l'insieme di tecniche che favoriscono l'instaurarsi di meccanismi d'autoregolazione e di autopertpetuazione aumentando di fatto la resistenza e la resilienza degli ecosistemi (Nocentini, 2000). Una volta definiti gli obiettivi generali è stato possibile identificare delle linee guida di gestione per tali soprassuoli (Tab. 6.4).

Linea gestionale	Descrizione degli interventi	Strumenti tecnici
Non intervento	Osservazione scientifica	Monitoraggio, inventario
Ricostituzione naturalistica	Rinnovazione naturale	Selvicoltura sistemica
Mantenimento del paesaggio	Proseguimento delle attività svolte fino ad oggi	Pascolo, agricoltura
Restauro ambientale	Restauro del paesaggio in aree degradate	Ingegneria naturalistica
Interventi specifici	Interventi applicati a casi tipici e peculiari	Strumenti vari

Tab. 6.4. - Linee di gestione adottabili per le superfici forestali e preforestali del bacino.

Il "Non intervento" consiste nel destinare le aree interessate all'osservazione scientifica e ad un continuo monitoraggio, al fine di registrare l'evoluzione spontanea dell'ecosistema. Queste aree si identificano con i prati, i pascoli, gli arbusteti e i cespuglieti dove lo studio delle dinamiche naturali necessita di una modellizzazione, soprattutto ai fini di una corretta gestione delle altre aree.

Per “Ricostituzione naturalistica” si intende la creazione delle condizioni affinché vengano accelerati tutti quei processi naturali che rappresentano la risposta evolutiva delle cenosi a vari fenomeni di disturbo, soprattutto antropici. L’intervento peculiare di questa linea di gestione consiste nel favorire la rinnovazione naturale o la diffusione di specie autoctone in popolamenti di specie esotiche. Tuttavia, occorre distinguere tra interventi a carico dei popolamenti forestali da quelli su cenosi preforestali quali gli arbusteti termofili. L’approccio tecnico più consono agli interventi di rinaturalizzazione è la selvicoltura sistemica. Più in dettaglio, una gestione orientata alla rinaturalizzazione deve prevedere l’individuazione di tre fasi: il momento strutturale, il momento colturale ed il momento gestionale (*Nocentini, 2002*). Il momento strutturale è un inventario organico multiobiettivo e multirisorse dell’area in esame. Il momento colturale rappresenta la scelta delle modalità di intervento sulla base del quadro strutturale. Il momento gestionale, invece, si concretizza nel monitoraggio delle risposte dell’ecosistema per la valutazione dell’efficacia colturale pregressa (*Ciancio et al., 2002*).

Il “Mantenimento del paesaggio” è una linea di gestione che prevede il perpetuarsi delle attività fino a quel momento svolte, quando queste siano state a basso impatto ambientale, per motivi di svariata natura. Per motivi gestionali e/o economici, possono essere motivate per esempio il mantenimento del pascolo o delle attività agricole.

Nel territorio del bacino, si presenta spesso il problema del “Restauro ambientale”, inteso come ripristino delle condizioni di naturalità di siti degradati o privati di tale valore; si ci riferisce in particolar modo alle numerose cave, ad aree percorse o devastate da incendi, a discariche abusive, eccetera. In tutti questi casi è indispensabile prevedere un piano per il loro restauro attraverso tecniche di ingegneria naturalistica, o interventi di altro genere che ne riducano comunque l’impatto visivo ed ecologico-funzionale (*La Mantia et al., 2000*).

Infine, è possibile definire degli “Interventi specifici” per motivi gestionali particolari. In questa linea di gestione rientrano una serie di attività eterogenee tra loro e di particolare interesse che risulta difficile prevederne i vari casi: creazione di aree e percorsi didattico-naturalistici, aree attrezzate, aree di interesse archeologico, aree di allevamento di animali per reintroduzioni o ripopolamenti faunistici, vivai, aree di prelievo genetico, nuclei di diffusione del seme, eccetera.

In definitiva, nella formulazione delle linee guida di gestione si è cercato di proporre interventi, o meglio pratiche selvicolturali, che mirino all’aumento della biodiversità, alla rinaturalizzazione, ad aumentare la complessità dei popolamenti e delle comunità, a favorire

le funzioni del bosco, a garantire nel tempo una certa stabilità delle formazioni naturali, funzionale conseguentemente alla mitigazione dei processi di desertificazione.

Di seguito, è riportato un quadro sintetico delle linee di intervento proposte per le diverse unità di gestione riconducibili ai principali sistemi forestali e preforestali del bacino del Fiume Imera meridionale (Tab. 6.5).

Unità di gestione	Linee di intervento
Eucalipteti	Induzione alla rinaturalizzazione mediante l'introduzione di specie ecologicamente coerenti
Pinete a pino d'Aleppo	Rinaturalizzazione a gruppi con discreto grado di mescolanza specifica: modulazione graduale dei diradamenti
Boschi misti a prevalenza di eucalipto	Rinaturalizzazione a gruppi con discreto grado di mescolanza specifica: modulazione graduale dei diradamenti
Arbusteto termofilo	Interventi specifici Libera evoluzione Monitoraggio
Nuove aree da imboschire	Rimboschire utilizzando specie arboree autoctone

Tab. 6.5 - Sintesi delle linee di intervento riferite ai principali sistemi forestali e preforestali.

La mancanza di elementi residuali di formazioni arboree, a cui si può attribuire il ruolo potenziale di centri di diffusione di seme di specie forestali autoctone in buona parte del territorio del bacino del fiume Imera meridionale e in particolar modo in quelle aree maggiormente vulnerabili alla desertificazione, non consente una rapida ricostituzione naturale dei soprassuoli artificiali. Pertanto, l'induzione alla rinaturalizzazione finalizzata alla formazione di nuclei stabili di diffusione di seme forestale si configura come una linea di intervento indispensabile per aumentare la biodiversità e la complessità strutturale di questi popolamenti a struttura semplificata e comunque molto degradati, nonché per ridurre progressivamente il rischio di desertificazione di tali superfici. L'analisi delle caratteristiche ecologico-stazionali dei popolamenti presenti nell'area di studio evidenziano, infatti, il forte degrado e il basso grado di fertilità dei substrati indagati che si ripercuote inevitabilmente sui relativi soprassuoli.

6.5.1 Tipologie di intervento

In base alle linee di intervento di carattere generale precedentemente delineate, sono di seguito descritte le tipologie di intervento selvicolturale, a carico dei principali soprassuoli

forestali e preforestali, differenziati in funzione del rischio di desertificazione (Allegato 6.6) e del grado di copertura arborea e/o arbustiva che li caratterizza.

Le tipologie di intervento proposte per gli eucalipteti, le pinete artificiali di pino d'Aleppo e i boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di eucalipti, possono essere così sintetizzate:

- Gli eucalipteti costituiscono in genere popolamenti strutturalmente poco evoluti ed omogenei con elevato grado di copertura arborea e sono diffusi per circa l'80% della loro superficie complessiva in zone a forte rischio di desertificazione (terza e quarta classe di rischio) su substrati prevalentemente sabbiosi subsalsi. Per tali soprassuoli si ritiene opportuno eseguire gradualmente diradamenti del soprassuolo esistente al fine di ridurre la densità complessiva, quindi la graduale sostituzione dell'eucalipto con specie forestali autoctone ecologicamente coerenti e la sottopiantagione di specie autoctone (arbustive ed erbacee) tipiche della serie gessosa-solfifera come la salsola (*Salsola verticillata*), ma anche la ginestra comune (*Spartium junceum*), la ginestra spinosa (*Calicotome infesta*), l'olivastro (*Olea europea* var. *sylvestris*), eccetera.
- Per le pinete artificiali di pino d'Aleppo è indispensabile favorire la rinaturalizzazione a gruppi della fustaia mediante gradualmente interventi di diradamento e la sottopiantagione di latifoglie autoctone come la roverella (*Quercus pubescens*), l'orniello (*Fraxinus ornus*) e di specie arbustive autoctone come l'olivastro (*Olea europea* var. *Sylvestris*), i perastri (*Pyrus amygdaliformis* e *P. pyrastrer*) e alcune specie di biancospino (*Crataegus monogyna*, *C. laciniata*, *C. oxyacantha*).
- Interventi finalizzati alla rinaturalizzazione andranno eseguiti anche a carico dei boschi misti a prevalenza di eucalipto. Per questi impianti, che insistono su suoli prevalentemente sabbiosi e formano soprassuoli degradati a causa del pascolo eccessivo o di incendi frequenti, non sono previsti interventi di diradamento in quanto il basso grado di copertura arborea induce prudenza per evitare ulteriori denudamenti del suolo. Tuttavia, si prospetta la graduale sostituzione degli eucalipti e il rinfoltimento a gruppi soprattutto nelle aree lacunose con pino domestico (*Pinus pinea*) che grazie alle sue spiccate caratteristiche di eliofilia, arido-resistenza e rusticità, unitamente ai buoni accrescimenti iniziali e alla capacità di copertura del suolo in tempi relativamente brevi, garantisce una buona diversificazione strutturale ed un aumento della biodiversità. Risulta inoltre indispensabile la costituzione del manto arbustivo mediante la sottopiantagione di specie arbustive autoctone come l'olivastro (*Olea europea* var. *sylvestris*), alcune specie di biancospino (*Crataegus*

monogyna, *C. laciniata*, *C. oxyacantha*), la fillirea (*Phillyrea latifolia*), il lentisco (*Pistacia lentiscus*), ecc.

- Le aree da preservare e da lasciare alla libera evoluzione, all'osservazione scientifica, o da destinare ad interventi specifici riguardano le superfici ad arbusteto, in quanto questi sistemi presentano specie ecologicamente coerenti e di alto interesse botanico da salvaguardare per il mantenimento della biodiversità e della diversificazione del paesaggio. Gli arbusteti termofili sono le principali cenosi preforestali presenti nel bacino in esame, comprendono delle aree ad alto grado di naturalità e sono generalmente costituite da formazioni plurispecifiche. Tuttavia, si riscontrano alcune aree floristicamente povere a causa dell'eccessiva pressione di pascolamento o di incendi frequenti, che richiedono pertanto interventi specifici finalizzati all'aumento della complessità ecologica e strutturale di questi sistemi. In questo senso, si ritiene estremamente efficace l'introduzione di specie arboree ed arbustive autoctone quali l'olivastro (*Olea europea* var. *sylvestris*), il mandorlo (*Prunus communis*), il carrubo (*Ceratonia siliqua*), il bagolaro (*Celtis australis*), il lentisco (*Pistacia lentiscus*), il perastro (*Pirus pyraeaster*), il frassino meridionale (*Fraxinus oxyphylla*), eccetera.
- Si prevede, infine, il rimboschimento di aree non boscate (superfici con vegetazione rada o ex coltivi) con specie arboree e arbustive ecologicamente coerenti con le caratteristiche pedo-climatiche del territorio in esame.

6.5.2 Linee guida per attività di rimboschimento

Ai fini di una attenta pianificazione forestale che coniughi, diversamente dal recente passato, l'ampliamento della superficie silvicola alla tutela del suolo, all'aumento della produzione di biomassa e alla scelta di specie forestali idonee alle caratteristiche pedo-climatiche del territorio, risulta auspicabile la caratterizzazione e l'individuazione nell'area del bacino di aree ecologicamente omogenee per le quali indicare le specie forestali utilizzabili per attività di rimboschimento. In particolare, per area ecologicamente omogenea è stata intesa una porzione di territorio cartografabile caratterizzata da una elevata omogeneità pedo-climatica cui associare le diverse specie forestali, considerando la maggiore o minore potenzialità dei suoli ad ospitarle, utilizzabili appunto per impianti di rimboschimento, imboschimento e/o arboricoltura da legno. Per ridurre la frammentazione dei nuclei boscati e ampliare nel contempo la superficie silvicola, come aree suscettibili di interventi di

rimboschimento, sono state identificate quelle contigue ad aree forestali esistenti e/o comprese fra queste.

La combinazione delle caratteristiche di tipo geo-pedologico e bioclimatico del territorio del bacino dell'Imera meridionale ha permesso di individuare complessivamente 18 aree ecologicamente omogenee (Maetzke *et al.*, in stampa). Tuttavia, tra quelle più rappresentate, procedendo da Nord verso Sud, vanno menzionate le formazioni carbonatiche della fascia supramediterranea costituenti le Madonie, le formazioni prevalentemente argillose e gessoso-solfifere della fascia termomediterranea e mesomediterranea che interessano la porzione centrale e centro-meridionale del bacino, i depositi alluvionali della fascia termomediterranea diffusi lungo i corsi d'acqua e costituenti la piana di Licata.

Le specie di cui si propone l'utilizzo all'interno delle aree ecologicamente omogenee sono generalmente plastiche e di maggiore adattabilità ai diversi contesti ambientali. Sulle formazioni carbonatiche della fascia supramediterranea si propone l'impianto di *Pinus halepensis*, *Pinus pinea*, *Cupressus sempervirens*, *Cupressus macrocarpa*, *Cupressus arizonica*, *Acer campestre*, *Castanea sativa*, *Fraxinus ornus*, *Fraxinus oxycarpa*, *Quercus ilex*, *Quercus pubescens*, *Celtis australis* per lo strato arboreo, *Crataegus* sp. pl., *Olea europea* var. *sylvestris*, *Pyrus amygdaliformis*, *Prunus spinosa*, *Sorbus*, *Rosa* e *Morus* sp.pl. per lo strato arbustivo. Sui substrati argillosi della fascia termo e mesomediterranea si propone l'utilizzo di *Pinus halepensis*, *Cupressus sempervirens*, *Cupressus macrocarpa*, *Cupressus arizonica*, *Fraxinus ornus*, *Quercus ilex*, *Quercus pubescens*, *Celtis australis* per lo strato arboreo, *Crataegus* sp. pl., *Olea europea* var. *sylvestris*, *Pyrus amygdaliformis*, *Prunus spinosa*, *Sorbus* e *Rosa* sp.pl. per lo strato arbustivo. Sulle formazioni gessoso-solfifere si propone l'utilizzo di *Pinus halepensis*, *Cupressus sempervirens*, *Cupressus macrocarpa*, *Cupressus arizonica*, *Quercus ilex*, *Ceratonia siliqua* per lo strato arboreo, *Crataegus monogyna*, *Olea europea* var. *sylvestris*, *Pyrus amygdaliformis*, *Spartium junceum* per lo strato arbustivo. Sui depositi alluvionali a matrice sabbiosa è auspicabile, infine, l'utilizzo di *Pinus pinea*, *Celtis australis*, *Ceratonia siliqua* per lo strato arboreo, *Olea europea* var. *sylvestris*, *Morus* sp.pl. e nei contesti più caldi *Pistacia lentiscus*, *Spartium junceum* e *Tamarix* sp.pl. per lo strato arbustivo.

In merito agli interventi proposti, si comprende a tal punto come l'obiettivo ultimo da perseguire sia quello di aumentare la biodiversità dei sistemi e la diversificazione strutturale in modo di accrescere la stabilità e la capacità di autorganizzazione delle cenosi forestali e preforestali del bacino. Questi interventi contribuiranno nel lungo periodo ad un aumento

della fertilità dei suoli, alla riduzione dei fenomeni erosivi e conseguentemente ad una sensibile riduzione della vulnerabilità alla desertificazione.

In conclusione, si dovrà considerare il rapporto pascolo-interventi selvicolturali. La maggior parte degli interventi selvicolturali richiedono, infatti, per la loro buona riuscita l'esclusione temporanea del pascolo per evitare ulteriori danni alle piante rilasciate con gli interventi, alle nuove piantagioni o ad una eventuale rinnovazione.

È riportato, di seguito, un quadro sintetico ma puntuale dei tipi di intervento selvicolturale proposti per i principali sistemi forestali e preforestali del bacino in esame, differenziati in funzione del rischio di desertificazione e del grado di copertura (Tab. 6.6).

Tipo forestale	Eucalipteto				Pineta a pino d'Aleppo				Bosco misto a prevalenza di eucalipto				Arbusteti termofili			
Caratteristiche ecologico-stazionali																
Struttura e composizione del soprassuolo	Fustaia artificiale di <i>Eucalyptus camaldulensis</i> (100%)				Pineta artificiale di <i>Pinus halepensis</i> (>90%) con <i>Cupressus sempervirens</i> (<10%)				Fustaia artificiale mista a prevalenza di <i>Eucalyptus camaldulensis</i> (60%) con <i>Pinus halepensis</i> (40%)				Formazioni arbustive plurispecifiche arbustive ed erbacee			
Intensità della copertura	colma				colma				lacunosa				colma		lacunosa	
Funzione	protezione idrogeologica				protezione idrogeologica				protezione idrogeologica				protezione idrogeologica			
Rischio di desertificazione																
Classi di rischio	1° basso	2° medio basso	3° medio alto	4° elevato	1° basso	2° medio basso	3° medio alto	4° elevato	1° basso	2° medio basso	3° medio alto	4° elevato	1° basso	2° medio basso	3° medio alto	4° elevato
Superficie interessata (ha)		934.6	3133.4	1296.8		176.2	328.4	224.3		1.3	807.3	1132.1		3156.4	9483.0	3071.4
Superficie interessata (%)		17.4	58.4	24.2		24.2	45.1	30.8		0.1	41.6	58.3		20.1	60.4	19.5
Tipo di intervento selvicolturale	Diradamenti graduali e induzione alla rinaturalizzazione mediante graduale sostituzione dell'eucalipto con specie ecologicamente coerenti Inserimento di specie arbustive autoctone				Rinaturalizzazione discreta a gruppi: diradamenti graduali e sottopiantagione di latifoglie autoctone (roverella, orniello) Inserimento di specie arbustive autoctone				Nessun intervento di diradamento Rinfoltimento a gruppi con pino domestico Sottopiantagione di specie arbustive autoctone				Nessun intervento: libera evoluzione e monitoraggio		Rinfoltimento con specie arbustive ed erbacee autoctone	

Tab. 6.6 - Quadro sintetico dei tipi di interventi selvicolturali riferiti ai principali tipi forestali e preforestali del bacino del Fiume Imera meridionale.

ALLEGATI

Allegato 6.1 - Organizzazione gerarchica dei tipi di uso del suolo secondo il sistema CLC

1. SUPERFICI ARTIFICIALI

- 1.1. Zone urbanizzate di tipo residenziale
 - 1.1.1. Zone residenziali a tessuto continuo
 - 1.1.2. Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado
- 1.2. Zone industriali, commerciali ed infrastrutturali
 - 1.2.1. Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati
 - 1.2.2. Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche
 - 1.2.3. Aree portuali
 - 1.2.4. Aeroporti
- 1.3. Zone estrattive, cantieri, discariche e terreni artefatti e abbandonati
 - 1.3.1. Aree estrattive
 - 1.3.2. Discariche
 - 1.3.3. Cantieri
- 1.4. Zone verdi artificiali non agricole
 - 1.4.1. Aree verdi urbane
 - 1.4.2. Aree ricreative e sportive

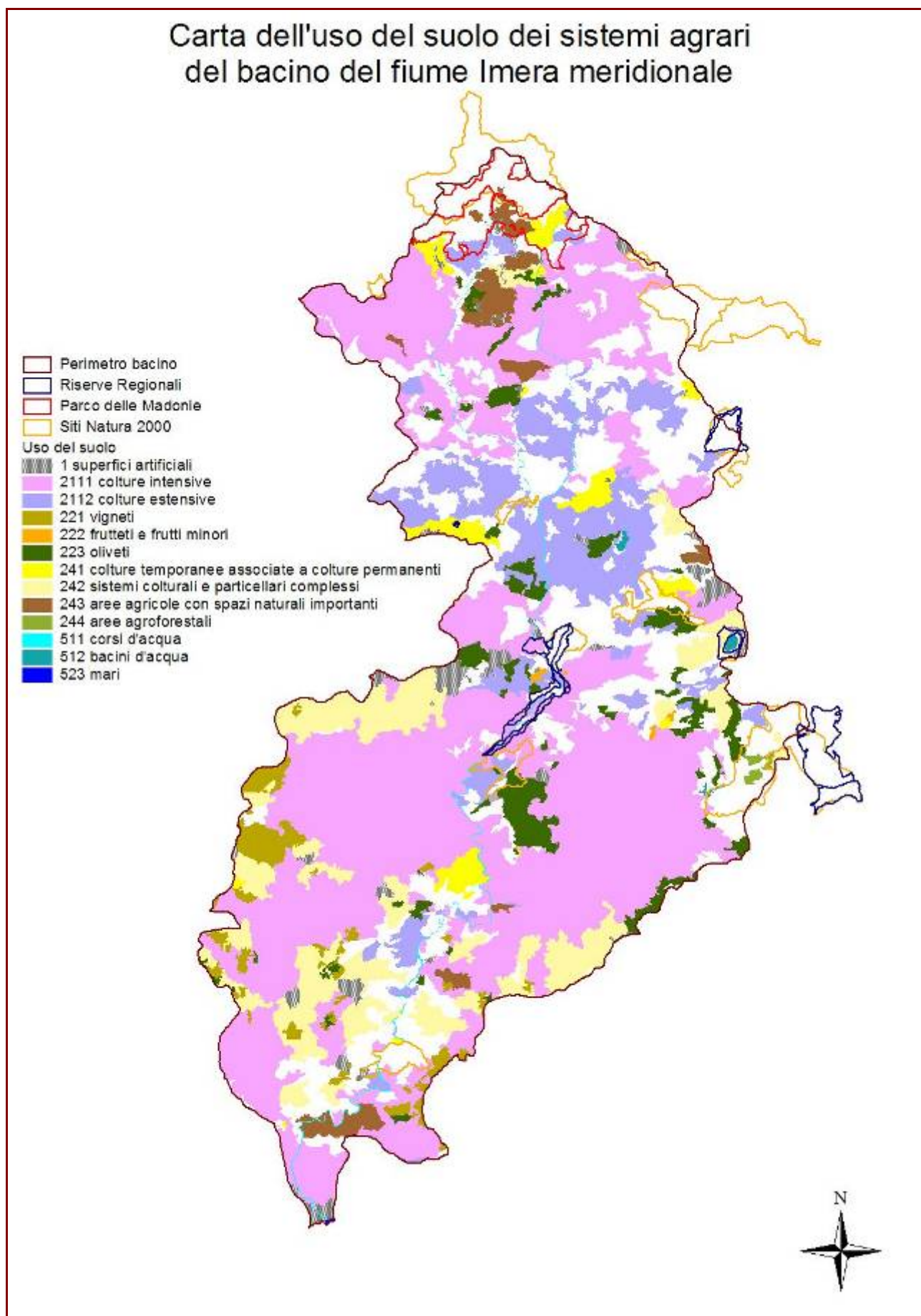
2. SUPERFICI AGRICOLE UTILIZZATE

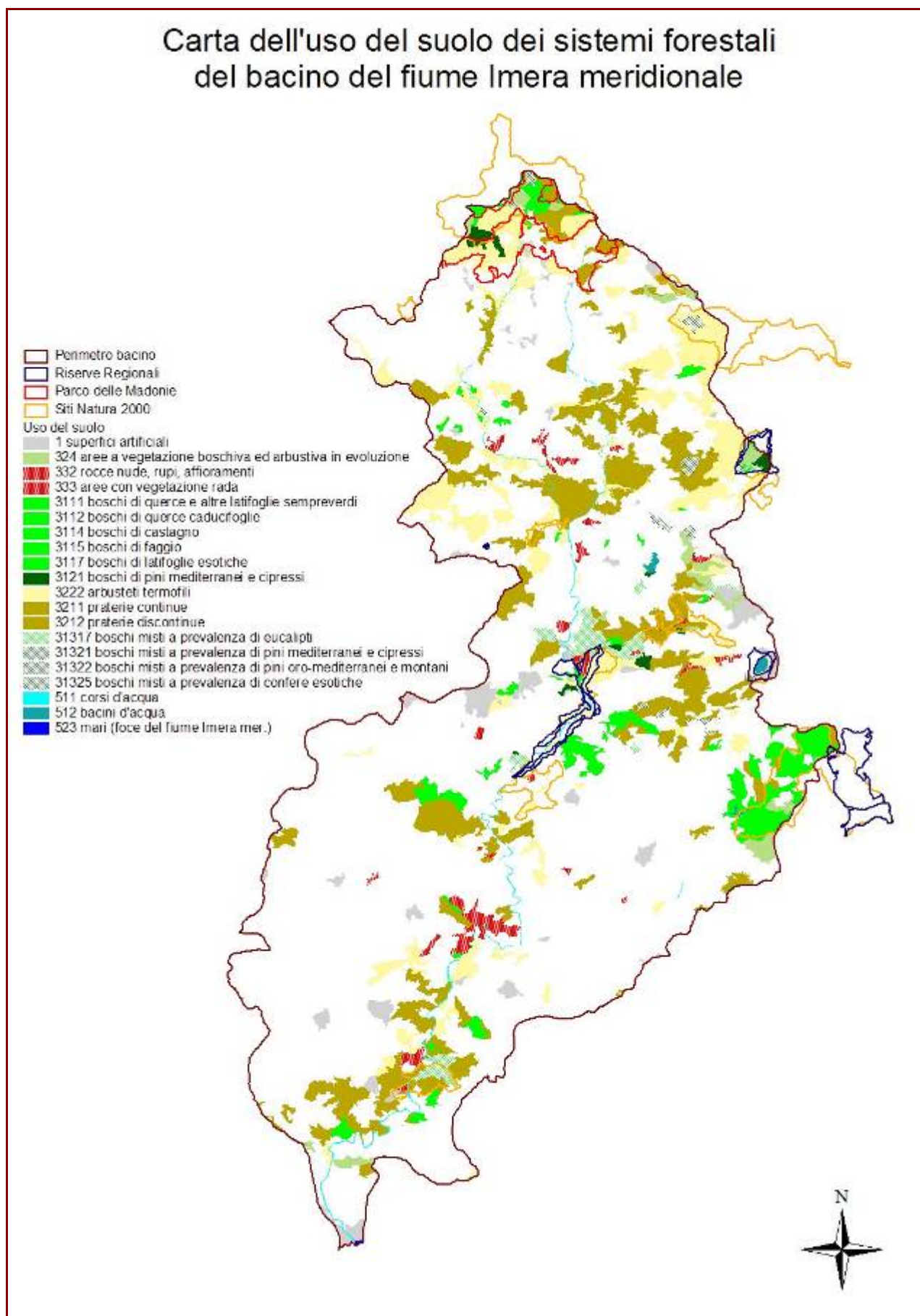
- 2.1. Seminativi
 - 2.1.1. Seminativi in aree non irrigue
 - 2.1.1.1. Colture intensive
 - 2.1.1.2. Colture estensive
 - 2.1.2. Seminativi in aree irrigue
 - 2.1.3. Risaie
- 2.2. Colture permanenti
 - 2.2.1. Vigneti
 - 2.2.2. Frutteti e frutti minori
 - 2.2.3. Oliveti
 - 2.2.4. Arboricoltura da legno
 - 2.2.4.1. Pioppicoltura
 - 2.2.4.2. Latifoglie pregiate (quali ciliegio e noce)
 - 2.2.4.3. Eucalitteti
 - 2.2.4.4. Conifere (quali pino insigne)
 - 2.2.4.5. Impianti misti di latifoglie e conifere
- 2.3. Prati stabili (foraggiere permanenti)
 - 2.3.1. Prati stabili (foraggiere permanenti)
- 2.4. Zone agricole eterogenee
 - 2.4.1. Colture temporanee associate a colture permanenti
 - 2.4.2. Sistemi colturali e particellari complessi
 - 2.4.3. Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
 - 2.4.4. Aree agroforestali

3. TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMI-NATURALI

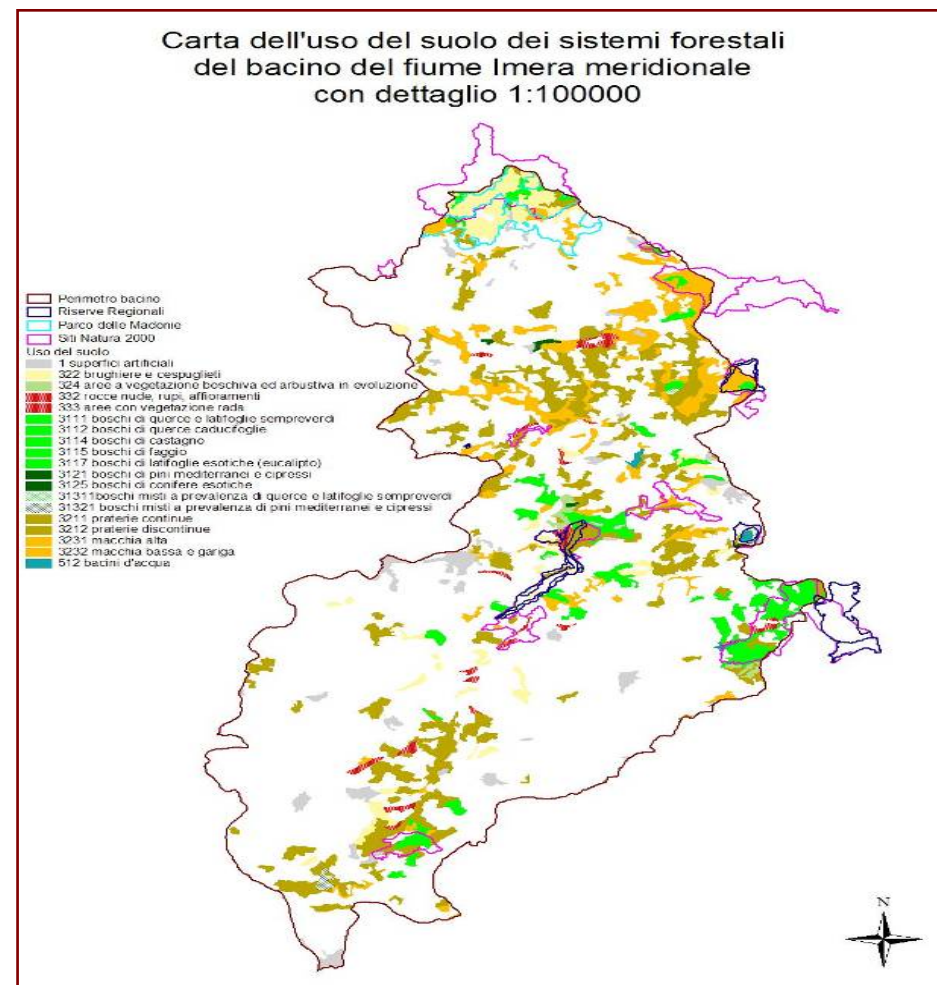
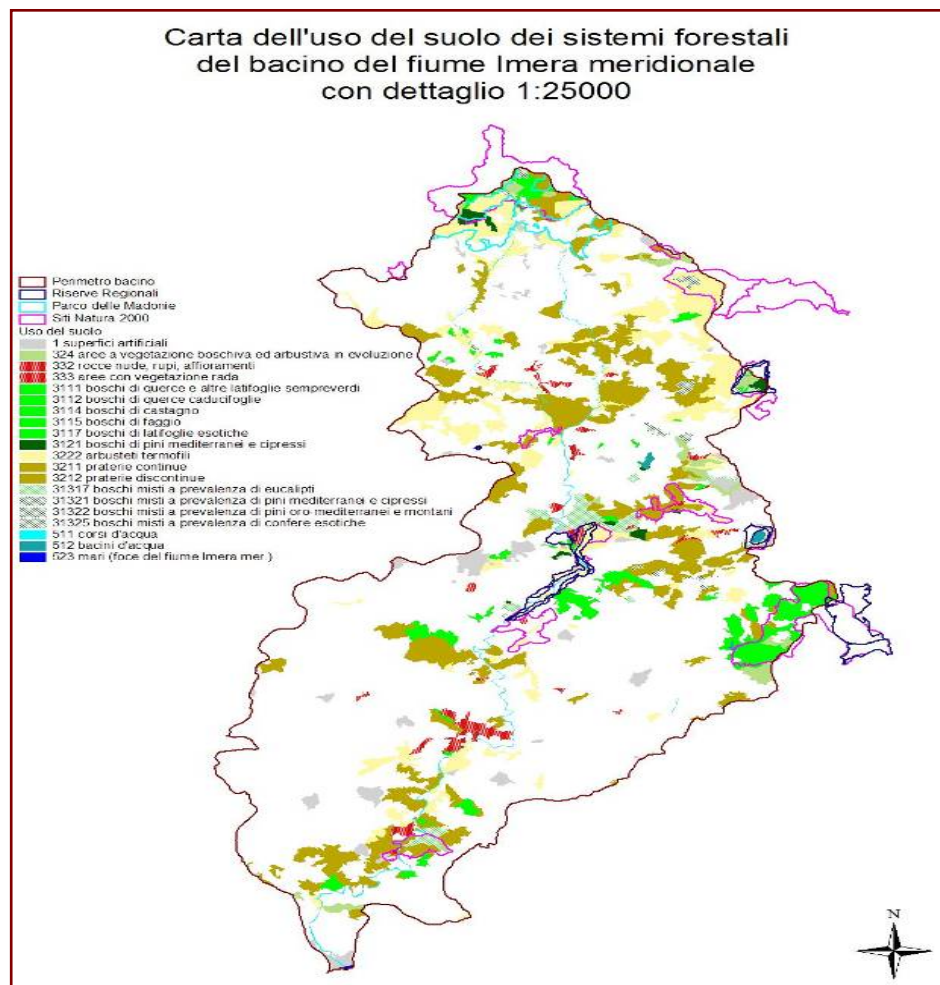
- 3.1. Zone boscate
 - 3.1.1. Boschi di latifoglie
 - 3.1.1.1. Boschi a prevalenza di querce e altre latifoglie sempreverdi (quali leccio e sughera)
 - 3.1.1.2. Boschi a prevalenza di querce caducifoglie (cerro e/o roverella e/o farnetto e/o rovere e/o farnia)
 - 3.1.1.3. Boschi misti a prevalenza di altre latifoglie autoctone (latifoglie mesofile e mesotermofile quali acero-frassino, carpino nero-orniello)
 - 3.1.1.4. Boschi a prevalenza di castagno
 - 3.1.1.5. Boschi a prevalenza di faggio
 - 3.1.1.6. Boschi a prevalenza di specie igrofile (quali salici e/o pioppi e/o ontani, ecc.)
 - 3.1.1.7. Boschi ed ex-piantagioni a prevalenza di latifoglie esotiche (quali robinia e ailanto)
 - 3.1.2. Boschi di conifere
 - 3.1.2.1. Boschi a prevalenza di pini mediterranei e cipressi (pino domestico, pino marittimo, pino d'aleppo)
 - 3.1.2.2. Boschi a prevalenza di pini oro-mediterranei e montani (pino nero e laricio, pino silvestre, pino loricato)
 - 3.1.2.3. Boschi a prevalenza di abeti (quali bianco e/o rosso)

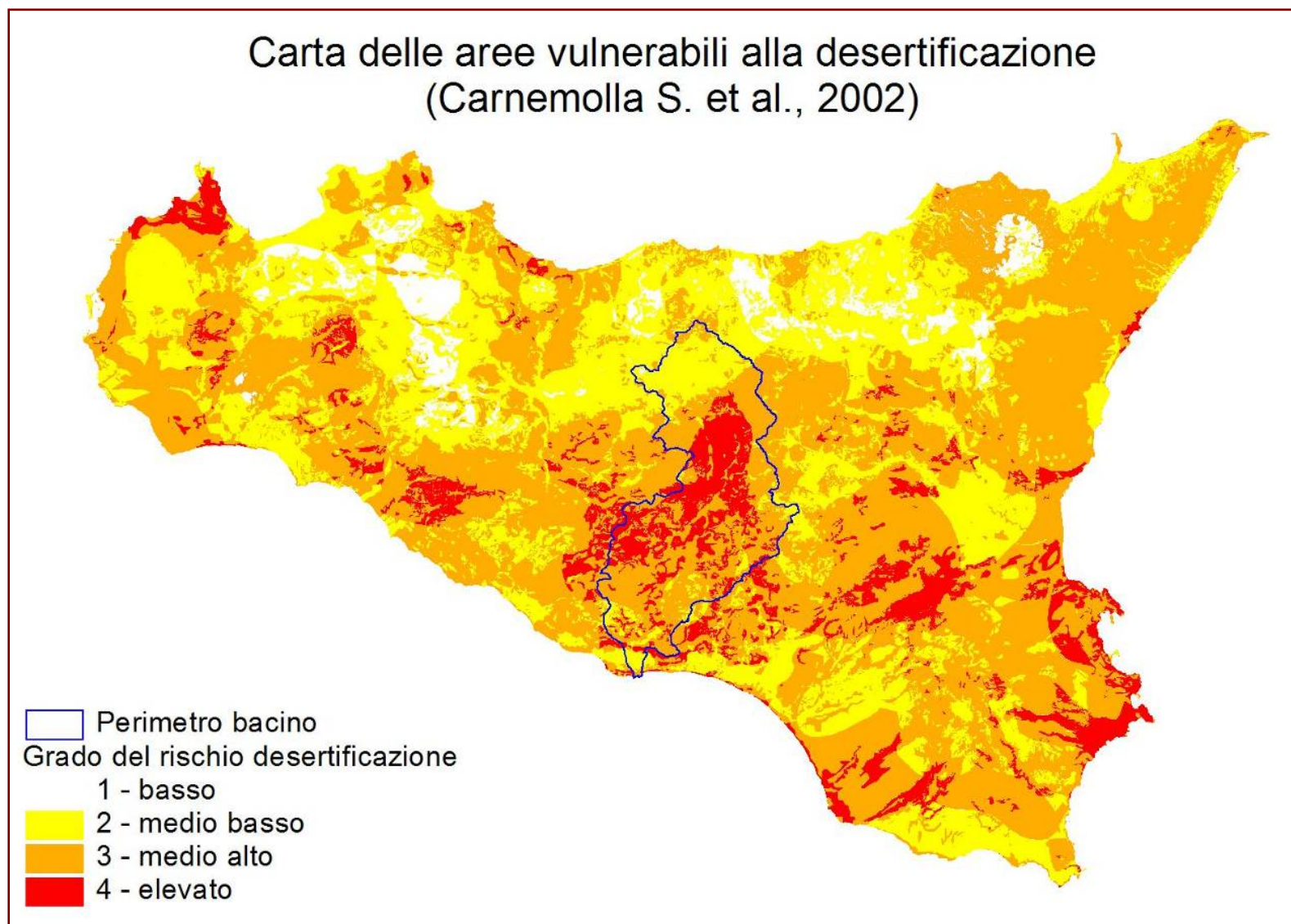
	3.1.2.4 Boschi a prevalenza di larice e/o pino cembro
	3.1.2.5 Boschi ed <i>ex</i> -piantagioni a prevalenza di conifere esotiche (quali douglasia, pino insigne, pino strobo)
3.1.3.	Boschi misti di conifere e latifoglie
3.1.3.1.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di latifoglie
3.1.3.1.1.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di querce e altre latifoglie sempreverdi (quali leccio e sughera)
3.1.3.1.2.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di querce caducifoglie (cerro e/o roverella e/o farnetto e/o rovere e/o farnia)
3.1.3.1.3.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di altre latifoglie autoctone (latifoglie mesofile e mesotermofile quali acero-frassino, carpino nero-orniello)
3.1.3.1.4.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di castagno
3.1.3.1.5.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di faggio
3.1.3.1.6.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di specie igrofite (quali salici e/o pioppi e/o ontani, ecc.)
3.1.3.1.7.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prev. di specie esotiche
3.1.3.2.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di conifere
3.1.3.2.1.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di pini mediterranei e cipressi (pino domestico, pino marittimo, pino d'aleppo)
3.1.3.2.2.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di pini oro-mediterranei e montani (pino nero e laricio, pino silvestre, pino loricato)
3.1.3.2.3.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di abeti (quali bianco e/o rosso)
3.1.3.2.4.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di larice e/o pino cembro
3.1.3.2.5.	Boschi misti di conifere e latifoglie a prevalenza di conifere esotiche (quali douglasia, pino insigne, pino strobo)
3.2.	Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea
3.2.1.	Aree a pascolo naturale e praterie
3.2.1.1.	Praterie continue
3.2.1.2.	Praterie discontinue
3.2.2.	Brughiere e cespuglietti
3.2.2.1.	Arbusteti montani
3.2.2.2.	Arbusteti termofili
3.2.3.	Aree a vegetazione sclerofilla
3.2.3.1.	Macchia alta
3.2.3.2.	Macchia bassa e garighe
3.2.4.	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
3.3.	Zone aperte con vegetazione rada o assente
3.3.1.	Spiagge, dune e sabbie
3.3.2.	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti
3.3.3.	Aree con vegetazione rada
3.3.4.	Aree percorse da incendi (necessitano di qualificazione di quarto livello)
3.3.5.	Ghiacciai e nevi perenni
4.	ZONE UMIDE
4.1.	Zone umide interne
4.1.1.	Paludi interne
4.1.2.	Torbiera
4.2.	Zone umide marittime
4.2.1.	Paludi salmastre
4.2.2.	Saline
4.2.3.	Zone intertidali
5.	CORPI IDRICI
5.1.	Acque continentali
5.1.1.	Corsi d'acqua, canali e idrovie
5.1.2.	Bacini d'acqua
5.2.	Acque marittime
5.2.1.	Lagune
5.2.2.	Estuari
5.2.3.	Mari



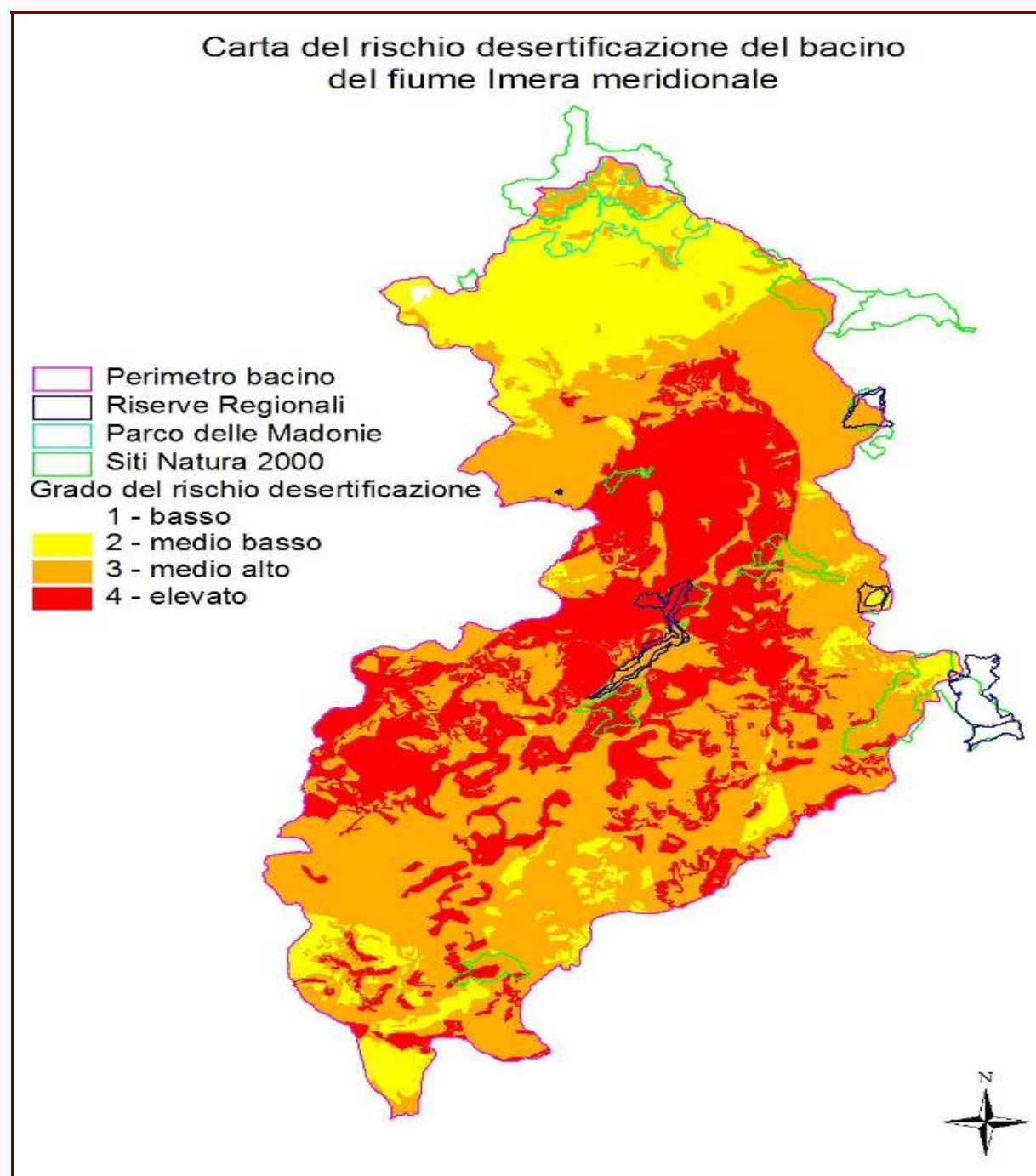


Allegato 6.4 - Carta dell'uso del suolo dei sistemi forestali (dettaglio scala 1:250000)

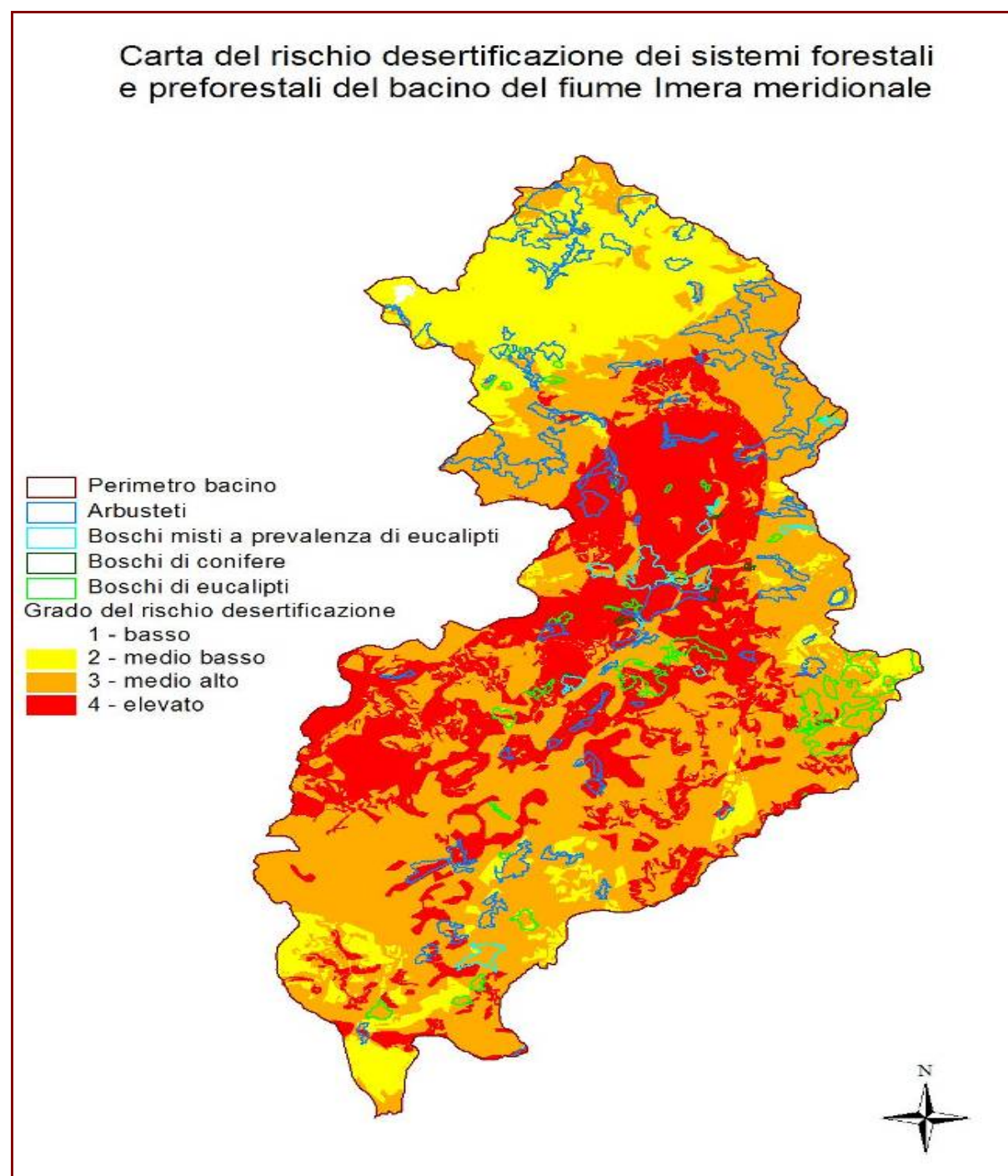




Allegato 6.6 - Carta del rischio desertificazione del bacino del Fiume Imera meridionale.



Allegato 6.7 - Carta del rischio desertificazione dei sistemi forestali e preforestali del bacino del Fiume Imera meridionale.



Capitolo 7 - Monitoraggio della salinità del suolo a seguito della irrigazione con acque a diverso grado di salinità

Prof. Carmelo Dazzi

Dipartimento di Agronomia Ambientale e Territoriale, Università degli Studi di Palermo

7.1 Introduzione

Fra le emergenze ambientali direttamente legate ai processi di desertificazione, assumono un rilievo particolare, per via della loro pericolosità, i processi di salinizzazione secondaria dei suoli indotti dall'attività antropica che rivestono una importanza, scientifica e pratica, che cresce di anno in anno (Dazzi, 2002; 2006). Nonostante le esperienze negative sperimentate in diverse parti del mondo, la salinizzazione delle aree irrigue, e talora anche di quelle circostanti, non diminuisce ma al contrario, aumenta (Szabolcs, 1994). Stime proiettate al 2020, sullo sviluppo dell'irrigazione e della conseguente salinizzazione secondaria, indicano che gli andamenti nell'incremento delle aree irrigue e delle aree salinizzate seguono un *trend* di sviluppo quasi in parallelo e che i territori con salinizzazione secondaria sono più estesi dei territori irrigui in quanto i processi di salinizzazione secondaria influenzano, in genere, una superficie maggiore rispetto a quella irrigua (Szabolcs, 1998).

Nelle ultime decadi le aree irrigue nei Paesi del bacino del Mediterraneo hanno subito un incremento stimato intorno al 20 % (Pla Sentis, 1996). Queste sono di solito localizzate in prossimità di zone ad alta concentrazione urbana ed industriale, ove si consuma gran parte dell'acqua di buona qualità. Ne consegue che, per scopi irrigui, si ricorre ad acque di scarsa qualità (principalmente saline, reflui urbani o effluenti industriali). A ciò si aggiunga il sovrasfruttamento delle falde lungo le pianure costiere, che conduce frequentemente ad intrusione nell'acquifero di acque marine ed anche l'eccessivo ricorso a fertilizzanti e pesticidi che, usati in grande quantità nell'agricoltura irrigua, possono contaminare le acque superficiali o di falda impiegate per scopi agricoli (e anche civili).

Questi problemi sono destinati ad aggravarsi per effetto dei cambiamenti climatici globali previsti per il prossimo futuro. Si specula, che nell'Europa mediterranea tali cambiamenti condurrebbero ad un incremento dell'indice di aridità che, influenzando il regime di umidità ed il bilancio salino dei suoli, finirebbero col

determinare una minore lisciviazione ed una maggiore salinizzazione, fino a raddoppiare, nei prossimi 40 anni, le aree affette da salinità (Szabolcs, 1996).

Probabilmente è in Sicilia che il problema della salinizzazione secondaria dei suoli per irrigazione è maggiormente acuto, e ciò è da mettere in relazione non solo con la natura dei suoli presenti ma anche con i livelli di salinità delle acque disponibili per l'irrigazione.

La pericolosità dell'impiego di acque saline e la loro notevole influenza nei processi di salinizzazione secondaria dei suoli sono dimostrate da studi condotti a partire dagli anni '60 del secolo scorso dal Dipartimento di Agronomia Ambientale e Territoriale dell'Università degli Studi di Palermo con una serie di sperimentazioni condotte in areali siciliani ove il problema della salinità del suolo indotta con acque irrigue è particolarmente sentito (Ballatore *et al.*, 1968a; 1968b; 1968c; 1968d; Fierotti *et al.*, 1968a; 1968b; 1999). Tali risultati sono stati recentemente confermati da uno studio condotto su alcuni suoli caposaldo nelle aree irrigue della piana di Licata (Indorante *et al.*, 2001) e testimoniano come, nelle regioni meridionali ed insulari d'Italia, ad estate caldo-arida, dove le produzioni agricole dipendono in larga misura dall'irrigazione, l'uso di tali acque rappresenta la causa di salinizzazione e sodicizzazione dei suoli, ossia di processi di accumulo e redistribuzione dei sali nei diversi orizzonti del profilo del suolo (Chhabra, 1996).

7.2 La proposta di indagine

Nonostante gli studi condotti, la problematica legata all'irrigazione è assai complessa e, ancora oggi, non tutti i meccanismi di azione sul suolo e sulla vegetazione sono ben conosciuti, potendo variare fortemente non solo da luogo a luogo e da tipo pedologico a tipo pedologico, ma spesso, anche in uno stesso suolo (Dazzi *et al.*, 2005).

Le esperienze realizzate hanno mostrato come, nelle differenti condizioni pedologiche, climatiche e vegetazionali, sia possibile fare ricorso alla utilizzazione di

acque anomale purché sia preceduta da accurati e approfonditi studi diretti a stabilire gli effetti sui suoli (*Dazzi et al.*, 2002)..

Molto è stato già fatto, ma rimane ancora molto da fare. In quest'ottica l'Osservatorio delle Acque dell'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque interviene per la realizzazione di un "Progetto Pilota di Lotta alla Siccità ed alla Desertificazione" nell'ambito dell'Accordo di Programma con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela e del Mare ed il Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e Desertificazione. Tale programma si inquadra in una serie di attività svolte dall'Osservatorio nell'ambito del sistema di monitoraggio dell'Ufficio per le azioni di contrasto e mitigazione alla siccità e desertificazione che l'Amministrazione Regionale porta avanti. Una delle tematiche considerate in tale settore, riguarda il "monitoraggio della salinità del suolo a seguito della irrigazione con acque a diverso grado di salinità", sviluppata mediante convenzione stipulata fra l'Osservatorio delle Acque ed il Dipartimento AAT, Cattedra di Pedologia, dell'Università degli Studi di Palermo. Tale attività, sviluppata in un arco di tempo compreso fra luglio 2007 e settembre 2008, è stata condotta in un'area particolarmente significativa della piana di Licata (AG).

Prima di proseguire nella relazione si desidera sottolineare come indagini volte a definire le relazioni acqua/suolo abbisognano di una dimensione spazio/temporale di gran lunga superiore rispetto a quella considerata in questa attività di monitoraggio (un anno di osservazioni ed un solo sito di indagine).

In altre parole, occorre che indagini con tali obiettivi siano condotte su tipologie di suolo quanto più possibile diversificate e per un arco di tempo almeno decennale (così da comprendere il cosiddetto "anno normale" (*Soil Survey Staff*, 2006), per potere ricavare indicazioni di sicura valenza scientifica ed applicativa.

7.3 Materiali e metodi

In base alle indicazioni riportate nel protocollo di intesa, una serie di escursioni preliminari ha consentito di individuare nella piana di Licata una situazione tipo, rappresentativa della realtà serricola ove, più che in altre realtà sono evidenti processi di salinizzazione secondaria indotti dall'uso di acque saline (*Indorante et al.*, 2001). In particolare, è stata scelta l'azienda Cammilleri (sita in contrada Fiume Vecchio, Fig. 7.1) che è risultata essere particolarmente idonea per le finalità del monitoraggio in quanto essa, oltre ad essere rappresentativa della realtà serricola della piana di Licata, consentiva di individuare tre dispositivi sperimentali caratteristici dell'agricoltura protetta e caratterizzati da una spinta di omogeneità sia dei parametri ambientali che delle metodologie agronomiche di intervento, che delle specie vegetali allevate.



Fig. 7.1 - Localizzazione dell'azienda sede della azione di monitoraggio.

Uno dei tre dispositivi è stato gestito secondo pratiche agricole che rappresentano una modalità innovativa nell'areale di sperimentazione ed ha costituito

il “controllo” rispetto agli altri due che hanno visto rispettivamente l’uso di acque saline (salina), derivanti da un pozzo presente in azienda (Fig. 7.2) e di acque dolci (dolce), utilizzando acque piovane appositamente catturate durante la stagione invernale (Fig. 7.3).



Fig. 7.2 - Il pozzo dell’azienda. In secondo piano il vascone di raccolta delle acque piovane.



Fig. 7.3 - Il vascone di raccolta delle acque piovane.

Per la valutazione nel tempo dell'andamento della salinità nelle acque di irrigazione utilizzate e dell'andamento della salinità nel *topsoil* e nel *subsoil* del suolo, a seguito della irrigazione, in ciascun dispositivo, con cadenza quindicinale, sono stati prelevati campioni delle acque impiegate e campioni di suolo (in doppio entro ciascun dispositivo sperimentale).

Sulle acque sono stati determinati i seguenti parametri:

- Conducibilità elettrica (CE);
- Ione calcio (Ca^{++});
- Ione magnesio (Mg^{++});
- Ione potassio (K^{+});
- Ione sodio (Na^{+});
- SAR (Sodium Adsorption Ratio).

Sui campioni di suolo sono stati determinati i seguenti parametri:

- Reazione (pH);
- Conducibilità elettrica (CE);

- Ione calcio (Ca^{++});
- Ione magnesio (Mg^{++});
- Ione potassio (K^{+});
- Ione sodio (Na^{+}).

La reazione è stata misurata potenziometricamente su di una sospensione 1:2.5 (suolo: H_2O) utilizzando un Metrohm 691 con elettrodo in vetro (AC 9101). La conducibilità elettrica è stata misurata su di una sospensione 1:5 (suolo: H_2O) utilizzando un conduttimetro Orion 101 (con cella 012001). Gli ioni (Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} , Na^{+}) sono stati determinati con cromatografo ionico Dionex 120D.

Il suolo oggetto di indagine è stato studiato mediante l'apertura di un profilo pedologico, e quindi caratterizzato e classificato secondo le più note e diffuse metodologie (Soil Survey Staff, 2006). Per esso, oltre ai parametri su citati, sono stati determinati anche la tessitura (metodo della pipetta dopo dispersione in esametafosfato di sodio) ed il carbonio organico (ossidazione con permanganato di potassio).

7.4 Il suolo oggetto di indagine

Per determinare compiutamente le caratteristiche dei suoli oggetto del monitoraggio, nelle immediate vicinanze dei tre dispositivi sperimentali è stato aperto un profilo di suolo che è stato descritto e campionato nei suoi orizzonti genetici e fino ad una profondità di 160 centimetri (Figg. 7.4 e 7.5).

Nello specifico, il suolo investigato si è formato sulle alluvioni recenti del fiume Salso ed evolve su una morfologia pianeggiante, con pietrosità e rocciosità assente e drenaggio esterno imperfetto. Su base pedogenetica presenta 6 orizzonti: Ap1, Ap2, Bw1, Bw2, 2BW1, 2Bw2.

In sintesi, il suolo presenta una tessitura franco-sabbiosa nei primi due orizzonti (Ap1 e Ap2), con contenuti di sabbia di poco superiori al 70% e di argilla e limo rispettivamente al di sotto del 20% e del 10%. Gli orizzonti diagnostici che seguono (Bw1, Bw2 e 2Bw1), presentano invece una tessitura franco-argillosa-sabbiosa, fino ad una profondità di 130 cm. Qui il contenuto di argilla arriva fino al 25%, mentre si

ha un incremento della percentuale di limo (14% circa) e un decremento della percentuale di sabbia (60% circa). L'ultimo orizzonte, infine, ha caratteristiche tessiturali di suolo franco facendo registrare il 29,41%, il 18,25% e il 52,34%, di argilla, limo e sabbia rispettivamente. Lungo il profilo la forma degli aggregati va da poliedrica subangolare, negli orizzonti A, a poliedrica angolare negli orizzonti che seguono, le dimensioni variano da molto fini a medie seguendo lo stesso andamento. Nel complesso il suolo risulta poco plastico e poco adesivo, con scarsa presenza di pori e drenaggio interno che varia da normale a lento. Si sottolinea la presenza di concrezioni di CaCO_3 a circa 120 cm di profondità.

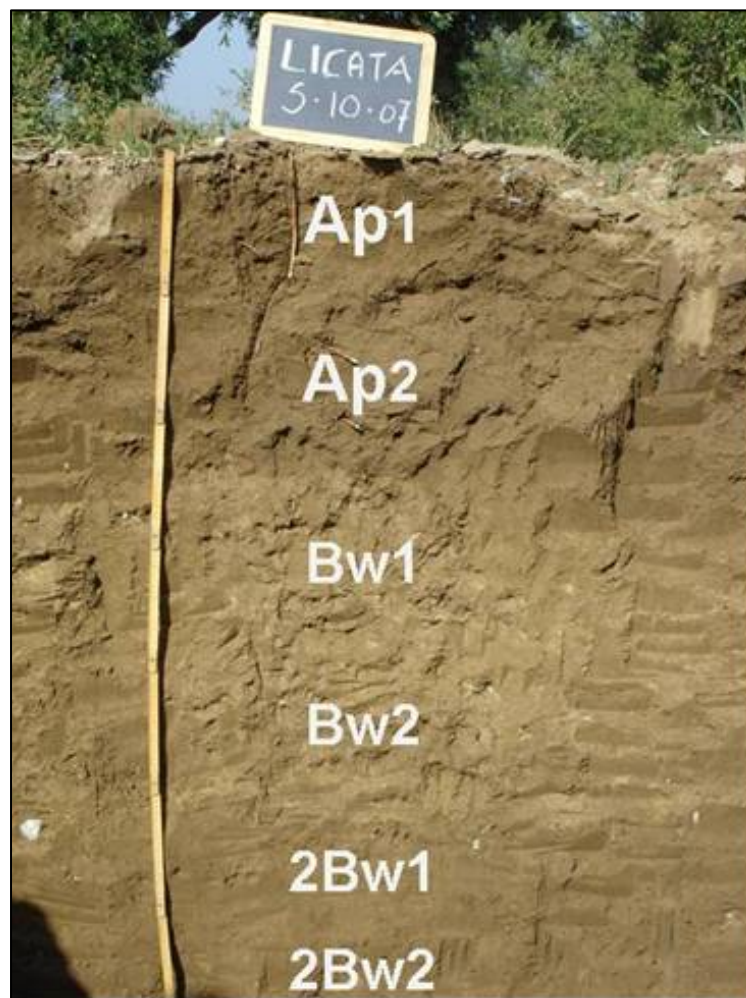


Fig. 7.4 - Morfologia del profilo rappresentativo dei suoli oggetto di indagine.



Fig. 7.5 - Stazione del profilo rappresentativo dei suoli oggetto di indagine.
In secondo piano uno dei dispositivi sperimentali.

Per ciò che concerne le caratteristiche chimiche, il suolo presenta una reazione sub alcalina, con pH variabile da 7,9 a 8,3; CSC media, saturata in ioni calcio e conducibilità elettrica media pari a 431 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nei primi orizzonti e che aumenta progressivamente lungo il resto del profilo fino a raggiungere il valore di 927 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nell'ultimo orizzonte. Il contenuto in carbonio organico decresce regolarmente con l'aumentare della profondità (da 4,09 g Kg^{-1} a 3,5 g Kg^{-1}), indicando in tal modo come il suolo abbia subito una certa evoluzione pedologica.

7.5 I risultati del monitoraggio

Accanto alle osservazioni sulle acque irrigue e sui suoli all'interno dei dispositivi sperimentali, con la collaborazione dell'Ufficio Idrografico Regionale, è stata condotta anche una indagine sull'andamento climatico nell'area di studio, per

verificare eventuali relazioni fra andamento climatico e caratteristiche delle acque impiegate durante il monitoraggio.

L'analisi dell'andamento climatico, sulla base dei dati di temperatura e di piovosità relativi al periodo giugno 2007-giugno 2008 della stazione di Licata e di Ponte dei Drasi mette in evidenza una temperatura media massima mensile di 24.4°C e di 22.9°C rispettivamente, ed una temperatura media minima mensile di 14.8°C e di 11.7°C (Figg. 7.6 e 7.7).

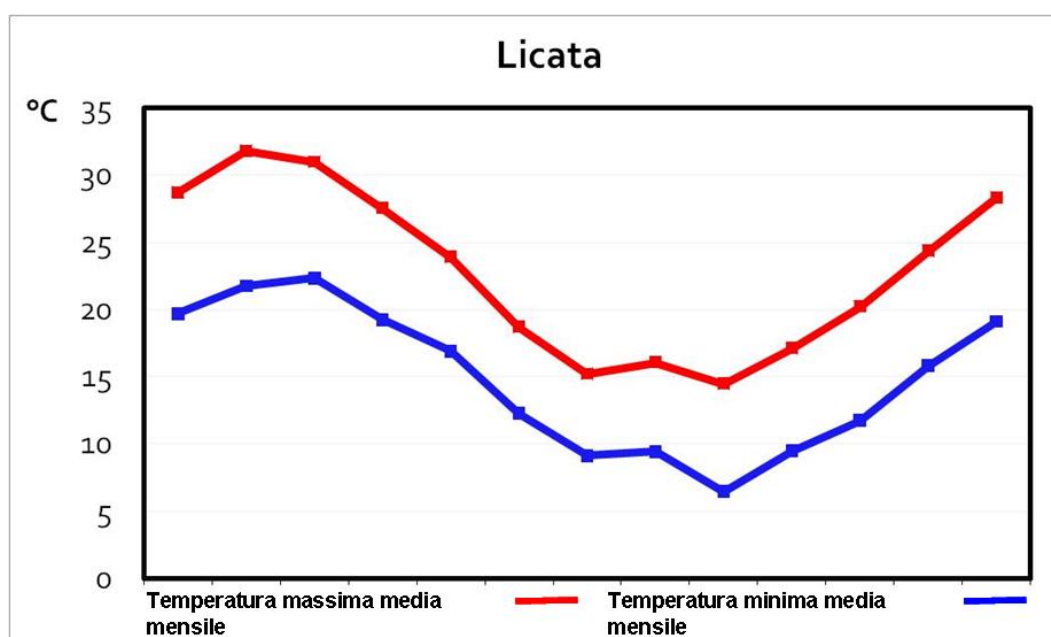


Fig. 7.6 - Licata: andamento delle temperature medie massime e minime durante il periodo di indagine.

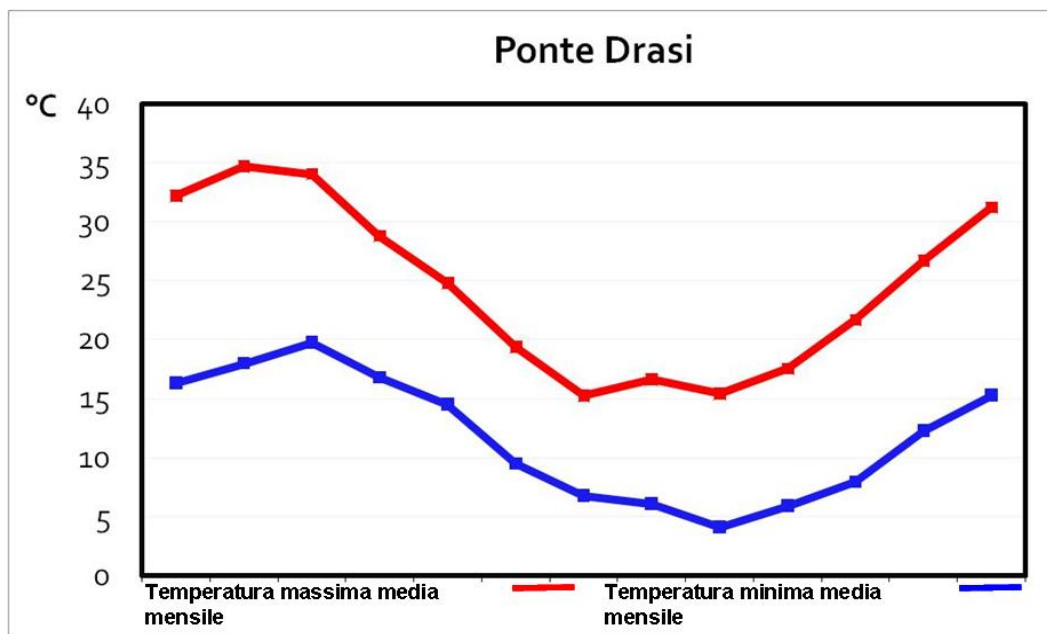


Fig. 7.7 - Ponte Drasi: andamento delle temperature medie massime e minime durante il periodo di indagine.

I valori di temperatura massima (Figg. 7.6 e 7.7), si raggiungono nel mese di luglio in entrambe le stazioni, 31.8°C e di 34.7°C, mentre i valori minimi si verificano in febbraio (6.4°C e 4.1°C).

Per quanto attiene le precipitazioni, il mese più piovoso risulta essere dicembre, con 4.1 mm e 2.6 mm rispettivamente a Licata e Ponte dei Drasi, mentre i mesi di luglio e agosto 2007, e giugno 2008 sono completamente asciutti per entrambe le stazioni (Figg. 7.8 e 7.9).

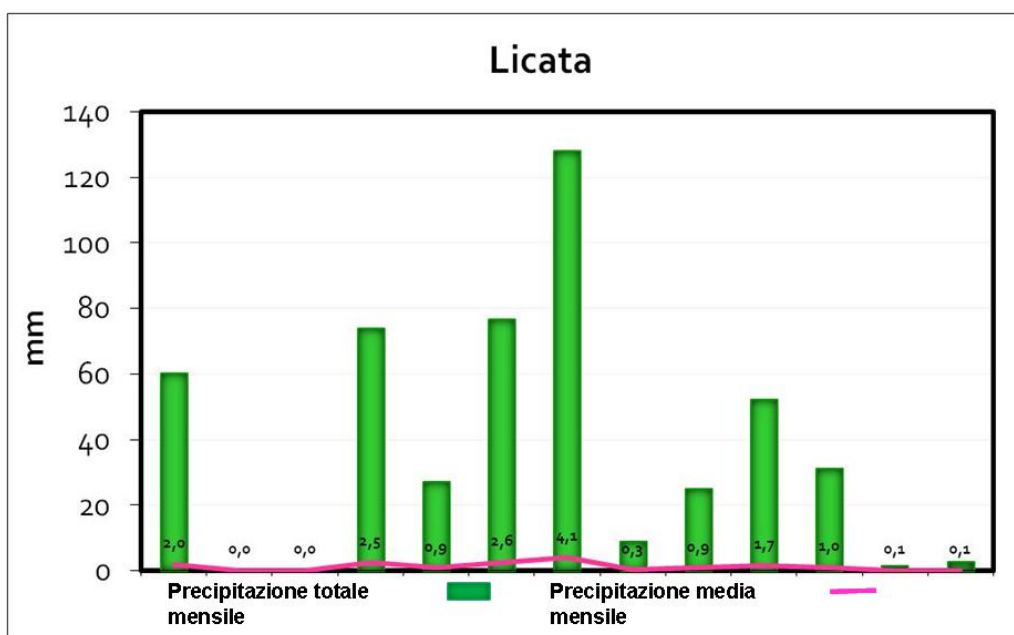


Fig. 7.8 - Licata: andamento delle precipitazioni durante il periodo di indagine.

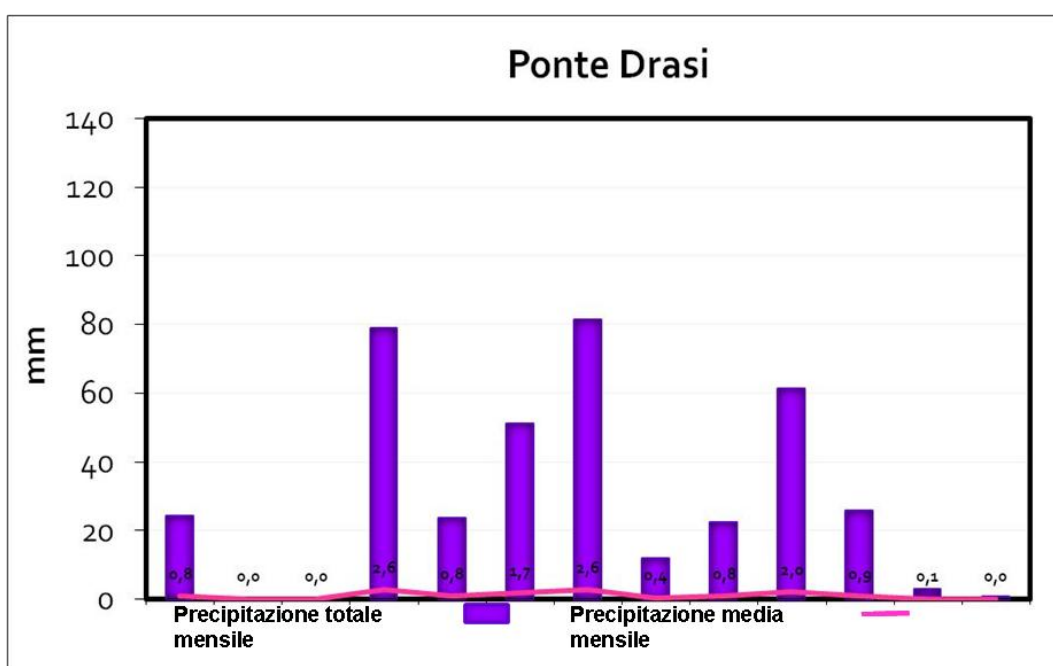


Fig. 7.9 - Ponte Drasi: andamento delle precipitazioni durante il periodo di indagine.

7.5.1 Le acque di irrigazione

Come su riportato, sulle acque impiegate per l'irrigazione (*controllo, salina, dolce*), sono stati determinati la conducibilità elettrica (CE), gli ioni calcio (Ca^{++}),

magnesio (Mg^{++}), potassio (K^{+}), sodio (Na^{+}) ed il SAR (*sodium adsorption ratio*), un indice sintetico che mostra il pericolo di alcalizzazione che l'uso di una data acqua irrigua comporta per il suolo. Gli andamenti che durante il periodo di monitoraggio questi parametri hanno fatto registrare sono di seguito riportati.

- Ione sodio (Na^{+}): presenta un andamento decrescente (Fig. 7.10), che risulta notevole per l'acqua impiegata nel controllo (con valori a partire da circa 800 mgKg^{-1}) e meno accentuato sia per l'acqua dolce (con valori a partire da circa 250 mgKg^{-1}) che per l'acqua salina (con valori a partire da circa 800 mgKg^{-1}).

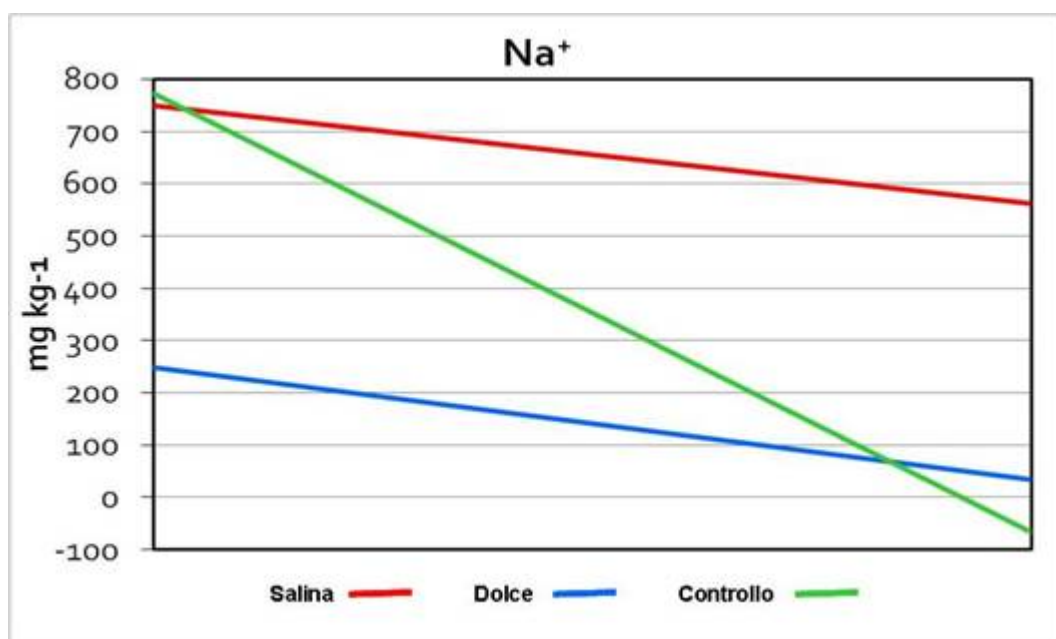


Fig. 7.10 - Andamento delle concentrazioni dello ione sodio nelle acque irrigue.

- Ione potassio (K^{+}): presenta un andamento decrescente (Fig. 7.11), quasi parallelo per l'acqua impiegata nel controllo (con valori a partire da circa 9 mgKg^{-1}) e per l'acqua dolce (con valori a partire da circa 11 mgKg^{-1}); il trend in decremento risulta meno accentuato per l'acqua salina (con valori massimi a partire da circa 9 mgKg^{-1} e minimi di 5 mgKg^{-1}).
- Ione magnesio (Mg^{++}): nell'acqua dolce il magnesio presenta valori molto bassi ($5\text{-}10\text{ mgKg}^{-1}$) e quasi costanti durante tutto il periodo di monitoraggio (Fig. 7.12). Così non accade per il controllo e per l'acqua salina: per queste il

magnesio fa registrare andamenti che sono fortemente decrescenti per il controllo (con valori a partire da circa 210 mgKg⁻¹) e moderatamente decrescenti per l'acqua salina (con valori a partire da circa 210 mgKg⁻¹ e fino a 140 mgKg⁻¹).

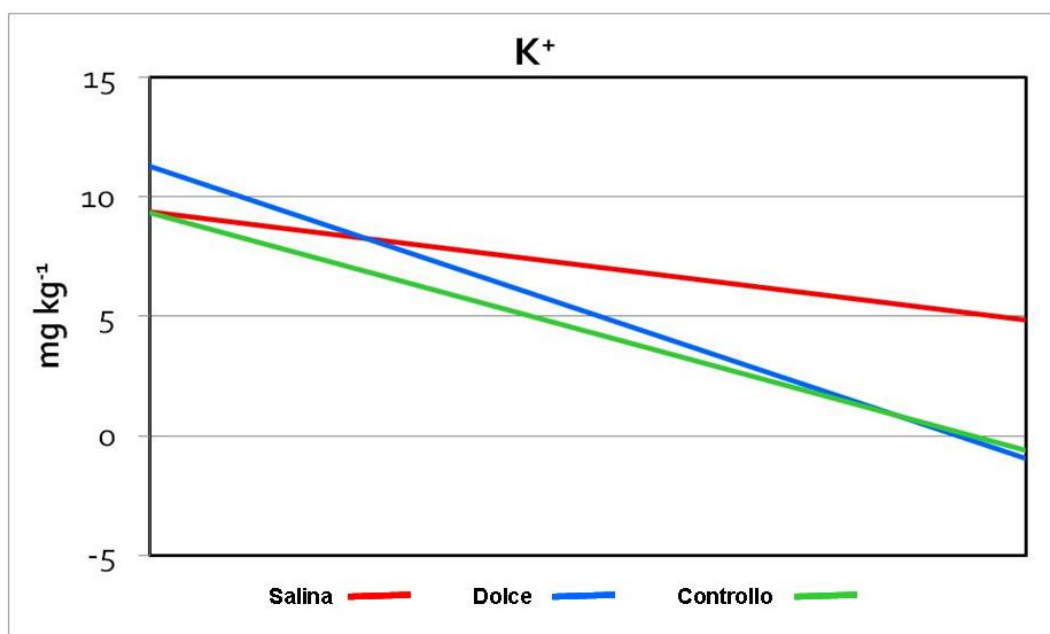


Fig. 7.11 - Andamento delle concentrazioni dello ione potassio nelle acque irrigue.

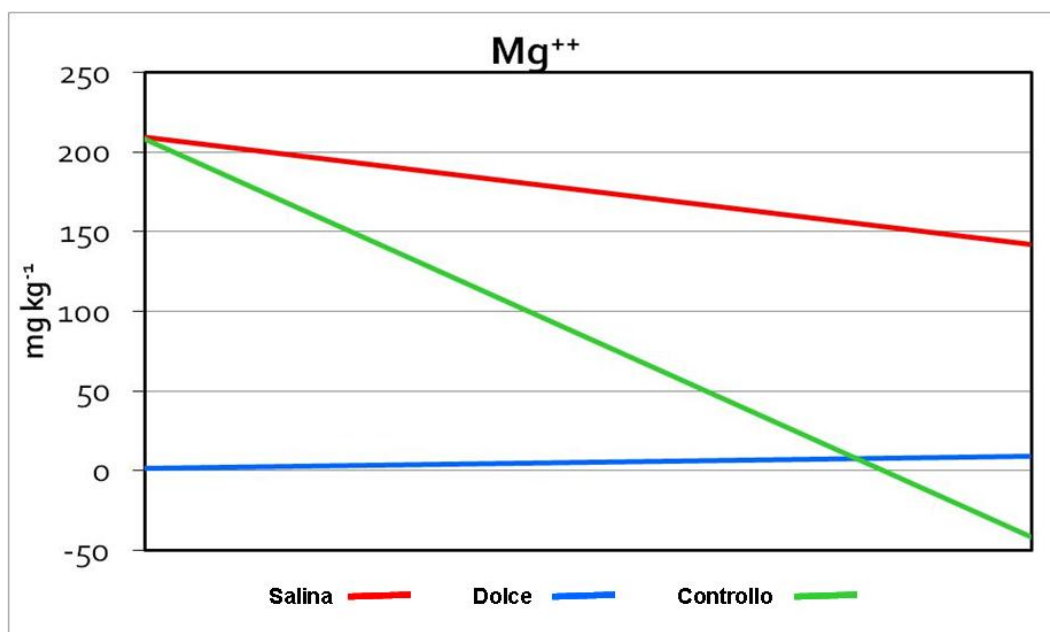


Fig. 7.12 - Andamento delle concentrazioni dello ione magnesio nelle acque irrigue.

- Ione calcio (Ca^{++}): l'andamento fatto registrare dallo ione calcio risulta paragonabile con quello del magnesio (Fig. 7.13). Nell'acqua dolce il calcio presenta valori bassi ($80\text{-}50\text{ mgKg}^{-1}$) ed in leggerissimo decremento durante il periodo di monitoraggio. Per il controllo si registrano andamenti fortemente decrescenti (con valori a partire da circa 430 mgKg^{-1}); per l'acqua salina moderatamente decrescenti (con valori a partire da circa 440 mgKg^{-1} e fino a 310 mgKg^{-1}).

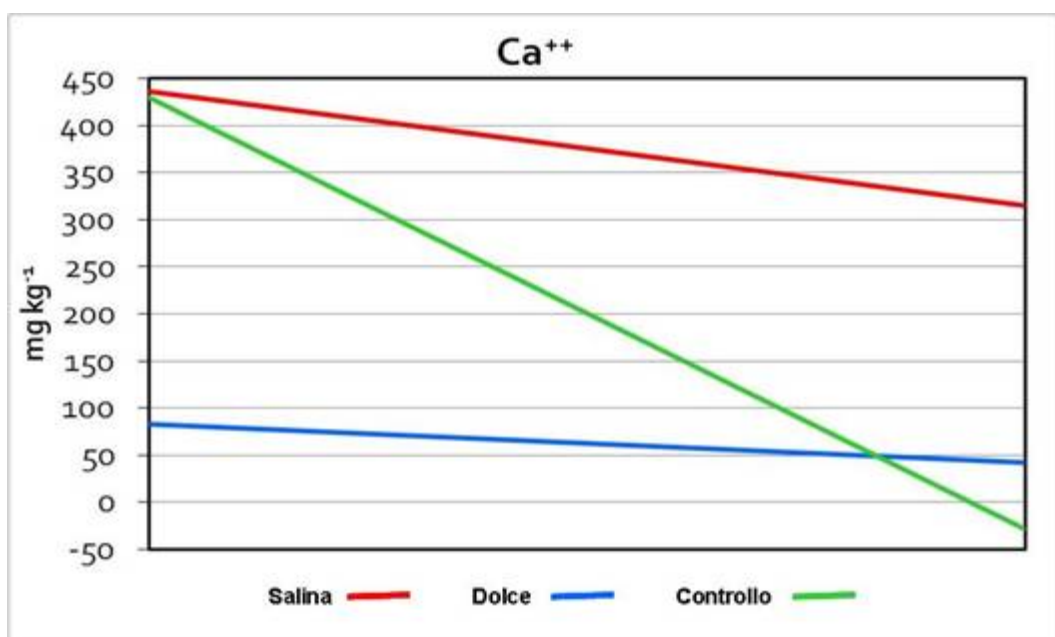


Fig. 7.13 - Andamento delle concentrazioni dello ione calcio nelle acque irrigue.

- Sodium Adsorption Ratio (SAR): il monitoraggio dell'andamento del SAR delle acque impiegate per la sperimentazione (Fig. 7.14) evidenzia *trend* decrescenti nel caso dell'acqua dolce e del controllo. I valori variano da massimi di circa 40 a valori minimi di circa 10 (si sottolinea che valori di SAR superiori a 20 indicano un pericolo di alcalizzazione dei suoli molto alto). L'acqua salina fa registrare un andamento nel corso del periodo esaminato, in leggero decremento con valori di SAR che oscillano fra circa 40 e circa 35 (sempre di molto superiori al valore soglia di 20).

- Conducibilità elettrica (CE): il *trend* fatto registrare dalla CE (Fig. 7.15), risulta in aumento nel caso dell'acqua salina (da circa 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a circa 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Andamento in diminuzione mostrano l'acqua dolce ed il controllo (da rispettivamente valori di 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ circa e da circa 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a circa 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Se si mette in relazione l'andamento della piovosità della stazione di Licata con i valori di conducibilità elettrica dell'acqua salina (Fig. 7.16) cioè dell'acqua del pozzo aziendale la cui quantità e qualità viene influenzata dal regime delle piogge, si nota come vi sia una certa relazione fra andamento della piovosità e valori della conducibilità (che sono funzione della quantità dei sali presenti e quindi degli ioni). In generale, ad un periodo piovoso corrisponde una diminuzione della conducibilità e viceversa.

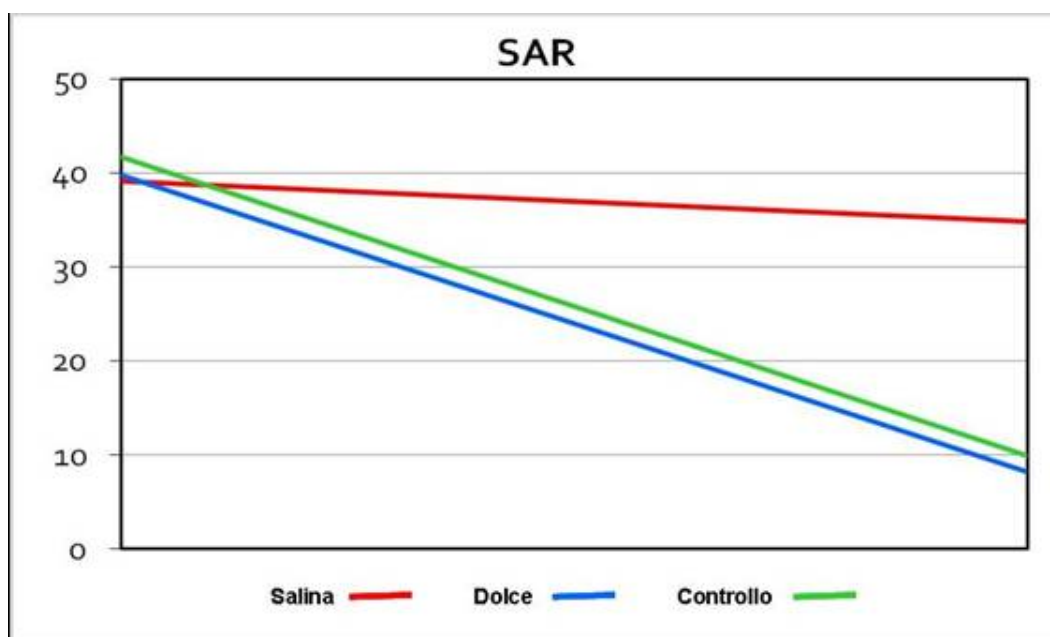


Fig. 7.14 - Andamento dei valori del SAR nelle acque irrigue.

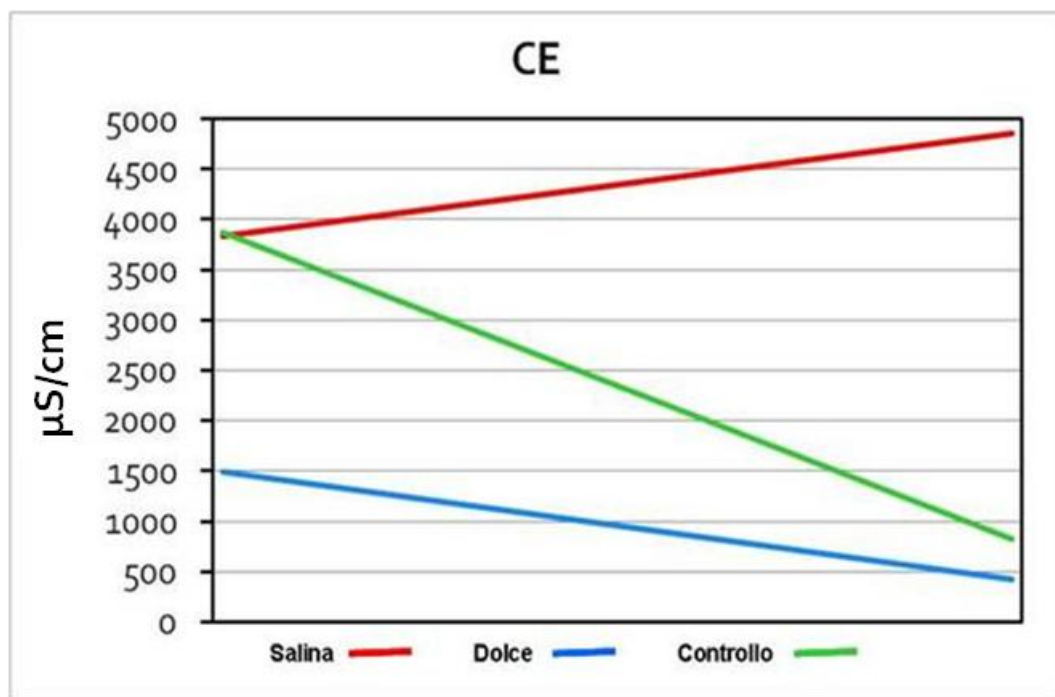


Fig. 7.15 - Andamento dei valori della CE nelle acque irrigue.

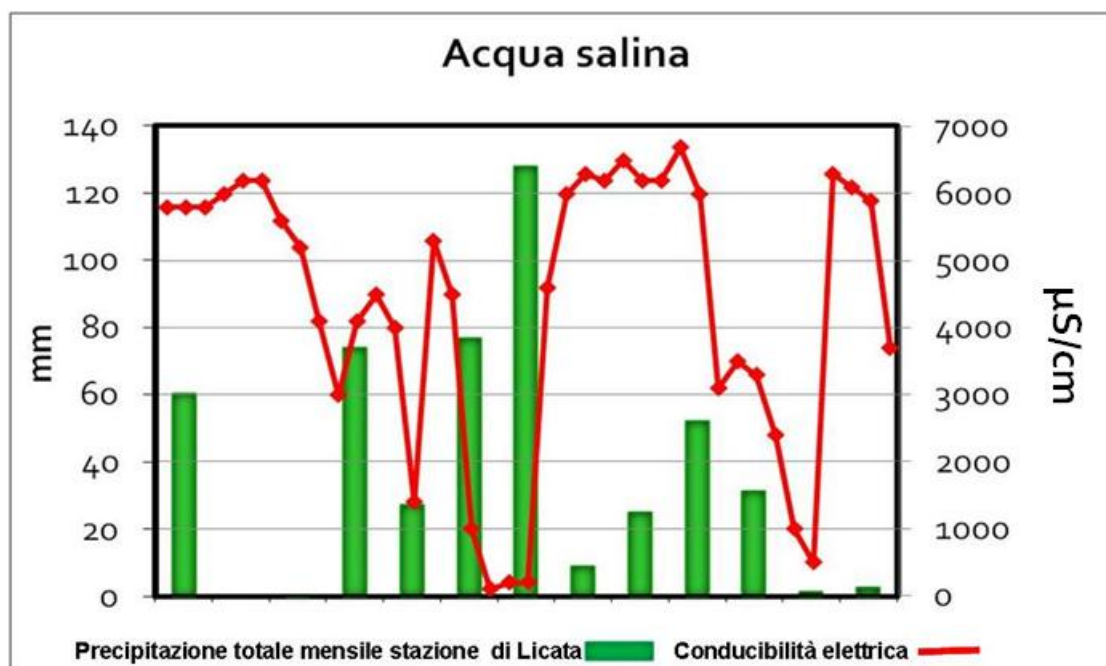


Fig. 7.16 - Relazioni fra andamento della piovosità a Licata e conducibilità dell'acqua salina.

7.5.2 Il suolo

Come sopra riportato, per la valutazione nel tempo dell'andamento della salinità nel suolo a seguito della irrigazione, in ciascun dispositivo sperimentale (controllo, salina, dolce) con cadenza quindicinale, sono stati prelevati, in doppio, campioni di suolo sia dal *topsoil* che dal *subsoil*. Su di essi sono stati determinati la reazione (pH), la conducibilità elettrica (CE), gli ioni calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potassio (K^{+}), sodio (Na^{+}).

- Reazione (pH): nel periodo di monitoraggio, la reazione ha fatto registrare valori da *sub*-alcalini a neutri, con un andamento decrescente sia nel *topsoil* che nel *subsoil* (Figg. 7.17 e 7.18). Nel *subsoil* i valori sono mediamente più alti di 0,1 unità rispetto ai valori del *topsoil* e ciò per le ragioni che emergono analizzando l'andamento della concentrazione degli ioni.
- Conducibilità elettrica (CE): l'andamento della conducibilità elettrica nel suolo irrigato con acque saline (Figg. 7.19 e 7.20) risulta quasi costante sia nel *topsoil* (2400-2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) che nel *subsoil* (circa 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Lo stesso si può affermare per gli andamenti della conducibilità elettrica nel *subsoil* sia del controllo che di quello irrigato con acque dolci (Fig. 7.20). In decremento sono invece i valori della conducibilità nei *topsoil* irrigati con acqua dolce e con il controllo e ciò per evidenti motivi legati ad una certa "lisciviazione" determinata anche dalle buone caratteristiche fisiche del suolo (tessitura, struttura, porosità) e dalla buona capacità di infiltrazione che lo stesso presenta nella sua parte superficiale.

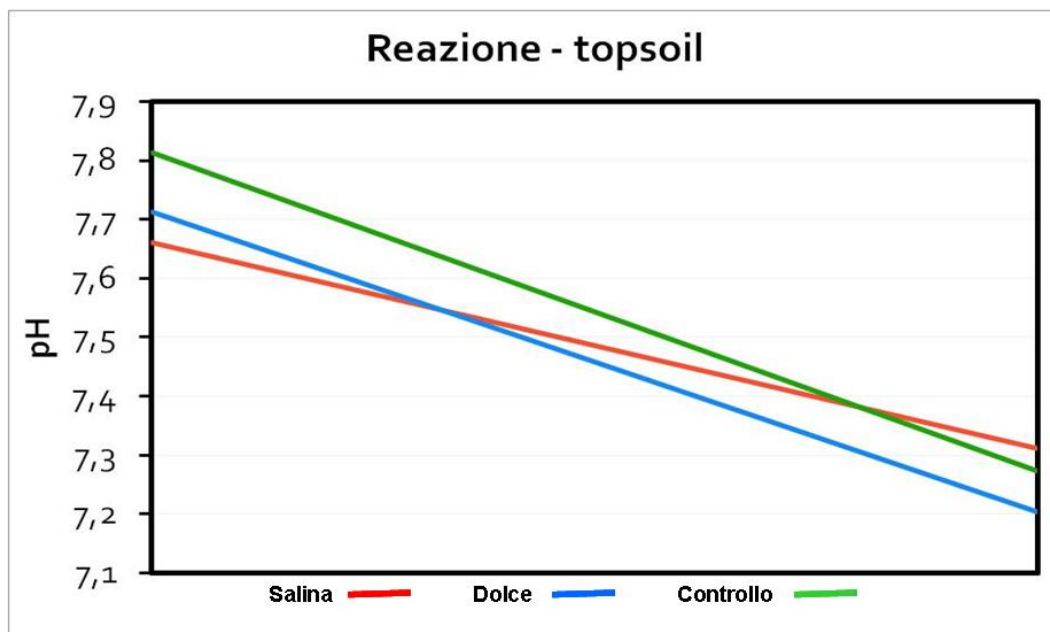


Fig. 7.17 - Andamento della reazione nel *topsoil* irrigato con acque di diversa qualità.

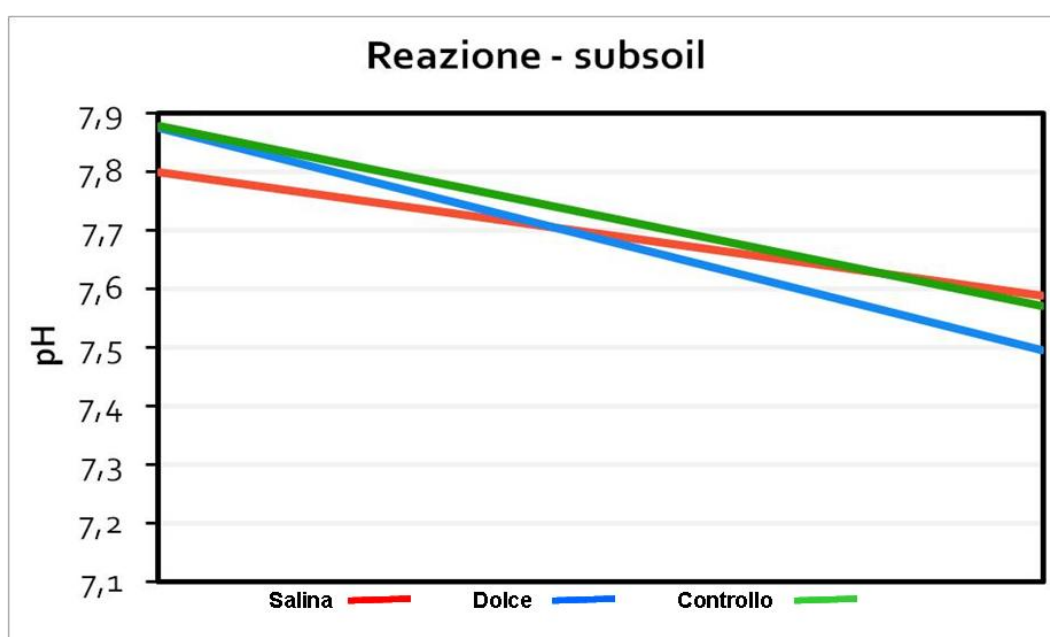


Fig. 7.18 - Andamento della reazione nel *subsoil* irrigato con acque di diversa qualità.

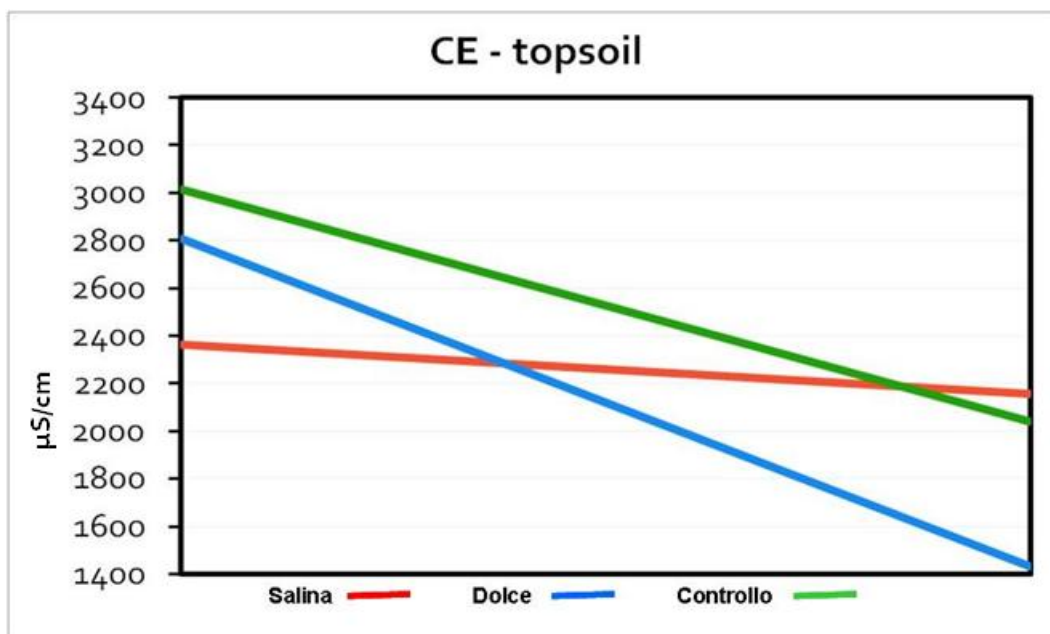


Fig. 7.19 - Andamento della CE nel *topsoil* irrigato con acque di diversa qualità.

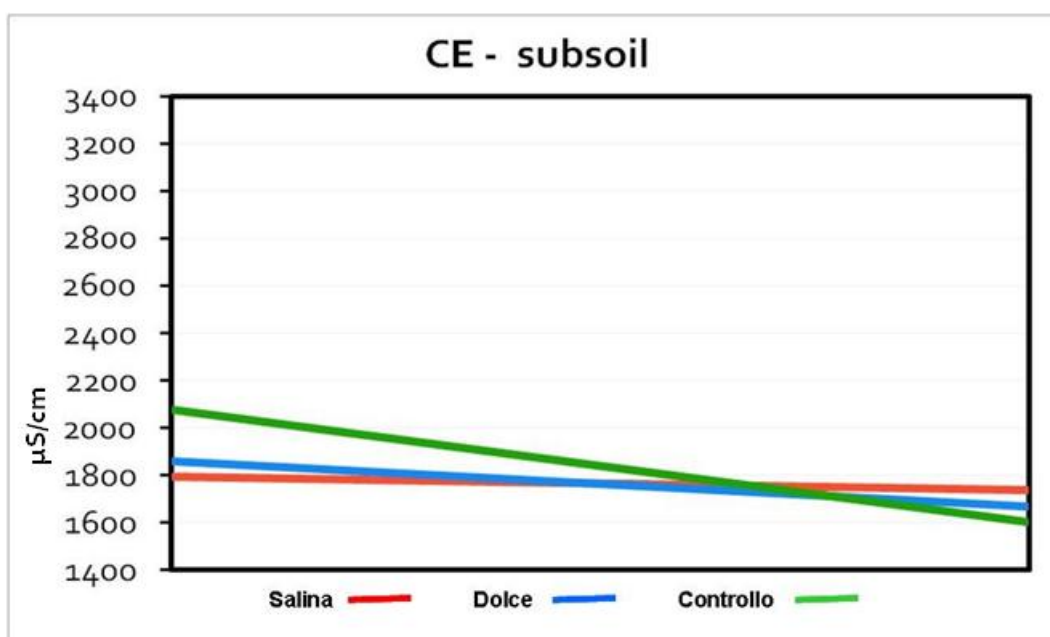


Fig. 7.20 - Andamento della CE nel subsoil irrigato con acque di diversa qualità.

- Ione sodio (Na^+): particolarmente interessanti gli andamenti fatti registrare nel suolo dallo ione sodio. In particolare, nel *topsoil* (Fig. 7.21) si ha un

andamento costante nel caso di irrigazione con acqua salina (circa 135 mgKg^{-1}); un andamento decrescente nel caso di irrigazione con il controllo (da circa 160 mgKg^{-1} a circa 140 mgKg^{-1}); un andamento crescente nel caso di irrigazione con acqua dolce (da circa 130 mgKg^{-1} a circa 170 mgKg^{-1}). Nel *subsoil* (Fig. 7.22) si ha un andamento quasi costante nel caso di irrigazione con acqua salina (circa 170 mgKg^{-1}); andamenti decrescenti sia nel caso di irrigazione con acqua dolce (da circa 185 mgKg^{-1} a circa 115 mgKg^{-1}) che nel caso di irrigazione con il controllo (da circa 215 mgKg^{-1} a circa 100 mgKg^{-1}).

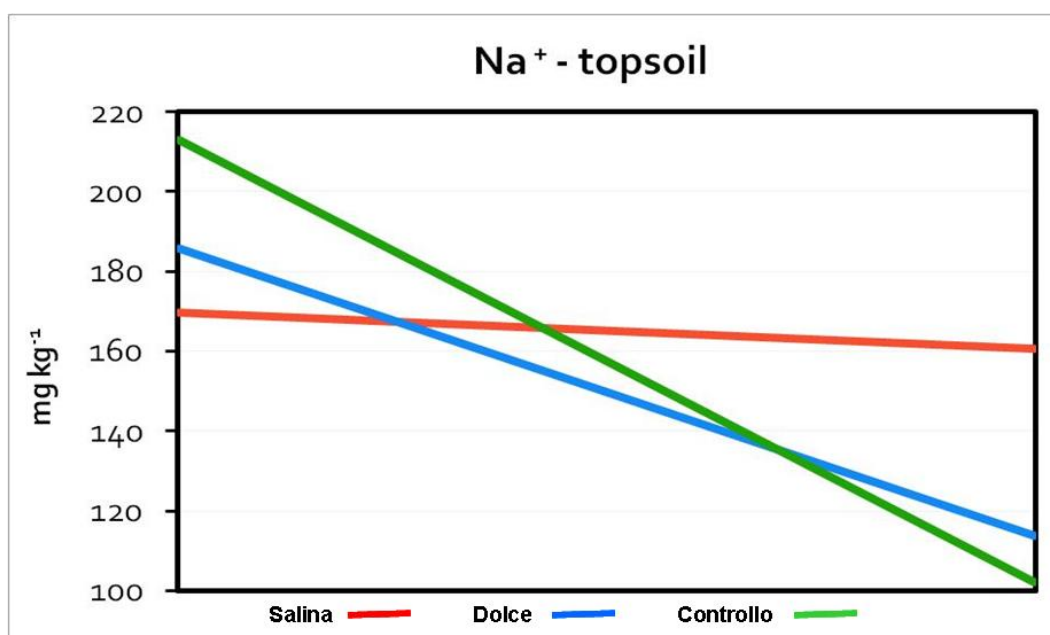


Fig. 7.21 - Andamento della concentrazione dello ione sodio nel *topsoil* irrigato con acque di diversa qualità.

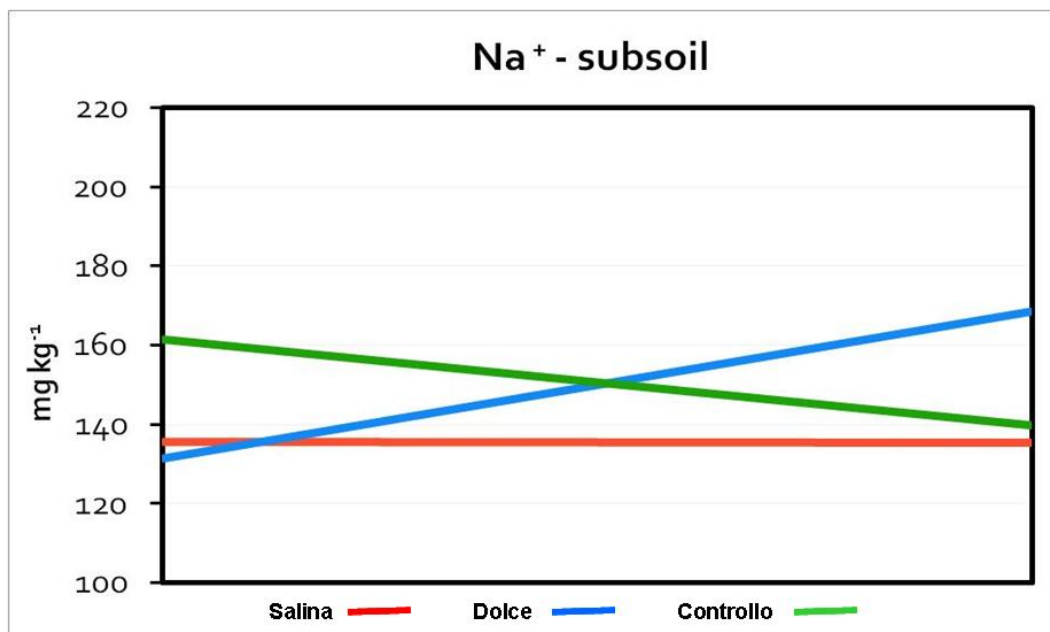


Fig. 7.22 - Andamento della concentrazione dello ione sodio nel *subsoil* irrigato con acque di diversa qualità.

L'incremento fatto registrare nei contenuti in sodio nel *topsoil* del suolo irrigato con acqua dolce è, verosimilmente, da ascrivere ad una azione deflocculante sulle argille e disaggregante della struttura che si evidenzia quando acque dolci vengono impiegate per l'irrigazione di suoli che presentano livelli di salinità anche non eccessivi. Ne risulta una diminuzione della permeabilità del suolo che, in ultima analisi, giustifica l'accumulo di sodio.

- Ione potassio (K⁺): lo ione potassio presenta un andamento decrescente nel tempo sia nel *topsoil* che nel *subsoil* (Figg. 7.23 e 7.24).

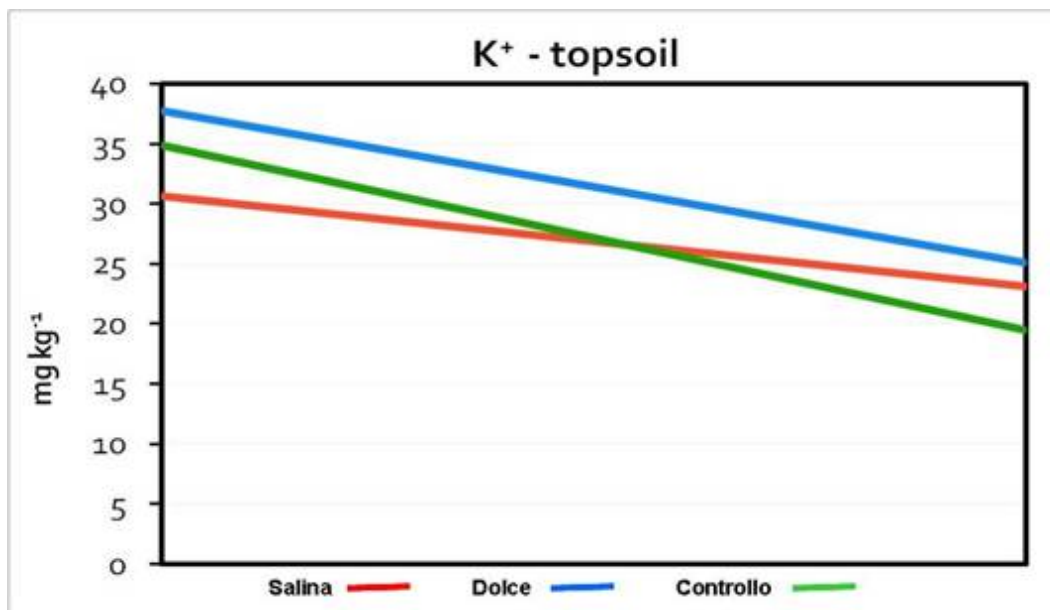


Fig. 7.23 - Andamento della concentrazione dello ione potassio nel *topsoil* irrigato con acque di diversa qualità.

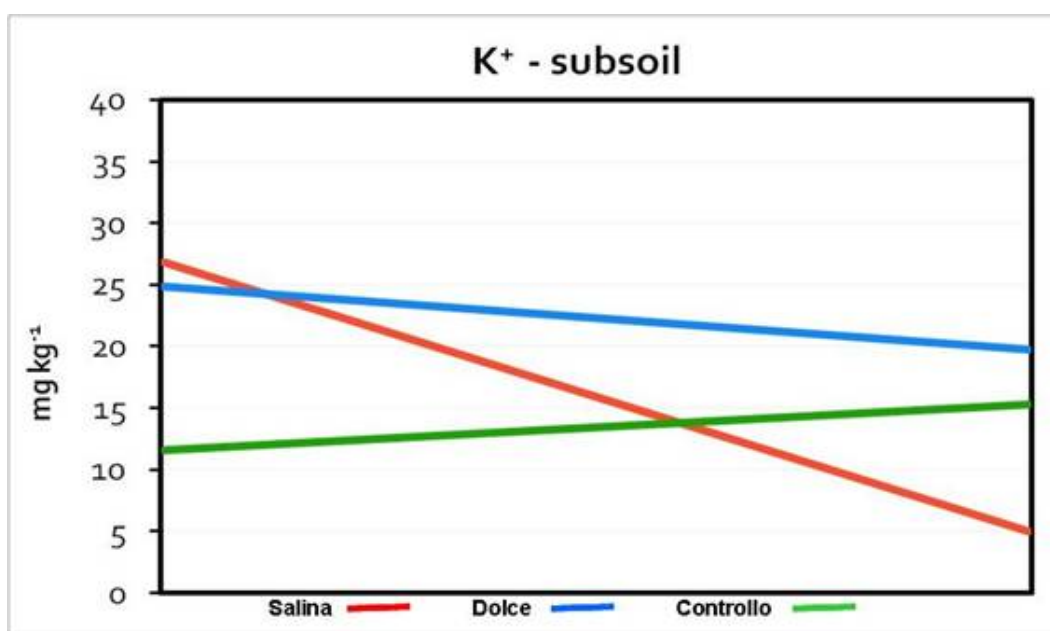


Fig. 7.24 - Andamento della concentrazione dello ione potassio nel *subsoil* irrigato con acque di diversa qualità.

Fa eccezione nel *subsoil* del suolo di controllo ove mostra un leggerissimo incremento. I valori oscillano da circa 38 mgKg⁻¹ a 20 mgKg⁻¹ nel *topsoil* e da circa 25 mgKg⁻¹ a 5 mgKg⁻¹ nel *subsoil*.

- Ione magnesio (Mg^{++}): lo ione magnesio fa registrare andamenti in controtendenza rispetto agli altri ioni e ciò in particolare nel *topsoil*. In questo caso (Fig. 7.25) i *trend* indicano una leggera tendenza all'accumulo di magnesio nei tre casi analizzati (dolce, salina, controllo) con andamenti paralleli e valori variabili da minimi di circa 32 mgKg^{-1} a massimi di circa 38 mgKg^{-1} . Nel *subsoil* (Fig. 7.26), solo per il suolo irrigato con acqua salina, si ha una tendenza all'accumulo di questo ione (da 38 mgKg^{-1} a 48 mgKg^{-1}), in quanto sia nel caso di irrigazione con acqua dolce che nel caso del controllo, l'andamento mostra una chiara tendenza alla diminuzione (da circa 54 mgKg^{-1} a circa 36 mgKg^{-1}).

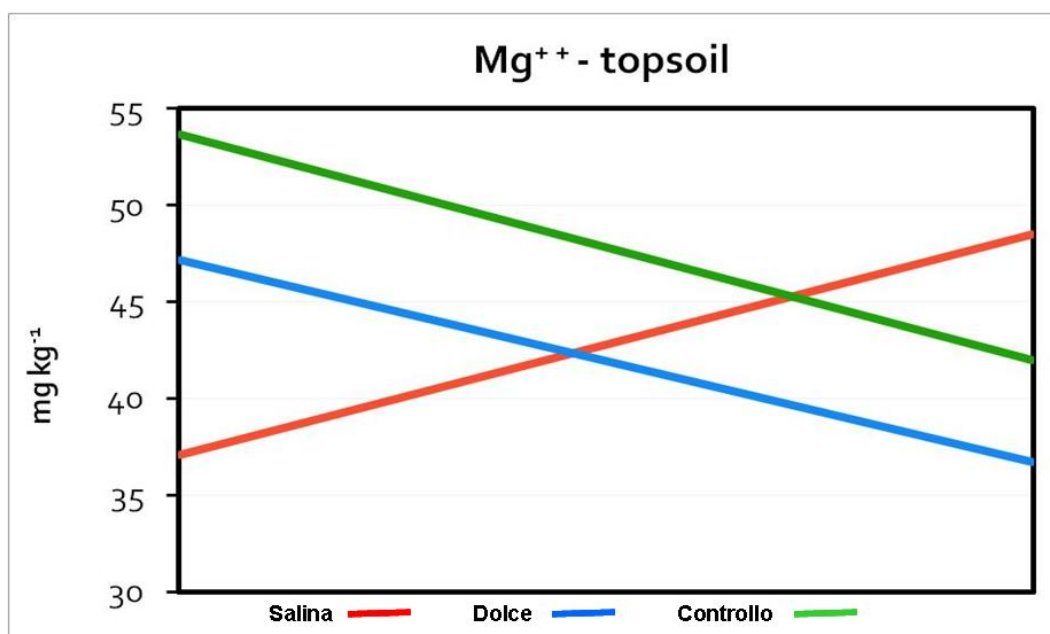


Fig. 7.25 - Andamento della concentrazione dello ione magnesio nel *topsoil* irrigato con acque di diversa qualità.

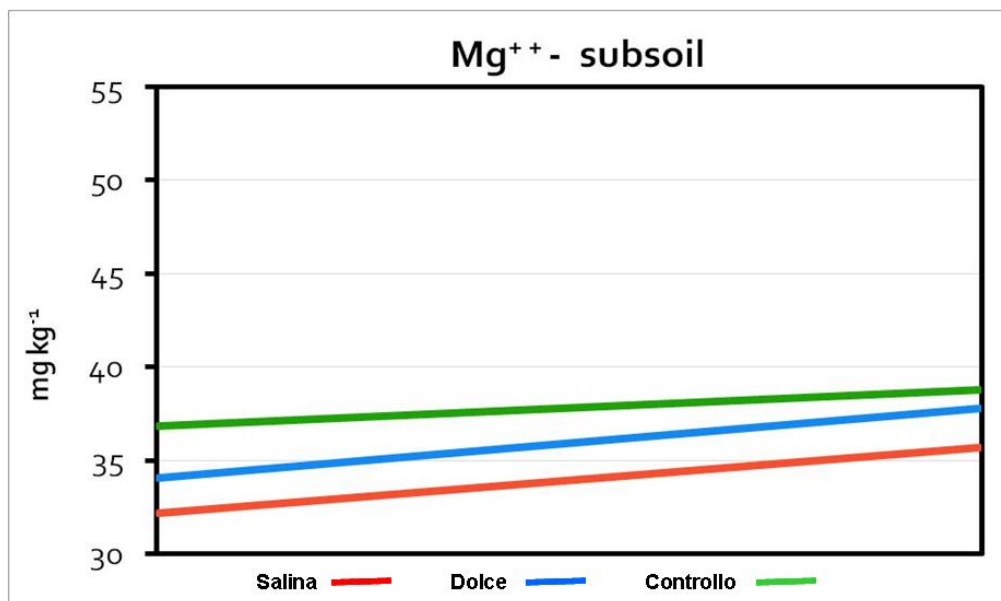


Fig. 7.26 - Andamento della concentrazione dello ione magnesio nel *subsoil* irrigato con acque di diversa qualità.

- Ione calcio (Ca^{++}): nel *subsoil* (Fig. 7.28) l'andamento dello ione calcio mostra valori costanti ma variabili intorno a 40 mgKg-1 nel caso dei suoli di controllo e intorno a 200-220 mgKg-1 sia nel caso dei suoli irrigati con acqua dolce che con acqua salina. Diversi gli andamenti nel *topsoil* (Fig. 7.27): con acqua salina si evidenzia una tendenza all'accumulo di calcio (da valori minimi di 250 mgKg-1 a massimi di 350 mgKg-1).

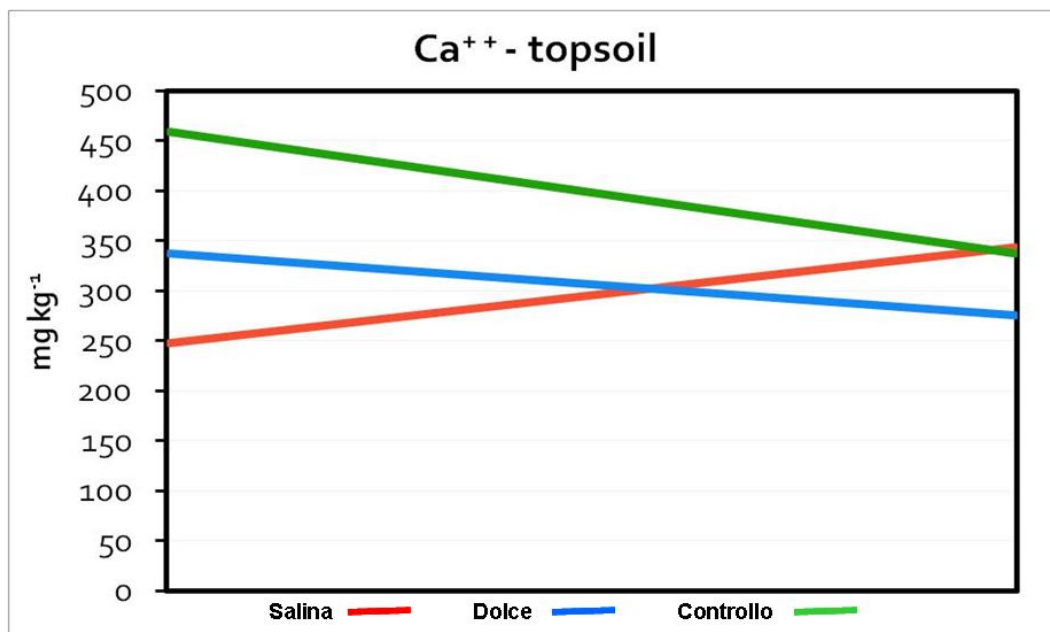


Fig. 7.27 - Andamento della concentrazione dello ione calcio nel *topsoil* irrigato con acque di diversa qualità.

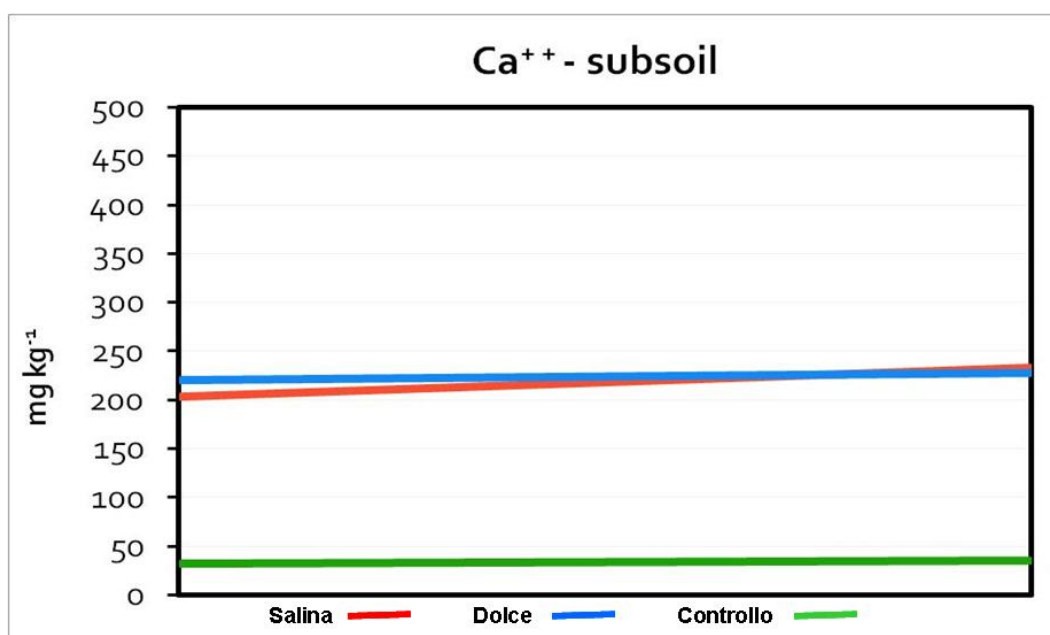


Fig. 7.28 - Andamento della concentrazione dello ione calcio nel *subsoil* irrigato con acque di diversa qualità.

Con acqua dolce una tendenza alla diminuzione (da valori di circa 340 mgKg⁻¹ a circa 280 mgKg⁻¹), che diviene più evidente nel caso della irrigazione del suolo di controllo (da valori di circa 460 mgKg⁻¹ a circa 340 mgKg⁻¹).

7.6 Conclusioni

L'irrigazione, come è noto, consiste nell'apporto artificiale di acqua al suolo che si trova in *deficit* idrico. Tale semplice pratica continuata nel tempo, anche se condotta con acque di buona qualità, provoca mutamenti più o meno importanti, oltre che nelle caratteristiche chimiche, fisiche, idrologiche e biologiche, anche nell'assetto morfologico dei suoli e dell'ambiente circostante. Dall'interazione fra acqua e suolo, entrambi risultano profondamente modificati: il suolo modifica l'acqua (Fig. 7.29) e l'acqua modifica il suolo (Fig. 7.30).

I principali processi nel suolo, responsabili di modificazioni nella qualità delle acque, sono:
<ul style="list-style-type: none">• <u>l'erosione</u> che determina trasporto di sedimenti dissolti e sospesi nelle acque di ruscellamento;• <u>la lisciviazione</u> che determina movimento di elementi nutritivi, prodotti chimici e sostanza organica solubile nelle acque di percolazione in funzione anche delle colture presenti;• <u>il flusso di acqua</u> nei macropori e nelle crepacciature che determina il rapido trasporto dell'acqua e degli inquinanti dalla superficie al sottosuolo e nel sistema di drenaggio;• <u>la mineralizzazione</u> accelerata della sostanza organica che determina il passaggio in soluzione di composti facilmente trasportabili dall'acqua (<i>Lal e Stewart, 1994</i>).

Fig. 7.29 - Come il suolo modifica le acque.

L'intensità dei mutamenti determinati dalle acque nel suolo dipende da:
<ul style="list-style-type: none">• <u>natura del suolo</u>, in particolare granulometria e aggregazione; i più sensibili alla salinità sono i suoli argillosi o tendenzialmente tali in cui il continuo apporto di acqua provoca profondi cambiamenti nello stato strutturale oltre che nella composizione chimica e fisica. Meno importanti sono i mutamenti che si verificano nei suoli a tessitura sabbiosa, dove, invece, sono molto attivi i movimenti di lisciviazione;

- tecniche di coltivazione che condotte in uno stato di umidità del suolo diverso da quello usuale, possono dare origine a fenomeni più o meno gravi di compattamento degli orizzonti superiori del suolo e di alterazione della morfologia superficiale con conseguente accentuazione dei fenomeni di ristagno idrico;
- metodi di irrigazione che se applicati in modo irrazionale, come purtroppo accade di frequente, provocano la distruzione degli elementi strutturali superficiali e il conseguente riempimento dei micro e macropori;
- qualità delle acque;
- presenza di colture con diverse esigenze idriche;
- movimenti dell'acqua che, in regime irriguo, si ripetono con frequenze molto ravvicinate.

Fig. 7.30 - Come l'acqua modifica il suolo.

Prescindendo dalla qualità dell'acqua usata per scopi irrigui, sotto l'aspetto puramente pedologico, si può affermare che i suoli sottoposti ad irrigazione, pure se in tempi differenti, si comportano alla stregua di un nuovo substrato, su cui si svolgono nuovi processi fisici, chimici e biologici spesso assai differenti da quelli presenti negli stessi tipi di suolo a regime asciutto e che determinano nuovi indirizzi evolutivi e, di conseguenza, lo sviluppo nel tempo di tipologie di suolo nuove e diverse da quelle dalle quali derivano (Fig. 7.31).

Come l'acqua modifica il suolo in chiave pedogenetica:
<ul style="list-style-type: none"> • <u>cambiamento del pedoclima</u> cioè dei regimi di umidità e di temperatura del suolo; • <u>possibili fenomeni erosivi</u> in funzione principalmente del metodo irriguo, della pendenza, e della stabilità strutturale del suolo; • <u>possibili fenomeni di eluviazione</u> e dispersione dei colloidali; • <u>processi legati alla lisciviazione</u> con formazione di orizzonti di accumulo, argillici, molto spesso arricchiti di sali solubili e/o di carbonati secondari; • <u>effetti sulla tessitura</u>; • <u>apporto</u> di nuovi materiali contenuti nelle acque (sali o altro).

Fig. 7.31 - Principali effetti che l'acqua provoca sul suolo in chiave pedogenetica.

Ma, quando per scopi irrigui si usano acque saline, accanto ai sopra citati aspetti, si determinano processi di degradazione la cui intensità è funzione oltre che della diversità pedologica, della qualità e quantità di sali disciolti e di alcuni altri fattori ambientali, primi fra tutti quelli climatici (Dazzi, 2006).

Nei suoli salini e nelle condizioni tipiche di semi-aridità dell'ambiente mediterraneo, ad un periodo estivo, caldo e siccitoso durante il quale è imperativo ricorrere all'esercizio irriguo spesso utilizzando acque anomale, segue una stagione piovosa in cui si attivano importanti processi di lisciviazione che abbassano i valori della conducibilità elettrica, mentre rimangono quasi inalterati quelli relativi al sodio.

Nei suoli irrigati con acque saline, lo stato di aggregazione dei suoli è soggetto a cambiamenti stagionali, passando da forme ottimali, granulari o poliedriche angolari e sub angolari a forme massive altamente indesiderabili e, nel caso dei suoli con elevato contenuto di sodio, la conseguente formazione di argille sodiche e la distruzione degli aggregati, dà origine a forme strutturali colonnari grossolane e massive, tipiche di particolari orizzonti del suolo definiti "natrici". Fino a che le quantità di sodio apportate e quelle asportate si equivalgono, si mantiene un certo equilibrio; questo si rompe immediatamente quando, a causa di processi di lisciviazione attivati dalle piogge autunnali e invernali, le asportazioni superano gli apporti. In queste condizioni una parte del sodio scambiabile si idrolizza formando idrato di sodio che reagisce immediatamente con gli ioni bicarbonici presenti per formare carbonato di sodio e il suolo acquista forti caratteri di alcalinità.

Sotto l'influenza di notevoli quantità di sodio, la struttura si mantiene sempre allo stato massivo, mentre nei suoli salino-sodici, rimane allo stato disperso durante il periodo umido per poi compattarsi durante la stagione secca dando luogo ad un sistema fessurato poligonale. L'intensità di tale dispersione dipende dalla tessitura del suolo e dalla sua mineralogia. Suoli con alta percentuale di argille montmorillonitiche sono molto sensibili all'azione del sodio mentre le argille caolinitiche sono meno sensibili. Il processo della sodicizzazione è più grave di quello della salinizzazione e nei casi limite gli effetti sui suoli sono irreversibili. Le due forme di salinità spesso coesistono (*Dazzi e Fierotti, 1994*).

Per quanto concerne i risultati del monitoraggio svolto nell'areale scelto, occorre rilevare come, nel caso in esame, il ricorso ad una strategia agronomica di coltivazione che vede (in relazione alla disponibilità di acqua di buona qualità), l'alternanza di irrigazioni con acque da pozzo (saline) e con acque da vascone (dolci), consente anche in relazione alle colture scelte (tolleranti la salinità nel caso del

pomodoro, poco tolleranti nel caso del cantalupo) di ottenere risultati produttivi che possono definirsi in generale soddisfacenti (Figg. 7.32, 7.33 e 7.34) anche se, nel caso del cantalupo è stata osservata una chiara manifestazione di sofferenza che ha innescato anche processi patogeni legati a marciume radicale (Fig. 7.35, 7.36 e 7.37).



Fig. 7.32 - Particolare della coltura del pomodoro irrigato con acqua dolce (14/12/2007).



Fig. 7.33 - Particolare della coltura del pomodoro irrigato con acqua salina (14/12/2007).



Fig. 7.34 - Particolare della coltura del pomodoro nella situazione del controllo (14/12/2007).



Fig.

7.35 - Particolare della coltura del cantalupo irrigato con acqua dolce (28/06/2008).



Fig. 7.36 - Particolare della coltura del cantalupo irrigato con acqua salina (28/06/2008).



Fig. 7.37 - Particolare della coltura del cantalupo nella situazione di controllo (28/06/2008).

È chiaro che quando ci si confronta con problemi così ampi e complessi occorre un dispiego di risorse e di mezzi adeguati agli stessi, considerando soprattutto che, nel caso dei suoli affetti da salinità secondaria, occorre conoscere e valutare l'influenza dei sali sulle piante e sul suolo e, per converso come le pratiche agricole (coltivazioni, lavorazioni, fertilizzazioni, irrigazioni, ecc.) influenzano la qualità del suolo e anche delle acque.

I problemi posti dai suoli salini per il loro miglioramento e riscatto all'agricoltura, sono quanto mai complessi. Non esiste un unico metodo sempre valido ed universalmente applicabile per la gestione dei suoli salini e per il controllo della salinità ma, di volta in volta, occorre ricorrere alla combinazione di diverse pratiche che devono non solo integrarsi fra loro, ma anche essere scelte secondo i casi.

La maggior preferenza all'uno o all'altro metodo sarà dettata dalle caratteristiche del suolo, dagli scopi che si vogliono raggiungere, dalla economicità dell'impresa.

Tuttavia andranno sempre considerate alcune direttive da cui non si può derogare e che si possono compendiare come segue:

- scelta di colture o varietà che consentono produzioni soddisfacenti nelle attuali condizioni di salinità;
- speciali pratiche di coltivazione che minimizzano la presenza di sali in prossimità delle piante e creano condizioni migliori di permeabilità;
- irrigazioni tali per assicurare un livello relativamente alto di umidità del suolo o per consentire una certa lisciviazione dei sali (leaching requirement);
- costruzione di dreni per consentire il rapido smaltimento delle acque di scolo;
- scelta degli ammendanti più adatti ad un facile scambio del sodio sul complesso di scambio.

Va da sè che questi obiettivi possono essere raggiunti solo attraverso una stretta collaborazione fra pedologo e agronomo. Il primo, attraverso la più attenta osservazione dei suoli in campagna e la più accurata indagine in laboratorio, potrà stabilire il grado di evoluzione raggiunto dal suolo e la convenienza di interventi rivolti al loro miglioramento; il secondo, attraverso la scelta delle colture più idonee e l'impiego di macchine adatte, consentirà che i suoli salini riscattati all'agricoltura assicurino livelli produttivi e rese economiche competitive.

Capitolo 8 - Identificazione delle aree sensibili alla desertificazione in Sicilia dal punto di vista della qualità del clima e del suolo

Prof. G. Giordano, Prof. V. Ferro

Dipartimento di Ingegneria e Tecnologie Agro-Forestali - ITAF, Università degli Studi di Palermo

8.1 Metodologia, tempi e fasi della ricerca inerente il bacino del Fiume Imera meridionale.

Le attività sono state finalizzate a studiare le modalità di calcolo e l'utilizzo delle informazioni inerenti l'indice di aggressività delle piogge e il fattore di erodibilità dei suoli per individuare nell'ambito del modello ESAs le aree sensibili alla desertificazione, da un punto di vista della qualità del clima e dei suoli, del bacino del fiume Imera meridionale.

Le attività, in particolare, hanno avuto l'obiettivo, con riferimento al bacino idrografico del Fiume Imera meridionale, di:

- a) Monitorare a scala parcellare il fenomeno erosivo per validare gli indicatori ed i modelli matematici adottati;
- b) Valutare, alla scala media annua, il fattore climatico della USLE ed il deficit pluviometrico;
- c) Definire procedure, modalità e applicabilità del fattore climatico della USLE e del deficit pluviometrico per il calcolo dell'indice di qualità del clima del modello ESAs;
- d) Mappare il fattore climatico della USLE, l'indice di qualità del clima e del suolo (secondo lo schema ESAs) e l'erosione potenziale;
- e) Definire procedure, modalità e applicabilità del fattore di erodibilità del suolo per il calcolo dell'indice di qualità del suolo del modello ESAs;
- f) Definire le aree sensibili alla desertificazione, dal punto di vista della qualità del clima e del suolo.

8.2 Risultati

8.2.1 Determinazione del contributo erosivo rill nel calcolo della perdita di suolo complessiva.

Per gli eventi in cui sono disponibili misure contemporanee di deflusso e di perdita di suolo da microparcelle e da parcelle tipo Wischmeier è stato possibile effettuare un confronto fra le differenti fenomenologie erosive che si verificano. In particolare i primi tre eventi (aprile, novembre e dicembre 2000) sono relativi soltanto alle parcelle lunghe 22 m e alle microparcelle di dimensioni $0.2 \times 0.2 \text{ m}^2$ e $0.4 \times 0.4 \text{ m}^2$, i dieci eventi successivi (aprile 2002 - ottobre 2002) sono relativi anche alle microparcelle più grandi ($1 \times 1 \text{ m}^2$ e $1 \times 5 \text{ m}^2$) e alle parcelle di 33 m, mentre, per gli ultimi sei eventi sono disponibili le misure contemporanee da tutte le tipologie di installazioni. Tenuto conto che le microparcelle, date le contenute dimensioni longitudinali, permettono di rilevare la sola componente erosiva *interrill*, il confronto fra le misure di perdita di suolo relative a tutte le parcelle sperimentali, oltre a fornire indicazioni dell'incidenza sul totale dell'erosione *rill*, può permettere di individuare la lunghezza di ruscellamento critica, superata la quale inizia a manifestarsi il contributo erosivo di tipo *rill*.

L'analisi è stata condotta, riportando in un grafico a scale logaritmiche (Fig. 8.1) le coppie valore medio della perdita di suolo specifica-superficie della parcella S_p . La scelta di riferire la perdita di suolo specifica alla superficie della parcella deriva dalla necessità di dovere rappresentare misure relative a parcelle di differente lunghezza ma anche, specie nel caso di microparcelle, di differente larghezza. Nella maggioranza dei casi le rette ideali ottenute congiungendo i punti rappresentativi delle microparcelle forniscono, per i valori dell'ascissa corrispondenti alle parcelle tipo Wischmeier, valori della perdita di suolo più contenuti di quelli misurati in quest'ultima tipologia di parcelle (Fig.8.1a). Con riferimento alle microparcelle di dimensioni $1 \times 5 \text{ m}^2$ si sono osservati sia casi in cui i corrispondenti punti sperimentali si allineano con i dati relativi alle altre microparcelle (evento del 9-12/12/04, Fig.8.1b) che casi in cui i punti si dispongono in un'area del piano cartesiano intermedia tra la retta *interrill* e i punti delle parcelle Wischmeier (evento del 12/01/03, Fig. 8.2a). Infine, soltanto per due eventi (27/11/02 e 13/10/04, Fig.

8.2b) i punti rappresentativi delle parcelle si allineano con quelli relativi alle microparcelle cioè, in altri termini, la fenomenologia erosiva è soltanto di tipo *interrill*.

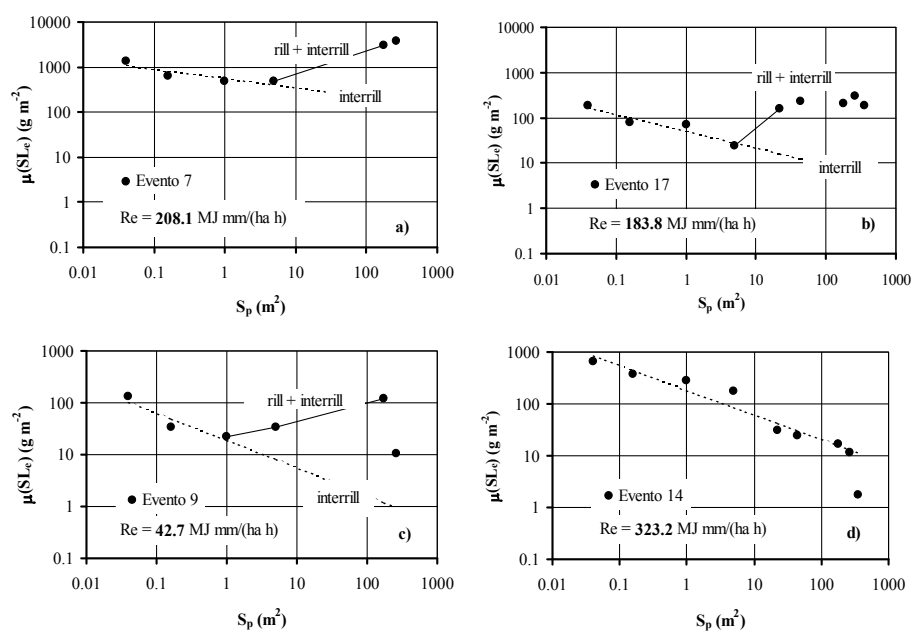


Fig. 8.1 - Confronto, per alcuni eventi, della perdita di suolo misurata a differenti scale.



a



b



c

Fig. 8.2 - Vista delle microparcelle sul versante attrezzato di Sparacia.

La Tabella 8.1, per le parcelle di lunghezza 22 e 33 m, la Tabella 8.2, per le parcelle di 11 m, e la Tabella 8.3, per le parcelle di 44 m, riportano in dettaglio, per

tutti gli eventi disponibili, oltre ai valori della precipitazione totale dell'evento P_e (mm) ed il corrispondente fattore climatico R_e ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), i valori di perdita di suolo di tipo *interrill* SI e di tipo *rill* SR valutati rispettivamente dall'ordinata della retta *interrill*, per una ascissa corrispondente alla superficie della parcella, e dalla distanza del punto sperimentale, rappresentativo della misura di erosione totale, dalla retta *interrill* stessa. Per le parcelle di 11 m, 33 m e 44 m il contributo erosivo *rill* relativo all'evento del 13/10/04, che è caratterizzato da perdite di suolo specifiche contenute nonostante un elevato valore del fattore di aggressività della precipitazione, è stato posto pari a zero.

Evento	Tipo di parcella			Parcella 8x22 m ²			Parcella 8x33 m ²		
	Data	$P_e^{(1)}$ (mm)	R_e ($\text{MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1}$)	Rill SR (g/m^2)	Interrill SI (g/m^2)	$R_T^{(2)}$	Rill SR (g/m^2)	Interrill SI (g/m^2)	$R_T^{(2)}$
1	11-12/04/00	25.6	57.0	1.60	0.12	92.76			
2	17-19/11/00	50.2	192.0	456.71	1.94	99.58			
3	25-29/12/00	69.7	346.9	754.35	0.41	99.95			
4	04/04/02	23.2	47.8	3.38	0.07	97.96	1.33	0.05	96.43
5	07/05/02	27.2	63.6	2.34	1.52	60.56	1.04	1.19	46.58
6	06/09/02	28.4	68.8	3197.43	2.40	99.92	2483.99	1.76	99.93
7	10-12/10/02	46.6	208.1	2872.20	195.83	93.62	3680.28	180.27	95.33
8	27/11/02	29.0	100.2	1.15	19.00	5.72	0.84	16.40	4.89
9	12/01/03	19.0	42.7	118.50	1.23	98.97	9.58	0.99	90.62
10	04/04/03	30.6	57.4	25.80	0.47	98.22	3.87	0.35	91.66
11	09-10/06/03	32.2	272.0	2426.76	41.18	98.33	474.79	34.58	93.21
12	18/06/03	21.0	180.4	3289.87	110.21	96.76	1371.04	99.47	93.24
13	14-15/10/03	36.6	253.0	432.50	142.05	75.28	301.03	127.98	70.17
14	13/10/04	27	323.2	0.76	15.82	4.58	0	11.29	0
15	02-04/11/04	49.4	122.2	1611.55	66.62	96.03	1112.76	56.81	95.14
16	16/11/04	53.8	341.6	283.21	37.91	88.19	461.32	33.74	93.18
17	09-12/12/04	36.0	183.8	198.93	7.45	96.39	293.78	6.40	97.87
18	16-20/12/04	77.0	127.1	374.95	49.38	88.36	295.91	44.15	87.02
19	11-12/04/05	48.4	103.9	74.58	5.13	93.56	50.94	4.36	92.12

(1) Altezza di pioggia complessiva dell'evento erosivo

(2) Rapporto, espresso in %, tra l'erosione rill e quella totale (rill+interrill)

Tab. 8.1 - Perdita di suolo imputabile all'erosione di tipo *rill* ed *interrill* per le parcelle di 22 e 33 m.

Evento	Tipo di parcella			Parcella 2x11 m ²			Parcella 4x11 m ²		
	Data	P _e ⁽¹⁾ (mm)	R _e (MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹)	Rill SR (g/m ²)	Interrill SI (g/m ²)	R _T ⁽²⁾	Rill SR (g/m ²)	Interrill SI (g/m ²)	R _T ⁽²⁾
14	13/10/04	27	323.2	0.00	42.72	0.00	0.00	30.67	0.00
15	02- 04/11/04	49.4	122.2	3654.61	150.76	96.04	1028.80	114.83	89.96
16	16/11/04	53.8	341.6	930.41	68.88	93.11	452.28	56.45	88.90
17	09- 12/12/04	36.0	183.8	146.59	16.19	90.05	216.22	12.50	94.53
18	16- 20/12/04	77.0	127.1	1100.60	87.68	92.62	520.96	72.41	87.80
19	11- 12/04/05	48.4	103.9	50.32	11.83	80.96	0.00	8.95	0.00

(1) Altezza di pioggia complessiva dell'evento erosivo

(2) Rapporto, espresso in %, tra l'erosione rill e quella totale (rill+interrill)

Tab. 8.2 - Perdita di suolo imputabile all'erosione di tipo *rill* ed *interrill* per le parcelle di 11 m.

Evento	Tipo di parcella			Parcella 8x44 m ²		
	Data	P _e ⁽¹⁾ (mm)	R _e (MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹)	Rill SR (g/m ²)	Interrill SI (g/m ²)	R _T ⁽²⁾
14	13/10/04	27	323.2	0.00	11.36	0.00
15	02- 04/11/04	49.4	122.2	512.28	50.74	90.99
16	16/11/04	53.8	341.6	694.51	31.07	95.72
17	09- 12/12/04	36.0	183.8	184.33	5.75	96.97
18	16- 20/12/04	77.0	127.1	267.21	40.78	86.76
19	11- 12/04/05	48.4	103.9	0.00	3.88	0.00

(1) Altezza di pioggia complessiva dell'evento erosivo

(2) Rapporto, espresso in %, tra l'erosione rill e quella totale (rill+interrill)

Tab. 8.3 - Perdita di suolo imputabile all'erosione di tipo *rill* ed *interrill* per le parcelle di 44 m.

Infatti, per questo evento dall'analisi della Figura 8.1d si osserva, per tutte le installazioni sperimentali, soltanto una fenomenologia erosiva di tipo *interrill* dal momento che i punti corrispondenti alle parcelle di 2 x 11 m², 4 x 11 m², 8 x 22 m², 8 x 33 m² si dispongono lungo lo stesso allineamento relativo alle quattro microparcelle o addirittura al di sotto nel caso delle parcelle 8 x 44 m². Per lo stesso motivo in corrispondenza all'evento dell'11-12/04/2005 il contributo erosivo *rill*, relativo stavolta soltanto alle parcelle P_{4x11} e P₄₄, è stato posto pari a zero.

Nella maggior parte dei casi, tuttavia, la percentuale di erosione *rill* è risultata preponderante rispetto all'erosione *interrill*. In particolare, ad eccezione di soli tre eventi, la percentuale *rill* ha assunto valori compresi fra 75 e 99 % per le parcelle di 22 m e fra 70 e 99% per le parcelle di 33 m. Relativamente alle parcelle di dimensioni $2 \times 11 \text{ m}^2$, ad esclusione dell'evento del 13/10/2004, la percentuale di erosione *rill* ha assunto valori compresi fra 81 e 96%, mentre, infine, per le $P_{4 \times 11}$ e P_{44} , ad esclusione dell'evento del 13/10/2004 e dell'11-12/04/2005, la percentuale *rill* ha assunto valori compresi, rispettivamente, fra 88 e 95% e fra 87 e 97%. I valori percentuali dell'erosione *rill* risultano pertanto sempre piuttosto elevati e indipendenti dall'indice di aggressività della pioggia caratterizzato da valori compresi fra $42.7 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (12/01/03) e $346.9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (25-29/12/00).

I risultati riportati nei grafici di Figura 8.1 non subiscono significative variazioni se la perdita di suolo specifica viene diagrammata in funzione della lunghezza longitudinale della parcella.

Anche per i deflussi associati a ogni evento erosivo, si continua ad osservare un comportamento differente fra i valori della grandezza misurati dalle microparcelle rispetto agli analoghi misurati dalle parcelle tipo Wischmeier. A titolo di esempio la Figura 8.3 riporta i deflussi liquidi V riferiti all'area della parcella S_p per due eventi erosivi. Anche in questo caso è possibile in generale individuare una retta ideale rappresentativa delle microparcelle più piccole che passa, per i corrispondenti valori di ascissa, al di sotto dei punti rappresentativi delle parcelle tipo Wischmeier (Fig.8.3a). Gli unici eventi in cui si osserva, invece, un allineamento unico dei punti relativi alle parcelle e alle microparcelle risultano, anche in questo caso, gli eventi del 27/11/2002 e del 13/10/2004 (Fig. 8.3b). I punti sperimentali relativi alle microparcelle di lunghezza 5 m si allineano invece, a differenza delle misure di erosione, sempre lungo la stessa retta ideale *interrill* individuata mediante le misure relative alle altre tre tipologie di microparcelle. Il deflusso per unità di superficie misurato dalle microparcelle più grandi risulta sempre più basso del deflusso relativo alle altre microparcelle ma evidentemente, trattandosi di deflusso parzialmente canalizzato, risulta anche più efficiente nel trasporto dei sedimenti determinando in

alcuni casi, come sopra osservato, uno scostamento verso l'alto delle corrispondenti misure di erosione dalla retta ideale *interrill* (Fig. 8.1c).

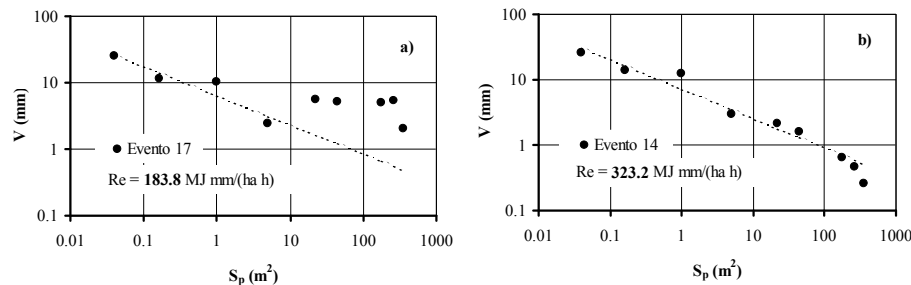


Fig. 8.3 - Confronto del deflusso misurato da parcelle di dimensioni differenti.

Gli andamenti complessivamente simili ottenuti per il deflusso e per la perdita di suolo hanno suggerito di correlare, per ogni evento erosivo e per tutte le tipologie di parcelle e microparcelle, la perdita di suolo SL_e (g/m²) con il deflusso torbido complessivo V_t (mm). Riportando le grandezze, con le unità di misura indicate, in un piano cartesiano la pendenza della retta di regressione passante per l'origine del sistema di riferimento fornisce il valore medio della concentrazione erosa espresso in g/l.

L'osservazione dei dati sperimentali ha evidenziato sia casi in cui si ottengono valori elevati del coefficiente di determinazione (evento del 04/04/02, Fig. 8.4a), ed è quindi possibile individuare un unico valore medio di concentrazione della sospensione erosa da tutte le tipologie di parcelle e microparcelle sperimentali, che casi in cui non è possibile individuare una relazione di questo tipo (evento del 16/11/04, Fig. 8.4b). Nel primo caso il processo di erosione è limitato dalla capacità di trasporto della corrente per cui anche all'aumentare della dimensione della parcella la concentrazione del carico solido che la corrente riesce a trasportare non varia. In altri termini, l'effetto di scala dipende dal fatto che al crescere della dimensione della parcella si riduce il deflusso prodotto per unità di superficie. Nel secondo caso, invece, il fenomeno erosivo è principalmente controllato dalla capacità erosiva della precipitazione e della corrente canalizzata nei *rill*. In Figura 8.4b i punti rappresentativi delle misure a scala parcellare evidenziano che anche nel caso di

valori contenuti del volume di deflusso il trasferimento di quest'ultimo in forma canalizzata incrementa il trasporto solido. Prendendo in considerazione le misure relative alle microparcelle, con tre sole eccezioni (su un totale di 16 eventi) determinate comunque dai punti sperimentali relativi alle microparcelle più grandi ($1 \times 5 \text{ m}^2$), i valori dei coefficienti di determinazione delle rette interpolanti risultano sempre elevati e compresi tra 0.79 e 0.99. Allo stesso modo, considerando gli eventi in cui si è avuto il funzionamento di tutte e quattro le tipologie di parcelle Wischmeier, lo stesso tipo di analisi permette di individuare, ad eccezione di tre casi su un totale di undici, un valore di concentrazione comune a tutte le tipologie di parcelle (valori dei coefficienti di determinazione compresi tra 0.56 e 0.97). In altri termini è possibile individuare un unico valore di concentrazione nel caso in cui il fenomeno erosivo che si innesca è solo di tipo *interrill* ovvero, anche se in maniera meno netta, nel caso di eventi con erosione *rill* ed *interrill*. Inoltre, per gli eventi in cui si ha la contemporaneità delle misure da parcelle e microparcelle come nel caso di Figura 8.4b, il valore di concentrazione media, dato dal coefficiente angolare della retta interpolante, relativo alle parcelle Wischmeier risulta, come è d'altra parte ragionevole immaginare, sempre maggiore del corrispondente valore relativo alle microparcelle. Infine, per gli eventi del 27/11/02, del 13/10/04 e del 11-12/04/05, in cui non è possibile individuare un contributo erosivo *rill* preponderante rispetto al totale di erosione, anche i punti sperimentali (V_t , SL_e) relativi alle parcelle si allineano sulla stessa retta che passa per i punti relativi alle microparcelle.

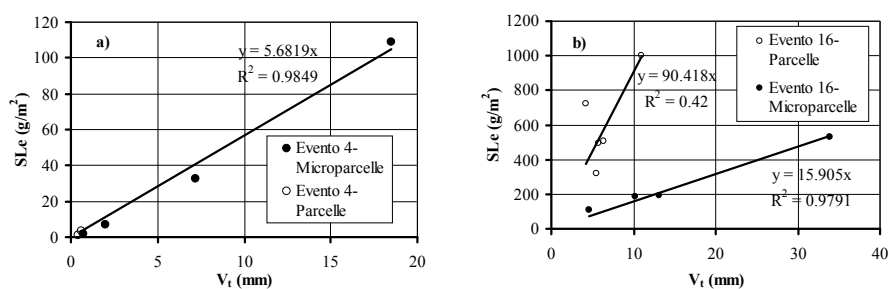


Fig. 8.4 - Relazione fra perdita di suolo e volume della sospensione torbida nelle diverse tipologie di parcelle e microparcelle.

Pur con le incertezze legate ai numerosi parametri che intervengono nella definizione, della risposta erosiva delle singole parcelle possono essere tratte alcune

conclusioni. L'erosione *interrill* è una forma erosiva tipica delle microparcelle di dimensioni fino a $1 \times 1 \text{ m}^2$ dal momento che i punti rappresentativi delle perdite di suolo corrispondenti si dispongono sulla stessa retta delle microparcelle più piccole. Per quanto riguarda invece le microparcelle di dimensioni $1 \times 5 \text{ m}^2$ si sono osservati sia casi in cui la fenomenologia erosiva risulta soltanto di tipo *interrill* che casi in cui, invece, i punti corrispondenti alle perdite di suolo si dispongono in un'area del piano cartesiano intermedia fra la retta *interrill* e la retta *rill+interrill*. In effetti, in occasione di campionamenti effettuati immediatamente dopo il verificarsi di un evento erosivo si è osservato visivamente, anche in parcelle di dimensioni longitudinali di 5 m, l'incisione di canali di deflusso assimilabili a veri e propri *rill*.

Dal momento che generalmente il rapporto fra la perdita di suolo media misurata per le parcelle tipo Wischmeier e quella stimata, in corrispondenza dei valori di superficie corrispondenti alle parcelle, dal prolungamento della retta stabilita mediante le misure effettuate sulle microparcelle, risulta elevato, il contributo della sola erosione *interrill* può essere considerato un'aliquota trascurabile dell'erosione complessiva (*rill+interrill*).

Infine, l'analisi congiunta dei deflussi e della perdita di suolo misurata ha permesso di stabilire che è possibile individuare valori di concentrazione media differenti nel caso in cui la fenomenologia erosiva che si innesca è solo di tipo *interrill* ovvero risulta di tipo *rill* più *interrill*.

8.2.2 Analisi dell'influenza del fattore topografico sulla perdita di suolo

In accordo allo schema proposto dalla USLE l'erosione idrica, prodotta da un evento meteorico a valle di parcelle sperimentali, dipende, a parità degli altri fattori del modello, dal fattore lunghezza della pendice. Per venticinque eventi erosivi registrati nell'area sperimentale di Sparacia, in cui si ha la contemporaneità di misure di perdita di suolo da parcelle di dimensioni differenti, è stata saggiata l'influenza del fattore L sulla perdita di suolo.

Il coefficiente di erodibilità del suolo K_e , secondo l'impostazione di Wischmeier et al. (1971), dipende fondamentalmente dalle caratteristiche intrinseche del tipo di suolo, ma la sua determinazione può anche essere effettuata per via indiretta a partire dai

valori di perdita di suolo misurati a valle di parcelle sperimentali secondo lo schema matematico previsto dalla USLE. Volendo seguire questo tipo di approccio ed essendo il coefficiente di erodibilità una proprietà intrinseca del suolo, lo schema più semplice per la sua misura è quello che utilizza rilievi di perdita di suolo da parcelle sperimentali che si trovano nella condizione di riferimento (lunghezza libera della pendice pari a 22.1 m, pendenza del 9%, parcella priva di copertura vegetale e continuamente arata a rittochino). In questa condizione, infatti, i coefficienti L , S , C , P che figurano nella USLE risultano pari all'unità ed il calcolo di K_e , per fissato evento, è semplicemente dato dal rapporto fra la perdita di suolo misurata e l'indice di aggressività della precipitazione.

Nell'area sperimentale di Sparacia, in particolare, si dispone di alcune parcelle che si trovano in una condizione molto prossima a quella di riferimento (parcelle A-E di Fig.8.5) caratterizzate da $L=1$, $C=P=1$ e localizzate su un pendio a pendenza pari al 14.9%.

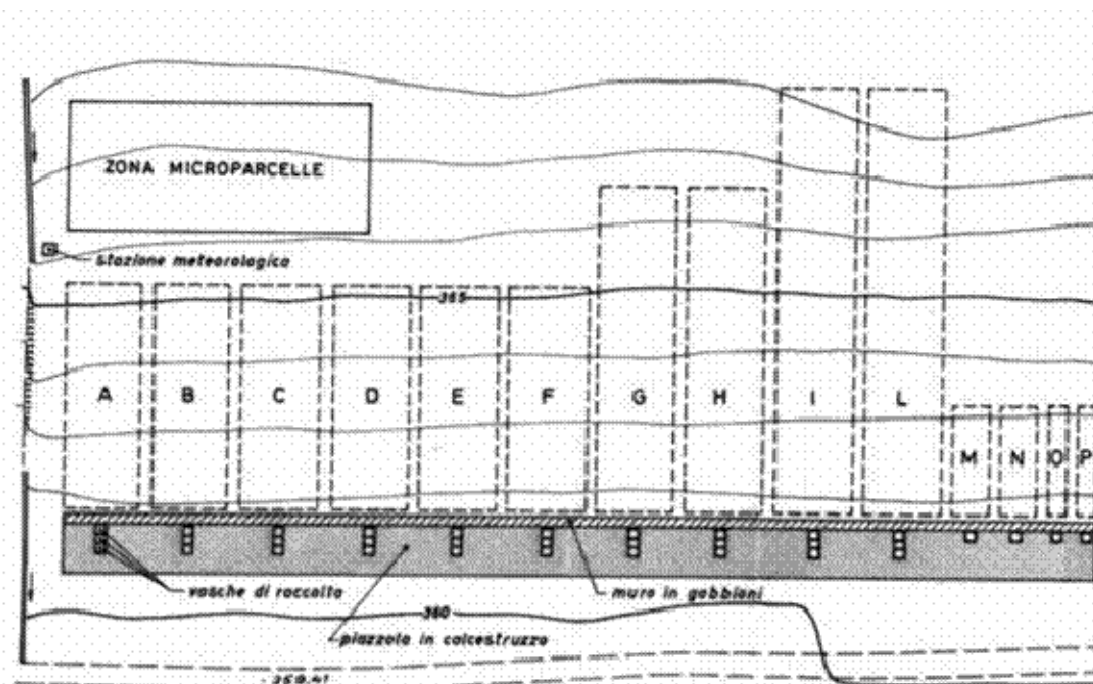




Fig.8.5 - Pianta e vista dell'installazione sperimentale prima dell'esecuzione dei lavori.

Considerando pertanto i dati di perdita di suolo misurati da questa tipologia di parcelle, il coefficiente di erodibilità del suolo K_{22} è stato calcolato dividendo la perdita di suolo misurata (A_{22}) in ciascun evento per il prodotto fra il fattore pendenza della pendice S_{22} ed il fattore climatico R_e :

$$K_{22} = \frac{A_{22}}{R_e S_{22}} \quad [8.a]$$

in cui per S_{22} è stata utilizzata l'espressione:

$$S = (16.8 \sin \beta - 0.5) \quad [8.b]$$

Utilizzando la (8.a) e considerando tutti i dati storici disponibili, sono stati ottenuti, per fissato evento, valori medi parcellari (media dei 5 valori relativi alle parcelle A-E) di K_{22} compresi tra 0.00013 e 0.21658 t ha⁻¹ per unità di R_e (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹). Il valore medio relativo al complesso degli eventi e delle cinque repliche disponibili risulta pari a 0.02911 t ha⁻¹ per unità di R_e .

La serie storica dei valori di K_e calcolati mediante la (8.a) è stata applicata, per gli eventi caratterizzati da contemporaneità di misure, alle parcelle di dimensioni 11, 33 e

44 m in modo da effettuare una stima della perdita di suolo da queste stesse parcelle da confrontare con i valori misurati. Il confronto fra la perdita di suolo stimata dal modello, utilizzando i valori di K_{22} , e la perdita di suolo misurata dalle parcelle $P_{2 \times 11}$, $P_{4 \times 11}$, P_{33} , P_{44} ha permesso di calcolare il corrispondente fattore topografico L_{11} , L_{33} , L_{44} e di controllare alcuni coefficienti da cui tale fattore dipende. In accordo allo schema proposto dalla USLE, la perdita di suolo stimata dalle parcelle lunghe λ (m) ha la seguente espressione:

$$A_{\lambda,c} = R_e S_{33} K_{22} L_{\lambda} \quad [8.c]$$

in cui $A_{\lambda,c}$ è la perdita di suolo stimata dalle parcelle di l (11, 33 e 44 m), L_{λ} è il fattore topografico calcolato per una lunghezza di ruscellamento pari a λ (m) ed S_{33} è il corrispondente fattore pendenza che risulta pari ad S_{22} perché è unica l'inclinazione del pendio su cui si trovano posizionate tutte le installazioni. Espressioni analoghe alla 8.b possono essere ovviamente ricavate per le altre tipologie di parcelle di lunghezza libera pari a 11 e 44 m.

Il primo controllo effettuato è stato quello di valutare l'influenza del rapporto fra erosione di tipo *rill* ed erosione di tipo *interrill* nel calcolo del fattore topografico lunghezza della pendice utilizzando per quest'ultimo l'espressione proposta dalla RUSLE (8.d, 8.e, 8.f) e considerando in questa fase soltanto gli eventi in cui si ha la contemporaneità di misure di erosione da parcelle e microparcelle.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^m \quad [8.d]$$

$$m = \frac{af}{1 + af} \quad [8.e]$$

$$f = \frac{\sin \beta}{0.0896 (3 \sin^{0.8} \beta + 0.56)} \quad [8.f]$$

Considerando a titolo d'esempio solo le parcelle di lunghezza 33 m, si è allora proceduto al calcolo del fattore topografico espresso dalla (8.d) utilizzando

l'espressione di f della (8.f) e considerando differenti valori del coefficiente a . In particolare, per quest'ultimo sono stati assunti i valori 0.5, 1 e 2 ed è stata anche ipotizzata una variazione lineare di a in dipendenza dei valori assunti dal rapporto R_T tra l'erosione *rill* e quella totale. In quest'ultimo scenario, in particolare, a è stato fatto variare linearmente fra i valori estremi di 0.5 e 2 in modo da fare corrispondere all'estremo inferiore 0.5 il valore più basso calcolato del rapporto R_T (46% per l'evento del 07/05/02) e all'estremo superiore 2 il valore più elevato (100%). L'equazione che esprime tale variazione lineare ha la seguente espressione:

$$a = 0.028 R_T - 0.778 \quad [8.g]$$

Per i differenti valori del coefficiente a ipotizzati si è quindi proceduto al calcolo della perdita di suolo per le parcelle di 33 m ($A_{33,c}$) applicando l'espressione (8.h), in corrispondenza agli eventi erosivi disponibili.

$$R = \frac{T}{2} c \quad [8.h]$$

La Figura 8.6, che rappresenta gli effetti sul valore $A_{33,c}$ dei quattro scenari di variazione del coefficiente a , mostra che l'assunzione nel calcolo del fattore topografico di un valore di a pari a 1, generalmente considerato nelle applicazioni, non determina sostanziali differenze nella stima della perdita di suolo. Infatti, rispetto alla condizione $a=1$, gli altri scenari di variazione ipotizzati determinano differenze inferiori al 7%. Risultati analoghi si ottengono nelle altre tipologie di parcelle di lunghezza 11 e 44 m con differenze che nel peggiore dei casi non superano il 13% circa.

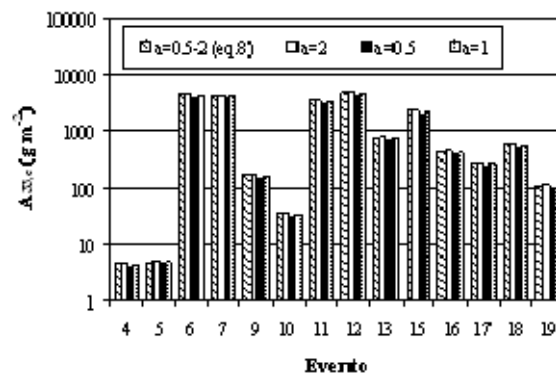


Fig. 8.6 - Andamento della perdita di suolo stimata dalle parcelle di 33 m al variare del valore del coefficiente a che figura nell'espressione del fattore topografico della RUSLE.

Constatata l'influenza comunque trascurabile del coefficiente a , che può assumersi pari all'unità, la Figura 8.7a mostra la curva di frequenza empirica dei valori effettivamente misurati del rapporto $f = \text{rill}/\text{interrill}$, per tutte le tipologie di parcelle sperimentali, confrontati con il valore teorico dato dalla 8.f. In generale si osserva una notevole variabilità di f che risulta quasi sempre superiore al valore teorico, rispettivamente pari a 1.37 e 1.67 per pendenze del 15 e 22%, assumendo valori compresi, nella maggioranza dei casi, fra 10 e 100. Anche il valore di m , calcolato dalla 8.e con $a=1$, assume valori superiori a quello teorico ($m=0.58$ o 0.63 in funzione della pendenza) mantenendosi, nella maggioranza dei casi, al di sopra di 0.8 (Fig. 8.7b).

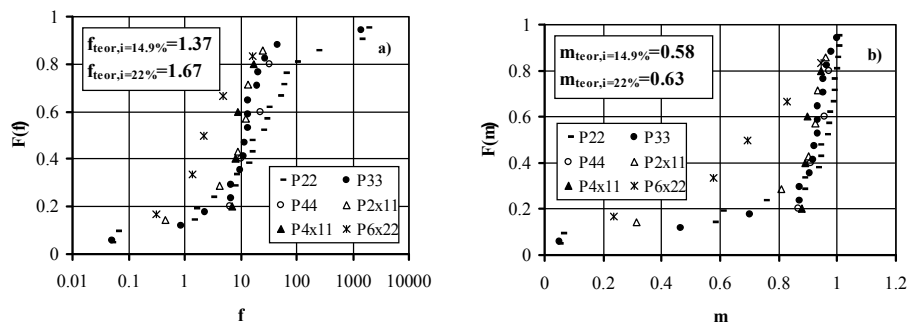


Fig.8.7 - Valori misurati dei coefficienti f (8.f) ed m (8.e) per gli eventi erosivi Disponibili nelle diverse tipologie di parcelle.

Sempre nell'ipotesi $a=1$ la Figura 8.8 mette a confronto, per le differenti tipologie di parcelle, i valori perdita di suolo misurata $A_{\lambda,m}$ con i valori stimati $A_{\lambda,c}$ utilizzando la (8.c) con riferimento alle parcelle $P_{2 \times 11}$, $P_{4 \times 11}$, P_{33} , P_{44} .

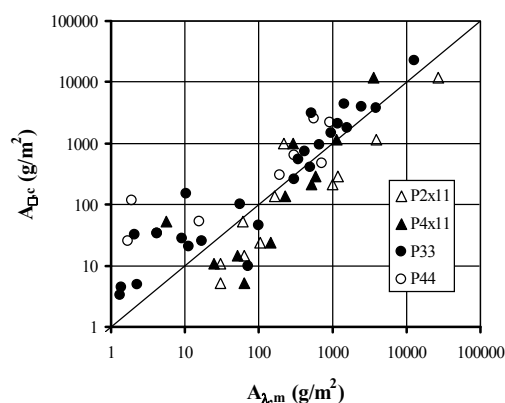


Fig. 8.8 - Confronto tra la perdita di suolo misurata $A_{\lambda,m}$ e quella stimata $A_{\lambda,c}$ per le differenti tipologie di parcelle.

L'esame del grafico evidenzia valori di perdita di suolo misurati dalle parcelle di 33 e 44 m inferiori rispetto a quelli stimati con la USLE utilizzando i valori del coefficiente di erodibilità K_{22} . Nel caso delle parcelle di dimensioni 11 m lo stesso tipo di analisi determina invece, in generale, valori misurati superiori a quelli calcolati. Tale risultato è imputabile alla circostanza che, per ciascun evento erosivo registrato, le parcelle P_{33} e P_{44} hanno fornito valori di perdita di suolo per unità di superficie confrontabili, e generalmente inferiori, ai corrispondenti valori ricavati dalle parcelle più corte P_{22} mentre il risultato opposto si è verificato per le parcelle di 11 m. In altri termini è verosimile ritenere che all'aumentare della dimensione della parcella si inneschino, anche a questa scala di misura, significativi fenomeni di deposito. L'analisi del grafico (Fig. 8.8) evidenzia inoltre che per eventi di una certa rilevanza ($>100 \text{ g m}^{-2}$ circa), per i quali risultano meno significativi eventuali errori di misura, si restringe il campo di variazione dei punti sperimentali intorno la retta di perfetto accordo. In definitiva, per gli eventi più rilevanti il modello sembra meglio adattarsi ai punti sperimentali.

L'applicazione dei fattori di erodibilità K_{22} per la stima della perdita di suolo dalle parcelle $P_{6 \times 22}$, localizzate su un versante a pendenza superiore (22%), determina invece

un migliore addensamento dei punti sperimentali intorno alla retta di perfetto accordo soprattutto, come osservato precedentemente, in corrispondenza agli eventi erosivi più rilevanti (Fig. 8.9).

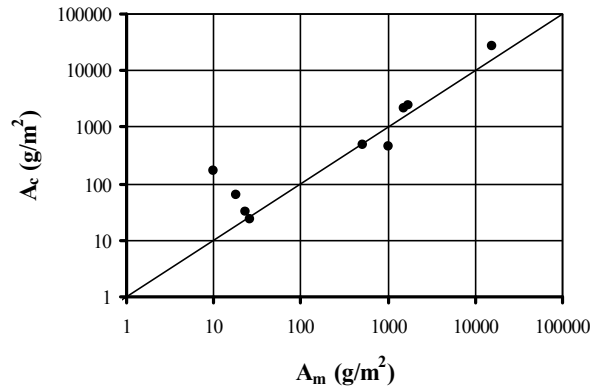


Fig. 8.9 - Confronto tra la perdita di suolo misurata A_m e quella stimata A_c per le parcelle $P_{6 \times 22}$.

Considerando soltanto le tipologie di parcelle di 33 e 44 m, per le quali si verificano in generale perdite di suolo inferiori rispetto alle parcelle di 22 m, il rapporto fra la perdita di suolo misurata $A_{\lambda,m}$ e l'erosione calcolata $A_{\lambda,c}$ dal modello è interpretabile come un coefficiente di resa solida SDR (*Ferro e Minacapilli, 1995*). Applicando al caso delle parcelle piane l'equazione valida per il caso delle singole unità morfologiche in cui viene suddiviso un bacino (*Ferro e Minacapilli, 1995*) si ottiene:

$$\frac{A_{\lambda,m}}{A_{\lambda,c}} = SDR = \exp(-\beta_e t_p) = \exp(-\beta_e \frac{\lambda}{\sqrt{s}}) \quad [8.i]$$

in cui β_e è un coefficiente, t_p è il tempo di trasferimento della particella di suolo erosa dalla singola unità morfologica fino al primo elemento intercettore del deflusso e λ ed s sono, rispettivamente, la lunghezza e la pendenza della generica unità morfologica che in questo caso coincide con la parcella tipo Wischmeier. Applicando il logaritmo ad ambo i membri della 8.i, è possibile calcolare i valori del coefficiente β_e :

$$\beta_e = -\frac{\sqrt{s}}{\lambda} \ln\left(\frac{A_{\lambda,m}}{A_{\lambda,c}}\right) \quad [8.j]$$

La Figura 8.10 mostra, per tutti gli eventi disponibili, i valori di SDR relativi alle parcelle di 33 e 44 m.

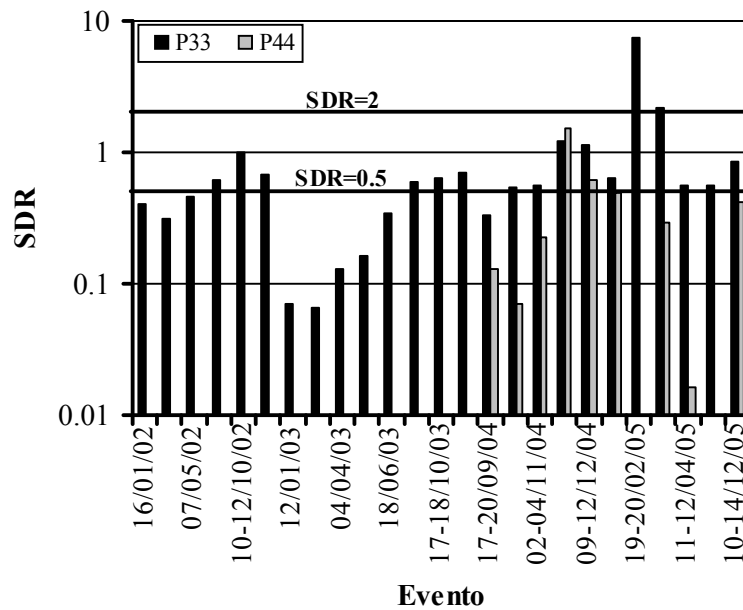


Fig. 8.10 - Andamento del coefficiente di resa solida SDR per le parcelle di 33 e 44 m.

I valori di SDR calcolati risultano generalmente indipendenti dall'indice di aggressività, cioè dall'entità dell'evento erosivo, e presentano, ad esclusione di quattro eventi, su un totale di venticinque, in cui non si osservano fenomeni di deposito ($SDR > 1$), una variabilità compresa fra 0.06 e 1 circa. I valori di SDR relativi alle parcelle di 44 m risultano sempre inferiori ai corrispondenti valori delle parcelle di 33 m evidenziando una maggiore influenza dei fenomeni di deposito.

Anche il coefficiente β_e ricavabile utilizzando la 8.j, pur mostrando una certa variabilità per entrambe le tipologie di parcelle, assume un valore medio pari a 0.011 (mediana 0.007) e 0.015 (mediana 0.012) rispettivamente per le parcelle di 33 e 44 m (Fig. 8.11).

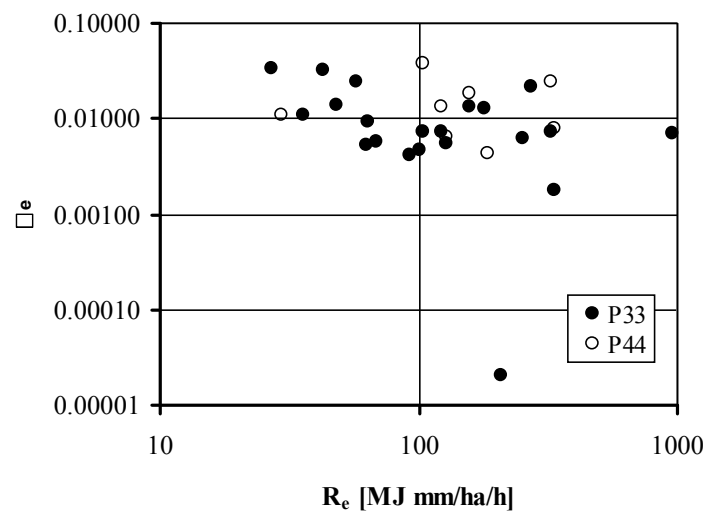


Fig.8.11 - Andamento del coefficiente β al variare dell'indice di aggressività della precipitazione.

8.3 Determinazione del fattore di erodibilità, del fattore climatico e dell'erosione potenziale per il bacino del Fiume Imera meridionale.

Il fattore di erodibilità del suolo della USLE può essere considerato un indicatore valido ai fini dell'indagine tenuto conto che in esso vengono sintetizzate le informazioni inerenti la tessitura del suolo, il suo contenuto in sostanza organica, la struttura e la permeabilità.

Per la valutazione del fattore di erodibilità del suolo, K , è necessario disporre dei seguenti dati di ingresso: contenuto di limo e sabbia molto fine, f (%) - particelle di diametro compreso tra 0.002 e 0.1 mm; contenuto di sabbia, g (%) - diametro compreso tra 0.1 e 2 mm; contenuto di sostanza organica, h (%). È inoltre necessario formulare giudizi qualitativi sulle caratteristiche di struttura e di permeabilità del suolo.

Le due percentuali f e g si ricavano dalla curva granulometrica del campione di suolo mentre il valore di h viene determinato mediante specifiche tecniche di laboratorio.

La determinazione di K avviene attraverso due fasi successive. Dapprima si ricava un valore di prima approssimazione, K' , sulla base delle informazioni

quantitative (f , g , h); il valore K' viene poi corretto sulla base dei giudizi qualitativi inerenti la struttura e la permeabilità del suolo.

La procedura di valutazione di K si basa sull'impiego dell'abaco di Wischmeier et al. (1971), composto da due grafici collegati (Fig. 8.12).

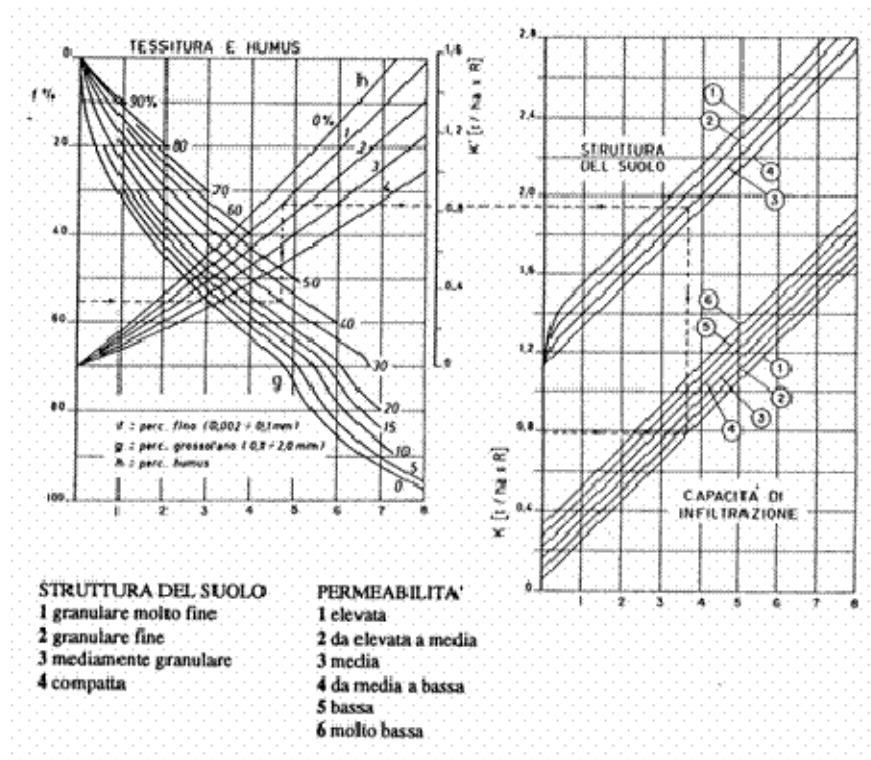


Fig. 8.12 - Abaco di Wischmeier, Johnson e Cross per la valutazione del fattore di erodibilità.

Sul grafico di sinistra si traccia, in corrispondenza del valore di f che esprime la percentuale di materiale fine del suolo in esame, un segmento, normale all'asse delle ordinate, fino ad incontrare la curva che rappresenta la percentuale di materiale grossolano del campione.

Ovviamente, per valori di g diversi da quelli riportati esplicitamente nell'abaco, il punto di incontro viene determinato per interpolazione. Si traccia quindi un secondo segmento, perpendicolare al primo, fino ad incontrare la curva che rappresenta la percentuale di sostanza organica h . Viene quindi tracciato un altro segmento, normale al precedente, che individua il valore di prima approssimazione K' del fattore di erodibilità. Si prolunga questo segmento fino ad incontrare la retta corrispondente alla

classe di struttura attribuita al suolo (granulare molto fine, granulare fine, granulare media o grossolana, a blocchi, piattaforme o massiva) e quindi si traccia un ulteriore segmento, normale al precedente, che termina nel punto di incontro con la retta che rappresenta la classe di permeabilità (elevata, da elevata a media, media, da media a bassa, bassa, molto bassa). Mediante il tracciamento di un ultimo segmento, perpendicolare al precedente, si ricava infine il valore di K .

L'indagine ha previsto l'applicazione di una procedura analitica proposta da Ferro (2006). In particolare, l'A ha proposto di introdurre nell'ascissa della prima parte dell'abaco di Fig. 8.12, che consente la determinazione di K' , una grandezza x' a cui convenzionalmente si fanno assumere valori compresi tra 0 e 8.

Per valori di $x' < 5$, per cui la procedura proposta è applicabile, la relazione tra la suddetta variabile x' e la percentuale di materiale fine è rappresentabile mediante la seguente equazione monomia:

$$x' = \frac{f^{b_1}}{10^{b_0}} \quad [8.k]$$

in cui b_0 e b_1 sono delle costanti numeriche il cui valore dipende dalla percentuale g di materiale grossolano secondo le seguenti relazioni:

$$b_0 = 3.993 - 1.362 \log g \quad [8.l]$$

$$b_1 = 2.63g^{-0.161} \quad [8.m]$$

Per $x' < 5$, i valori di prima approssimazione del fattore di erodibilità sono forniti dalla seguente relazione:

$$K' = \frac{10^{b_2}}{10^{b_0 b_3}} f^{b_1 b_3} \quad [8.n]$$

in cui le costanti numeriche b_2 e b_3 sono valutabili con le seguenti relazioni:

$$b_2 = -0.714 - 0.087 h \quad [8.o]$$

$$b_3 = 1.047 + 0.038 h \quad [8.p]$$

La correzione per tenere in conto la struttura del suolo deve essere condotta in maniera differente nei due campi $K' \leq 0.4$ e $K' > 0.4$.

Indicando con x la variabile posta, ancora convenzionalmente, nell'ascissa della seconda parte dell'abaco e che assume valori compresi tra 0 e 8 e con SS l'indice di struttura che assume valori interi compresi tra 1 e 4, per $K' \leq 0.4$ risulta:

$$x = 10^{\frac{K'-0.431}{0.304}} \quad (\text{per } SS = 1) \quad [8.q.1]$$

$$x = \left(\frac{K'}{10^{-0.427}} \right)^{\frac{1}{0.559}} \quad (\text{per } SS = 2) \quad [8.q.2]$$

$$x = \left(\frac{K'}{10^{-0.529}} \right)^{\frac{1}{0.684}} \quad (\text{per } SS = 3) \quad [8.q.3]$$

$$x = \frac{K'-0.004}{0.214} \quad (\text{per } SS = 4) \quad [8.q.4]$$

Se risulta, invece, $K' > 0.4$ allora la relazione tra x e K' è rappresentata da un fascio di rette parallele aventi le seguenti equazioni:

$$x = \frac{K' - 0.238}{0.204} \quad (\text{per } SS = 1) \quad [8.r.1]$$

$$x = \frac{K' - 0.150}{0.204} \quad (\text{per } SS = 2) \quad [8.r.2]$$

$$x = \frac{K' - 0.070}{0.204} \quad (\text{per } SS = 3) \quad [8.r.3]$$

$$x = \frac{K' - 0.019}{0.204} \quad (\text{per } SS = 4) \quad [8.r.4]$$

La correzione determinata sulla base dell'indice di permeabilità, PP , che assume valori interi compresi tra 1 e 6, si effettua mediante un fascio di rette parallele:

$K = 0.198x + 0.053$	$(K_s > 10^{-2} \text{ cm s}^{-1}, PP=1)$	[8.s.1]
$K = 0.198x + 0.152$	$(10^{-3} < K_s < 10^{-2}, PP=2)$	[8.s.2]
$K = 0.198x + 0.158$	$(10^{-4} < K_s < 10^{-3}, PP=3)$	[8.s.3]
$K = 0.198x + 0.212$	$(10^{-5} < K_s < 10^{-4}, PP=4)$	[8.s.4]
$K = 0.198x + 0.268$	$(10^{-6} < K_s < 10^{-5}, PP=5)$	[8.s.5]
$K = 0.198x + 0.325$	$(K_s < 10^{-6}, PP=6)$	[8.s.6]

Per ciascun campione l'indice di struttura di Wischmeier et al. (1971) è stato determinato sulla base delle informazioni tessiturali disponibili, cioè determinando le percentuali di argilla *A*, limo *L* e sabbia *S*, e della classificazione riportata in Figura 8.13.

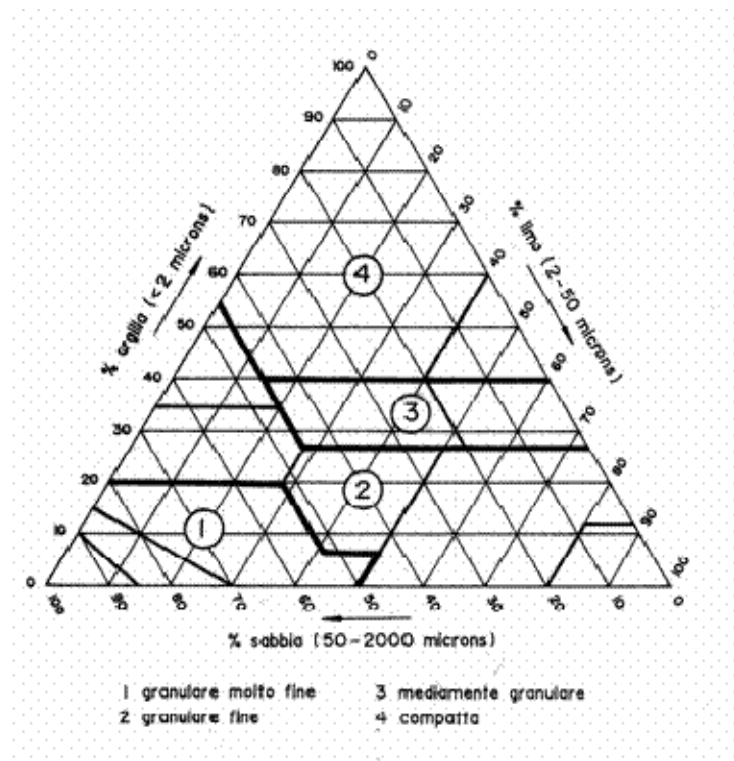


Fig. 8.13 - Associazione tra i valori degli indici di struttura *SS* e la classificazione USDA.

In particolare l'indice di struttura 1 (struttura granulare molto fine) è stato assegnato ad un suolo, secondo la classificazione USDA, sabbioso, sabbioso-franco e franco-sabbioso; l'indice 2 (struttura granulare fine) corrisponde al suolo argilloso-sabbioso, franco-sabbioso-argilloso, franco, franco-limoso e limoso; l'indice 3 (struttura mediamente granulare) è stato assegnato al suolo franco-limoso-argilloso e a

quello franco-argilloso; l'indice di struttura 4 (struttura compatta) è stato assegnato al suolo argilloso e a quello argilloso-limoso.

Per assegnare l'indice di permeabilità, in assenza di misure di campo della conducibilità idraulica alla saturazione, si è tenuto conto della associazione esistente, e riportata in Tabella 8.4, tra il tipo di suolo (classificazione USDA), il *range* di valori attesi della conducibilità idrica satura e la scala dei valori di *PP* (da 1 a 6).

Tipo di suolo	Range di K_s [cm s ⁻¹]	Indice di Permeabilità
Franco Sabbioso Sabbioso Franco Sabbioso	$10^{-3} - 10^{-2}$	2
Franco Limoso Franco Franco Sabbioso Argilloso	$10^{-4} - 10^{-3}$	3
Argilloso Franco Limoso Argilloso Franco Argilloso Argilloso sabbioso Limoso	$10^{-5} - 10^{-4}$	4
Argilloso Limoso	$10^{-6} - 10^{-5}$	5

Tab. 8.4 - Valori dell'indice di permeabilità di Wischmeier et al. (1971) per i suoli siciliani.

Per la determinazione della distribuzione spaziale del fattore di erodibilità è stato predisposto un apposito piano di campionamento (Fig. 8.14) che ha previsto il prelievo di 228 campioni, uniformemente distribuiti sulla superficie del bacino, le cui coordinate sono state stabilite facendo ricorso ad un GPS.

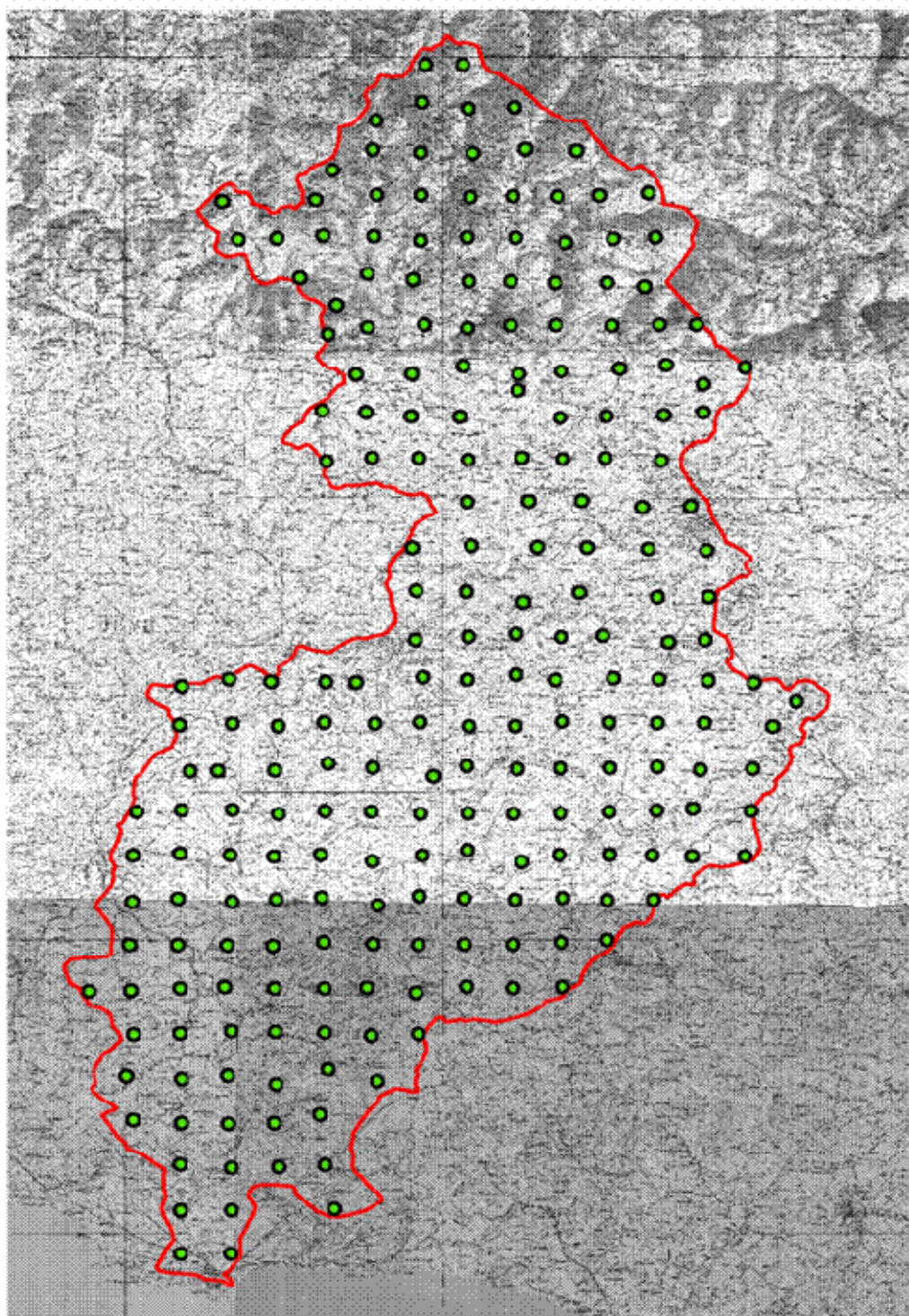


Fig. 8.14 - Piano di campionamento del bacino idrografico del Fiume Imera meridionale.

Per i 228 punti di campionamento l'Allegato 8.1 riporta il numero identificativo del campione, la data del prelievo, la coordinata N (sistema di riferimento UTM), la Coordinata E e l'uso del suolo rilevato.

Per ciascun punto di campionamento, la procedura di Wischmeier et al. (1971) prevede la determinazione della curva granulometrica, la misura del carbonio organico totale TOC e le stime dell'indice di permeabilità *PP* e dell'indice di struttura *SS* secondo le procedure già descritte.

Per la determinazione della composizione granulometrica del suolo si usa un campione di suolo rimaneggiato. Preliminarmente il campione, essiccato all'aria, viene pestato con un mortaio, per rompere gli aggregati di maggiori dimensioni, e setacciato con uno staccio la cui maglia ha un diametro di 2 mm. Si preleva quindi un campione di terra fine (particelle di diametro $d < 2$ mm) del peso di 50 g, che viene trattato con acqua ossigenata al 15%, per eliminare i cementi organici, e con una soluzione di esametafosfato di sodio per 24 ore, al fine di favorire la dispersione delle particelle argillose. La soluzione viene quindi agitata e fatta passare attraverso uno staccio con maglia di diametro pari a 0.074 mm.

L'analisi granulometrica delle particelle di dimensioni maggiori di 0.074 mm viene effettuata per stacciatura meccanica. La distribuzione dimensionale delle particelle più piccole viene determinata monitorando il processo di sedimentazione delle suddette particelle in una soluzione acquosa. In particolare, la frazione solida trattenuta allo staccio di 0.074 mm viene fatta passare attraverso una colonna di stacci di maglia decrescente secondo il seguente ordine: 2, 1.68, 0.84, 0.59, 0.42, 0.25, 0.177, 0.149, 0.125, 0.088 e 0.074 mm. Al termine della stacciatura si pesa il materiale trattenuto in ciascuno staccio. Il rapporto tra il peso delle particelle trattenute in uno specifico staccio (es. 0.59 mm) e il peso complessivo del campione consente di ricavare la percentuale in peso delle particelle che hanno un diametro compreso tra il diametro dello staccio considerato e quello dello staccio immediatamente sovrastante nella colonna (0.59 - 0.84 mm, proseguendo nell'esempio). La sospensione passante allo staccio di 0.074 mm è raccolta in un cilindro graduato di 1000 cm³ che viene collocato nella vasca per l'analisi aerometrica, contenente acqua alla temperatura costante di 20 °C. In sintesi, l'analisi aerometrica

viene effettuata con l'idrometro di Bouyoucos, costituito da un'ampolla calibrata e munito di scala graduata. L'immersione dell'idrometro nella sospensione ad istanti prefissati, pari a 2, 5, 15, 30, 60, 180, 1440 e 2880 min, rende possibile il monitoraggio della sua densità.

Utilizzando la legge di Stokes, si risale alla quantità di particelle di prestabilite dimensioni presenti in sospensione in ciascun istante di misura. Il complesso dei rilievi (stacciatura, sedimentazione) viene quindi utilizzato per la determinazione della distribuzione dimensionale delle particelle elementari di suolo costituenti la terra fine, che viene rappresentata con la cosiddetta curva granulometrica, che riporta la percentuale in peso di particelle di suolo di dimensioni minori o uguali a un diametro prefissato. Dalla curva granulometrica si risale al contenuto di sabbia, limo e argilla del campione. In particolare, usando la classificazione USDA (Fig. 8.15), la sabbia include le particelle di diametro compreso tra 2 e 0.05 mm, il limo quelle di dimensioni comprese tra 0.05 e 0.002 mm e l'argilla le particelle di diametro < 0.002 m (Hillel, 1998).

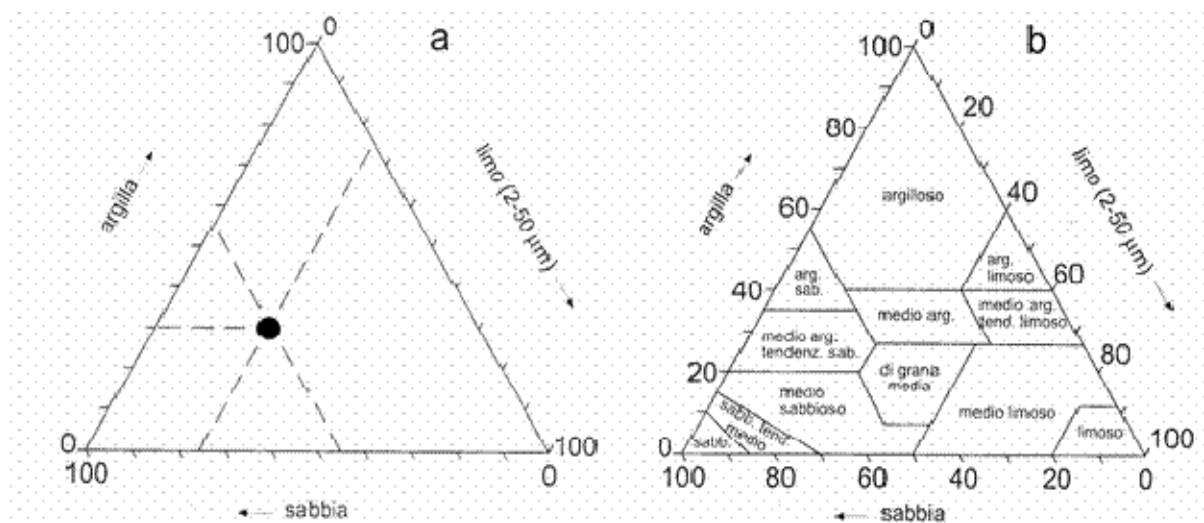


Fig. 8.15 - Triangolo delle classi tessiturali USDA.

La determinazione del carbonio organico totale è stata effettuata per combustione in forno a muffola.

Una volta determinate le curve granulometriche, i valori di TOC, le stime dell'indice di struttura *SS* e dell'indice di permeabilità *PP* relative ai 228 campioni, per

ciascun campione è stata effettuata la stima del fattore di erodibilità del suolo mediante la procedura analitica già descritta.

Lo studio della variabilità spaziale del fattore di erodibilità è stata effettuata mediante il Software ISATIS.

Preliminarmente è stata costruita la mappa del semivariogramma per escludere o evidenziare l'esistenza di eventuali direzioni di anisotropia. In particolare, non essendo stata riconosciuta alcuna direzione di anisotropia è stato adottato un variogramma sperimentale omnidirezionale.

Il semivariogramma sperimentale, che mette in relazione il valore della semivarianza media relativa ad ogni *lag* con il corrispondente valore del *lag*, è stato costruito utilizzando un *lag* pari a 2310 m ed un numero di *lag* pari a 10.

La successiva operazione di *best-fitting* ha permesso di adattare al semivariogramma sperimentale un semivariogramma teorico, denominato “annidato”, costituito da un modello esponenziale con effetto *nugget*.

Infine, a partire dai parametri dedotti dal modello di semivariogramma adottato, è stata effettuata la procedura di interpolazione spaziale, utilizzando il modello *Geostatistical Analyst di ArcGis 9.2*, adottando una *mesh size* pari a 20 m.

La Figura 8.16 mostra la distribuzione spaziale del fattore di erodibilità del suolo per il bacino idrografico del Fiume Imera meridionale.

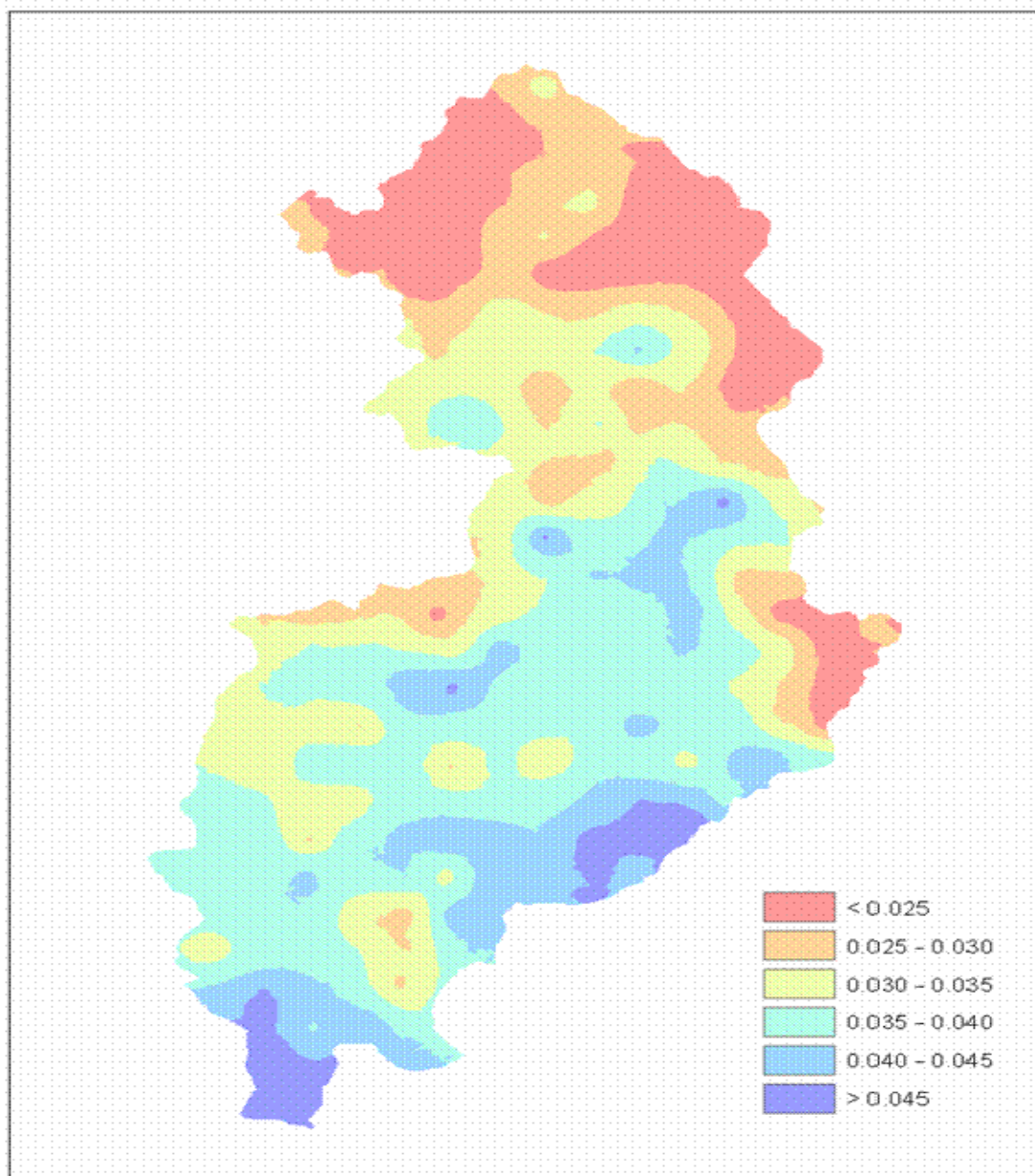


Fig. 8.16 - Distribuzione spaziale del fattore di erodibilità del suolo ($\text{t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) nel bacino del Fiume Imera meridionale.

I risultati ottenuti evidenziano, innanzitutto, una apprezzabile variabilità spaziale del fattore di erodibilità per i suoli siciliani (*range* $0.019 - 0.052 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, con un valore medio pari a 0.034); la Figura 8.16 mostra inoltre che i valori più

elevati del fattore di erodibilità, superiori a $0.045 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, si riscontrano nella parte medio-valliva e valliva del bacino con picchi localizzati nella zona di Mazzarino ed in quella prossima alla foce (territorio di Licata).

Il prodotto dell'indice di aggressività delle piogge R per il fattore di erodibilità del suolo è una grandezza, espressa in t ha^{-1} , che viene denominata in letteratura "erosione potenziale".

La terminologia utilizzata non vuole però indicare che si tratta del massimo valore di perdita di suolo a cui potenzialmente può essere interessato un territorio dato che, sebbene il fattore culturale e quello di pratica antierosiva siano riduttivi della perdita di suolo, i fattori topografici sono più spesso accrescitivi (quando la lunghezza libera della pendice è maggiore di 22 m e la pendenza della parcella è superiore al 9%). In altri termini, anche se il prodotto adimensionale CP risulta sempre minore o al più uguale a uno, i fattori topografici LS assumono valori anche maggiori dell'unità (nelle situazioni più gravose di quella di riferimento) e, pertanto, la perdita di suolo può essere maggiore dell'erosione potenziale.

Nonostante ciò, l'erosione potenziale RK è un termine di riferimento nello studio dei processi erosivi e si presta ad indagini di tipo regionale mentre la valutazione degli altri fattori, specie quelli topografici, è fortemente dipendente dalla scala di rappresentazione prescelta e richiede, in ogni caso, studi di maggiore dettaglio.

Lo studio della variabilità spaziale dell'erosione potenziale del suolo RK (t ha^{-1}) per il bacino del Fiume Imera meridionale è stato effettuato mediante il prodotto delle due coperture, rispettivamente, dai valori puntuali di R e di K .

In particolare la copertura dei valori dell'indice di aggressività delle piogge R è stata estratta dalla carta delle isoerodenti regionali (Fig. 8.17) che al momento rappresenta, per il territorio siciliano, l'informazione di maggiore dettaglio disponibile.

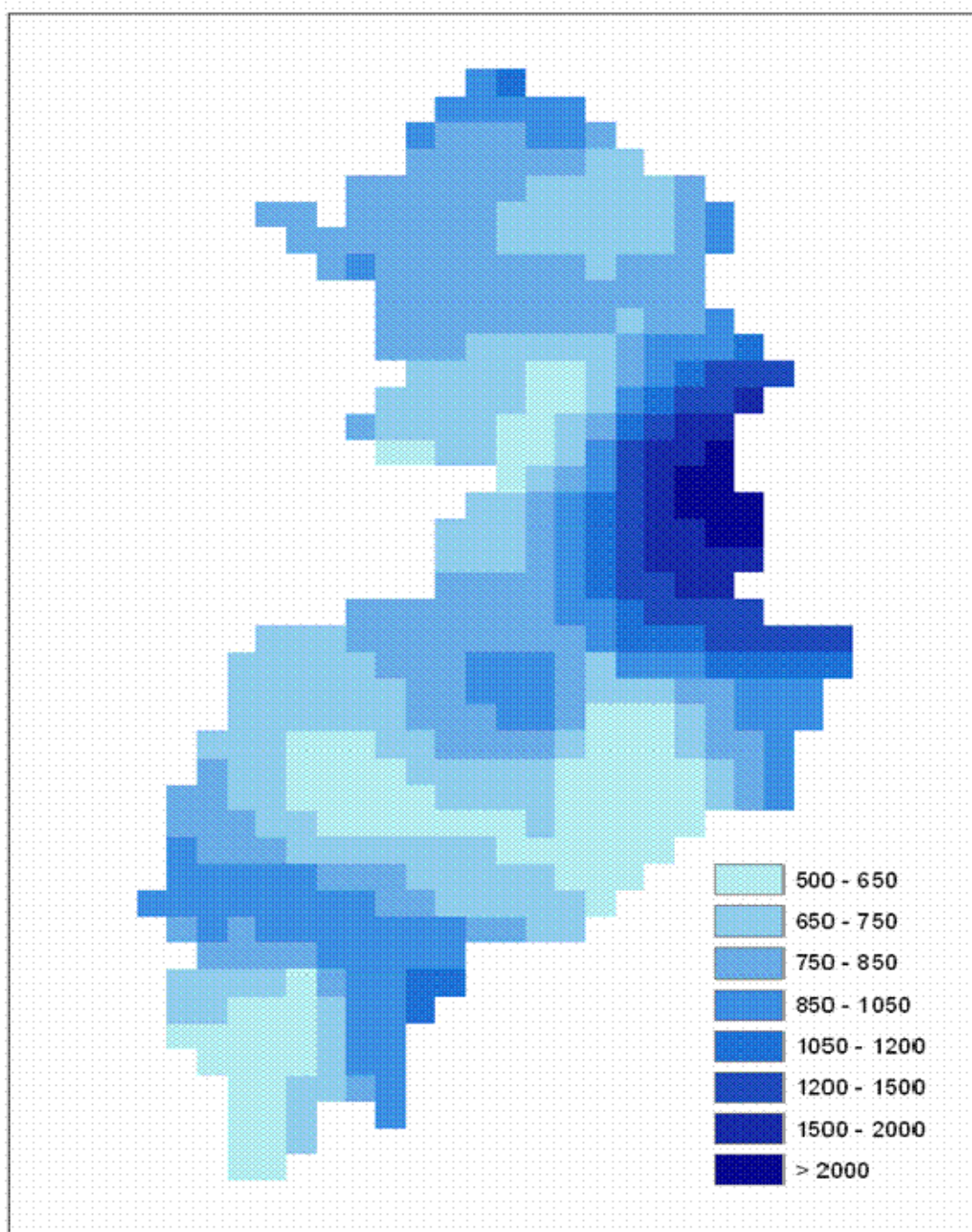


Fig. 8.17 - Carta delle isoerodenti ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{anno}^{-1}$) del bacino del Fiume Imera meridionale.

La mappa di Figura 8.17 mostra anche in questo caso una notevole variabilità spaziale (*range* 500 - 2513 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{anno}^{-1}$, con un valore medio pari a 849) con valori

massimi, superiori a $2000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, localizzati in corrispondenza della città di Enna.

La copertura *raster* prodotto delle due coperture, riportata in Figura 8.18, fornisce per ogni maglia quadrata della *mesh* di calcolo il valore dell'erosione potenziale.

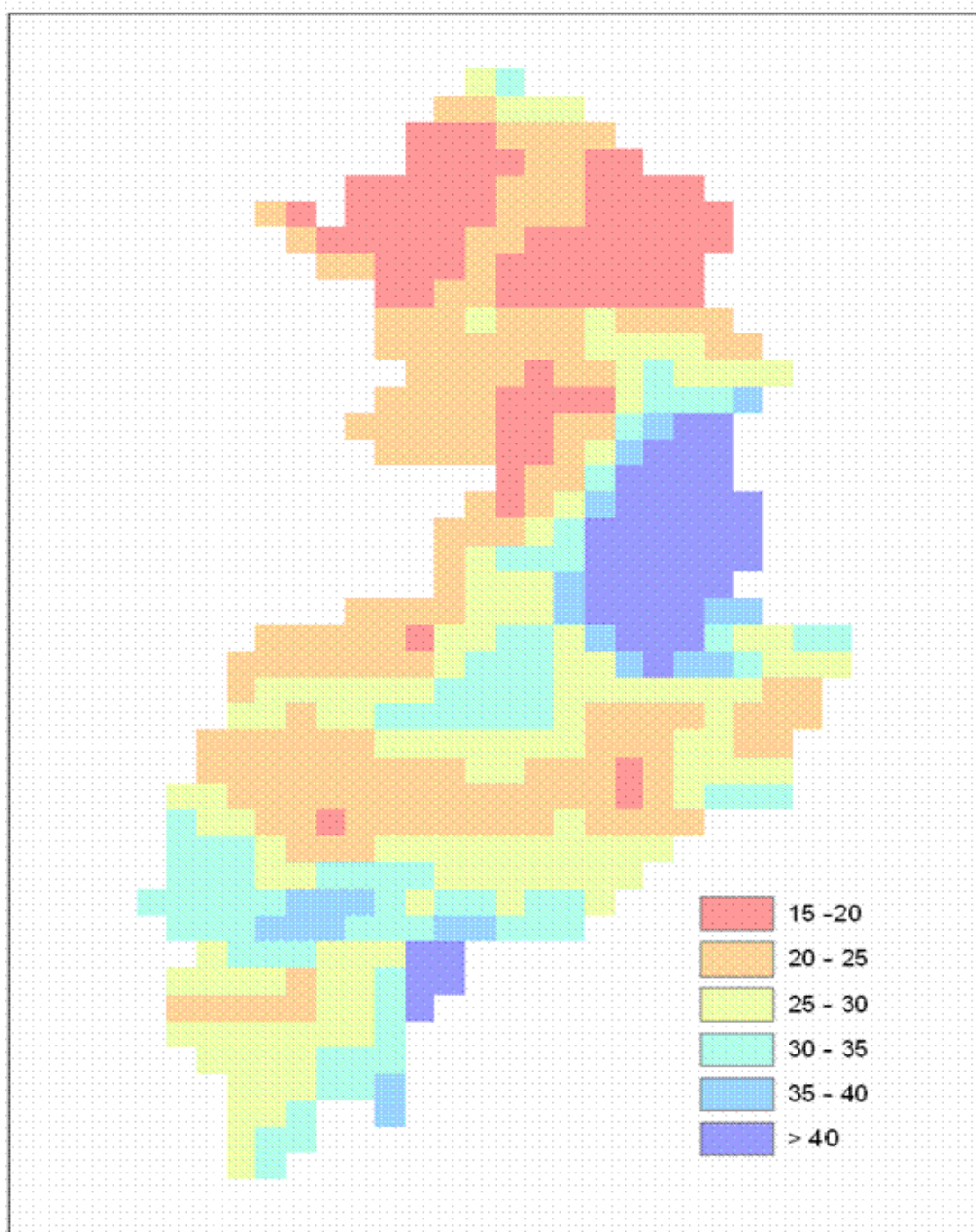


Fig. 8.18 - Carta dell'erosione potenziale ($t\ ha^{-1}$) del bacino del Fiume Imera meridionale.

I risultati ottenuti evidenziano, innanzitutto, una notevole variabilità spaziale dell'erosione potenziale nel bacino del Fiume Imera meridionale (*range* 15 - 87.4 t ha⁻¹, con un valore medio pari a 28.2) con valori superiori a 40 t ha⁻¹ in corrispondenza di una zona estesa che ricade in prossimità dell'abitato di Enna.

8.4 Determinazione dell'indice di qualità del suolo per il bacino del Fiume Imera meridionale.

Nella caratterizzazione della qualità dei suoli per il bacino del Fiume Imera meridionale, ai fini della determinazione delle zone sensibili alla desertificazione, sono stati presi in considerazione, come già fatto per l'indagine regionale (*Di Stefano, Ferro, 2007b*) gli indicatori rappresentativi dell'erosione idrica superficiale, della profondità del suolo, della pendenza dei versanti.

Il fattore di erodibilità del suolo della USLE è stato considerato un indicatore valido ai fini dell'indagine tenuto conto che in esso vengono sintetizzate le informazioni inerenti la tessitura del suolo, il suo contenuto in sostanza organica, la struttura e la permeabilità.

Per il bacino idrografico del Fiume Imera meridionale, con riferimento all'indicatore fattore di erodibilità del suolo, sono state adottate le sei classi di Tabella 8.5, determinate per il territorio siciliano, che rispettano una variazione lineare dei valori del suddetto indicatore.

Classe	Punteggio	K [t ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹]	Pendenza s	Spessore del suolo p
1	1.0	< 0.0059	< 0.05	Molto elevato
2	1.1	0.0059 - 0.0127	0.05 - 0.1	Da medio a elevato
3	1.2	0.0127 - 0.0196	0.1 - 0.2	Medio
4	1.4	0.0196 - 0.0334	0.2 - 0.3	Da sottile a medio
5	1.8	0.0334 - 0.0609	0.3 - 0.4	Da molto sottile a sottile
6	2.0	> 0.0609	> 0.4	Molto sottile

Tab. 8.5 - Punteggi relativi alle classi del fattore di erodibilità, della pendenza e della profondità del suolo.

Lo spessore del suolo p è stato stimato sulla base delle informazioni contenute nella carta pedologica della Sicilia (*Fierotti et al.*, 1988) ed anche in questo caso sono state individuate sei classi (Tab. 8.5).

La legenda della carta dei suoli di Fierotti et al. (1988), di cui in Figura 8.19 è rappresentata la sola porzione relativa al bacino del Fiume Imera meridionale, riporta per ogni unità cartografica un *range* di classi di spessore (Tab. 8.6) dedotte a partire dalla classificazione in intervalli di profondità riportati in Tabella 8.7.

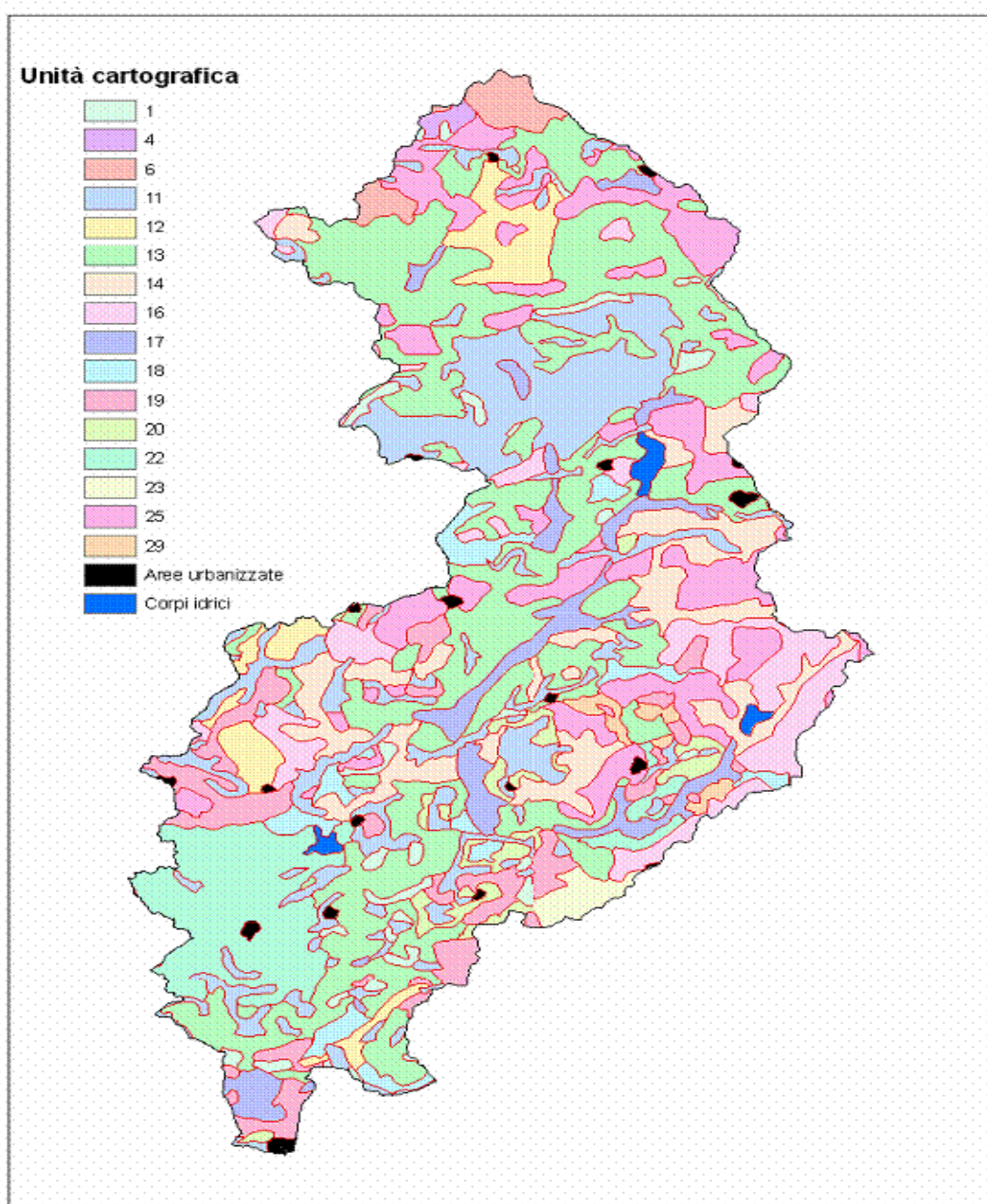


Fig. 8.19 - Carta pedologica del bacino del Fiume Imera meridionale (*Fierotti et al.*, 1988).

Unità cartografica	Spessore
1	Molto sottile
4	Da sottile a molto sottile
6	Da molto sottile a medio
11	Da sottile a medio
12	Da sottile a molto elevato
13	Da sottile a medio
14	Da sottile a molto elevato
16	Da medio ad elevato
17	Molto elevato
18	Molto elevato
19	Molto elevato
20	Da medio a sottile
22	Da medio ad elevato
23	Medio
25	Da sottile a medio
29	Medio

Tab. 8.6 - Unità cartografiche della carta dei suoli di Fierotti et al. (1988) ricadenti all'interno del bacino idrografico del Fiume Imera meridionale.

Spessore [cm]	Classificazione
0 - 20	Molto sottile
20 - 40	Sottile
40 - 80	Medio
80 - 100	Elevato
> 100	Molto elevato

Tab. 8.7 - Legenda relativa alla classificazione dello spessore del suolo riportata nella carta dei suoli di Fierotti et al. (1988).

La necessità di disporre di stime dello spessore del suolo ha richiesto la predisposizione di una metodologia che consenta di dedurre la variabilità spaziale di questa variabile all'interno di una singola unità cartografica della carta dei suoli di Fierotti et al. (1988).

Pur essendo le suddette unità cartografiche delle associazioni di suoli, e quindi delle aggregazioni che comprendono suoli anche molto diversi, le stesse possono essere considerate unità di pedo-paesaggio omogenee per clima e per complesso litologico. In questa ipotesi si può ritenere che i fattori topografici risultino determinanti, all'interno di ciascuna associazione, per la diversificazione in termini di spessore.

Nella modellistica dell'erosione, e più in generale in quella idrologica, ha avuto diffusa applicazione la seguente variabile topografica denominata *Wetness Index*, *WI* (Moore et al., 1993; Gessler et al., 1995):

$$WI = \ln \left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right) \quad [8.t]$$

in cui A_s , espressa in $m^2 m^{-1}$, è in un determinato punto l'area contribuente al deflusso, a monte di quel punto, rapportata alla larghezza misurata lungo la curva di livello e $\tan \beta$ è la pendenza. Nelle aree pianeggianti ($\beta = 0$) il valore di *WI* viene calcolato utilizzando $\beta = 0.001$.

Diversi studiosi hanno trovato correlazioni tra la profondità del suolo, o degli orizzonti pedogenetici, e l'indice *WI* (McKenzie et al., 1999; McKenzie et al., 2000; Murphy et al., 2005; Tuteja et al., 2004).

Per il bacino del Fiume Imera meridionale il calcolo del *WI* è stato effettuato in ambiente ESRI ArcView 9.1 utilizzando l'estensione TAUDM (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*) che fa ricorso nella determinazione della direzione di deflusso, necessaria per il calcolo della superficie unitaria A_s , dell'algoritmo *Dinfinity* - D-inf (Tarboton, 1997).

La Tabella 8.8 che riporta, per l'intero bacino del Fiume Imera meridionale, i principali statistici (valore minimo Min, valore massimo Max, *Range*, valore medio, deviazione *standard* STD) della variabile *WI*, mostra una sostanziale similitudine tra le differenti unità cartografiche.

Unità cartografica	Min	Max	Range	Media	STD
1	6	16	10	9.86	1.77
4	6	16	10	9.14	1.39
6	6	16	10	9.90	1.64
11	6	18	12	10.34	2.02
12	6	16	10	11.06	2.21
13	6	18	12	10.55	2.09
14	5	17	12	11.05	2.28
16	6	17	11	10.31	1.95
17	6	17	11	12.61	2.59
18	6	16	10	11.35	2.30
19	6	17	11	12.00	2.24
20	6	17	11	10.80	2.09
22	6	16	10	12.09	2.17
23	7	16	9	11.60	2.10
25	6	17	11	10.34	1.91
29	7	16	9	11.88	1.92

Tab. 8.8 - Statistici del WI stimati per ciascuna associazione di suoli.

La Tabella 8.9 riporta, per ciascuna unità cartografica, lo spessore medio del suolo più sottile, p_{min} , presente all'interno della associazione, lo spessore medio del suolo più profondo, p_{max} , presente all'interno della associazione, lo spessore medio, p_{med} , del suolo presente all'interno della associazione calcolato come media ponderata con peso la percentuale di ogni tipologia di suolo presente all'interno dell'associazione.

Unità cartografica	p_{\min} [cm]	p_{\max} [cm]	p_{med} [cm]
1	0	20	5
4	0	20	17.7
6	0	50	29
11	15	100	43
12	30	150	72
13	30	100	59
14	30	150	85
16	30	100	77
17	150	150	150
18	150	150	139.5
19	150	150	150
20	15	100	88
22	80	150	99
23	60	100	80.1
25	20	100	78
29	50	100	76.5

Tab. 8.9 - Parametri di spessore del suolo relative alle differenti unità cartografiche.

In assenza di informazioni specifiche è stata assunta una correlazione lineare positiva tra lo spessore del suolo p e l'indice WI , in particolare è stata utilizzata la seguente relazione:

$$\frac{p}{p_{\text{med}}} = \frac{WI}{\left(\frac{WI_{\max} + WI_{\min}}{2} \right)} \quad [8.u]$$

che ipotizza che il rapporto tra lo spessore del suolo p relativo ad una generica cella ricadente all'interno di una prefissata associazione ed il corrispondente valore medio p_{med} sia uguale al rapporto tra l'indice WI della cella ed il corrispondente valore medio delle celle ricadenti all'interno dell'associazione, pari alla media aritmetica tra il valore massimo WI_{\max} e quello minimo WI_{\min} .

La Figura 8.20 mostra la distribuzione spaziale dello spessore di suolo ottenuta utilizzando le classi di spessore riportate in Tabella 8.10. La suddetta tabella riporta, per ciascuna classe di profondità anche i valori corrispondenti dello spessore p e del punteggio ESAS.

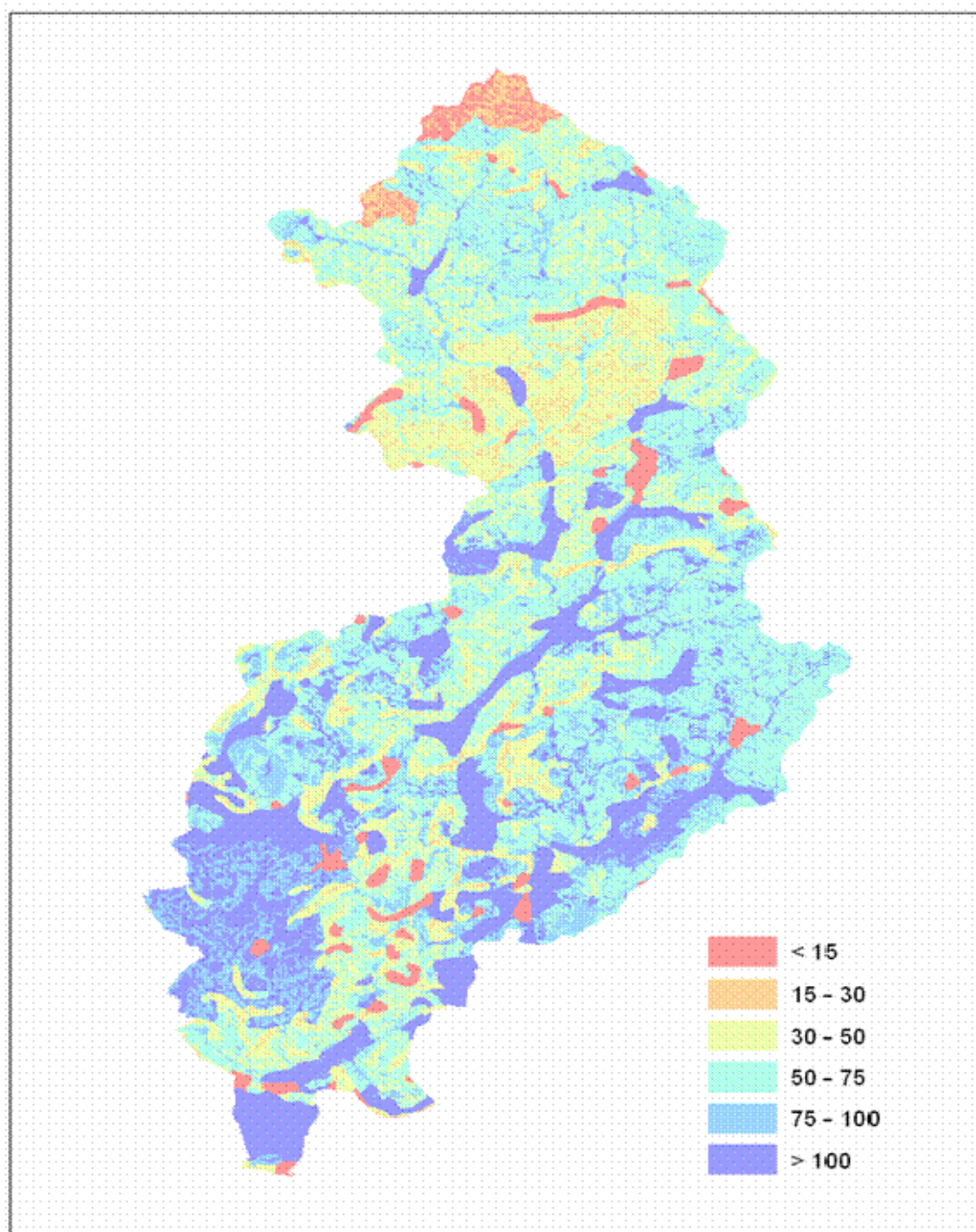


Fig. 8.20 - Distribuzione spaziale dello spessore di suolo.

Classe di spessore	Spessore p [cm]	Punteggio
Molto sottile	< 15	2.0
Da molto sottile a sottile	15 - 30	1.8
Da sottile a medio	30 - 50	1.4
Medio	50 - 75	1.2
Da medio ad elevato	75 - 100	1.1
Molto elevato	> 100	1.0

Tab. 8.10 - Valori dello spessore del suolo e relativi punteggi
per il Bacino del Fiume Imera meridionale.

La determinazione della pendenza s è stata effettuata con il ricorso ad un DTM regionale, già disponibile, con *mesh size* pari a 200 m. Le prime cinque classi di pendenza prese in considerazione (Tab. 8.5) sono relative ai valori di pendenza inferiori al 40%, valore quest'ultimo generalmente considerato il limite di convenienza economica per uno sfruttamento agricolo dell'area considerata.

L'utilizzazione della distribuzione spaziale del fattore di erodibilità (Fig. 8.16), del modello digitale del terreno (Fig. 8.21) e dello spessore del suolo (Fig. 8.20) ha consentito di calcolare l'indice di qualità del suolo SQI facendo ricorso alla relazione 8.v:

$$SQI = (K \cdot s \cdot p)^{1/3} \quad [8.v]$$

in cui è stato indicato con K il valore del punteggio assegnato al fattore di erodibilità, a s quello assegnato alla pendenza e a p quello determinato per lo spessore del suolo sulla base delle indicazioni riportate in Tabella 8.5.

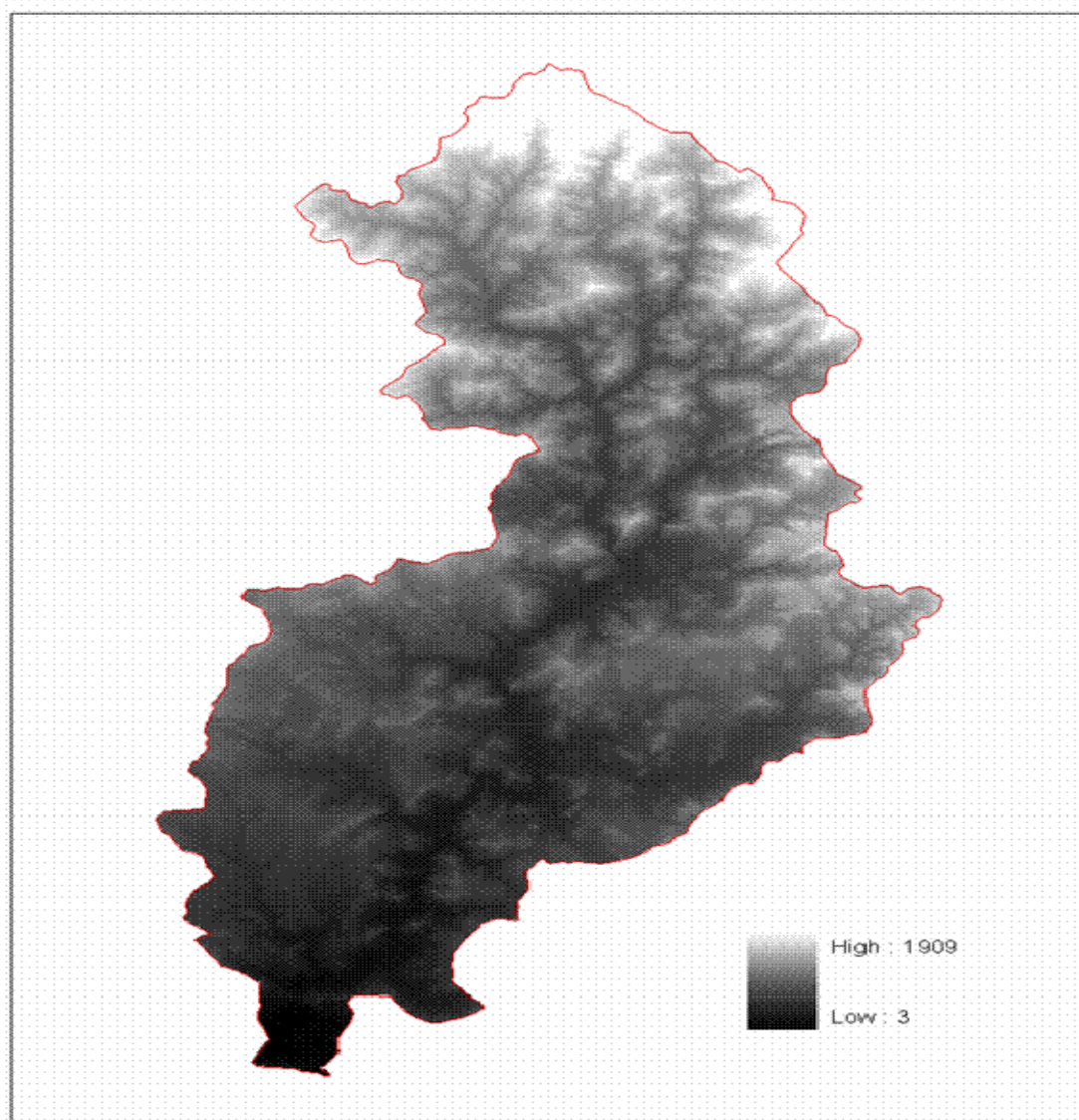


Fig. 8.21 - DTM del bacino del Fiume Imera meridionale.

La distribuzione spaziale dell'indice SOI , con i punteggi di Tabella 8.5, ha condotto alla relativa mappa delle classi di qualità di Figura 8.22.

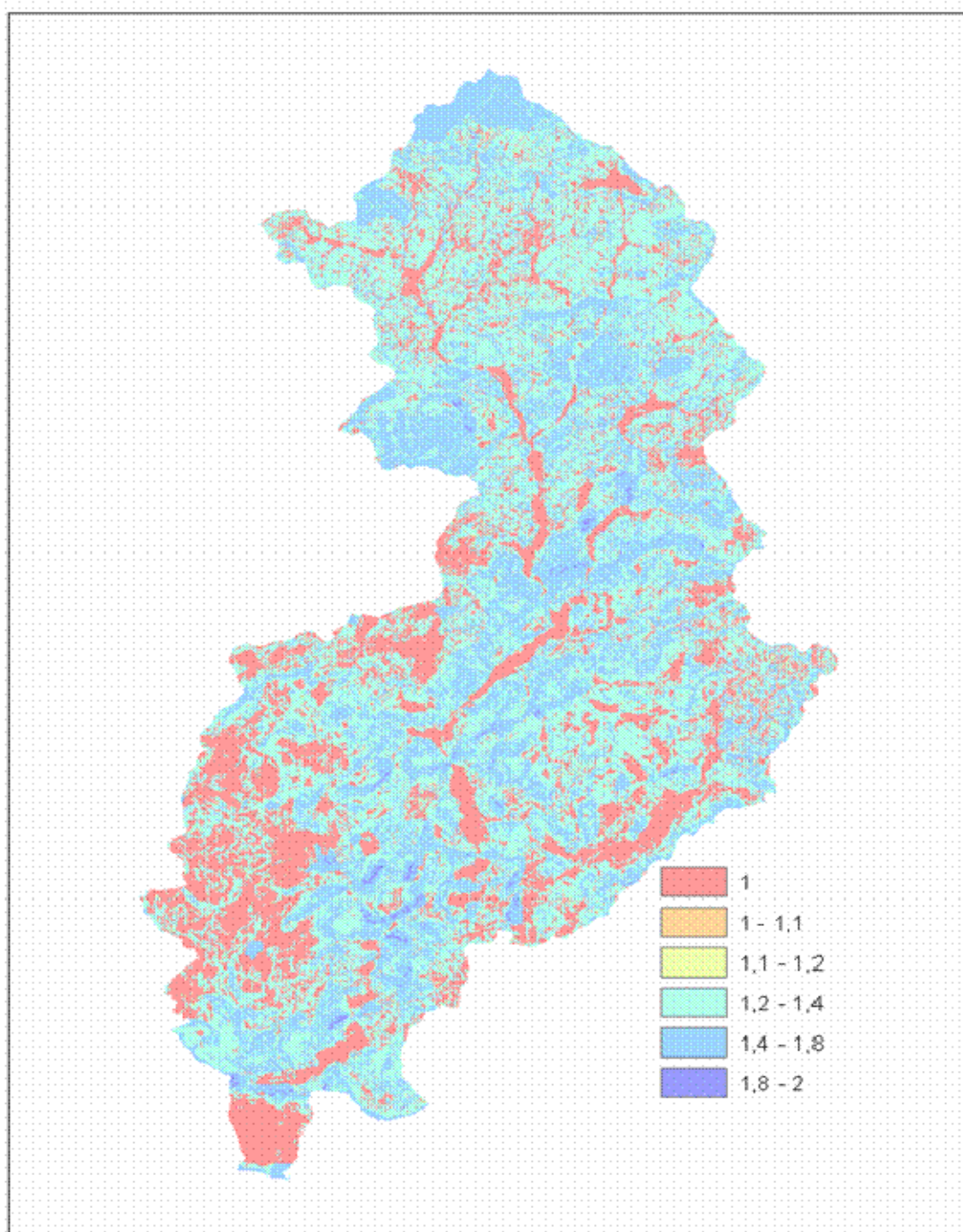


Fig. 8.22 - Mappa delle classi di qualità del suolo del bacino del Fiume Imera meridionale.

La mappa del fattore di qualità del suolo (Fig. 8.23) è stata dedotta adottando, ancora una volta, l'ipotesi di linearità nei valori da associare agli estremi che discriminano le tre classi di qualità (Alta qualità $SQI < 1.13$, Moderata qualità SQI compreso tra 1.13 e 1.45, Bassa qualità $SQI > 1.45$) che peraltro è quella utilizzata nella formulazione originaria del modello ESAs (Bagarello, Ferro, 2006).

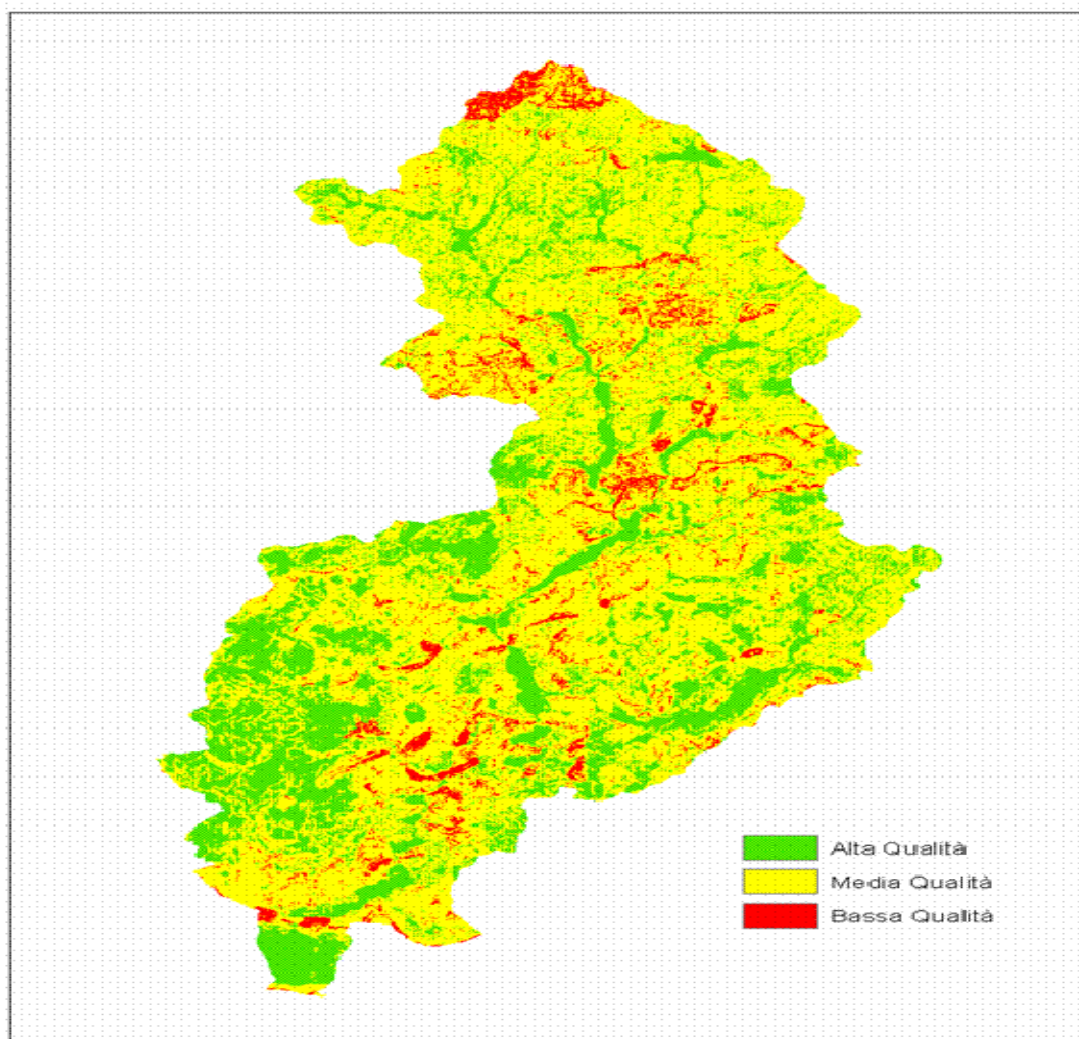


Fig. 8.23 - Mappa del fattore di qualità del suolo del bacino del Fiume Imera meridionale.

La mappa di Figura 8.23 evidenzia, per il bacino del Fiume Imera meridionale, una chiara predominanza delle aree interessate da suoli da media e bassa qualità. In

particolare sul 26% della superficie del bacino ricadono suoli ad alta qualità mentre il 69% ed il 5% dell'area è interessata, rispettivamente, da suoli a media e a bassa qualità.

8.5 Determinazione dell'indice di qualità del clima per il bacino del Fiume Imera meridionale.

Nella caratterizzazione della qualità del clima per il bacino del Fiume Imera meridionale, ai fini della determinazione delle zone sensibili alla desertificazione, sono stati presi in considerazione, tenuto conto dei risultati ottenuti per l'indagine regionale (*Di Stefano, Ferro, 2007b*) gli indicatori rappresentativi dell'aridità e dell'erosione idrica superficiale.

In particolare per il calcolo dell'indice di qualità *CQI* del clima si è fatto ricorso alla relazione 8.w:

$$CQI = \sqrt{DP \cdot R} \quad [8.w]$$

in cui si è assunto come indicatore di aridità il valore medio annuo del *deficit* pluviometrico *DP* e come indicatore della severità dei processi erosivi il valore medio annuo del fattore climatico *R* di Wischmeier e Smith (1978).

La distribuzione spaziale del *deficit* pluviometrico e la carta delle isoerodenti (Fig.8.17) hanno permesso di individuare la distribuzione spaziale dell'indice *CQI*, con i punteggi delle Tabelle 8.11 e 8.12, ha condotto alla relativa mappa delle classi di qualità di Figura 8.24.

Classe	Punteggio	Distribuzione non lineare	Distribuzione lineare
1	1.0	< 512	< 512
2	1.1	512 - 768	512 - 603
3	1.2	768 - 1039	603 - 694
4	1.4	1039 - 1167	694 - 876
5	1.8	1167 - 1295	876 - 1240
6	2.0	> 1295	> 1240

Tab. 8.11 - Punteggi relativi all'indicatore *deficit* pluviometrico (mm).

Classe	Punteggio	Distribuzione non lineare	Distribuzione lineare
1	1.0	< 1345	< 1345
2	1.1	1345 - 2025	1345 - 1583
3	1.2	2025 - 2723	1583 - 1821
4	1.4	2723 - 3064	1821 - 2298
5	1.8	3064 - 3404	2298 - 3268
6	2.0	> 3404	> 3268

Tab. 8.12 - Punteggi relativi all'indicatore aggressività delle precipitazioni ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

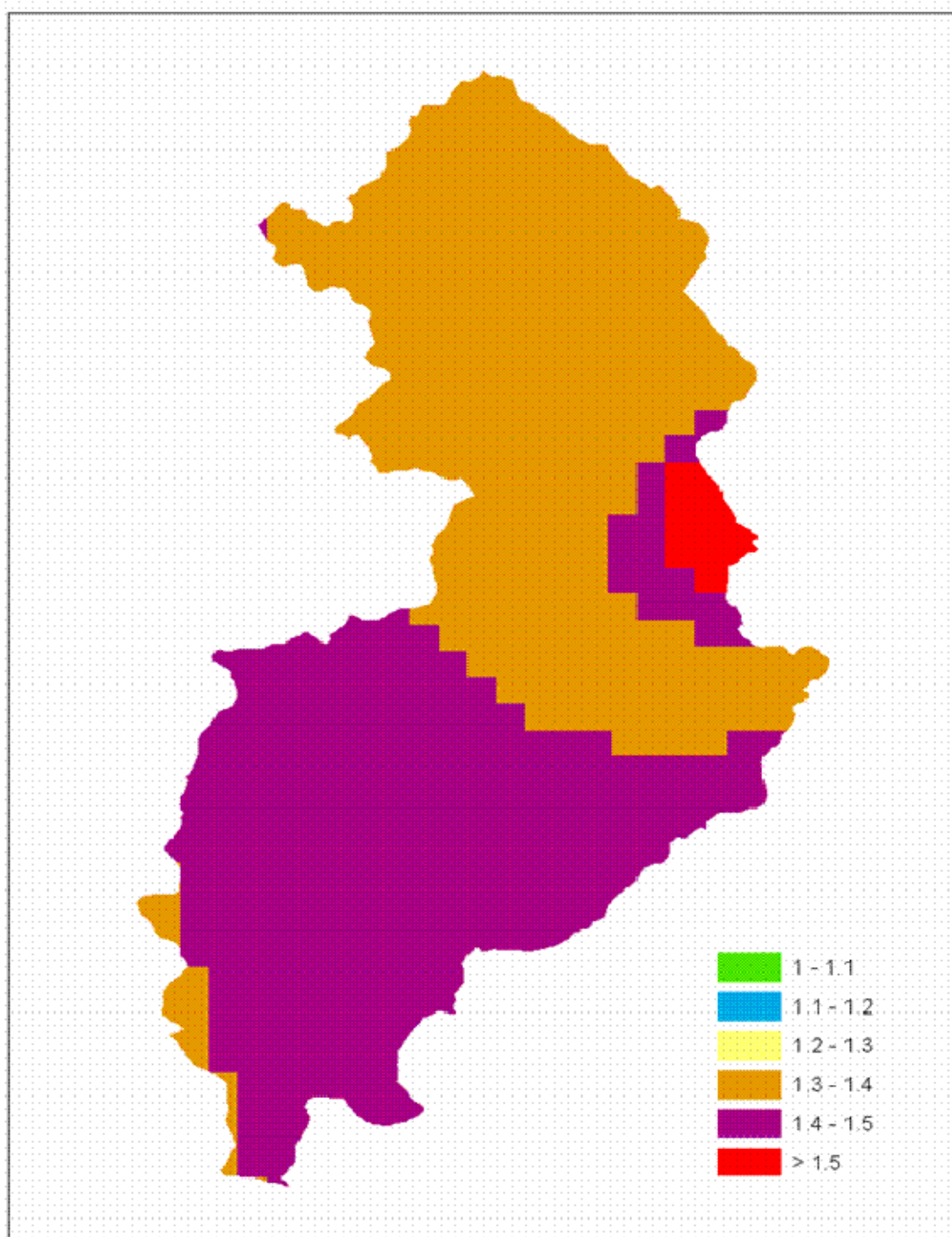


Fig. 8.24 - Mappa delle classi di qualità del clima del bacino del Fiume Imera meridionale.

Adottando, ancora una volta, l'ipotesi di linearità nei valori da associare agli estremi che discriminano le tre classi di qualità (Alta qualità $CQI < 1.15$, Moderata qualità CQI compreso tra 1.15 e 1.5, Bassa qualità $CQI > 1$ - *Di Stefano, Ferro, 2007b*) è stata ottenuta la mappa del fattore di qualità del clima riportata in Figura 8.25.

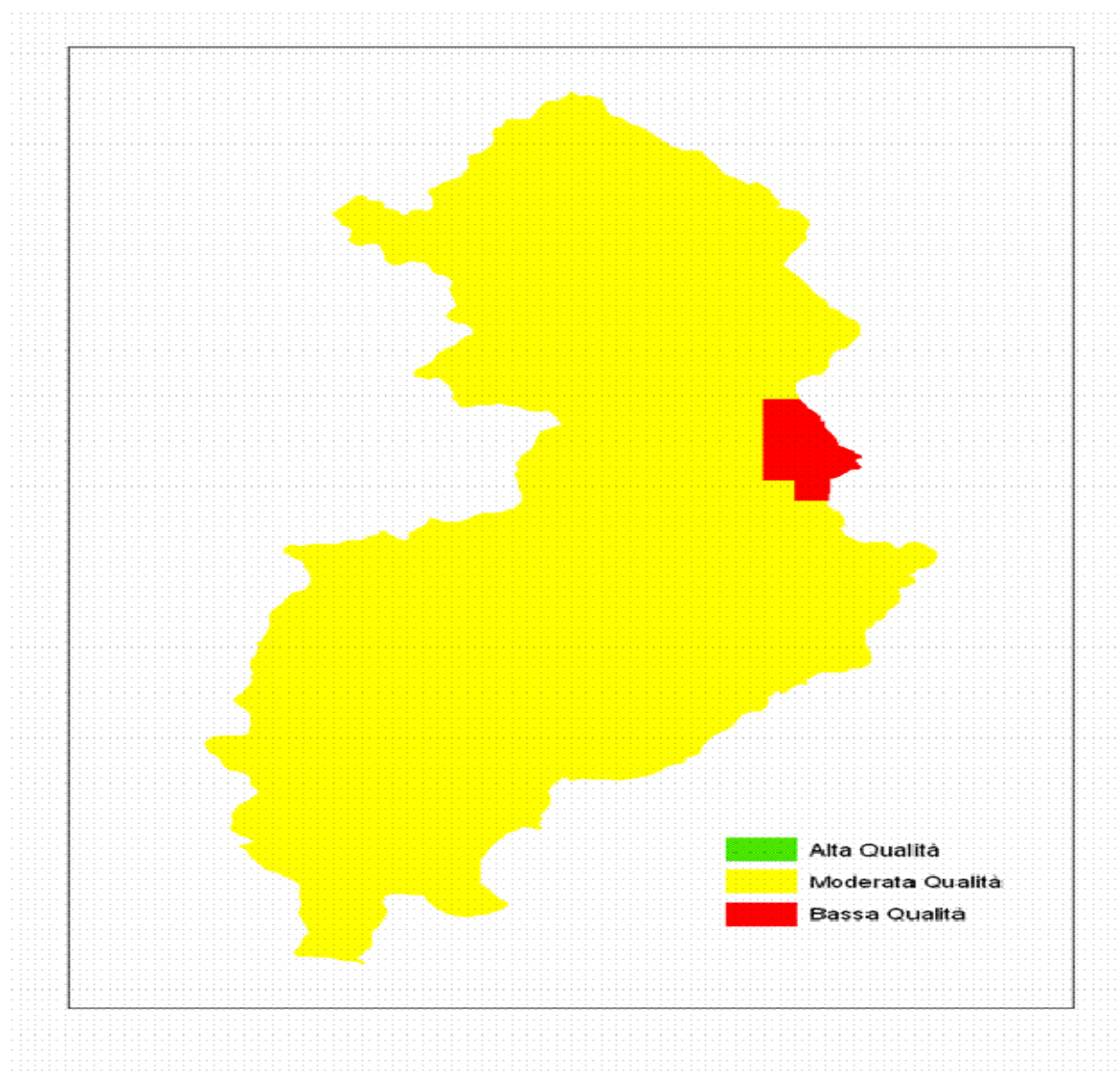


Fig. 8.25 - Mappa del fattore di qualità del clima del bacino del Fiume Imera meridionale.

La mappa di Figura 8.25 evidenzia che il bacino del Fiume Imera meridionale è quasi completamente interessato, fatta eccezione per un'area a bassa qualità climatica

corrispondente ad una zona prossima all'abitato di Enna, da aree contraddistinte da moderata qualità del clima.

8.6 Determinazione delle aree sensibili alla desertificazione per il bacino del Fiume Imera meridionale.

In analogia alla metodologia sviluppata per l'intera regione siciliana (*Di Stefano, Ferro, 2007b*) è stata utilizzata la definizione dell'indice *ESAI* corrispondente alle sola caratterizzazione climatico-pedologica facendo ricorso alla relazione 8.x:

$$ESAI = (CQI \cdot SQI)^{1/2} \quad [8.x]$$

e sono stati adottati gli stessi limiti di classe (Non affetta $ESAI < 1.17$, Potenziale $1.17 < ESAI < 1.23$, Fragile $1.23 < ESAI < 1.37$, Critica $ESAI > 1.37$) utilizzati per la Regione Siciliana.

La mappa di Figura 8.26, che mostra la suddivisione del bacino idrografico del Fiume Imera meridionale in zone a differente *ESAI*, evidenzia una chiara predominanza delle aree fragili e critiche dal punto di vista climatico-pedologico che interessano il 75% della superficie del bacino. La rimanente superficie del bacino è interessata per il 15% da aree potenzialmente suscettibili al fenomeno della desertificazione e per il 10% da aree non affette.

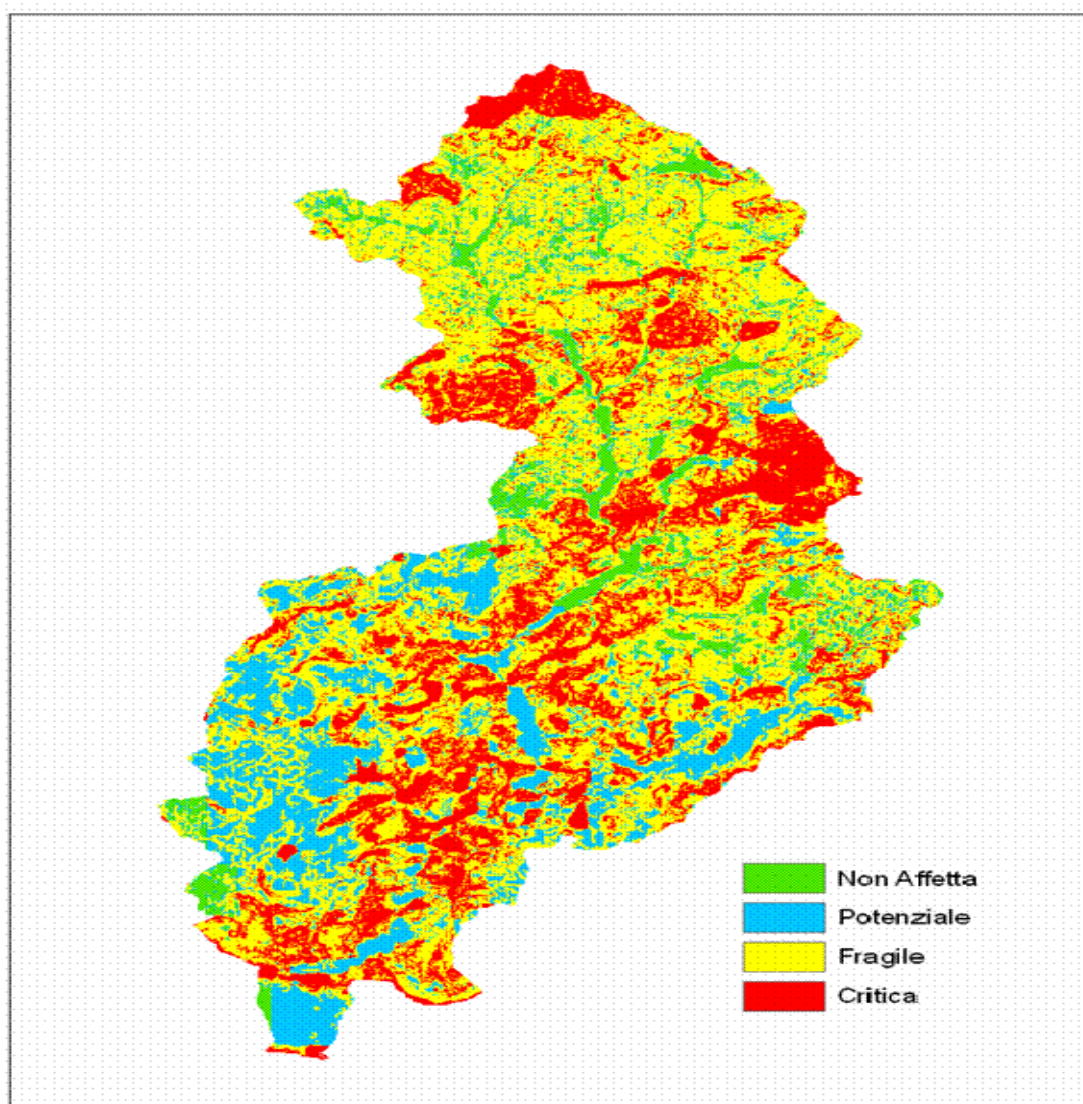


Fig. 8.26 - Mappa dell'indice *ESAI* corrispondente alle sola caratterizzazione climatico-pedologica.

In conclusione, ben il 90% della superficie del bacino del Fiume Imera meridionale è suscettibile, con differenti livelli di severità (potenziale, fragile, critica), al fenomeno di desertificazione imputabile a cause climatico-pedologiche.

Allegato 8.1 - Dati caratteristici dei 228 campioni prelevati per la determinazione del fattore di erodibilità del suolo.

Campione	Data Prelievo [gg:mm:aa]	Coordinata N [m]	Coordinata E [m]	Uso del suolo
1	29:06:07	4189430	419000	Bosco
2	29:06:07	4189465	421325	Bosco
3	9:05:07	4185655	415872	Incolto
4	9:05:07	4196900	418760	Bosco
5	29:06:07	4186460	421685	Bosco
6	29:06:07	4186540	424600	Incolto
7	9:05:07	4183670	415660	Pascolo
8	9:05:07	4183475	418685	Sulla
9	29:06:07	4183430	421985	Seminativo
10	29:06:07	4183710	425315	Incolto
11	29:06:07	4183600	428520	Incolto
12	29:06:07	4182250	413140	Fieno
13	23:06:07	4180125	406160	Incolto
14	23:06:07	4180250	412060	Suolo nudo
15	29:06:07	4180580	415940	Incolto
16	29:06:07	4180560	418720	Incolto
17	29:06:07	4180425	421825	Fieno
18	29:06:07	4180500	424515	Fieno
19	19:07:07	4180460	427320	Fieno
20	19:07:07	4180540	429920	Seminativo
21	19:07:07	4180700	433035	Incolto
22	23:06:07	4177550	407210	Seminativo
23	23:06:07	4177615	409640	Seminativo

24	23:06:07	4177800	412530	Incolto
25	29:06:07	4177750	415730	Prato
26	29:06:07	4177475	418690	Boscaglia
27	29:06:07	4177675	421630	Seminativo
28	29:06:07	4177670	424665	Fieno
29	19:07:07	4177325	427825	Prato
30	19:07:07	4177590	430860	Prato
31	19:07:07	4177690	433485	Prato
32	23:06:07	4174925	411090	Seminativo
33	19:07:07	4175220	415355	Suolo nudo lavorato
34	19:07:07	4174800	418180	Seminativo
35	19:07:07	4174675	421725	Seminativo lavorato
36	19:07:07	4174675	424350	Seminativo
37	19:07:07	4174580	427150	Seminativo
38	19:07:07	4174590	430450	Prato
39	9:06:07	4174320	432780	Pascolo
40	23:06:07	4173100	413410	Fieno
41	15:06:07	4171075	412850	Prato
42	15:06:07	4171535	415350	Avena
43	15:06:07	4171730	418925	Seminativo
44	15:06:07	4171475	421640	Seminativo
45	15:06:07	4171670	424325	Seminativo
46	15:06:07	4171690	427190	Uliveto
47	9:06:07	4161650	430760	Fieno
48	9:06:07	4171725	433725	Fieno
49	9:06:07	4171735	436070	Incolto
50	15:06:07	4168370	414600	Seminativo

51	15:06:07	4168420	418115	Seminativo
52	15:06:07	4168940	421356	Sulla
53	15:06:07	4168380	424870	Seminativo
54	15:06:07	4168575	427560	Bosco
55	15:06:07	4168780	431240	Seminativo
56	9:06:07	4169002	434160	Incolto
57	9:06:07	4167700	436500	Incolto
58	9:06:07	4168840	439125	Bosco
59	23:06:07	4165925	412475	Fieno
60	23:06:07	4165790	415240	Seminativo
61	23:06:07	4165530	418070	Suolo nudo
62	15:06:07	4165500	421150	Seminativo
63	15:06:07	4167290	424819	Sulla
64	9:06:07	4165425	427475	Prato pascolo
65	9:06:07	4165535	430385	Fieno
66	9:06:07	4165600	434020	Gariga
67	9:06:07	4165800	436490	Incolto
68	23:06:07	4162465	412765	seminativo
69	23:06:07	4162725	415610	mandorleto
70	23:06:07	4162690	418560	mandorleto
71	2:06:07	4162565	421690	Seminativo
72	2:06:07	4162715	425080	Suolo Lavorato
73	9:06:07	4162625	427620	Prato pascolo
74	9:06:07	4162700	430310	Seminativo
75	9:06:07	4162525	433860	Seminativo
76	2:06:07	4159715	421615	Colture erbacee
77	2:06:07	4159750	425510	Incolto

78	2:06:07	4159795	428850	Eucalipto
79	2:06:07	4159350	432649	Incolto
80	18:05:07	4159430	435690	Eucalipteto
81	2:06:07	4156600	418140	Colt. erbacee
82	2:06:07	4156730	421900	Prato pascolo
83	2:06:07	4156640	426050	Avena
84	18:05:07	4156605	429190	Leguminose
85	18:05:07	4156510	433030	Mandorleto
86	18:05:07	4156425	436700	Prato Pascolo
87	28:04:07	4153670	418400	Seminativo
88	28:04:07	4153600	421575	Incolto
89	28:04:07	4152900	425180	Prateria Ampelodesma
90	18:05:07	4153570	428685	Eucalipteto
91	18:05:07	4153250	433605	Erbacee (fieno)
92	18:05:07	4153275	436850	Erbacee (fieno)
93	28:04:07	4150320	418350	Eucalipteto
94	28:04:07	4150530	421730	Seminativo
95	28:04:07	4150720	424710	Suolo Lavorato
96	18:05:07	4150510	427560	Seminativo
97	18:05:07	4150615	430150	Suolo lavorato
98	18:05:07	4150179	434323	Incolto
99	18:05:07	4150325	436615	Pascolo
100	28:04:07	4147154	403615	Incolto
101	28:04:07	4147620	403603	Uliveto
102	28:04:07	4147450	409258	Seminativo
103	28:04:07	4147436	412698	Agrumeto
104	28:04:07	4147400	414590	Agrumeto

105	28:04:07	4147776	418830	Pascolo
106	28:04:07	4147600	421625	Leguminose
107	18:05:07	4147950	424700	Pascolo
108	18:05:07	4147575	427175	Seminativo
109	18:05:07	4147700	430860	Incolto
110	1:08:07	4147635	433700	Uliveto
111	1:08:07	4147520	436800	Incolto
112	1:08:07	4147380	439700	Bosco Eucalipto
113	1:08:07	4146175	442375	Bosco Pino
114	18:05:07	4144500	403485	Seminativo
115	28:04:07	4144610	406830	Seminativo
116	7:08:07	4144425	409710	Seminativo
117	8:08:07	4144675	412610	Seminativo
118	8:08:07	4144590	415810	Seminativo lavorato
119	8:08:07	4144685	418640	Seminativo
120	8:08:07	4144440	421755	Seminativo
121	8:08:07	4144440	424640	Seminativo
122	8:08:07	4144750	427615	Seminativo bruciato
123	1:08:07	4144670	430550	Seminativo
124	1:08:07	4144640	433610	Seminativo
125	1:08:07	4144640	436560	Pascolo
126	1:08:07	4144400	440875	Bosco Eucalipto
127	7:08:07	4141380	404167	Seminativo
128	7:08:07	4141400	405910	Seminativo
129	8:08:07	4141415	409485	Seminativo
130	8:08:07	4141907	412850	Vigneto
131	8:08:07	4141610,	415675	Suolo nudo lavorato

132	7:08:07	4141047	419514	Suolo nudo lavorato
133	7:08:07	4141740	421600	Seminativo
134	7:08:07	4141525	424770	Vigneto
135	7:08:07	4141560	427510	Uliveto
136	7:08:07	4141600	430610	Suolo nudo lavorato
137	7:08:07	4141660	433615	Mandorleto
138	1:08:07	4141465	436300	Uliveto
139	1:08:07	4141540	439610	Mandorleto
140	31:08:07	4138625	400760	Seminativo
141	7:08:07	4138740	403625	Vigneto
142	8:08:07	4138760	406824	Pescheto
143	31:08:07	4138475	409725	Incolto
144	8:08:07	4138675	412660	Uliveto
145	8:08:07	4138650	415570	Suolo nudo lavorato
146	8:08:07	4138490	418675	Seminativo
147	7:08:07	4138530	421680	Mandorleto
148	7:08:07	4138500	424525	Seminativo bruciato
149	7:08:07	4138525	427510	Lavorato
150	7:08:07	4138605	430560	Uliveto
151	1:08:07	4138725	433575	Seminativo lavorato
152	1:08:07	4138844	435807	Uliveto
153	1:08:07	4138690	439490	Incolto
154	31:08:07	4135650	400530	Seminativo
155	31:08:07	4135785	403500	Incolto
156	31:08:07	4135680	406685	Seminativo
157	8:08:07	4135600	409430	Seminativo
158	8:08:07	4135700	412360	Vigneto

159	8:08:07	4135270	415630	Seminativo
160	8:08:07	4135650	418800	Seminativo
161	7:08:07	4136024	421637	Seminativo
162	7:08:07	4135234	425091	Mandorleto
163	7:08:07	4135715	427425	Uliveto
164	7:08:07	4135710	430590	Pascolo
165	1:08:07	4135665	433275	Lavorato
166	1:08:07	4135610	435770	Seminativo
167	1:08:07	4135625	439110	Incolto lavorato
168	31:08:07	4132525	400475	Mandorleto
169	31:08:07	4132740	403375	Mandorleto
170	21:08:07	4132520	406810	Seminativo
171	21:08:07	4132675	409585	Seminativo
172	21:08:07	4132810	412440	Seminativo
173	21:08:07	4132275	416011	Seminativo
174	21:08:07	4132890	418600	Seminativo
175	21:08:07	4132750	421425	Vigneto
176	21:08:07	4132670	424650	Seminativo
177	21:08:07	4132775	427650	Mandorleto
178	21:08:07	4132625	430450	Suolo nudo lavorato
179	21:08:07	4132660	433350	Mandorleto
180	31:08:07	4129575	400315	Vigneto
181	31:08:07	4129585	403350	Vigneto
182	31:08:07	4129550	406485	Seminativo
183	22:08:07	4129510	409378	Seminativo
184	21:08:07	4129785	412558	Vigneto
185	21:08:07	4129660	415683	Incolto

186	21:08:07	4129600	418558	Vigneto
187	21:08:07	4129620	421418	Vigneto
188	21:08:07	4132595	424508	Mandorleto
189	21:08:07	4129755	427568	Orto in pieno campo
190	21:08:07	4129915	430418	Mandorleto
191	22:08:07	4126425	397770	Mandorleto
192	22:08:07	4126475	400385	Seminativo
193	22:08:07	4126640	403535	Vigneto
194	22:08:07	4126713	406320	Vigneto
195	22:08:07	4126625	409458	Seminativo
196	22:08:07	4126635	412618	Seminativo
197	22:08:07	4126665	415287	Seminativo
198	22:08:07	4126345	418368	Uliveto
199	22:08:07	4126755	421608	Vigneto
200	22:08:07	4126655	424508	Uliveto
201	22:08:07	4126745	427638	Uliveto
202	31:08:07	4123505	400580	Vigneto
203	31:08:07	4123575	403515	Mandorleto
204	31:08:07	4123710	406740	Seminativo
205	22:08:07	4123680	409547	Mandorleto
206	22:08:07	4123615	412637	Seminativo
207	22:08:07	4123415	415568	Seminativo
208	22:08:07	4123530	418558	Suolo nudo
209	31:08:07	4120650	400125	Vigneto
210	31:08:07	4120460	403615	Frutteto
211	31:08:07	4120690	406535	Seminativo
212	30:08:07	4120098	409573	Mandorleto

213	30:08:07	4121104	412857	Bosco
214	30:08:07	4120310	415950	Vigneto
215	30:08:07	4117660	400560	Vigneto
216	30:08:07	4117440	403600	Vigneto
217	30:08:07	4117400	406560	Vigneto
218	30:08:07	4117445	409463	Incolto
219	30:08:07	4118025	412320	Bosco
220	30:08:07	4114640	403520	Uliveto
221	30:08:07	4114430	406760	Seminativo
222	30:08:07	4114465	409758	Vigneto
223	30:08:07	4114605	412663	Seminativo
224	30:08:07	4111490	403560	Suolo nudo
225	30:08:07	4111520	406770	Suolo nudo
226	30:08:07	4111620	413278	Seminativo
227	30:08:07	4108550	403560	Suolo nudo
228	30:08:07	4108580	406730	Suolo nudo

BIBLIOGRAFIA

- ABDULLA F.A., LETTENMAIER D.P., Application of regional parameters estimation schemes to simulate the water balance of a large continental river, *Journal of Hydrology* 197, 1997.
- ABRAHAMS A.D., PARSONS A.J., *Rill hydraulics on a semiarid hillslope, Southern Arizona*. Earth Surface Processes and Landforms, 1996.
- ADAMOWSKI K., BOUGADIS J., *Detection of trends in annual extreme rainfall*, Hydrological processes 17, 2003.
- AGASSI M., BRADFORD J.M., *Methodologies for interrill erosion studies*, Soil & Tillage Research, 49, 1999.
- AGNESE C., BAGARELLO V., NICASTRO G., *Alterazione di alcuni caratteri del regime pluvio-termometrico siciliano nel periodo 1916-1999*, Atti convegno AIAM, 2002.
- ANGELL J.K., *Variations and Trends in Tropospheric and Stratospheric Global Temperatures, 1958-87*, Journal of Climate, vol. 1, 1988.
- AQUATER S.P.A., *Studio sull'utilizzazione delle acque dei fiumi Platani, Imera Meridionale e loro affluenti*, Rapporto conclusivo, San Lorenzo in Campo, 1982.
- ARNELL N.W., *Grid Mapping and River Discharge*, Journal of Hydrology, n.167, 1995.
- ARNELL N.W., *A simple water balance model for the simulation of streamflow over a large geographic domain*, Journal of Hydrology, n.217, 1999.
- ARNELL N.W., *Climate change and global water resources*, Global Environmental Change 9, 1999.
- ARNELL N.W., *The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective*, Global Environmental Change 9, 1999.
- ARONICA G., CANNAROZZO M., NOTO L.V., *Investigating the change in extreme rainfall series recorded in a urbanised area*, Water Science and Technology, 45, 2002.
- ARONICA G., FERRO V., *Rainfall erosivity over the Calabrian region*, Journal of Hydrological Sciences, 42, 1997.
- ASSESSORATO DELL'AGRICOLTURA E DELLE FORESTE, Circolare 29/03/94, n.1, *Disposizioni attuative del programma pluriennale regolamento CEE n.2080/92 (misure forestali nel settore agricolo)*.
- ASSESSORATO DELL'AGRICOLTURA E DELLE FORESTE, Programma Pluriennale Regionale Reg. CEE 2080/92.
- ASSESSORATO DELL'AGRICOLTURA E DELLE FORESTE, Valutazione Intermedia del Piano di Sviluppo Rurale 2000-2006 Sicilia - Aggiornamento del Rapporto di Valutazione Intermedia.
- AUBERVILLE A., *Climate, Forests, et Desertification de l'Afrique Tropicale* Societe des Editions Geographique, Maritimes et Coloni, 1949.

- AZIENDA FF.DD.R.S., *Inventario dei complessi boscati*, Palermo, 1976.
- AZIENDA FF.DD.R.S., *Censimento dei complessi boscati della Regione Siciliana*, Palermo, 1985.
- BAGARELLO V., BAIAMONTE G., FERRO V., GIORDANO G., *Evaluating the topographic factors for watershed soil erosion studies*, Proc. of Workshop on Soil Erosion in Semi-arid Mediterranean Areas, Ed. Morgan R.P.C., 1993.
- BAGARELLO V., BAIAMONTE G., FERRO V., GIORDANO G., *Contributo alla valutazione dei fattori elementari dell'erosione negli studi a scala di bacino*, Quaderni di Idronomia Montana, 15, 1996.
- BAGARELLO V., DI PIAZZA G.V., FERRO V., *Manual sampling and tank size effects on the calibration curve of plot sediment storage tanks*, Transactions of the ASAE, 47(4), 2004.
- BAGARELLO V., DI PIAZZA G.V., FERRO V., *Monitoraggio della perdita di suolo a differenti scale spaziali nell'area di Sparacia*, Rivista di Ingegneria Agraria, 1, 2004.
- BAGARELLO V., DI PIAZZA G.V., FERRO V., GIORDANO G., *Monitoraggio della perdita di suolo nell'area sperimentale di Sparacia*, Quaderni di Idronomia Montana, 24, 2005.
- BAGARELLO V., FERRO V., *Calibrating storage tanks for soil erosion measurement from plots*, Earth Surface Processes and Landforms, 23, 1998.
- BAGARELLO V., FERRO V., *Plot-scale measurement of soil erosion at the experimental area of Sparacia (southern Italy)*, Hydrological Processes, 18, 2004.
- BAGARELLO V., FERRO V., *Erosione e conservazione del suolo*, Ed. McGraw-Hill, Milano, 2006.
- BAGARELLO V., FERRO V., GIORDANO G., *Contributo alla valutazione del fattore di deflusso di Williams e del coefficiente di resa solida per alcuni bacini idrografici siciliani*, Rivista di Ingegneria Agraria, 4, 1991.
- BAGARELLO V., FERRO V., GIORDANO G., *Misure di perdita di suolo a scala parcellare nell'area sperimentale di Sparacia*, Quaderni di Idronomia Montana, 21/1, 2003.
- BAGARELLO V., FERRO V., GIORDANO G., MINACAPILLI M., *Indagini sperimentali sui deflussi e sull'erosione idrica nei piccoli bacini*, Proceedings Regional Workshop "POP Sicilia - Cartografia Tematica, Morfologia delle Coste, Erosione del Suolo e Gestione dei Sedimenti", Mègier J., Falving S., Baracchini M.L. Eds., Palermo, Italy: Space Applications Institute, Environmental Mapping and Modelling Unit, Centro Comune di Ricerca di ISPRA della Commissione Europea, 1996.
- BAGNARESI U., *Il recupero dei terreni marginali in collina e in montagna*, Agricoltura Ricerca 3, 1979.
- BAGNOULS F., GASSEN H., *Saison sèche et indice xérothermique*, Doc. Pour les cartes des prod. Vég, série Généralités III , 1953.

- BAIAMONTE G., FERRO V., *Indagine sperimentale su un semplice misuratore di portata per correnti a pelo libero su fondo inclinato*, Quaderni di Idronomia Montana, 24, 2005.
- BAKER P.S., *Basic principles and application techniques of isotope tracers*, Transactions of the ASAE, 10, 1967.
- BALLATORE, G.P., *Salinità delle acque e prospettive dell'irrigazione della Piana di Licata (Prov. Agrigento)*, Quaderno di Agronomia n. 5, Istituto di Agronomia Generale e Coltivazioni Erbacee, Università degli Studi di Palermo, Industria Grafica Nazionale, Palermo, 1968.
- BALLATORE G.P., BARCELLONA C., CAPPADONA C., FIEROTTI G., *Studi sui terreni siciliani*, Nota III, Studio pedo-agronomico della vallata del salso inferiore (Piana di Licata), Ed. IGN, Palermo, 1968.
- BALLATORE G.P., FIEROTTI G., LOMBARDO V., *L'impiego di acque salmastre in agricoltura*, Nota II, Esperienze di irrigazione di suoli argillosi con acque a bassa salinità, Quaderni di Agronomia N.5, Palermo, 1968.
- BALLATORE G.P., FIEROTTI G., LOMBARDO V., SARNO R., *L'impiego di acque salmastre in agricoltura*, Nota I, Esperienze di irrigazione di suoli argillosi con acque salmastre, Quaderni di Agronomia N.5, Palermo, 1968.
- BALLING R.C., IDSO S.B., Historical temperature trends in the United States and the effect of urban population growth, *Journal of Geophysical Research*, vol. 94, 1989.
- BALTSAVIAS E.P., *Airborne laser scanning: basic relations and formulas*, *Journal of Photogramm. Remote Sens.*, 54, 1999.
- BARBERA G., LA MANTIA T., LA MELA VECA D.S., MARCHETTI M., SCALZO G., *Productivity of Eucalyptus spp. in different environmental condition and silvicultural systems in Sicily - An updating description*, in "Atti dell'International Conference Eucalyptus in the Mediterranean Basin: Perspectives and new Utilisations, Taormina e Crotone, 2000", a cura di F. Cannata. (Firenze), CNR - IUFRO, 2001.
- BARENBLATT G.I., *Similarity, self-similarity and intermediate asymptotics*, Consultant Bureau, New York, 1979.
- BARENBLATT G.I., *Dimensional analysis*, Gordon & Breach, Amsterdam, The Netherlands, 1987.
- BARONE E., LA MANTIA T., *La coltivazione del noce e del ciliegio da legno in alcune regioni dell'Italia centrale e meridionale: Sicilia* in "L'arboricoltura da legno: un'attività produttiva al servizio dell'ambiente", "Libro bianco sulle produzioni legnose fuori foresta in Italia" a cura di Minotta G., Edizioni Avenue media, Bologna, 2003.
- BAZZANI G.M., GRILLENZONI M., *Politica agro-ambientale e riflessi sul settore primario: normativa CEE e riferimento nazionale* in "Politiche Ambientali ed Agricoltura", a cura di G. Franceschetti, UNIPRESS, Padova., 1995.

- BAZZOFFI P., *Fagna-type hydrological unit for runoff measurement and sampling in experimental plot trials*, Soil Technology, 6, 1993.
- BELLIN N., WESEMAEL VAN B., MEERKERK A.L., GONZALEZ BARBERA G., *Changes in field patterns increase the risk of hydrological connectivity: a case study for the period 1956-2006 in a catchment of Murcia region, Spain*, 2007.
- BELLINI, G., *Il rischio di desertificazione nei terreni agricoli di una parte del bacino dell'Imera meridionale. Territorio del comune di Licata. Possibili interventi*, in Progetto RIADE, 2004.
- BERNETTI G., *Selvicoltura speciale*, Ed. UTET, Torino, 1995.
- BISHOP G.D., CHURCH M.R., *Automated Approaches for Regional Runoff Mapping in the Northeastern United States*, Journal of Hydrology, n.138, 1992.
- BISHOP G.D., CHURCH M.R., *Mapping Long-Term Regional Runoff in the Eastern United States Using Automated Approaches*, Journal of Hydrology, n.169, 1995.
- BIANCHI M., CANTIANI P., FERRETTI F., *Sistema informativo per l'assestamento forestale*, 2002.
- BLOOMFIELD P., *Trends in global temperature*, Climate change, vol. 21, 1992.
- BONACCORSO B., CANCELLIERE A., ROSSI G., *Detecting trends of extreme rainfall series in Sicily*, Advances in Geosciences, n. 2, 2005.
- BONO E., *Tecniche di interpolazione spaziale finalizzate alla ricostruzione delle serie storiche di dati climatici*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2005.
- BONO E., LA LOGGIA G., NOTO L.V., *Spatial interpolation methods based on the use of elevation data*, Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 2005.
- BORRELLI G., FERRARA V., GIORDANO L., IANNETTA M., SCIORTINO M., *Criticità ambientali: la desertificazione*, in Rapporto Italia 2004, Erispes, 2004.
- BORRELLI, G., GIORDANO L., IANNETTA M., SCIORTINO M., *Report from Italy. The identification of sensitive areas in Italy*, in MEDRAP Report, Ghazi A. e Enne G. (eds), Sassari, 2004.
- BORROUGH P.A., *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Claredon Press, Oxford, 1996.
- BOVE B., BRINDISI P., GLISCI C., PACIFICO G., SUMMA M.L., *Indicatori climatici di desertificazione in Basilicata*, Forest@ 2(1), 2005.
- BOVO V., GAETAN C., VILLI V., *Massimi annuali delle piogge giornaliere del Triveneto. Un'analisi statistica per la verifica della presenza di trend*, L'acqua, n.5, 2003.
- BRADFORD J.M., HUANG C., *Comparison of interrill soil loss for laboratory and field procedures*, Soil Technology, 6, 1993.
- BRADLEY R.S., DIAZ H.F., EISCHEID J.K., JONES P.D., KELLY P.M., GOODNESS C.M., *Precipitation fluctuations over northern hemisphere land areas since the mid-19th century*, Science, 1987.
- BRAKENSIEK D.O., OSBORN H.B., RAWLS W.J., *Field manual for research in agricultural hydrology*, Agriculture Handbook n.224, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., 1979.

- BROWNING G.M., NORTON R.A., MCCALL A.G., BELL F.G., *Investigations in erosion control and the reclamation of eroded land at the Missouri Valley Loess Conservation Experiment Station Clarinda. IA. 1932-42. USDA Tech. Bull. 959*, U.S. Government Printing Office, Washington DC, 1948.
- BRUNETTI M., MAUGERI M., NANNI T., *Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995*, Theor. Appl. Climatol., 2000.
- BRUNETTI M., BUFFONI L., MANGIANTI F., MAUGERI M., NANNI T., *Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy*, Global and Planetary Change, vol. 40, 2004.
- BRUNO C., FERRO V., *Valutazione dell'indice mensile di aggressività delle piogge in Sicilia*, Atti del Convegno AIIA 2005 "L'Ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea", Catania 27-30 giugno 2005, memoria 1004.
- BRUNO C., FERRO V., *Indagine sperimentale di pieno campo sulla formazione dei rill*, Rivista di Ingegneria Agraria, 4, 2006.
- BRYAN R.B., POESEN J., *Laboratory experiments on the influence of slope length on runoff, percolation and rill development*, Earth Surface Processes and Landforms, 14, 1989.
- BUDYKO M.I., *The heat balance of hearth's surface*. Gidromet. Izdatelsob, Leningrad, 1958.
- BUFFONI L., MAUGERI M., NANNI T., *Precipitation in Italy from 1833 to 1996*, Theor. Appl. Climatol., 1999.
- BURN D.H., HAG ELNUR M.A., *Detection of hydrologic trends and variability*, Journal of Hydrology, n.255, 2002.
- CACCIAMANI C., LAZZERI M., SELVINI A., TOMOZEIU R., ZUCCHERELLI A., *Evidenza di cambiamenti climatici sul Nord Italia. Parte 1: Analisi delle temperature e delle precipitazioni*, Quaderno tecnico Arpa-SMR, n°04/20, 2001.
- CANNAROZZO M., *Analisi statistica delle precipitazioni registrate in Sicilia finalizzata allo studio dei cambiamenti climatici*, Sviluppo agricolo 3-4, 1995.
- CANNAROZZO M., LIUZZO L., NOTO L.V., VIOLA F., *Distribuzione spaziale dei trend pluviometrici in Sicilia (1921-2000)*, Atti del XXX Convegno di Idraulica e Costruzione Idraulica, Roma, 2006.
- CANTIANI M., *I cedui di eucalitto della Sicilia centrale*, L'Italia Forestale e Montana 2, 1976.
- CAPOCECERA P., COLONNA N., *La salinizzazione*, in Progetto RIADE (www.riade.net), a cura del Gruppo Lotta alla Desertificazione, Unità Biotecnologie, Protezione della Salute e degli Ecosistemi, ENEA CRCasaccia, 2005.
- CAPRA A., FERRO V., SCICOLONE B., *Erosione da ephemeral gully in un piccolo bacino siciliano*, Quaderni di Idronomia Montana, 24, 2005.
- CAPRA A., SCICOLONE B., *Osservazione sulla formazione di un ephemeral gully*, Atti del Convegno Nazionale AIIA, Vieste, Italy, 2001.

- CAPRA A., SCICOLONE B., *Ephemeral gully erosion in a wheat-cultivated area in Sicily (Italy)*, Biosystems Engineering, 83, 2002.
- CARNEMOLLA S., DRAGO A., PERCIABOSCO M., SPINNATO F., *Metodologia per la redazione di una carta in scala 1:250000 sulle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sicilia*, Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, Palermo, 2002.
- CARTER C.E., PARSONS D.A., *Field test on the Coshocton-type wheel runoff sampler*, Transactions of the ASAE, 10, 1967.
- CASCIO A., *Tavola alsometrica del pino domestico del "bosco Bellia" cresciuto in fustaia coetanea*, L'Italia Forestale e Montana XXIV, 1969.
- CAVARETTA D., SAPORITO L., *Boschi artificiali della Sicilia. Aspetti selvicolturali e problematiche gestionali*, in "Atti del secondo congresso di selvicoltura: conservazione e miglioramento dei boschi in Sicilia", Regione Siciliana, Azienda Foreste Demaniali, Palermo 1998.
- CHAPLOT V., LE BISSONNAIS Y., *Field measurement of interrill erosion under different slopes and plot sizes*, Earth Surface Processes and Landforms, 25, 2000.
- CHARLTON M.E., LARGE A.R.G., FULLER I. C., *Application of airborne LIDAR in river environments: The River Coquet, Northumberland, UK*, Earth, Surface Processes and Landforms, 28(3), 2003.
- CHEN Y., TANG H., *Desertification in north China: background, antropogenic impact and failure in combating it*, Land. Degrad. Develop. 16, 2005.
- CHHABRA R., *Soil Salinity and Water Quality*, A.A. Balkema, Rotterdam, 1996.
- CIANCIO O., HERMANIN L., *Gli eucalitteti della Calabria. Tavole alsometriche dell'"Eucalyptus occidentalis" e dell' "E. x trabutii"*, Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Volume 7, 1976.
- CIANCIO O., LA MARCA O., MERCURIO R., SANESI G., *Le problematiche dell'arboricoltura da legno di qualità e quantità*, Cellulosa e Carta 3, 1992.
- CIANCIO O., MERCURIO R., NOCENTINI S., *Le specie forestali esotiche nella selvicoltura italiana*, Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, vol. XII-XIII, 1981-82.
- CIANCIO O., *Criteri di gestione sostenibile dei sistemi forestali nelle aree protette. Relazione preliminare*, Ministero dell'Ambiente, Servizio Conservazione della Natura, Accademia Italiana di Scienze Forestali, 1998.
- CIANCIO O., *Rimboschimenti e piantagioni in Italia*, Atti del 12° Seminario IAED, 2002.
- CIULLA S., *I processi di rinaturalizzazione degli eucalitteti della Sicilia meridionale*. Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2001.
- COLES S., HEFFERNAN J., TAWN J., *Dependence measures for extreme value analyses*, Extremes, 1999.
- COLLETTI L., *Risultati dell'applicazione del Reg. CEE 2080/92 in Italia*, Sherwood 70, 2001.

- CORONA P., *Study outline on ecological methods of afforestation*, in "Ecology and agroecosystems" Bunce R.G.H., Ryszkowski L., Paoletti M.G. (Eds.), Lewis Publishers, 1993
- CORONA P., *L'aspetto paesaggistico dei rimboschimenti*, Sicilia Foreste, n.35/36, 2003
- CORONA P., FACCIOTTO G., LUCCI S., MARIANO A., *Contributo alla conoscenza delle tecniche colturali in piantagioni da legno*. Quaderni di ricerca SAF 33, 1992.
- CORONA P.M., MARCHETTI M., *Impianti forestali e gestione sostenibile*, in Rimboschimenti e piantagioni nelle trasformazioni del paesaggio, IAED Quaderno 15, Edizioni Papageno, 2002.
- CORONA P., PETTENELLA D., *Aspetti tecnici ed economici delle recenti iniziative di arboricoltura da legno*, Monti e Boschi 1988.
- CULLOTTA S., PIZZURRO G.M., GARFÌ G., LA MANTIA T., *Analisi dei processi di rinaturalizzazione nelle pinete artificiali mediterranee dei monti di Palermo (Sicilia Nord-occidentale, S.I.S.E.F. Atti III°*, 2003.
- DAZZI C., *Salinità e Qualità del Suolo*, Atti del Convegno del Cinquantenario SISS "L'emergenza suolo", Boll. SISS Vol. 51, N° 1-2, 2002.
- DAZZI C., *Acque saline e qualità del suolo*, Italian Journal of Agronomy, Supplement Issue, Vol. 1, N.3. ISSN: 1125-4718, 2006.
- DAZZI C. et al., *Suoli e salinità naturale e indotta. Il Progetto POM-OTRIS in Sicilia*, CD-ROM, Progress Eds, Alcamo, 2002.
- DAZZI C. et al., *La salinizzazione del suolo. Libro bianco sullo stato del suolo in Italia*, (<http://www.apat.gov.it>) 2005.
- DAZZI C., FIEROTTI G., *Problems and management of salt-affected soils in Sicily. Soil salinization and alkalization in Europe*, Ediz. Misopolines European Society for Soil Conservation, 1994.
- DE JONG E., BEGG C.B.M., KACHANOSKI R.G., *Estimates of soil erosion and deposition for some Saskatchewan soils*, Canadian Journal of Soil Science, 63, 1983.
- DE JONG E., VILLAR H., BETTANY J.R., *Preliminary investigations on the use of ¹³⁷Cs to estimate erosion in Saskatchewan*, Canadian Journal of Soil Science, 62, 1982.
- DE LUIS M., RAVENTÒS J., GONZÁLES-HIDALGO J.C., SÁNCHEZ J.R., CORTINA J., *Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (East Spain)*, International Journal of Climatology, n. 20, 2000.
- DE LUIS M., RAVENTÒS J., GONZÁLES-HIDALGO J.C., SÁNCHEZ J.R., CORTINA J., GARCÍA-CANO M.F., *Analysis of maximum daily probability precipitation for different returns period: comparison among three different methods on Mediterranean conditions*, in Proceedings of the 15th International Sedimentological Congress, Universidad de Alicante, Spain, 1998.
- DE MARTONNE E., *L'indice d'aridite*, Bull. Ass. Geogr. de France, Vol. IX, 1926.
- DE PHILIPPIS A., *Sulla tecnica di preparazione del suolo per il rimboschimento in clima caldo-arido*, Pubbl. R. Staz. Sperim. Selvic., 1939.
- DICA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE, Università degli Studi di Catania, *Piano di Azione Locale sulla lotta contro la desertificazione in Sicilia*.

Area di studio: bacino Imera meridionale, Convenzione DICA-UNICAL, Catania, 2007.

- DI FORTI N., *Analisi della produttività delle piantagioni di eucalipto in Sicilia*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2001.
- DI IIAA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA ED APPLICAZIONI AMBIENTALI, Università degli Studi di Palermo, *Esecuzione di ricerche applicative atte a consentire la definizione di Piani di Azione Locali*, Convenzione DIIAA-UNICAL, Palermo, 2007.
- DI STEFANO C., *La tecnica del cesio-137 per la stima della produzione di sedimenti nel bacino SPA2*, Atti del Convegno AIIA 2005 "L'Ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea", Catania 27-30 giugno 2005.
- DI STEFANO C., FERRO V., *Linking clay enrichment and sediment delivery processes*, Byosystems Engineering, 81, 4, 2002.
- DI STEFANO C., FERRO V., *Monitoraggio dei processi erosivi e calibrazione di un modello distribuito in un piccolo bacino siciliano*, Rivista di Ingegneria Agraria, 2, 2002.
- DI STEFANO C., FERRO V., *Criteri di zonizzazione climatica nello studio dei processi di desertificazione in Sicilia*, Rivista di Ingegneria Agraria, 2, 2005.
- DI STEFANO C., FERRO V., *Evaluation of SEDD model for predicting sediment yield at SPA2 experimental basin*, Earth Surface Processes and Landforms, Vol.32, 2007.
- DI STEFANO C., FERRO V., *Valutazione della qualità del clima e del suolo nella identificazione delle aree sensibili alla desertificazione in Sicilia*, Quaderni di Idronomia Montana, 27, 2007.
- DI STEFANO C., FERRO V., GERACI L., *Monitoraggio degli eventi erosivi e calibrazione del modello SEDD nel bacino sperimentale SPA1 in Sicilia*, L'Acqua, 1, 2005.
- DI STEFANO C., FERRO V., GERACI L., GIORDANO G., *Una nuova stazione sperimentale per il monitoraggio della produzione di sedimenti nell'area sperimentale di Sparacia*, Quaderni di Idronomia Montana, 24, 2005.
- DI STEFANO C., FERRO V., GIORDANO G., *Misure di produzione di sedimenti nel bacino sperimentale Sparacia*, Atti del VIII Convegno Nazionale di Ingegneria Agraria "Ingegneria agraria per lo sviluppo dei paesi mediterranei", Vieste, 2001.
- DI STEFANO C., FERRO V., GIORDANO G., *Monitoraggio della produzione di sedimenti nell'area sperimentale di Sparacia*, Atti del XXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Potenza, Vol.V, 2002.
- DI STEFANO C., FERRO V., GIORDANO G., *Stima della produzione di sedimenti in due bacini sperimentali di differente estensione*, Atti del Convegno AIIA 2005 "L'Ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea", Catania 27-30 giugno 2005, memoria 6011.

- DI STEFANO C., FERRO V., MINACAPILLI M., *Testing SEDD model for Sicilian large basino*, IAHS Symposium "Sediment Budgets", 2005.
- DI STEFANO C., FERRO V., MINACAPILLI M., *Verifica del modello SEDD per bacini siciliani di grande estensione*, Quaderni di Idronomia Montana, 24, 2005.
- DI STEFANO C., FERRO V., PAMPALONE V., *Modellazione della produzione di sedimenti nel bacino sperimentale SPA2 in Sicilia*, Rivista di Ingegneria Agraria, 3, 2006.
- DI STEFANO C., FERRO V., PORTO P., *Linking sediment yield and caesium-137 spatial distribution at basin scale*, Journal of Agricultural Engineering Research, 74, 1999.
- DI STEFANO C., FERRO V., PORTO P., *Modelling sediment delivery processes by a stream tube approach*, Journal of Hydrological Sciences, 44(5), 1999.
- DI STEFANO C., FERRO V., PORTO P., *Length slope factors for applying the Revised Universal Soil Loss Equation at basin scale in Southern Italy*, Journal of Agricultural Engineering Research, 75, 2000.
- DI STEFANO C., FERRO V., PORTO P., RIZZO S., *Testing a spatially distributed sediment delivery model (SEDD) in a forested basin by cesium-137 technique*, Journal of Soil and Water Conservation, Vol.60, 3, 2005.
- DI STEFANO C., FERRO V., PORTO P., TUSA G., *Slope curvature influence on soil erosion and deposition processes*, Water Resources Research, 36, 2000.
- DI STEFANO C., RIZZO S., *Impiego della tecnica del cesio-137 per il monitoraggio dei processi erosivi nel bacino sperimentale SPA2*, Quaderni di Idronomia Montana, 24, 2005.
- DOUGLAS E.M., VOGEL R.M., KROLL C.N., *Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation*, Journal of Hydrology, n. 240, 2000.
- DRAGO A., *Atlante climatologico della Sicilia*, Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano, Assessorato Agricoltura e Foreste, Regione Siciliana, 2002.
- DREGNE H.E., *Combating desertification: Evaluation of progress*, Environm Conserv, 1984.
- DROGUE G., PFISTER L., LEVIANDIER T., EL IDRISSE A., IFFLY J.F., MATGEN P., HUMBERT J., HOFFMANN L., *Simulating the spatio-temporal variability of streamflow response to climate change scenarios in a mesoscale basin*, Journal of Hydrology, n.293, 2004.
- EASTERLING D.R., HORTON B., JONES P.D., PETERSON T.C., KARL T.C., PARKER D.E., SALINGER M.J., RAZUVAYEV V., PLUMMER N., JAMASON P., FOLLAND C.K., (1997), *Maximum and minimum temperature trends for the globe*, Science, vol. 277, n.5324, 1997.
- EASTERLING D.R., MEEHL G.A., PERMESAN C., CHANGNON S.A., KARL T.R., MEARNES L.O., *Climate extremes: observations, modeling, and impacts*, Science, n.289, 2000.

- ECCHER A., PETTENELLA D., *Nuove prospettive dall'arboricoltura da legno in aree agricole marginali*, Monti e Boschi n.1, 1990.
- EFRON B., TIBSHIRANI R.J., *An introduction to the bootstrap*, Chapman and Hall, International Thomson Publication, New York, USA, 1993.
- Emberger L., *Une classification biogéographique des climats. Recueil des travaux*, Fac. Sc de l'Univ. de Montpellier, Fasc. 7, 1955.
- EUROPEAN COMMISSION, *The MEDALUS project, MEditerranean DEsertification And Land Use: Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*, Kosmas C., Kirkby M., Geeson N. (eds.), Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1999.
- FASCETTA D., *Analisi dendro-auxometriche sui popolamenti artificiali di pino d'Aleppo (Pinus halepensis Mill) di contrada Calogno (EN)*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 1998.
- FERRO V., *Applying hypothesis of self-similarity for flow-resistance law of small diameter plastic pipes*, Journal of the Irrigation and Drainage Engineering, 123, 1997.
- FERRO V., *Further remarks on a distributed approach to sediment delivery*, Journal of Hydrological Sciences, 42(5), 1997.
- FERRO V., *Modellistica matematica e verifica sperimentale dell'approccio distribuito dei processi di sediment delivery*, Quaderni di Idronomia Montana, 19/1, 1999.
- FERRO V., *Problematiche inerenti la modellazione e la misura dell'erosione e della produzione di sedimenti*, Seminario su Monitoraggio e Modellazione dei Processi Idrologici, Palermo, 1999.
- FERRO V., *Problematiche inerenti la modellazione e la misura dell'erosione e della produzione di sedimenti*, Seminario "Monitoraggio e modellazione dei processi idrologici", Palermo, 1999.
- FERRO V., *Theoretical end-depth-discharge relationship for free overfall*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 125, 1999.
- FERRO V., *Processi Erosivi*, Atti del seminario AIIA "Monitoraggio dei Processi Idrometeorologici", Padova, Quaderni di Idronomia Montana, 21/1, 2001.
- FERRO V., *Processi Erosivi*, Quaderni di Idronomia Montana, 21/1, 2003.
- FERRO V., *La sistemazione dei bacini idrografici - II edizione*, McGraw-Hill, Milano, 2006.
- FERRO V., BAGARELLO V., DI STEFANO C., GIORDANO G., PORTO P., *Monitoring and predicting sediment yield in a small sicilian basin*, Transactions of the ASAE, Vol. 44, 3, 2001.
- FERRO V., DI STEFANO C., GIORDANO G., RIZZO S., *Sediment delivery processes and the spatial distribution of caesium-137 in a small sicilian basin*, Hydrological Processes, 12, 1998.

- FERRO V., GIORDANO G., *Monitoraggio dei processi erosivi nel bacino sperimentale Sparacia*, Atti del seminario AIIA “Monitoraggio dei Processi Idrometeorologici”, Padova, Quaderni di Idronomia Montana, 21/1, 2001.
- FERRO V., MINACAPILLI M., *Sediment delivery processes at basin scale*, Journal of Hydrological Sciences, 40(6), 1995.
- FERRO V., PORTO P., *A sediment delivery distributed (SEDD) model*, Journal of Hydrological Engineering, ASCE, Vol.5, 4, 2000.
- FERRO V., PORTO P., TUSA G., *Testing a distributed approach for modelling sediment delivery*, Journal of Hydrological Sciences, Vol.43, 3, 1998.
- FIEROTTI G., *I suoli della Sicilia con elementi di genesi, classificazione, cartografia e valutazione dei suoli*, Palermo, 1997.
- FIEROTTI G., *I suoli di fronte all'irrigazione con acque anomale*, in Atti del Convegno “Un programma di valorizzazione territoriale per il meridione d'Italia”, Lagopesole (Potenza), 15-16 luglio 1997, Boll. Soc. It. Scienza del Suolo, n.48 (1), 1999.
- FIEROTTI G., DAZZI C., TUSA D., *Riflessi dell'irrigazione con acque saline sulla qualità dei suoli*, Atti del Convegno “Le acque salmastre come risorsa idrica: limiti e prospettive”, Foggia, maggio 1999.
- FIEROTTI G., LOMBARDO V., FOTO F., *L'impiego di acque salmastre in agricoltura*, Nota III, Esperienze di irrigazione di suoli argillosi con acque a moderata salinità, Quaderni di Agronomia N.5, Palermo, 1968.
- FIEROTTI G., SARNO R., BARCELLONA C., *L'impiego di acque salmastre in agricoltura*, Nota IV, L'azione di sostanze ammendanti e correttive sull'evoluzione del complesso assorbente e dei sali solubili in suoli argillosi, Quaderni di Agronomia N.5, Palermo, 1968.
- FILSON G.C., *Agroforestry extension and the western China development strategy*, 2001.
- FOLLAND C.K., MILLER C., BADER D., CROWE M., JONES P., PLUMMER N., RISHMAN M., PARKER D.E., ROGERS J., SCHOLEFIELD P., *Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes*, Asheville, NC, USA, 3 – 6 June 1997, Breakout Group C: Temperature Indices for Climate Extremes, Climatic Change, 1999.
- FOSTER G.R., HUGGINS L.F., MEYER L.D., *Laboratory study of rill hydraulics: I. Velocity relationships*, Transactions of the ASAE, 27, 1984.
- FOSTER G.R., HUGGINS L.F., MEYER L.D., *Laboratory study of rill hydraulics: II. Shear stress relationships*, Transactions of the ASAE, 27, 1984.
- FOSTER G.R., OSTERKAMP W.R., LANE L.J., HUNT D.W., *An erosion equation derived from basic erosion principles*, Transactions of the ASAE, 19, 1982.
- FREGA F., PIRO P., CARBONE M., *Identificazione di aree sensibili alla desertificazione (Esas). Applicazione alla regione Calabria*, L'Acqua, Vol. 2, 2007.
- GARFÌ G., LA MELA VECA D.S., SAPORITO L., *Analisi degli accrescimenti di Pinus brutia Ten. e Pinus halepensis Mill. in popolamenti artificiali sui monti Sicani*

- (AG), Atti del Secondo Congresso Nazionale di Selvicoltura, Venezia 24-27 giugno 1998, Vol. IV.
- GEMIGNANI G., *Ipotesi di intervento negli eucalitteti della azienda SICILFOR-SIACE*, Quaderni forestali n. 2, 1981.
- GENDUSA F., *I contratti di impresa forestale con particolare riguardo alla realizzazione del progetto speciale n. 24 nella Regione Sicilia*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Firenze, 1983.
- GENOVEZ A., ABT S., FLORENTIN B., GARTON A., *Correction for settlement of Parshall flume*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 119, 1993.
- GIACOBBE A., *Il rimboschimento dei terreni argillosi*, Atti del Congresso Nazionale sui rimboschimenti e sulla ricostituzione dei boschi degradati, Firenze 12-15 aprile 1961, Vol. I.
- GIACOBBE A., *I rimboschimenti in Sicilia*, Monti e Boschi, 1963.
- GIAMI G., *Boschi naturali della Sicilia. Aspetti selvicolturali e problematiche gestionali*, Atti del II Congresso Nazionale di Selvicoltura, Giornata preparatoria, Palermo 2 marzo 1988.
- GILLEY J.E., KOTTWITZ E.R., SIMANTON J.R., *Hydraulic characteristics of rills*, Transactions of the ASAE, 33, 1990.
- GIORDANI C., ZANCHI C., *Elementi di conservazione del suolo*, Patron Editore, Bologna, 1995.
- GIORDANO G., FERRO V., BAGARELLO V., DI STEFANO C., IOVINO M., MINACAPILLI M. (2005). *La carta dell'erosione potenziale del territorio siciliano*, Atti del Convegno AIIA "L'Ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea", Catania, 27-30 giugno 2005, Memoria 1001.
- GLEICK P.H., Basic water requirements for human activities: meeting basic needs, Water International, n.21, 1996.
- GOVERS G., *Selectivity and transport capacity of thin flows in relation to rill erosion*, Catena, 12, 1985.
- Govers G. (1992). *Relationships between discharge, velocity and flow area for rills eroding loose, non layered materials*. Earth Surface Processes and Landforms, 17, 515-528
- GRAHAM N.E., *Simulation of recent global temperature trends*, Science, vol. 267, n.5198, 1995.
- GROISMAN P.Y., LEGATES D.R., *Documenting and detecting long-term precipitation trends: where we are and what should be done*, Climate Change, n.31, 1995.
- GROSH J.L., JARRETT A.R., *Interrill erosion and runoff on very steep slopes*, Transactions of the ASAE, 37, 1994.
- GUO S., WANG J., XIONG L., YING A., LI D., *A macro-scale and semi-distributed monthly water balance model to predict climate change impacts*, China. Journal of Hydrology, n.268, 2002.

- HAMMOND A., MATTHEWS E., *Critical consumption trends and implications. Degrading Earth's ecosystems* Washington DC, World Resources Institute, 1999.
- HANSEN J., RUEDY R., SATO M., REYNOLDS R., *Global surface air temperature in 1995. Return to pre-Pinatubo level*. Geophys. Res. Lett., n. 23, 1996.
- HARGREAVES G.H., SAMAN Z.A., *Estimating potential evapotranspiration*, Tech. Note, J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 108(3), 1082, 225-230.
- HARGREAVES G.H., SAMANI Z.A., (1985), *Reference crop evapotranspiration from temperature*. Applied Engrg. in Agric., 1985, 1(2).
- HILLEL D., *Environmental soil physics*, Academic Press, New York, 1998.
- HIRSCH R.M., SLACK J.R., SMITH R.A., *Techniques of trend analysis for monthly water quality data*, Water Resources Research, n.18, 1982.
- HOSKING J. R., WALLIS M., *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1997.
- HOUGHTON J.T., MEIRA FILHO L.G, CALLANDER B.A., HARRIS N., KATTENBERG A., MASKELL K., *Climate Change. The IPCC Second Assessment Report*, Cambridge University Press, New York, 1996.
- HULME M., *Recent climatic change in the world's drylands*, Geophysical research letters, vol. 23, 1996.
- HUNT B.G., *Natural climatic variability as an explanation for historical climatic fluctuations*. Climatic Change, n. 38, 1998.
- HUNTINGTON T.G., *Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis*, Journal of Hydrology, n. 319, 2006.
- IPCC, IN CLIMATE CHANGE, *The Science of Climate Change*, Houghton J.T., Meira Filho L.G., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A., Maskell K. (eds), Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
- IPCC, CLIMATE CHANGE, *The Physical Science Basis Working Group I. Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, Edited by Solomon S., Qin D., Manning M., Marquis M., Averyt, K., Tignor M.M.B., Miller H.L., Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- JENSEN M.E., *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph MI, 1980.
- JOEL A., MESSING I., SEGUEL O., CASANOVA M., *Measurement of surface water runoff from plots of two different sizes*, Hydrological Processes, 16, 2002.
- KARL T.R., JONES P.D., KNIGHT R.W., KUKLA G., PLUMMER N., RAZUVAYEV V., GALLO K.P., LINDSEAY J., CHARLSON R.J., PETERSON T.C., *A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature*, Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 74, 1993.
- KARL T.R., KNIGHT R.W., PLUMMER N., *Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century*, Nature, n. 377, 1995.
- KENDALL M.G., *Rank correlation methods*, 3rd ed, Hafner Publishing Company, New York, 1962.
- KENDALL M.G., GIBBONS J.D., *Rank Correlation Methods*, 5th ed., edited by E. Arnold, London, U.K., 1981.

- KHAN A.A.H., ONG C.K., *Design and calibration of tipping bucket system for field runoff and sediment quantification*, Journal of Soil and Water Conservation, 52, 1997.
- KINNELL P.I.A., *Runoff as a factor influencing experimentally determined interrill erodibilities*, Australian Journal of Soil Research, 31, 1993.
- KINZEL P.J., WAYNE WRIGHT C., NELSON J.M., BURMAN A.R., *Evaluation of an experimental LIDAR for Surveying a shallow, braided, sand-bedded river*, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 133 (7), 2007.
- KLEIN TANK A.M.G., WIJNGAARD J.B., KÖNNEN G.P., BÖHM R., DEMARÉE G., GOCHEVA A., MILETA M., PASHIARDIS S., HEJRLIK L., KERN-HANSEN C., HEINO R., BESSEMOULIN P., MÜLLER-WESTERMEIER G., TZANAKOU M., SZALAI S., PÁLSDÓTTIR T., FITZGERALD D., RUBIN S., CAPALDO M., MAUGERI M., LEITASS A., BUKANTIS A., ABERFELD R., VAN ENGELEN A.F.V., FORLAND E., MIETUS M., COELHO F., MARES C., RAZUVAEV V., NIEPLOVA E., CEGNAR T., ANTONIO LÓPEZ J., DAHLSTRÖM B., MOBERG A., KIRCHHOFFER W., CEYLAN A., PACHALIUK O., ALEXANDER L.V., PETROVIC P., *Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment*, Int. J. Climatol., n.22, 2002.
- KLIK A., SOKOL W., STEINDL F., *Automated erosion wheel: a new measuring device for field erosion plots*, Journal of Soil and Water Conservation, 59, 2004.
- KOSMAS C., FERRARA A., BRIASOULI H., IMESON A., *Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification*, in "The Medalus project Mediterranean desertification and land use", Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification, Edited by Kosmas C., Kirkby M., Geeson N., European Union, 1999.
- KOSTER R.D., SUAREZ M.J., *A simple framework for examining the interannual variability of land surface moisture fluxes*, J. Clim., n.12 (7), 1999.
- KOTHYARI U.C., SINGH V.P., *Rainfall and temperature trends in India*, Hydrological Processes, vol. 10, 1996.
- KUNKEL K.E., PIELKER JR R.A., CHANGNON S.A., *Temporal fluctuation in winter and climate extremes that cause economic and human health impact: a review*, International Journal of Climatology, n.19, 1999.
- LAL R., STEWART B.A., *Soil processes and water quality*, Advances in Soil Science, Lewis Publishers, 1994.
- LA MANTIA T., *L'arboricoltura da legno nel paesaggio siciliano*. Quaderni IAED, n.15, 2002.
- LA MANTIA T., BARBERA G., 2003 - *Evoluzione del settore agroforestale e cambiamenti del paesaggio in Sicilia*, in Lo Piccolo F., Schilleci F. (a cura di), *A Sud di Broddingnag. L'identità dei luoghi: per uno sviluppo locale autosostenibile nella Sicilia occidentale*, Franco Angeli, Roma, 2003.
- LA MANTIA T., COLUMBA P., SCALZO G., *Risultati dell'applicazione del Regolamento 2080/92 in Sicilia*, Atti della Tavola Rotonda "Selvicoltura ed Arboricoltura da legno: quale gestione?", Palermo 25 marzo 1999, Collana Sicilia Foreste, 7:53-61,

- Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, Direzione Azienda Foreste Demaniali 2000.
- LA MANTIA T., LA MELA VECA D.S., MARCHETTI M., BARBERA G., *Risultati preliminari sull'analisi delle tecniche di rimboschimento nella Sicilia Meridionale*, L'Italia Forestale e Montana, 3: 262-275, 2002.
- LA MANTIA T., MARCHETTI M., CULLOTTA S., PASTA S., *Materiali conoscitivi per una classificazione dei tipi forestali e preforestali della Sicilia*, L'Italia Forestale e Montana, 2000.
- LA MANTIA T., PASTA S., *La rinaturalizzazione dei rimboschimenti: proposte metodologiche e ipotesi di intervento nella Riserva Naturale "Grotta di Santa Ninfa"*, Naturalista Siciliano, S. IV, XXV (Suppl.), 2001.
- LA MELA VECA D.S., *Risultati preliminari sul rapporto tra suolo e vegetazione forestale. Il caso dei rimboschimenti di Pinus pinea L. nei Monti Sicani (Sicilia occidentale)*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 1995.
- LA MELA VECA D.S., SAPORITO L., *La gestione dei rimboschimenti in Sicilia: produzione legnosa e prospettive di rinaturalizzazione*, Atti della Tavola Rotonda "Selvicoltura ed Arboricoltura da legno: quale gestione?", Palermo 25 Marzo 1999, Collana Sicilia Foreste, 7:53-61, Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, Direzione Azienda Foreste Demaniali, 2000.
- LANG R., Versuch einer exakten Klassifikation der Boden in klimatischer und geologischer Hinsicht, Internat. Mitt, fur Bodenkunde, 5, 1915.
- LANG R.D., *Accuracy of two sampling methods used to estimate sediment concentration in runoff from soil-loss plots*, Earth Surface Processes and Landforms, 17, 1992.
- LATTANZI A.R., MEYER L.D., BAUMGARDNER M.F., *Influences of mulch rate and slope steepness on interrill erosion*, Soil Science Society of America Proceedings, 38, 1974.
- LAZZARA D., *Le principali specie per l'arboricoltura da legno in ambiente mediterraneo e prospettive per la Sicilia*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 1999.
- LETTENMAIER D.P., WOOD E.F., WALLIS J.R., *Hydro-climatological trends in the continental United States*, Journal of Climatology, n.7, 1994.
- LIEBSCHER H., *Results of research on some experimental basins in the upper Harz Mountains (Federal Republic of Germany)*, Symposium of Wellington, Results of research on Representative and Experimental Basins, IASH Pub. n 97, 1972.
- LINE D.E., MEYER L.D., *Flow velocities of concentrated runoff along cropland furrows*, Transactions of the ASAE, Vol. 31, 1988.
- LIVEZEY R.E., CHEN W.Y., *Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques*, Monthly Weather Review 111, 1983.
- LO GUERCIO C., (1999), *Il ruolo dell'Italia nella lotta alla desertificazione*, CUEN, Ministero dell'Ambiente, Protocollo d'intesa del 16 giugno 1998 tra il Ministero dell'Ambiente e la FAO relativo alla lotta sulla desertificazione, Gazzetta Ufficiale n. 287 del 09/12/1998.

- LUCCI S., *Conservazione del suolo e meccanizzazione nelle attività del rimboschimento*, SAF, 1993.
- MAETZKE F., CULLOTTA S., LA MELA VEGA D.S., LA MANTIA T., PIZZURRO G. (in stampa), *Individuazione di aree ecologicamente omogenee e di un sistema di aree a priorità di intervento per la pianificazione forestale in Sicilia*, FOREST@.
- MAHERAS P., KOLYVA-MACHERA F., Temporal and spatial characteristics of annual precipitation over the Balkans in the twentieth century, *International Journal of Climatology*, n.10, 1990.
- MANCINO L., CLAPS P., *Impiego di classificazioni climatiche quantitative nell'analisi regionale del deflusso annuo*, Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche, Potenza, 16-19 settembre 2002.
- MANN H.B., *Non parametric tests again trend*, *Econometria*, n.13, 1945.
- MANTON M.J., DELLA-MARTA P.M., HAYLOCK M.R., HENNESSY K.J., NICHOLLS N., CHAMBERS L.E., COLLINS D.A., DAW G., FINET A., GUNAWAN D., INAPE K., ISOBE H., KESTIN T.S., LEFALE P., LEYU C.H., LWIN T., MAITREPIERRE L., OUPRASITWONG N., PAGE C.M., PAHALAD J., PLUMMER N., SALINGER M.J., SUPPIAH R., TRAN V.L., TREWIN B., TIBIG I., YEE D., *Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998*, *International Journal of Climatology*, vol. 21, 2001.
- MARINELLI A., ROMANO D., *La strategia della CEE e dell'Italia nel settore forestale*, La questione Agraria, 1990.
- MARKS K., BATES P., *Integration of high-resolution topographic data with floodplain flow models*, *Hydrological Processes*, 14, 2000.
- MARRANCA S., *I risultati dei programmi di imboscamento sovvenzionati dall'amministrazione pubblica*, Atti del Convegno "La selvicoltura da legno strumento di rilancio del territorio e dell'economia montana", Borgetto (Pa), 20 aprile 2004.
- MAUGERI M., NANNI T., *Surface air temperature variation in Italy: recent trends and an update to 1993*, *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 61, 1998.
- MCCLURE B.C., *Policies related to combating desertification in the United States of America*, *Land. Degrad. Develop.*, n.9, 1998.
- MCCOOL D.K., FOSTER G.R., MUTCHLER C.K., MEYER L.D., *Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation*, *Transactions of the ASAE*, 32(5), 1989.
- MCHENRY J.R., RITCHIE J.C. (1977). *Estimating field erosion losses from fallout Cesium-137 measurements*, IAHS-AISH Publ. 122, 1977.
- McKEE T.B., DOESKEN N.J., KLEIST J., *The relationship of drought frequency and duration to time scales*, *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Boston, MA, American Meteorological Society, 1933.
- MEIGH J.R., MCKENZIE A.A., SENE K.J., A grid-based approach to water scarcity estimates for Eastern and Southern Africa, *Water Resources Management* n.13, 1999.
- MERCURIO R., MINOTTA G., *Arboricoltura da legno*, Bologna, CLUEB, 2000.

- MEYER L.D., HARMON W.C., *Multiple-intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes*, Transactions of the ASAE, 22(1), 1979.
- MEYER L.D., MC CUNE D.L., *Rainfall simulator for runoff plots*, Agricultural Engineering, Vol.39, 1958.
- MINOTTA G., *Il ruolo delle produzioni legnose fuori foresta*, in “L’arboricoltura da legno: un’attività produttiva al servizio dell’ambiente”, Avenue media, Bologna, 2003.
- MINOTTA G., L.V., FERRI D., *Indagine sulla coltivazione del noce da legno (Juglans regia L) in alcuni ambienti dell’Appennino settentrionale e della pianura padana*, Monti e Boschi 3, 1993.
- MOLDENHAUER W.C., LONG D.C., *Influences of rainfall energy on soil loss and infiltration rates: I. Effect over a range of texture*, Soil Science Society of America Proceedings, Vol. 28, 1964.
- MOORE I.D., BURCH F.J., *Modelling erosion and deposition: topographic effects*, Transactions of the ASAE, 29, 1986.
- MOORE I.D., BURCH F.J., *Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation*, Soil Science Society of America Journal, Vol. 50, 1986.
- MOORE I.D., WILSON J.P., *Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: simplified method of estimation*, Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 47, 5, 1992.
- MORGAN R.P.C., NEARING M.A., *Soil erosion models: present and future*. Proceedings Third International Congress of the European Society for Soil Conservation, Rubio J.L., Asins S., Andreu V., de Paz J.M., Gimeno E. Eds., Valencia, Key Notes Volume, 2000.
- MOSLEY M.P., *Experimental study of rill erosion*, Transactions of the ASAE, 1974.
- MOTRONI A., CANU S., BIANCO G., LOJ G., *Development of a Geographic Information System for assessing and monitoring Environmentally Sensitive Areas to Desertification in Sardinia*. Desertification: actors, research, policies, Comitato Nazionale per la lotta alla siccità e alla desertificazione, Roma, 20 novembre 2003.
- MURRAY MITCHELL J., *On the causes of instrumentally observed secular temperature trends*, Journal of the Atmospheric Sciences, n. 10, 1953.
- NACHTERGAELE J., POESEN J., *Assessment of soil losses by ephemeral gully erosion using high-altitude (stereo) aerial photographs*, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 24, 1999.
- NEARING M.A., *Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses*, Catena, 32, 1998.
- NEARING M.A., *Evaluating soil erosion models using measured plot data: accounting for variability in the data*, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 25, 2000.

- NEARING, M.A., FOSTER, G.R., LANE, L.J., FINKNER, S.C., *A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology*, Transactions of ASAE, Vol.32, 5, 1989.
- NEARING M.A., GOVERS G., NORTON L.D., *Variability in soil erosion data from replicated plots*, Soil Science Society of America Journal, Vol. 63, 1999.
- NEARING M.A., LANE L.J., ALBERTS E.E., LAFLIN J.M., *Prediction technology for soil erosion by water: status and research needs*, Soil Science Society of America Journal, Vol. 54, 1990.
- NOCENTINI S., *La rinaturalizzazione dei sistemi forestali: aspetti concettuali*, L'Italia Forestale e Montana, 55 (4), 2000.
- NOVOTNY V., CHESTERS G., *Delivery of sediment and pollutants from nonpoint sources: a water quality perspective*, Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 44, 1989.
- OL'DEKOP E.M., *On evaporation from the surface of river basins*, Trans. Met. Obs. Iurevskogo, Univ. Tartu 4 in Russian, 1911.
- PALADINO A., *Individuazione di standards dimensionali delle aree di saggio per la caratterizzazione dendrometria di tipi forestali in Sicilia*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2005.
- PALMIERI S., SIANI A., D'AGOSTINO A., *Tendenze evolutive e fluttuazioni climatiche*, AER, 1994.
- PALOMBO F., *Monografia sulla coltivazione del Frassino*, L'Agricoltura Italiana XIX a XXV, 1875-76.
- PARDÈ J., *Il cedro nella zona mediterranea francese*, Annali Accademia Italiana di Scienze Forestali XXV, 1976.
- PARRY M., ARNELL N., MCMICHAEL T., NICHOLLS R., MARTENS P., KOVATS S., LIVERMORE M., ROSENZWEIG C., IGLESIAS A., FISCHER G., *Millions at risk: defining critical climate change threats and targets*, Global Environmental Change, n.11, 2001.
- PARSHALL R.L., *The improved Venturi flume*, Transactions ASCE, Vol. 89, 1926.
- PARSONS D.A., *Coshoc-ton-type runoff samplers, laboratory investigations*, SCS-TP-124, Washington D.C., 1954.
- PASTA S., LA MANTIA T., *L'impatto dell'attività agricola e la gestione delle aree protette: il caso della Riserva Naturale "Macalube di Aragona"*, Naturalista Siciliano, S. IV, XXV (Suppl.), 2001.
- PATER S., PATER D., *Combating the expansion of the Gobi Desert, illustrated at the example of Shaanxi Province (China)*, Rebuilt the Green, Self-presentation of the Shaanxi Province Forestry Board., 1999.
- PIERVITALI E., COLACINO M., CONTE M., *Signals of climatic change in the Central-Western Mediterranean basin*, Theoretical and Applied Climatology, 1997.
- PIERVITALI E., COLACINO M., CONTE M., *Rainfall over Central-Western Mediterranean Basin in the period 1951-1995, Part. 1: precipitation trends*, Nuovo Cimento 21C (3), 1998.

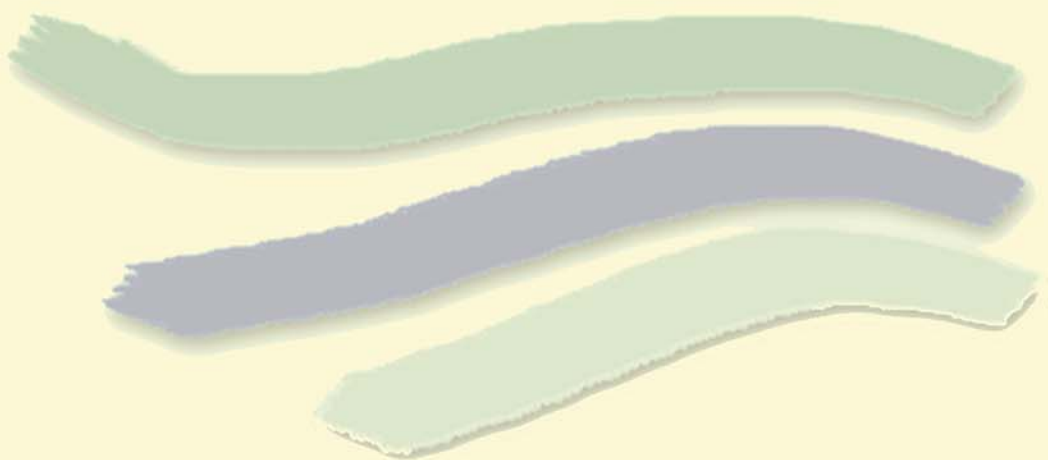
- PIKE J.G., *The estimation of annual runoff from meteorological data in a tropical climate*, J. Hydrol. n.2, 1964.
- PIRANEO G., *Analisi della vegetazione e dei processi di rinaturalizzazione di Caporossello-Realmonte (AG)*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2005.
- PIZZICHINI M., SCIORTINO M., RUSSO C., *Approvvigionamento della risorsa idrica: analisi tecnico-economica per la prevenzione della desertificazione a Licata*, ENEA CRCasaccia, 2002.
- PIZZURRO G.M., *Analisi dei processi di rinaturalizzazione nelle pinete artificiali dei Monti di Palermo (Sicilia nord-ovest)*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2001.
- PLA SENTIS I., *Soil degradation and desertification in Mediterranean environments*, Rubio & Calvo eds, Geoforma Ediciones, 1996.
- POLEMIO M., CASARANO D., *Rainfall and drought in southern Italy (1821-2001), The Basis of Civilization*, Water Science, IAHS Publ., 2004.
- PRUDHOMME C., JAKOB D., SVENSSON C., *Uncertain and climate change impact on the flood regime of small UK catchments*, Journal of Hydrology, n. 277, 2003.
- QUARANTA G., SALVIA R., *Riqualificazione e gestione del territorio, lotta alla desertificazione e sviluppo sostenibile*, Franco Angeli, Milano, 2006.
- RANDISI G., *Le tecniche di rimboschimento in ambiente arido e su suoli calcarei in Sicilia*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2001.
- RAPP J.F., *Error assessment of the Revised Universal Soil Loss Equation using natural runoff plot data*, M.S. Thesis, School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, Tucson, 1994.
- RAUWS G., GOVERS G., *Hydraulic and soil mechanical aspects of rill generation on agricultural soils*, The Journal of Soil Science, 39, 1988.
- REGIONE SICILIANA. ASSESSORATO TERRITORIO E AMBIENTE, *Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I). Bacino Idrografico del Fiume Imera Meridionale*, 2006.
- RENARD, K.G., FOSTER, G.R., YODER, D.C., MCCOOL, D.K., *RUSLE revisited: status, questions, answers and the future*, Journal of Soil and Water Conservation, 49, 1994.
- RICHARDS K., *Sediment delivery and drainage network*, In: Channel Network Hydrology, Eds. Beven K., Kirkby M.J., Wiley, New York, 1993.
- RIGOR I.G., COLONY R.L., MARTIN S., *Variations in Surface Air Temperature Observations in the Arctic, 1979-97*, Journal of Climate, vol. 13, 2000.
- RISSE L.M., NEARING M.A., NICKS A., LAFLEN J.M., *Error Assessment in the Universal Soil Loss Equation*, Soil Science Society American Journal, 57, 1993.
- RISULTATI POM – MARBOLEG - *Modelli per un'arboricoltura da legno sostenibile nelle Regioni dell'Italia Meridionale Azione 1*. Dipartimento di Colture Arboree dell'Università degli Studi di Palermo.

- ROMERO R., GUIJARRO J.A., ALONSO S.A., 30-year (1964-1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean region: first exploratory study, *International Journal of Climatology*, n 18, 1998.
- RUTTIMANN M., SCHAUB D., PRASUHN V., RUEGG W., *Measurement of runoff and soil erosion on regularly cultivated fields in Switzerland - some critical considerations*, Catena, 25, 1995.
- SALVATI L., CECCARELLI T., BRUNETTI A., *Geo-database sul rischio di desertificazione in Italia - Agricoltura e degrado del territorio nello scenario del clima che cambia*, CRA-Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, Roma, 2005.
- SAMANI Z., MAGALLANEZ H., *Simple flume for flow measurement in open channel*, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126, 2000.
- SANKARASUBRAMAIAAN R.M., VOGEL, *Annual hydroclimatology of the United States*, *Water Resources Research*, vol. 38, 2002.
- SANTER B.D., WIGLEY T.M.L., BOYLE J.S., GAFFEN D.J., HNILO J.J., NYCHKA D., PARKER D.E., TAYLOR K.E., *Statistical significance of trends and trend differences in layer-average atmospheric temperature time series*, *Journal of Geophysical Research*, vol. 105, 2000.
- SAPORITO L., *Aspetti Selvicolturali delle pinete di pino domestico in Sicilia*, *Sviluppo Agricolo* n.7/8, 1995.
- SAPORITO L., *Stato attuale e problematiche selvicolturali dei rimboschimenti di eucalipto in Sicilia*, *Sherwood* n. 38, 1998.
- SAPORITO L., *Prospettive di impiego per usi energetici della biomassa di eucalipto in Sicilia*, *Sherwood*, 2001.
- SAUCHYN D.J., BARROW E.M., HOPKINSON R.F., LEAVITT P.R., *Aridity on the Canadian Plains*, *Geographie physique plains*, vol. 56, 2002.
- SAUQUET E., GOTTSCHALK L., LEBLOIS E., *Mapping Average Annual Runoff: a Hierarchical Approach Applying a Stochastic Interpolation Scheme*, *Hydrological Sciences Journal*, n.45(6), 2000.
- SCALZO G., *Primi risultati sull'applicazione del regolamento CEE 2080/92 in Sicilia*, *Tesi di Laurea*, Università degli Studi di Palermo, 1998.
- SCHREIBER P., *U ber die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserfuhrung der Fluße in Mitteleuropa*, *Z. Meteorol.*, n. 21, 1904.
- SCIORTINO M., *Review of existing assessment of sensitive areas in the Northern Mediterranean Region*, in *The MEDRAP Concerted Action to support the Northern Mediterranean Action Programme to Combat Desertification*, Enne G., Peter D., Zanolli C., Zucca C. (Eds.), Sassari. Fifth Workshop on Identification of Sensitive Areas in the northern Mediterranean, Roma 18-19 November 2003, 2004.
- SCIORTINO M., IAPICHINO G., *Specie ornamentali e da giardino e qualità dell'irrigazione*, *Tecnica Agricola* n. 3, 1995.
- SIAS - SERVIZIO INFORMATIVO AGROMETEOROLOGICO SICILIANO, *Carta regionale della vulnerabilità alla desertificazione*, Palermo, 2003.

- SICA A., *Primi risultati dei rimboschimenti su suoli della serie gessoso-solfifera nella provincia di Agrigento*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2003.
- SIMANTON J.R., RENARD K.G., *Seasonal change in infiltration and erosion from USLE plots in Southeastern Arizona*, Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest, 12, 1982.
- SIMN - SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO NAZIONALE, *Carta delle aree sensibili alla desertificazione*, Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionale, Roma, 1999.
- SLATTERY M.C., BRYAN R.B., *Hydraulic conditions for rill incision under simulated rainfall: a laboratory experiment*, Earth Surface Processes and Landforms, 1992.
- SLATTERY M.C., BURT T.P., *Particle size characteristics of suspended sediment in hillslope runoff and streamflow*, Earth Surface Processes and Landforms, 1997.
- SNEYERS R., *Use and misuse of statistical methods for detection of climatic change*, in Climate Change Detection Project, Report on the Informal Planning Meeting on Statistical Procedures for Climate Change Detection, WCDMP (20), 1992.
- SOIL SURVEY STAFF, *Keys to Soil Taxonomy*, 10th ed. USDA-NRCS, Washington D.C., 2006.
- SOMBATPANIT S., JAI-AREE S., SERMSATANASUSDI P., HIRUNWATSIRI S., POONPANICH C., *Design of a double-split divisor for runoff plots*, in Boardman J., Foster I.D.L., Dearing J.A. Eds., Soil erosion on agricultural land, John Wiley and Sons, 1990.
- SUPPIAH R., HENNESSY K.J., Trends in total rainfall, heavy rain events and number of dry days in Australia, 1910-1990, International Journal of Climatology, n.10, 1998.
- SZABOLCS I., *Salt-affected soils*, Boca Raton, Fl: CRC Press, Thomas H.A., 1981. Improved methods for national water assessment. Rep. Contract WR15249270, US Water Resource Council, Washington D.C., 1989.
- SZABOLCS I., *The concept of soil resilience*, In Greenland D.J., Szabolcs I. (Eds) Soil resilience and Sustainable Land Use, CAB International, 1994.
- SZABOLCS I., *An overview on soil salinity and alklinity in Europe. Soil salinization and alkalization in Europe*, Ed Misopolines European Society for Soil Conservation, 1996.
- SZALBOCS I., *Salt affected soils*, CRC PRESS Boca Raton Florida, 1998.
- TARALLO A., *Analisi ecologica e selvicolturale dei rimboschimenti di cedro dell'Atlante (Cedrus atlantica Manetti) in una stazione dei Monti Sicani-Bivona (AG)*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2001.
- THORNTHWAITE C.W., *An approach toward a rational classification of climate*, Geographical Review, n.38(1), 1948.
- TOFANI M., *L'economia dei rimboschimenti e la ricostituzione dei boschi deteriorati*, Atti del Congresso Nazionale sui rimboschimenti e sulla ricostituzione dei boschi degradati, Firenze 12-15 aprile 1961, Vol I.
- TOMASELLI R., *Problemi naturalistici del rimboschimento nel Mediterraneo*. Informatore Botanico Italiano, 11 (3), 1981.

- TOMOZEIU R., BUSUIOC A., MARLETTO V., ZINONI F., CACCIAMANI C., *Detention of changes in the summer precipitation time series of the region Emilia-Romagna, Italy*, Theor. Appl. Clim., n. 67, 2000.
- TOY T.J., FOSTER G. R., RENARD K.G., *Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control*, John Wiley & Sons, 2002.
- TRAINA G., *La carta delle tipologie forestali quale strumento per la gestione degli habitat Natura 2000 del SIC ITA040005 - Monte Cammarata, Contrada Salici (Monti Sicani - AG)*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2005.
- TRUMAN C.C., BRADFORD J.M., *Laboratory determination of interrill soil erodibility*, Soil Science Society of America Journal, 1995.
- TURKES M., Vulnerability of Turkey to Desertification With Respect to Precipitation and Aridity Conditions, Tr. J. of Engineering and Environmental Science, n.23, 1999.
- TURTURICI T.P., *Produttività del noce da legno in diversi ambienti siciliani*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2001.
- UNEP, *World Atlas of Desertification*, 1992.
- VAN DE GIESEN N.V., STOMPH T.J., DE RIDDER N., *Scale effects of Hortonian overland flow and rainfall-runoff dynamics in a West African catena landscape*, Hydrological Processes, 2000.
- VAN DIJK A.I.J.M., MEESTERS A.G.C.A., BRUIJNZEEL L.A., *Exponential distribution theory and the interpretation of splash detachment and transport experiments*, Soil Science Society of America Journal, 2002.
- VARVARO A., *Spazializzazione di variabili idrologiche per la derivazione di indici di vulnerabilità alla desertificazione*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Palermo, 2007.
- VENTURA F., ROSSI PISA P., ARDIZZONI E., *Temperature and precipitation trends in Bologna (Italy) from 1952 to 1999*, Atmospheric Research, n. 61, 2002.
- VINNIKOV K.Y., GRODY N.C., *Global Warming Trend of Mean Tropospheric Temperature Observed by Satellites*, Science, vol. 302, 2003.
- VÖRÖSMARTY C.J., MOORE B., *Modelling basin-scale hydrology in support of physical climate and global biogeochemical studies: an example using the Zambesi river*, Surv. Geophys. n. 12, 1991.
- WALLING D.E., *The sediment delivery problem*, Journal of Hydrology, 65, 1983.
- WALLING D.E., QUINE T.A., *The use of caesium-137 measurements in soil erosion surveys*. Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins, Proc. of the Oslo Symposium, IAHS Publ. n. 210, 1992.
- WENDT R.C., ALBERTS E.E., HJELMFELT A.T. JR., *Variability of runoff and soil loss from fallow experimental plots*, Soil Science Society of America Journal, 1986.
- WICHT B., Lotta alla desertificazione, 10 rivista WWF, 2003.

- WILKIN D.C., HEBEL S.J., *Erosion, deposition and delivery of sediment to midwestern streams*, Water Resources Research, 13, 1982.
- WISCHMEIER W.H., JOHNSON C., CROSS B., *A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites*, Journal of Soil and Water Conservation, 26(3), 1971.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*, USDA Agriculture Handbook, n. 282, 1978.
- XU C.Y., *Climate change and hydrologic models: a review of existing gaps and recent research developments*, Water Resources Management n.13, 1999.
- YUE S., WANG C., *The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series*, Water Resources Management n.18, 2004.
- ZANCHI C., *Problemi relativi alla simulazione della pioggia e caratteristiche di alcuni simulatori di pioggia per lo studio dell'erosione idrometeorica*, Annali dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze, 1979.
- ZHANG X., VINCENT L.A., HOGG W.D., NIITSOO A., *Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th Century*, Atmosphere-Ocean, n.38(3), 2000.
- ZHANG X., WALLING D., HE Q., *Simplified mass balance models for assessing soil erosion rates on cultivated land using caesium-137 measurements*, Journal of Hydrological Sciences 44(1), 1999.
- ZHANG X.C., NEARING M.A., MILLER W.P., NORTON L.D., WEST L.T., *Modeling interrill sediment delivery*, Soil Science Society of America Journal, 62, 1998.
- ZHANG X.C., NEARING M.A., RISSE L.M., MCGREGOR K.C., *Evaluation of runoff and soil loss predictions using natural runoff plot data*, Transactions of the ASAE, 39, 1996.



OSSERVATORIO DELLE ACQUE

Via G. Bonsignore, 1 – Palermo

Tel. +39 0917079616 - fax +39 0917079584

www.osservatorioacque.it - info_settore2@arrasicilia.it