



PROGETTO PILOTA PER CONTRASTARE
FENOMENI DI SICCIÀ E DESERTIFICAZIONE
NEL TERRITORIO DELLA REGIONE PIEMONTE



METODOLOGIA E RISULTATI



Ministero dell'Ambiente e della
Tutela del Territorio e del Mare
Direzione generale Difesa del Suolo



Accordo di collaborazione
tra
il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
e
la Regione Piemonte

*“Progetto Pilota per contrastare
fenomeni di siccità e desertificazione
nel territorio della Regione Piemonte”*

Luglio 2011

Regione Piemonte

Direzione Ambiente

Aldo LEO
Angela CASSANELLI
Andrea MONTANARO

Università di Torino

Dipartimento di Economia, Ingegneria
Agraria Forestale e Ambientale

Dipartimento di Economia
“Stefano Cognetti De Martiis”

Stefano FERRARIS
Ivan BEVILACQUA
Maurizio PREVIATI
Davide CANONE

Gianni BIANCO

IPLA S.p.A.

Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente

Igor BONI
Matteo GIOVANNOZZI



UNIVERSITA' DI TORINO



FACOLTA' DI SCIENZE
POLITICHE



FACOLTA' DI AGRARIA





CAPITOLO 1 - IL FENOMENO DELLA DESERTIFICAZIONE E LE SUE COMPONENTI

Da sempre Ambiente e Territorio hanno offerto all'uomo grandi stimoli ed opportunità per lo sviluppo delle proprie azioni e per il raggiungimento di elevati livelli di benessere e di progresso.

Finchè l'uomo è stato un attento osservatore dei fenomeni che regolano l'universo e le sue azioni si sono svolte in modo armonico con le leggi naturali, le risposte dell'ambiente e del territorio sono state positive e hanno consentito di guardare al futuro con intraprendenza ed ottimismo.

Col tempo, tuttavia l'attività umana si è fatta più intensa e frenetica ed i suoi effetti, soprattutto negli ultimi due secoli, hanno contribuito ad una sostanziale modifica del rapporto uomo-ambiente-territorio cambiando quindi gli equilibri naturali, soprattutto per quanto riguarda i tempi di recupero necessari a rendere sostenibili (e compatibili) le pressioni e gli impatti dell'attività antropica stessa.

Tale situazione ha avuto come principale effetto il verificarsi (e, col passare del tempo, il ripetersi) di eventi spesso incontrollabili di forte intensità e l'accelerazione dei processi di degrado ambientale/pedologico.

Tra questi ultimi si inserisce a pieno titolo il fenomeno della desertificazione, fenomeno che negli ultimi anni sta avanzando in modo allarmante, interessando sempre maggiori aree territoriali e coinvolgendo, di conseguenza, sempre più ampie fasce di popolazione.

Tale fenomeno, da non confondere con la desertizzazione che rappresenta l'espansione naturale dei deserti, si caratterizza come un insieme di processi sociali ed economici attraverso i quali le risorse naturali ed il potenziale vitale dei terreni vengono degradati a causa di interventi e pratiche, come ad esempio quelle agricole, insostenibili che agiscono negativamente su alcuni delicati equilibri ambientali.

Pertanto la desertificazione, inserendosi tra quei fattori che concorrono ad indebolire il potenziale fisico, biologico ed economico del territorio, finisce col costituire un elemento fortemente limitante al raggiungimento di idonei livelli di qualità della vita mettendo persino a serio rischio, in determinati contesti territoriali, la sopravvivenza delle popolazioni locali.

Lo studio dei fenomeni che possono innescare processi di desertificazione può essere condotto facendo prevalentemente riferimento alle seguenti componenti:

- il suolo
- il clima
- la vegetazione
- la gestione del territorio

Di seguito viene presentata la situazione piemontese in riferimento a ciascuna di queste componenti.

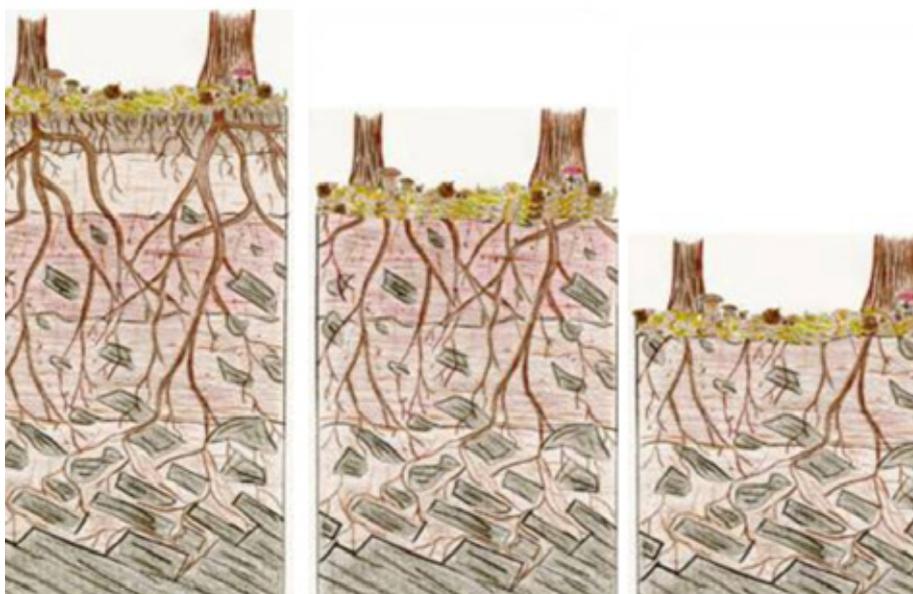
1.1 IL SUOLO

Il suolo, insieme ad aria e acqua, rappresenta uno degli elementi fondamentali dell'ambiente in cui viviamo. Malgrado questo, la legislazione del nostro paese, che sulla protezione delle acque e sulla salvaguardia della salubrità dell'aria che respiriamo è al passo con quelle di altri paesi europei avanzati, rispetto al suolo paga un ritardo molto grave.

Nella legislazione italiana infatti, quando si parla di “difesa del suolo”, tutto si intende tranne che la protezione del suolo propriamente detto. Si parla di difesa dal dissesto idrogeologico, difesa del territorio, del paesaggio e delle infrastrutture, difesa delle acque e del loro corretto deflusso, ma il suolo come “elemento naturale che assicura funzioni chiave a livello ambientale, produttivo, sociale ed economico” non viene in alcun modo considerato.

Il suolo ha ricevuto negli anni numerose

particelle minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi; risorsa essenzialmente non rinnovabile, caratterizzata da velocità di degrado potenzialmente rapida e processi di formazione e rigenerazione estremamente lenti; le sue funzioni sono la produzione alimentare e di altre biomasse; il magazzino e la trasformazione di minerali, materia organica, acqua, energia e sostanze chimiche; il filtraggio delle acque. Rappresenta



Schema che rappresenta il suolo originale (a sinistra), poi sottoposto a processi erosivi con asportazione degli strati superficiali.

la piattaforma dell'attività umana oltre ad essere l'habitat per una quantità enorme di organismi ed essere fonte di materie prime”.

1.1.1 RISORSA NON RINNOVABILE

Come sopra accennato il suolo risulta essere una risorsa in larga misura non rinnovabile (se non in tempi che esulano da quelli della vita di un uomo), che nel corso degli ultimi decenni è stata sottoposta ad una crescente pressione e ad una notevole intensità di sfruttamento.

In virtù di tale criticità l'importanza della “protezione del suolo” è stata riconosciuta a livello internazionale già al vertice di Rio de Janeiro (1992), nel quale i paesi partecipanti hanno concordemente adottato una serie di dichiarazioni fondamentali sul tema. Lo stimolo



definizioni. Quella che può esser considerata la più attuale, reperibile nei documenti europei, parla di: “strato superiore della crosta terrestre, formato da



maggiore verso la protezione del suolo giunge però dalla Commissione Europea che, dopo anni di studio e di riflessioni su come affrontare il problema, ha emanato nel 2006 (Bruxelles, 22 settembre 2006 COM(2006)231) la “Strategia tematica per la protezione del suolo” che contiene anche la proposta di direttiva quadro in fase di approvazione, che sarà di obbligatoria applicazione per gli Stati membri. Il documento delinea un programma di lavoro per i prossimi 30-50 anni, individuando le otto principali minacce che incombono sul suolo e le linee di azione che ciascun Paese deve porre in essere per mitigare gli effetti di tali minacce.

Le principali minacce sul suolo sono le seguenti:

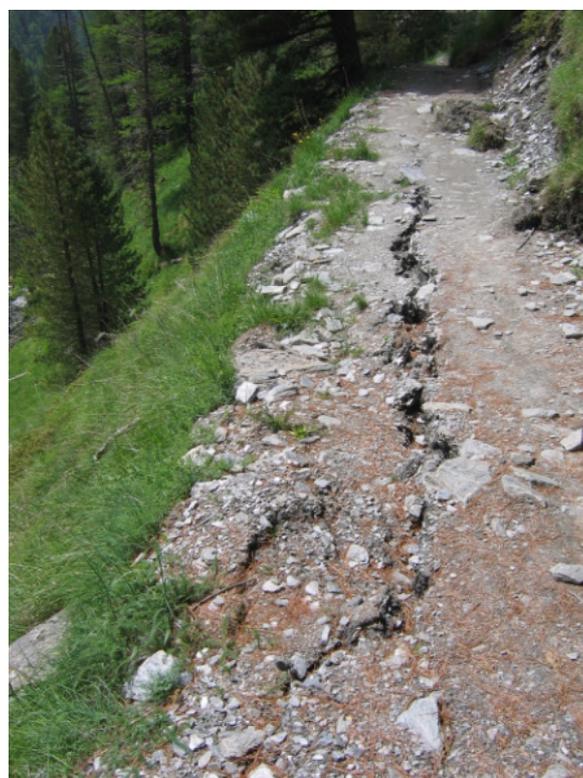
- erosione,
- diminuzione della materia organica,
- contaminazione locale e diffusa,
- impermeabilizzazione,
- compattazione,
- diminuzione della biodiversità,
- salinizzazione,
- inondazioni e smottamenti.

Affinché il suolo possa continuare a svolgere le sue diverse funzioni, è urgente provvedere al mantenimento delle condizioni attuali e, dove necessario, si cominci ad impostare delle azioni di recupero del degrado passato e presente, nel tentativo di invertire la tendenza derivata da decenni di scarsa riflessione sui danni permanenti che venivano apportati al suolo. Quando vengono realizzate nuove infrastrutture o costruiti nuovi

edifici (o peggio capannoni industriali), viene occupato in via definitiva un suolo che un tempo è stato sicuramente produttivo. Non si tratta certo di impedire che tali necessarie opere possano venire realizzate ma sarebbe il tempo di considerare le potenzialità produttive e protettive dei suoli che vengono impermeabilizzati nel tentativo di preservare quelli a maggior vocazione agricola o i terreni identificabili come strategici per il ruolo di protezione nelle falde sottostanti.

Allo stesso modo, nelle attività agrarie e forestali è troppo poco diffusa la consapevolezza che pratiche che non salvaguardano i suoli dall'erosione sono la premessa per una perdita certa di fertilità, di materia organica e di capacità produttiva, a scapito di chi dovrà utilizzarli in futuro; il tutto senza considerare il notevole incremento di pericolosità delle inondazioni, dovuto all'abbondanza di sedimenti derivanti dall'erosione che si accumulano nelle acque, aumentandone il potenziale distruttivo.

Un ulteriore accenno deve essere dedicato al tema della contaminazione dei suoli e al monitoraggio necessario. Le attività industriali e agrarie, gli scarichi delle nostre città e dei nostri paesi,



quando non vengono previste adeguate opere di mitigazione degli effetti inquinanti o vengono attuate pratiche non corrette o addirittura illegali, provocano contaminazione del suolo e delle acque di falda (ivi inclusa anche l'eccessiva fertilizzazione che provoca eutrofizzazione delle falde per lisciviazione di elementi chimici e salinizzazione dei suoli). I siti contaminati nel nostro paese sono molto numerosi. E' necessario individuarli al più presto con precisione e per ciascuno di essi prevedere un piano di bonifica per ricondurre i suoli alle loro iniziali condizioni di produttività e di capacità di attenuazione nei confronti delle sostanze inquinanti.

1.1.2 LE MINACCE

La Regione Piemonte, con il completamento della "Carta dei suoli" regionale a scala 1:250.000 e con le conoscenze di maggior dettaglio disponibili per gran parte del territorio di pianura e collina, ha previsto di poter rispondere con puntualità alle problematiche sollevate nella legislazione europea in merito alle principali minacce individuate per il suolo.

Tale convinzione deriva, in parte, da un incremento significativo nella disponibilità di informazioni sul suolo negli ultimi anni, ma anche dallo sviluppo di sperimentazioni metodologiche per interpretazione dei dati pedologici, ai fini del raggiungimento di specifici obiettivi regionali.

Volendo focalizzare l'analisi sui principali fenomeni che compromettono la protezione del suolo in Piemonte, di seguito vengono riportati i principali elementi di criticità riscontrate, tenendo però conto che, anche per le minacce non direttamente analizzate in questo sintetico documento, sono state avviate delle attività sperimentali utili a dare una prima definizione dell'entità.

Le considerazioni più specifiche che vengono qui proposte su alcune minacce che incombono sul suolo sono tratte dalle Note illustrative della Carta dei Suoli del Piemonte a scala 1:250.000 (IPLA - Regione Piemonte, 2007)

1.1.3 CONTAMINAZIONE

Metalli pesanti e inquinanti organici

Sono stati registrati accumuli significativi in diverse zone, soprattutto nei suoli acidi, legati all'uso di rame in viticoltura, tali da evidenziare un problema di fitotossicità.

Nel passato, in seguito ad indagini svolte sull'accumulo di piombo da traffico veicolare, è stata evidenziata un'elevata quantità nelle fasce (0-5 m), limitrofe alle strade extra-urbane ad alto traffico; il problema appare ora di minore importanza vista la progressiva scomparsa delle benzine al piombo. Per ultimo si menziona la presenza, non di origine antropica, ma in qualche modo considerabile preoccupante alla pari di un inquinamento, di metalli pesanti come il cromo e il nickel, contenuti in abbondanza nelle "pietre verdi", presenti in molti bacini fluviali del Piemonte. Nelle pianure dei fiumi, Scrivia e Bormida ad esempio, coltivate anche ad orticole, i livelli nel suolo di questi metalli pesanti sono elevatissimi, ma è dimostrato che, essendo di origine litogenetica, il loro potenziale di traslocazione ai vegetali è piuttosto basso.

I contaminanti organici (considerati pericolosi per la salute umana - Reg. (CE) 850/04) più comuni sono i PCB (policlorobifenili), gli IPA (idrocarburi policiclici aromatici) e i PCDD/PCDF (diossine e furani).

I dati disponibili relativi alla presenza di questi composti nei suoli piemontesi indicano che tutti sono al di sotto dei limiti di legge, ma che il



contenuto di diossine e furani nello strato superficiale dei suoli naturali (non arati) tende a raggiungere i limiti consentiti ormai un po' ovunque. Situazione diversa per PCB e IPA per i quali si registrano soglie di attenzione soltanto a livello locale. E' infine da ricordare l'effetto accumulo dei contaminanti organici che tendono ad essere complessati negli strati superficiali dei suoli, mentre l'effetto diluizione è presente nei suoli agrari dove tali composti vengono rimescolati in tutta la profondità dell'orizzonte lavorato (in genere 30-40 cm).

Fertilizzanti e fitofarmaci

Gli eccessi di concimazioni, sia organiche sia minerali, sono causa essenzialmente di inquinamento delle acque circolanti nel suolo, ma non si deve escludere la possibilità di accumulo diretto nel suolo di certi elementi, ad esempio il fosforo, in determinate condizioni pedologiche. Sono stati registrati nei topsoil di suoli agrari numerose situazioni di concentrazione di fosforo considerabili "dotazioni elevate" che non sono per ora oggetto di limiti di legge ma rappresentano un potenziale rischio di grave contaminazione delle acque. Per quanto riguarda i fitofarmaci, dati analitici da accumulo nel suolo sono stati registrati su serie di campioni insufficienti per valutazioni di tipo regionale sulla contaminazione, utili tuttavia per evidenziare potenziali conseguenze del trasferimento delle molecole inquinanti dal suolo alla catena alimentare e alle acque di falda. A questo proposito sono state attivate ricerche che prevedono la modellizzazione del comportamento di fitofarmaci in alcuni suoli rappresentativi di ambienti agrari piemontesi.

Bonifica siti contaminati

Dai dati regionali risulta che i siti ufficialmente riconosciuti come contaminati sul territorio piemontese sono circa 800, di cui alcuni già bonificati e altri che non necessitano di un vero e proprio intervento di bonifica; per la maggior parte dei siti l'istruttoria di bonifica è in corso. L'impatto sul suolo è attribuito al 31% dei casi registrati.

1.1.4 PERDITA DI SOSTANZA ORGANICA

Dai dati elaborati dalla "Carta dei suoli del Piemonte" a scala 1:250.000, i suoli di pianura hanno un contenuto di carbonio organico "moderatamente basso", in media pari a 1,58% espresso in volume, con un valore equivalente in peso di 55 t/ha (entrambi i valori riferiti ad un topsoil di 30 cm di profondità). I suoli di collina invece sono meno ricchi di carbonio: 1,15% è il valore medio, ma ben al di sotto dell'unità per i suoli coltivati a vigneto. Questi ultimi rappresentano certamente la superficie più critica: il contenuto, valutato "basso", dipende dalle perdite in sostanza organica dovute in parte all'erosione naturale, in parte a quella innescata dalle pratiche agrarie adottate nella viticoltura. I suoli di montagna hanno invece elevate riserve di carbonio organico potendo contare su un valore medio pari a 3,1%, equivalente a 112 t/ha. Su gran parte delle aree di pianura e collina, sottoposte a coltura, si registra una costante diminuzione della sostanza organica.

1.1.5 EROSIONE

Una prima elaborazione sul territorio collinare piemontese, effettuata secondo la metodologia elaborata da Wischmeier (Predicting rainfall erosion - 1978), riporta valori di perdita annua di suolo anche superiori a 60 t/ha nella classe più alta di erosione, che nella maggioranza dei casi è caratterizzata dalla presenza diffusa della viticoltura nelle aree collinari.

La perdita di suolo a causa dei fenomeni erosivi superficiali, innescati dalle precipitazioni piovose, è una realtà di tutto il sistema collinare piemontese:



Collina di Torino, Roero, Langhe, Monferrato, Colli tortonesi. Su questi territori, ovviamente, si possono rilevare intensità differenti del fenomeno. Tutte le aree coperte dal bosco, attualmente in fase di espansione per l'abbandono dei territori agrari marginali, sono meno soggette a perdite di suolo mentre i terreni coltivati (viticoltura, frutticoltura, coricoltura, cerealicoltura) subiscono in alcuni casi perdite molto ingenti. In questo ambito molto può essere fatto tramite l'utilizzo di pratiche agrarie conservative come la coltivazione lungo le curve di livello, la realizzazione di solchi acquai



trasversali ai versanti e, soprattutto, l'inerbimento degli interfilari che, prove sperimentali realizzate in Regione, hanno dimostrato essere la pratica di maggiore efficacia.

Per quanto riguarda la montagna è da segnalare come, malgrado le pendenze rilevanti, l'estesa copertura forestale riduca di molto l'evidenza dell'erosione anche se, in alcune situazioni, il trasporto solido delle acque è assai ingente e può creare gravi problemi di dissesto.

Per quanto riguarda la pianura, infine, si deve tenere conto che la perdita di suolo limitata che si registra non può e non deve essere trascurata, in quanto alle particelle fini del terreno agrario sono spesso associati i principali nutrienti (P e N), che possono indurre l'eutrofizzazione delle acque.



1.1.6 IMPERMEABILIZZAZIONE

Urbanizzazione e consumo di suolo sono stati oggetto di ampie e articolate elaborazioni con la messa a punto di indicatori legati all'incremento delle superfici edificate, fino a più complesse analisi realizzate con tecniche di telerilevamento.

Incrociando questi dati con la "Capacità d'uso dei suoli" e con gli attuali prezzi del mercato fondiario piemontese, possono essere condotte stime del valore delle terre che sono state per sempre perdute; più difficile si presenta la stima della perdita di valore paesaggistico e del danno ambientale.

L'impermeabilizzazione è certamente una delle minacce di maggior impatto sui suoli piemontesi: tale fenomeno ha interessato e interessa tutte le aree periurbane, concentrandosi soprattutto nei territori circostanti i capoluoghi di provincia e lungo gli assi interessati da infrastrutture di connessione quali autostrade e linee ferroviarie.

Nel Biellese, in particolare, si è assistito negli ultimi anni ad un proliferare di edifici adibiti ad uso industriale che hanno coperto percentuali assai rilevanti di territorio. Per alcune aree ad intenso sviluppo si segnala un incremento del consumo di suolo fino ad un massimo dell'1,5% nel periodo 1991-2001.



In contrasto a questa minaccia, che elimina per sempre dalle possibilità produttive i suoli, si dovrebbe procedere dando una maggiore importanza alla “Capacità d’uso dei suoli” che vengono impermeabilizzati e provvedendo al loro ripristino attraverso la rimozione delle infrastrutture che hanno concluso la loro vita funzionale, con interventi di de-impermeabilizzazione attiva (meccanica) e passiva (naturale).



Incrociando i dati cartografici relativi alle prime tre classi di capacità d’uso dei suoli (le più frequenti nelle aree produttive della pianura) con il consumo di suolo si deriva la tabella che segue che consente di comprendere la gravità di quanto si sta affermando.

Capacità d’uso	Suolo disponibile 1991	Suolo disponibile 2005	Consumo 1991-2005
1a classe	101.060 ha	99.145 ha	1.915 ha
2a classe	356.293 ha	349.416 ha	6.877 ha
3a classe	312.938 ha	307.146 ha	5.792 ha
Totale	770.291 ha	755.707 ha	14.584 ha

1.1.7 COMPATTAZIONE

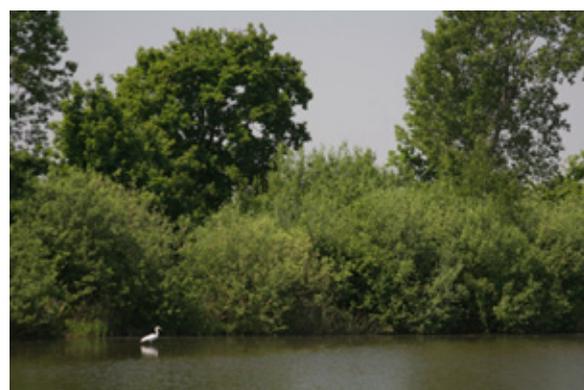
La compattazione del suolo è un fenomeno legato alle attività agrarie che, almeno con i dati attuali a disposizione, è di difficile valutazione. Applicando un metodo indiretto è stato calcolato il rischio di compattazione dei suoli piemontesi sulla base di

informazioni relative alle pratiche agronomiche e di meccanizzazione. Un significativo risultato si potrebbe ottenere incrociando l’elaborazione con i dati pedologici regionali della “Carta dei suoli” a scala 1:250.000, selezionando le tipologie di suolo a maggior rischio di compattazione per caratteri specifici come tessitura e presenza di condizioni di idromorfia.

Da una simile analisi risulterebbero certamente ad alto rischio le aree con colture fortemente impattanti, come la risicoltura in sommersione (diffusa su circa 120.000 ha di territorio regionale), che richiede la compattazione del suolo finalizzata alla riduzione della permeabilità.

1.1.8 BIODIVERSITÀ

E’ stato sperimentato in Piemonte l’impiego di un metodo di stima di un indicatore della qualità



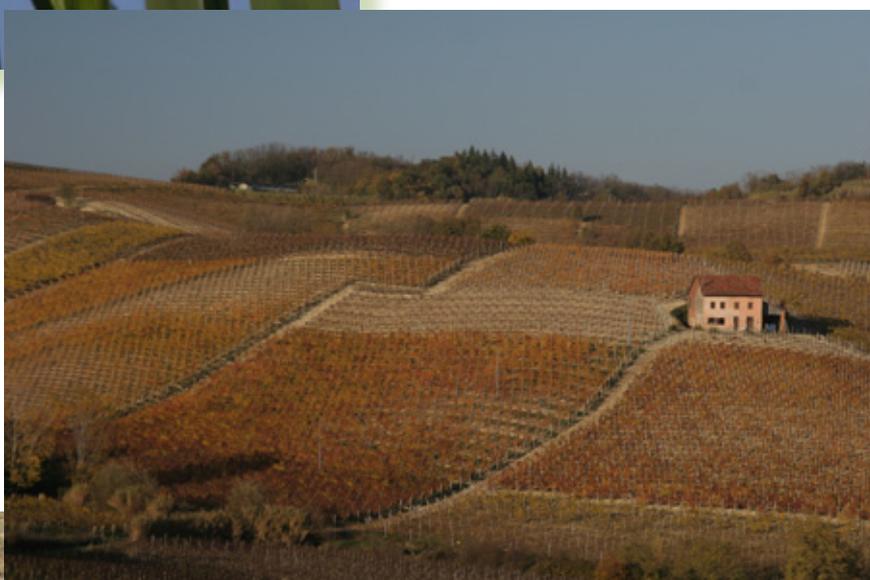
biologica del suolo, il cosiddetto QBS (Qualità Biologica del Suolo), in correlazione con la fauna del suolo, allo scopo di parametrizzare la biodiversità del suolo. La caratterizzazione dei suoli basata sulla matrice biologica, e in particolare l’uso di microartropodi come indicatori, rappresenta il metodo ufficialmente accettato da APAT (Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e Servizi Tecnici). Secondo queste ricerche il 94% e 71% delle stazioni monitorate rispettivamente nei boschi naturali e nelle colture arboree forestali, rappresentate prevalentemente da pioppeti maturi, sono ricadute nelle classi più elevate di qualità biologica; nelle classi più basse di qualità si collocano i seminativi avvicendati, costituiti soprattutto da colture di mais e grano.



1.1.9 DESERTIFICAZIONE

Malgrado il Piemonte sia una regione del Nord-Italia, circondata da un semicerchio montano ricco di corsi d'acqua, alcune aree di ridotta estensione territoriale sono tuttavia soggette a fenomeni di degrado molto spinto del suolo, che può talora essere definito come "desertificazione".

Grazie all'impegno dell'Assessorato all'Ambiente della Regione Piemonte, su questi aspetti, si sono aperti filoni di ricerca e di attività, che hanno consentito lo sviluppo di metodologie atte ad identificare con precisione le porzioni territoriali regionali su cui concentrare gli sforzi finalizzati alla mitigazione del fenomeno.



1.2 IL CLIMA

La Regione Piemonte è situata alla testata della Pianura Padana ed è limitata su tre lati da catene montuose, che ne occupano il 49% del territorio, con le vette più elevate del continente europeo.

Tale geografia definisce e regola la peculiarità climatica del Piemonte, zona di scontro delle masse d'aria continentali provenienti dalla Piana del Po, dell'umidità proveniente dal Mediterraneo e delle correnti atlantiche nord-occidentali che interagiscono con i rilievi innescando frequenti circolazioni locali e favorendo la presenza di microclimi.

I maggiori controlli esercitati sul clima dallo spazio fisico in Piemonte sono dovuti principalmente alla natura dei rilievi, mentre una trascurabile influenza è esercitata dalla variazione della latitudine, data la relativa esiguità dell'estensione Nord-Sud del territorio (2° 20' di differenza di latitudine).

1.2.1 PRECIPITAZIONI

La distribuzione annuale delle precipitazioni in Piemonte presenta un andamento bimodale, con due massimi, uno primaverile ed uno autunnale, e due minimi, uno invernale ed uno estivo.

In base alla collocazione nell'anno del minimo principale, del massimo principale e del massimo secondario, si possono distinguere in Piemonte quattro tipi di regime pluviometrico; di questi, tre sono di tipo continentale (minimo principale in inverno), mentre il quarto è di tipo mediterraneo (minimo principale in estate):

- prealpino: con minimo principale in inverno, massimo principale in primavera e secondario in autunno;



- subalpino: con minimo principale in inverno, massimo principale in autunno e secondario in primavera;
- subcontinentale: con minimo principale in inverno, massimo principale in autunno e secondario in estate;
- sublitoraneo: con minimo principale in estate, massimo principale in autunno e secondario in primavera.

Il regime pluviometrico più frequente in Piemonte, esteso sul 58% circa della regione, è il regime prealpino. Esso comprende le aree di pianura, ad esclusione di quella alessandrina, buona parte del Monferrato, la pianura cuneese e tutte le Alpi Cozie, alta valle di Susa esclusa. Il secondo regime pluviometrico in ordine di estensione è il sublitoraneo, che si estende su quasi

il 24% del Piemonte. Comprende la pianura alessandrina, il basso Monferrato, le Langhe, una parte delle Alpi Marittime e l'alta valle di Susa.

Gli altri due regimi, subalpino e subcontinentale, sono limitati alla zona settentrionale del Piemonte e si

estendono rispettivamente sul 13% e sul 5% circa della regione. In questi regimi si ha una maggior concentrazione delle piogge verso il periodo estivo, più evidente nel regime subcontinentale. Il regime subalpino si estende sull'alta pianura novarese e vercellese, la valle Sesia e buona parte della valle Toce.





Il regime subcontinentale si estende su una limitata area prossima al lago Maggiore.

Restrrendo il campo di analisi al semestre Marzo-Agosto, considerabile come più cruciale per i suoi effetti sulla siccità, si può notare come i massimi assoluti di pioggia si verificano in corrispondenza delle zone montane e pedemontane, con una diminuzione in corrispondenza delle porzioni endalpine, più marcate in Alta Valle di Susa (notoriamente xerica), Alta Val Chisone e Valli Maira e Varaita.

I valori mediamente più bassi del semestre, che si attestano intorno ai 300-400 mm, sono collocati nelle sopracitate valli e, su superfici molto più estese, nelle aree di pianura a partire dal fianco settentrionale dei rilievi appenninici con minimi sui 300 mm in piccole porzioni di territorio, la più estesa delle quali risulta essere nell'Alessandrino. L'isoieta dei 500 mm segue con buona approssimazione il limite tra la pianura e la montagna, arrivando a comprendere anche alcune aree di pianura più prossime alle montagne.

Le zone di maggiore piovosità sono quattro. La più importante per entità di apporti ed estensione spaziale si allunga, con asse orientato NE-SO, dal Lago Maggiore alle Valli di Lanzo; in tale area si ha il massimo valore semestrale con precipitazioni che raggiungono e superano i 1000 mm nel Verbano.

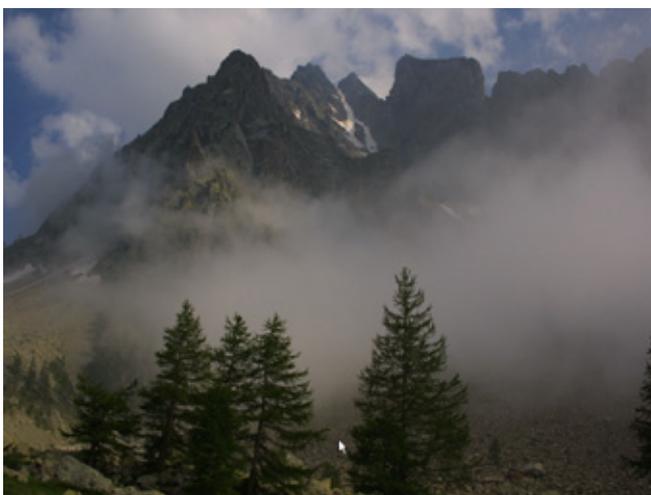
Il secondo massimo pluviometrico si individua sulle Alpi Marittime in cui gli afflussi passano dai 400 mm della pianura cuneese meridionale e delle Langhe fino

agli oltre 600 mm della zona montuosa della Valle Gesso.

La terza area in ordine decrescente con forma subellittica delimitata dall'isoieta dei 500 mm si colloca sulle Prealpi tra la bassa Val Chisone e la bassa Val Pellice e tocca punte di 600 mm.

Infine, un'area di dimensione ridotta si trova all'estremità sudorientale della regione, sui rilievi appenninici al confine tra Piemonte, Liguria, Lombardia ed Emilia Romagna e coincide all'incirca con i bacini dello Scrivia e del Curone. Qui le isoiete seguono con buona approssimazione l'andamento delle isopse; le precipitazioni aumentano dai 400 mm semestrali del margine tra pianura e collina fino agli oltre 600 mm dei settori montuosi più prossimi allo spartiacque.

Occorre infine osservare che l'analisi delle serie temporali di precipitazione, relative all'intero territorio nazionale, evidenzia un significativo cambiamento nella distribuzione temporale della precipitazione, con un aumento dell'intensità degli eventi piovosi ed un aumento della durata massima di periodi privi di precipitazione (ISAC-CNR, 2009). Analogamente, l'analisi di indici standard di siccità indica un generale aumento di condizioni secche (ISAC-CNR, 2009). Se tali tendenze si mantengono, si avrà sia un aumento dell'erosione, sia delle siccità, entrambi elementi predisponenti alla desertificazione.



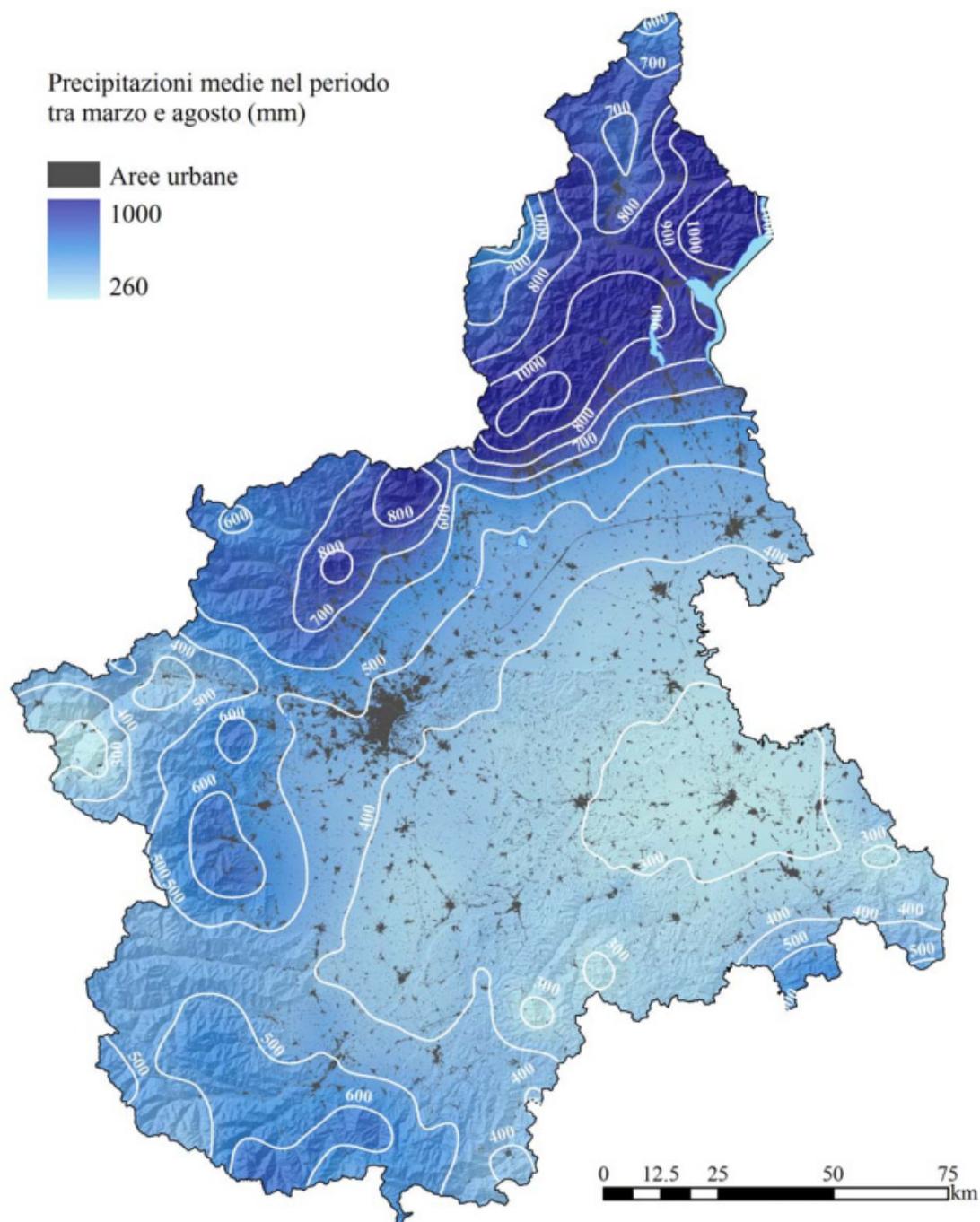


Figura 1. Distribuzione dell'altezza di pioggia media cumulata nel periodo Marzo-Agosto in Piemonte.

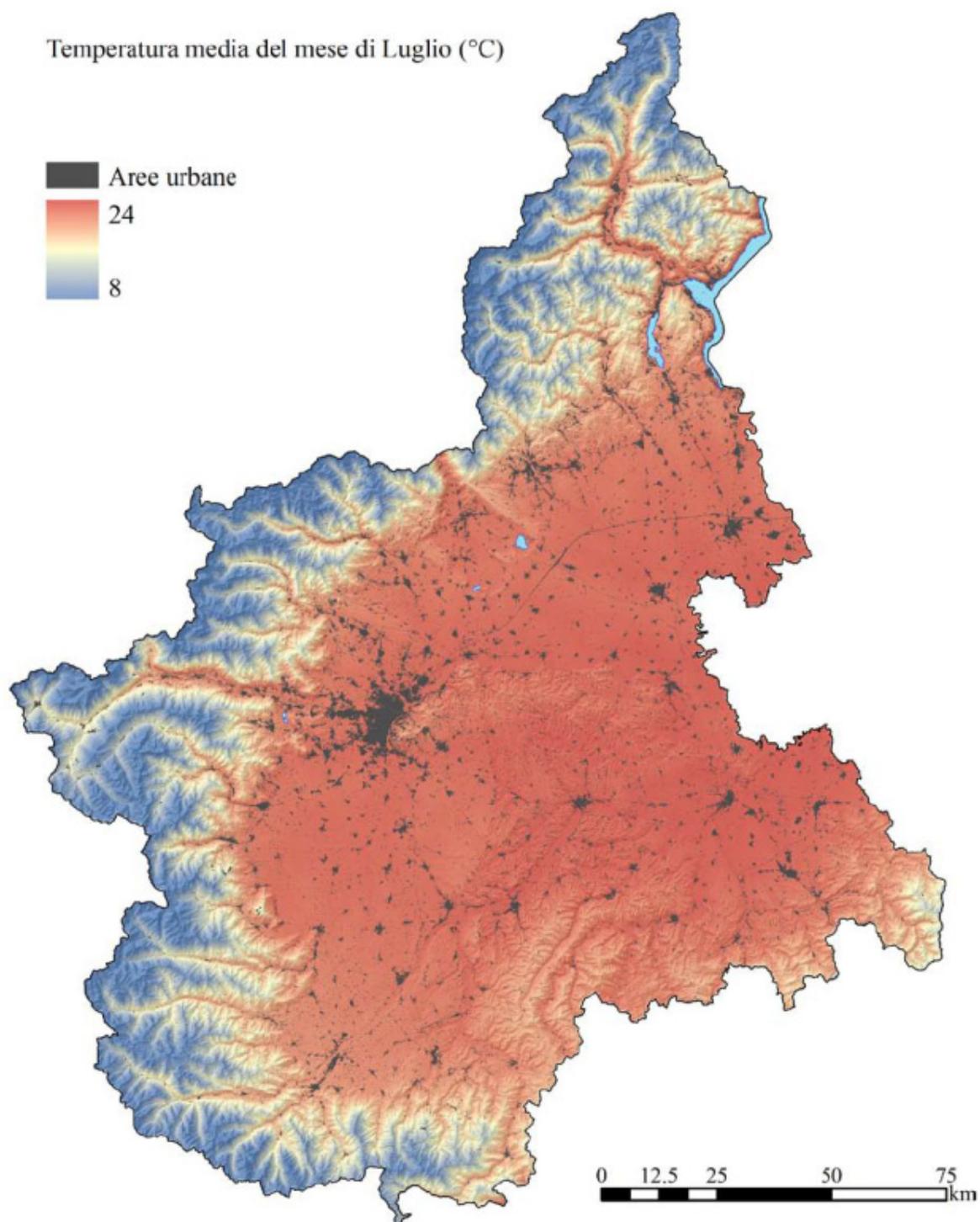


Figura 2. Distribuzione della Temperatura media nel mese di Luglio in Piemonte.



1.2.2 TEMPERATURE

Dall'analisi della termometria emerge che l'intervallo entro il quale sono comprese le temperature medie annue va dai 13 °C circa delle principali città di pianura, a valori negativi alle quote superiori ai 2.500 metri. La temperatura media annua decresce regolarmente con la quota salvo che in alcune situazioni nelle quali si osservano scarti dovuti a condizioni locali. È il caso per esempio delle isole di calore urbane (dove si ha una temperatura media lievemente superiore a quella che si registra, a parità di quota, in aree rurali) e di alcuni fondovalle come Domodossola, Varallo, Luserna S. Giovanni, dove si osservano temperature medie annue lievemente inferiori rispetto ad altre località poste alle stesse quote.

Nelle aree di pianura la temperatura media mensile supera i 10 °C da aprile fino a ottobre, mentre nelle zone montane sopra i 500 metri il periodo con temperature medie mensili superiori ai 10°C si accorcia progressivamente fino ad annullarsi al di sopra dei 2.700 metri per almeno 6 mesi l'anno. Valori medi mensili superiori a 5 °C si hanno da marzo a novembre sino a 800 m circa, mentre per arrivare a dati medi mensili di almeno 7 °C nel medesimo arco temporale bisogna scendere nelle aree di pianura al di sotto dei 500 metri; a quote superiori il periodo si accorcia spostandosi verso i mesi estivi.

Il mese più freddo, a tutte le quote, è gennaio, quando il fenomeno di inversione termica è particolarmente evidente. I valori massimi si hanno tra i 300 ed i 750 metri, mentre valori inferiori si hanno sia al di sopra, sia al di sotto di queste quote. In situazioni particolari i comportamenti cambiano: a Pallanza per esempio il clima è evidentemente mitigato dalla presenza del lago (Carollo, 1989).

Focalizzando l'analisi al rischio di siccità, bisogna rilevare che il mese più caldo risulta essere sempre quello di luglio. Le temperature medie mensili più elevate, 24 °C circa, si registrano nelle grandi città di pianura (Alessandria, Asti, Novara e Torino),

per diminuire fino a 8 °C intorno ai 2.500 metri.

L'escursione termica annua risulta elevata in tutta la regione, a causa della lontananza dal mare che potrebbe mitigare le variazioni di temperatura; per cui il clima del Piemonte si avvicina ad un regime più prettamente continentale. I valori dell'escursione termica diurna media annua variano fra le pianure e le cime delle colline, per esempio sono all'incirca di 8,3 °C a Torino città a circa 250 m di altitudine, mentre a poca distanza, a 710 m di altitudine in vetta alla collina scende a 6.3 °C (Di Napoli e Mercalli, 2008); nel regolare decremento dell'escursione termica media annua con la quota, si osserva l'eccezione di Pallanza, dove i valori sono inferiori rispetto ad altre località poste alla stessa altitudine, a causa dell'effetto di mitigazione da parte del lago.

1.2.3 EFFETTI DEL CLIMA

Il clima, inteso come l'insieme di temperatura, precipitazioni piovose e nevose, grado di umidità dell'aria, ventosità e irraggiamento solare, oltre ad influenzare la pedogenesi del suolo, influenza anche molti degli altri fattori che in questo paragrafo verranno presi in considerazione. Il clima condiziona la vegetazione e la degradazione delle rocce, contribuisce al modellamento del paesaggio, influisce sul grado di erosione superficiale e sui dissesti, limita e/o favorisce le attività dell'uomo.

Rispetto ai suoli, schematicamente, si può affermare che maggiore è il livello di precipitazioni





maggiore è il processo di alterazione e traslocazione di materiali nel suolo dall'alto verso il basso; viceversa minori sono le precipitazioni - e maggiore la temperatura - minore sarà la traslocazione ed evidente l'arricchimento di sali (carbonati soprattutto) in prossimità della superficie. Le precipitazioni, particolarmente quelle ad elevata intensità, innescano fenomeni erosivi, dissesti superficiali o frane, e possono condurre ad esondazioni fluviali con deposito di nuovi materiali alluvionali. Pronunciate escursioni termiche e cicli ripetuti di gelo-disgelo, inumidimento e disseccamento, favoriscono la disgregazione delle rocce, quindi la formazione di suolo. Il clima, nel suo complesso, condiziona l'accumulo o la perdita di sostanza organica nei suoli ed è la variabile ambientale primaria nel determinare periodi di siccità o di carenza idrica in genere, con le ovvie conseguenze sulle produzioni agrarie e sullo stato di salute del patrimonio boschivo regionale.

In Piemonte l'influenza del clima sui processi della pedogenesi e sul comportamento del suolo può essere riassunta come segue:

- Sull'arco alpino, in particolare nelle Alpi settentrionali e in quelle marittime, l'elevato livello di precipitazioni ha favorito la decarbonatazione, l'acidificazione e la formazione di suoli ad elevato grado evolutivo.
- L'accumulo di sostanza organica, nelle aree non influenzate da una falda superficiale, è direttamente correlabile all'abbondanza di precipitazioni e alle temperature. Per questo motivo i suoli sono maggiormente ricchi

in sostanza organica nelle aree più piovose (Piemonte settentrionale e meridionale) e, mediamente, alle quote più elevate.

- Nelle aree con temperature medie più elevate e minori precipitazioni (ad esempio nell'Alessandrino e in Valle Susa) si sono di frequente formati orizzonti arricchiti di carbonati poiché l'evaporazione è maggiore rispetto alla percolazione dell'acqua in profondità.
- In tutto il sistema collinare e nelle aree montane a minore copertura vegetale, l'effetto dell'erosione innescata da intense precipitazioni piovose è causa di continue asportazioni di materiali che ringiovaniscono i suoli e non permettono l'avanzare della pedogenesi.
- Su tutte le fasce fluviali in concomitanza di abbondanti precipitazioni si possono verificare fenomeni di esondazione con deposito di nuovi materiali sulla superficie.
- I suoli dei "terrazzi antichi" si sono probabilmente evoluti in condizioni climatiche diverse dalle attuali, caratterizzate da maggiori temperature medie e maggiore umidità (clima prossimo a quello tropicale) che hanno favorito l'evoluzione del suolo con l'abbondante sviluppo di ossidi di ferro.
- Le zone caratterizzate dalla presenza di suoli con capacità di ritenuta idrica relativamente bassa sono spesso colpite da fenomeni siccitosi, in presenza di prolungati periodi caldi e privi di precipitazioni.



1.3 LA VEGETAZIONE

Il rapporto che intercorre tra suolo e copertura vegetale è stretto e biunivoco: il suolo consente lo sviluppo e la crescita delle piante ma è la presenza della vegetazione che stabilizza il suolo, lo protegge dall'erosione, ne arricchisce la fertilità e ne consente a sua volta l'evoluzione.

In Piemonte, come peraltro in gran parte del territorio italiano, da alcuni decenni si è registrato un netto aumento della superficie forestale per via dell'abbandono dei terreni ritenuti marginali per l'agricoltura e per il fenomeno dell'inurbazione.

La diminuzione dell'impatto antropico su molta parte delle basse valli alpine e appenniniche e su parte dei rilievi collinari, ha coinciso, come detto, con l'espansione dei boschi ma anche con una ripresa dei processi pedogenetici.

Le formazioni forestali infatti, oltre a ridurre le perdite per erosione, producono periodicamente la cosiddetta "lettiera", quindi favoriscono l'accumulo di sostanza organica e il processo di humificazione, spesso precursore di altri processi pedogenetici che conducono i suoli alla loro evoluzione. Il tipo di evoluzione è poi in parte dipendente proprio dalle tipologie forestali presenti: boschi che producono una lettiera di difficile decomposizione (conifere in genere ma in minor misura anche il faggio) sono indirettamente responsabili della acidificazione dei suoli e favoriscono il processo di dilavamento; boschi che producono lettieri più facilmente decomponibili (latifoglie in genere) conducono ad una maggiore e migliore incorporazione della sostanza organica e ad una acidificazione meno spinta.

I pascoli d'alta quota sono le formazioni vegetali che maggiormente garantiscono al suolo una buona dotazione di sostanza organica, derivante soprattutto dagli apparati radicali che annualmente in gran parte si decompongono e si rinnovano.



Un ruolo fondamentale della vegetazione è infine da attribuire proprio nella formazione del suolo. Sono infatti i licheni e le prime specie erbacee pioniere che, colonizzando le pietraie e le rocce affioranti, favoriscono la disgregazione e l'alterazione superficiale ad opera dei sottili e robusti apparati radicali. E' in seguito a questa colonizzazione che si accumula la prima sostanza organica, successivamente utilizzata e incrementata nei cicli vegetativi successivi.



1.4 LA GESTIONE DEL TERRITORIO

L'agricoltura non è propriamente da considerare tra i fattori della pedogenesi ma certamente le attività legate alle produzioni agrarie possono avere un effetto molto evidente su caratteristiche e qualità del suolo.

E' da quando l'uomo ha cominciato a coltivare i campi che è iniziato un rapporto difficile, quanto necessario, con il suolo e con il suo sfruttamento. Nei secoli passati, le esigenze sempre crescenti di prodotti agricoli – soprattutto dovute alla crescita costante della popolazione e delle attività commerciali – ha condotto al disboscamento di vaste superfici.



L'intera pianura padana, un tempo coperta per gran parte da boschi planiziali, è stata trasformata nella più ampia area agricola italiana. In questo graduale processo, anche le superfici pianeggianti piemontesi hanno subito i medesimi effetti: ad oggi dell'originario bosco planiziale non ne rimangono infatti che poche centinaia di ettari; di questi i nuclei di maggiore rilevanza sono protetti da alcuni Parchi regionali ("Raconigi" nel Cuneese, "Stupinigi" e "La Mandria" nel Torinese, "Partecipanza di Trino" nel Vercellese).

Ma è solo negli ultimi decenni, con l'innovazione tecnologica nel campo della meccanizzazione agraria, che è iniziata una nuova trasformazione, meno evidente del passato disboscamento ma, se possibile, con conseguenze altrettanto importanti. L'utilizzo di macchine operatrici sempre più potenti e di pratiche agronomiche sempre più invasive, ha consentito un aumento



netto delle produzioni ma ha avuto – e ha – come conseguenza un parziale degrado del suolo, sia per quanto riguarda le qualità fisiche e chimiche, sia per ciò che concerne la stabilità superficiale.

Con ciò non si vuole certo fare un ragionamento puramente naturalistico o conservativo, che non tenga nel debito conto le ovvie necessità di produzione e il valore dell'innovazione tecnologica in generale e di quella agraria in particolare. Si vuole però sottolineare che ogni azione che poniamo in essere nei confronti del suolo ha un suo effetto e che è sempre necessario verificarne i costi e i benefici anche con un'ottica di lungo periodo, sapendo che il suolo è a tutti gli effetti una risorsa non rinnovabile se non in tempi molto lunghi.

L'agricoltura piemontese, in tutto questo, non è stata diversa dall'agricoltura europea: ha tratto i massimi vantaggi dallo sfruttamento del suolo,





senza badare molto alla salvaguardia della risorsa. Gli effetti più eclatanti delle attività agrarie sui suoli regionali possono essere schematicamente riassunti nei seguenti otto punti (in corsivo, alla fine di ogni punto, si inseriscono in modo sintetico quali azioni possono ridurre tali impatti negativi):

1. Perdita di sostanza organica: intense e profonde lavorazioni unite alla rottura e alla messa a coltura dei prati permanenti, favoriscono la mineralizzazione della sostanza organica riducendone il quantitativo presente nel suolo.

Lavorazioni poco profonde, reintegro della sostanza organica tramite concimazioni organiche, estensione della superficie a prato.

2. Diminuzione della fertilità: la monocoltura ripetuta per più anni e le abbondanti irrigazioni riducono la disponibilità degli elementi nutritivi, diminuendo la fertilità complessiva del suolo.

Rotazioni colturali, previsione di un periodico riposo colturale, adeguate concimazioni minerali e organiche, irrigazione ridotta al minimo necessario in rapporto alla coltura in atto.

3. Perdita di suolo: le profonde lavorazioni, soprattutto sulle superfici in pendenza, conducono alla perdita di suolo per erosione idrica superficiale. Anche nelle aree pianeggianti, durante i mesi nei quali il suolo non ha alcuna copertura vegetale, possono

essere rilevate perdite di materiale per erosione idrica. La disposizione dei filari sui versanti lungo la linea di massima pendenza aumenta nettamente il rischio di erosione.

Riduzione al minimo delle lavorazioni soprattutto sulle superfici in pendenza, realizzazione di fossi di scolo diagonali, disposizione dei filari lungo le linee di livello, inerbimento degli interfilari, inserimento nel ciclo colturale delle cosiddette "cover crops": colture che durante i mesi nei quali il suolo è "nudo" possono garantire una adeguata protezione.

4. Diminuzione della permeabilità e compattazione: l'utilizzo di macchine operatrici sovradimensionate e la compattazione intenzionale degli orizzonti sottostanti la soletta di aratura (in particolare nella risicoltura in sommersione), conducono a modificazioni importanti della dinamica delle acque all'interno del suolo, riducendone la permeabilità.

Utilizzo di macchine dimensionalmente adeguate alle reali esigenze, modifica periodica della profondità di aratura, limitazione della risicoltura in sommersione ai terreni più adatti (ricchi di limi e argille e poveri di sabbie grossolane e ghiaie).

5. Perdita della struttura: le lavorazioni del terreno distruggono la naturale struttura del suolo modificando le caratteristiche fisiche degli orizzonti superficiali. *Riduzione del numero di lavorazioni e riduzione della profondità di aratura.*





Realizzazione di adeguati piani di concimazione tenendo conto delle naturali dotazioni del suolo, utilizzo di antiparassitari in modo non eccessivo rispetto alle reali esigenze produttive.

Tutto ciò che si è detto riguardo alle attività agrarie è, nei fatti, da attribuire all'impatto antropico sui suoli. Si vuole però di seguito sottolineare altri aspetti importanti delle modificazioni indotte dall'uomo sulla risorsa suolo.

Le modificazioni possono essere indotte per via indiretta o diretta. Per via indiretta si cita ad esempio l'abbassamento delle falde che si è

registrato costantemente negli ultimi decenni in Piemonte, a causa soprattutto dell'aumento costante dei prelievi. In questo modo aree un tempo paludose possono essere oggi poste a coltura, senza particolari problemi, mentre aree che avevano a supporto delle colture una falda non troppo profonda si trovano ad avere necessità di apporti idrici notevoli, per ottenere adeguate produzioni. Anche dal punto di vista della pedogenesi, suoli un tempo caratterizzati da idromorfia permanente possono essere sottoposti, gradualmente, ad una parziale riossidazione degli orizzonti più superficiali.

Tre aspetti tra i più eclatanti della realtà regionale, ascrivibili alle modifiche per via diretta, sono l'urbanizzazione, l'apertura di cave per

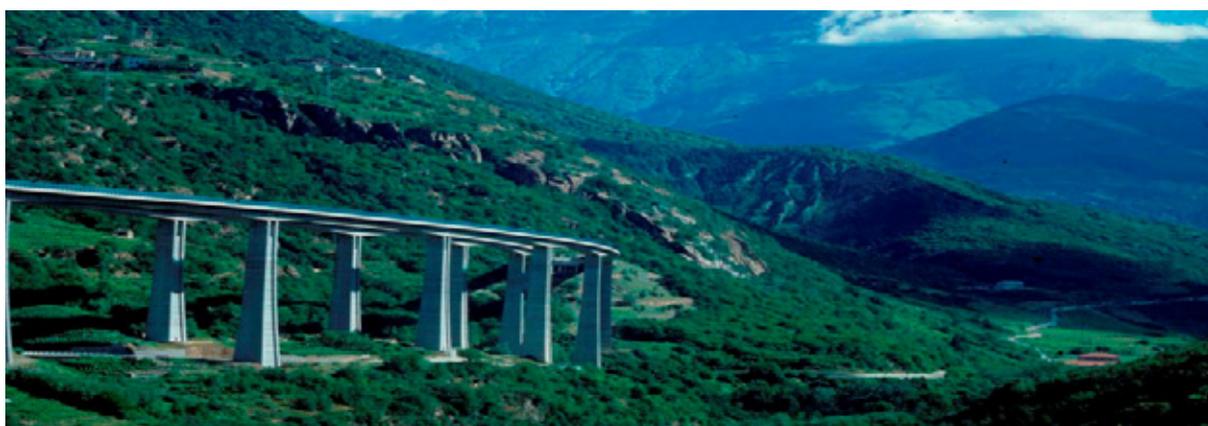
6. Modifica della naturale successione degli orizzonti: livellamenti realizzati a rilevante profondità, su ampie superfici, conducono alla eliminazione della naturale successione degli orizzonti pedologici, con rischio di emersione degli strati profondi poveri di sostanza organica e di elementi nutritivi e frequentemente ricchi di ghiaie.

Riduzione dei livellamenti a piccole superfici, utilizzi di sistemi di irrigazione che non richiedono il livellamento dei campi (a pioggia, a goccia).

7. Induzione di condizioni di idromorfia: la periodica sommersione delle camere di risaia genera condizioni di episaturazione (condizioni "antraquiche"), che si evidenziano per l'evidente riduzione del ferro negli orizzonti superficiali (colori grigi), mentre negli orizzonti più profondi sono i colori bruni e rossastri (ferro ossidato) a prevalere. *Riduzione della coltura del riso in sommersione.*

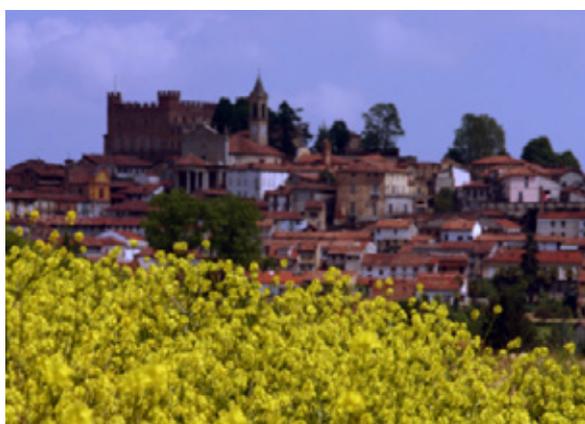
8. Contaminazione: l'utilizzo di fertilizzanti (chimici e organici) e di antiparassitari può indurre ad una contaminazione del suolo, riducendone la capacità protettiva nei confronti delle acque di falda.





estrazione di materiali (ghiaia, sabbia, argilla) e la realizzazione di discariche per i rifiuti. Queste attività, ovviamente necessarie, sono però spesso effettuate senza tenere in debito conto che il suolo cementificato - o asportato dalle operazioni di estrazione per la realizzazione di cave o discariche - viene eliminato per sempre, perdendo completamente le potenzialità di immagazzinamento idrico, di produzione agraria e di protezione delle acque superficiali e sotterranee.

E' auspicabile che nel prossimo futuro la qualità del suolo che si ha in progetto di cementificare - o asportare - sia uno dei parametri fondamentali da prendere in considerazione, per evitare il rischio che i suoli migliori dal punto di vista della produzione e quelli di maggior valore naturalistico, vengano eliminati per sempre da interventi non lungimiranti.



CAPITOLO 2 - ATTUAZIONE DEL PROGETTO PILOTA A SCALA REGIONALE

2.1 IL PROGETTO PILOTA

Sulla base del Progetto CLIMAGRI in Piemonte, il 19% del territorio, pari a 4.852 su 25.399 km², è a rischio desertificazione.

Nel Dicembre 2007, è stato pertanto sottoscritto, tra il Ministero dell'Ambiente e per la Tutela del Territorio e del Mare - Direzione Generale per la Difesa del Suolo e la Regione Piemonte - Direzione Ambiente, uno specifico Accordo di Collaborazione con l'obiettivo di sviluppare un "Progetto pilota per contrastare fenomeni di siccità e desertificazione nel territorio della Regione Piemonte".

Di seguito si forniscono dettagliate informazioni sul resoconto finale delle attività previste dal suddetto Progetto Pilota.

2.2 INQUADRAMENTO E OBIETTIVI

La Direzione Ambiente, in qualità di soggetto incaricato per lo sviluppo e l'attuazione del "Progetto pilota di lotta alla siccità ed alla desertificazione per il territorio della Regione Piemonte", ha inteso articolare le attività progettuali in piena coerenza con le cinque fasi individuate dalle "Linee Guida" allegate all'Accordo di collaborazione di cui al punto precedente, che prevedono:

- la mappatura e delimitazione delle aree a rischio di desertificazione sul territorio regionale;
- la definizione dei possibili interventi di prevenzione e mitigazione;
- la realizzazione di un intervento di prevenzione e di mitigazione a carattere sperimentale e/o dimostrativo.

Per il raggiungimento degli obiettivi dettati dalle suddette linee guida è stato ritenuto utile sottoscrivere una specifica Collaborazione istituzionale con i seguenti Soggetti:

- Università di Torino: Dipartimento di

Economia e Ingegneria Agraria, Forestale e Ambientale (DEIAFA);

- Università di Torino: Dipartimento di Economia "S. Cogneetti de Martiis" (Di.Ec.);

- Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente (IPLA S.p.A.) - Torino.

Un'attività finalizzata all'attuazione di un progetto pilota per contrastare fenomeni di siccità e desertificazione nel territorio regionale è infatti di interesse della Regione Piemonte - Direzione Ambiente, per assolvere ai propri compiti istituzionali, derivanti dall'art. 93 - comma 2, del Decreto legislativo n. 152/2006 e dei suddetti Organismi di ricerca quale attività di applicazione della metodologia ESAs (Environmentally Sensitive Areas) a tutto il territorio regionale, finalizzata alla predisposizione, su specifiche aree critiche, di linee di intervento di prevenzione e di mitigazione dei processi di degrado strettamente legati alla siccità ed alla desertificazione;

Il Raggruppamento scientifico specificamente costituito ha proceduto allo sviluppo del progetto pilota in coerenza con gli indirizzi forniti dalla linee guida sopra citate e con l'intento di perseguire tre principali obiettivi:

- estendere l'applicazione della metodologia ESAs a tutto il territorio della Regione Piemonte al fine di pervenire alla predisposizione di una cartografia, in scala 1:250.000, delle aree soggette o minacciate da fenomeni di siccità, degrado del suolo e processi di desertificazione;





- introdurre una valutazione socio-economica dei danni ambientali ed economici derivanti da siccità e desertificazione in quanto la desertificazione può essere interpretata ed analizzata con riferimento a due classi di problemi: quelli relativi ad una sua origine naturale e quelli relativi ad una sua origine antropica, (abbandono o eccessivo sfruttamento del territorio);

- procedere alla individuazione di linee di intervento di prevenzione e di mitigazione di processi di degrado strettamente legati con la siccità e la desertificazione ed in particolare alla realizzazione di due interventi dimostrativi di prevenzione/mitigazione in Alta Valle di Susa - Bacini Idrografici Galambra e Perilleux.

Per la completa attuazione delle attività progettuali e con riferimento agli indirizzi della Comunicazione (COM(2006)231) riguardante la Strategia Tematica europea per la Protezione dei suoli e della relativa proposta di Direttiva (COM(2006)232), sono state pertanto individuate le seguenti fasi di lavoro:

Fase 1 - Acquisizione dei dati e strutturazione degli stessi ai fini della costruzione delle categorie di indici previsti dalla metodologia ESAs.

La schematica logicità di tale applicazione metodologica permette, a partire dalle singole caratteristiche fisiche, climatiche e di gestione del territorio il calcolo di singoli indici di qualità:

- Indice di Qualità del Suolo (SQI - Soil Quality Index);
- Indice di Qualità del Clima (CQI - Climate Quality Index);
- Indice di Qualità della Vegetazione (VQI - Vegetation Quality Index);
- Indice di Qualità di Gestione del Territorio (MQI - Management Quality Index).

La successiva aggregazione e combinazione dei suddetti 4 indici sintetici permette la determinazione dell'indice finale di sensibilità ESAI (Environmentally Sensitive Areas to desertification Index).

Fase 2 - Mappatura e delimitazione delle Aree a rischio di desertificazione nel territorio della Regione Piemonte.

Schema della metodologia ESAs



$$ESAI = (SQI * CQI * VQI * MQI)^{1/4}$$

In questa fase, funzionalmente alla realizzazione della copertura geografica, in scala 1:250.000, delle aree a rischio di desertificazione, è prevista la realizzazione di carte tematiche derivanti dall'applicazione della metodologia ESAs sia per quanto riguarda gli indici sintetici e sia per ogni singolo indicatore.

Fase 3 - Individuazione delle misure e delle azioni di mitigazione e di lotta alla desertificazione.

Sulla base delle criticità riscontrate nella precedente Fase 2 di caratterizzazione e classificazione delle aree soggette a rischio di desertificazione, si procederà all'individuazione di possibili misure/azioni di

prevenzione e mitigazione finalizzate a contrastare i processi di degrado in atto.

Fase 4 - Realizzazione di interventi di prevenzione e mitigazione a carattere sperimentale e/o dimostrativo.



In questa fase è prevista la realizzazione di due interventi a carattere sperimentale/dimostrativo. Con riferimento ai Piani pluriennali di Manutenzione Ordinaria (PMO) del territorio montano, elaborati dalle Comunità Montane, ai sensi dell'art. 8, comma 4, della l.r. n. 13/1997 che ne garantisce la copertura finanziaria, è stato possibile procedere, con la collaborazione dell'Autorità d'Ambito n. 3 - Torinese, della Comunità Montana Alta Valle Susa e con il supporto tecnico del Consorzio Forestale Alta Valle Susa, all'individuazione di due specifici interventi la cui realizzazione consentirà di contrastare fenomeni di degrado del suolo e rimediare a situazioni di carenza idrica.

Fase 5 - Attività di informazione e di sensibilizzazione.

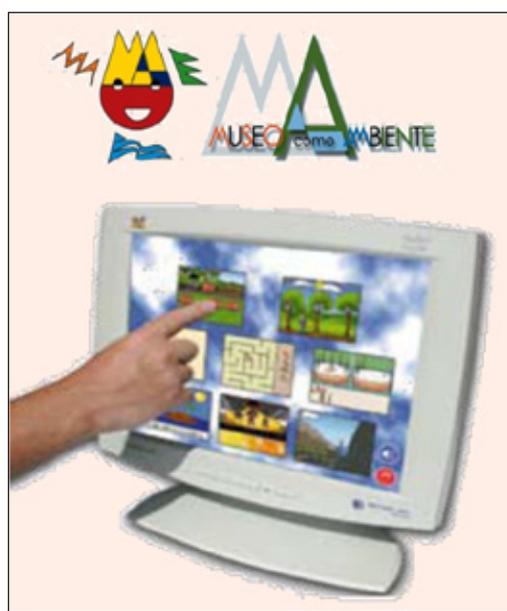
Nel corso del periodo di svolgimento delle attività di progetto è prevista la programmazione di attività di informazione e sensibilizzazione rivolte ai vari livelli istituzionali ed ai cittadini. E' prevista inoltre la realizzazione di una postazione-mostra e laboratorio, che consenta attraverso modalità interattive ed innovative il trasferimento, ad un pubblico non esperto, delle informazioni e delle problematiche legate ai processi di degrado che possono innescare il

fenomeno della desertificazione.

Fase 6 - Attività di integrazione con attività internazionali.

Il progetto, pur non prevedendo dirette azioni di "gemellaggio" con progetti in ambito internazionale, presenta elementi di interazione con alcune attività internazionali delle quali la Sezione di Idraulica Agraria del Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria, Forestale e Ambientale (DEIAFA), dell'Università degli Studi di Torino, è stata referente scientifico. Di tali attività e dei relativi risultati sarà fornita una sintetica descrizione nello specifico paragrafo.

Con riferimento alle fasi di lavoro precedentemente richiamate si fornisce la descrizione relativa ai risultati ottenuti mediante lo sviluppo delle attività previste da ciascuna fase.





CAPITOLO 3 - DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ SVOLTA

3.1 FASE I: ACQUISIZIONE DATI E STRUTTURAZIONE DEGLI ARCHIVI

Questa prima fase di attività funzionale alla raccolta ed alla successiva strutturazione dei dati necessari per la costruzione degli indici previsti della metodologia ESAs è stata svolta in stretta collaborazione tra IPLA S.p.A. ed i Dipartimenti dell'Università di Torino.

In particolare i dati meteorologici giornalieri di pioggia, delle temperature massime e minime dell'aria e della velocità del vento sono stati forniti dalla rete di ARPA Piemonte e dalla Rete Agro-Meteorologica (RAM) regionale. Al fine di consentire il calcolo dell'Indice di Qualità del Clima i dati sono stati elaborati dal DEIAFA-Sez. Idraulica Agraria, aggregati a scala pentadica e spazializzati su tutto il territorio Regionale.

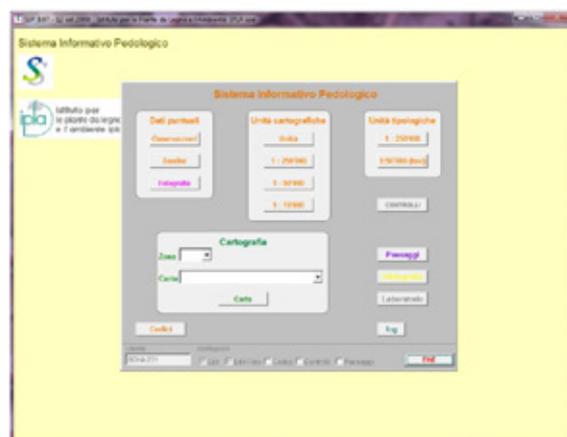
I dati sull'uso del suolo sono stati estratti dalla "Carta forestale e dalle altre coperture del territorio", rilevata a scala 1:10.000 e restituita a scala 1:25.000. Tali elaborazioni, di proprietà della Regione Piemonte, derivano dai rilievi coordinati da IPLA S.p.a. e realizzati nell'ambito degli studi dei Piani Forestali Territoriali (PFT). I dati suddetti sono stati forniti al DEIAFA-Sez. Idraulica Agraria per l'elaborazione dell'indice di qualità della vegetazione (VQI).

I dati pedologici sono stati derivati da IPLA dalla relativa carta dei suoli a scala 1:250.000 (Fig 3 pagina seguente). Tali dati sono stati utilizzati dal DEIAFA-Sez. Idraulica Agraria in modo diretto per il calcolo dell'Indice di Qualità del Suolo ed in modo indiretto per la stima delle proprietà idrologiche del suolo necessarie per l'elaborazione dei bilanci idrici utilizzati nel calcolo dell'Indice di Qualità del Clima.

3.1.1 SISTEMA INFORMATIVO PEDOLOGICO DEI SUOLI PIEMONTESI

Attualmente la banca dati pedologica contiene 10441 osservazioni, di cui 3.398 sono profili pedologici e 7.043 sono trivellate manuali. I campioni analizzati di cui i risultati sono registrati

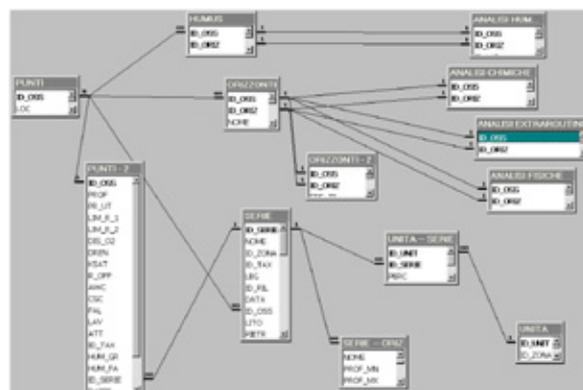
nel sistema informativo pedologico sono 10756, di questi alcune migliaia sono conservati nella "pedoteca" dell'Istituto e disponibili per eventuali analisi di approfondimento o di confronto.



Ogni osservazione, debitamente descritta, è inserita nella banca dati con la descrizione dei seguenti caratteri:

- caratteri stazionali;
- caratteri del suolo;
- caratteri degli orizzonti humiferi forestali;
- caratteri degli orizzonti minerali ed organici

Nello schema che segue si propongono i rapporti di interconnessione che legano le diverse tabelle di dati tra loro con i relativi codici che individuano caratteri e qualità dei suoli descritti.



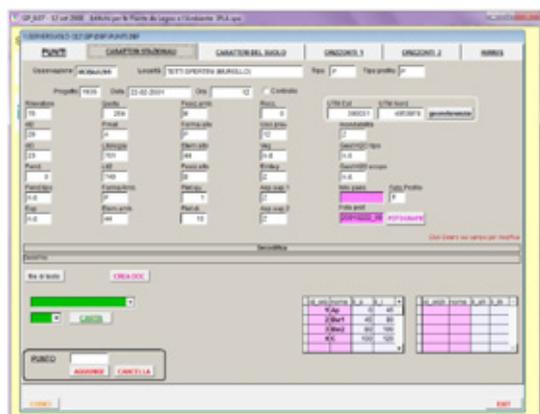
Suddivisione geografica	Sintesi dei principali raggruppamenti dei suoli	Classificazione		Unità Cartografiche (comprendono oltre 400 Unità Cartografiche codificate ed oltre 250 Unità Tipologiche di Suoli)	Superficie ha - %
		Soil Taxonomy USDA	WRB - FAO		
Pianure e/o superfici pianeggianti	Suoli molto evoluti, a tessitura franca o più fine e a bassa permeabilità, che presentano un orizzonte di accumulo di argille (argilico) talvolta rossastro, fortemente strutturato, gessoso o fragipen. Sono posti prevalentemente sui terrazzi fluvio-glaciali erosi.	Alfisuoli	Luvicolsi, Albeluvisols	331, 003, 010, 019, 054, 071, 081, 083, 132, 137, 145, 174, 175, 228, 262, 272, 281, 330, 331, 413	162.074,28 6,90
	Suoli evoluti, con un evidente orizzonte di accumulo di argille (argilico) di frequente caratterizzato da colore bruno rossastro. In alcuni casi è riscontrabile un orizzonte eluviale. Sono tipici dei conoidi erosi e delle pianure da tempo non influenzate dai corsi d'acqua.	Alfisuoli	Luvicolsi	303, 304, 305, 333, 337, 354, 390, 373, 375, 396, 394, 395, 138, 178, 180, 181, 182, 187, 201, 207, 211, 228, 234, 251, 256, 258, 285, 286, 270, 282, 317, 318, 319, 328, 332, 334, 374, 402, 423, 434	207.781,64 8,18
	Suoli poco evoluti, con un orizzonte di alterazione (cambico) più o meno strutturato a seconda del grado di pedogenesi. Sono posti sulle pianure intermedie, attualmente non più influenzate dalle oscillazioni periodiche dei corsi d'acqua.	Inceptisuoli	Cambicolsi, Umbricolsi, Gleycisi	336, 026, 022, 023, 024, 037, 050, 050, 081, 082, 083, 086, 088, 089, 072, 074, 077, 378, 079, 083, 087, 088, 089, 114, 136, 143, 142, 144, 147, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 188, 184, 196, 198, 200, 202, 203, 204, 205, 209, 210, 212, 229, 230, 236, 231, 232, 233, 235, 237, 244, 248, 249, 250, 269, 287, 271, 274, 275, 277, 278, 288, 310, 316, 333, 321, 323, 326, 327, 333, 338, 339, 351, 358, 418, 422, 424, 438	382.677,42 16,07
	Suoli non evoluti all'interno dei quali non sono riconoscibili orizzonti di alterazione e i processi pedogenetici sono ad un grado iniziale. Sono tipici delle aree di pianura più prossime ai corsi d'acqua, sono spesso ricchi di sabbie e ghiaie.	Entisuoli	Fluvisols, Gleycisi	307, 008, 006, 325, 043, 063, 065, 067, 070, 076, 080, 090, 091, 092, 103, 108, 117, 121, 123, 135, 141, 143, 170, 183, 185, 185, 206, 206, 243, 246, 247, 258, 270, 280, 311, 312, 313, 314, 315, 320, 327, 337, 358, 360, 400, 403, 417, 425	207.408,11 8,17
	Suoli scuri nell'orizzonte superficiale (epipedon mollico), per la presenza di abbondante sostanza organica. Sono posti su aree di pianura che nel passato hanno subito l'influenza di ristagno idrico, prevalentemente su alture calcaree.	Molleuoli	Phaeozemi, Gleycisi	321, 384, 185, 187, 188, 323, 324, 336	25.101,86 0,99
	Suoli caratterizzati dalla presenza di una elevata percentuale di argille espandibili, che provoca la formazione di profonde crepacciature durante la stagione secca. Sono spesso caratterizzati da colore bruno grigiastro scuro.	Vertisuoli	Verticolsi	277, 278	2.484,40 0,10
	Suoli organici, originati in ambiente paludoso effittico, dove vi sono condizioni favorevoli per la formazione di torbe. Nel profilo si evidenzia un orizzonte superficiale molto scuro (epipedon hialico) ricco di sostanza organica e a bassa densità apparente.	Histosuoli	Histicolsi	338	882,87 0,03
Versanti collinari	Suoli evoluti, con un evidente orizzonte di accumulo di argille (argilico), spesso di colore bruno rossastro. Sono frequenti su pendenze poco accentuate, all'interno dei rilievi alpini, pre-alpini e morenici che si affacciano sulla pianura.	Alfisuoli	Luvicolsi	213, 214, 238, 243, 241, 242, 250, 264, 275, 338, 339, 340, 360, 365, 420, 436, 440	88.064,42 2,68
	Suoli poco evoluti, con un orizzonte di alterazione (cambico) più o meno strutturato a seconda del grado di pedogenesi. Sono tipici dei versanti da più tempo non utilizzati dall'agricoltura e su pendenze relativamente poco accentuate.	Inceptisuoli	Cambicolsi	216, 217, 218, 223, 234, 238, 341, 344, 348, 347, 348, 352, 353, 358, 358, 361, 373, 377, 378, 413, 436	120.700,37 4,75
	Suoli non evoluti all'interno dei quali non sono riconoscibili orizzonti di alterazione e i processi pedogenetici sono ad un grado iniziale. Sono tipici dei versanti aree utilizzati per la viticoltura e di quelli notevolmente pendenti.	Entisuoli	Rapicolsi	218, 223, 221, 222, 223, 224, 239, 252, 253, 254, 256, 257, 260, 281, 283, 283, 326, 340, 342, 343, 348, 354, 355, 362, 366, 367, 375, 378, 436	198.766,05 7,87
	Suoli caratterizzati dalla presenza di una elevata percentuale di argille espandibili, che provoca la formazione di profonde crepacciature durante la stagione secca. Sono spesso caratterizzati da colore bruno grigiastro scuro.	Vertisuoli	Verticolsi	243, 437	6.372,52 0,23
Versanti montani	Suoli evoluti, con un evidente orizzonte di accumulo di argille (argilico), spesso di colore bruno rossastro. Sono frequenti su pendenze poco accentuate, all'interno dei rilievi alpini, pre-alpini e morenici che si affacciano sulla pianura.	Alfisuoli	Luvicolsi	311, 018, 024, 036, 046, 047, 130, 134, 127, 133, 146, 150, 151, 152, 153, 161, 180, 215, 207, 394, 373, 380, 383, 401, 404, 411, 418	149.038,58 6,87
	Suoli poco evoluti, con un orizzonte di alterazione (cambico) più o meno strutturato a seconda del grado di pedogenesi. Sono diffusi sui versanti con pendenze medie ed elevate dei rilievi alpini. Sono spesso soggetti a fenomeni erosivi.	Inceptisuoli	Cambicolsi, Umbricolsi, Calcicolsi	312, 013, 014, 016, 017, 028, 028, 032, 033, 041, 043, 048, 048, 051, 052, 063, 064, 396, 100, 101, 107, 108, 110, 115, 116, 118, 125, 126, 130, 131, 139, 148, 149, 158, 159, 160, 167, 184, 185, 179, 173, 287, 288, 289, 290, 291, 294, 299, 300, 302, 307, 309, 309, 370, 371, 376, 381, 383, 384, 386, 387, 388, 389, 392, 394, 395, 406, 408, 409, 412, 414, 418, 421, 427, 428, 438, 432, 455	581.272,44 23,29
	Suoli non evoluti all'interno dei quali non sono riconoscibili orizzonti di alterazione e i processi pedogenetici sono ad un grado iniziale. Sono tipici degli alti versanti alpini e delle pendenze accentuate. Sono spesso soggetti a fenomeni erosivi.	Entisuoli	Leptocicli, Rapicolsi, Calcicolsi	327, 028, 030, 031, 039, 042, 045, 390, 039, 098, 104, 105, 106, 111, 112, 118, 119, 129, 134, 155, 156, 157, 159, 167, 168, 169, 170, 282, 283, 285, 301, 303, 304, 305, 306, 309, 382, 391, 396, 397, 425, 426, 431	289.336,17 10,61
	Suoli scuri nell'orizzonte superficiale (epipedon mollico), per la presenza di abbondante sostanza organica. Sono situati su superfici relativamente poco pendenti e stabili, su litologie ricche di carbonati.	Molleuoli	Chernozemi, Phaeozemi	397, 093, 183, 296, 296, 360, 407	27.481,87 1,08
	Suoli acidi, estremamente liscivati negli orizzonti superficiali. In profondità mostrano un orizzonte bruno-rossastro (spodic) di accumulo di complessi ferro-humici. Sono posti in aree ad elevata piovosità e su morfologie non acclivi.	Spodosuoli	Podzolsi	102, 171, 268, 406, 413	33.106,67 1,30
Superfici prive di suolo (roccie, platee, ghiacciai e nevi)					

Legenda della "Carta dei suoli" a scala 1:250.000.

Caratteri stazionali

Comprendono, oltre alla località nella quale è stata descritta l'osservazione, la tipologia di osservazione, un codice identificativo, le coordinate geografiche, data e ora di rilievo, i rilevatori che hanno descritto l'osservazione,

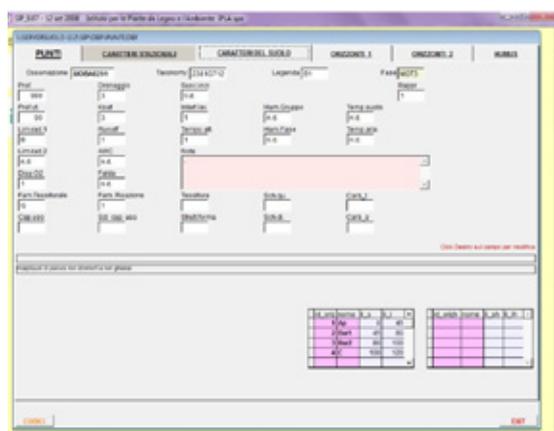
pendenza, quota ed esposizione del punto di osservazione, la tipologia del parent material e la litologia prevalente, la morfologia del paesaggio, pietrosità e rocciosità superficiale, uso del suolo e tipologie vegetazionali, evidenze di erosione, gestione delle acque per l'irrigazione e evidenze di inondabilità.



La schermata relativa ai caratteri stazionali

Caratteri del suolo

All'interno di questa sezione sono descritti i seguenti aspetti: profondità e profondità utile del suolo, limiti all'approfondimento radicale, drenaggio, permeabilità e disponibilità di ossigeno, rischio di run-off, viene stimata l'AWC (Available Water Capacity), profondità della falda (se conosciuta), la suscettibilità all'incrostamento e la lavorabilità.



La schermata relativa ai caratteri del suolo

Caratteri degli orizzonti

Sia per gli orizzonti humiferi forestali sia per gli orizzonti minerali ed organici vengono descritti i seguenti parametri: limite superiore e inferiore, tipo di limite tra gli orizzonti, grado di umidità, colore principale e secondario, colore delle facce degli aggregati, tipologia, colore e dimensione delle screziature (i colori sono codificati tramite le Tavole Munsell), stima della tessitura e dello scheletro, struttura, porosità, quantità di radici e loro dimensioni, radicabilità, resistenza,

cementazione, adesività e plasticità, presenza di carbonati tramite la prova con HCl, presenza di concentrazioni e di pellicole e loro tipologia. Ad ogni orizzonte è infine attribuito un codice che identifica la tipologia dell'orizzonte secondo quanto stabilito dall'USDA.

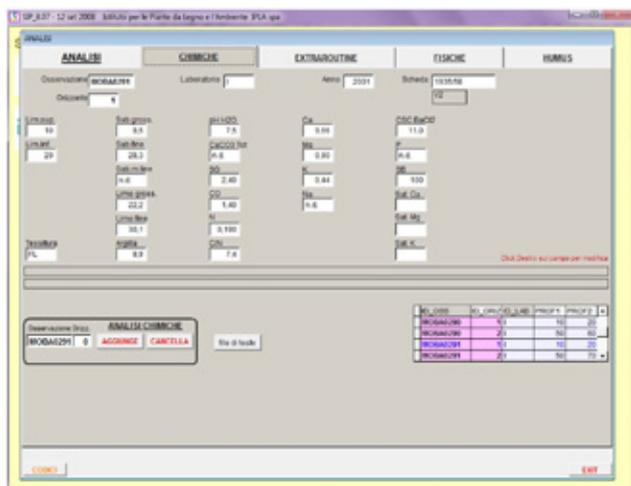
Analisi fisico-chimiche

Le analisi che vengono effettuate di routine sono quelle classiche. La tessitura nelle 5 (o 6) frazioni: sabbia grossa, sabbia fine, (sabbia molto fine), limo grossolano, limo fine e argilla, il pH in acqua, il calcare totale percentuale (CaCO₃%), il carbonio organico (C org%), l'azoto totale (N%), calcio (Ca), magnesio (Mg) e potassio (K), Capacità di Scambio Cationico (CSC espressa in meq/100g) e fosforo assimilabile (P ass). Solo su un numero molto più ridotto di campioni sono disponibili analisi extra-routine come ad esempio il pH in KCl, il calcare attivo (CaCO₃ att. %), il ferro (Fe) nelle sue diverse forme, l'alluminio (Al) e l'idrogeno (H).



La schermata relativa ai caratteri degli orizzonti

I dati puntuali sono collegati ai file geografici delle carte dei suoli alle scale di semi-dettaglio (1:50.000) e alla scala regionale di riconoscimento (1:250.000).



La schermata relativa alle analisi fisico-chimiche

Ogni cartografia è caratterizzata dalle Unità Cartografiche di Suolo (UCS) che circoscrivono con una o più delimitazioni un territorio relativamente uniforme per quanto riguarda la composizione pedologica. Ogni UCS contiene al suo interno una o più Unità Tipologiche di Suolo (UTS) che alla scala 1:50.000 sono costituite da Fase di Serie di Suolo (USDA) mentre a scala 1:250.000 da Sottogruppi di Suolo (USDA) suddivisi al loro interno per caratteristiche specifiche quali posizione nel paesaggio (pianura, collina o montagna), tessitura, reazione e presenza di scheletro.

La Carta dei suoli del Piemonte di cui si riporta il cartogramma e la legenda derivano dall'elaborazione di tutti i dati suddetti. E' da questo enorme patrimonio di conoscenze che per ognuna delle circa 440 Unità Cartografiche di

Suolo si è potuto elaborare i parametri specifici di interesse.

La legenda della carta dei suoli che viene di seguito riportata classifica le diverse tipologie pedologiche, raggruppandole secondo gli "Ordini" della Soil Taxonomy americana, suddividendo al contempo i suoli in tre differenti orografie principali: pianure e/o superfici pianeggianti, versanti collinari e versanti montani.

3.1.2 INDICE DI QUALITÀ DEL SUOLO (SQI)

L'indice di Qualità del Suolo rappresenta la sintesi di alcune conoscenze su caratteristiche e qualità fondamentali che influenzano direttamente la facilità con la quale avvengono (o possono avvenire) fenomeni di degradazione. Una qualità "Alta" indica suoli meno soggetti a fenomeni di degrado, mentre una qualità "Bassa" individua suoli che con maggiore facilità possono subire danni rilevanti.

L'Indice di Qualità del Suolo richiede la conoscenza di alcuni parametri per la sua elaborazione. In particolare la metodologia ESAs prevede i seguenti parametri:

- la roccia madre;
- la tessitura;
- la pietrosità;
- la profondità;
- il drenaggio;
- la pendenza,
- contenuto di carbonio organico

ID UNIT	CO	SCH TOP	CLASSE TXT	SABBIA	LIMO	ARGILLA	DRENAGGIO	PROF UT
00001	1,15	0	FL	37,0	52,0	11,0	4	83
00002	1,16	0	F	42,4	43,7	13,9	4	77
00003	1,92	0	F	35,0	48,0	17,0	4	70
00004	1,13	15	FS	55,9	38,1	8,0	2	72
00005	0,64	5	FS	50,6	42,5	7,0	3	93
00006	1,85	10	FS	53,9	37,3	8,8	4	65
00007	1,69	0	F	43,3	49,1	7,6	3	105
00008	1,02	10	FS	58,2	40,2	1,7	1	70
00009	1,73	5	FS	68,0	25,9	6,1	3	80
00010	1,75	0	F	43,7	46,1	10,2	4	83
00011	2,38	5	F	47,0	40,0	13,0	4	80
00012	3,53	10	FS	63,5	27,1	9,4	3	110
00013	6,33	15	FS	69,3	25,6	5,1	2	70
00014	2,29	5	FS	55,1	34,1	10,8	3	70
00016	7,32	10	FS	69,2	29,2	1,6	2	50
00017	2,49	10	FS	64,0	28,0	8,0	2	91
00018	4,06	10	F	47,7	44,6	7,7	3	118
00019	2,02	0	F	40,3	43,2	16,6	3	120
00020	0,98	0	FL	37,8	50,7	11,4	3	107

Tabella 1. Estratto dei dati riferiti alle Unità Cartografiche della Carta dei Suoli a scala 1:250.000.

Tutte le elaborazioni che sono di seguito descritte, sono state svolte a partite dagli oltre 10.000 dati presenti negli archivi del Sistema Informativo Pedologico (SIP) dell'IPLA S.p.A. e dai dati della Carta dei Suoli del Piemonte a scala 1:250.000 (consultabile sul sito della

Regione al seguente indirizzo internet:

[Http://www.regione.piemonte.it/agri/suoli_terreni/suoli1_250/carta_suoli.htm](http://www.regione.piemonte.it/agri/suoli_terreni/suoli1_250/carta_suoli.htm))

Si sottolinea peraltro che la scala 1:250.000 corrisponde alla scala di riferimento richiamata nella normativa per la redazione delle carte sul rischio di desertificazione.

Roccia madre

Molte delle caratteristiche di un suolo derivano dalle proprietà chimiche e fisiche del substrato litologico (roccia madre) da cui trae origine. Suoli originatisi su substrati litologici differenti reagiscono in maniera differente ai fenomeni erosivi e portano a gradi differenti di desertificazione.

pedologico, in particolare la capacità di ritenzione idrica, l'erosibilità, la stabilità degli aggregati e la formazione di croste superficiali. Per esempio i suoli a tessitura sabbiosa tendono a essere più sensibili alla siccità di quelli argillosi perché riescono a trattenere meno acqua e questa viene assorbita dalla vegetazione con maggiore rapidità.

L'elaborazione effettuata nell'ambito della presente ricerca ha preso in considerazione solo i primi 30 cm di suolo (detto "topsoil") in quanto ritenuto sicuramente di maggior interesse ai fini del rischio di desertificazione. Rispetto alla tessitura sono stati considerati circa 3000 profili che riportano, archiviata in banca dati, l'analisi della tessitura. La selezione di questi punti e la loro univoca attribuzione ad una delle oltre 400

Classe	Roccia madre	Indice
1	Depositi alluvionali a prevalenti ghiaie sabbie limi.	2.0
2	Depositi morenici a blocchi ghiaie sabbie limi.	1.0
3	Banchi e livelli argillosi con sabbie da fini a grossolane.	1.4
4	Sabbie da fini a medie localmente con banchi e lenti isolate di arenarie.	1.4
5	Argille e marne argillose, marne con locali intercalazioni di conglomerati.	2.0
6	Strati di marne con interstratificazioni ritmiche di sabbie e arenarie.	2.0
7	Siltiti marnose; subordinate intercalazioni arenacee e lenti conglomeratiche.	2.0
8	Arenarie e conglomerati in potenti bancate con livelli marnosi e arenaceo marnosi.	1.4
9	Alternanze di argille, marne, calcari complessi componente argillosa prevalente.	1.4
10	Serpentiniti, lherzoliti, anfiboliti, prasiniti, metagabbri.	1.0
11	Calcescisti con intercalazioni filladiche e lenti di calcari cristallini e di prasiniti.	1.0
12	Dolomie e calcari microcristallini, calcari dolomitici, brecce calcaree.	1.4
13	Gneiss minuti, micascisti, scisti filladici, scisti porfiroidi, quarzitoscisti.	1.4
14	Gneiss occhiadini per lo più massicci, gneiss migmatitici.	1.4
15	Graniti, sieniti, dioriti, migmatiti granitiche, gabbrodioriti, porfiriti, ignimbriti riolitiche.	1.4

Tabella 2. Tipi di roccia madre e corrispondente indice di desertificazione.

Le informazioni sulle unità litologiche presenti nel territorio regionale sono state ottenute dalla carta delle Unità Litologiche 1:100.000, redatta dalla Regione Piemonte - Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione - Settore Studi e Ricerche Geologiche - Sistema Informativo Prevenzione Rischi.

Tessitura

Le caratteristiche tessiturali di un suolo risultano essere di fondamentale importanza per la definizione di alcuni aspetti fisici del sistema

Unità cartografiche della carta dei suoli a scala 1:250.000, ha consentito di individuare una tessitura media di ciascuna unità. (Figura 4).

Oltre alla classe tessiturale (riferita al triangolo proposto dallo United States Department of Agriculture - USDA), (Fig. 5) per riuscire a differenziare maggiormente le diverse Unità cartografiche, sono state individuate, per le tre principali classi granulometriche della terra fine (sabbia, limo e argilla), delle percentuali di riferimento da utilizzare nelle elaborazioni successive.

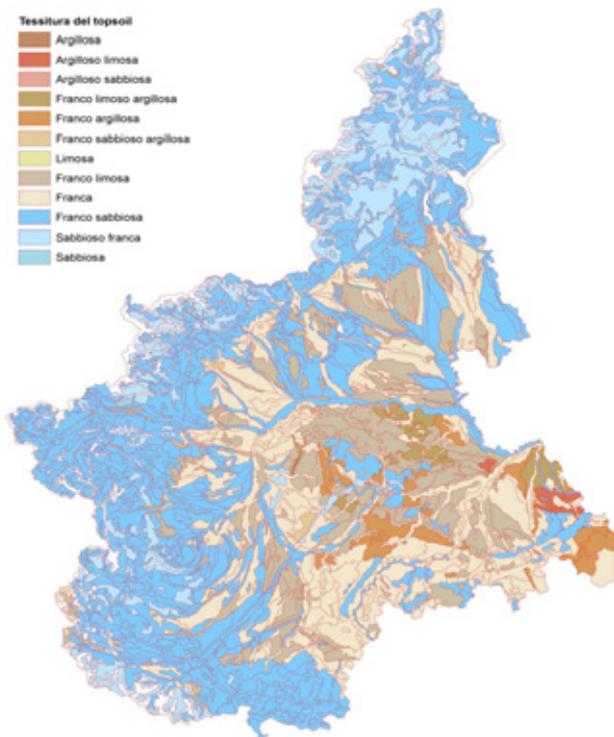


Figura 4. Carta della Tessitura del Topsoil

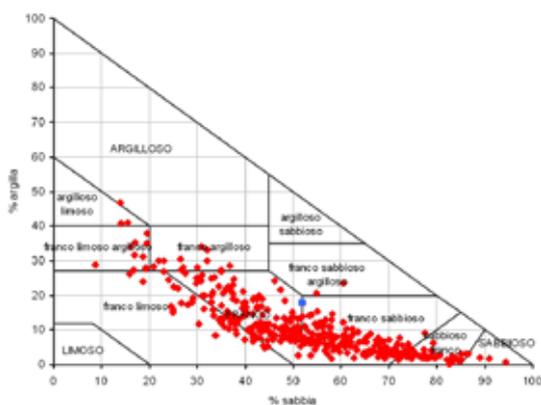


Figura 5. Distribuzione dei punti, riferiti alle analisi del topsoil dei profili, sul triangolo tessiturale USDA.

Le classi tessiturali del suolo state riclassificate, ai fini di valutare il rischio di desertificazione in relazione alla loro capacità di trattenere acqua per lo sviluppo vegetale e di resistere ai processi erosivi come illustrato dalla tabella 3.

Classe	Classe tessiturale	Indice
1	F, FSA, FS, SF, FA	1.0
2	SA, FL, FLA	1.2
3	L, A, AL	1.6
4	S	2.0

Tabella 3. Classi tessiturali e rispettivi valori dell'indice di desertificazione

Scheletro

Lo scheletro rappresenta la frazione minerale del suolo con granulometria superiore a 2 mm. Se in un suolo è presente un'elevata percentuale di scheletro questo sarà rustico, di difficile lavorazione, con valori di permeabilità direttamente proporzionali alla percentuale di scheletro e potenziali di stock idrico ragionevolmente diminuiti in funzione del volume occupato dagli elementi lapidei. Lo stesso accrescimento della vegetazione, in condizioni di elevata pietrosità può trovare un ostacolo piuttosto marcato.

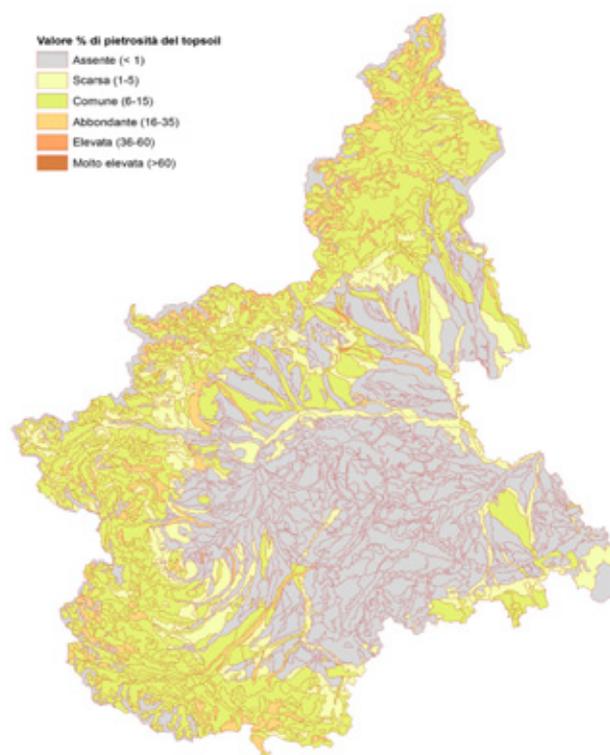


Figura 6. Carta della Pietrosità del Topsoil

La percentuale di scheletro (pietrosità) in volume è un dato che è stato valutato dai rilevatori direttamente in campagna in fase di indagine pedologica. Per quanto riguarda l'elaborazione di questo parametro, oltre ai dati dei profili pedologici sono stati utilizzati anche i dati delle trivellate e le valutazioni sulla percentuale di copertura dello scheletro sulla superficie del suolo (dato anche questo presente nella banca dati pedologica). Analogamente a quanto effettuato per la tessitura, anche in questo caso si è prodotto un dato medio attribuito a ciascuna Unità cartografica della Carta dei suoli del Piemonte a scala 1:250.000 (Figura 6).

A differenza della tessitura, derivata dalle analisi effettuate nei laboratori dell'IPLAS.p.A., in questo caso si deve tenere conto che rilevatori diversi in anni diversi possono aver dato valutazioni relativamente differenti su un parametro non sempre facile da stimare.

Per contro tuttavia si deve tenere in considerazione l'elevatissimo numero di osservazioni che riducono al minimo l'influenza di eventuali errori di valutazione.

Classe	Pietrosità (%)	Indice
1	> 15	1.0
2	5 - 15	1.3
3	< 5	2.0

Tabella 4. Classificazione della pietrosità e rispettivo indice di desertificazione

Drenaggio

Nella metodologia originale di calcolo dell'ESAI viene considerata la capacità di drenaggio in quanto, in ambiente mediterraneo, può considerarsi uno dei fattori chiave nella regolazione dei processi di salinizzazione, i quali, oltre a provocare radicali cambiamenti nel bilancio idrico del suolo, creano una situazione sfavorevole alla crescita della vegetazione e, di conseguenza, anche alle colture agrarie.

La capacità di drenaggio di un suolo, legata direttamente a numerosi parametri fisici del suolo stesso (ma non solo) che vanno dalla tessitura alla struttura, alla frequenza e alla durata dei periodi

di saturazione, può essere ragionevolmente valutata grazie alla presenza/assenza di caratteri idromorfi negli orizzonti pedologici (colori grigi conseguenti alla presenza di ferro allo stato ridotto).

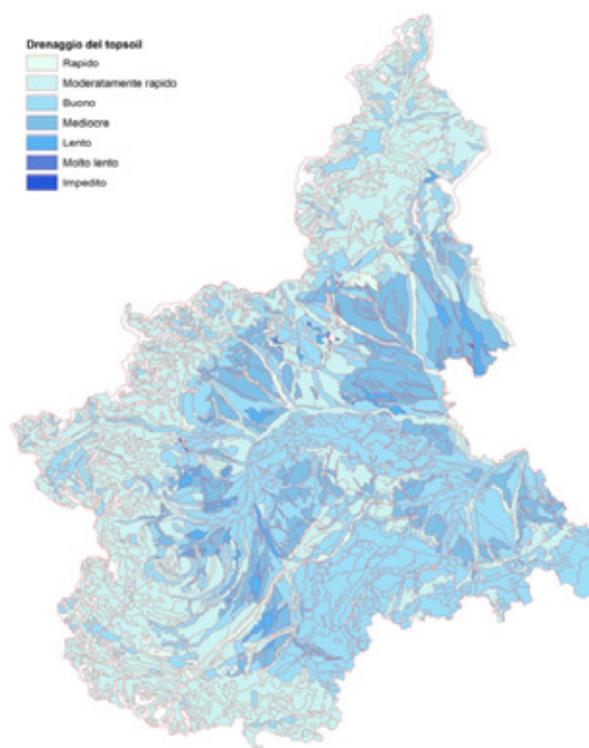


Figura 7. Carta del Drenaggio

Nella realtà piemontese l'accumulo di sali può ancora essere considerato un fenomeno che non desta preoccupazione, quindi, il ruolo svolto dal drenaggio, è stato rivisto considerando che un suolo poco drenante ostacola i processi di infiltrazione verso gli orizzonti profondi del suolo, contribuendo, durante eventi piovosi particolarmente intensi, alla formazione di ruscellamento superficiale. Inoltre un suolo molto poco drenante è più facilmente soggetto a fenomeni di idromorfia che condizionano negativamente lo sviluppo della vegetazione o può essere interessato da processi erosivi in presenza di pendenze più o meno accentuate.

Le sette classi di drenaggio proposte dalla cartografia a disposizione sono state quindi riclassificate come riassunto dalla seguente tabella 5.



L'incrocio con la Carta dei Suoli regionale a scala 1:250.000, analogamente a quanto effettuato per tessitura e pietrosità, ha consentito di evidenziare la classe di drenaggio e permeabilità prevalente per ognuna delle Unità cartografiche (Figura 7).

Classe	Classi di drenaggio	Indice
1	Rapido, moderatamente rapido	1.0
2	Buono, mediocre	1.2
3	Lento, molto lento, impedito	2.0

Tabella 5. Classi di drenaggio e relativo indice di desertificazione

Profondità utile

All'interno della metodologia ESAs si parla genericamente di profondità del suolo. In questo caso si è ritenuto più opportuno elaborare il dato di profondità utile del suolo, intesa come la profondità alla quale possono scendere senza particolari limitazioni gli apparati radicali delle piante. Si assume come orizzonte limitante l'approfondimento radicale quello che presenta una radicabilità (percentuale di volume esplorabile dalle radici) minore o uguale al 30%. Tale scelta è stata attuata in considerazione del fatto che quando si parla di degrado del suolo si intende in larga misura una diminuzione della capacità dello stesso di sostenere una adeguata copertura vegetale o produzioni agro-silvo-pastorali.

L'assegnazione di una profondità utile media ad ogni Unità cartografica ha richiesto elaborazioni



più complesse rispetto a quelle sino ad ora descritte. In questo caso infatti il dato non è presente in tutte le osservazioni della banca dati ma solo in alcune migliaia di esse, concentrate peraltro nelle aree di rilevamento degli ultimi 10-15 anni.

Prima di tale periodo, infatti, questo dato non veniva sistematicamente valorizzato.

Per tale motivo, al fine di raggiungere il risultato richiesto, è stato necessario procedere parallelamente con diverse elaborazioni: da una parte selezionando le osservazioni con il dato direttamente rilevato e conseguentemente assegnato alle Unità cartografiche, estendendolo alle aree prive di rilievi diretti.

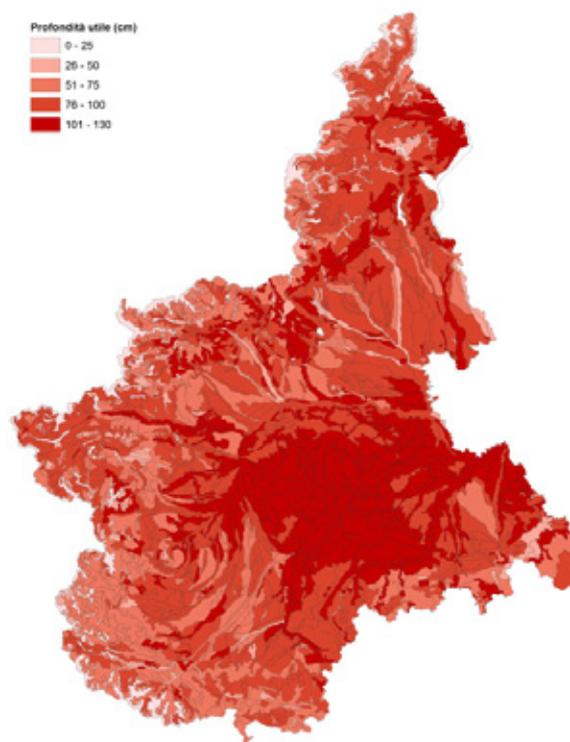
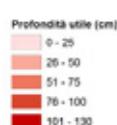


Figura 8. Carta della Profondità utile.

I due approcci sono stati infine corretti nelle Unità cartografiche che evidentemente mostravano dati non conformi alle conoscenze attuali dei suoli (Figura 8).

Classe	Profondità (cm)	Indice
1	> 100	1.0
2	75 - 100	1.2
3	51 - 75	1.6
4	< 50	2.0

Tabella 6. Classi di profondità utile del suolo e relativo indice di desertificazione

Pendenza

La pendenza è, tra le variabili morfologiche, quella che ha una relazione più diretta non solo con i fenomeni idrologici ma anche con la stabilità dei versanti ed il tipo di vegetazione. Al crescere della pendenza il deflusso dell'acqua è più rapido e aumenta la capacità erosiva e la probabilità del verificarsi di dissesti lungo i versanti.

La carta delle pendenze è stata ricavata attraverso l'elaborazione del Data Elevation Model (DEM). Le classi di pendenza che definiscono le diverse classi del relativo indice di desertificazione sono state modificate rispetto alla metodologia originale. Tale modifica è stata apportata in modo da considerare classi di pendenza standard che trovano ampio riscontro in letteratura.

Classe	Pendenza (%)	Indice
1	< 5	1.0
2	6 - 20	1.2
3	21 - 40	1.5
4	41 - 60	1.7
5	> 60	2.0

Tabella 7. Classificazione della pendenza e relativo indice di desertificazione

Contenuto di carbonio organico

I dati relativi al carbonio organico, disponibili alla scala 1:250.000 per l'intero territorio regionale,

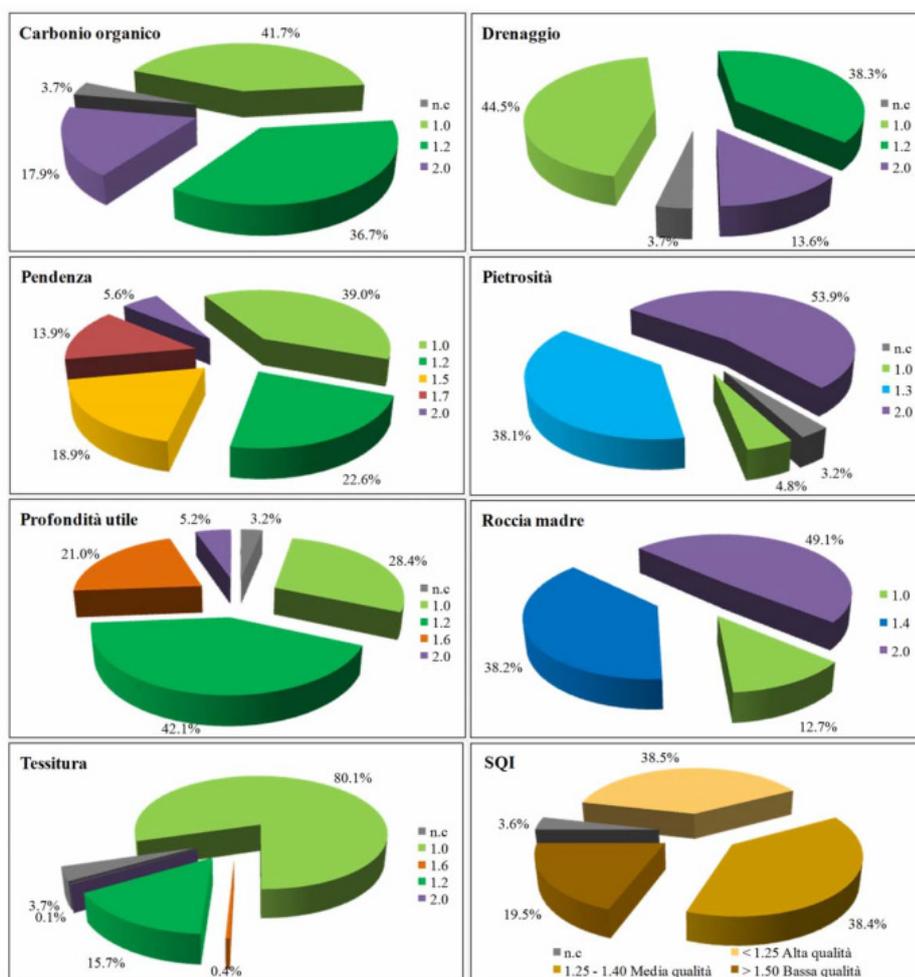


Figura 9. Suddivisione del territorio regionale rispetto all'indice di qualità del suolo (SQI) ed alle componenti che concorrono alla sua elaborazione.

sia in percentuale che in peso per ettaro, sono stati recentemente acquisiti nell'ambito di un progetto regionale che aveva l'obiettivo di individuare l'attuale capacità dei suoli piemontesi di trattenere il carbonio in forma organica. I dati, relativi al cosiddetto topsoil (i primi 30 centimetri di suolo), hanno indubbiamente una valenza centrale rispetto a tutti gli aspetti legati alla capacità dei suoli di trattenere l'acqua e, relativamente al rischio di degrado o degrado attuale, a quelli connessi alla fertilità del suolo, intesa come capacità di fornire adeguato sostentamento alle colture in termini di disponibilità di elementi nutritivi.

Va ricordato che l'utilizzo del quantitativo di carbonio organico nei suoli non è espressamente ed esplicitamente previsto nel calcolo dell'Indice di Qualità del Suolo. Ciononostante si è ritenuto che fosse elemento centrale per l'interpretazione



della variabile suolo, in particolar modo rispetto alle evidenze o i rischi di degrado o, addirittura, di desertificazione.

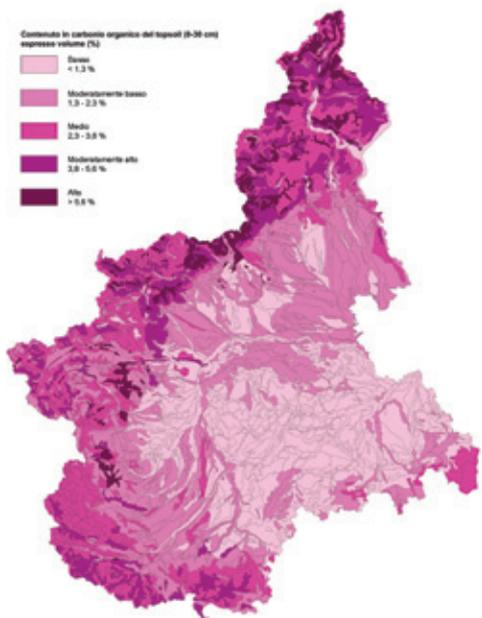


Figura 10. Carta del contenuto in Carbonio Organico.

Il contenuto di carbonio organico del suolo è in gran parte compreso fra i costituenti della frazione solida ed è di prevalente origine biologica. La sua influenza si manifesta in particolare nella struttura del suolo oltre che sulla capacità di scambio cationico, sulla porosità e sulle proprietà di ritenzione idrica, contribuendo significativamente a migliorare la fertilità di un terreno.

Come risultato un suolo ricco di carbonio organico ha una maggiore resistenza alla compattazione e una propensione all'erodibilità inferiore. Infine un elevato quantitativo di sostanza organica favorisce le condizioni ottimali per lo sviluppo e la funzione attiva della biomassa vegetale.

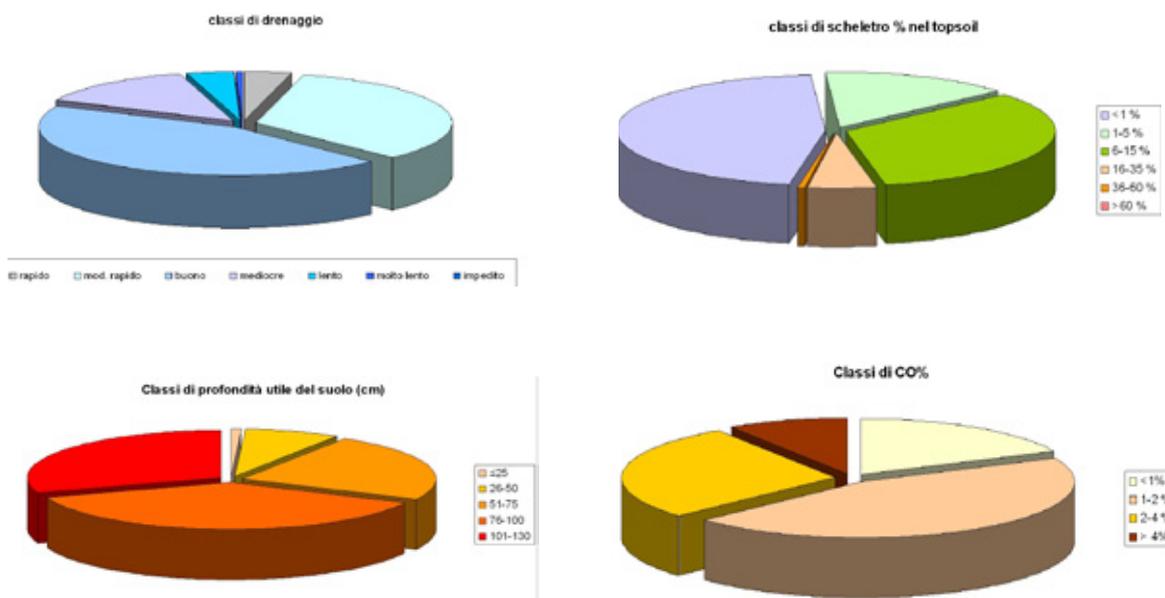
Classe	Carbonio organico (%)	Indice
1	< 0,01	1.0
2	0,01 - 0,025	1.2
3	> 0,025	2.0

Tabella 8. Contenuto di carbonio organico nel suolo e relativo valore dell'indice di desertificazione

L'elaborazione dell'Indice di Qualità del suolo

Attraverso le elaborazioni riguardanti i parametri sopra descritti è stato possibile procedere al calcolo dell'Indice di Qualità del Suolo (SQI).

Il processo di calcolo e la successiva restituzione cartografica dell'indice è stato sviluppato dal DEIAFA in collaborazione con i pedologi dell'IPLA S.p.A.



3.1.3 INDICE DI QUALITÀ DEL CLIMA (CQI)

Il calcolo dell'Indice di Qualità del Clima si basa sulla combinazione di due diversi parametri:

- il cumulato semestrale di precipitazioni;
- l'Indice di Aridità.

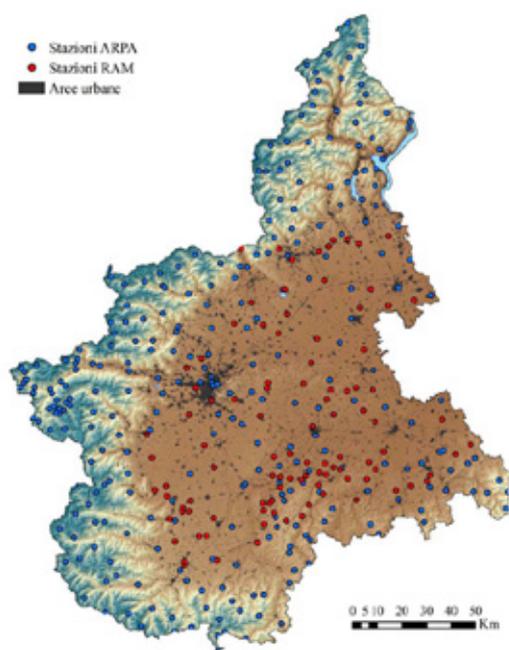


Figura 12. Distribuzione delle stazioni meteorologiche all'interno del territorio regionale

I dati meteorologici utilizzati per il calcolo CQI fanno riferimento ad un arco temporale di 18 anni, dal 1990 al 2007 e sono costituiti dalle serie giornaliere (dal 1990 al 2007) di dati di pioggia, temperatura e velocità del vento fornite dalla rete di stazioni meteorologiche gestite da Arpa Piemonte e quelle della Rete Agrometeorologica Regionale, per un totale di 400 stazioni. Infatti l'Indice di Aridità è stato calcolato con un modello di calcolo dell'umidità del suolo su base pentadica. La figura 12 illustra la distribuzione delle stazioni meteo utilizzate, appartenenti alle reti di misura gestite dalla RAM (Rete Agrometeorologica Regionale) e dall'ARPA Piemonte. Il grafico riprodotto nella figura 11 mostra la lunghezza delle serie di dati di temperatura.

Elaborazione dei dati meteo

Prima di passare alla successiva fase di spazializzazione delle variabili meteorologiche, i dati delle singole stazioni sono stati sottoposti a una prima elaborazione al fine di individuare, ed eliminare, eventuali dati anomali (*outliers*) e quindi a una procedura di ricostruzione dei dati mancanti nelle serie delle singole stazioni mediante regressione lineare in modo da ottenere un database climatico quanto più completo possibile. La fase di pre-processamento e ricostruzione delle serie di dati contenuti nel database meteorologico è stata elaborata in ambiente MATLAB.

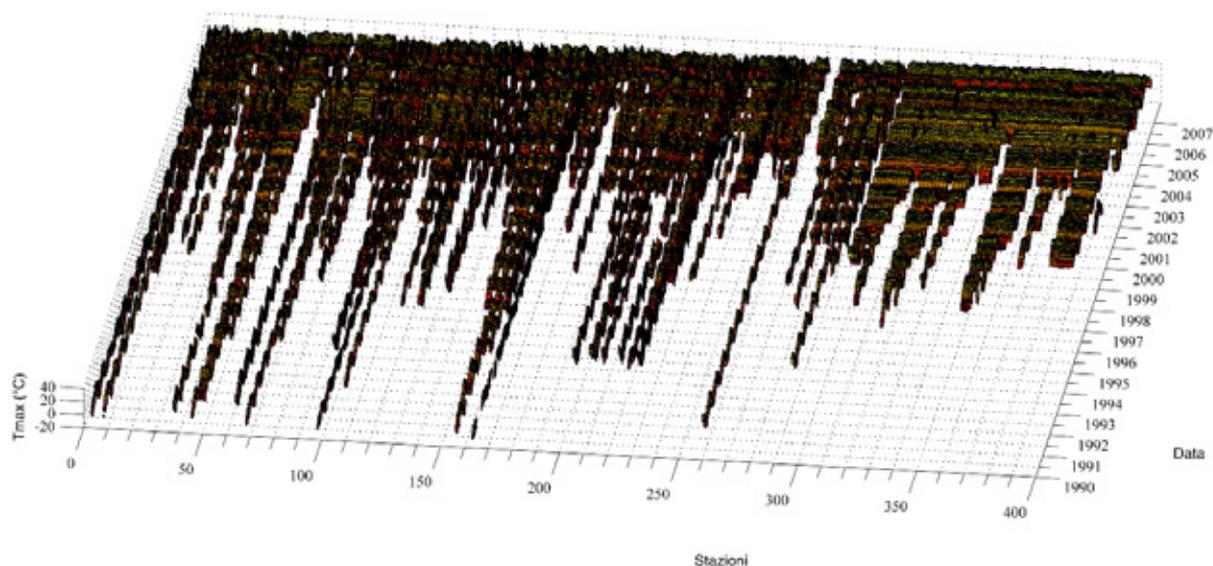


Figura 11. Lunghezza delle serie di temperatura massima lungo l'arco temporale considerato.

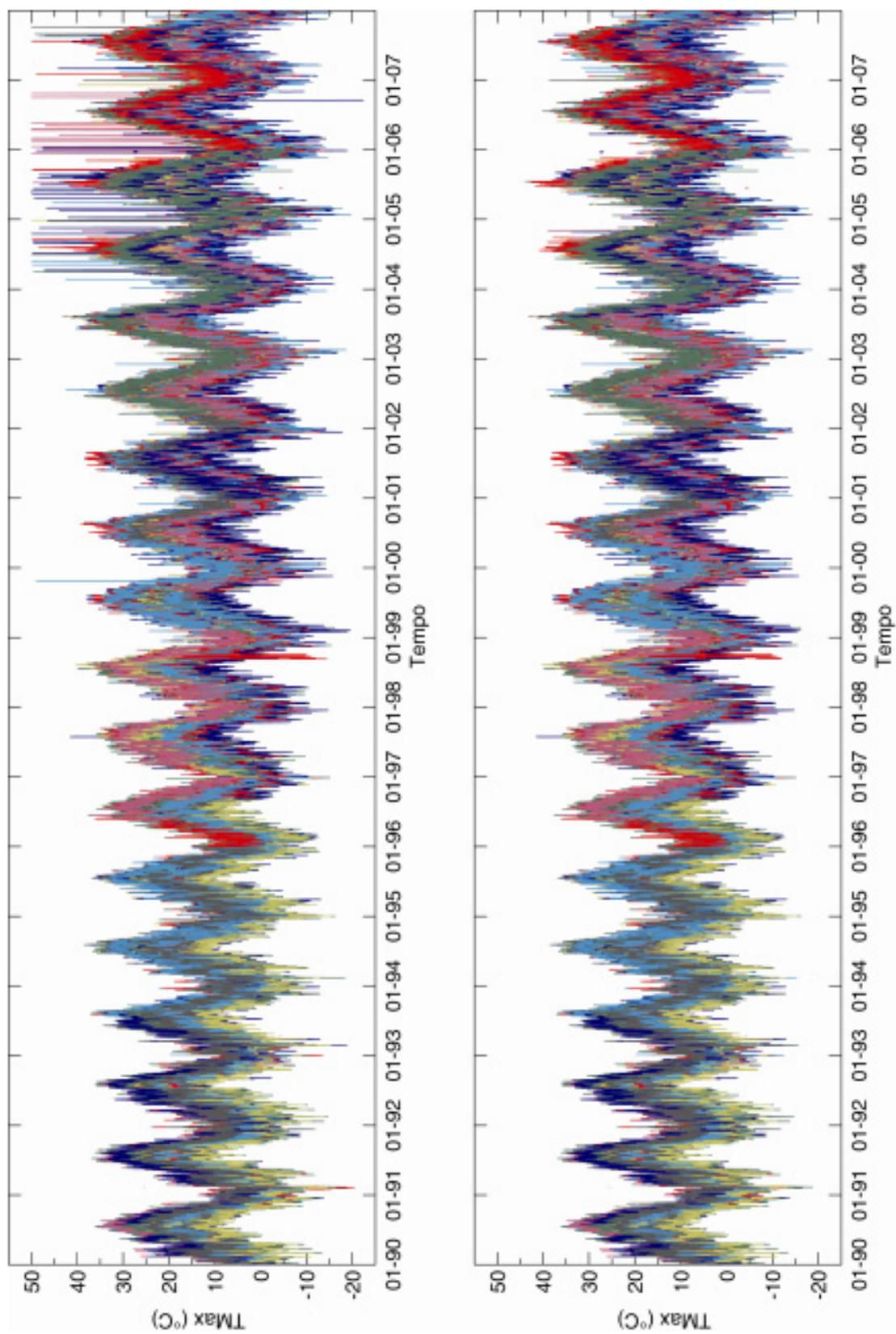


Figura 13. Dati di temperatura massima prima e dopo la procedura di rimozione degli outliers.

Una delle tecniche più comuni per l'individuazione degli outliers consiste nel considerare quei dati che differiscono dalla media del campione (\bar{X}) per più di 3 volte la deviazione standard (s).

$$\begin{aligned} x &> \bar{X} + 3s \\ x &< \bar{X} - 3s \end{aligned} \quad (1)$$

Tuttavia la media e la deviazione standard di un campione sono significativamente influenzate dalla presenza di *outliers*, per questo motivo è preferibile sostituirle con dei parametri che non siano influenzati dalla presenza di *outliers* (resistenti) e dal tipo di distribuzione dei dati (robusti).

Per la fase di rimozione degli outliers è stato impiegato il *biweight method* proposto da Hoaglin et al. (1983), un metodo statistico non parametrico, cioè indipendente dal tipo di distribuzione dei dati analizzati (Siegel e Castellan, 1988). Questo metodo prevede di sostituire la media e la deviazione standard nella formula precedente con delle varianti "bipesate" \bar{X}_{bi} e s_{bi} .

In primo luogo per ogni serie di dati vengono calcolate la mediana (M) e la deviazione mediana assoluta (MAD), la quale rappresenta la mediana dei valori assoluti degli scarti dei dati dalla mediana.

$$MAD = M(|x_i - M|) \quad (2)$$

Per ogni dato x_i viene poi calcolato un peso u_i , calcolato secondo la seguente formula:

$$u_i = \frac{x_i - M}{c \cdot MAD} \quad (3)$$

Dove c è un parametro che controlla la distanza dal centro della distribuzione: Hoaglin et al. (1983) raccomandano di usare un valore di c compreso tra 6 e 9. Tutti i dati della serie con $|u_i| \geq 1$ vengono esclusi dal successivo calcolo di \bar{X}_{bi} e s_{bi}

$$\bar{X}_{bi} = M + \left\{ \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - M)(1 - u_i^2)^2 \right]}{\sum_{i=1}^n (1 - u_i^2)^2} \right\} \quad (4)$$

$$s_{bi} = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2 (1 - u_i^2)^4 \right]^{0.5}}{\left| \sum_{i=1}^n (1 - u_i^2)(1 - 5u_i^2) \right|} \quad (5)$$

Spazializzazione dei dati meteorologici

La generazione di mappe che descrivano la distribuzione spazializzata di una grandezza misurata in un numero finito di punti sparsi sul territorio rappresenta un problema ricorrente in numerose discipline, in particolar modo nelle scienze agrarie e forestali.

Dopo un'analisi delle differenti tecniche di interpolazione disponibili nei pacchetti software di geostatistica si è scelto di utilizzare per le precipitazioni e la velocità del vento, è stato impiegato il metodo delle spline, mentre per le temperature il metodo della regressione multivariata.

Spline

Le spline sono funzioni interpolanti costituite da un insieme di polinomi raccordati tra loro utilizzati per interpolare una serie di punti in modo continuo. Esse sono costituite da polinomi continui "a tratti". Una dettagliata descrizione del metodo di interpolazione tramite le spline è stata trattata da Wahba (1990). L'applicazione di tale metodo alla spazializzazione dei dati meteorologici è stata oggetto di studio da parte di numerosi autori: Hutchinson (1991), Gu and Wahba (1993) e Mitasova and Mitas (1993). Le spline hanno la caratteristica di essere di relativamente facile implementazione in quanto non richiedono di essere calibrate in funzione della struttura spaziale della covarianza dei dati, come avviene nel caso dei metodi basati sul Kriging, per la cui applicazione è richiesta la calibrazione di un semivariogramma (Cressie 1991; Wackernagel 1995).

Nella sua formulazione classica questo metodo di interpolazione impone che la superficie interpolata rispetti le seguenti condizioni:

- la superficie interpolata assume il valore dei punti di misura in corrispondenza degli stessi (interpolatore esatto)

- la superficie interpolata deve avere curvatura minima

La superficie interpolante viene calcolata attraverso la seguente formula:

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j) \quad (6)$$

Dove: $j(1 \dots N)$ è il numero di punti da interpolare; λ_j sono i coefficienti ottenuti dalla soluzione di un sistema di equazioni lineari; r_j è la distanza tra un punto con coordinate (x, y) e il j -esimo punto.

$T(x, y)$ e $R(r)$ sono definiti dalle seguenti formule:

$$T(x, y) = a_1 + a_2x + a_3y \quad (7)$$

$$R(r) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \begin{aligned} &\frac{r^2}{4} \left[\ln\left(\frac{r}{2\tau}\right) + c - 1 \right] + \\ &\tau^2 \left[K_0\left(\frac{r}{\tau}\right) + c + \ln\left(\frac{r}{2\pi}\right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Dove è τ è un parametro di *smoothing*; r è la distanza tra il punto misurato e quello da interpolare; K_0 rappresenta la funzione di Bessel modificata; $c = 0.577215$; a_i rappresenta i coefficienti ricavati dalla risoluzione del sistema di equazioni lineari.

Regressione multivariata

Per ciò che concerne le temperature massime e minime è stato utilizzato un metodo basato sulla regressione multivariata.

Tale tecnica permette di relazionare il valore di una variabile a diverse variabili territoriali: quota, radiazione solare cumulata annua, pendenza dei versanti, dislivello rispetto al fondovalle più

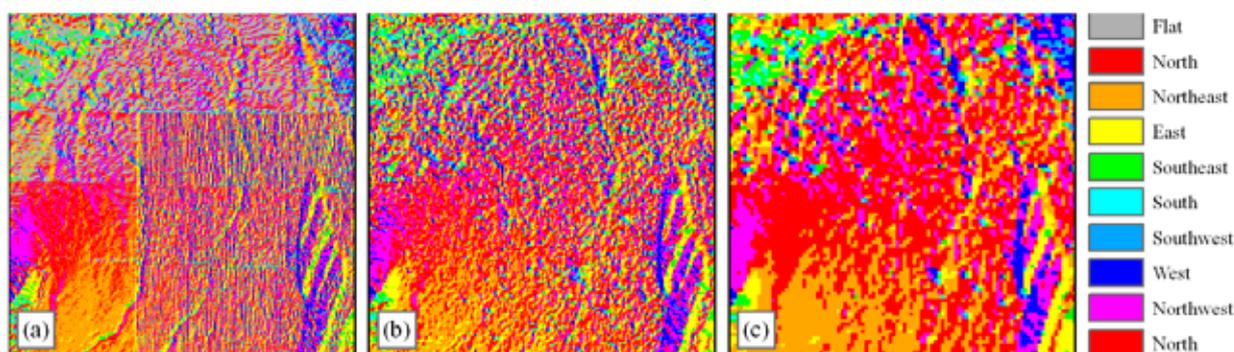


Figura 14. Esposizione dei versanti calcolata utilizzando diversi DEM: (a) DEM Regione Piemonte (50 m), (b) SRTM DEM (90 m), and (c) SRTM DEM ricampionato (250 m).

vicino e la biopotenzialità territoriale (*BTC*). La *BTC* è un parametro classifica gli ecosistemi in base alla loro produttività e complessità. Per ogni stazione di misura sono stati definiti i valori relativi tali 5 variabili, che sono stati utilizzati per la calibrazione dell'algorithm interpolatore secondo un'equazione del tipo:

$$T = a \cdot Q + b \cdot Rad + c \cdot Pen + d \cdot Q_f + e \cdot BTC + T_0 \quad (9)$$

Dove Q è la quota altimetrica (metri); Rad è la radiazione solare cumulata annua ($MJ/m^2/$ anno); Pen è la pendenza dei versanti (gradi); Q_f rappresenta l'elevazione rispetto al fondovalle più vicino (metri); BTC è la biopotenzialità territoriale ($Mcal/ m^2/$ anno); T_0 è il dato di temperatura noto.

Molte delle variabili territoriali usate nella regressione multivariata (Q , Rad , Pen , Q_f) sono state elaborate a partire dal DEM SRTM utilizzando le funzionalità offerte dai GIS, mentre la procedura di interpolazione è stata sviluppata ed implementata in ambiente di programmazione IDL (Interactive Data Language), in collaborazione con l'Ing. E. Borgogno della Sezione di Topografia del DEIAFA.

Modello digitale del terreno

Le informazioni relative alla morfologia del territorio (quota, radiazione solare, pendenza) sono state ottenute attraverso l'elaborazione del DEM SRTM (Shuttle Radar Topography Mission),

in particolare la radiazione solare è stata elaborata attraverso un modello matematico implementato in ambiente GIS che verrà descritto in dettaglio in seguito. Questo DEM, è stato realizzato dalla NASA nell'ambito di un progetto internazionale avente l'obiettivo di creare un database il più completo possibile della superficie terrestre (Farr et al., 2007). Tale DEM è stato realizzato impiegando la tecnica dell'interferometria radar, la quale, consente di calcolare la quota del terreno partendo da due immagini radar prese da due angolazioni leggermente diverse. La tabella 9 riassume alcune specifiche relative all'accuratezza del DEM.

Caratteristica	(m)
Errore assoluto di posizione	8.8
Errore assoluto altimetrico	6.2
Risoluzione	90 x 90

Tabella 9 Caratteristiche di accuratezza del DEM SRTM.

Al fine di attenuare l'effetto delle piccole variazioni di pendenza, proprie delle zone di fondovalle, più connesse all'accuratezza del DEM che non a effettive diversità morfologiche del terreno, si è proceduto ad un sottocampionamento dei dati di input da 90 m a 250 m (Fig. 14).

Radiazione solare

La radiazione solare è stata stimata a partire dal DEM mediante un modello in ambiente GIS che sfrutta l'algoritmo descritto da Rich et al. (1994) e successivamente sviluppato da Fu e Rich (2000, 2002). Il modello considera la latitudine, la quota, l'esposizione, l'ombreggiamento causato dalla topografia del terreno circostante, l'angolazione dei raggi solari e l'attenuazione atmosferica, il calcolo di quest'ultima si basa sulla trasmissività atmosferica e l'altezza della massa d'aria.

Nel dettaglio il modello calcola, per ogni cella del DEM, un raster del suo campo visivo (*viewshed*) (Fig. 15), che è l'equivalente di una fotografia emisferica (*fish-eye*) (Rich 1989, 1990) e a partire da questo calcola la radiazione solare (MJ/m²) per ogni cella del DEM. Per ogni cella del raster del campo visivo vengono calcolati l'angolo azimutale (θ) e l'angolo zenitale (α).

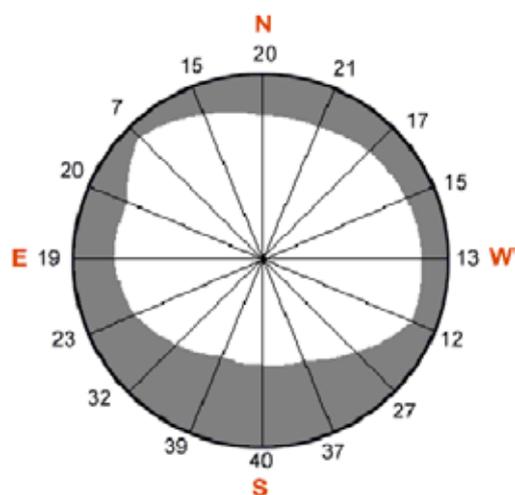


Figura 15. Esempio di campo visivo emisferico (*viewshed*) calcolato per una cella del DEM. I numeri indicano gli angoli a cui si trova l'orizzonte. Le parti in grigio rappresentano la porzione del campo visivo coperta dal territorio circostante.

La radiazione diretta viene modellata attraverso un raster (*sunmap*) contenente la posizione apparente del sole durante l'anno all'interno del campo visivo (Fig. 16). La posizione del sole (θ , α) è calcolata in base alla latitudine e alla data (giorno e ora) utilizzando comuni formule astronomiche (Gates 1980).

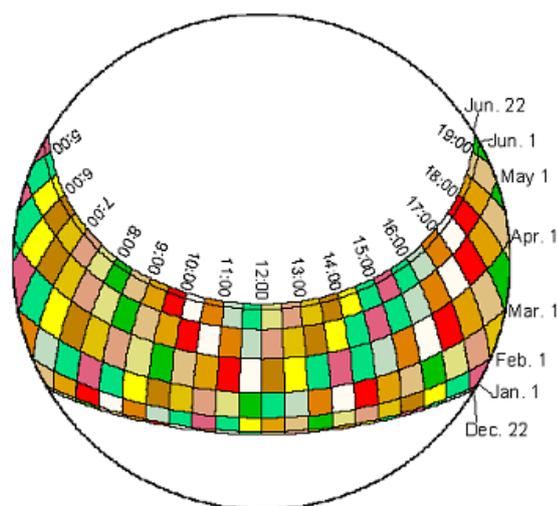


Figura 16. Esempio di *sunmap* relativa al periodo compreso tra il solstizio estivo e quello invernale.

A differenza della radiazione diretta, che proviene esclusivamente dai settori della *sunmap*, la radiazione diffusa può arrivare da ogni direzione a causa della diffusione (*scattering*) dovuta alle nubi e aerosol. La *skymap* viene creata dividendo l'intero campo visivo in una serie di settori (Fig. 17) caratterizzati da un certo numero di divisioni azimutali e zenitali e calcolando le coordinate (θ , α) del centroide di ogni settore.

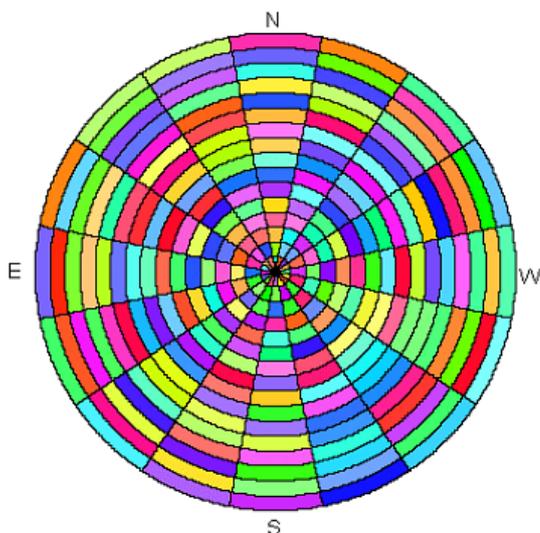


Figura 17. Suddivisione in settori della skymap

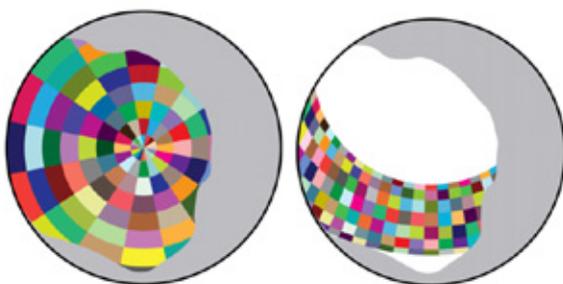


Figura 18. Sovrapposizione del campo visivo (*viewshed*) sulla *sunmap* e la *skymap*.

Il raster con il campo visivo di ogni cella del DEM viene sovrapposto alla *sunmap* e alla *skymap*. L'elaborazione del campo visivo, la sua sovrapposizione alla *sunmap* ed alla *skymap* ed il calcolo della radiazione diretta e diffusa viene ripetuta per ogni cella del DEM, generando una carta della radiazione solare incidente su una determinata area.

L'insolazione diretta totale per ogni cella del DEM (Dir_{tot}) è data dalla somma della radiazione diretta $Dir_{(\theta,\alpha)}$ proveniente da tutti i settori della *sunmap*:

$$Dir_{tot} = \sum Dir_{\theta,\alpha} \quad (10)$$

L'insolazione diretta proveniente da ogni settore della *sunmap* $Dir_{(\theta,\alpha)}$ il cui centroide ha come coordinate l'angolo zenitale θ e l'angolo azimutale α viene calcolata con la seguente formula:

$$D_{(\theta,\alpha)} = S_c \cdot \tau^{m(\theta)} \cdot S_{D(\theta,\alpha)} \cdot S_{G(\theta,\alpha)} \cdot \cos(A_{I(\theta,\alpha)}) \quad (11)$$

Dove: S_c è la costante solare pari a 1367 (MJ/m²); τ è la trasmittività atmosferica; $m(\theta)$ è la lunghezza ottica relativa (Eq. 11); S_d è la durata delle ore di luce; S_g è il divario tra i diversi settori della *sunmap*; A_i è l'angolo di incidenza tra il centroide del settore della *sunmap* e la normale alla superficie (Eq. 12).

La lunghezza ottica relative $m(\theta)$ è calcolata in funzione dell'angolo zenitale e della quota sul livello del mare utilizzando la seguente formula:

$$m(\theta) = \frac{EXP(-0.000118 \cdot z - 1.638 \cdot 10^{-9} \cdot z^2)}{\cos(\theta)} \quad (12)$$

Dove θ è l'angolo zenitale e z è la quota sul livello del mare (m).

L'effetto sulla radiazione diretta dell'esposizione sulle superfici inclinate viene calcolato moltiplicando per il coseno dell'angolo di incidenza (A_i). L'angolo di incidenza tra la superficie colpita dalla radiazione e il centroide di un dato settore della *sunmap* con coordinate (θ , α) viene a sua volta calcolato con la seguente formula:

$$A_{I(\theta,\alpha)} = a \cos \left[\begin{array}{l} \cos(\theta) \cos(G_z) + \sin(\theta) \\ \sin(G_z) \cos(\alpha - G_a) \end{array} \right] \quad (13)$$

Dove: G_z è l'angolo zenitale della superficie; G_a è l'angolo azimutale della superficie.

$$Diff_{(\theta,\alpha)} = R_{gb} \cdot P_{df} \cdot Dur \cdot SkyGap_{(\theta,\alpha)} \cdot W_{(\theta,\alpha)} \cdot \cos(A_{I(\theta,\alpha)}) \quad (14)$$

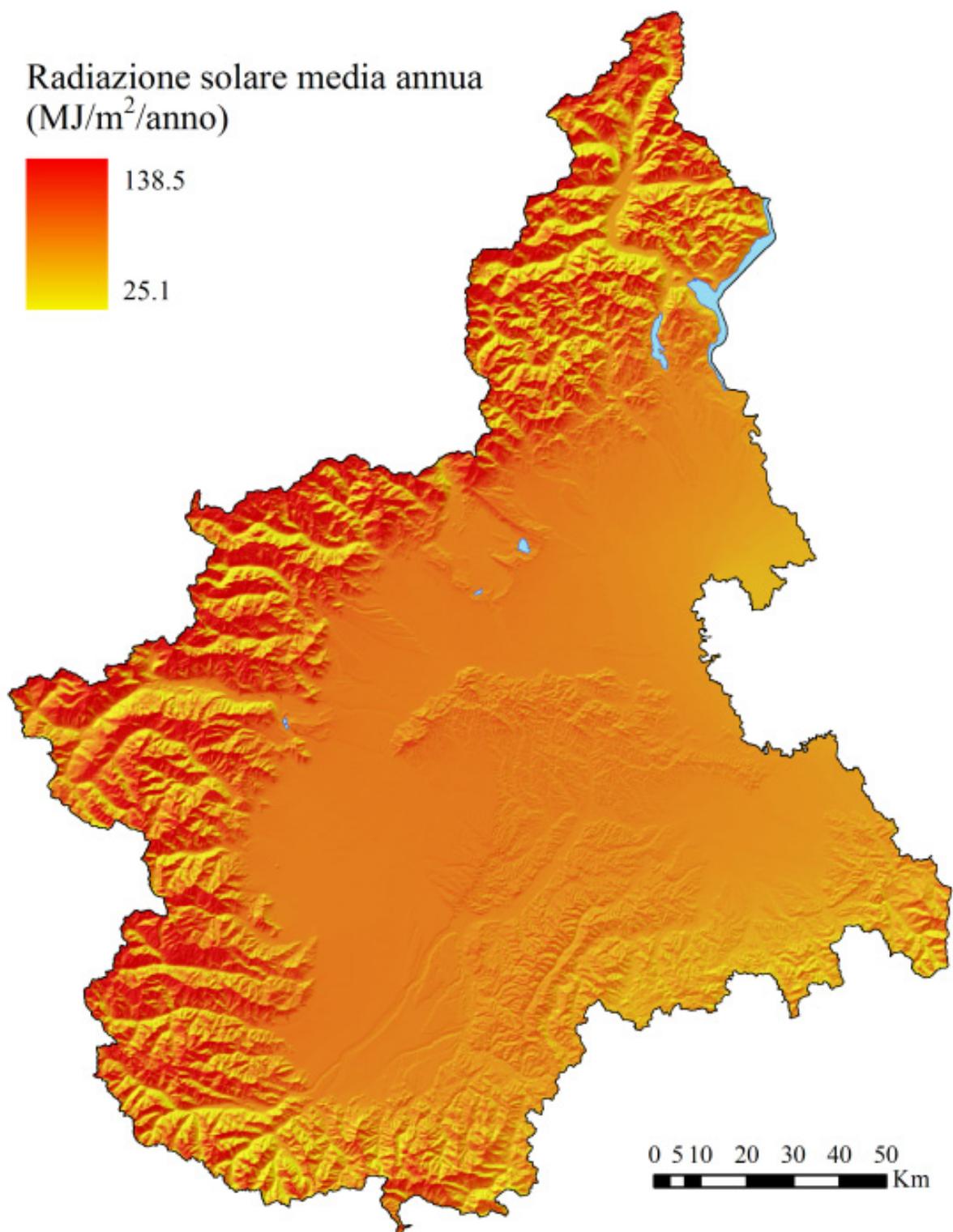


Figura 19. Carta dell'insolazione



Dove : R_{glb} è la radiazione globale; P_{dif} è la frazione del flusso di radiazione globale che viene diffuso dall'atmosfera (circa 0.2 in condizioni di cielo sereno e 0.7 in caso di cielo molto nuvoloso); D è l'intervallo temporale della simulazione (t); $SkyGap$ è la porzione di cielo visibile per il settore della *skymap*; W è la proporzione di radiazione diffusa che si origina da un settore relativamente a tutti i settori.

La radiazione globale R_{glb} può essere calcolata sommando la radiazione diretta proveniente da tutti i settori e quindi correggerne il valore in funzione dell'angolo di incidenza.

$$R_{glb} = \frac{(S_c \sum (\tau^{m(\theta_i)}))}{(1 - P_{dif})} \quad (15)$$

$$W_{(\theta, \alpha)} = \frac{\cos \theta_1 - \cos \theta_2}{D_{az}} \quad (16)$$

Dove: θ_1 e θ_2 sono gli angoli zenitali ai margini del settore della *skymap*; D_{az} è il numero di divisioni azimutali della *skymap*.

La radiazione solare diffusa totale $Diff_{tot}$ viene ottenuta dalla somma della radiazione diffusa proveniente da tutti i settori della *skymap* $Diff_{(\theta, \alpha)}$.

$$Diff_{tot} = \sum Diff_{(\alpha, \theta)} \quad (17)$$

La radiazione globale viene infine calcolata come la somma della radiazione diretta e diffusa proveniente da tutti i settori.

$$R_{tot} = Diff_{tot} + Dir_{tot} \quad (18)$$

Biopotenzialità territoriale (BTC)

Tale indice ecologico consente di valutare il livello di complessità biologica di una determinata unità ecosistemica, essendo correlato alle capacità omeostatiche (autoequilibrio) e al flusso di energia metabolizzato per unità di area dai sistemi ambientali (kcal/m²/anno).

La *BTC* misura il flusso di energia che un sistema ecologico deve dissipare per mantenere il suo equilibrio omeostatico. Si tratta di un parametro molto usato in ecologia del paesaggio che permette un confronto sia qualitativo che quantitativo tra ecosistemi e paesaggi diversi. Ad alti livelli di *BTC* corrispondono maggiori capacità del sistema di produrre biomassa vegetale e quindi maggiori attitudini di resistere a perturbazioni esterne. Da un punto di vista scientifico la *BTC* di un particolare ecosistema si basa su (Ingegnoli, 1993):

- 1.- il principio di stabilità resistente (resistance stability)
- 2.- alcuni parametri metabolici: biomassa, produzione primaria lorda e respirazione



La carta della Biopotenzialità Territoriale (Fig. 20) offre una lettura sintetica dei livelli di stabilità ecologica presenti nell'ambito considerato.

I valori di *BTC* sono stati definiti sulla base della carta dell'uso del suolo (IPLA), riclassificandola con i valori di *BTC* suggeriti da Ingegnoli (2002) riportati nella tabella 10.

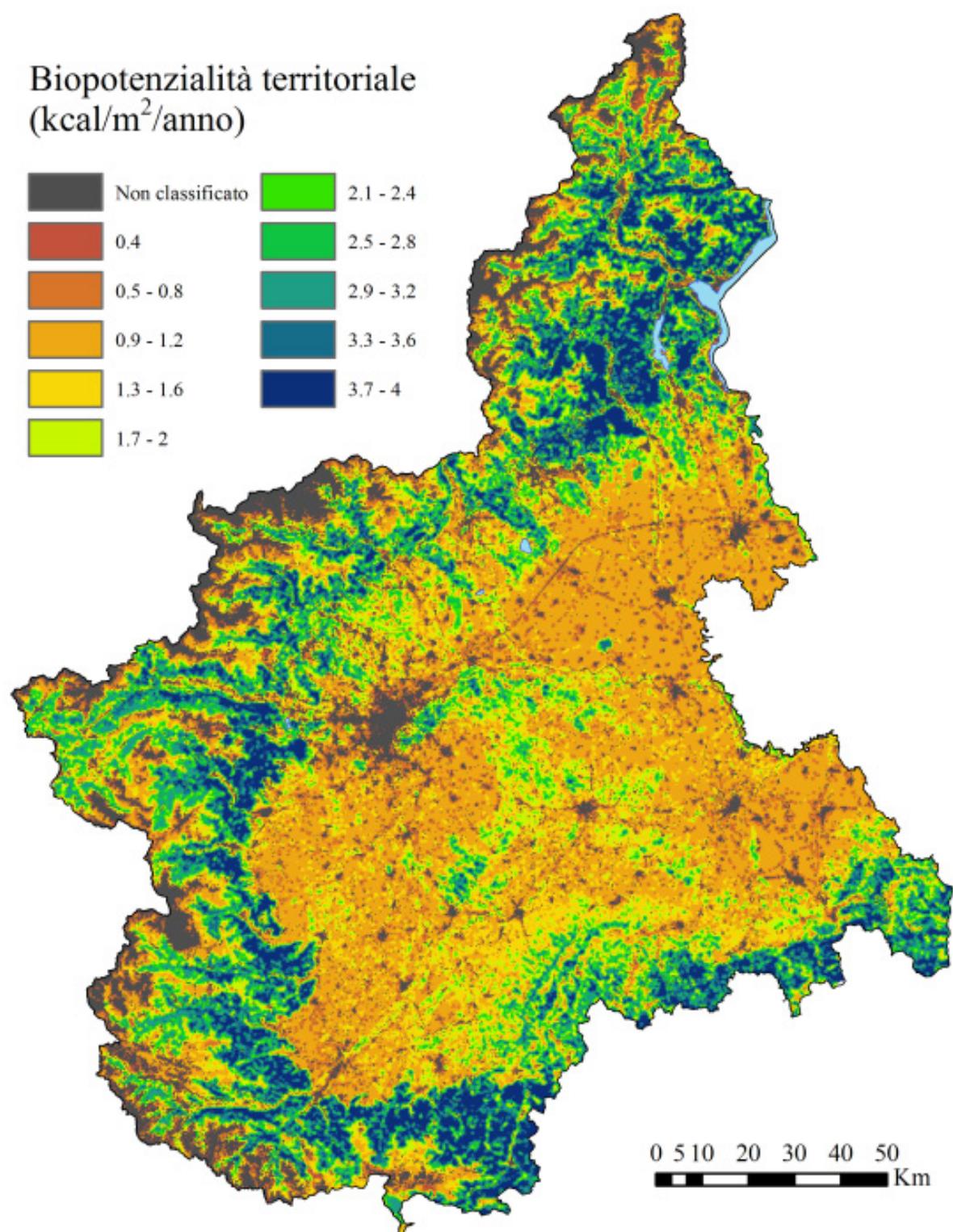


Figura 20. Carta della biopotenzialità territoriale (BTC).



CATEGORIA	CODICE	BTC
Abetine	AB__	3.2
Acero-tiglio-frassineti	AF__	3.5
Impianti di conifere	AL00C	2.2
Impianti di latifoglie di pregio	AL00L	2.2
Pioppeti	AL00P	2.5
Impianti indifferenziati	AL00X	2
Alneti planiziali e montani	AN__	1.8
Acque	AQ__	0
Arbusteti planiziali, collinari e montani	AS__	1.8
Boscaglie pioniere e d'invasione	BS__	1.8
Castagneti	CA__	4
Cespuglieti pascolabili	CB__	1.6
Cerrete	CE__	3.8
Canneti	CN__	2
Cespuglieti	CP__	1.7
Coltivi abbandonati	CV__	1
Aree estrattive	ES__	0
Faggete	FA__	4
Frutteti	FV00F	1.2
Nocciolieti	FV00N	1.2
Vigneti	FV00V	0.8
Frutteti e vigneti indifferenziati	FV00X	1.2
Greti	GR__	0
Lariceti e cembrete	LC__	3.1
Ostietti	OS__	3
Arbusteti subalpini	OV__	1.8
Praterie non utilizzate	PB__	0.4
Peccete	PE__	0
Praterie aride di greto	PG__	0.3
Praterie	PL__	1.1
Pinete di pino marittimo	PM__	3.2
Pinete di pino uncinato	PN__	0
Praterie rupicole	PR__	0.8
Pinete di pino silvestre	PS__	3.2
Prato- pascoli	PT__	1.2
Prati stabili di pianura	PX__	2.5
Quercio - carpineti	QC__	3.5
Querceti di roverella	QR__	3.6
Querceti di rovere	QV__	3.8
Robineti	RB__	1.8
Rimboschimenti	RI__	1.8
Rocce, macereti e ghiacciai	RM__	0
Seminativi in asciutta	SE00A	0.8

Seminativi irrigui	SE00I	0.8
Seminativi in sommersione	SE00S	0.8
Seminativi indifferenziati	SE00X	0.8
Formazioni legnose riparie	SP__	1.8
Torbiere	TB__	2
Aree urbanizzate	UI__	0
Unità mosaico	UM__	2
Aree verdi di zone urbane	UV__	0.6
Zone umide	ZU__	2.5

Tabella 10. Valori di biopotenzialità territoriale (BTC) attribuiti alle diverse classi di uso del suolo riportate nella carta IPLA.

Cumulato semestrale di precipitazioni (PI)

Il cumulato annuo di precipitazioni previsto nella metodologia originale ed il relativo criterio di attribuzione dell'indice sono stati rivisti in modo tale da meglio rappresentare il ruolo della componente pluviometrica del territorio della Regione Piemonte.

Per ogni anno del periodo considerato è stato calcolato il valore cumulato delle precipitazioni lungo il periodo compreso tra Marzo ed Agosto e i risultati sono stati mediati tra di loro in modo da ottenere un valore medio annuo della quantità di precipitazione per ogni cella della griglia.

In funzione di tale valore è stato attribuito l'Indice di Precipitazione (PI), secondo la classificazione riportata nella seguente tabella 11.

Classe	Precipitazioni (mm)	PI
1	> 700	1.0
2	450-700	1.5
3	< 450	2.0

Tabella 11. Classificazione del cumulato di precipitazioni e valore del relativo indice.

Indice di Aridità (AI)

A differenza da quanto originariamente proposto nella metodologia originale, secondo cui l'indice di aridità deve essere calcolato attraverso la formula di Bagnoulus-Gaussen (1953), l'indice di aridità utilizzato nel presente studio è basato su un modello di bilancio idrico, simile a quello utilizzato dal S.A.R. (Servizio Agrometeorologico Regionale della Regione Sardegna), in cui viene

presa in considerazione anche la componente pedologica (profondità, punto di appassimento e capacità di campo).

L'approccio offerto da tale metodologia fornisce un dato più esaustivo e differisce in modo sostanziale in tal modo dall'indice di Bagnouls-Gausson, e dagli altri numerosi indici bioclimatici disponibili in letteratura, che sono elaborati esclusivamente sulla base di partire da parametri meteorologici.

A livello pratico, infatti, un bilancio idrico del suolo a scala territoriale assume rilevante importanza ai fini della valutazione della

disponibilità spaziale e temporale della risorsa idrica, (e quindi della sua salvaguardia), consentendo peraltro l'individuazione delle zone soggette, per particolari condizioni climatiche o pedologiche, a un maggiore stress idrico.

In questo studio, al fine della redazione del bilancio idrico, è stato utilizzato il modello di Tournon (1981). Questo modello rientra nella categoria dei modelli "a serbatoio", in quanto il contenuto idrico del suolo può essere paragonato alla risalita o discesa del livello idrico all'interno di un serbatoio. Il livello dell'acqua aumenta quando le precipitazioni superano l'evapotraspirazione,

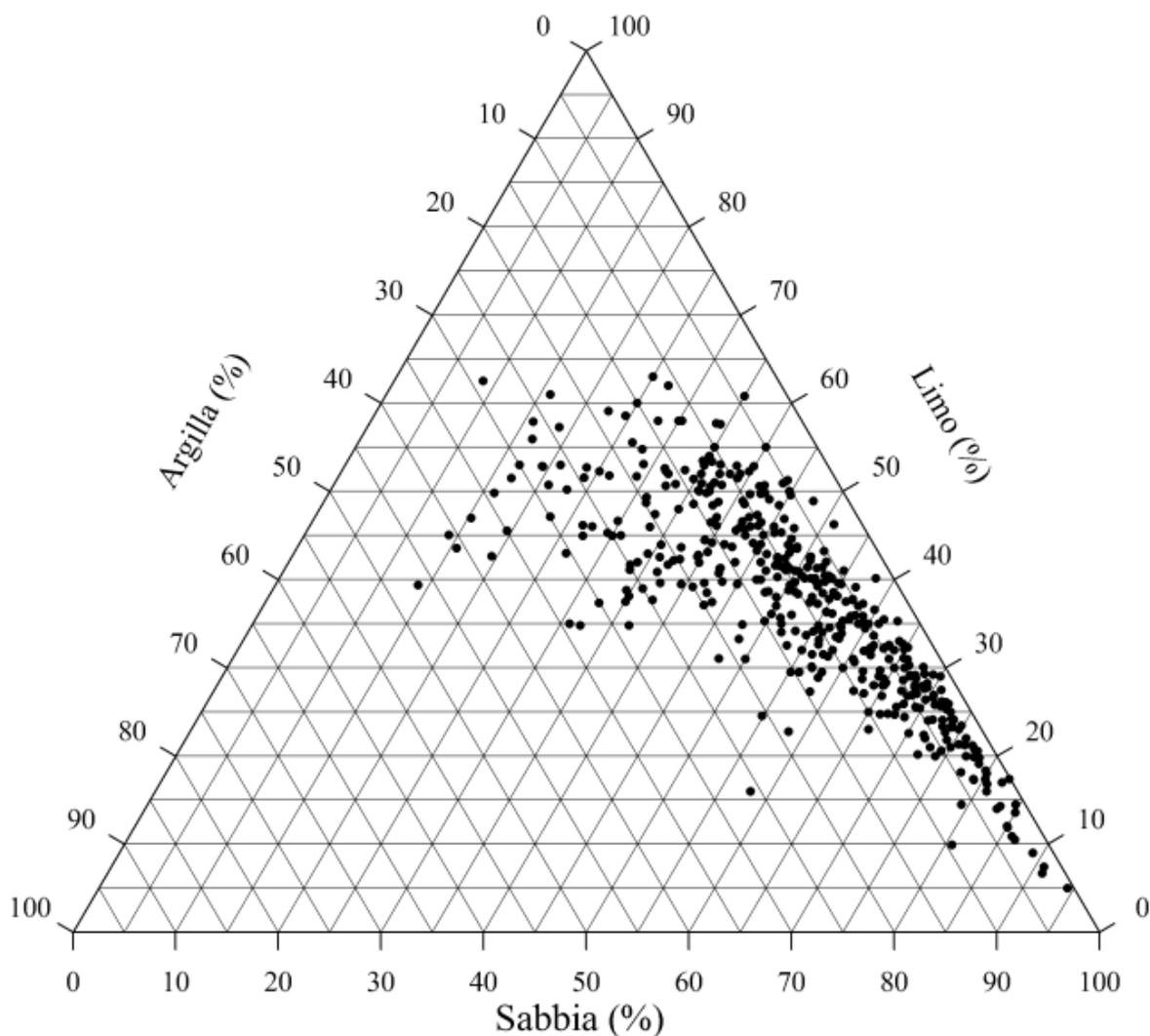


Figura 21. Distribuzione dei dati tessiturali del topsoil riportati della carta dei suoli IPLA all'interno del triangolo granulometrico.

mentre scende quando l'evapotraspirazione è più alta rispetto alle precipitazioni. Se l'umidità del suolo supera la capacità di campo dello strato utile considerato (30 cm), l'acqua in eccesso viene allontanata sotto forma di ruscellamento superficiale o filtrazione verso gli orizzonti più profondi. In entrambi i casi viene supposto che l'acqua in eccesso fuoriesca dal "serbatoio" e venga persa. Per una trattazione più dettagliata del modello si rimanda ai paragrafi seguenti.



Caratteristiche di ritenzione idrica dei suoli

Il suolo ricopre un ruolo di assoluta rilevanza nella determinazione dei volumi d'acqua immagazzinati. La stima delle caratteristiche idrologiche del suolo diventa dunque il primo passo necessario alla redazione di un bilancio idrico. Così come per le variabili meteorologiche, anche le informazioni relative alle proprietà del suolo sono state elaborate alla risoluzione di 250 m di lato per pixel.

Le proprietà dei suoli del Piemonte (profondità utile, composizione granulometrica, scheletro e sostanza organica) sono state ricavate dalla Carta dei Suoli redatta dall'IPLA a scala 1:250000 in formato vettoriale. Utilizzando questi dati è possibile ricavare le caratteristiche di ritenzione idrica dei suoli attraverso l'impiego di funzioni di pedotransfer. Questo termine indica una metodologia in grado di ricavare le proprietà idrauliche di un suolo, le quali sono spesso di difficile misurazione, in funzione delle sue caratteristiche fisico-chimiche (tessitura, pH, densità, porosità, struttura...), che vengono comunemente misurate nelle analisi del suolo (Bouma, 1989). Un'approfondita analisi dello

stato dell'arte nel campo delle funzioni di pedotransfer disponibili è stata trattata da Wösten et al., 2001; McBratney et al., 2002; Pachepsky e Rawls, 2004.

Nel presente lavoro si è scelto di utilizzare le formule di pedotrasferimento elaborate da Saxton et al. (2006), mediante le quali è stato possibile stimare i valori della capacità di campo e del punto di appassimento a partire dai dati pedologici contenuti nella cartografia IPLA (percentuali di sabbia, argilla ed il contenuto di carbonio organico del suolo).

Il punto di appassimento, corrispondente al contenuto idrico del suolo al potenziale di -1500 kPa e la capacità di campo, corrispondente al potenziale di -33 kPa, sono stati calcolati attraverso le equazioni (19-22) (Saxton et al., 2006). La procedura di calcolo si articola in due fasi: in primo luogo viene calcolata una prima approssimazione dei parametri (θ_{1500} , θ_{33}), il cui valore viene successivamente corretta attraverso le formule 19 e 21, ottenendo i valori di contenuto idrico al punto di appassimento θ_{1500} e alla capacità di campo θ_{33} .

$$\theta_{1500} = \theta_{1500e} + (0.14 \times \theta_{1500e} - 0.02) \quad (19)$$

$$\theta_{1500e} = -0.24S + 0.487C + 0.006OM + 0.005(S \times OM) - 0.013(C \times OM) + 0.068(S \times C) + 0.031 \quad (20)$$

Il contenuto idrico alla capacità di campo θ_{33} ($m^3 m^{-3}$) invece da:

$$\theta_{33} = \theta_{33e} + [1.283(\theta_{33e})^2 - 0.374(\theta_{33e}) - 0.015] \quad (21)$$

$$\theta_{33e} = -2.51S + 0.195C + 0.011OM + 0.006(S \times OM) - 0.027(C \times OM) + 0.452(S \times C) + 0.299 \quad (22)$$

Il contenuto di sostanza organica (OM) è stato ricavato indirettamente moltiplicando il contenuto medio di carbonio organico espresso in percentuale per il fattore di conversione di van Bemmelen (Soil Survey Division Staff, 1993), che si basa sull'assunzione secondo cui la sostanza organica del suolo contenga mediamente il 58% di carbonio organico.

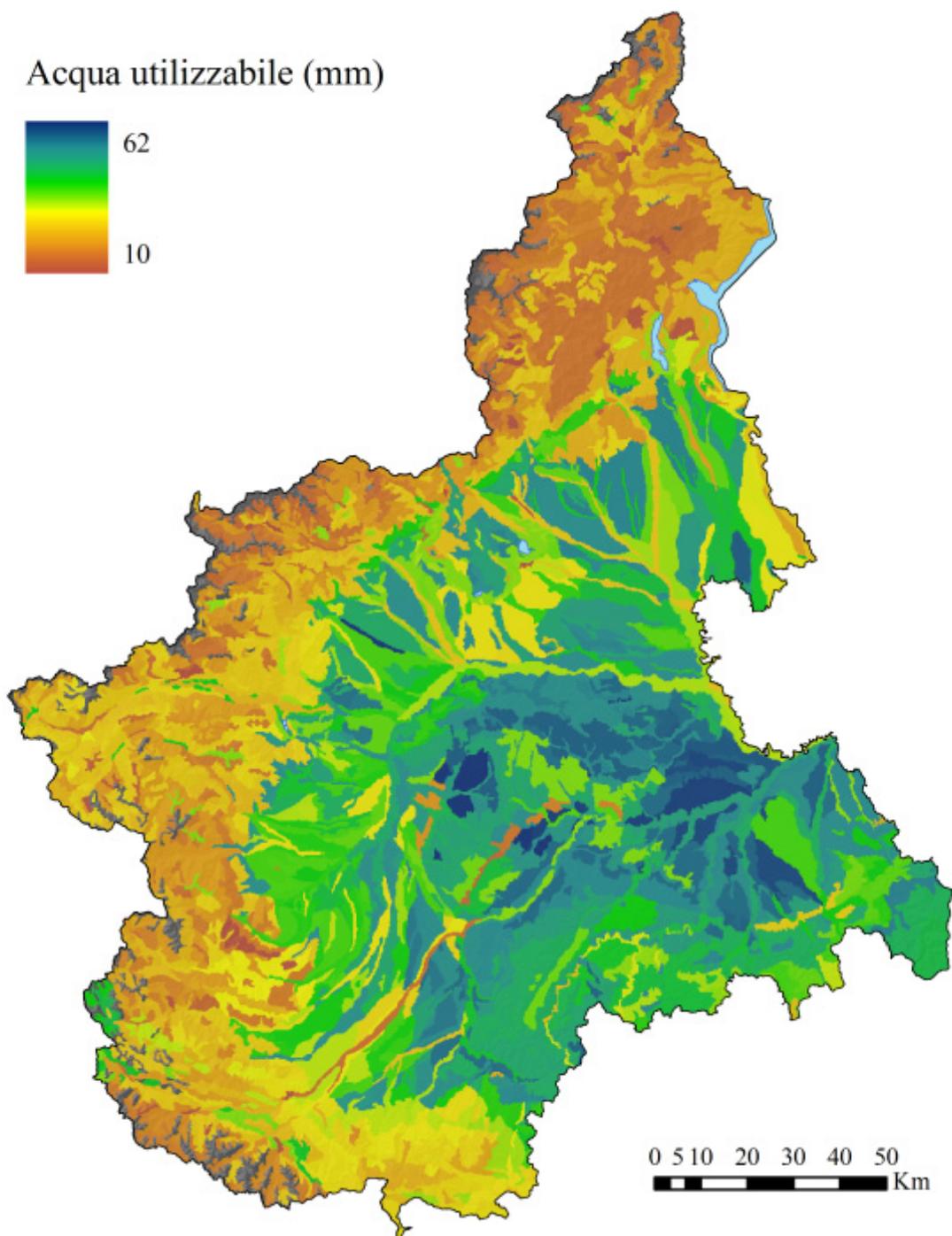


Figura 22. Carta dell'acqua utilizzabile

A partire dai dati di capacità di campo (CC), del punto di appassimento (PA) e, successivamente, dell'acqua utilizzabile (RU).

La quantità d'acqua utilizzabile nell'orizzonte di suolo considerato nel bilancio idrico è stata calcolata come differenza fra la capacità di campo ed il punto di appassimento. A tale valore è stata sottratta la percentuale di scheletro e moltiplicato il risultato per la profondità utile.

$$RU = CC - PA \quad (23)$$

Evapotraspirazione

L'evapotraspirazione (ET) è un fattore chiave sia nella modellazione dei processi idrologici che per l'irrigazione e le risorse idriche. Con questo termine si intende l'acqua che complessivamente si trasferisce dal suolo all'atmosfera sia attraverso l'evaporazione dal suolo, sia per traspirazione da parte degli apparati fogliari delle piante.

L'evapotraspirazione può essere valutata attraverso diversi metodi: lisimetri a pesata, stazioni eddy covariance, Bowen ratio, scintillometri ed evaporimetri. Oppure è possibile stimare il flusso di evapotraspirazione potenziale a partire da parametri meteorologici attraverso numerose formule che sono state proposte nel corso degli anni da numerosi autori: Hargreaves-Samani, 1982; Thornthwaite-Mather, 1955; Jensen-Haise, 1963; Makkink, 1957; Priestley-Taylor, 1972; Monteith, 1965; Penman, 1948.

Il flusso evapotraspirativo massimo che si può raggiungere in relazione alle condizioni atmosferiche (in piena disponibilità idrica) da una copertura erbosa di riferimento (*Festuca arundinacea* L.) prende il nome di evapotraspirazione potenziale ET_o .

Tale copertura erbacea deve essere uniforme, bene irrigata, alta 8-15 cm, in ottimo stato nutrizionale, esente da fitopatie, con una resistenza aerodinamica di 70 m/s, un albedo di 0.23. e sufficientemente estesa da non essere influenzata dalla vegetazione o dagli oggetti circostanti.

Tali condizioni standard fanno in modo che l'evapotraspirazione potenziale sia indipendente dalle tecniche e dalle condizioni colturali, ma dipenda esclusivamente dal potere evaporante

dell'atmosfera, rendendo l' ET_o un parametro di grande importanza nelle scienze agronomiche e forestali.

L'evapotraspirazione reale o effettiva ET_a invece è l'evapotraspirazione che effettivamente si verifica in funzione del tipo e dello sviluppo della vegetazione, del contenuto idrico del suolo e delle condizioni atmosferiche ($ET_a \leq ET_o$).

Nel presente lavoro l'evapotraspirazione effettiva a scala regionale è stata calcolata seguendo la metodologia descritta da Crago et al. (2010), a sua volta basata sulla Relazione di Complementarità (CR) tra evapotraspirazione potenziale (ET_o) ed evapotraspirazione effettiva (ET_e) sviluppata da Bouchet (1963). In condizioni ottimali l'evapotraspirazione effettiva è pari all'evapotraspirazione potenziale così come all'evapotraspirazione potenziale apparente (ET_p), (Brutsaert, 2005). Man mano che il suolo si secca ET_e scende al di sotto di ET_o liberando l'energia che può aumentare il flusso di ET_p .

La relazione tra ET_e e ET_p è espressa dalla seguente formula:

$$ET_o - ET_a = ET_p - ET_o \quad (24)$$

In accordo con Brutsaert e Strickler (1979) ET_o è stata calcolata con la formula di Priestley-Taylor (1972) (Eq. 24), mentre ET_e viene calcolata attraverso la formula di Penman (1948) (Eq. 25).

$$E_o = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \quad (25)$$

Dove $\alpha = 1.26$ (-) è il coefficiente di Priestley-Taylor (1972).

$$ET_e = \frac{(H \Delta + E_a \gamma)}{\Delta + \gamma} \quad (26)$$

L'evapotraspirazione effettiva potenziale ET_p è quindi data dalla seguente formula:

$$ET_p = \frac{\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a}{\lambda} \quad (27)$$

Dove ET_p è l'evapotraspirazione potenziale apparente [mm/d]; Δ è la pendenza della curva

di pressione di vapore saturo (kPa/°C); γ è la costante psicrometrica dell'aria (kPa/°C); R_n è la radiazione netta (MJ/m²/d); G è il flusso di calore del suolo (MJ/m²/d); λ è il calore latente di vaporizzazione (MJ/kg); E_A è il potere essiccante dell'aria (mm/d).

Il potere essiccante dell'aria E_A (Penman, 1948) è calcolato in funzione della velocità del vento e del deficit di pressione di vapore.

$$E_A = 0.26(1 + 0.5v_2)(e_s - e_a) \quad (28)$$

Dove v_2 è la velocità media del vento a 2 metri di altezza (m/s); e_s è la pressione di vapore a saturazione (kPa); e_a è la pressione di vapore effettiva (kPa). I dati di velocità del vento a 2 metri sono stati ottenuti applicando alle carte di velocità del vento a 10 metri spazializzati attraverso le spline la seguente formula di conversione (Allen et al., 1999):

$$v_2 = v_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad (29)$$

Dove v_z è la velocità del vento a z metri dal piano di campagna (m/s); z è l'altezza della misura dal piano di campagna (m).

Le procedure di calcolo delle grandezze necessarie (R_n , Δ , γ , λ , e_s , e_a , G), descritte nei paragrafi precedenti sono state tratte dal capitolo 3 e dell'allegato 3 del quaderno FAO56 (Allen et al., 1998).

La pendenza della curva di vapore saturo rappresenta la relazione che intercorre tra la pressione di vapore saturo e la temperatura dell'aria ed è stata calcolata con la seguente formula (Tetens, 1930; Murray, 1967):

$$\Delta = \frac{4098e_o(T)}{(T + 237.3)^2} = \frac{2054 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right)}{(T + 237.3)} \quad (30)$$

Dove T è la temperatura media dell'aria (°C), ed $e_o(T)$ è la pressione di vapore saturo alla temperatura T . Il valore della pressione di vapore saturo (kPa) è stato ricavato utilizzando la relazione proposta da Tetens (1930):

$$e_o(T) = \frac{1}{2} \left(\frac{0.611 \exp\left(\frac{17.27T_{max}}{T_{max} + 237.3}\right)}{0.611 \exp\left(\frac{17.27T_{min}}{T_{min} + 237.3}\right)} \right) \quad (31)$$

La costante psicrometrica della aria γ (kPa/°C) è stata calcolata secondo Brunt (1952):

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} 10^{-3} = 0.00163 \frac{P}{\lambda} \quad (32)$$

Dove c_p è il calore specifico dell'aria = 1.013 (kJ/kg/°C); P è la pressione atmosferica (kPa); ϵ è il rapporto tra il peso molecolare del vapore acqueo e quello dell'aria secca = 0.622 (-); λ è il calore latente di vaporizzazione (MJ/kg).

Il calore latente di vaporizzazione esprime l'energia necessaria per consentire il passaggio di stato da liquido a vapore di una quantità unitaria di acqua a una data temperatura e pressione. Il suo valore varia con la temperatura (Harrison, 1963):

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \cdot 10^{-3})T \quad (33)$$

La pressione atmosferica invece varia in funzione della quota ed è espressa dalla seguente equazione (Burman et al., 1987):

$$P = P_o \left(\frac{T_{Ko} - \alpha_1(z - z_o)}{T_{Ko}} \right)^{\frac{g}{\alpha_1 R}} \quad (34)$$

Dove $P_o = 101.3$ (kPa) è la pressione atmosferica al livello del mare; z è la quota (m.s.l.m.); z_o è la quota al piano di riferimento (m); g è la costante di accelerazione gravitazionale = 9.807 (m/s²); R è la costante specifica dell'aria = 287 (J/kg/K); α_1 è il gradiente termico dell'aria umida = 0.0065 (K/m); $T_{Ko} = 273.16 + T$ (K) è la temperatura alla quota del piano di riferimento z_o .

La radiazione solare che colpisce una ipotetica superficie orizzontale posta al di fuori dell'atmosfera terrestre è detta costante solare. La sua intensità a scala locale è determinata dall'angolo tra direzione dei raggi solari e dalla normale rispetto alla superficie dell'atmosfera. Questo angolo varia durante il giorno e varia sia



in funzione della latitudine che delle stagioni. È possibile calcolare R_a a scala giornaliera attraverso la seguente formula (Allen et al., 1999).

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r \left[\begin{matrix} \omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \\ \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) \end{matrix} \right] \quad (35)$$

Dove G_{sc} è la costante solare = 0.0820 (MJ/m²/min); d_r è la distanza relativa inversa tra la terra ed il sole (rad); ω_s è l'angolo orario al tramonto (rad); φ è la latitudine (rad); δ è la declinazione solare (rad).

$$d_r = 1 + 0.33 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (36)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (37)$$

Dove J rappresenta il giorno dell'anno tra 1 (1° gennaio) e 365/366 (31 dicembre).

$$\omega_s = \arccos\left[-\tan(\varphi)\tan(\delta)\right] \quad (38)$$

La differenza tra la temperatura minima e massima dell'aria è correlata alla nuvolosità, quindi è possibile ricavare la radiazione solare R_s (MJ/m²/d) con la seguente formula:

$$R_s = k_{RS} \sqrt{(T_{max} - T_{min})} R_a \quad (39)$$

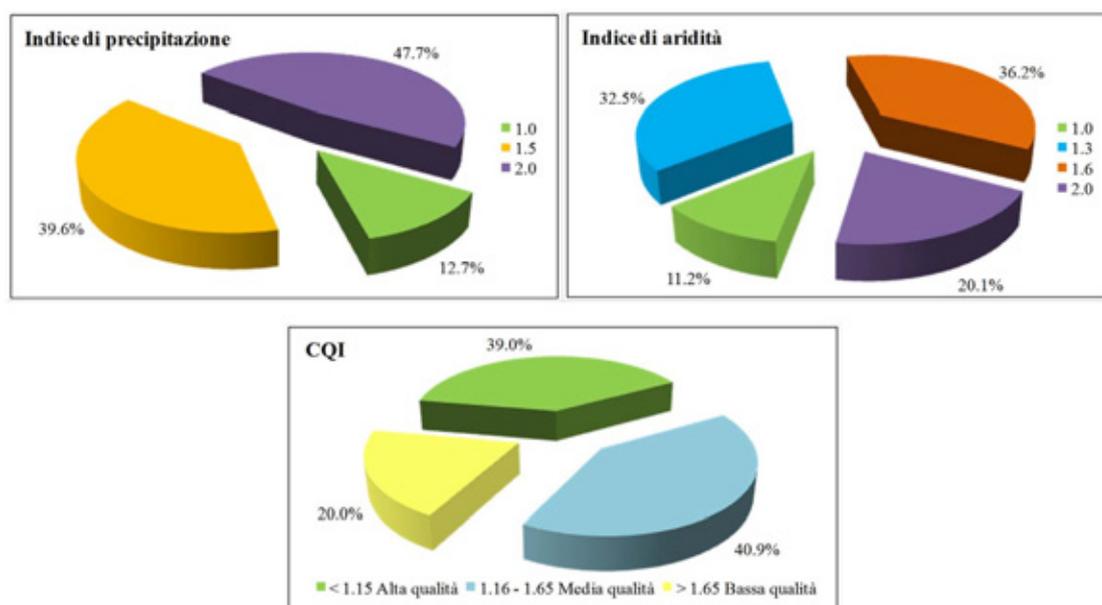


Figura 23. Suddivisione del territorio regionale rispetto all'indice di qualità del clima (CQI) ed alle componenti che concorrono alla sua elaborazione.

Dove k_{RS} è un coefficiente di calibrazione, pari a (0.16 - 0.19 °C^{-0.5}).

Bilancio idrico del suolo

Come accennato in precedenza, nel presente studio è stato utilizzato il modello di bilancio idrico proposto da Tournon (1981). In tale modello il suolo si comporta come un serbatoio, svuotandosi e riempiendosi in funzione dell'andamento delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione.

Definiti i parametri necessari (acqua facilmente utilizzabile, punto di appassimento, precipitazioni ed evapotraspirazione) attraverso le metodologie sopra riportate, nel modello descritto da Tournon i valori di evapotraspirazione potenziale giornaliera ET_0 vengono moltiplicati per il coefficiente f , il quale tiene in considerazione il contenuto idrico del suolo, al fine di ottenere un'evapotraspirazione reale giornaliera secondo la formula:

$$ET_a = fET \quad (40)$$

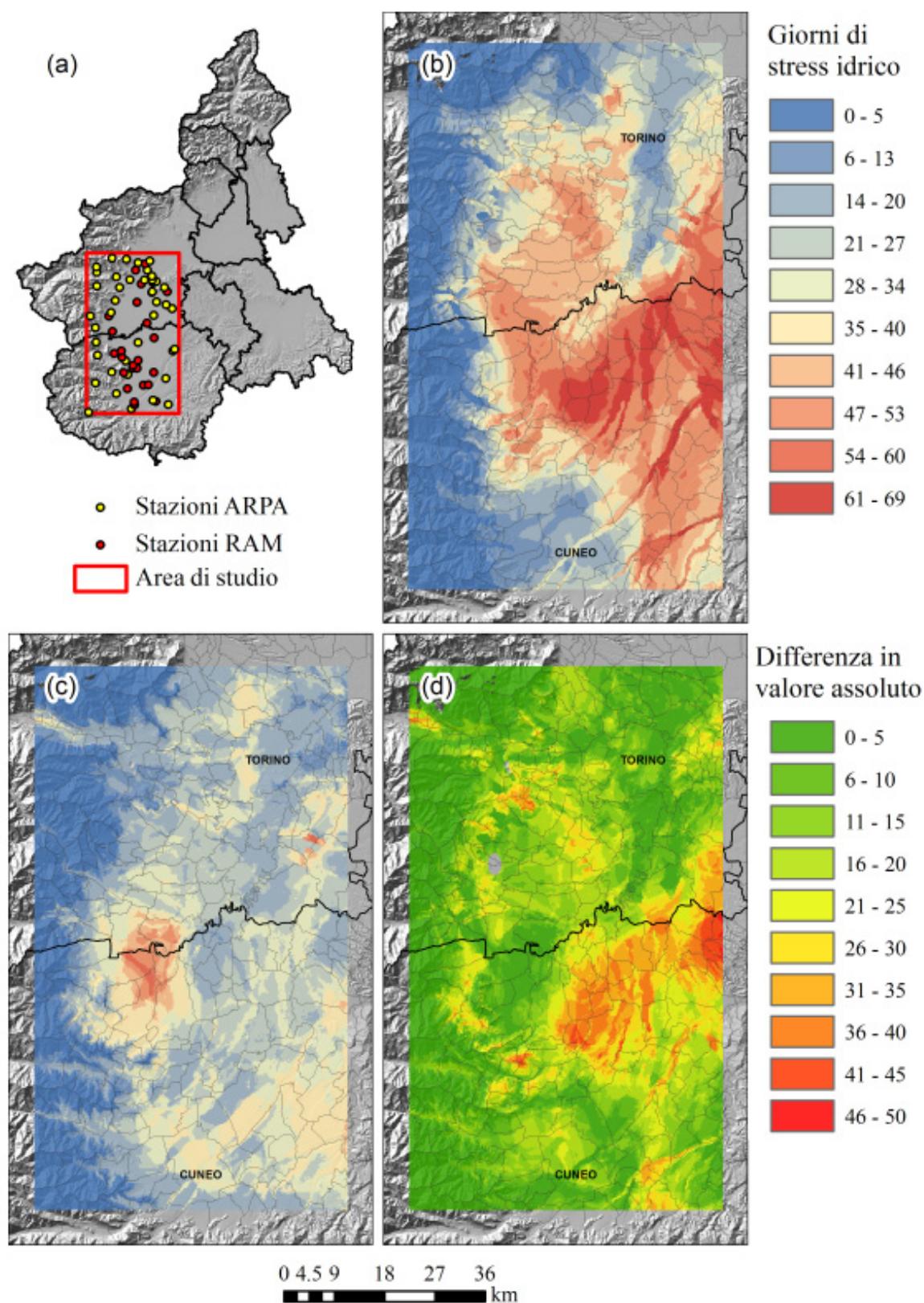


Figura 24. (a) Estensione dell'area di studio per la simulazione del bilancio idrico a scala giornaliera con le relative stazioni meteorologiche; (b) giorni di stress idrico restituiti dalla simulazione a scala giornaliera; (c) giorni di stress idrico restituiti dalla simulazione a scala pentadica; (d) differenza in valore assoluto tra i risultati delle due simulazioni.



Il coefficiente f ha la funzione di correggere l'evapotraspirazione reale in funzione dell'evapotraspirazione potenziale e del contenuto idrico. L'acqua presente nel suolo viene resa disponibile quando il potenziale matriciale presenta valori prossimi allo zero e fino a quando il contenuto idrico non raggiunge una determinata soglia dipendente dalla tipologia di suolo (e dal tipo di coltura). Per valori via via più scarsi di contenuto idrico, e di conseguenza valori più elevati di tensione matriciale, l'evapotraspirazione non è più funzione soltanto delle condizioni meteorologiche ma delle condizioni di umidità del suolo. Il coefficiente di evapotraspirazione f risulta dunque fornito dalla relazione:

$$f_i = \frac{w_i - w_{PA}}{RU} \quad (41)$$

Dove w_i è lo stock idrico presente al giorno i (mm); w_{PA} è lo stock idrico corrispondente al

punto di appassimento (mm); RU è la riserva idrica utilizzabile (mm).

Il coefficiente f decresce con andamento lineare al decrescere dello stock idrico limitando l'intensità del flusso evapotraspirativo in modo inversamente proporzionale allo stock idrico presente nel suolo.

Infine l'equazione del bilancio idrico è data da:

$$w_i = w_{i-1} + P_i - ET_{a,i} \quad (42)$$

Dove P_i rappresenta la precipitazione relativa al giorno i .

Una volta effettuata la simulazione di bilancio idrico a scala pentadica lungo tutto l'intervallo temporale considerato, l'indice di aridità è stato attribuito in base al numero medio di giorni in cui lo stock idrico del suolo era inferiore al valore soglia del 30% della RU .

Simulazione di dettaglio

Il calcolo dell'indice di aridità sulla base di un bilancio idrico del suolo a scala regionale per 16

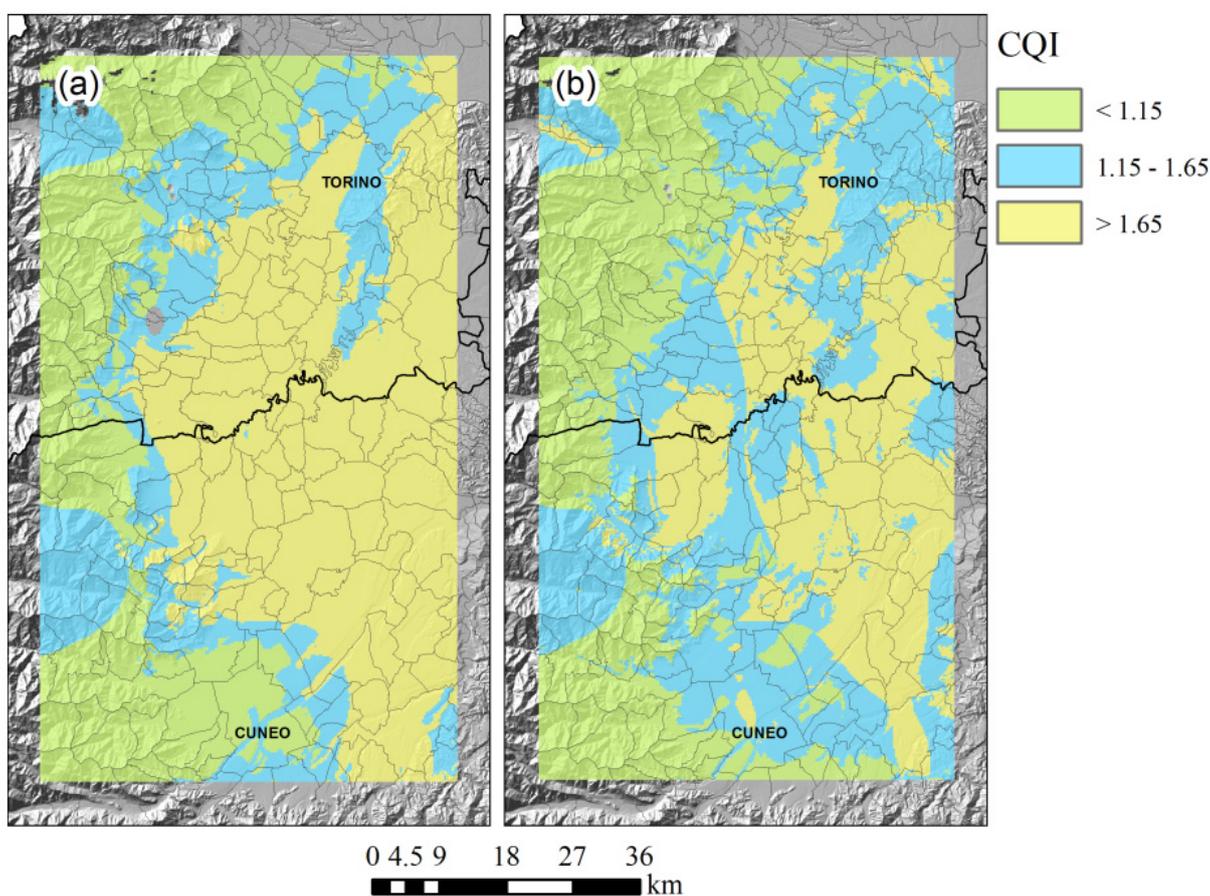


Figura 25. (a) Indice di qualità del clima (CQI) calcolato utilizzando il bilancio idrico a scala giornaliera; (b) indice di qualità del clima calcolato utilizzando il bilancio idrico a scala pentadica.

anni (1991-2007), come accennato in precedenza, anche disponendo di computer con una buona potenza di calcolo, risulta essere particolarmente oneroso dal punto di vista della mole di dati e del tempo di calcolo necessario per la sua elaborazione.

Alla luce di queste problematiche si è scelto di adottare un intervallo temporale di cinque giorni (pentade) in quanto rappresenta un buon

compromesso tra il dettaglio temporale della simulazione e i tempi di calcolo necessari per l'elaborazione del bilancio idrico ed il calcolo delle variabili necessarie.

Tuttavia, un bilancio idrico del suolo, come qualunque altro modello matematico, al ridursi del passo temporale impiegato migliora le sue prestazioni fornendo risultati più dettagliati e realistici. Per questo motivo è stata realizzata su

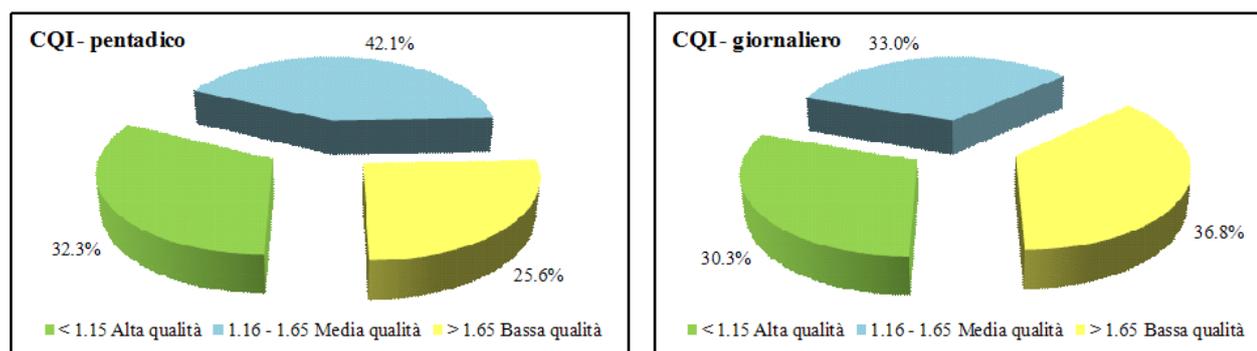


Figura 26 . Ripartizione percentuale dell'area di studio nelle diverse classi dell'indice di qualità del clima (CQI) calcolato in base al bilancio idrico a scala pentadica e giornaliera.

un'area campione del territorio della Regione Piemonte compresa tra le provincie di Torino e Cuneo (Fig. 24a), applicando la metodologia di calcolo descritta in precedenza, una simulazione a scala giornaliera in modo da analizzare in modo più approfondito le dinamiche idrologiche del suolo.

Si tratta di un'area prevalentemente pianeggiante con una spiccata vocazione agricola, comprendente una zona collinare (collina Torinese), e una fascia montana sul lato ovest. Su quest'area è stato simulato il bilancio idrico del suolo a scala giornaliera relativamente al periodo compreso tra il 1° maggio ed il 31 agosto 2006.

I risultati della simulazione giornaliera (Fig. 24b), rispetto alla simulazione pentadica (Fig. 24c) indicano un maggiore stress idrico del suolo, in particolare nella zona della pianura cuneese. La figura 24d rappresenta la differenza in valore assoluto tra i giorni di stress idrico ($\theta \leq 50\% RU$) tra le due simulazioni. In questa figura si osserva come le maggiori differenze tra le due simulazioni si registrano, oltre che nella pianura Cuneese anche in una fascia di territorio alla base del rilievo montuoso. Queste differenze sono

dovute al fatto che la discretizzazione temporale pentadica inevitabilmente comporta una semplificazione della variabilità meteorologica e quindi delle dinamiche idrologiche in atto, portando a sottostimare l'effettiva entità dei flussi evapotraspirativi.

Una volta elaborato il bilancio idrico del suolo si è proceduto all'elaborazione dell'indice di qualità del clima (CQI) per verificare come la scala temporale utilizzata si rifletta sull'elaborazione del risultato finale. La figura 25 illustra il CQI calcolato rispettivamente con la simulazione giornaliera (Fig. 25a), e pentadica (Fig. 25b). Entrambe le elaborazioni sono coerenti nell'individuazione delle aree sottoposte ai diversi livelli di vulnerabilità, il CQI calcolato con il bilancio idrico giornaliero ha individuato una maggiore estensione delle aree con un'elevata vulnerabilità (CQI > 1.65) che grossomodo comprende le aree con il medesimo grado di vulnerabilità, individuate dal CQI elaborato con il bilancio idrico pentadico ma colma le numerose zone a media vulnerabilità ($1.16 > CQI > 1.65$). Minori differenze si osservano per quanto riguarda le aree a bassa vulnerabilità climatica (CQI < 1.15), che risultano essere maggiormente

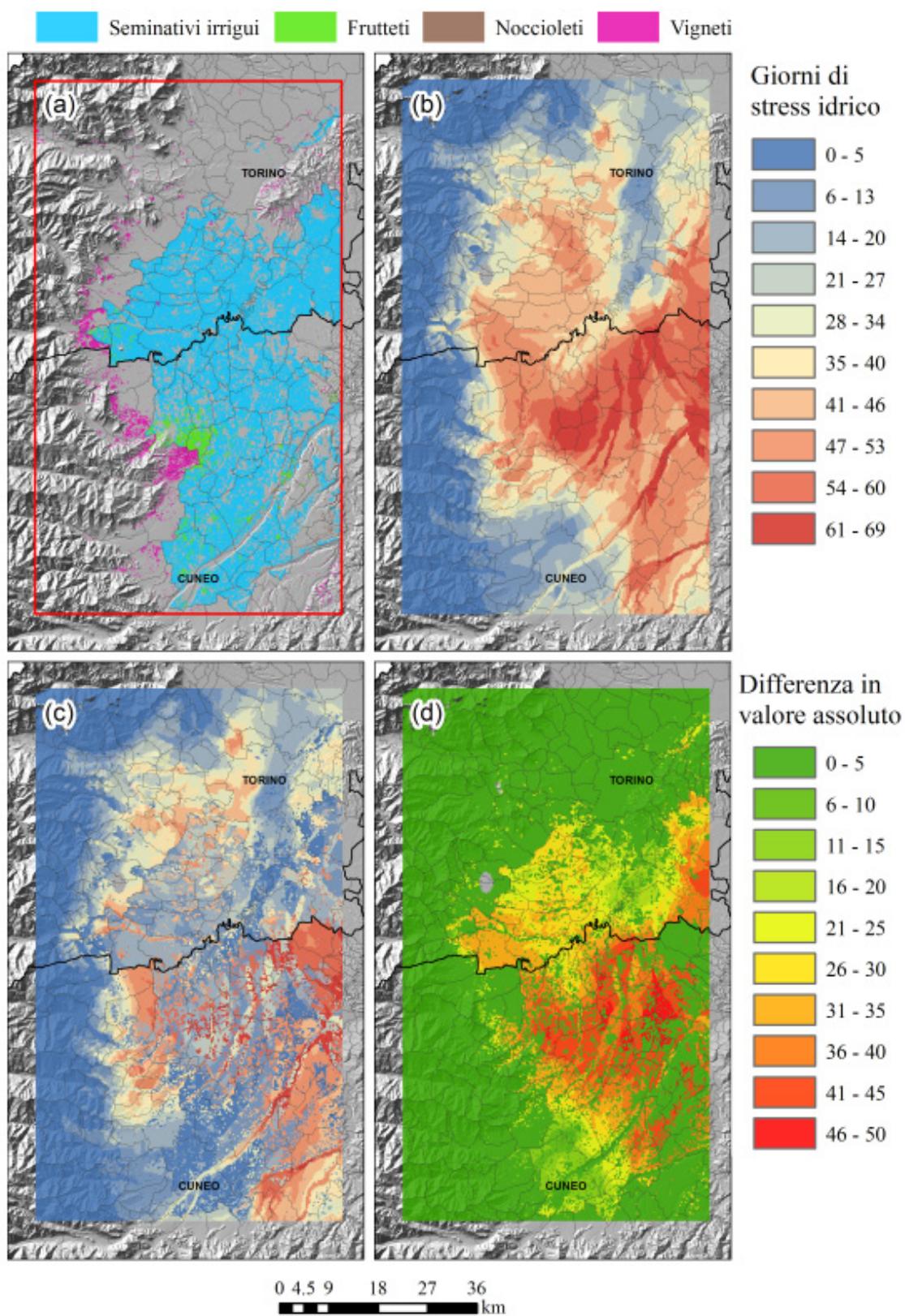


Figura 27. (a) Aree irrigue all'interno dell'area di studio; (b) giorni di stress idrico restituiti dalla simulazione a scala giornaliera; (c) giorni di stress idrico restituiti dalla simulazione a scala giornaliera ipotizzando alcune irrigazioni; (d) differenza in valore assoluto tra i risultati delle due simulazioni.

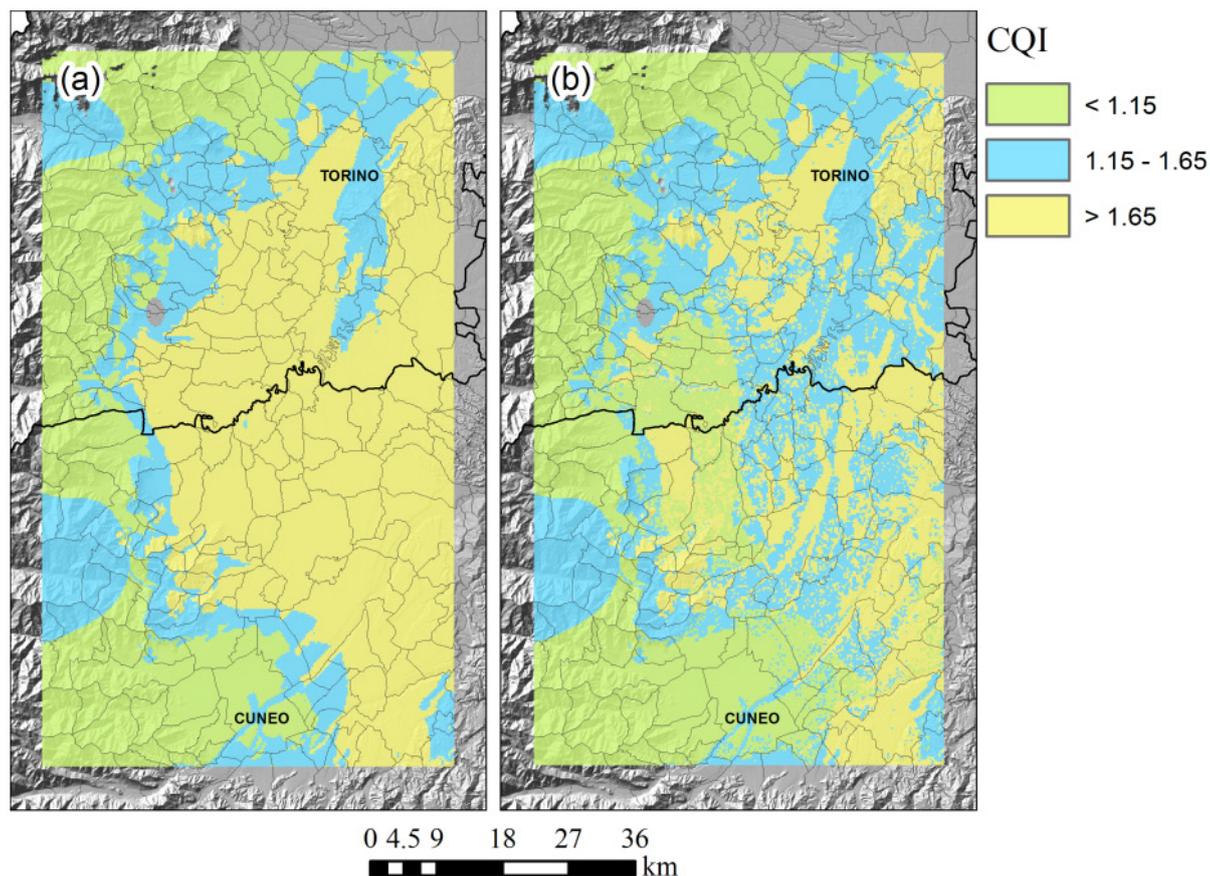


Figura 28. (a) Indice di qualità del clima (CQI) calcolato utilizzando il bilancio idrico a scala giornaliera; (b) indice di qualità del clima calcolato utilizzando il bilancio idrico a scala giornaliera ipotizzato.

estese nella zona Nord-Ovest dell'area di studio e leggermente più contratte nella zona a Sud. I grafici riportati nella figura 26 mostrano le percentuali delle classi di vulnerabilità climatica ottenuti con le due procedure. Le aree a bassa qualità risultano essere aumentate del 2.9%, mentre quelle a media qualità si sono ridotte di circa il 10% e diventando in buona parte aree a bassa qualità.

Simulazione con irrigazioni

Come accennato in precedenza, il territorio compreso nell'area di studio possiede una spiccata vocazione agraria. La carta riprodotta nella figura 25a mostra come vi sia una presenza importante di coltivazioni che necessitano di essere irrigate nel periodo estivo (seminativi irrigui, frutteti e vigneti). Inoltre come si può osservare dal confronto tra le Fig. 27a e 27b

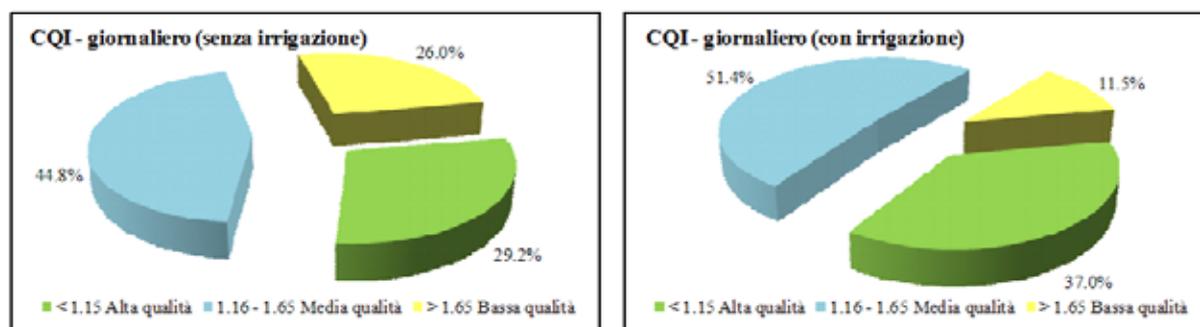


Figura 29. Ripartizione percentuale dell'area di studio nelle diverse classi dell'indice di qualità del clima (CQI) calcolato in base al bilancio idrico giornaliero.



la disposizione di queste tipologie colturali è grossomodo sovrapposta con le aree in cui si verifica il maggiore numero di giorni di stress idrico del suolo.

Le pratiche irrigue che vengono praticate dagli agricoltori su queste tipologie colturali durante l'estate hanno sicuramente un'importante influenza sulle dinamiche idrologiche del suolo. Per valutare quale possa essere l'effetto dell'irrigazione sul bilancio idrico è stata realizzata un'ulteriore simulazione ipotizzando di irrigare le colture irrigue presenti (Fig. 27a) con quattro eventi irrigui di 80 mm applicati nelle seguenti date: 12/06/2006, 03/07/2006, 12/07/2006 e 24/07/2006. L'entità degli apporti irrigui e le date di applicazione corrispondono a quelle misurate in un'azienda campione durante una campagna di misure sulle pratiche irrigue per la coltivazione del mais (*Zea mays* L.).

I risultati della simulazione giornaliera senza irrigazioni e con le irrigazioni, rappresentati nelle figure 27b e 27c mostrano come, dove applicate, le pratiche irrigue riducano drasticamente lo stress idrico, mentre la figura 27d evidenzia come l'effetto delle irrigazioni sia più evidente proprio dove il modello di bilancio idrico indichi la maggiore carenza idrica.

Infine si è proceduto ad elaborare il CQI in modo da osservare l'influenza che le pratiche irrigue hanno sull'indice di qualità del clima (Fig. 28). Le irrigazioni (Fig. 28b) hanno determinato una significativa riduzione della aree a bassa qualità ($CQI > 1.65$) che sono in gran parte passate alla classe di media qualità ($1.16 > CQI > 1.65$). Anche le aree ad alta qualità ($CQI < 1.15$) hanno subito un certo incremento, soprattutto nella zona Ovest dell'area di studio e attorno al comune di Cuneo.

I due grafici della figura 29 mostrano le percentuali delle classi di vulnerabilità climatica ottenuti con e senza irrigazione. Le aree a bassa qualità sono notevolmente diminuite passando dal 26 all'11.5%, mentre quelle a media qualità sono aumentate del 6.7%, passando dal 44.8 al 51.4%, così come sono aumentate anche quelle ad alta qualità che sono incrementate del 7.8%.

3.1.4 INDICE DI QUALITÀ DELLA VEGETAZIONE (VQI)

Gli aspetti vegetazionali sono stati analizzati elaborando la carta dell'uso del suolo (1:10.000) prodotta da IPLA da cui sono state ricavate le informazioni sulla vegetazione che, come quelle sull'uso del suolo, sono state elaborate e riclassificate al fine di ottenere le coperture cartografiche relative agli indici di qualità necessari per l'elaborazione del Vegetation Quality Index (VQI).

L'Indice di Qualità della Vegetazione è stato elaborato attraverso l'utilizzo dei seguenti parametri:

- rischio di incendio e capacità di recupero;
- protezione all'erosione;
- resistenza alla siccità;
- copertura vegetale

Le tipologie vegetazionali presenti nella carta dell'uso del suolo IPLA sono molto più numerose rispetto alle 12 classi utilizzate nella metodologia originale descritta da Kosmas et al., 1999. Con riferimento a tale difformità le diverse tipologie vegetazionali sono state quindi analizzate ed è stato assegnato loro il valore di indice più appropriato in relazione ai diversi aspetti considerati (Tabella 11).

Resistenza alla siccità

Indica la capacità delle specie vegetali a resistere in condizioni di stress idrico. In ambiente mediterraneo la vegetazione è naturalmente adattata a sopravvivere a periodi più o meno siccitosi: è quindi diversa la capacità di resistenza agli stress idrici da parte delle piante che si trovano in Piemonte. Valori maggiori dell'indice sono stati assegnati alle tipologie vegetazionali con maggiore fabbisogno idrico.

Copertura vegetale

Molti studi effettuati dimostrano che la variazione dell'intensità del ruscellamento superficiale e del trasporto di sedimenti è da attribuire ai cambiamenti vegetazionali e di uso del suolo. Diversi autori hanno dimostrato che sia il ruscellamento che la

CLASSE	CODICE	Resistenza alla siccità	Protezione dall'erosione	Copertura vegetale	Rischio di incendio
Acque	AQ__	N.c	N.c	N.c	N.c
Aree estrattive	ES__	N.c	N.c	N.c	N.c
Rocce, macereti e ghiacciai	RM__	N.c	N.c	N.c	N.c
Aree urbanizzate	UI__	N.c	N.c	N.c	N.c
Abetine	AB__	1.0	1.3	1.0	2.0
Acero-tiglio-frassineti	AF__	1.0	1.2	1.0	2.0
Impianti di conifere	AL00C	1.2	1.2	1.0	1.6
Impianti di latifoglie di pregio	AL00L	1.3	1.3	1.3	1.6
Pioppeti	AL00P	1.3	1.3	1.0	1.3
Impianti indifferenziati	AL00X	1.3	1.3	1.0	1.6
Alneti planiziali e montani	AN__	1.0	1.2	1.0	1.0
Castagneti	CA__	1.0	1.3	1.0	1.3
Cerrete	CE__	1.6	1.0	1.0	1.6
Canneti	CN__	1.0	1.3	1.0	2.0
Faggete	FA__	1.0	1.3	1.0	1.0
Nocciolieti	FV00N	1.6	1.2	1.0	1.6
Lariceti e cembrete	LC__	1.3	1.0	1.0	1.6
Ostrieti	OS__	1.3	1.0	1.0	1.6
Praterie non utilizzate	PB__	1.0	1.3	1.0	1.6
Peccete	PE__	1.0	1.0	1.0	1.6
Praterie	PL__	1.0	1.3	1.0	1.6
Pinete di pino marittimo	PM__	1.3	1.0	1.0	1.0
Pinete di pino uncinato	PN__	1.3	1.0	1.0	1.6
Praterie rupicole	PR__	1.3	1.0	1.0	1.6
Pinete di pino silvestre	PS__	1.3	1.0	1.0	1.0
Prato- pascoli	PT__	1.3	1.3	1.0	1.3
Prati stabili di pianura	PX__	1.0	1.7	1.0	1.0
Quercio - carpineti	QC__	1.0	1.2	1.0	1.6
Querceti di roverella	QR__	1.3	1.0	1.0	1.6
Querceti di rovere	QV__	1.0	1.3	1.0	1.6
Robineti	RB__	1.0	1.0	1.0	1.6
Rimboschimenti	RI__	1.0	1.3	1.0	1.3
Seminativi irrigui	SE00I	1.3	1.2	1.0	1.0
Seminativi in sommersione	SE00S	1.0	1.0	1.0	1.0
Formazioni legnose riparie	SP__	1.0	1.3	1.0	2.0
Torbiere	TB__	1.3	1.0	1.0	1.3
Zone umide	ZU__	1.0	1.2	1.0	1.0
Arbusteti planiziali, collinari e montani	AS__	1.0	1.7	1.8	1.6
Boscaglie pioniere e d'invasione	BS__	1.3	1.0	1.8	1.6
Cespuglieti pascolabili	CB__	1.6	1.3	1.8	1.3
Cespuglieti	CP__	1.3	1.0	1.8	2.0
Coltivi abbandonati	CV__	1.6	1.0	1.8	1.6
Frutteti	FV00F	1.6	1.3	1.8	1.3
Vigneti	FV00V	1.7	1.0	1.8	1.3
Frutteti e vigneti indifferenziati	FV00X	1.3	1.2	1.8	1.3
Greti	GR__	1.7	1.0	1.8	2.0
Arbusteti subalpini	OV__	1.3	1.0	1.8	2.0
Praterie aride di greto	PG__	1.6	1.0	1.8	1.6
Seminativi in asciutta	SE00A	1.6	1.2	1.8	1.3
Seminativi indifferenziati	SE00X	1.7	1.3	1.8	1.0
Aree verdi di zone urbane	UV__	1.0	1.3	1.8	1.6

Tabella 12. Classi della legenda della Carta I.P.L.A. S.p.A. e delle corrispondenti tipologie d'uso del suolo.

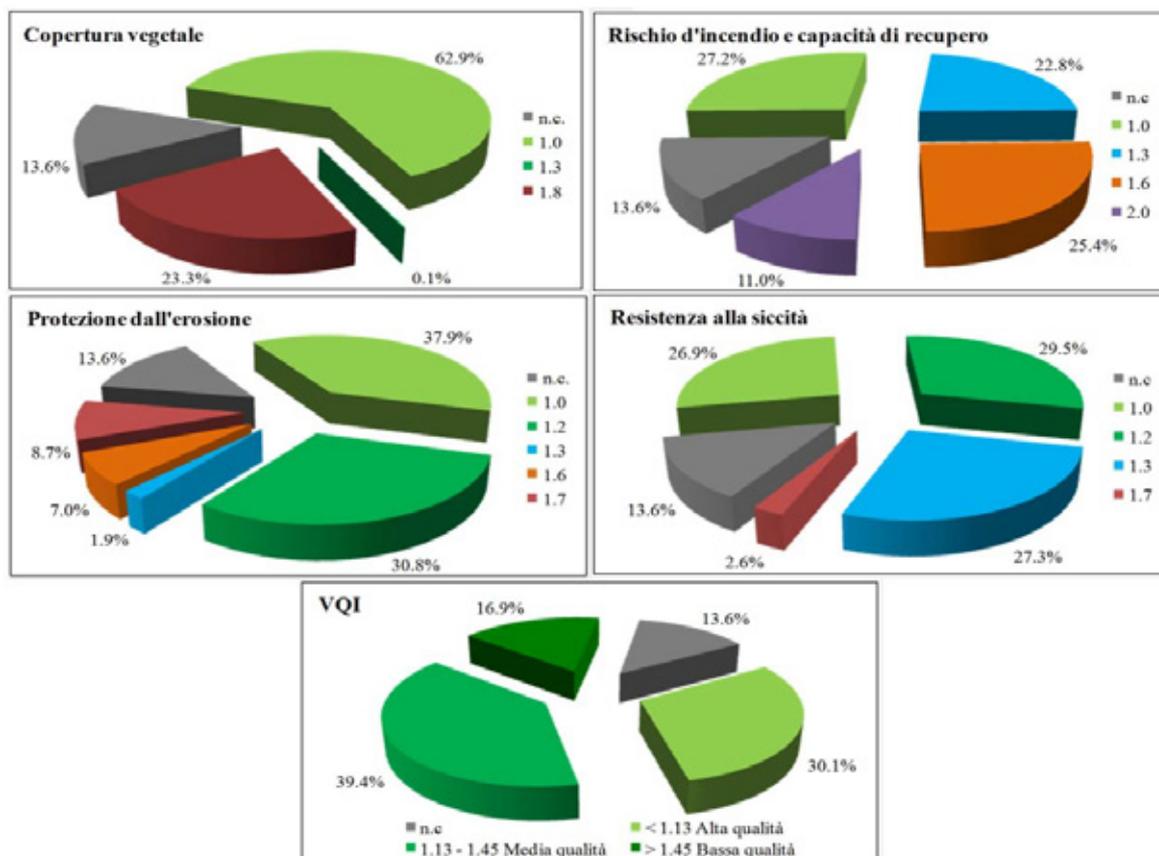


Figura 30. Suddivisione del territorio regionale rispetto all'indice di qualità della vegetazione (VQI) ed alle componenti che concorrono alla sua elaborazione.

perdita di suolo diminuiscano esponenzialmente all'aumentare della percentuale di suolo occupata dalla vegetazione. Al di sotto del 40% di copertura i processi erosivi su versanti acclivi subiscono un'accelerazione (Thornes, 1988); questo valore può essere influenzato dalle differenti tipologie vegetazionali, e da altre caratteristiche territoriali ma comunque mostra come i processi erosivi più intensi si manifestino soltanto quando una buona parte del suolo sia denudato ed esposto all'azione erosiva delle precipitazioni.



Protezione dall'erosione

La vegetazione e l'uso del suolo, insieme alle precipitazioni, sono i fattori che regolano l'intensità del ruscellamento superficiale e dell'erosione. Vaste aree in cui dominano colture come i cereali e la vite che prevedono frequenti lavorazioni dell'interfilare sono localizzate in aree collinari con suoli molto erodibili. Tali tecniche lasciano il suolo nudo per buona parte dell'anno, aumentando il rischio di desertificazione e creando le condizioni favorevoli per il ruscellamento e l'erosione. La migliore protezione è offerta dai boschi di conifere e latifoglie in cui è presente un sottobosco ben sviluppato.

Rischio d'incendio e capacità di recupero

Tale indice rappresenta la capacità di un certo tipo di vegetazione (o di una certa tipologia di un uso del suolo) a resistere in caso di passaggio del fuoco e recuperare dopo l'evento. La vegetazione reagisce infatti agli incendi in modi estremamente

Classe	Codice	Intensità d'uso del suolo
Acque	AQ__	N.c.
Aree estrattive	ES__	N.c.
Rocce, macereti e ghiacciai	RM__	N.c.
Aree urbanizzate	UI__	N.c.
Abetine	AB__	1.0
Acero-tiglio-frassineti	AF__	1.0
Impianti di conifere	AL00C	1.2
Impianti di latifoglie di pregio	AL00L	1.2
Pioppeti	AL00P	1.2
Impianti indifferenziati	AL00X	1.2
Alneti planiziali e montani	AN__	1.0
Castagneti	CA__	1.0
Cerrete	CE__	1.0
Canneti	CN__	1.0
Faggete	FA__	1.0
Nocciolieti	FV00N	2.0
Lariceti e cembrete	LC__	1.0
Ostrieti	OS__	1.0
Praterie non utilizzate	PB__	1.0
Peccete	PE__	1.0
Praterie	PL__	1.2
Pinete di pino marittimo	PM__	1.0
Pinete di pino uncinato	PN__	1.0
Praterie rupicole	PR__	1.0
Pinete di pino silvestre	PS__	1.0
Prato- pascoli	PT__	2.0
Prati stabili di pianura	PX__	1.5
Quercio - carpineti	QC__	1.0
Querceti di roverella	QR__	1.0
Querceti di rovere	QV__	1.0
Robineti	RB__	1.0
Rimboschimenti	RI__	1.0
Seminativi irrigui	SE00I	1.5
Seminativi in sommersione	SE00S	1.5
Formazioni legnose riparie	SP__	1.0
Torbiere	TB__	1.0
Zone umide	ZU__	1.0
Arbusteti planiziali, collinari e montani	AS__	1.0
Boscaglie pioniere e d'invasione	BS__	1.0
Cespuglieti pascolabili	CB__	1.5
Cespuglieti	CP__	1.0
Coltivi abbandonati	CV__	1.0
Frutteti	FV00F	2.0
Vigneti	FV00V	2.0
Frutteti e vigneti indifferenziati	FV00X	2.0
Greti	GR__	1.0
Arbusteti subalpini	OV__	1.0
Praterie aride di greto	PG__	1.0
Seminativi in asciutta	SE00A	2.0
Seminativi indifferenziati	SE00X	2.0
Aree verdi di zone urbane	UV__	1.2

Tabella 13. Classi della legenda della carta I.P.L.A. S.p.a. e delle corrispondenti tipologie d'uso del suolo.

differenti; alcune specie si sono adattate a resistere al calore (resistenza) ad esempio sviluppando apparati protettivi (e.g. una corteccia molto spessa, come le querce mediterranee o il larice), altre invece hanno sviluppato strategie per recuperare velocemente i danni provocati dal fuoco (resilienza) sfuggendo al calore grazie a forme di resistenza ipogee.

Queste capacità inoltre variano lungo l'arco della stagione e con il grado di sviluppo della vegetazione stessa. Il rischio di desertificazione dovuto al fuoco è pertanto legato alle caratteristiche intrinseche della vegetazione nonché alla durata, l'intensità e la frequenza degli incendi.

Gli incendi oltre alla combustione totale o parziale della biomassa epigea possono influenzare anche le caratteristiche del suolo, riducendone la porosità e distruggendo la sostanza organica.

3.1.5 INDICE DI QUALITÀ DI GESTIONE DEL TERRITORIO (MQI)

La metodologia ESAs, oltre a richiedere una serie di indicatori sui parametri relativi all'ambiente fisico, richiede anche l'elaborazione di un parametro di pressione antropica esercitata sull'ambiente. Una determinata area, indipendentemente dalle sue dimensioni è caratterizzata infatti dalla sua destinazione d'uso, la quale è collegata con un certo tipo di gestione che a sua volta è il risultato dell'interazione di fattori di tipo ambientale, sociale, economico, tecnologico e politico. L'utilizzo del territorio da parte delle attività



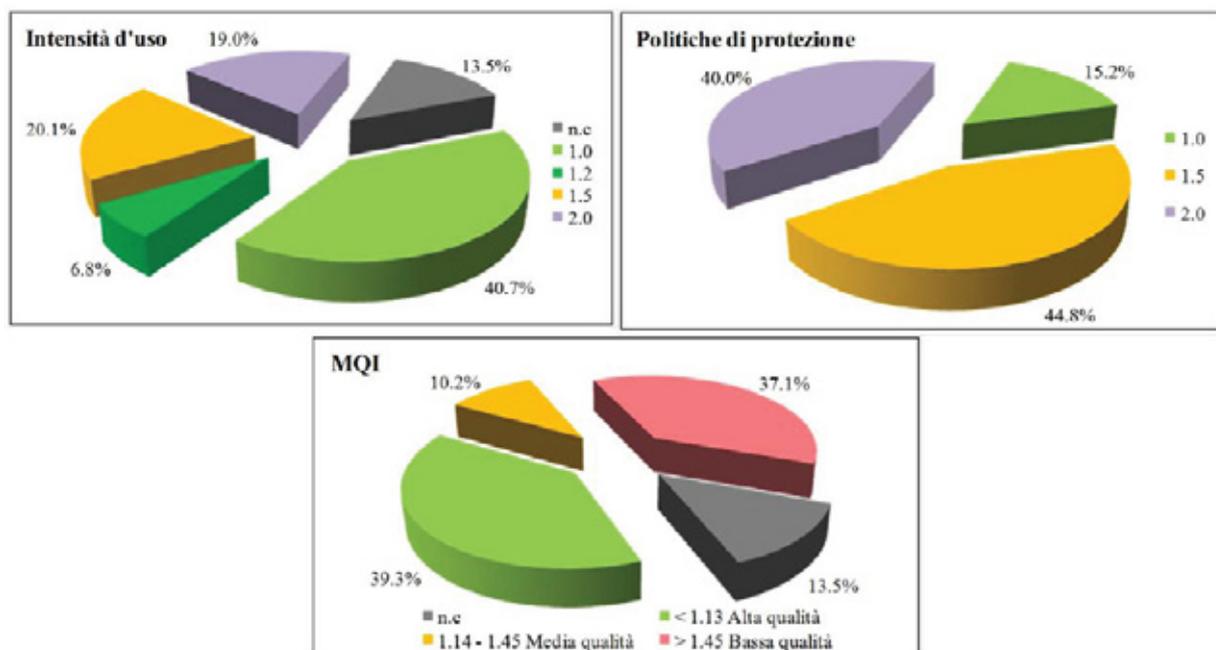


Figura 31. Suddivisione del territorio regionale rispetto all'indice di qualità della gestione del territorio (MQI) ed alle componenti che concorrono alla sua elaborazione.

umane è un aspetto fondamentale nel determinare i processi che possono portare al degrado del suolo e alla progressiva desertificazione.

Il modello, per il calcolo dell'indice di qualità della gestione, considera, in particolare, l'intensità di uso e le eventuali politiche di tutela ambientale applicate nell'area oggetto di studio.

Intensità d'uso

L'indice dell'intensità d'uso è stato analizzato separatamente per:

- Aree naturali
- Aree agricole
- Aree pascolive

Politiche di protezione

L'applicazione di specifiche politiche ambientali riduce e previene gli impatti dovuti a un certo tipo di uso rispetto a un'area ove tali politiche non siano in vigore. Il modello considera in particolare l'intensità di uso e le eventuali politiche di tutela ambientale applicate nell'area oggetto di studio.

Qui di seguito vengono elencate le diverse norme legislative di tutela ambientale considerate:

- Aree protette - Zone di Protezione Speciale (ZPS) - 1:25.000;
- Aree protette - Siti di Importanza Comunitaria (SIC) - 1:25.000;
- Aree protette - Siti di Importanza Regionale (SIR) - 1:25.000;
- Aree protette - Parchi e Riserve naturali nazionali, regionali e provinciali - 1:25.000;
- Aree vincolate ai sensi dell'art. 139 del D.lgs. n. 490 del 29/10/99 (Galassini) - 1:25.000;
- Aree vincolate ai sensi degli artt. 136 -157 del D.lgs. 22 gennaio 2004 n. 42 (Vincoli 1497) - 1:25.000;
- Aree vincolate ai sensi del R.D. 30/12/1923 N. 3267 (Vincolo Idrogeologico) - 1:25.000.

Classe	Politica applicata	Indice
1	Parchi, SIC., SIR, ZPS	1.0
2	Vincolo idrogeologico	1.5
3	Nessuna	2.0

Tabella 14. Classi delle politiche ambientali e relativo indice



L'applicazione di specifiche politiche ambientali riduce e previene gli impatti dovuti a un certo tipo di uso rispetto a un'area ove tali politiche non siano in vigore. Il modello considera in particolare l'intensità di uso e le eventuali politiche di tutela ambientale applicate nell'area oggetto di studio.

Sulla base dell'analisi relativa al rapporto tra fabbisogno e disponibilità di risorsa idrica e, con particolare riferimento al settore irriguo (è stata effettuata una rilevazione dati presso i principali Consorzi irrigui), si è proceduto all'integrazione dell'indice MQI con i risultati della suddetta rilevazione. I risultati di questa attività è descritto in dettaglio nel paragrafo seguente.

3.1.6 PROPOSTA DI INTEGRAZIONE DEL METODO ESAs

L'individuazione del rischio desertificazione con la metodologia ESAs viene correlata soprattutto a cause di tipo climatologico, pedologico ed ambientale, e molto limitatamente a cause antropiche in senso stretto, riflettendo in ciò la sua vocazione a valutazioni di aree con maggiori problemi di erosione fisica e minor pressione antropica. In una realtà come quella regionale piemontese, ad elevata densità demografica e produttiva, agricola, industriale e terziaria, la componente antropica, intesa nei suoi comportamenti complessi e dinamici, assume una rilevanza molto elevata, tale da consigliare un arricchimento degli indici previsti. In questo

contributo si è scelto di valutare l'incidenza dell'azione antropica attraverso un arricchimento dell'indice MQI (Management Quality or degree of human Indiced stress), che stima la gestione qualitativa ed il grado di stress ambientale indotto dall'azione umana, attraverso l'integrazione di ulteriori informazioni nei due sottoindici previsti dal metodo ESAs. Intensità d'uso del territorio **Iu** e Politiche di salvaguardia **Ps**. Tali integrazioni sono state ottenute valutando le dinamiche poste in essere negli ultimi cinque anni sia come impatto d'uso e consumo dell'ambiente, sia come realizzazione di politiche per la salvaguardia, nell'ottica di coglierne la dinamica più recente senza perdere di vista quanto già realizzato in precedenza.



In particolare si è ritenuto costituisca un segnale forte di un tendenziale rischio la progressiva riduzione delle disponibilità idriche per usi antropici, produttivi e di consumo, causata da modificazioni nelle precipitazioni meteoriche, accanto ad un tendenziale esaurimento di molte risorse originarie per eccessivo sfruttamento ed un crescente inquinamento ambientale ed idrico. Contestualmente si è ritenuto possano costituire un contrasto efficace ed una riduzione dei danni emergenti l'implementazione di politiche di salvaguardia delle risorse idriche ed ambientali, sia come produzione normativa, sia come attività di controllo e repressione degli abusi, sia come azione diretta per interventi di salvaguardia e di protezione ambientale. Per le aree montane ed alto collinari, che in Piemonte hanno registrato e registrano un progressivo spopolamento umano, sono stati considerati due indici specifici: uno relativo all'intensità dei micro dissesti, conseguenti l'abbandono residenziale e produttivo dei territori, ed uno relativo alle politiche promosse per la loro riduzione. In sostanza partendo dagli Indici ESAs relativi allo stato in essere, si sono stimate le variazioni e le tendenze più recenti da integrare negli Indici stessi, rivolgendo l'attenzione ai maggiori consumi aggregati: Agricoli Irrigui, corrispondenti a circa l'80% dei prelievi totali, ed Industriali, Potabili, Turistici ed Ambientali, corrispondenti al restante 20%. In particolare la ricerca è stata focalizzata separatamente sul settore



agricolo, principale attore nei prelievi ed uso di risorse idriche, anche in considerazione della sua maggior dinamica incrementale nella domanda, e sui restanti attori dei prelievi, riservando ad essi una valutazione complessiva in considerazione della loro minor dinamica nella domanda.

Integrazione dell'indice MQI con variabili antropiche

L'integrazione effettuata, mantenendo l'algoritmo di calcolo proposto dal metodo ESAs, ha assunto la seguente modalità: partendo da $MQI = [Intensità\ d'uso \cdot Politiche\ di\ salvaguardia]^{1/2}$ si è ottenuto $MQI_i = [(Intensità\ d'uso + Integrazioni) \cdot (Politiche\ di\ salvaguardia + Integrazioni)]^{1/2}$ in simboli $MQI_i = [(I_u + I_i) \cdot (P_s + P_i)]^{1/2}$.

L'Indice di variazione nell'Intensità d'uso (I_i) è stato stimato come sommatoria di indici relativi a riduzioni nelle disponibilità idriche locali o all'emergere di situazioni di scarsità permanente, quali potenziali precondizioni della desertificazione.

L'indice di variazione delle politiche di salvaguardia (**Pi**), è stato stimato come sommatoria di indici relativi a variazioni intervenute nelle politiche regionali e locali a protezione delle risorse idriche ed ambientali, e nelle azioni contrastanti fenomeni di desertificazione. L'insieme dei due indici può così sintetizzare le variazioni intervenute negli ultimi cinque anni nelle attività antropiche locali nelle duplici dimensioni di carattere produttivo e consumo, di tutela ambientale e territoriale.

Il criterio di valutazione assunto è stato quello di "appesantire" l'indice **Iu** sommandovi decimali in base all'incidenza della tendenza negativa registrata, da un valore massimo ad un valore nullo nei casi di assenza di tali tendenze; parallelamente è stato alleggerito l'indice **Ps** sottraendovi decimali in base al peso della tendenza riequilibratrice individuata. Questa scelta è corrisposta alla decisione di dar peso alle dinamiche più recenti, considerando e valorizzando le evoluzioni in atto come integrazione dei livelli raggiunti sia nella problematicità che nella salvaguardia territoriale, ma utilizzando valori decimali che non penalizzando le aree virtuose, stimate con l'indice ESAs originario, possono premiare le aree arretrate ma dinamiche ed impegnate nella salvaguardia.

Il principale problema incontrato nella conduzione delle ricerche è stata la disomogeneità statistica e delle informazioni disponibili circa le aree ed i territori considerati, nel senso di non corrispondenza, per ogni integrazione proposta, dei dati disponibili o rilevati ad identiche unità territoriali. Le informazioni a disposizione o raccolte hanno riguardato infatti dimensioni territoriali ed amministrative diverse essendo fornite rispettivamente da Regione, Province, Comuni, Consorzi irrigui, Autorità d'Ambito (A.ATO), Comunità Montane, Comprensori irrigui, ecc. Istituzioni ed Enti con diversi ruoli e finalizzazioni delle informazioni disponibili, sempre riferite alle proprie aree di competenza, ciascuna delle quali con diverse caratteristiche antropiche, territoriali, ambientali, fisiche. Occorre anche osservare che le dimensioni territoriali su cui insistono i fenomeni antropici e comportamentali considerabili di tipo omogeneo, sono assolutamente variabili nel tempo e



dipendenti da percorsi storici complessi in senso economico e politico. Ad esempio l'assunzione dei bacini idrografici come aree di osservazione delle disponibilità idriche in relazione alle tendenze economiche in atto e previste, non sarebbe risultata utile, per quanto ragionevole e significativa, poiché i fenomeni antropici, economici e produttivi, i criteri del loro insediamento, le conseguenti incidenze territoriali, rispondono a logiche non territoriali, né razionali in senso ambientale, ma solo economico. Inoltre l'individuazione di aree di osservazione omogenee da un punto di vista antropico e programmatico, per definire gli interventi necessari rispetto al problema della scarsità idrica, avrebbe richiesto una quantità di osservazioni puntuali eccessiva, praticabile solo in tempi lunghi e con grandi difficoltà. Questo limite della disomogeneità delle osservazioni e delle aree corrispondenti, ha generato la produzione di valutazioni e tabelle, con i relativi Indici, su basi territoriali non sempre comuni od omogenee. L'unica aggregazione operativa di dati possibile, ma non di minor rilevanza, è risultata quella geografica e mappale, dove per sovrapposizione sulle dimensioni territoriali prescelte si sono fatti confluire le diverse informazioni e conoscenze.

Un secondo problema ha riguardato la valutazione dell'inquinamento idrico, dal momento che esso risulta determinante nella riduzione di risorse direttamente utilizzabili, richiedendo un più o meno ampio intervento di recupero o disinquinamento, dai costi significativi nella prospettiva d'uso potabile ma anche produttivo, industriale, turistico, e venendo a determinare contingenti riduzioni nelle disponibilità (ad

esempio con sospensioni nell'erogazione, divieti di balneazione fluviale e lacustre). Tuttavia si è scelto di considerare solo il tema della riduzione quantitativa e non quello della perdita di qualità idrica considerando quest'ultimo un aspetto riguardante essenzialmente i costi economici necessari per gli interventi di depurazione, senza una conseguenza immediata in termini di riduzione assoluta delle disponibilità, pur riconoscendo che l'inquinamento e la contaminazione delle risorse generano di fatto un tendenziale processo di desertificazione, (al limite con tutte le risorse inquinate si rimane senza acqua).

Un terzo problema di fondo ha riguardato le aree colpite da abbandono umano in relazione alla conseguente dispersione di risorse idriche o la loro riduzione in termini di disponibilità produttiva immediata, perdita o inaridimento delle sorgenti. E' risultato alquanto difficile stimarne l'entità per assenza di rilevazioni ma anche per la consapevolezza si sia trattato e si tratti perlopiù di una loro minor disponibilità locale, non necessariamente generale potendo tali risorse idriche alimentare, per trasferimenti sotterranei, altre disponibilità locali.

L'Indice integrato **Iu**

Le integrazioni **Ii** relative all'indice **Iu** (utilizzo del territorio) del metodo ESAs sono state stimate nelle varie porzioni di territorio regionale su cui sono risultati disponibili dati o si è effettuata la raccolta di nuove informazioni. Relativamente agli usi produttivi agricoli considerati con il metodo ESAs, si sono individuati due indici di variazione delle disponibilità idriche:

- Ic Carezza idrica: intesa come variazione nella disponibilità irrigua contingente;
- Id Deficit idrico: inteso come limite alle espansioni produttive o territoriali per mancanza di risorse idriche.

Per le altre criticità idrico-ambientali, (quindi non irrigue e non idropotabili), si è stimato un indice **It Criticità territoriale ed idrica** (siccità e desertificazione) eventualmente presente nei vari territori osservati.

I valori previsti sono stati: $Ic=[0/0,1/0,15/0,2]$
 $Id=[0/0,1/0,15]$ $It=[0/0,1/0,15]$ dove il valore



[0] ha indicato una dinamica in assenza di peggioramenti o di scarsità progressiva, mentre i valori $[0,1/0,15/0,2]$ hanno segnalato dinamiche negative crescenti, incidendo infatti in modo progressivamente peggiorativo sugli Indici ESAs (sono stati esclusi valori negativi, che avrebbero migliorato gli indici non essendo stati individuati casi o territori di incremento naturale delle risorse idriche o recupero di aree desertiche). Tali indici integrativi **Ii** sono stati "sommati" agli indici ESAs in quanto hanno rappresentato loro correzioni o integrazioni in base al peso attribuito agli effetti dell'azione antropica in quel determinato territorio, ed hanno modificato indirettamente le attribuzioni iniziali delle Classi di appartenenza ESAs. Per ogni porzione territoriale sono potuti intervenire uno o più indici, pur riguardando ciascuno problematiche diverse, per la possibilità di coesistenza territoriale di problematiche e situazioni di siccità locale; raramente si è verificato comunque il caso di un'incidenza dell'insieme di tutti gli indici. Questo ha significato che le integrazioni agli Indici ESAs hanno agito in un intervallo massimo di valori $[0/0,45]$.

Per le aree montane ed alto collinari si è stimato un indice relativo ad uno specifico fenomeno di desertificazione (**Ia=Abbandono umano**)

Tabella 15. Carezza idrica per uso irriguo, indice $Ic=[0/0,1/0,15/0,2]$. Deficit idrico per uso irriguo, indice $Id=[0/0,1/0,15]$. Indice Icd somma dei due indici precedenti. Tutti indici numerici positivi con valori assoluti maggiori per condizioni peggiori. Carezza e Deficit sono espressi in valori (%)

CONSORZIO IRRIGUO DI II° GRADO	Indice Ic	Carezza (%)	Indice Id	Deficit (%)	Indice Icd
EST SESIA 1201	0,15	20%(20%)	0,1	20%	0,25
OVEST SESIA 1202	0,15	20%(17%)	0,1	20%	0,25
ANGIONO FOGLIETTI 1203	0,15	25%(25%)	0	5%	0,15
OSSOLANO 1204	0,15	20%(20%)	0	0%	0,15
DEL CANAVESE 1205	0,15	25%(17,5%)	0	10%	0,15
SINISTRA DELLA STURA 1206	0,15	30%(30%)	0,1	20%	0,25
VALLI DI SUSÀ E CENISCHIA 1207	0,15	30%(30%)	0	0%	0,15
BEALERE DORA RIPARIA 1208	0,2	40%(40%)	0	5%	0,2
VALSANGONE 1209	0,1	10%(9,6%)	0	10%	0,1
CHISOLA – LEMINA 1210	0,15	20%(20%)	0	0%	0,15
VAL CHISONE – PINEROLESE 1211	0,2	35%(37%)	0	10%	0,2
VAL PELLICE – CAVOURESE 1212	0,2	35%(44,5%)	0,1	15%	0,3
CHIERESE ASTIGIANO 1213	0,1	12%(18,7%)	0,15	30%	0,25
SINISTRA PO - VALLE PO 1214	0,15	20%(29,6)	0,1	20%	0,25
SALUZZESE – VARAITA 1215	0,1	10%	0	5%	0,1
PIANURA CUNEESE – TORINESE 1216	0,1	15%(17,5%)	0,15	30%	0,25
AREA SAVIGLIANESE 1217	0,1	10%	0	5%	0,1
MAIRA-BUSCHESE-VILLAFALLETTESE 1218	0,15	30%(30%)	0,15	30%	0,3
VALLE MAIRA 1219	0,2	50%(50%)	0	10%	0,2
RISORGIVE MELLEA CENTALLESE 1220	0,15	25%(24%)	0,1	20%	0,25
SINISTRA STURA DI DEMONTE 1221	0,15	30%(28%)	0	0%	0,15
VALLE GRANA – CARAGLIESE 1222	0,15	30%(40%)	0	5%	0,15
FOSSANESE BRAIDESE 1223	0,2	35%(37,8%)	0,1	20%	0,3
BEALERA MAESTRA-DESTRA STURA 1224	0,15	20%(25,6%)	0,15	60%	0,3
VALLE GESSO E VERMENAGNA –					
CUNEESE- BOVESANO 1225	0,2	35%(25%)	0,1	20%	0,3
CONSORZIO DEL PESIO 1226	0,15	25%(30%)	0,1	15%	0,25
ELLERO, CORSAGLIA, CASOTTO 1227	0,2	40%(40%)	0,15	70%	0,35
ALTA VALLE TANARO CEBANO CN 1228	0,2	20%(20%)	0	5%	0,2
TANARO ALBESE - LANGHE ALBESI 1229	0,15	20%(20%)	0,15	22%	0,3
CONSORZIO IRRIGUO ROERO 1230	0	0%	0	5%	0
ALTA LANGA-BORMIDA E UZZONE 1231	0,15	20%(21%)	0,15	50%	0,3
DESTRA PO - AGRO CASALESE 1232	0,15	30%(30%)	0,15	50%	0,3
CONSORZIO CANALE DE FERRARI 1233	0	0%(0%)	0,1	20%	0,1
CONSORZIO DESTRA BORMIDA 1234	0,1	10%(9,3%)	0,15	30%	0,25
ALESSANDRINO ORIENTALE SCRIVIA 1235	0,15	20%(19,4%)	0,1	20%	0,25
BARAGGIA BIELLESE E VERCELLESE 1236	0,15	15%(14,3%)	0,1	15%	0,25

Fonte. Rilevazione diretta presso i Consorzi irrigui

valutato attraverso la problematica posta dalla diffusione di microdissesti idrogeologici, causati anche dall'assenza di manutenzione continua conseguente l'abbandono produttivo e residenziale. I valori previsti sono stati $Ia=[0/0,1/0,15]$ per segnalare dinamiche negative crescenti.

L'Indice integrato Psi

Gli indici integrativi Pi delle Politiche di salvaguardia, Ps , sono stati stimati, per quanto possibile, con riferimento alle stesse porzioni di territorio considerate per gli indici Ii .

L'indice $Pcd= Politiche irrigue$ è stato stimato relativamente alle risorse irrigue e alle politiche di salvaguardia realizzate negli ultimi cinque

anni, con valori compresi nell'intervallo:

$$Pcd = [-0,3/-0,2/-0,1/0].$$

Per le criticità idriche generali si è stimato l'indice **Pt= Politiche territoriali** per desertificazione, $Pt=[-0,1/0]$. I segni negativi nei valori degli indici hanno stimato gli incrementi positivi nelle politiche di protezione delle risorse, dal maggiore incremento $[-0,3]$, al medio $[-0,1]$, alla presenza di attività ordinarie, valore $[0]$. Non si è considerata la possibilità di arretramento nella protezione ambientale, cioè valori positivi di Pcd, perché nella realtà regionale piemontese non sono apparsi peggioramenti o riduzioni nell'attività pubblica di tutela ambientale, dato il livello di attenzione e sensibilità sociale raggiunta.

Per le aree montane ed alto collinari colpite da abbandono umano, l'indice di variazione delle politiche di salvaguardia **Pa=Politiche abbandono umano**, è stato stimato attraverso la valutazione delle azioni di tutela ambientale, (interventi previsti e finanziati), poste in essere negli ultimi cinque anni, con valori dal significato identico ai precedenti, dall'intensità massima dell'intervento di salvaguardia a quella minima $Pa=[-0,15/-0,1/0]$.

L'indice ESAs arricchito delle integrazioni, pur rimanendo invariato nel metodo di valutazione, $MQIi=[(Iu + Ii) \cdot (Ps + Pi)]^{1/2}=[Iui \cdot Psi]^{1/2}$, quindi nel significato predittivo assunto, consente di migliorare la conoscenza delle problematiche in atto in ogni porzione di territorio considerata ed in ogni destinazione d'uso prevalente considerata. La Tabella 15 riassume le integrazioni dinamiche proposte e pertinenti agli Indici ESAs relativi all'Intensità d'uso del suolo ed alle Politiche di salvaguardia.

3.1.7 LA STIMA DELLE SITUAZIONI DI CARENZA E DEFICIT, INDICI IC ID

L'indice Ic

La Tabella 15 riporta i valori definiti di **Carenza idrica** in atto ed i corrispondenti Indici, cioè

l'indicazione della mancanza di risorse idriche sufficienti a soddisfare la domanda dei soci coltivatori, carenza stimata come valore medio degli ultimi cinque anni. I valori di Carenza vengono presentati sia come valutazione della riduzione complessiva di risorse idriche registrata da parte degli utenti dei Consorzi, sia come media ponderata delle riduzioni di ciascuna fonte utilizzata come registrata da parte (degli utenti) del Consorzio, (dato indicato in parentesi): i lievi scostamenti in detrazione o incremento sono da attribuire essenzialmente alle sovra e sottostime delle riduzioni parziali, di ciascuna fonte utilizzata. I dati indicati, occorre precisarlo, sono corrisposti ai prelievi effettivi (ed effettuati) relativi alle superfici irrigate, quindi prelievi inferiori rispetto ai prelievi potenziali derivanti dai diritti di prelievo per concessioni storiche, (ora

Parametri ESAs	Indice Iu (1/1,5/2)	Integrazioni proposte Ii
Intensità d'uso del suolo Iu	1. Territorio ad uso agricolo 2. Terreni a pascolo 3. Aree naturali 4. Aree estrattive minerarie 5. Aree ricreative	Ic Carenza idrica, irrigua [0/0,1/0,15/0,2] Id Deficit idrico, irriguo [0/0,1/0,15] It Criticità territoriale [0/0,1] Ia Abbandono umano [0/0,1/0,15]
Parametri ESAs	Indice Ps (1/1,5/2)	Integrazioni proposte Pi
Politiche salvaguardia Ps	Protezione ambientale e territoriale	Pod Variazioni politiche irrigue (-0,3/-0,2/-0,1/0) Pt Variazioni politiche territoriali (-0,1/0) Pa Variazioni politiche abbandono (-0,15/-0,1/0)

Tabella 16. Integrazioni proposte agli Indici ESAs

di competenza regionale), e legati alle superfici irrigabili stabilite storicamente. La stima della Carenza idrica ha riguardato quindi le riduzioni in atto nei prelievi conseguenti soprattutto le minori disponibilità naturali e le variazioni colturali intervenute negli ultimi anni, caratterizzate da maggiori idroesigenze (mais), senza contemplare incrementi superficiali rispetto alle aree utilizzate nel recente passato (verso la superficie totale concessa). I dati sulla Carenza sono riferiti ovviamente all'emergere di problematiche tipicamente e solamente stagionali, ma di assoluto rilievo, poiché l'uso irriguo pur riguardando un intervallo temporale limitato, i tre mesi estivi di massima temperatura, risulta determinante per l'esito produttivo, comportandone anche una grave compromissione fino al suo annullamento, oltre che essere significativo sul piano ambientale.

I dati sulla Carenza idrica sono stati trasformati in Indice con i seguenti valori: 0 per assenza di variazioni (la realtà migliore); 0,1 per decrementi fino al 15% (la realtà media inferiore); 0,15 per decrementi fino al 30% (la realtà media superiore); 0,2 per decrementi maggiori (la realtà peggiore). Quindi i valori $I_c = [0/0,1/0,15/0,2]$ corrispondono alle riduzioni percentuali di risorse idriche negli intervalli [(0%)(1-15%)(16-30%)(>30%)].

L'indice I_d

Questo secondo Indice definito sinteticamente **Deficit idrico**, stima le variazioni previste dai Consorzi nelle disponibilità di risorse e nelle domande irrigue degli utilizzatori, sulla base delle conoscenze attuali e del trend registrato negli ultimi (cinque) anni. Tale Indice, riportato in Tabella 15 stima il Deficit attraverso la giacenza di domande insoddisfatte di maggiori risorse irrigue per incremento delle colture maggiormente idroesigenti, per espansioni delle superfici irrigue degli attuali soci, ma anche per nuove adesioni di soci produttori e nuove aree da servire. Segnala quindi le valutazioni espresse in termini più di impossibilità che di difficoltà, a soddisfare nel recente passato e nell'immediato futuro le richieste, già esistenti ed in attesa di accettazione, di ulteriori risorse. Indirettamente è un segnale della crescita dei rischi di scarsità quindi di desertificazione e necessaria salvaguardia ambientale. Questo dato ha rilevato quindi le previsioni e le aspettative (di tipo adattivo), formulate dai gestori e dai soci fruitori con riferimento al proprio territorio. I valori assunti dal Deficit sono stati trasformati in Indice con i seguenti valori: 0 per assenza di deficit (la realtà migliore, quella che consente espansioni ulteriori) e per deficit rispetto alle richieste esistenti fino al 10%; 0,1 per deficit rispetto alle richieste esistenti fino al 20% (la realtà media); 0,15 per deficit maggiori (la realtà peggiore). Quindi i valori $I_d = [0/0,1/0,15]$ corrispondono alle riduzioni percentuali di risorse idriche negli intervalli [(0-10%)(11-20%)(>20%)]. Per le aree extra consortili,

ma appartenenti ai comprensori irrigui regionali, di dimensioni comunque non significative, i due indici sono stati individuati facendo ricorso alle competenze di esperti delle istituzioni competenti e delle associazioni di categoria, nonché a professionisti ed operatori di settore.

I valori stimati dell'Indice I_c hanno segnalato, nella loro sinteticità, un dato comune risultante da quasi tutte le dichiarazioni: una sostanziale riduzione delle risorse disponibili e quindi indirettamente un incremento del rischio di situazioni tendenzialmente di desertificazione. I valori stimati dell'Indice I_d hanno, a loro volta, segnalato una previsione ampiamente diffusa, circa la tendenza verso ulteriori riduzioni di risorse e quindi l'attuale difficoltà, quasi impossibilità, ad espandere le aree irrigue, benché previste nelle concessioni storiche, e/o la crescita produttiva di colture molto idroesigenti. Con queste segnalazioni i Consorzi dimostrano la presa d'atto, come si osserverà successivamente, della necessità di una maggior regolazione d'uso tra utenti e di più razionali ed efficaci politiche di salvaguardia. Questa consapevolezza implica anche accettare l'idea e la necessità di progettare ed acquisire innovazioni razionalizzanti i consumi, le colture agrarie, anche per scongiurare eventuali competizioni con usi locali alternativi che virtualmente già si sono affacciate.

L'indice complessivo I_{cd} somma dei due singoli indici ha segnalato per ogni area consortile l'effetto combinato e cumulato della carenza e dei



deficit idrici stimati. I valori sono risultati variare, ovviamente, da 0 a 0,35, esattamente [$n^{\circ}1=0$ $n^{\circ}4=0,1$ $n^{\circ}7=0,15$ $n^{\circ}4=0,2$ $n^{\circ}11=0,25$ $n^{\circ}8=0,3$ $n^{\circ}1=0,35$], con una concentrazione nei valori superiori come segnale di una scarsità crescente e diffusa non più trascurabile o comunque ad un livello di rischio, in talune circostanze meteoriche e nella stagione irrigua, da richiedere maggior attenzione e ricerca di soluzioni nuove. Colpisce anche i non addetti ai lavori il fatto che siano i Consorzi montani e pedemontani ad aver segnalato i maggiori livelli di Carezza e Deficit; tuttavia a ben vedere ciò può esser corrisposto ad una sostanziale riduzione dei ghiacciai permanenti e delle riserve nevose, oltre che ad un elevato imbrigliamento delle acque ad uso idroelettrico.

Un dato ulteriore, inevitabile con l'attuale trend nei consumi e nelle disponibilità, riguarda la potenziale competizione, sebbene ancora contenuta, oltreché tra settori produttivi locali, soprattutto irriguo, potabile e turistico, tra diverse aree geografiche di utilizzo delle acque superficiali e sotterranee.

3.1.8 SCARSITÀ GENERALE. LO STATO QUALI-QUANTITATIVO DELLE RISORSE IDRICHE SECONDO LE VALUTAZIONI DEGLI AMBITI TERRITORIALI OTTIMALI DEL PIEMONTE - INDICE IT

La valutazione della scarsità idrica generale come segnale di rischio desertificazione, si è ritenuto potesse essere rinvenuta in documenti redatti a livello regionale, quali gli studi e le analisi per la programmazione degli interventi o come preliminari per azioni di regolazione e governo, oltre che come assolvimento di obblighi legislativi e corretta gestione territoriale. Le valutazioni dello stato quantitativo e qualitativo delle risorse idriche vengono effettuate periodicamente dalle Autorità di Ambito Territoriale Ottimale (A.ATO), cui sono delegate le competenze di regolazione e salvaguardia, e per la componente potabile ed ambientale costantemente dalle ARPA. I Piani di Ambito ATO e gli Studi propedeutici alla loro redazione Fase II, rappresentano uno strumento fondamentale di programmazione dell'attività e degli investimenti necessari alla gestione delle risorse idriche in rapporto alla loro utilizzazione.

Tali documenti contengono dati e informazioni utili per una valutazione dello stato delle acque nei punti di monitoraggio sia dei corpi idrici superficiali, perlopiù con riferimento alle aree idrografiche, sia delle falde sotterranee.

Anche in questo caso si è attribuito un *Indice integrativo* sintetico sulla base delle indicazioni contenute nei documenti utilizzati relativamente agli aspetti quantitativi, mentre le valutazioni qualitative non sono state considerate ai fini dell'indice, ritenendole responsabili piuttosto di maggiori costi nei necessari trattamenti di disinquinamento e potabilizzazione, anche se l'aspetto qualitativo incide indirettamente sulla minor disponibilità (immediata) di risorse idriche ad uso antropico e produttivo. Occorre osservare che le valutazioni quantitative nei documenti utilizzati sono espresse secondo due criteri: la Criticità quantitativa o la Disponibilità quantitativa, con giudizi sintetici non numerici. Nella stima dell'indice si è tenuto conto di ciò omogeneizzando il più possibile le diverse definizioni. I valori individuati rientrano nell'intervallo $It=[0/0,1/0,15]$, corrispondente a: [0= Criticità minima e medio/bassa o Disponibilità: Abbondante, Buona, Buona/sufficiente, Sufficiente/Modesta] [0,1=Criticità media bassa, media, media/alta o Disponibilità: Buona/scarsa, Sufficiente/critica e criticità media e criticità media/bassa] [0,15=Criticità alta o Disponibilità: Critica e Criticità medio/alta e alta].

La situazione che è emersa sul piano quantitativo ha confermato la presenza di numerose situazioni di criticità o di disponibilità limitata (primaverile ed estiva), nelle diverse aree idrografiche e corpi idrici superficiali e sotterranei in una realtà regionale molto variegata e non facilmente sintetizzabile: delle 60 situazioni considerate, (27 aree idrografiche e 22 corpi idrici), ne risultano 22 con indice 0, quindi 17 con indice 0,1 e ben 25 con indice 0,15. La problematicità riguarda soprattutto per i corpi idrici superficiali, ma anche per i prelievi sotterranei si segnalano numerose situazioni di vulnerabilità o difficoltà.

Anche questa valutazione dell'offerta idrica nelle varie aree idrografiche regionali relative agli Ambiti Territoriali Ottimali prospetta

una tendenza comune alla divaricazione tra la riduzione quantitativa nelle disponibilità e la crescita dei prelievi e dei consumi. Un quadro che risulta peraltro confermato costantemente nel corso delle rilevazioni presso tutti i soggetti e le diverse fonti contattate, soprattutto trova conferma nei dati ufficiali contenuti nei documenti regionali relativi alle aree idrografiche ed al Piano Tutela delle Acque. Se si dovesse considerare anche l'aspetto qualitativo la dimensione problematica apparirebbe ancora più preoccupante.

3.1.9 LA DESERTIFICAZIONE UMANA - EFFETTI AMBIENTALI NELLE AREE INTERESSATE DALL'ABBANDONO UMANO - INDICE IA

Un aspetto specifico di desertificazione in

Piemonte risulta essere quella umana, come fenomeno di progressivo e crescente abbandono di ampi territori, specie montani e di alta collina, in precedenza abitati ed utilizzati, sebbene si tratti di un fenomeno talvolta non sufficientemente considerato o trascurato nelle valutazioni relative al deperimento ambientale. Per questo si è proposta una quarta integrazione **Ia** effetti della desertificazione umana, per valutare alcune conseguenze del processo di desertificazione antropico. Il dissesto territoriale è stato considerato un aspetto pertinente alla problematica della desertificazione, essendo ritenuto, da esperti ed addetti istituzionali, causato anche o soprattutto dalla ridotta manutenzione territoriale continua e puntuale. In particolare si sono considerati i micro-dissesti intervenuti nelle aree appartenenti alle

Tabella 17. Possibili effetti ambientali dell'abbandono umano. Coefficiente di dissesto $la=[0/0,1/0,15]$

COMUNITA' MONTANA ex l.r. 19/2008		Aree Forestali	Coefficiente di dissesto	Indice
Provincia di Alessandria				
1	Valli Curone Grue e Ossona, Val Borbera e Valle Spinti	1/2	8,63	0,15
2	Alta Val Lemme, Alto Ovadese, Alta Valle Orba, Valle Erro e Bormida di Spigno	3/4	4,13	0,1
Provincia di Asti				
3	Langa Astigiana e Val Bormida	5	4,51	0,1
Provincia di Biella				
4	Val Sessera, Valle di Mosso e Prealpi Biellesi	41	7,42	0,15
5	Valle Del Cervo -La Bursch	41	7,42	0,15
6	Valle Dell'Elvo	45	13,43	0,15
Provincia di Cuneo				
7	Valli Gesso Vermenagna Pesio e Bisalta	11	2,34	0
8	Valle Stura	10	1,91	0
9	Valli Grana e Maira	8/9	2,29	0
10	Valli Po, Bronda, Infernotto e Varaita	6/7	1,53	0
11	Alta Valle Tanaro, Valli Mongia e Cevetta, Langa Cebana e Valli Monregalesi	12/13	7,88	0,15
12	Alta Langa e Langa Valli Bormida Uzzone	14	2,84	0
Provincia di Torino				
13	Val Chiusella, Valle Sacra e Dora Baltea Canavesana	36	3,82	0,1
14	Alto canavese	33	4,59	0,1
15	Valli Orco e Soana	34	4,56	0,1
16	Valli di Lanzo, Ceronda e Casternone	32	4,65	0,1
17	Valle Susa e Val Sangone	30/(28)	4,68/10,1	0,1
18	Valli Chisone, Germanasca, Pellice e Pinerolese Pedemontano	28	5,84	0,1
Provincia del VCO				
19	Valli Antigorio, Antrona, Anzasca, Ossola e Vigizzo	15/16/17/18/19	6,06	0,15
20	Due Laghi, Cusio Mottarone e Val Strona (Interprovinciale con sede In Provincia di Novara)	21-44	2,38	0
21	Val Grande, Alto Verbano e Valle Cannobina	23	5,52	0,1
Provincia di Vercelli				
22	Valsesia	38	5,88	0,1
TOTALE Piemonte numero dissesti in aree Comunità Montane 6433		Coefficiente 4,89		

Fonte. Elaborazioni effettuate sulla base di dati del Settore Economia Montana della Regione Piemonte.



Comunità Montane, che con le nuove delimitazioni risultano corrispondere pressoché interamente alle Aree Forestali regionali, trascurando i macro-dissesti le cui cause ed origini riguardano perlopiù eventi che prescindono dall'abbandono umano. Sebbene non tutti i micro-dissesti si possono ritenere riconducibili all'abbandono umano, una gran parte, la maggiore, sì, proprio quale conseguenza, diretta ed indiretta, dell'assenza di micro manutenzione ambientale di aree prima coltivate ed abitate, della regolazione quotidiana necessaria alle modificazioni apportate dall'agire umano sull'ambiente. L'indice delle conseguenze territoriali **Ia** si è valutato quindi attraverso la proxy più accessibile, il censimento realizzato in anni recenti di tutti i micro-dissesti avvenuti nelle aree forestali montane regionali. Tale censimento è stato redatto in fase di valutazione di ammissibilità ai finanziamenti necessari per la loro sistemazione e la stabilizzazione delle aree degradate. L'esistenza di valutazioni regionali sulle dichiarazioni delle Comunità Montane, cioè delle richieste di finanziamento, le elaborazioni statistiche sui programmi, progetti ed interventi, la selezione delle richieste puntuali, rispetto alle numerose decisioni assunte dalle amministrazioni locali, (dalla sistemazione e

recupero territoriale alla promozione turistica, dal folclore alle infrastrutture, ecc.), ha consentito il superamento di notevoli difficoltà di selezione ed ha offerto informazioni sufficienti a tracciare una prima significativa valutazione della situazione e delle dinamiche in atto. I micro-dissesti considerati dal competente Assessorato regionale sono: Erosione fluvio-torrentizia di sponda; Erosione fluvio-torrentizia di fondo; Erosione di versante generalizzata; detriti di falda soggetti a riattivazione e con detritici solo parzialmente stabilizzati; Aree soggette a movimenti di massa superficiali (colamenti e creeps); Aree soggette a movimenti di massa profondi; Frane singole di dimensioni rilevanti; Aree soggette a frane di roccia lapidea e/o caduta di blocchi; Aree soggette a cadute di valanghe.

Nella Tabella 17 sono state riportate le stime di un coefficiente di dissesto calcolato come rapporto tra micro dissesti censiti e superfici delle Comunità Montane in cui sono avvenuti, [Coeff.= (N° Dissesti) / (Superficie Totale Com. Mon.)], avendo attribuito correttamente le Aree Forestali alle rispettive Comunità Montane. L'Indice stimato **Ia** è stato derivato dal coefficiente stesso ed ha assunto i valori **Ia**=[0/0,1/0,15] pari a: 0 per un coefficiente nell'intervallo [0-3] dal significato di assenza o livello minimo di effetti negativi; 0,1 per un coefficiente nell'intervallo [3,1-6] ed intorno al valore medio totale, dal significato di presenza significativa di effetti negativi; 0,15 per coefficiente oltre il valore [6,1] dal significato di presenza rilevante di effetti negativi.



La stima delle possibili conseguenze dell'abbandono in termini di micro dissesti è stata effettuata e deve essere considerata in termini prudenziali, ritenendo probabile che una quota degli stessi sia dipesa da cause naturali o comunque non riconducibili all'azione antropica; va inoltre segnalato che la stima del coefficiente si è basata su informazioni riguardanti il numero degli eventi ma non la loro gravità o entità economica (sebbene di dimensioni analoghe nell'ordine di grandezza). Tuttavia il coefficiente calcolato ha rappresentato in modo verosimile ed attendibile un aspetto rilevante, tra gli altri, delle conseguente dell'abbandono umano. Con tale premessa si è osservata una diffusa presenza di valori positivi dell'indice in molte aree montane, con l'eccezione delle Comunità cuneesi in cui i coefficienti di dissesto sono apparsi di entità decisamente inferiore. Un aspetto che non è stato possibile considerare ha riguardato la dimensione delle opere di manutenzione necessarie per contenere le perdite o le dispersioni di fonti e riserve idriche in precedenza utilizzate, di sorgenti e condotte abbandonate a seguito di abbandono residenziale umano. Informazioni di tal tipo avrebbero potuto evidenziare un ulteriore tendenziale contributo al rischio di siccità derivante da abbandono, ma pur ricercando fonti informative inerenti, gli scarsi risultati ottenuti, solo stime soggettive molto prudenziali, non hanno consentito di valutare correttamente la dispersione e la riduzione delle risorse, (al netto delle restituzioni sotterranee), non conseguenti la riduzione delle precipitazioni meteoriche e delle riserve nevose.

La distribuzione dell'indice dei micro dissesti ha messo in evidenza una situazione preoccupante con 6 Comunità Montane dall'Indice 0,15 quindi 10 con indice 0,1 ed infine 6 con indice 0.

3.1.10 INDICE INTEGRATO COMPLESSIVO IUI

Una volta calcolati gli indici integrativi parziali **Ic**, **Id**, **It** sulla base dei dati disponibili, è stato possibile determinare l'indice integrato complessivo $I_{ui}=[I_u+I_i]=I_u+[(I_c) (I_d) (I_t)]$, ottenibile dai possibili valori degli indici parziali $I_c=[0/0,1/0,15/0,2]$ $I_d=[0/0,1/0,15]$ $I_t=[0/0,1/0,15]$, relativamente ad ogni porzione

di territorio presa in considerazione e per ogni destinazione d'uso prevalente del territorio stesso. L'effetto complessivo di incremento del rischio di desertificazione, somma dell'indice o degli indici parziali pertinenti le dinamiche registrate, cioè l'indice integrativo **Ii**, può quindi assumere un valore compreso tra 0 e 0,5 essendo tali valori estremi corrispondenti alle ipotesi che non vi siano incidenze dell'azione antropica o siano massime con intervento contemporaneo di tutti gli indici stimati.

L'insieme dei valori possibili dell'indice integrativo risulta:

$[0/0,1/0,15/0,2/0,25/0,3/0,35/0,4/0,45/0,5]$

L'integrazione con gli indici ESA precedentemente calcolati, $I_u=[1/1,5/2]$, comporta di conseguenza la seguente combinazione di valori:

$I_{ui}=[1/1,1/1,15/1,2/1,25/1,3/1,35/1,4/1,45/1,5/1,55/1,6/1,65/1,7/1,75/1,8/1,85/1,9/1,95/2/2,1/2,15/2,2/2,25/2,3/2,35/2,4/2,45/2,5]$.

Politiche contro la scarsità irrigua

L'Indice **Ps** previsto dal metodo ESAs viene stimato con riferimento alla presenza e realizzazioni di politiche di salvaguardia ambientale nelle varie porzioni territoriali prese in considerazione, quindi una indicazione sintetica del livello normativo e di regolazione raggiunto. La logica delle integrazioni proposte si individua nella possibilità di arricchire il realismo delle stime valutando in particolare le politiche rivolte alla tutela delle risorse idriche, considerandole in grado di tutelare indirettamente il territorio dalla desertificazione.

Le politiche deliberate, realizzate ed in fase di realizzazione, sono state considerate quali azioni efficaci di riduzione dei danni causati dall'azione antropica, cioè quali azioni antropiche virtuose in grado di realizzare una riduzione, (un miglioramento), dell'Indice **Ps** stimato in precedenza con il metodo ESAs. La valutazione ha riguardato le attività di salvaguardia riferite alle risorse idriche da parte della Regione Piemonte, dei Consorzi Irrigui, delle Province come sempre con riferimento agli ultimi cinque anni.



L'indice individuato **Pcd** è stato stimato in specifico attraverso l'implementazione di politiche per la razionalizzazione dell'uso delle risorse irrigue e la tutela delle riserve, (sempre facendo riferimento alle porzioni territoriali in cui sono state avviate e/o realizzate opere documentate e significative). Per le restanti numerose politiche di salvaguardia territoriale attuate dalle istituzioni competenti, già richiamate, si è stimato un indice non riferito all'azione complessiva, risultata elevata e soprattutto omogenea per le diverse aree, ma assegnando un valore all'indice **Pt** con riferimento alle politiche territoriali di particolare rilevanza, significatività od originalità.

3.1.11 POLITICHE VERSO GLI USI IRRIGUI - INDICE PCD

L'indice delle Politiche salvaguardia **Ps** è stato arricchito, per le aree comprensoriali irrigue, valutando con un indice sintetico **Pcd** le variazioni incrementali degli interventi protettivi deliberati e realizzati a favore delle risorse idriche ad uso irriguo, la cui incidenza si ricorda è la maggiore a livello regionale, quindi valutando tutti gli interventi rivolti alla tutela, alla regolazione, al risparmio, alla razionalizzazione degli usi, sempre attraverso le dinamiche registrate negli ultimi cinque anni. L'indice **Pcd** è stato stimato attraverso due parametri: un primo parametro individuato attraverso la valutazione della specifica "propensione ad evolversi" di ogni Consorzio verso soluzioni

organizzative e gestionali di maggior efficienza, quindi valutandone i miglioramenti in termini di capacità organizzativa e di efficienza complessiva, soprattutto con riferimento alla distribuzione delle risorse idriche; il punteggio previsto ha contemplato un intervallo numerico da un valore minimo (1) ad un valore massimo (5), il primo in corrispondenza di una attività di semplice ordinarietà ed il secondo di una elevata capacità e dinamica evolutiva. Un secondo parametro è stato individuato, sempre per ogni Consorzio, nella "propensione progettuale" intesa come capacità innovativa, rivolta all'incremento di efficienza nell'uso delle risorse idriche, valutata in base ai progetti presentati alla Regione Piemonte per ottenere finanziamenti specifici.

Le tre tipologie di razionalizzazione prese in considerazione dalla Regione Piemonte hanno riguardato progetti (quindi finanziamenti), erogati secondo la seguente suddivisione:

Priorità 1: progetti di trasformazione totale, per le superfici richiedenti i finanziamenti, degli attuali sistemi irrigui in sistemi innovativi (impianti irrigazione a goccia, pioggia, trasporto controllato, ecc.), per realizzare riduzioni nei consumi idrici.

Priorità 2: progetti che in parte razionalizzano l'irrigazione ed in parte il trasporto idrico dai pozzi di prelievo alle superfici utilizzatrici con condotte in pressione, realizzando in tal modo una riduzione delle dispersioni e perdite, ma anche sistemi di collegamenti ed integrazioni tra pozzi, (rete idrica), per una loro miglior gestione.

Priorità 3: progetti di solo miglioramento nel trasporto idraulico e nei collegamenti tra pozzi (rete idrica).

Si è trattato quindi di politiche regionali rivolte alla valorizzazione e miglioramento dell'uso del fattore produttivo acqua e contestualmente rivolte alla riduzione delle dispersioni nei trasporti e miglior utilizzo delle risorse naturali esistenti (falde sotterranee). Ovviamente i progetti



di razionalizzazione hanno riguardato diverse estensioni superficiali, più o meno ampie, su cui è intervenuto il nuovo metodo irriguo, per cui il coefficiente di valutazione degli effetti positivi ne ha tenuto conto assegnando valori intermedi tra quelli previsti; più esattamente: Priorità 1 in parentesi tonda: 5 per i primi 7 progetti, 4 dall'ottavo al quattordicesimo progetto, 3 dal quindicesimo al ventunesimo. Priorità 2 in parentesi quadra: 2 per i primi due progetti e 1,5 per i restanti tre; Priorità 3 in parentesi graffa: 1 per l'unico progetto presentato.

La Tabella 18 raccoglie i valori attribuiti agli indici $P_{cd}=[-0,3/-0,2/-0,1/0]$, relativi all'intensità e dimensione degli interventi realizzati, avendo assunto i valori negativi maggiori come attestazione delle azioni più significative ed i valori nulli come assenza di incrementi negli interventi di salvaguardia. Non sono stati considerati valori positivi perché non si è ritenuto che siano intervenute riduzioni dell'azione di salvaguardia regionale.

La distribuzione dei valori dell'Indice, [6 Consorzi con -0,3] [5 Consorzi con -0,2] [16 Consorzi con -0,1] [9 Consorzi con 0], ha evidenziato la presenza di un gruppo consistente di Consorzi attivi nella ricerca di efficienza nella gestione ed innovativi nella razionalizzazione dell'uso irriguo, e comunque una sensibilità generalizzata alle necessità di affrontare i nuovi problemi posti dalla riduzione delle risorse attraverso interventi ed investimenti che migliorino la razionalità dei prelievi e degli usi. La diffusa consapevolezza della tendenziale necessità di razionalizzazione è evidenziata anche dal fatto che solamente 9 Consorzi appaiono meno sensibili all'introduzione di innovazioni, in forza delle loro sufficienti disponibilità attuali e della stabilità della domanda espressa dai loro utenti, mentre si è riscontrata una correlazione inferiore alle attese tra Consorzi dichiaranti Carenza e Deficit idrico e scelte di innovazioni ed ammodernamenti.

3.1.12 POLITICHE DI RISISTEMAZIONE DELLE AREE ABBANDONATE - INDICE P_A

Il terzo Indice P_A ha riguardato le politiche di salvaguardia programmate ed in parte realizzate

nelle aree montane ed alto collinari soggette a dissesti idrogeologici, le stesse aree considerate in precedenza per l'indice I_a e soggette ad abbandono umano. Tali politiche di salvaguardia P_A si è ritenuto poterle far corrispondere alla realizzazione di azioni di ripristino dei dissesti, con erogazione di fondi necessari, e di produzioni normative adeguate, sempre con riferimento agli ultimi cinque anni. Anche per questa valutazione si sono incontrate difficoltà in relazione alla pluralità di soggetti competenti, Comunità Montane, Corpo Forestale dello Stato, Regione, Province, Comuni, per cui le informazioni utili risultano disperse negli Strumenti di programmazione di riferimento. Solo l'attivazione di osservazioni sistematiche della Regione Piemonte ha reso disponibili le informazioni necessarie, pur se ovviamente non finalizzate agli obiettivi di questa ricerca. I coefficienti stimati sono stati concepiti come rapporto tra il numero di "interventi previsti", sulla base di progetti presentati, ed il numero totale degli "interventi censiti" a livello locale, dichiarati e verificati, quindi: $Coefficiente = \frac{\text{Interventi previsti}}{\text{Totale censiti}}$. Molti interventi sono stati realizzati in anni passati, (e ciò risulta nel censimento come opere già realizzate e concluse), ma si è ritenuto conforme alla logica assunta in questo lavoro considerare quelli in atto e non tanto il livello di intervento raggiunto, quindi la dinamica recente espressa proprio dagli interventi previsti e con progetto approvato in base ai finanziamenti disponibili. Occorre ricordare che per le spese e gli investimenti relativi ai dissesti territoriali le Comunità Montane dispongono anche di fondi derivanti da quote percentuali delle tariffe del servizio idrico integrato, tuttavia nell'individuazione esatta dell'uso di tali voci di spesa sono emerse complessità non risolvibili nel breve periodo.

I valori degli indici $P_A=[-0,15/-0,1/0]$, come elementi di integrazione P_i (degli Indici P_s), nelle relative aree pertinenti, sono stati considerati: -0,15 per elevati livelli di interventi protettivi previsti oltre 61% di quelli totali; -0,1 per livelli di interventi protettivi previsti compresi nell'intervallo 31-60% di quelli totali; 0 per interventi protettivi fino al 30% di quelli totali.

Tabella 18. Politiche di salvaguardia risorse per uso irriguo. Pcd=[-0,3/-0,2/-0,1/0] indice numerico negativo con valore assoluto maggiore per condizioni migliori.

CONSORZIO IRRIGUO DI II GRADO	Propensione Evolutiva	Propensione Innovativa	Indice Pcd
ASSOCIAZIONE IRRIGAZIONE EST SESIA 1201	5	5 (6)	-0,3
ASSOCIAZIONE D'IRRIGAZIONE OVEST SESIA 1202	3	0	0
CONSORZIO IRRIGUO MI MIGLIORAMENTO FONDARIO A. FOGLIETTI 1203	4	0	0
CONSORZIO OSSOLANO IRRIGAZIONE 1204	2	0	0
COMPRESORIO IRRIGUO DEL CANAVESE 1205	1/2	4 (13)	-0,1
CONSORZIO COMUNI ED UTENTI SULLA RIVA SINISTRA DELLA STURA 1206	2	4 (8)	-0,1
CONSORZIO IRRIGUO DELLE VALLI DI SUSÀ E CENISCHIA 1207	4	4 (11)	-0,3
CONSORZIO UNIONE BEALERE DERIVATE DALLA DORA RIPARIA 1208	2	0	0
CONSORZIO VALSANGONE 1209	3	3 (19)	-0,1
CONSORZIO CHISOLA - LEMINA 1210	4	1 {1}	-0,1
CONSORZIO IRRIGUO VAL CHISONE - PINEROLESE 1211	5	5 (5)	-0,3
CONSORZIO IRRIGUO VAL PELLICE - CAVOURESE 1212	5	3 (16)	-0,1
CONSORZIO DI IRRIGAZIONE CHIERESE ASTIGIANO 1213	3	5 (3)	-0,2
CONSORZIO IRRIGUO DI II GRADO SINISTRA PO - VALLE PO 1214	4	2 [2]	-0,1
CONSORZIO IRRIGUO DI II GRADO SALUZZESE - VARAITA 1215	3	5 (2)	-0,2
CONSORZIO IRRIGUO DELLA PIANURA CUNEESE - TORINESE 1216	3	0	0
COMPRESORIO IRRIGUO AREA SAVIGLIANESE 1217	2	0	0
CONSORZIO IRRIGUO MAIRA - BUSCHESE - VILLAFALLETTESE 1218	3	3 (15)	-0,1
ASSOCIAZIONE IRRIGUA VALLE MAIRA 1219	1	5 (4)	-0,1
AGGREGAZIONI CONSORZI IRRIGUI RISORGIVE MELLEA CENTALLESE 1220	3	1,5 [4]	-0,1
AGGREGAZIONE CONSORZI SINISTRA STURA DI DEMONTE 1221	4	3 (17)	-0,2
AGGREGAZIONE CONSORZI VALLE GRANA - CARAGLIESE 1222	2	0	0
CONSORZIO COMPRESORIALE DI II GRADO FOSSANESE BRAIDESE 1223	4	2 [1]	-0,1
CONSORZIO IRRIGUO DI II GRADO BEALERA MAESTRA - DESTRA STURA 1224	5	4 (9)	-0,2
VALLE GESSO - VALLE VERMENAGNA - CUNEESE- BOVESANO 1225	4	4 (10)	-0,3
CONSORZIO DEL PESIO 1226	5	3 (20)	-0,1
CONSORZIO COMPRESORIO VALLI ELLERO, CORSAGLIA, CASOTTO 1227	2	0	0
ASSOCIAZIONE CONSORZI ALTA VALLE TANARO CEBANO 1228	2	4 (12)	-0,1
CONSORZIO COMPRESORIALE TANARO ALBESE - LANGHE ALBESI 1229	2	3 (18)	-0,1
CONSORZIO IRRIGUO ROERO 1230	4	5 (5)	-0,3
CONSORZIO IRRIGUO DI II GRADO ALTA LANGA-BORMIDA E UZZONE 1231	2	4 (14)	-0,1
CONSORZIO DI IRRIGAZIONE DESTRA PO - AGRO CASALESE 1232	2	3 (21)	-0,1
CONSORZIO DI IRRIGAZIONE CANALE DE FERRARI 1233	3	5 (7)	-0,2
CONSORZIO IRRIGUO DESTRA BORMIDA 1234	3	0	0
CONSORZIO IRRIGUO ALESSANDRINO - ORIENTALE - SCRIVIA 1235	4	1,5 [3]	-0,1
CONSORZIO DI BONIFICA DELLA BARAGGIA BIELLESE E VERCELLESE 1236	5	5 (1)	-0,3
<i>Fonte. Ricerca diretta presso i Consorzi</i>			

La distribuzione dell'Indice relativo alle Politiche di salvaguardia nelle rispettive aree ha segnalato una attività vivace ed efficiente, essendosi rilevato che 8 Comunità Montane hanno espresso il valore 0,15 quindi 10 Comunità il valore 0,1 ed infine 4 Comunità il valore 0.

Un'altra politica di tutela delle aree desertiche ha riguardato l'azione di rimboschimento, per

la quale si sarebbe dovuto considerare il tasso di crescita del manto vegetale forestale ed il conseguente tasso di decadimento di anidride carbonica e polveri varie presenti nell'atmosfera. Tuttavia la traduzione in termini di coefficienti da integrare ai precedenti valori dell'indice **Ia** è risultata problematica ed opinabile, per la scarsità di informazioni disponibili, o meglio per la non completa disponibilità di dati puntuali, circa la

COMUNITA' MONTANA ex L.r. 19/2008		Aree Forestali	Coefficiente	Indice
Provincia di Alessandria				
1	Valli Curone Grue e Osson, Val Borbera e Valle Spinti	1/2	64,24%	-0,15
2	Alta Val Lemme, Alto Ovadese, Alta Valle Orba, Valle Erro e Bormida di Spigno	3/4	28,90%	0
Provincia di Asti				
3	Langa Astigiana e Val Bormida	5	65,71%	-0,15
Provincia di Biella				
4	Val Sessera, Valle di Mosso e Prealpi Biellesi	41	35,11%	-0,1
5	Valle Del Cervo -La Bursch	41	35,11%	-0,1
6	Valle Dell'Elvo	45	59,90%	-0,1
Provincia di Cuneo				
7	Valli Gesso Vermenagna Pesio e Bisalta	11	72,34%	-0,15
8	Valle Stura	10	50,43%	-0,1
9	Valli Grana e Maira	8/9	75,47%	-0,15
10	Valli Po, Bronda, Infernotto e Varaita	6/7	79,20%	-0,15
11	Alta Valle Tanaro, Valli Mongia e Cevetta, Langa Cebana e Valli Monregalesi	12/13	47,80%	-0,1
12	Alta Langa e Langa Valli Bormida Uzzone	14	31,20%	-0,1
Provincia di Torino				
13	Val Chiusella, Valle Sacra e Dora Baltea Canavesana	36	57,63%	-0,1
14	Alto canavese	33	40,23%	-0,1
15	Valli Orco e Soana	34	20,64%	0
16	Valli di Lanzo, Ceronda e Casternone	32	61,30%	-0,15
17	Valle Susa e Val Sangone	29/30/(28)	52,35%	-0,1
18	Valli Chisone, Germanasca, Pellice e Pinerolese Pedemontano	25/26/(28)	67,54%	-0,15
Provincia del VCO				
19	Valli Antigorio, Antrona, Anzasca, Ossola e Vigizzo	15/16/17/18/19	40,21%	-0,1
20	Due Laghi, Cusio Mottarone e Val Strona (Interprovinciale con sede In Provincia di Novara)	21-44	65,71%	-0,15
21	Val Grande, Alto Verbano e Valle Camobina	23	57,61%	0
Provincia di Vercelli				
22	Valsesia	38	29,84%	0
TOTALE Piemonte		Coefficiente 46,44%		

Fonte: Elaborazioni effettuate su dati della Regione Piemonte Assessorato per la Montagna

Tabella 19. Politiche di salvaguardia in aree montane e di alta collina - Pa=[-0,15/-0,1/0]

crescita estensiva ed intensiva dei manti forestali negli ultimi cinque anni. Anche assumere la spesa complessiva affrontata per azioni di salvaguardia e rimboschimento non è risultato possibile per la dispersione delle informazioni presso i vari Enti competenti (Regione, Corpo Forestale, Comunità Montane, Province, Comuni) che ha pertanto reso impossibile la loro elaborazione. I numerosi lavori realizzati dall'Istituto per Pianta da Legno e l'Ambiente (IPLA) avrebbero consentito una valutazione relativa solo per ampie aree dell'arco alpino e collinare, una valutazione complessiva che non avrebbe potuto contribuire all'individuazione di indici locali, di base, stimabili solo con indagini locali relative alle dinamiche nelle estensioni forestali, non realizzabili nel breve periodo.

Indice integrato Psi

Per ogni porzione di territorio preso in considerazione e per ogni relativo utilizzo prevalente, risulta possibile calcolare l'indice integrato **Psi** dopo aver individuato gli indici parziali relativi alle dinamiche registrate nelle politiche di salvaguardia delle risorse idriche **Psi**=Ps+Pi=Ps+[(Pcd), (Pt)]. Considerando gli intervalli degli indici rispettivamente **Pcd**=[-0,3/-0,2/-0,1/0] e **Pt**=[-0,1/0], l'indice integrativo **Pi** può assumere i valori [-0,4/-0,3/-0,2/-0,1/0], dai casi estremi di assenza di variazioni o di variazione simultanea massima e cumulata, accanto a quelli intermedi, sempre in termini di effetti riduttivi dell'indice stimato inizialmente con metodo ESAs. Anche in questo caso viene preferita l'operazione



somma dell'indice integrativo a quello iniziale, perché ciò significa integrare il contributo antropico dinamico nel precedente indice relativo allo stato di salvaguardia raggiunto ed in atto. In questo modo viene pesato in modo significativo il ruolo delle politiche di salvaguardia attraverso la riduzione di **Psi** e quindi il valore della media geometrica MQI. Ovviamente l'integrazione con gli indici ESAs, $P_s=[1/1,5/2]$ comporta maggior combinazione di possibili valori:

$P_{si}=[0,6/0,7/0,8/0,9/1/1,1/1,2/1,3/1,4/1,5/1,6/1,7/1,8/1,9/2]$. Nella realtà la possibilità di valori estremi appare rara, implicando una condizione in cui operino contestualmente tutte le condizioni considerate o nessuna.

3.1.13 CALCOLO NUOVO INDICE MQI

Come evidenziato in precedenza, per ogni porzione territoriale presa in considerazione, ed in base alla disponibilità di dati significativi, si è assunta la logica di integrare gli indici **Icd**, **It** ed **Ia**, come incremento peggiorativo del valore stimato **Iu** con il metodo ESAs; quindi integrare gli indici migliorativi **Pcd**, **Pt** e **Pa**, come riduzione migliorativa del valore stimato **Ps** con il metodo Medalus. Questo nell'ovvia considerazione che le stime iniziali degli indici **Iu** e **Ps** corrispondessero correttamente al livello raggiunto nell'Intensità d'uso del territorio ed altrettanto correttamente alle Politiche di salvaguardia poste in essere, con riferimento alle disponibilità di risorse idriche ed alle loro variazioni, considerate queste ultime un segnale significativo dei rischi di desertificazione.



Le integrazioni sono corrisposte ed hanno rappresentato le variazioni intervenute negli ultimi cinque anni per effetto della doppia azione antropica sull'ambiente, distruttiva a causa delle azioni negative di sfruttamento e costruttiva per merito delle azioni positive di tutela. Occorre ricordare che le due integrazioni proposte hanno intenzionalmente cercato di valutare le variazioni intervenute, i trend in atto, e non tanto il livello di sfruttamento e salvaguardia raggiunto, le cui valutazioni dovrebbero essere realizzate preliminarmente attraverso gli indici del metodo ESAs. L'unico aspetto irrisolto è consistito nelle non sempre coincidenti dimensioni geografiche di riferimento per i dati disponibili, differenze nei riferimenti territoriali tra le integrazioni stimate e quelli ESAs individuati inizialmente.

Il calcolo dei nuovi valori dell'indice Qualità di Gestione del Territorio, MQI, è consistito dunque nell'integrazione degli indici calcolati inizialmente, secondo il metodo ESAs, per ogni porzione territoriale presa in considerazione e per ogni utilizzazione prevalente del territorio, con i nuovi indici integrativi, rimanendo invariato l'algoritmo di calcolo Medalus, ed il suo significato. Quindi:

$$- I_{ui} = I_u + I_i = I_u + [(I_{cd}), (I_t), (I_a)]$$

$$- P_{si} = P_s + P_i = P_u + [(P_{cd}), (P_t), (P_a)]$$

Le medie geometriche, corrispondenti ai risultati dell'algoritmo di calcolo $MQI_i = [(I_u + I_i) \cdot (P_s + P_i)]^{1/2} = [I_{ui} \cdot P_{si}]^{1/2}$ hanno determinato la matrice MQI che contempla tutte le possibili

Risultati qualitativi calcolati con $MQI_i = [Iui \cdot Psi]^{1/2}$

Psi→ ↓Iui	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
1	0,71	0,77	0,83	0,89	0,95	1	1,04	1,09	1,14	1,18	1,22	1,26	1,3	1,34	1,38	1,41
1,05	0,72	0,79	0,85	0,92	0,97	1,02	1,07	1,12	1,17	1,21	1,25	1,29	1,33	1,37	1,41	1,45
1,1	0,74	0,81	0,88	0,94	0,99	1,05	1,1	1,15	1,19	1,24	1,28	1,33	1,37	1,41	1,44	1,48
1,15	0,75	0,83	0,89	0,96	1,02	1,07	1,12	1,17	1,22	1,26	1,31	1,36	1,4	1,44	1,48	1,52
1,2	0,77	0,85	0,92	0,98	1,04	1,09	1,15	1,20	1,25	1,30	1,34	1,38	1,43	1,47	1,51	1,55
1,25	0,78	0,87	0,93	1,00	1,06	1,12	1,17	1,22	1,27	1,32	1,37	1,41	1,46	1,50	1,54	1,58
1,3	0,80	0,88	0,95	1,02	1,08	1,14	1,19	1,25	1,3	1,35	1,39	1,44	1,49	1,53	1,57	1,61
1,35	0,81	0,9	0,96	1,04	1,1	1,16	1,22	1,27	1,32	1,37	1,42	1,47	1,51	1,56	1,6	1,64
1,4	0,84	0,92	0,99	1,06	1,12	1,18	1,24	1,29	1,35	1,4	1,45	1,49	1,54	1,59	1,63	1,67
1,45	0,85	0,93	1,00	1,08	1,14	1,20	1,26	1,32	1,37	1,42	1,47	1,52	1,57	1,61	1,66	1,7
1,5	0,87	0,95	1,02	1,09	1,16	1,22	1,28	1,34	1,4	1,45	1,50	1,55	1,6	1,64	1,69	1,73
1,55	0,88	0,96	1,04	1,09	1,18	1,24	1,3	1,36	1,42	1,47	1,52	1,57	1,62	1,67	1,71	1,76
1,6	0,89	0,98	1,06	1,13	1,20	1,26	1,33	1,38	1,44	1,50	1,55	1,60	1,65	1,7	1,74	1,79
1,65	0,9	0,99	1,07	1,15	1,21	1,28	1,34	1,41	1,46	1,52	1,59	1,62	1,67	1,72	1,77	1,81
1,7	0,92	1,01	1,09	1,17	1,24	1,3	1,37	1,43	1,48	1,54	1,6	1,65	1,7	1,75	1,8	1,84
1,75	0,93	1,02	1,1	1,18	1,25	1,32	1,38	1,45	1,51	1,56	1,62	1,67	1,72	1,77	1,82	1,87
1,8	0,89	1,04	1,12	1,20	1,27	1,34	1,41	1,47	1,53	1,59	1,64	1,7	1,75	1,8	1,85	1,9
1,85	0,96	1,04	1,13	1,22	1,28	1,36	1,42	1,49	1,55	1,61	1,66	1,72	1,77	1,82	1,87	1,92
1,9	0,97	1,06	1,15	1,23	1,3	1,37	1,44	1,51	1,57	1,63	1,69	1,74	1,79	1,85	1,9	1,95
1,95	0,98	1,08	1,17	1,25	1,32	1,4	1,46	1,53	1,59	1,65	1,7	1,77	1,82	1,87	1,92	1,97
2	1,00	1,09	1,18	1,26	1,34	1,41	1,48	1,55	1,61	1,67	1,73	1,79	1,84	1,9	1,95	2
2,05	1,01	1,11	1,19	1,28	1,36	1,43	1,50	1,57	1,63	1,69	1,75	1,81	1,87	1,92	1,97	2,02
2,1	1,02	1,12	1,21	1,3	1,37	1,45	1,52	1,58	1,65	1,71	1,77	1,83	1,89	1,94	1,99	2,05
2,15	1,03	1,13	1,22	1,31	1,39	1,47	1,54	1,60	1,67	1,73	1,79	1,85	1,91	1,96	2,02	2,07
2,2	1,05	1,15	1,24	1,33	1,41	1,48	1,55	1,62	1,69	1,75	1,81	1,88	1,93	1,99	2,04	2,10
2,25	1,06	1,16	1,25	1,34	1,42	1,50	1,57	1,64	1,71	1,77	1,83	1,90	1,95	2,01	2,07	2,12
2,3	1,07	1,17	1,27	1,36	1,44	1,52	1,59	1,66	1,73	1,79	1,86	1,92	1,98	2,03	2,09	2,14
2,35	1,08	1,19	1,28	1,37	1,45	1,53	1,6	1,68	1,75	1,81	1,88	1,94	2,00	2,06	2,11	2,17
2,4	1,09	1,20	1,30	1,38	1,47	1,55	1,62	1,70	1,77	1,83	1,90	1,96	2,02	2,08	2,13	2,19
2,45	1,10	1,21	1,31	1,40	1,48	1,56	1,64	1,71	1,78	1,85	1,91	1,99	2,04	2,10	2,16	2,21
2,5	1,11	1,22	1,32	1,41	1,50	1,58	1,66	1,73	1,80	1,87	1,94	2	2,06	2,12	2,18	2,24
2,55	1,13	1,24	1,33	1,43	1,51	1,60	1,67	1,74	1,82	1,89	1,95	2,02	2,08	2,14	2,20	2,26
2,6	1,14	1,25	1,35	1,44	1,53	1,61	1,69	1,77	1,84	1,91	1,97	2,04	2,10	2,16	2,22	2,28

combinazioni, quindi l'incidenza contestuale di tutte o di alcune o di nessuna delle integrazioni proposte, benché di norma risulti rilevante un solo indice integrativo dell'Intensità d'uso ed un solo indice integrativo delle Politiche di salvaguardia, quelli più pertinenti alle porzioni territoriali

La matrice relativa ai valori calcolabili con il metodo Medalus $MQI_i = [Iu \cdot Ps]^{1/2}$ risulta:

Psi→ ↓Iui	1	1,5	2
1	1	1,22	1,41
1,5	1,22	1,5	1,73
2	1,41	1,73	2

osservate. La maggior articolazione degli indici Iui e Psi evidenzia una valutazione più attenta alle modificazioni apportate dall'azione antropica sull'ambientale, sia in termini di Intensità d'uso che di Salvaguardia, con l'ulteriore specificità d'aver stimato gli indici nella loro dinamica negli ultimi cinque anni. Integrando ai valori assegnati con il metodo ESAs ad ogni porzione territoriale presa in considerazione e ad ogni destinazione prevalente individuata, i valori stimati si ottiene una migliore determinazione del livello di incidenza antropica in atto.



3.1.14 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE CIRCA LA VALUTAZIONE DELL'AZIONE ANTROPICA

I criteri ed il metodo di valutazione sintetica conclusiva circa le tendenze alla desertificazione in atto, a causa dell'azione antropica, sono rimasti invariati con le integrazioni proposte. Utilizzando il metodo e gli indici ESAs la valutazione del rischio di desertificazione è rappresentato da tre livelli o intervalli numerici relativi al Management Qualità Indice: [**Alta** con valori di MQI inclusi nell'intervallo 1-1,25, **Moderata** con MQI nell'intervallo 1,26-1,5, **Bassa** con MQI >1,51].

Tuttavia la maggior articolazione della precedente matrice dei valori MQI ha consentito di individuare due linee di confine, due frontiere determinate dalla successione di eguali valori, evidenziati, e corrispondenti ai limiti dei livelli previsti dalla Management Quality secondo il metodo ESAs. Le tre aree definite dalle linee evidenziate, costituiscono due frontiere corrispondenti: la prima a sinistra all'assenza di rischi di desertificazione; la centrale a situazioni di rischi tendenziali, la terza a destra a presenza di rischi di desertificazione. Tali linee o frontiere di Qualità sono un risultato ottenibile in specifico attraverso la valutazione proposta, cioè considerando maggiormente l'incidenza dell'azione antropica, distruttiva o riparatrice, mentre il loro profilo curvilineo può risultare più o meno accentuato quanto maggiore o minore è il peso relativo assegnato alle azioni distruttive e di salvaguardia. Infatti l'accentuare il peso delle Politiche di salvaguardia o viceversa

quello di Intensità d'uso del suolo comporta una accentuazione di tale andamento, come già appariva nel corso delle stime degli indici di Carezza e Deficit irrigui dove si era posto in evidenza come l'arretratezza nell'uso delle risorse disponibili divenisse una componente rilevante della scarsità contingente e quindi come tutte le azioni di programmazione e razionalizzazione del loro uso potessero ritenersi notevolmente significative ed in sostanza le più efficaci per allontanare le prospettive di radicalizzazione della scarsità.

La seconda componente che determina i livelli cui si collocano tali linee di frontiera risulta dipendere dai valori assoluti assegnati ai due indici iniziali **Iu** e **Ps** e dal peso dato agli indici integrativi **Ii** e **Pi**, soprattutto di questi ultimi in relazione ad una maggior valutazione dell'azione antropica. Questo aspetto metodologico consente una importante flessibilità alla presente proposta di valutazione, poiché i pesi attribuiti, come integrazioni di quelli ESAs, possono essere modificati in funzione delle esigenze di analisi e delle realtà territoriali in osservazione, oppure della situazione ambientale o ciclica in esame. Ad esempio quando si desidera sviluppare l'analisi ad un livello locale più dettagliato o si debbano considerare caratteristiche specifiche della situazione ambientale e dei territori in esame quali la conformazione, l'altitudine e latitudine, il livello di compromissione, il livello di industrializzazione e sfruttamento del territorio stesso, ecc. Occorre tuttavia osservare come una maggior ampiezza della matrice, e quindi degli indici stimati, pur in una dimensione macroterritoriale, mentre può consentire un miglioramento della precisione puntuale delle valutazioni territoriali, può trovare un elemento di debolezza nella difficoltà di disporre concretamente di tutti i dati e le informazioni puntuali necessarie, soprattutto di valori certi e verificati costantemente nel tempo.

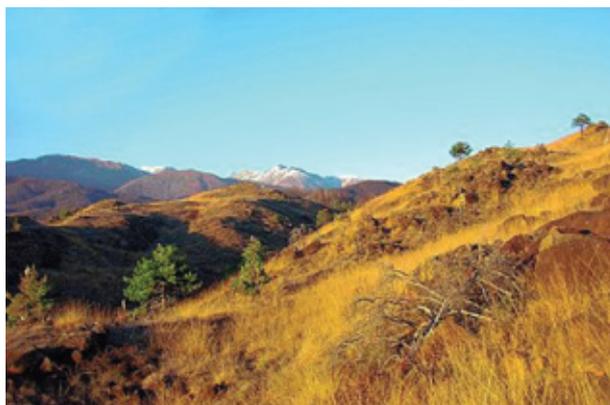
Infine si può ritenere che le integrazioni proposte risulterebbero più efficaci nella loro capacità predittiva se si scegliessero frontiere diverse, con una dilatazione dell'area intermedia corrispondente alle situazioni di rischio tendenziale, quella con ogni probabilità più interessante per le realtà temperate, tra le quali

quella piemontese. La determinazione delle frontiere risente ovviamente dei valori assegnati alle classi di qualità prestabilite ed al metodo di calcolo prescelto, la media geometrica. Occorrerebbe rivedere prioritariamente gli intervalli delle classi di Qualità alla luce di una maggior articolazione degli indici utilizzati ed a cui si fa riferimento, proprio perché nelle aree temperate e con maggior densità residenziale, abitativa e produttiva, il peso relativo dell'azione antropica risulta di notevole peso, per molti aspetti la variabile centrale o decisiva nei processi di desertificazione o nel loro contenimento.

In conclusione la maggior articolazione della matrice dei valori MQI ha proposto una alternativa migliorativa al metodo di valutazione prescelto ed ha consentito una valutazione più efficace delle dinamiche in atto, cogliendo nell'azione antropica sia i cambiamenti intervenuti nell'intensità di utilizzo del territorio, sia le variazioni nelle politiche di salvaguardia e non solo i livelli raggiunti. Una proposta che deve essere migliorata e resa più precisa nelle valutazioni e nelle variabili assunte come significative, e tuttavia una scelta necessaria considerando che il territorio del Piemonte è sottoposto ad una intensa azione antropica da cui derivano elevati livelli di sfruttamento delle risorse cui le politiche di razionalizzazione dei prelievi e di tutela ambientale cercano, ed in buona parte riescono, a porvi rimedio.

3.1.15 *CONSIDERAZIONI* *RELATIVE* *ALL'INTEGRAZIONE* *DEGLI* *INDICI* *DELLA* *METODOLOGIA ESAs*

La scelta di integrare gli indici ESAs stimati per ogni porzione territoriale presa in considerazione,



in quanto omogenea o significativa, è corrisposta alla necessità di valutare l'impatto dell'azione antropica sul territorio regionale in termini di rischi di desertificazione, attraverso i cambiamenti intervenuti nelle disponibilità idriche, irrigue, potabili, produttive, ecc., quindi nell'apparire o radicarsi di fenomeni di predesertificazione, infine nell'incrementarsi di fenomeni di dissesto idrogeologico. Con le integrazioni individuate si è ritenuto si evidenziasse meglio l'azione antropica di continua ed inevitabile rottura degli equilibri ambientali e di contestuale riequilibrio ambientale. Allo scopo di migliorare e dar maggior realismo alla valutazione dell'impatto dell'azione antropica, accanto alla valutazione del maggior peso sull'ambiente per effetto dell'azione distruttiva o disequilibratrice si è infatti considerata anche la riduzione del peso di tali aspetti negativi grazie alle politiche ed alle azioni di salvaguardia o di riequilibrio poste in essere. La scarsità di acqua, per quanto stagionale, appare il problema emergente a livello regionale e non tanto o non ancora lo svilupparsi di fenomeni di desertificazione ambientale, presenti solamente in una localizzazione storica, i Monti Pelati, ed ovviamente nelle aree di alta montagna. Scarsità estiva ma in tendenziale crescita anche in altre stagioni, a causa delle tendenze registrate sul lato della domanda e dell'offerta. L'offerta idrica, ancora poco controllata ed ovviamente non prodotta dall'uomo, appare ridursi per effetto dell'irregolarità nelle precipitazioni meteoriche, della riduzione delle risorse superficiali, del peggioramento quantitativo (e qualitativo) di quelle sotterranee, del disperdersi di fonti, a fronte di una domanda sostanzialmente in costante crescita per usi civici e produttivi. In realtà i cambiamenti climatici non sono documentati





in modo inequivocabile ed incontrastato, pur risultando emergere, da alcuni studi ed analisi condotti su dati e statistiche pluriennali per alcune aree piemontesi, evidenti e continue riduzioni delle precipitazioni invernali ed estive. Ciò che viene maggiormente evidenziato e trova maggior consenso è quindi l'irregolarità meteorica con una crescente frequenza di intervalli di tempo, anche prolungati, con forte riduzione o assenza di precipitazioni meteoriche e la conseguente estensione di aree in condizioni di scarsità prolungata. Tale riduzione nelle disponibilità di acque superficiali si accompagna ad una parallela riduzione nelle disponibilità di risorse sotterranee di cui non si conoscono ancora completamente i cicli, la loro alimentazione, abbassamento o emersione, così come il livello delle loro contaminazioni, tuttavia in progressivo aumento nell'entità e gravità. Questo insieme di tendenze ha modificato il quadro delle disponibilità e reso il bene acqua sempre più limitato, con alcune evidenze inusuali in passato, come aree coltivate o naturali completamente secche nei mesi estivi, situazioni stagionali di totale esaurimento di pozzi e fontanili, corsi d'acqua che svaniscono, salvo emergere successivamente, laghi con livelli in abbassamento, cui si rimedia in parte con un progressivo trasferimento territoriale di risorse idriche, con realizzazione di prelievi a profondità maggiori, ma anche, si è osservato, con importanti interventi di razionalizzazione, programmazione ed incremento dell'efficienza d'uso.

In Piemonte la desertificazione non risulta per ora un fenomeno significativo dal punto di vista economico ed ambientale, tuttavia i trend che si registrano nella domanda ed offerta idriche richiedono attenzione per le possibili ricadute future su alcuni sistemi territoriali, economici e sociali locali. La domanda idrica generante scarsità trova cause che si possono sinteticamente riassumere nella crescente richiesta da parte agricola di estensione irrigua, per scelte colturali più idroesigenti e per nuovi territori irrigui, per le crescenti non sincronie territoriali e temporali tra domanda e disponibilità idriche, per il ritardo nell'adozione di tecniche produttive risparmiatrici di acqua e maggiormente efficienti nella distribuzione; in altri settori produttivi per la crescita delle occasioni di consumo, per

il moltiplicarsi di stazioni turistiche invernali e di piste per attività sciistica da innevare artificialmente, per il moltiplicarsi di consumi turistici e sportivi (piscine ed impianti sportivi idroesigenti, centri benessere, campi di golf, ecc.); in molti settori industriali per il ritardo nell'adozione di sistemi di riciclaggio ed il proliferare di prelievi incontrollati. Tutte situazioni che richiedendo nuove disponibilità hanno evidenziato nuove situazioni di scarsità e di competizione tra usi alternativi. L'uso attuale di risorse idriche e le varie domande settoriali in atto risultano ancora calibrate su un concetto di disponibilità illimitata, certamente a costo molto contenuto, sostanzialmente nullo in alcuni comparti, e gli impianti e le tecniche irrigue utilizzate di conseguenza non risultano progettate in una ottica di minimizzazione dei consumi, di risparmio e di riciclo del fattore produttivo idrico. In un quadro di questo tipo è sembrato utile integrare la metodologia ESAs, proposta in ambito UE, con valutazioni dei comportamenti antropici responsabili delle tendenze osservate. Il calcolo di indicatori sintetici, per una nuova formula dell'indice sintetico ESAI, e le relative mappature, dovrebbero contribuire a migliorare la conoscenza dei problemi e la programmazione degli interventi necessari a contrastare la crescente scarsità, e successivamente consentire un confronto dei costi delle misure necessarie per prevenirla, valutando anche gli aspetti socioeconomici più significativi per predire le variazioni della domanda e dell'offerta di risorse idriche.

L'approccio economico alla carenza ed al deficit, cioè alla scarsità, come derivanti da comportamenti squisitamente antropici, è stato incentrato principalmente sul lato della domanda, considerando il lato dell'offerta solo sulla base delle informazioni rese disponibili da altri contributi scientifici. Gli aspetti problematici del comparto agricolo regionale sul piano economico sono stati definiti sulla base degli stadi progressivi segnalati dagli operatori interessati: Carenza, una situazione da intendersi come mancanza attuale delle risorse idriche necessarie agli usi in atto, una inedita divaricazione tra (maggior) domanda e (minor) offerta, a causa di riduzioni delle risorse originarie tradizionali ed a cui si rimedia

con il ricorso al razionamento o con la ricerca di risorse alternative (quali nuovi pozzi scavati a maggior profondità, nuovi invasi), quindi una limitazione alla produzione possibile; Deficit, una situazione da intendersi come limitazione ad un incremento quantitativo di risorsa irrigua legato ad una domanda irrigua per nuovi terreni, nuove colture, quindi una non possibilità di espansione produttiva qualitativa e quantitativa. Le cause della carenza e della scarsità non differiscono sul piano fisico ed ambientale, trattandosi di una divaricazione tra disponibilità di risorse idriche naturali accessibili e domanda emergente, ma le conseguenze in termini produttivi ed economici, oltre che ambientali, sono diverse riguardando la prima il livello produttivo in atto, la seconda il livello produttivo potenziale. Per gli altri settori produttivi regionali e per i prelievi potabili, si sono assunti i riferimenti e le analisi redatte dalle A.ATO e dalle Province, attraverso ricerche dirette che tuttavia non hanno evidenziato particolari situazioni o realtà problematiche, sebbene in uno scenario non dissimile da quello individuato per il settore agricolo.

La valutazione dei danni economici derivanti da scarsità e razionamento delle risorse idriche, non è stata affrontata in termini monetari per mancanza di dati ed informazioni sufficienti al calcolo delle riduzioni delle numerose e diverse produzioni regionali nelle relative qualità merceologiche, sui corsi dei loro prezzi nei diversi mercati regionali e locali, nei flussi di esportazione, preferendo rinviare ad una fase successiva tale approfondimento.

A parte si è proposto un modello teorico di valutazione economica dell'ottimo prelievo, sia in termini di sostenibilità ambientale che di sostenibilità economica. Dalle conclusioni cui porta il modello, sono emerse indicazioni operative delle attività normative e di regolazione del settore, più in generale delle risorse naturali rinnovabili, che da un lato hanno confermato la bontà degli indirizzi assunti dalle politiche pubbliche di salvaguardia attuate ed in fase di attuazione, sebbene debbano essere ancor più sostenute, da un altro lato hanno segnalato la necessità di coinvolgere nella ottimizzazione dell'uso delle risorse direttamente gli utenti, attraverso scelte

di miglior uso e razionalizzazione delle risorse stesse, anche attraverso il coordinamento e la cooperazione nella gestione e distribuzione dei prelievi.

Accanto all'uso dell'abbondante raccolta di dati realizzata a livello istituzionale e centrale, Regione Piemonte ed Enti regionali strumentali, si è trattato spesso di individuare informazioni integrative locali che hanno richiesto una osservazione e raccolta puntuale ed organizzata, soprattutto utilizzando metodologie omogenee e comparabili, interviste, questionari, schede tecniche. Occorre tuttavia segnalare che l'indisponibilità di talune informazioni adeguate e le valutazioni soggettive in assenza di informazioni istituzionali e statistiche, han reso necessarie alcune interpretazioni e stime ex novo, senza peraltro ridurre la qualità del loro contributo conoscitivo.

Un fenomeno di desertificazione specifica realizzatosi in Piemonte, di cui si è tenuto conto, deriva da un abbandono progressivo di aree montane ed alto collinari in cui la vita, divenuta sempre più difficile e costosa, in senso strettamente economico e sociale, ha generato come conseguenza un degrado ambientale che per molti aspetti propone problemi analoghi a quelli della desertificazione territoriale, ad esempio in termini di perdita di risorse in precedenza utilizzate, instabilità territoriale, dissesti idrogeologici, perdita di sorgenti idriche, cioè danni da diseconomie esterne. Accanto alla considerazione di tali conseguenze negative, si sono evidenziati anche i risvolti positivi, benefici da economie esterne positive, derivanti dalla crescita forestale in aree disboscate nel tempo, nel recupero di ampi territori alla vegetazione naturale e spontanea, che ha contribuito alla riduzione dell'inquinamento atmosferico ed ha incrementato le biomasse disponibili per produzioni energetiche.

La valutazione economico monetaria anche in questo caso non si è potuta realizzare per mancanza di informazioni necessarie e sufficienti su tutte le aree interessate dall'abbandono. Tuttavia integrando con ricerche specifiche gli elementi conoscitivi utili si è proposto un successivo approfondimento di valutazione utilizzando la metodologia dell'analisi costi-benefici.



Una prima conclusione, riguarda l'emergere con forza negli ultimi anni di una problematica economica, produttiva, ambientale e sociale, legata alla divaricazione tra riduzione di risorse idriche ed incremento dei consumi, quindi una situazione di stress idrico o di scarsità idrica che si avvia ad assumere ancor più rilevanza economica in alcuni comparti produttivi ed ambientale in alcune aree regionali, sebbene dall'analisi attuale non si profili un rischio significativo, nel breve periodo, di evoluzione territoriale nella direzione di predesertificazione.

Una seconda conclusione, certamente scontata per gli addetti, è che allo stato attuale il settore agricolo, in particolare, risente di una insufficiente erogazione idrica a causa di un maggior uso sia per potenziali ampliamenti delle superfici interessate, sia per maggior diffusione di colture più idroesigenti, soprattutto in relazione alla necessità di consentire il conseguimento di livelli di reddito maggiori alle imprese agricole, comparabili con i livelli realizzati in altri settori. Questo significa che occorrerà una spinta innovativa al suo interno, a partire da Consorzi irrigui di II grado, che porti ad una efficiente distribuzione di risorse produttive sempre più scarse, in senso fisico ed economico, ad un loro uso razionale e razionato, con metodi più efficienti di distribuzione ed irrigazione, ad investimenti che contrastino tale scarsità attraverso infrastrutture quali invasi, laghi artificiali, integrazioni delle reti idriche ed interscambio tra zone diverse. Anche per gli altri settori produttivi e per i prelievi potabili, saranno necessari investimenti per ridurre le dispersioni e migliorare l'uso, il riciclo e recupero delle risorse disponibili, soprattutto investendo nella ricerca di maggior efficienza nell'uso delle risorse originarie, nella riduzione degli sprechi e delle perdite.

Una terza conclusione, riguarda le linee di sviluppo delle azioni di regolazione e protezione con un rafforzamento, nel breve periodo, delle dimensioni di conoscenza, ad esempio con il censimento, e controllo, ad esempio con la regolazione, confermando le linee intraprese dalle istituzioni preposte, Regione Piemonte ed Enti Locali, incrementando per quanto possibile le disponibilità finanziarie. Nel medio e lungo periodo saranno necessarie ulteriori ricerche per

una maggior conoscenza e programmazione della domanda e delle riserve disponibili, delle tecniche migliori per la loro tutela e per la razionalizzazione del prelievo sostenibile, superficiale e sotterraneo, e parallelamente un maggior sostegno alla ricerca e diffusione di tecniche di processo risparmiatrici di acqua in tutti i settori produttivi, nonché di sistemi di maggior efficienza in tutti i livelli di consumo.

La direzione virtuosa per superare il disequilibrio tra offerta e domanda idrica consiste nel sempre maggiore ricorso ad innovazioni tecnologiche risparmiatrici di risorse, nel sostenere processi produttivi e produzioni che consentano limitazioni nel loro uso industriale accanto a nuove metodologie colturali agricole, ma anche nuove filosofie comportamentali, nuovi usi più rispettosi degli equilibri ambientali naturali.

La problematica che si affaccia in Piemonte e che ha assunto rilevanza crescente negli ultimi decenni, è comune a molti territori dell'area padana, e consiste in una scarsità derivante da una dicotomia tra crescita dei consumi e riduzione progressiva delle disponibilità naturali.

Come già evidenziato l'area territoriale piemontese per la sua collocazione pedemontana dispone ancora di ingenti e diffuse risorse idriche, sebbene sempre più variabili stagionalmente, tali da allontanare la prospettiva immediata di fenomeni di desertificazione, ma tale da porre inediti problemi di distribuzione periodica razionata tra diverse destinazioni ed usi.

In definitiva è giusto porsi l'interrogativo, senza una risposta definitiva, in merito alle diverse velocità degli effetti prodotti dalle azioni antropiche distruttive, al netto degli effetti positivi delle azioni antropiche riparatrici, ed alla velocità e capacità di adattamento antropico alle distruzioni stesse. Occorre, in altri termini, chiedersi se riusciremo ad adattarci alle trasformazioni ambientali conseguenti le nostre azioni più velocemente delle conseguenze che le trasformazioni determineranno su di noi.

CAPITOLO 4 - MAPPATURA DEGLI INDICI DI QUALITÀ

4.1 FASE II: MAPPATURA E DELIMITAZIONE DELLE AREE A RISCHIO DI DESERTIFICAZIONE

Per applicare tale metodologia al territorio piemontese si è reso necessario apportare alcune modifiche alla procedura originale (Kosmas et al., 1999) in merito all'attribuzione dei valori agli indici che descrivono le diverse componenti ambientali: vegetazione, suolo, gestione del territorio e clima.

Una volta effettuata l'elaborazione di ognuno degli indici previsti dalla metodologia ESAs si è proceduto con l'allestimento delle rispettive rappresentazioni cartografiche.

Nel prosieguo della presente relazione si forniscono quindi le informazioni necessarie alla comprensione dell'approccio analitico con il quale è stato eseguito l'allestimento cartografico relativo ad ognuno degli indici.





4.1.1 CARTA RELATIVA AL SOIL QUALITY INDEX

La realizzazione della carta è stata effettuata mediante l'utilizzo della relazione:

$$SQI = (\text{carbonio organico} \times \text{roccia madre} \times \text{tessitura} \times \text{pietrosità} \times \text{profondità del suolo} \times \text{drenaggio} \times \text{pendenza})^{1/7}$$

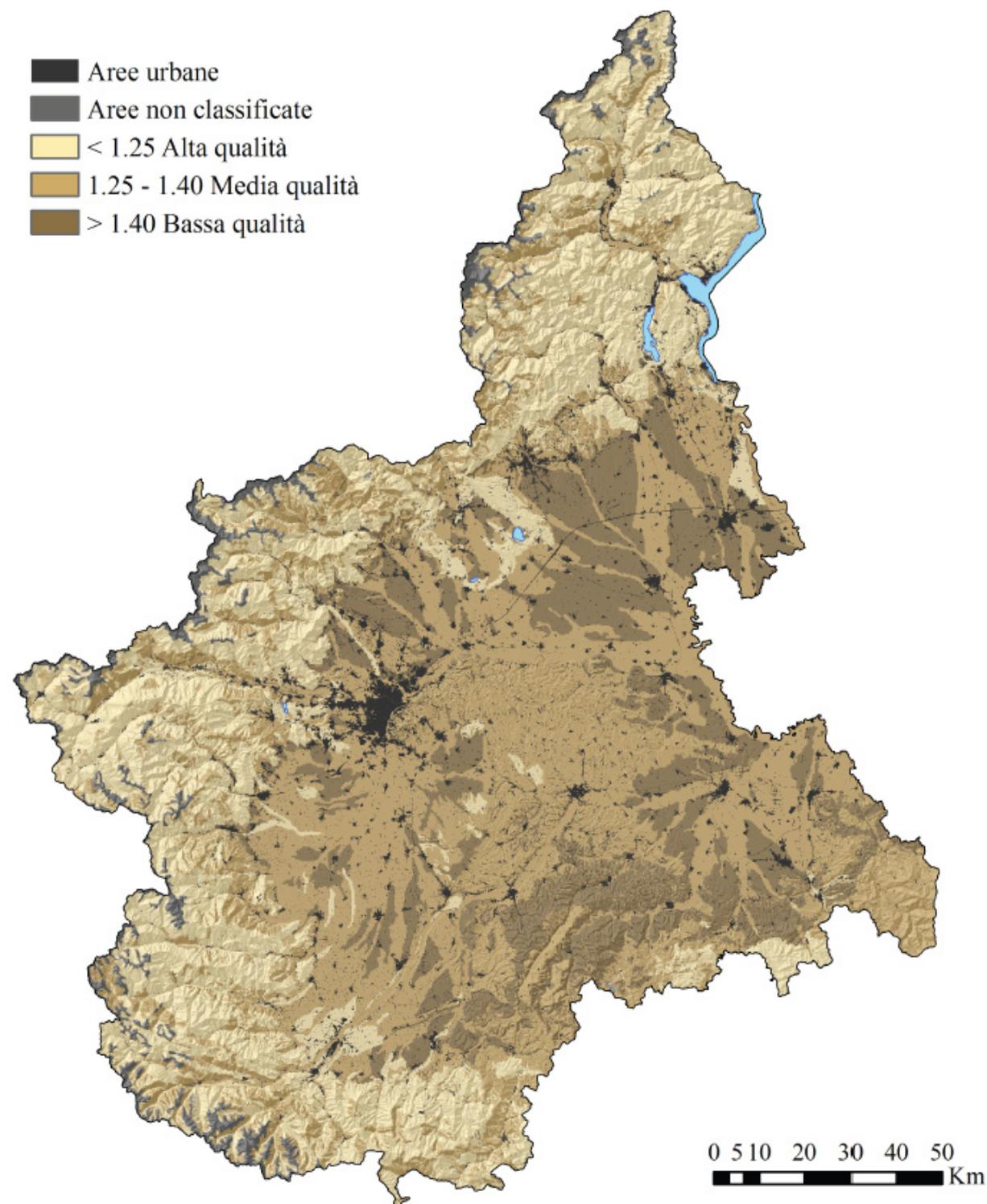


Figura 32. Carta dell'Indice di Qualità del suolo (SQI)

4.1.2 CARTA RELATIVA AL CLIMATE QUALITY INDEX

La carta è stata effettuata mediante l'utilizzo della relazione:

$$CQI = (\text{indice di precipitazione} \times \text{indice di aridità})^{1/2}$$

Dal valore del cumulo delle precipitazioni nel periodo da Marzo ad Agosto dipende la quantità di acqua disponibile per il sostentamento della vegetazione. Uno scarso apporto idrico durante questo periodo può limitare lo sviluppo o compromettere la sopravvivenza stessa della biomassa vegetale, facendo venire meno l'azione di protezione da essa esercitata nei confronti del suolo.

Il rischio erosivo dovuto alle precipitazioni. Inoltre, al di sotto del valore limite di 280 mm/anno, la perdita di suolo diventa particolarmente intensa (Kosmas et al., 1999).

Per quanto riguarda il calcolo dell'indice di aridità oltre alla componente strettamente climatologica sono stati considerati la capacità di campo e il punto di appassimento, ricavati dalle informazioni relative alla composizione tessiturale del suolo e al contenuto di carbonio organico del topsoil (strato 0-30 cm) per tutto il territorio regionale secondo la relazione descritta da Saxton e Rawls (2006).

Grazie alle informazioni sulle caratteristiche pedologiche il calcolo dell'indice di aridità è stato effettuato attraverso un modello di bilancio idrico del suolo (Tournon, 1981) in ambiente GIS con il quale è stato possibile ricostruire l'andamento giornaliero del contenuto idrico del suolo.

Si evidenzia inoltre che nel calcolo dell'indice di qualità del clima è stato eliminato l'indice di esposizione dei versanti.

La funzione di questo indice si limitava infatti alla semplice considerazione di come l'esposizione risultasse determinante per tutti i processi influenzati dalla radiazione solare. Poiché però nell'attuale elaborazione la stima del flusso evapotraspirativo è stata calcolata in base alla diversa quantità di energia solare che arriva al suolo in funzione non solo dell'esposizione

ma anche dell'ombreggiamento reciproco dei versanti, l'indice di esposizione è stato eliminato poiché avrebbe rappresentato una ripetizione che avrebbe portato alla sovrastima del risultato finale.



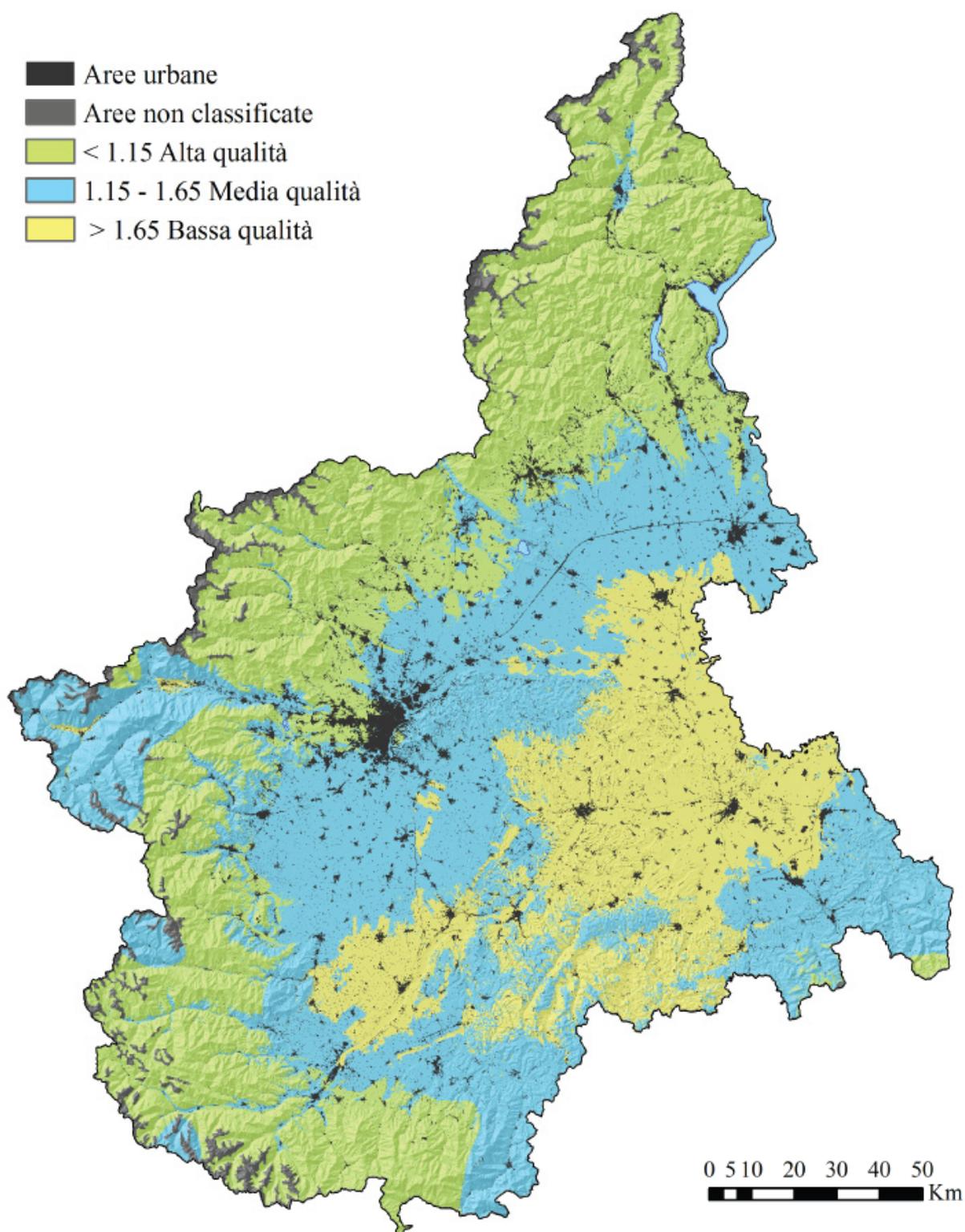


Figura 33. Carta dell'Indice di Qualità del Clima (CQI)

4.1.3 CARTA RELATIVA AL VEGETATION QUALITY INDEX

La realizzazione della carta è stata effettuata mediante l'utilizzo della relazione:

$$VQI = (\text{rischio d'incendio} \times \text{protezione dall'erosione} \times \text{resistenza alla siccità} \times \text{copertura vegetale})^{1/4}$$

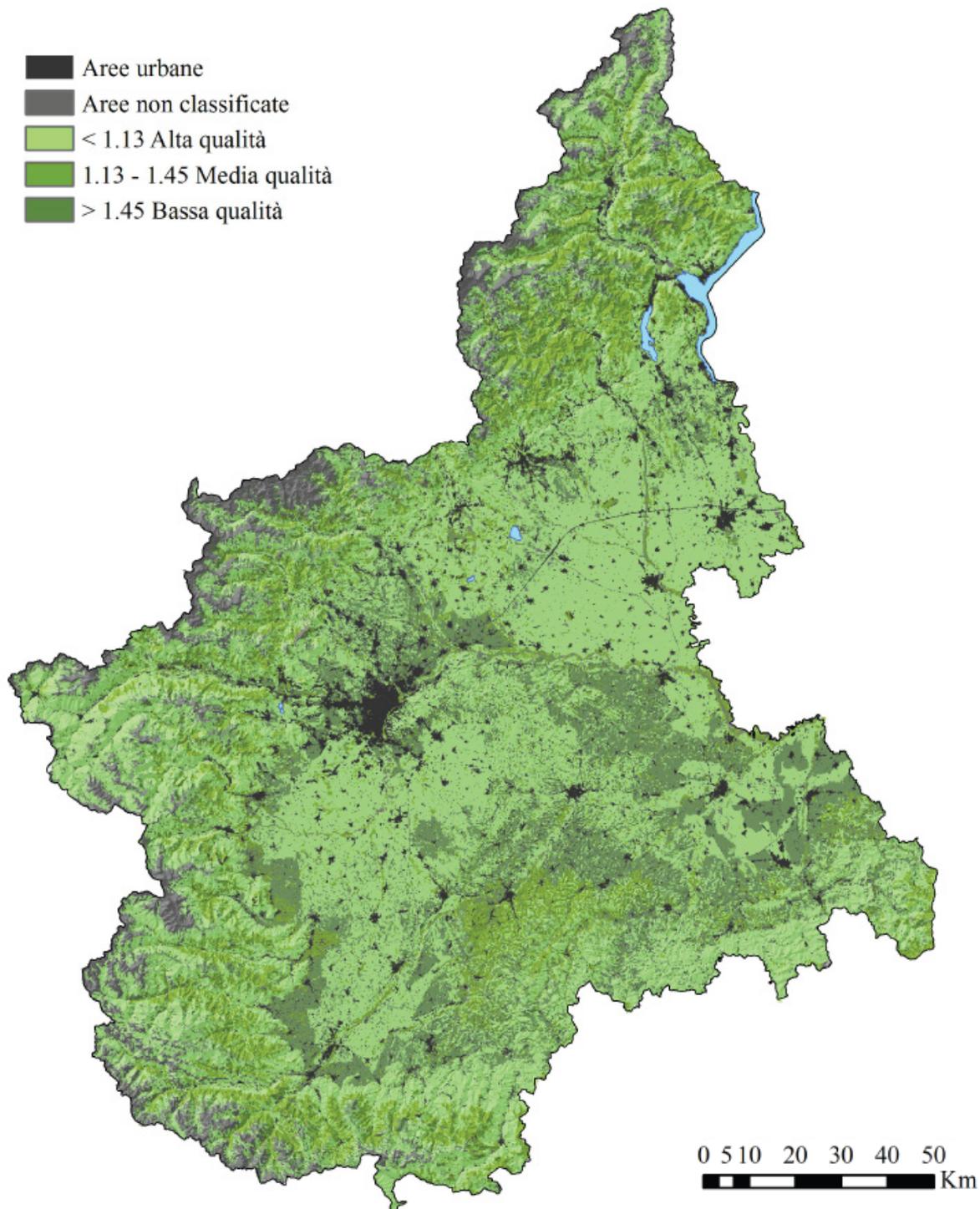


Figura 34. Carta dell'Indice di Qualità della Vegetazione (VQI)

4.1.4 CARTA RELATIVA AL MANAGEMENT QUALITY INDEX

La realizzazione della carta è stata effettuata mediante l'utilizzo della relazione:

$$MQI = (\text{intensità d'uso} \times \text{politiche di protezione})^{1/2}$$

Le carte necessarie per la definizione del Management Quality Index (MQI) in parte sono state reperite tramite il servizio cartografico della Regione Piemonte, in particolare quelle relative ai parchi e al vincolo idrogeologico; in parte sono state ricavate dalla Carta dell'uso del suolo e in parte sono state create ex novo analizzando alcuni parametri quali ad esempio il fabbisogno irriguo.

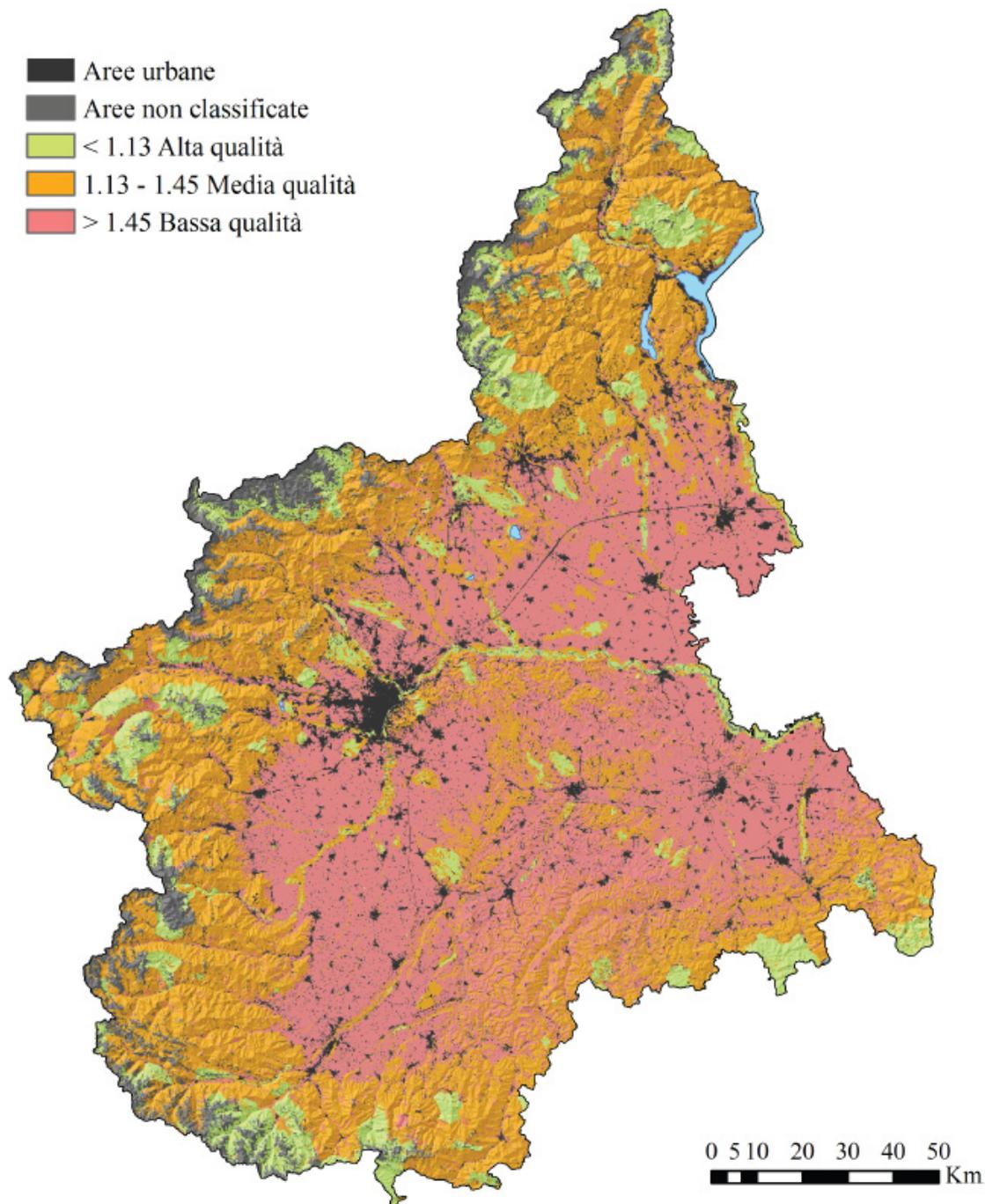


Figura 35. Carta dell'Indice di Qualità della Gestione del territorio (MQI)

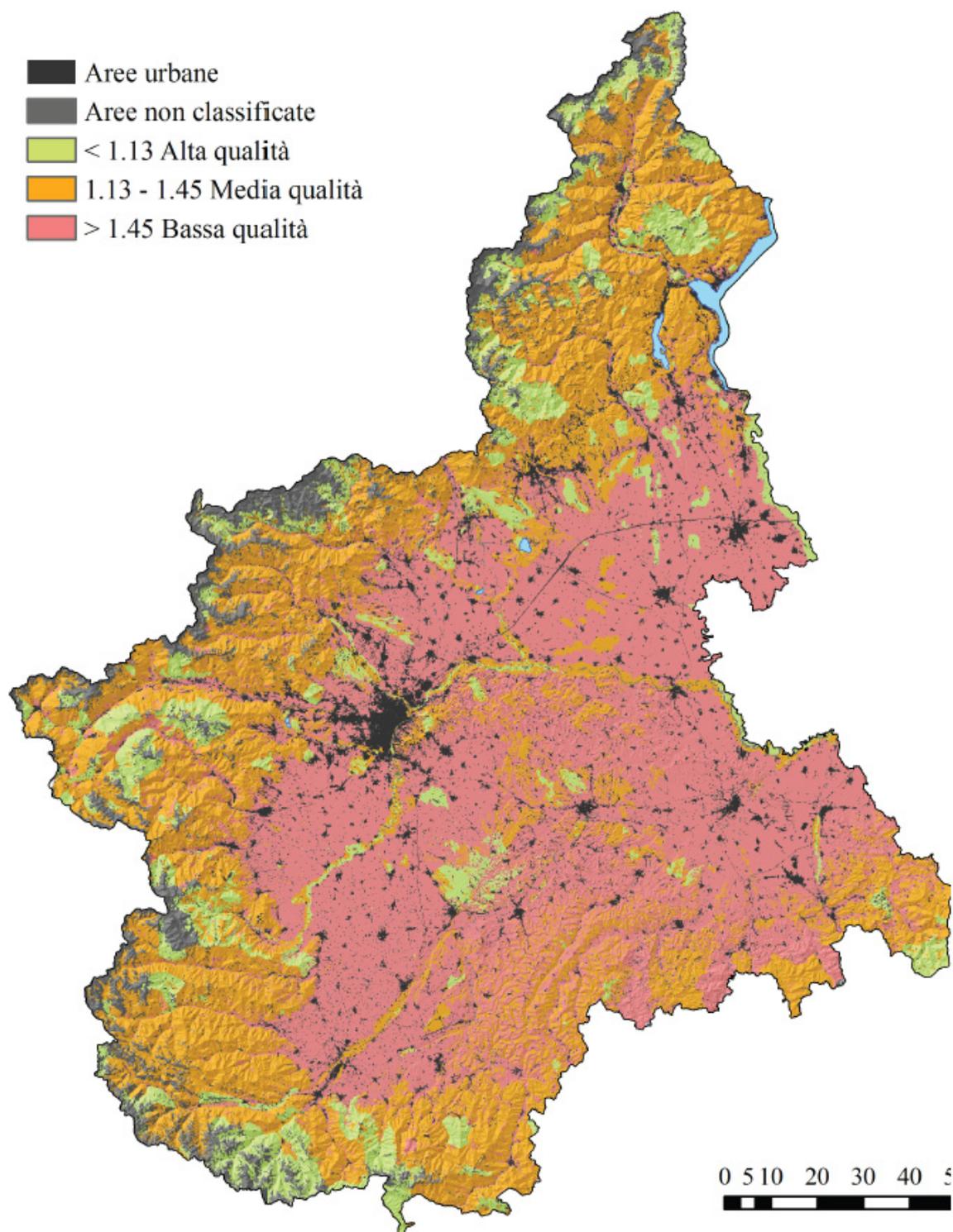


Figura 36. Carta dell'Indice di Qualità della Gestione del territorio integrato da variabili antropiche (MQI)

4.1.5 LA RAPPRESENTAZIONE DELL'INDICE SINTETICO - ESAI

Attraverso l'integrazione dei dati riguardanti ognuno degli indici caratteristici della

metodologia ESAs sopradescritti si è proceduto quindi alla determinazione dell'indice sintetico ESAI (Environmentally Sensitive Area Index).

$$ESAI = (SQI * CQI * VQI * MQI)^{1/4}$$

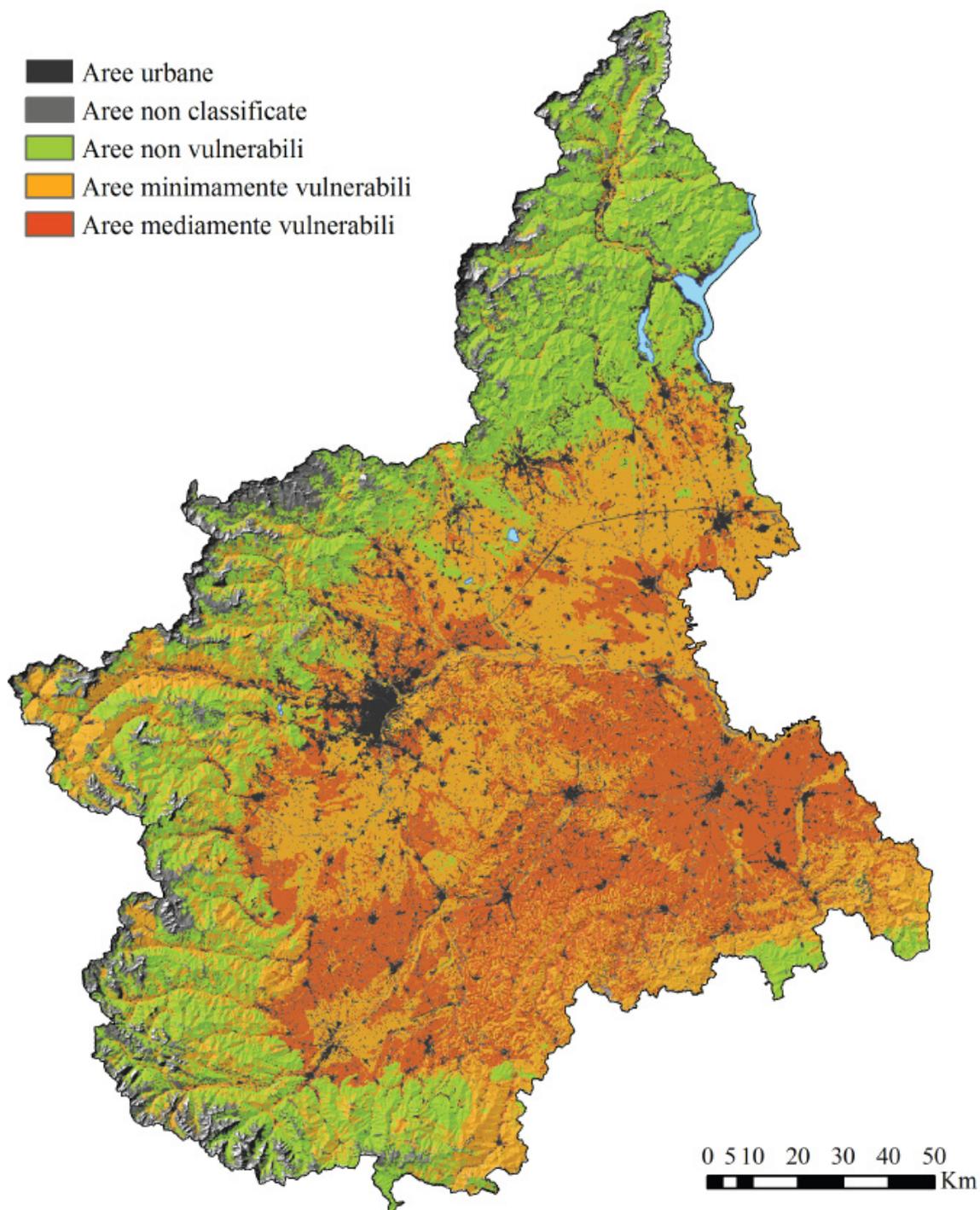


Figura 37. Carta dell'Indice sintetico di Vulnerabilità alla Desertificazione (ESAI)

Mediante la realizzazione di una specifica copertura geografica in scala 1:250.000, si è quindi proceduto all'individuazione delle aree a rischio di desertificazione in Piemonte.

Come già accennato la mappatura geografica è stata realizzata attraverso la media geometrica dei singoli indicatori. Tale approccio ha consentito, attraverso opportuni affinamenti metodologici, la mappatura definitiva delle aree vulnerabili a rischio di siccità e desertificazione.

4.1.6 COMMENTO ALLA CARTA ESAI

La carta delle aree vulnerabili ai processi di desertificazione del Piemonte è stata elaborata secondo la metodologia ESAs al fine di mantenere una certa omogeneità di approccio nei confronti delle regioni italiane che hanno adottato la stessa metodologia. Tuttavia occorre rilevare che la diversa natura del clima piemontese, rispetto a tali regioni, tutte nel sud Italia, ha reso necessarie alcune modifiche. Infatti i fattori critici principali del Piemonte sono legati alla presenza, in ampie aree della regione, di precipitazioni scarse soprattutto nel periodo estivo, associate a suoli di tessitura grossolana, aventi quindi scarse capacità di ritenzione idrica. In Piemonte si è quindi ritenuta la siccità essere il fattore predisponente principale della desertificazione. Le modifiche al metodo ESAs adottate sono state quindi indirizzate a quantificare il rischio di siccità. Per quanto riguarda il suolo, nel metodo originale ESAs, si aveva una elevata qualità dei fondovalle ghiaiosi in quanto lo scheletro litoide è considerato una difesa dall'erosione. Per il clima si è poi ritenuto più significativo utilizzare solamente le piogge da marzo ad agosto invece di quelle annue (queste ultime nelle regioni del sud-Italia sono correlate all'erosione, in quanto le precipitazioni invernali sono le più importanti nel clima di quelle regioni). Per contro, in Piemonte la scarsa ritenzione idrica dei suoli rende cruciale il quantitativo di pioggia del semestre primaverile-estivo. Infine anche l'indice di gestione del territorio è stato calcolato con particolare riferimento alla capacità delle aree in esame di far fronte alle carenze idriche per mezzo dell'irrigazione, in modo sostenibile per l'ambiente. Infatti una grande parte della

zona evidenziata dalla carta in figura 35 come a maggiore rischio di desertificazione si trova oggi ad essere abbondantemente irrigata. Ciò è legato strettamente al fatto di aver visto il fattore 'siccità' come quello cruciale per il Piemonte.

La carta ottenuta evidenzia quindi come le aree montane siano le meno esposte ai fenomeni di desertificazione, mentre le zone pianeggianti e collinari risultano essere quelle dove si concentrano le maggiori vulnerabilità ambientali. In ambiente montano, oltre ad avere generalmente precipitazioni più abbondanti, la vegetazione, prevalentemente di tipo forestale, esplica un ruolo fondamentale nella difesa del suolo dai fenomeni di erosione superficiale, nonché nel garantire la stabilità dei versanti. Il territorio montano inoltre è in ampie aree sottoposto a diverse forme di tutela ambientale (aree a parco o a vincolo idrogeologico) le quali concorrono ulteriormente alla salvaguardia del territorio, imponendo limitazioni sia nelle modalità che nell'intensità dell'uso del suolo. Tuttavia, anche all'interno delle zone montane, la metodologia ESAs ha permesso di individuare alcune aree che manifestano il rischio di andare incontro a fenomeni di desertificazione, come per esempio la Valle di Susa. Il motivo è legato principalmente alla componente climatica, in relazione alla scarsa piovosità.

Le zone collinari e di pianura, alla luce dell'analisi svolta, risultano essere le maggiormente vulnerabili ai processi di desertificazione. Tali zone sono prevalentemente destinate a produzioni agricole che presentano elevati fabbisogni idrici. Molte coltivazioni lasciano il suolo parzialmente o totalmente privo di copertura per una parte dell'anno, o per l'anno intero nel caso dei vigneti non inerbiti, esponendolo quindi all'azione erosiva degli agenti atmosferici. La pratica dell'irrigazione contrasta di fatto la scarsità idrica che altrimenti si verificherebbe durante il periodo estivo. Scarsità che si è manifestata in modo evidente in alcune annate recenti (per esempio il 2003), in cui il l'effetto combinato di temperature elevate e precipitazioni scarse ha determinato gravissime condizioni di siccità in Piemonte.



4.1.7 CONFRONTO TRA L'INDICE FINALE E LA CARTA DI CAPACITÀ D'USO DEI SUOLI

L'individuazione delle aree più vulnerabili al degrado o addirittura a processi di desertificazione, ci consente di effettuare un ulteriore ragionamento se poniamo a confronto queste informazioni con quelle desumibili dalla nuova Carta di capacità d'uso dei suoli a scala 1:250.000 riportata in figura 39.

La Capacità d'uso dei suoli è un metodo internazionale, riconosciuto ed utilizzato da decenni, che mette in relazione i caratteri di un suolo con le sue potenzialità produttive. Si parla in senso generico di "potenzialità produttive" in quanto non si tratta di una cartografia di attitudine specifica dei suoli (ad esempio alla coltivazione del mais o del grano) ma di una valutazione di sintesi complessiva sulla loro propensione all'esercizio dell'agricoltura, del pascolo o dell'utilizzo del bosco. Le 8 classi previste rappresentano suoli con limitazioni crescenti dalla 1^a (suoli "migliori" per l'utilizzo produttivo) all'8^a (suoli "peggiori" per l'utilizzo produttivo). E' un metodo che può essere pienamente considerato vicino anche ad aspetti di carattere ambientale: è insito infatti nella definizione di capacità d'uso che i suoli, non di prima classe, possono eguagliare le produttività di quelli migliori con input energetici maggiori (lavorazioni peculiari, uso maggiore di fertilizzanti, etc); si esplicita così il concetto di "bilancio energetico dei suoli", un tema di sicura attualità dal quale non può prescindere chi deve assumere decisioni.

Come si può osservare dal cartogramma relativo alla capacità d'uso dei suoli del Piemonte, i territori attribuiti alla prima classe sono relativamente poco estesi (rappresentano meno del 5% dell'intera superficie regionale); di maggiore estensione i suoli attribuiti alla seconda classe di capacità d'uso che tuttavia rappresentano complessivamente poco più del 15% dell'intera regione. Sovrapponendo i due documenti si può facilmente osservare che gran parte delle prime e delle seconde classi ricadono in territori considerati vulnerabili.

In particolare si evidenziano alcune situazioni meritevoli in futuro di un approfondimento a

scala di maggior dettaglio:

- La pianura alessandrina nella quale a suoli mediamente dotati di buone caratteristiche pedologiche si associano le precipitazioni più scarse della regione con evidenti problemi di deficit idrico durante la stagione estiva e difficoltà concomitanti nel reperire acqua per l'irrigazione
- Le aree collinari del Monferrato e delle Langhe dove i suoli inseriti in 4^a classe ma dotati di elevato valore (soprattutto in alcune aree) in conseguenza del potenziale vitivinicolo sono soggetti a forti fenomeni erosivi che riducono ulteriormente la fertilità e sono fonte di dissesti.
- Parte delle pianure cuneesi e torinesi, nelle quali suoli anche ad elevata produttività sono soggetti a degrado in conseguenza di un utilizzo intensivo con la monocoltura e sui quali falde in molti casi assai profonde si

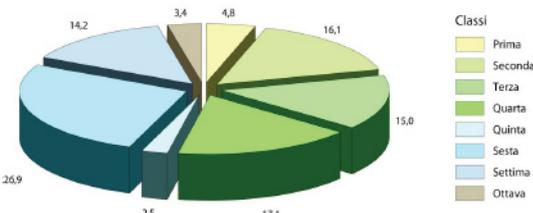


Figura 38 - Distribuzione delle classi della Carta della Capacità d'Uso dei Suoli

associano a precipitazioni non certo sufficienti per garantire una adeguata produttività e a suoli con tessiture decisamente grossolane, frequentemente ricchi di ghiaie.

Oggi i dati sulla capacità d'uso dei suoli sono resi disponibili dalla Regione Piemonte - e scaricabili da tutti gli utenti interessati - anche a scala di semidettaglio (1:50.000) su quasi l'intera area di pianura e per una porzione significativa della collina piemontese al seguente indirizzo: http://www.regione.piemonte.it/agri/suoli_terreni/suoli1_50/carta_suoli.htm. Approfondimenti di scala relativi anche ai fenomeni di degrado e di rischio di desertificazione potranno consentire ulteriori ragionamenti utili alla pianificazione territoriale e in particolare delle politiche del comparto agro-silvo-pastorale.

CAPITOLO 5 - MISURE DI MITIGAZIONE E UN MODELLO MATEMATICO PER PROPOSTE D'INTERVENTO

5.1 FASE III: INDIVIDUAZIONE DELLE MISURE E DELLE AZIONI DI MITIGAZIONE E DI LOTTA ALLA DESERTIFICAZIONE

Sulla base della precedente attività di analisi, caratterizzazione e classificazione delle aree soggette a rischio di desertificazione è stato possibile individuare le possibili linee di azione che arrivassero a concretizzarsi in specifiche misure di prevenzione e mitigazione finalizzate a contrastare i processi di degrado in atto.

In termini generali, ed alla luce delle considerazioni sopra riportate, si può quindi apprezzare come il rischio di siccità e desertificazione viaggi di pari passo con il concetto di sostenibilità ambientale e di etica dello sviluppo. Se da un lato infatti alcuni elementi di input del sistema territoriale non dipendono, quantomeno nel breve periodo ed in modo diretto, dall'attività antropica (e.g. precipitazioni, temperature, tipologia di suolo), molti processi risultano invece influenzabili dall'uomo in modo significativo e nel breve periodo.

Senza la presunzione di voler trattare in modo esaustivo un argomento così ampio e per certi versi controverso per via dei numerosi interessi in gioco, si vogliono fornire qui alcune linee di indirizzo ed alcuni esempi pratici di interventi agro-ambientali di rilevante interesse nella prevenzione e mitigazione del rischio di siccità, che si ritiene in Piemonte essere predisponente alla desertificazione.

Entrando nello specifico si possono individuare alcuni ambiti di intervento che giocano un ruolo strategico nei processi di tutela e salvaguardia dai processi di desertificazione, e in particolare sulla limitazione della pressione antropica sul territorio. Trattandosi di elementi strettamente interconnessi risulterà subito evidente come, pur cercando di tenere separati i differenti temi, questi tendano

a fondersi e influenzarsi vicendevolmente. Tale sfumatura vuol pertanto evidenziare una volta di più come può risultare deleterio un utilizzo imprevedibile di risorse limitate e come risulti indispensabile, allo stato attuale, realizzare un'azione multicanale che evolva in cicli virtuosi del sistema. In particolare

1. Ciclo dell'acqua e gestione della risorsa idrica

Non potendo influire sui quantitativi degli apporti, occorrerebbe agire sulla gestione della risorsa idrica attraverso due elementi chiave: rallentamento del ciclo dell'acqua e risparmio/razionalizzazione della risorsa. In particolare, da un lato occorrerebbe



ripristinare le buone pratiche di manutenzione idraulico-forestale dei versanti in modo da limitare il ruscellamento superficiale, limitare il rischio idrogeologico e favorire, al contempo, la persistenza dell'acqua nel suolo (ripristino della rete idrica minore e valorizzazione della vegetazione). Allo stesso tempo avviare interventi di ottimizzazione dell'uso della risorsa idrica (per esempio attraverso la quantificazione dei prelievi irrigui e la valutazione delle perdite dei canali)

e di razionalizzazione dello sfruttamento (per esempio incentivazione dell'efficienza idrica, incentivazione di colture poco idroesigenti, valorizzazione alternativa di terreni a scarsa vocazione agricolo-irrigua)

2. Tutela e conservazione della risorsa suolo

Relativamente a tale aspetto occorrerebbe fare riferimento a tutti gli elementi di tutela della "risorsa suolo" dalla sua degradazione.



La FAO-UNEP-UNESCO (1980) hanno infatti identificato la degradazione del suolo in 5 forme principali: chimica, fisica, biologica, erosiva e per salinizzazione/alcalinizzazione. Trascurando quest'ultima forma che non riguarda direttamente il territorio piemontese, occorrerebbe avviare politiche incentivanti (ma in molti casi occorrono prima opere di sensibilizzazione verso argomenti talvolta sconosciuti) nei confronti di:

- pratiche agricole assennate e caratterizzate da lavorazioni "pedo-sostenibili" (che escludano compattazioni, formazioni di croste, impermeabilizzazioni e indurimento) e uso consapevole di concimanti e fitofarmaci;
- interventi di miglioramento diretto e indiretto della naturale stabilità dei suoli (e.g. sequestro di carbonio organico, coperture vegetali antierosive, diminuzione della pressione colturale con coltivazioni a turno più lungo, rotazioni colturali, imboschimento

di aree non agricole e/o nude, degradate o abbandonate);

- interventi di manutenzione idraulico-forestale dei versanti (in coerenza con quanto indicato al punto 1).

3. Gestione e valorizzazione della risorsa vegetazionale

Da un punto di vista vegetazionale occorre sottolineare come le piante rappresentino un ruolo chiave negli ecosistemi in quanto interagiscono profondamente con tutti gli elementi sino ad ora menzionati venendone, al contempo influenzate. Si noti solamente come la quasi totalità degli esempi di intervento proposti per la conservazione della stabilità dei suoli sia per lo più a carico dei soprassuoli che li occupano. Affinché un intervento però risulti razionale occorre che sia anche sufficientemente remunerativo da garantire la sua sopravvivenza nel tempo. A tal proposito, ed in linea con i principi espressi al punto 1, occorrerà prevedere interventi volti alla valorizzazione del patrimonio boschivo (ma non solo) e dei suoi prodotti derivati (e.g. biomasse energetiche, legname).

Si evidenzia ancora che in molte aree montane del territorio regionale si sta procedendo, grazie alle risorse finanziarie messe a disposizione dalla tariffa del Servizio Idrico Integrato, con la realizzazione di interventi di difesa e tutela dell'assetto idrogeologico del territorio montano. Infatti l'art. 8, comma 4 della legge regionale 13/1997 in materia di riorganizzazione del





servizio idrico integrato dispone che “L’Autorità d’ambito destina una quota della tariffa, non inferiore al 3 per cento, alle attività di difesa e tutela dell’assetto idrogeologico del territorio montano. I suddetti fondi sono assegnati alle Comunità Montane sulla base di accordi di programma per l’attuazione di specifici interventi connessi alla tutela e alla produzione delle risorse idriche e delle relative attività di sistemazione idrogeologica del finanziati attraverso le risorse messe a disposizione dalla legge regionale n. 32/1982 recante “Norme per la conservazione del patrimonio naturale e dell’assetto ambientale”.

Per concludere, l’individuazione delle suddette misure è stata effettuata in maniera coerente con gli strumenti di programmazione vigenti ed in particolare con le azioni previste dal Piano regionale di Tutela delle Acque (PTA) e con la filosofia base della Politiche Agricole Comunitarie (PAC) e del Programma di Sviluppo Rurale (PSR), 2007-2013 (in particolare con l’intero asse II), nell’ottica della piena realizzazione degli obbiettivi proposti nell’ambito degli accordi di Kyoto.

5.2 LA MODELLAZIONE MATEMATICA PER L’INDIVIDUAZIONE DI PROPOSTE D’INTERVENTO PER BACINI COLLINARI COLTIVATI A VITE

L’esempio di modellazione qui descritta, utilizzabile per lo studio delle variazioni indotte da cambiamenti dell’uso del suolo o dalla realizzazione di costruzioni e infrastrutture all’interno di bacini idrografici di piccole

dimensioni, è stata realizzata al fine di simulare il deflusso idrico e l’entità della perdita di suolo da versanti collinari allo scopo di individuare misure atte a prevenire e limitare i fenomeni di deflusso intenso e i conseguenti fenomeni erosivi.

Il metodo consiste nell’applicazione di un modello numerico “afflussi-deflussi” che permette di ricavare, mediante l’onda cinematica, la portata liquida ed il trasporto solido derivante dall’erosione superficiale che affluiscono alla rete di drenaggio. Tale modellazione afflussi-deflussi è stata effettuata utilizzando il codice di calcolo “KINEROS2”.

Attraverso questo tipo di modellazione, oltre a simulare la risposta idrologica di un bacino idrografico nella sua situazione attuale è possibile studiare l’effetto di eventuali modifiche dell’uso e della gestione del suolo, (proprietà idrauliche del suolo, tipo ed estensione della copertura vegetale, introduzione di manufatti di origine antropica), permettendo quindi di valutare come la portata liquida ed il trasporto solido possano variare in funzione di modifiche alla gestione del territorio.

La copertura del suolo da parte di materiale vegetale riveste un’importanza fondamentale nella lotta all’erosione, ma anche il tipo di piante, così come le tecniche colturali, assumono un ruolo determinante che diviene secondario solo quando il suolo raggiunge almeno il 90% di copertura. Si pensi ad esempio che nel periodo immediatamente successivo alla fresatura, la porosità di un suolo potrà risultare talmente elevata da consentire l’immediata infiltrazione di quantitativi pluviometrici piuttosto importanti. La stessa acqua però, una volta raggiunta la soletta di lavorazione, troverà una superficie di scorrimento ipogeo ideale, tramite la quale potrà pervenire alla sezione di chiusura ancora in quantità notevoli (Ferraris et al., 1996).

Allo stesso modo, suoli agrari a matrice argillosa e limosa soggetti a frequenti lavorazioni e privi di copertura vegetale (i.e. vigneti, nocchie, etc.) potranno essere soggetti a fenomeni, anche aggressivi, di *splash erosion*, con conseguente compattazione/costipazione della superficie del suolo e relativa impermeabilizzazione per formazione di croste superficiali che andranno

ad alimentare il ruscellamento superficiale con innesco di processi erosivi anche molto intensi e formazione di veri e propri flussi di fango.

In questi casi l'applicazione di una tecnica antierosiva di tipo biologico, se opportunamente studiata per essere messa in opera alle condizioni ecologiche delle nostre latitudini, oltre risultare di indubbia efficacia, potrà evidenziare anche costi contenuti sia in termini economici che di manodopera. E' quindi indispensabile individuare e selezionare, fin da subito, specie vegetali adatte alle condizioni ecologiche locali, e tecniche colturali idonee da adottare durante la fase della crescita dei vegetali.

Per fermare l'erosione, una copertura vegetale sarà tanto più efficace quando:

- assorbirà l'energia cinetica delle gocce di pioggia;
- ricoprirà un'elevata porzione di suolo nei periodi dell'anno in cui le piogge saranno più aggressive;
- rallenterà il deflusso dell'acqua di ruscellamento;
- manterrà una buona porosità dell'orizzonte superficiale del suolo.

Per dare un'idea dell'importanza che ricopre la vegetazione nella lotta all'erosione si pensi che se il rivestimento vegetale di una particella dovesse diminuire dal 100% allo 0%, il materiale asportato potrebbe passare da 1 a più di 1000 tonnellate/ha/anno. Bisogna inoltre aggiungere che la riduzione dell'erodibilità di un suolo dopo l'innesco di fenomeni di degradazione, risulterebbe un'impresa piuttosto complessa a causa della diminuzione (anche drastica) di variabili chimiche e fisiche essenziali per la stabilità del suolo stesso, quali la struttura, la permeabilità, la percentuale di materia organica, etc. Nel caso specifico della coltura della vite, una corretta gestione dell'inerbimento dell'interfilare, eventualmente controllato con piccole dosi di diserbante e periodicamente tagliato lasciando il residuo vegetale in campo, con funzione pacciamante per limitare l'evaporazione (stessa

funzione della fresatura), potrebbe portare ad ottimi risultati, con una maggior vitalità della pianta di vite che notoriamente patisce la vicinanza della superficie alle radici (senescenza precoce); tale accorgimento potrebbe portare ad una lieve diminuzione delle produzioni (peraltro avvicinandosi alle limitazioni che spesso le denominazioni di origini controllate prescrivono), ma a tutto vantaggio della sostenibilità ambientale.

5.2.1 INTERAZIONE TRA TECNICHE CULTURALI, IL SUOLO E IL VIGNETO

Con riferimento al vigneto, ed in particolare nel contesto piemontese si trovano in letteratura risultati di indagini sperimentali e proposte operative per la sistemazione dei terreni in pendenza. (e.g. INRA, 1998). Nell'enorme produzione di memorie, sono inoltre disponibili osservazioni sperimentali nelle aree collinari piemontesi (Caroni e Tropeano, 1981; Tropeano, 1984) e, in particolare, in aree a vigneto (Tropeano, 1983;1984).

Un elemento particolare di interazione fra coltivazioni e suolo è rappresentato dalle strade di servizio, che rappresentano una superficie di deflusso preferenziale sia per le precipitazioni cadute sulla superficie stradale, sia per l'effetto indiretto legato al l'afflusso di acqua alla base del taglio del versante. Questo secondo punto è stato da tempo adeguatamente indagato come responsabile di apporti significativi rispetto al deflusso diretto (Megahan, 1983; Ziegler et al, 2000).

Per quanto riguarda le tecniche di inerbimento, sono disponibili risultati sperimentali relativi al confronto fra la produzione di sedimenti di terreni coltivati nudi e inerbiti (i.e. Caporali et al., 1994). In merito a interventi specifici sulla rete di raccolta delle acque in vigneto sono significative le indagini condotte presso la stazione sperimentale del CNR a Vezzolano (Lisa et al, 1994;1996).

La gestione del suolo nel vigneto comprende un insieme di tecniche agronomiche in grado di condizionare profondamente l'impatto ambientale proprio perché influenzano processi e parametri agro-ambientali di estrema importanza per il ciclo

colturale e per la conservazione della fertilità stessa, quali:

- il livello di lisciviazione e scorrimento superficiale di elementi nutritivi (in particolare azoto),
 - i processi di erosione idrica ed eolica
- mentre da un punto di vista più squisitamente agronomico:
- le caratteristiche fisico-chimiche e biologiche del suolo,
 - il bilancio idrico,
 - i cicli degli elementi nutritivi,
 - lo sfruttamento dell'energia radiante,
 - la presenza di flora avventizia, di patogeni fungini e la loro diffusione,
 - la diversità biologica all'interno dell'agroecosistema e quindi l'equilibrio vegeto-produttivo della pianta.

In questo contesto i pregi dell'inerbimento sono risultati molteplici con influenze positive sia nei rapporti con la pianta che nei rapporti con il suolo.

Inerbimento permanente

Consiste nel lasciare sviluppare un cotico erboso su tutta la superficie dell'impianto. Quando la vegetazione erbacea raggiunge uno sviluppo tale da competere con la coltura, l'erba viene tagliata e lasciata in loco in modo che i residui vegetali possano ricoprire anche una funzione pacciamante.

Nel caso in cui si volesse costituire ex novo un tappeto erboso, andrebbero innanzitutto individuate le specie erbacee spontanee prevalentemente diffuse nella zona in modo da favorire quelle che andranno ad esercitare una minore competizione idrica e nutrizionale con la coltura.

Nel caso specifico del vigneto sarà utile tenere conto anche dello sviluppo vegetativo che le piante erbacee possono raggiungere (è bene che non sia troppo elevato), in quanto potrebbe procurare danni durante la fioritura ed allegagione,

nonché favorire un aumento di patogeni dovuto alla maggiore umidità in prossimità del suolo. In alcune zone viticole della Svizzera è stato proposto l'inerbimento con *Stellaria media*, *Veronica persica* e *Lamium purpureum*, che avrebbero la proprietà di inibire la crescita di specie nocive.

Per applicare questo tipo di inerimento è necessario che le precipitazioni superino livelli tali da garantire la sopravvivenza della copertura erbacea e che la loro distribuzione sia altrettanto uniforme. In zone siccitose questa tecnica è applicabile solo se si dispone di sufficiente acqua per l'irrigazione.

Inerbimento temporaneo

Questo sistema consiste nella semina di essenze erbacee, leguminose e graminacee, da sole o in associazioni polifite sull'intera superficie dell'impianto o solo nell'interfilare con sfalcio o sovescio (Lasciando la vegetazione tagliata *in situ*) delle stesse in corrispondenza del periodo primaverile onde evitare fenomeni di competizione idrica con la coltura principale. Le specie per questo inerimento devono essere scelte in ragione del loro comportamento vegetativo, sia delle caratteristiche pedologiche e climatiche del sito.

In ambienti caratterizzati da precipitazioni scarse e prevalentemente concentrate tra l'autunno e l'inverno dovrà considerarsi preferibile questo tipo di inerimento (anche per la vite). Se ve ne fosse la necessità, ed in mancanza di fertilizzanti organici la tecnica dell'inerimento temporaneo può essere considerata una vera e propria "concimazione verde", con apporto nel suolo di una considerevole quantità di sostanza organica.

Rispetto all'inerimento permanente questa tecnica richiede una maggior quantità di lavoro, necessario per preparare il terreno per la semina, lo sfalcio della vegetazione, il sovescio. Lo stesso si dica per le operazioni di concimazione, che nell'inerimento permanente sono di tipo superficiale, in quello temporaneo devono essere interrate, e quindi con maggiori tempi di esecuzione.

Vantaggi e svantaggi dell'inerbimento

È da notare innanzitutto come l'inerbimento prevenga l'erosione del suolo con ricadute molto interessanti se nella zona di interesse si dovessero manifestare eventi piovosi brevi e di forte intensità nel periodo estivo (Tab. 20).

	Terreno asportato (t/ha/anno)	Spessore di terreno asportato (cm/anno)
Lavorato	37.76	0.379
Inerbito	0.21	0.006

Tabella 20. Entità dell'erosione in rapporto alla tecnica di coltivazione del terreno.

Inoltre l'inerbimento permanente impedisce la formazione di "solette d'aratura" e comporta tutta una serie di effetti benefici sulle caratteristiche fisiche del suolo, migliorando la struttura degli aggregati, la permeabilità e la porosità del topsoil, (in particolare di micropori), la capacità di trattenere acqua e gli scambi gassosi tra le radici e l'atmosfera. (Tab. 21) Tali effetti dipendono sia dal venire meno delle lavorazioni agrarie, sia dall'apporto di sostanza organica, calcolabile nell'ordine di 200-400 q/ha e proveniente tanto dagli sfalci, quanto dal continuo turnover radicale).

	Fino a 15 cm		Oltre 15 cm	
	Inerbito	Lavorato	Inerbito	Lavorato
Aggregazione ¹	59.3	35.3	39.8	24.7
Porosità %	59.1	45.4	46.1	43.1

¹Espressa come % di aggregati > 25 mm

Tabella 21. Influenza sullo stato di aggregazione e sulla porosità del terreno (Sudds e Browning, 1941).

Per quanto riguarda la competizione nutrizionale, ricopre una relativa importanza unicamente quella relativa all'azoto, facilmente risolvibile con una maggiore concimazione azotata per ristabilire la giusta concentrazione. Maggiori effetti negativi possono essere dovuti alla competizione idrica, che si può gestire attraverso la scelta di miscugli di specie erbacee poco esigenti o con frequenti sfalci.

La presenza di un cotico erboso favorisce, invece, la migrazione degli ioni fosforo e del potassio verso gli orizzonti più profondi; fenomeno importante in quanto tali elementi, somministrati

con i comuni metodi di concimazione, vengono trattenuti nella parte più superficiale del suolo. Allo stesso modo, la maggior quantità di sostanza organica in decomposizione favorisce lo sviluppo di una microflora che contribuisce a migliorare la fertilità agronomica del terreno. Se correttamente impostata, quindi, tale soluzione può svolgere un ruolo fondamentale sulla complessità dell'agroecosistema e, di conseguenza, equilibrare tutti i fenomeni chimici, fisici e biologici che in esso si svolgono. Secondo alcuni entomologi l'inerbimento inoltre, andrebbe a creare condizioni più favorevoli per la "lotta integrata", in quanto la presenza di specie erbacee favorirebbe la sopravvivenza degli iperparassiti utilizzati per combattere l'entomofauna nociva. Allo stesso modo, però, l'inerbimento tende ad aumentare l'umidità dell'ambiente e con essa il rischio di alcune affezioni parassitarie.

Per quanto riguarda le modificazioni indotte sull'ecologia della pianta l'inerbimento tende a indurre una riduzione significativa del vigore della pianta e del livello di produttività, fatto, tuttavia, considerabile positivo, soprattutto per zone caratterizzate da un eccesso di vigoria e spesso da produzioni particolarmente elevate ed eccedenti i limiti imposti dai disciplinari di produzione. In tali contesti, però, l'inerbimento può essere considerato uno strumento naturale e sostenibile per la regolazione dell'equilibrio vegeto-produttivo che è alla base di produzioni di qualità.

Entrando nel dettaglio nel caso di inerimento permanente, il vigneto subisce un rallentamento vegetativo limitato prevalentemente ai primi anni di vita, mentre, successivamente, le piante manifestano un graduale adattamento alla concorrenza del prato. Nel caso invece, di inerimento temporaneo, effettuato di norma durante i periodi di pausa vegetativa del vigneto, non si registra un competizione degna di nota.

Ulteriori vantaggi possono essere dati dal ritardo di alcuni giorni della ripresa vegetativa delle piante, conseguente determinando una diminuzione di rischi di gelate tardive. e dal miglioramento qualitativo delle uve che si traduce in:

- anticipo nella maturazione

- grado zuccherino più elevato,
- colore più intenso
- maggiore polimerizzazione dei polifenoli,
- diminuzione della quantità prodotta, rispetto alle colture non inerbite.

La seguente Tabella 22 riassume i principali elementi favorevoli e sfavorevoli con riferimento alla pratica dell'inerbimento.

Favorevoli	Sfavorevoli
Transito più agevole dei mezzi meccanici	Minore disponibilità idrica
Minore compattazione del suolo	Maggiore asporto di N
Minore erosione del suolo	Minore sviluppo delle piante
Drastica diminuzione dei processi di eluviazione	Minore produttività (può essere positiva nel caso di limiti imposti da un disciplinare di produzione)
Maggiore permeabilità e porosità	Maggiore rischio di attacco di patogeni
Maggiore capacità di invaso	Maggiore rischio di gelate tardive
P, K maggiormente disponibili in profondità	
K maggiormente disponibile	
Maggiore apporto di sostanza organica	
Aumento della fertilità agronomica	

Tabella 22. Principali aspetti, positivi e negativi, dell'inerbimento rispetto alle normali lavorazioni.

5.2.2 MODELLAZIONE "AFFLUSSI-DEFLUSSI" E TRASPORTO SOLIDO

La modellazione è stata effettuata in quattro sottobacini nel comune di Nizza Monferrato (Fig. 40) utilizzando come riferimento due eventi piovosi verificatisi nel luglio 2005 che hanno causato significativi problemi di erosione e trasporto solido.

La schematizzazione della rete e delle aree ad essa afferenti è riportata nelle Figg. 41, 42, 43 e 44.

Si ricorda che "KINEROS2" schematizza il bacino idrografico come una serie di piani inclinati collegati da una rete di segmenti.

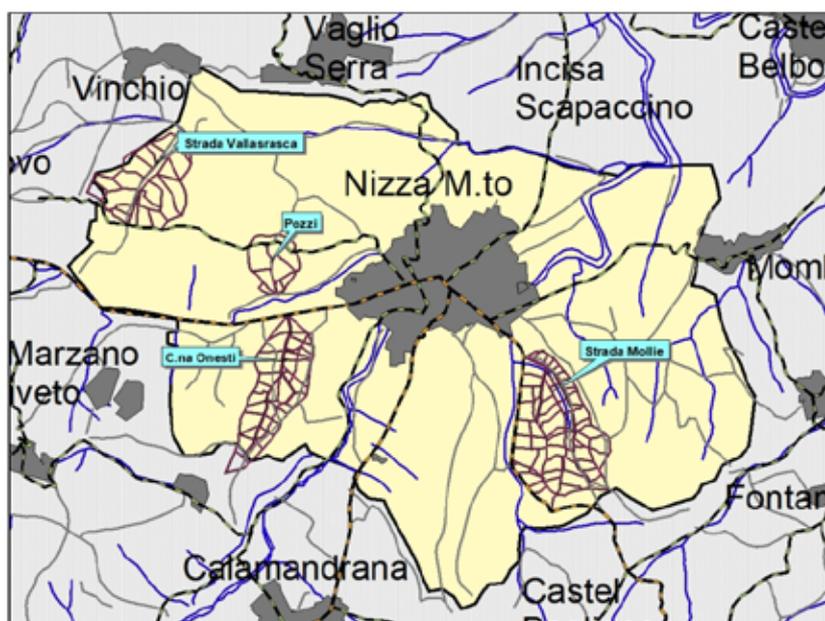


Figura 40. Localizzazione dei quattro sottobacini oggetto di studio.

Bacino strada Mollie

Il bacino è stato suddiviso in 33 elementi piani. La rete di drenaggio artificiale è stata rappresentata attraverso 17 tratti incanalati (Fig. 41).

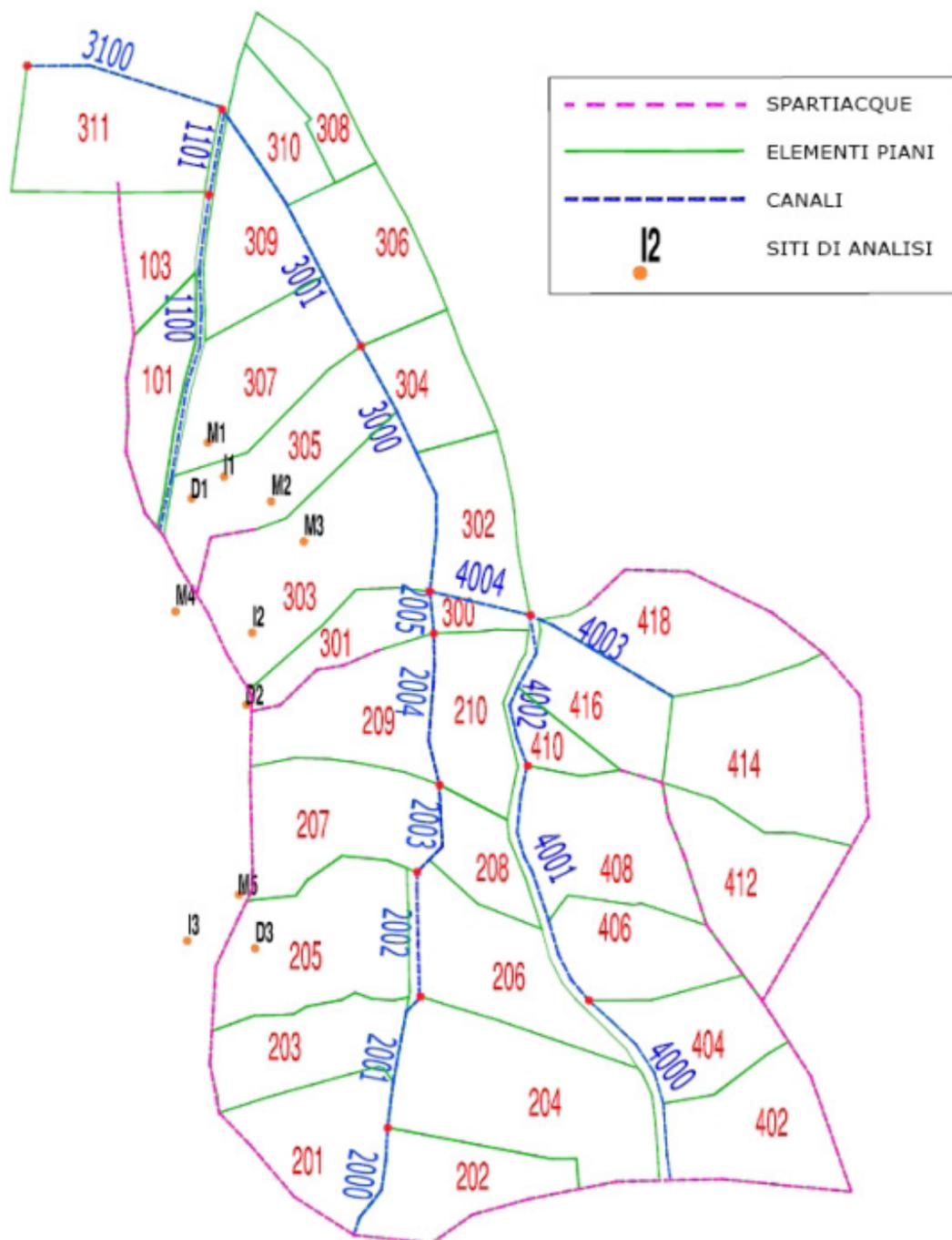


Figura 41. Schema del bacino di strada Mollie. La portata è stata calcolata per il ramo con recapito al canale numerato 3100

Bacino dei "Pozzi"

Individuata la linea spartiacque, il bacino è stato ulteriormente suddiviso in 10 elementi piani, la

rete di drenaggio artificiale è stata rappresentata con 10 tratti incanalati (Fig. 42)- La sezione di chiusura è situata al termine del canale denominato 1010.

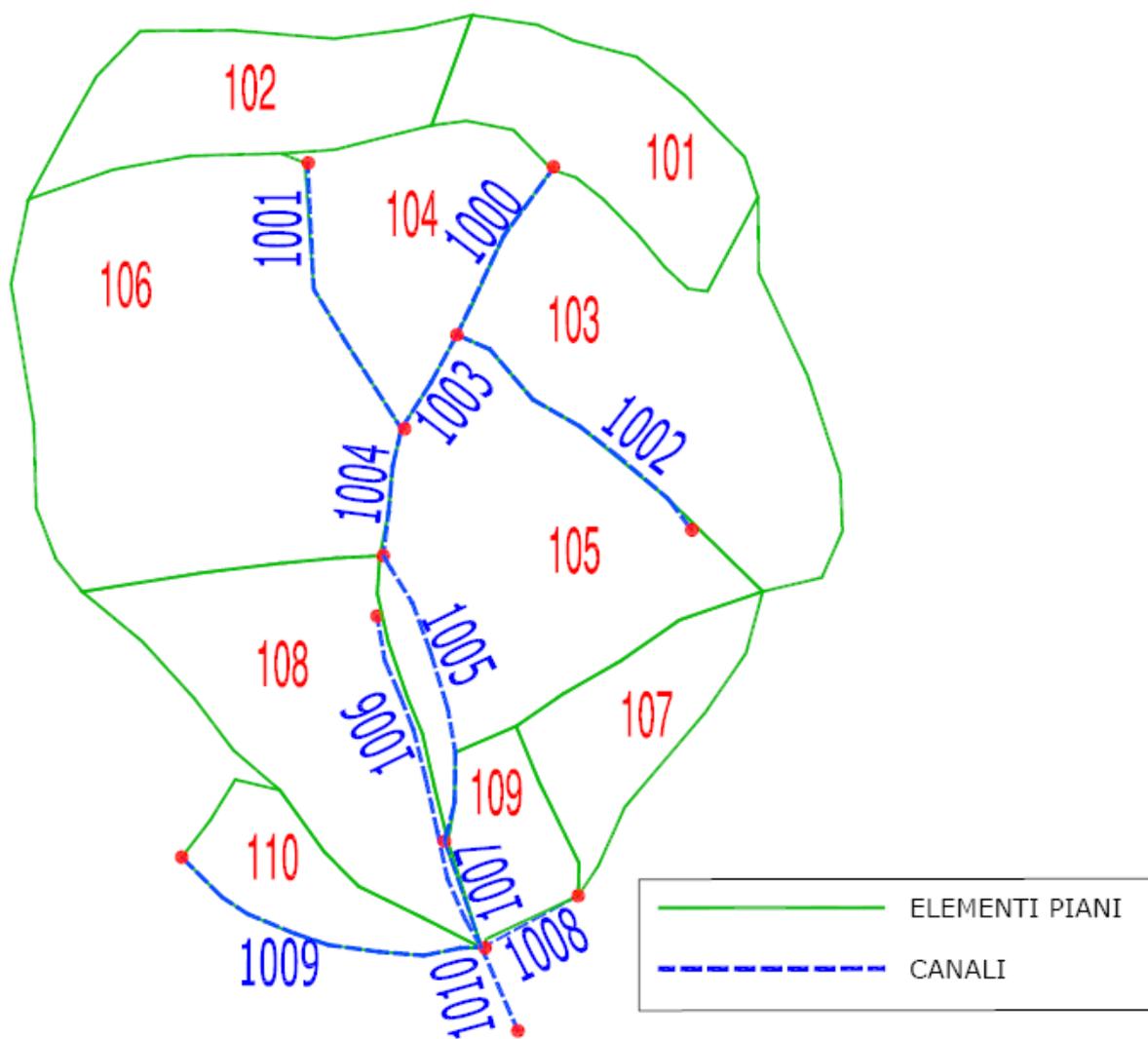


Figura 42. Schema del bacino dei pozzi.

Bacino Cascina Onesti

Individuata la linea spartiacque, il bacino è stato ulteriormente suddiviso in 48 elementi piani, la rete di drenaggio artificiale è stata rappresentata con 10 tratti incanalati (Fig. 43).

Durante la scrittura dei file di ingresso si è provveduto a inserire nella modellazione due strade che tagliano il versante destro, rappresentate con una serie di canali per studiare l'effetto di tale opera sulla portata (canale 1009).

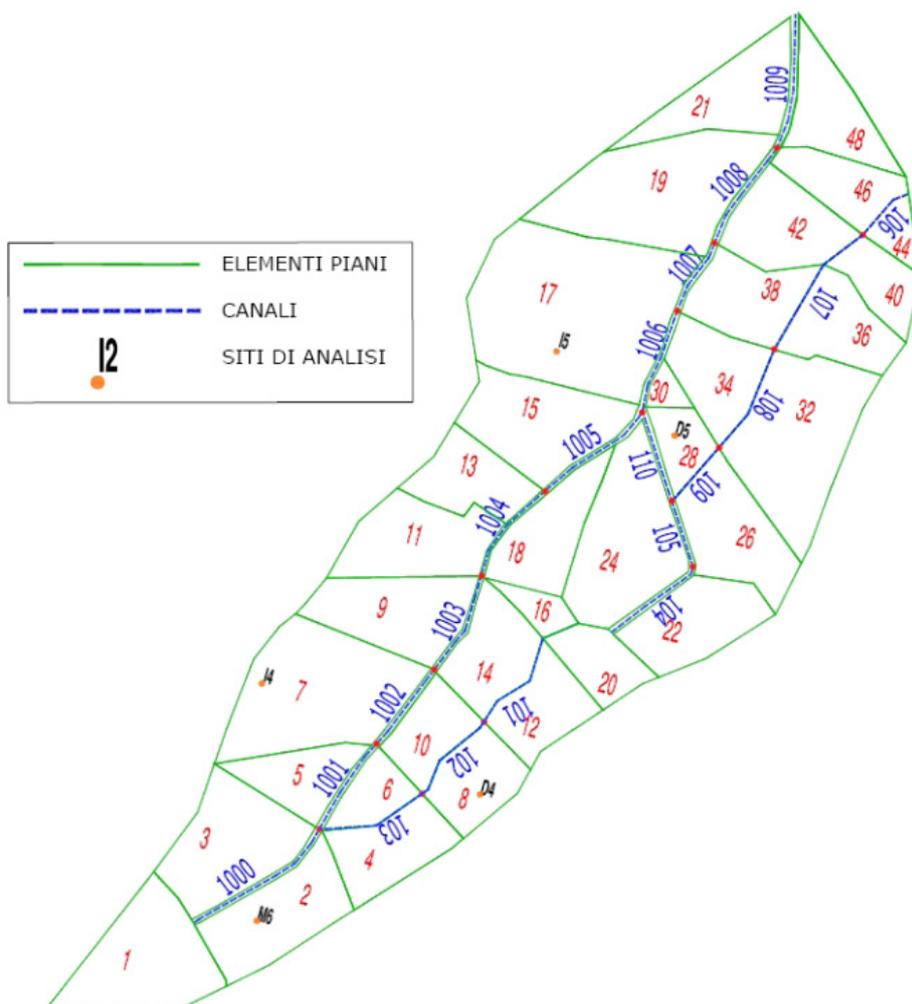


Figura 43. Schema del bacino di C.na Onesti.

Bacino strada Vallarasca

In virtù della sua struttura, la modellazione di questo sottobacino è stata realizzata ha portato a considerare i due versanti, destro e sinistro separatamente, come Figura 44.

Parametri idraulici e condizioni al contorno

La scabrezza degli alvei è stata fissata pari a $n = 0.04$ ($m^{-1/3}s$) senza distinzioni e senza conseguenze apprezzabili; assai più incerta è stata invece l'assegnazione della scabrezza superficiale

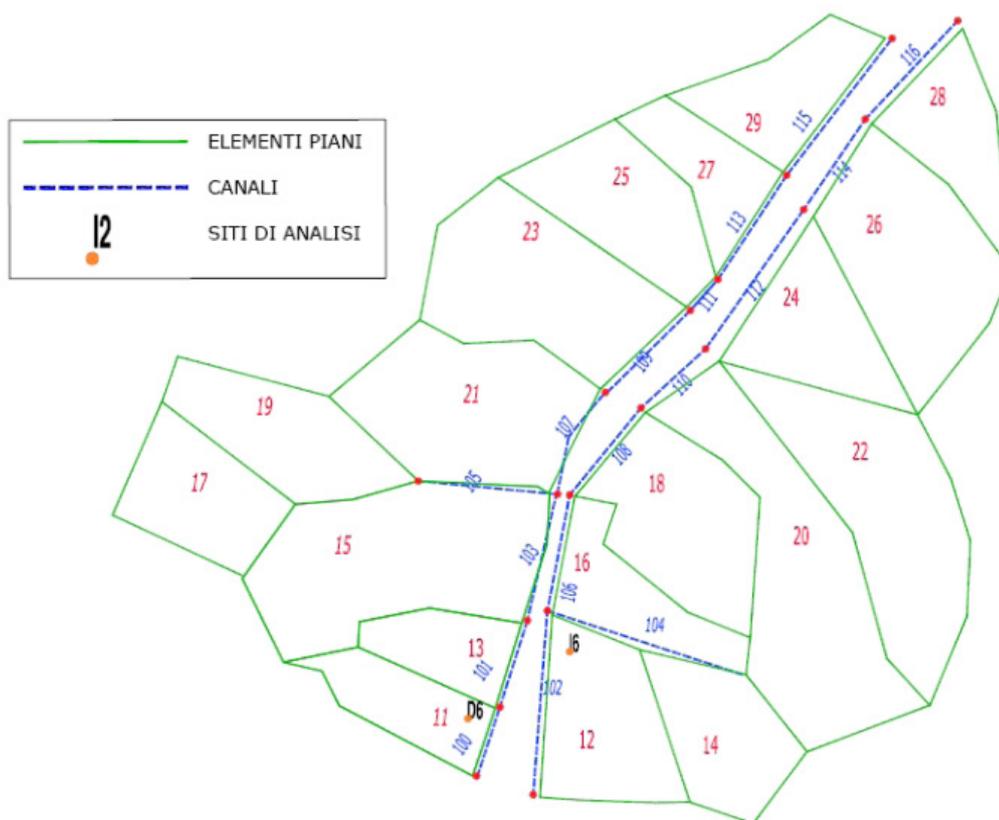


Figura 44. Schema del bacino di Strada Vallarasca.

delle falde interessate dal ruscellamento. Valori di letteratura sono riportati nei testi e manuali d'uso dei codici di calcolo (come riportati in Tab. 23)

Tipo di superficie	Coefficiente di scabrezza ($m^{-1/3}/s$)
Erba fitta	0.40 , 0.50
Pascoli	0.30 , 0.40
Tappeto erboso	0.20 , 0.30
Prato ad erba corta	0.10 , 0.20
Vegetazione sparsa	0.05 , 0.13
Asfalto (sottile lama d'acqua < 0.006 m)	0.10 , 0.15
Suolo nudo (eroso)	0.01 , 0.03

Tabella 23. Valori del coefficiente di scabrezza per scorrimento superficiale (da Bedient et al., 1988).

Valori più dettagliatamente riferiti a superfici coltivate sono reperibili nel manuale Hec (1990). I calcoli sono stati condotti ipotizzando una serie di valori di scabrezza ("n" = 0.017, 0.010, 0.050, 0.170 $m^{-1/3}$ s) attribuiti uniformemente all'intero

sottobacino allo scopo di verificare la sensibilità alla variazione dei valori del parametro. Gli ultimi due valori rappresentano grandezze verosimili rispetto alle condizioni di campagna rinvenute.

5.2.3 SIMULAZIONI

Bacino strada Mollie

Le simulazioni evidenziano una forte influenza della scabrezza dei versanti sia sulle portate sia sul trasporto solido. Tali effetti risultano più evidenti per i due eventi meteorologici estivi (del 7 e del 9 luglio 2005 caratterizzati da forti intensità e da brevi durate), diventando via via meno marcati all'aumentare della durata dell'evento stesso considerato (Figg. 45 e 46). La riduzione della velocità di scorrimento superficiale permette infatti all'acqua maggiori tempi di permanenza sul versante, con maggior possibilità d'infiltrazione e conseguente diminuzione della capacità di trasporto di sedimenti.

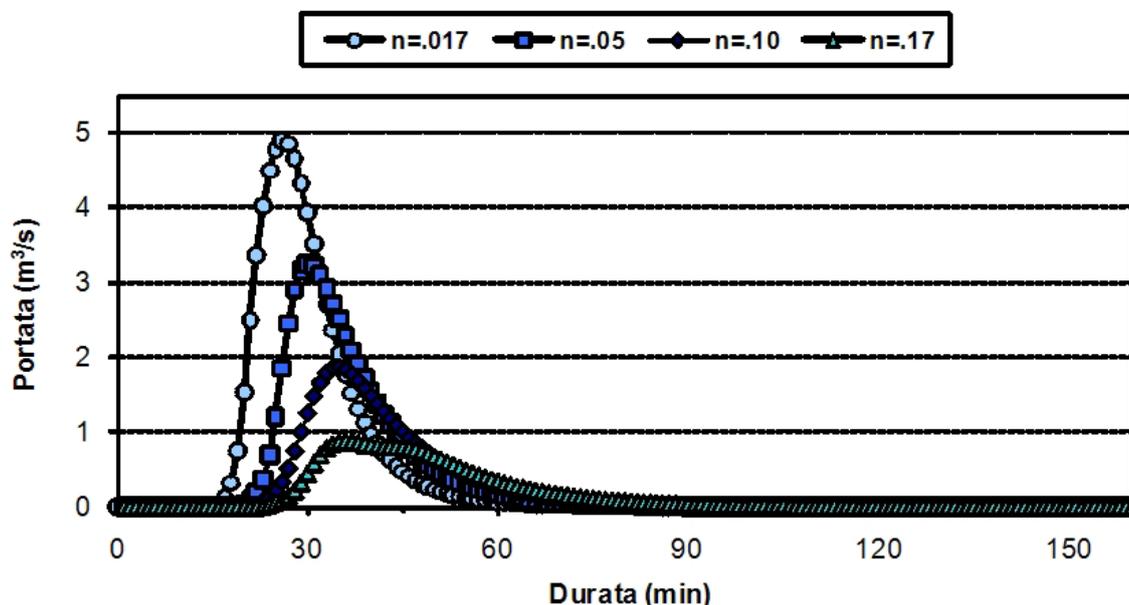


Figura 45. Portata convogliata nel canale 3100 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 07-07-2005. Orizzonte di suolo fresato di 15 cm.

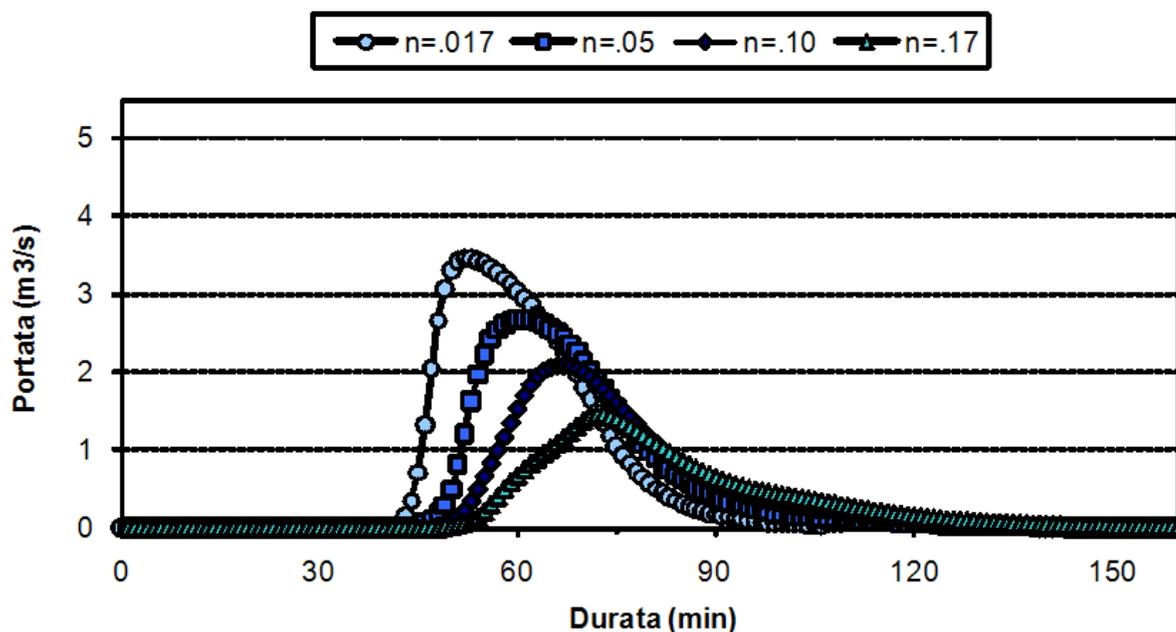


Figura 46. Portata convogliata nel canale 3100 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 09-07-2005.

L'aumento della scabrezza, inoltre, influenza anche il tempo di picco delle portate che subisce un ritardo soprattutto nel caso delle precipitazioni del 9 luglio (Fig. 46) mentre tende a diminuire all'aumentare della durata dell'evento. Le differenze tra le diverse simulazioni al variare della scabrezza sono maggiori sul ramo ascendente degli idrogrammi, mentre tendono a convergere nella fase di esaurimento.

Nell' ipotesi di $n=0.10 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$, attribuito in modo uniforme su tutto il bacino le portate sono comprese tra $1.86 \text{ m}^3/\text{s}$ dopo 34 minuti per l'evento del 7 luglio 2005 e di $2.07 \text{ m}^3/\text{s}$ dopo 67 minuti per d'evento del 9 luglio 2005.

Per quanto riguarda il trasporto solido, in base alle informazioni granulometriche e strutturali del suolo, il modello produce i risultati analoghi alle elaborazioni effettuate per il calcolo delle

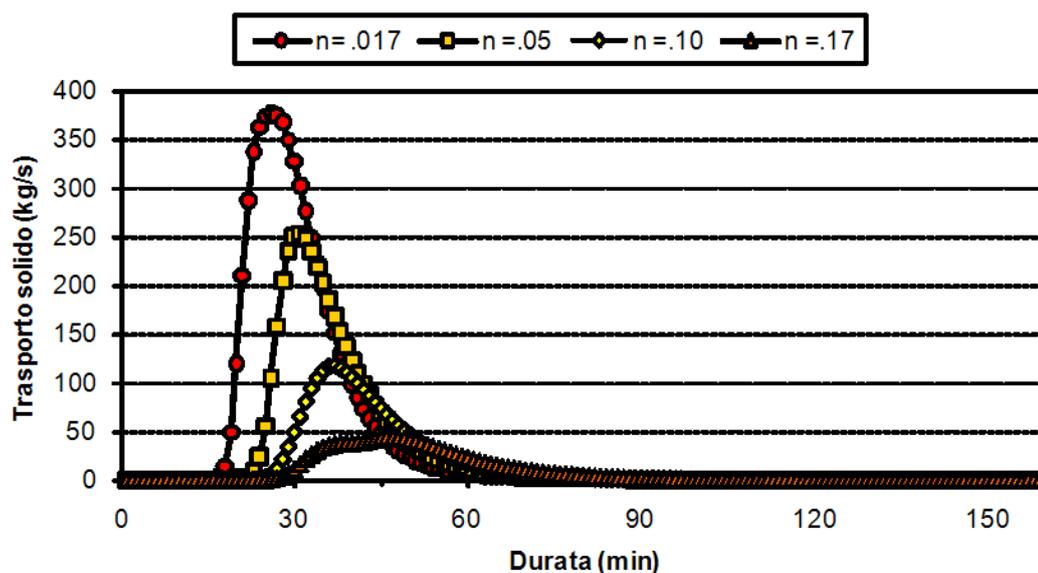


Figura 47. Trasporto solido al canale 3100 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 07-07-2005.

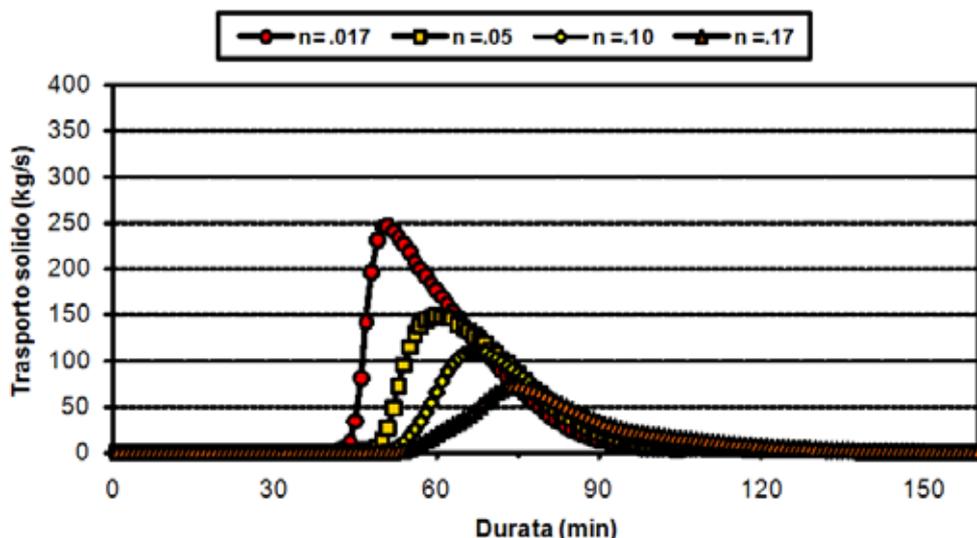


Figura 48. Trasporto solido del canale 3100 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 09-07-2005.

portate di picco. Oltre ad evidenziare fenomeni erosivi particolarmente intensi in corrispondenza dei due eventi piovosi sopraccitati, anche in questo caso il ruolo del coefficiente di Manning, attribuito in modo uniforme su tutto il bacino, appare determinante e mette in evidenza l'importanza di tale parametro.

Secondo le simulazioni effettuate nell'ipotesi di "n" $=0.10 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ (attribuito in modo uniforme su tutto il bacino), la quantità di materiale eroso risulta essere pari a 117.75 kg/s dopo 34 minuti per l'evento del 7 luglio 2005 e 110 kg/s dopo 67

minuti per l'evento del 9 luglio 2005 (Figg. 47 e 48)

Bacino strada Vallarasca

Il rio che scende lungo la strada detta di Valle Vallarasca per via della sua struttura è stato simulato considerando separatamente i due settori del bacino (rispettivamente sinistro e destro recapitanti rispettivamente al tronco 115 e 116) Anche per questo bacino le simulazioni effettuate hanno dimostrato come la scabrezza dei versanti risulti essere il parametro determinante

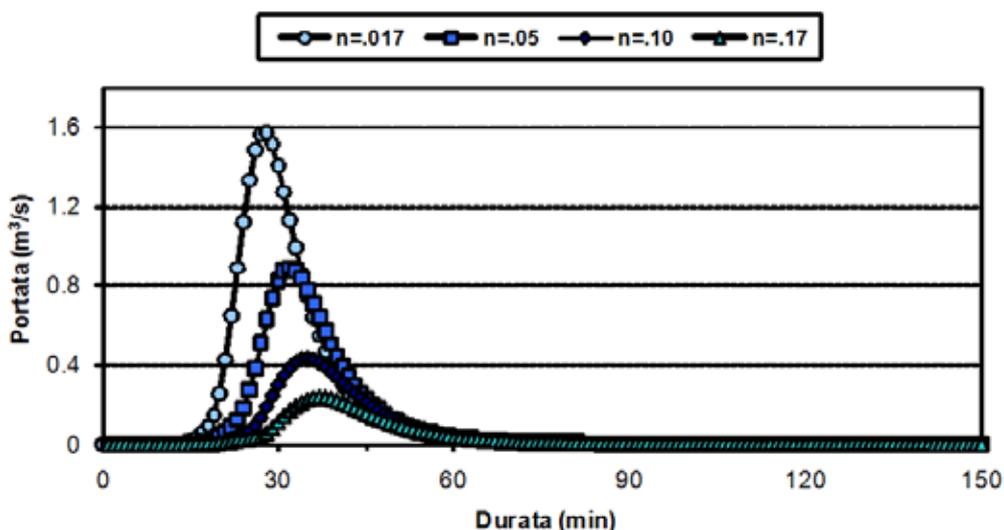


Figura 49. Deflusso del canale 115 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 07-07-2005.

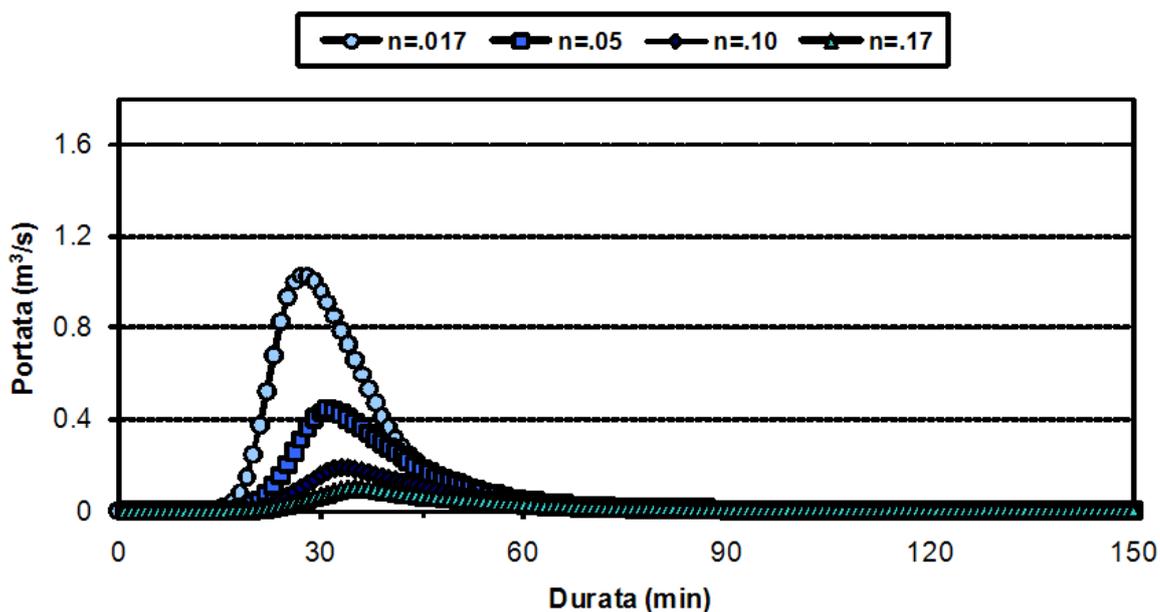
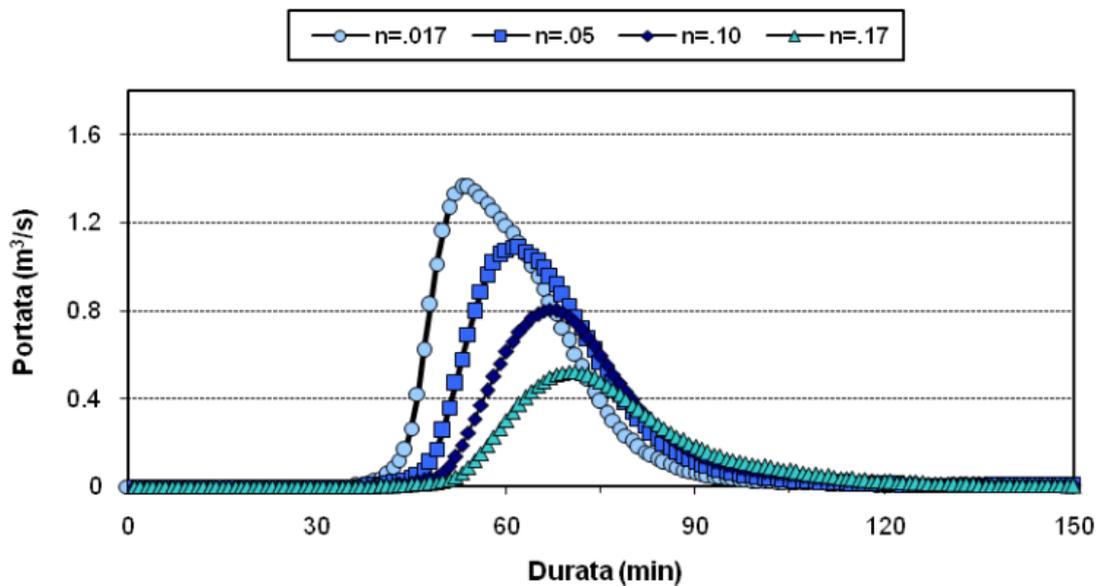


Figura 50. Deflusso del canale 116 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 07-07-2005.



51. Deflusso del canale 115 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 09-07-2005.

Figura

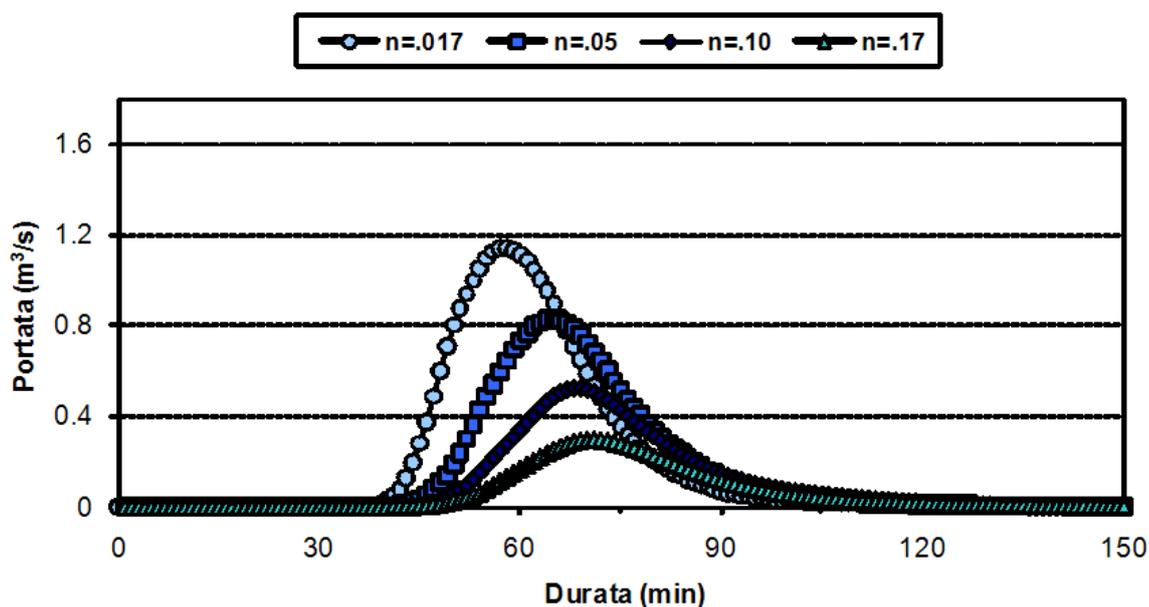


Figura 52. Deflusso del canale 116 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 09-07-2005.

per la corretta definizione dell'entità delle portate. Dai risultati della modellazione afflussi-deflussi il ramo sinistro (115 – Fig. 49), a parità di precipitazione e scabrezza superficiale, produce

un idrogramma con incremento di portata più rapido e maggior deflusso rispetto al ramo destro (116 – Fig. 50). Per l'evento del 7 luglio, nell'ipotesi di scabrezza pari a “n”=0.10 m^{-1/3} s,

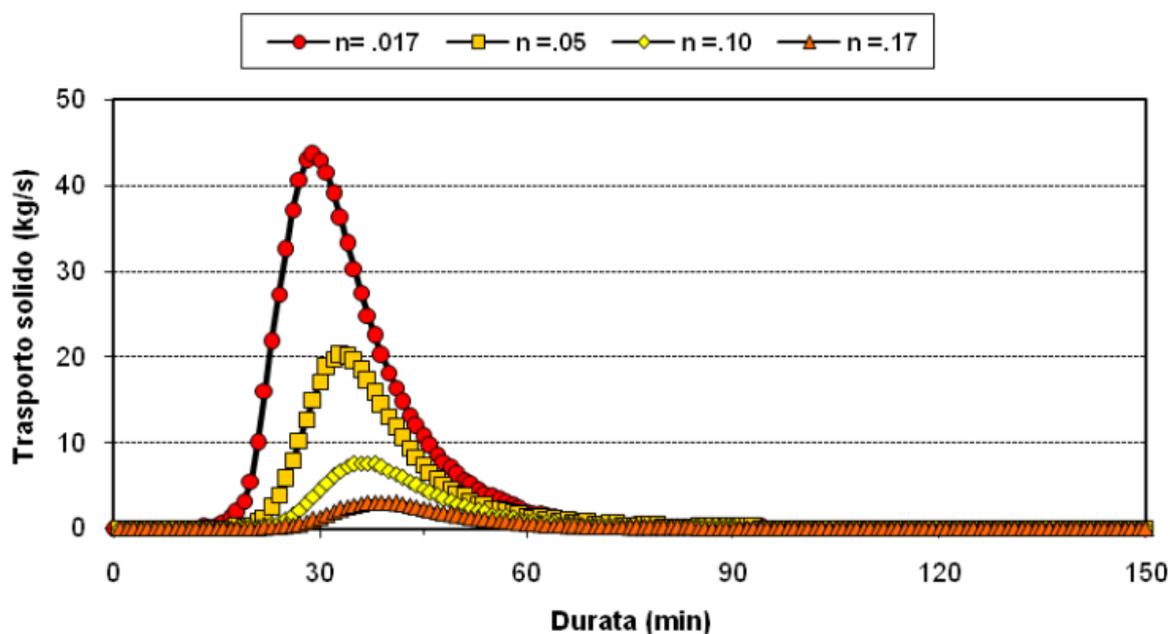


Figura 53. Trasporto solido del ramo sinistro (canale 115) per l'evento del 07-07-2005.

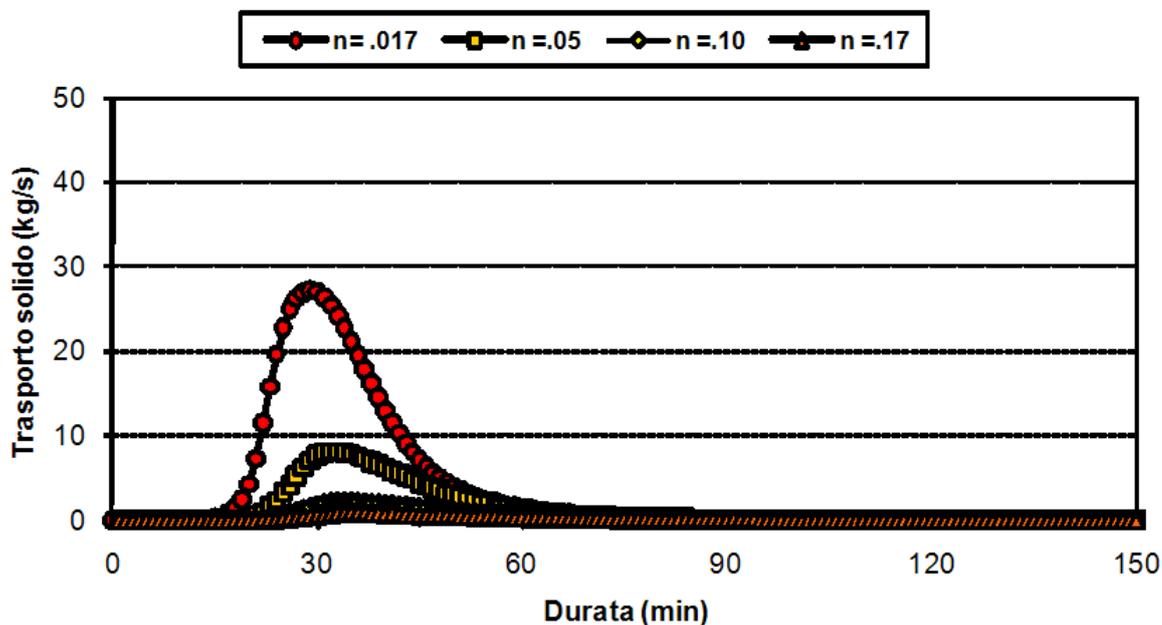


Figura 54. Trasporto solido del ramo destro (canale 116) al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 07-07-2005.

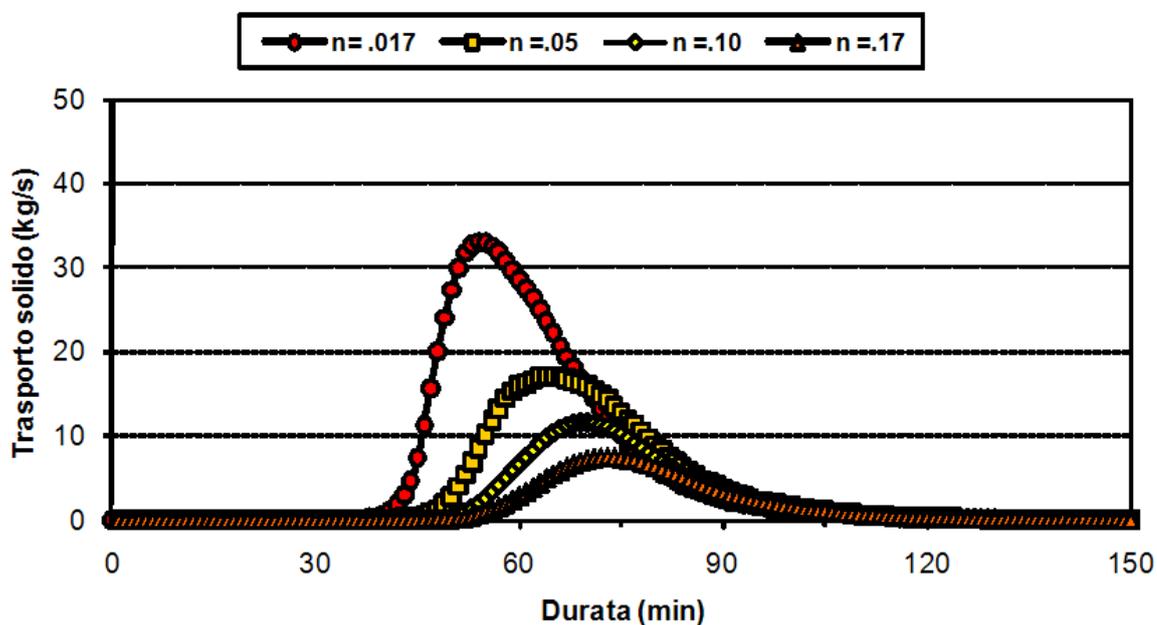


Figura 55. Trasporto solido del ramo sinistro (canale 115) al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 09-07-2005.

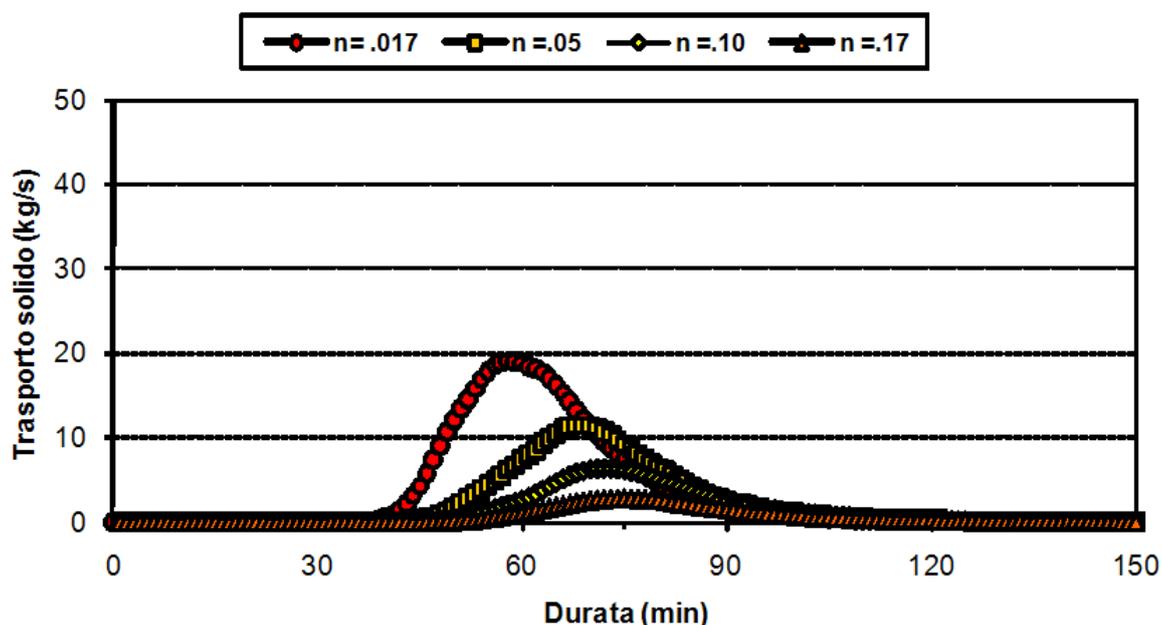


Figura 56. Trasporto solido per il ramo destro (canale 116) al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 09-07-2005.

si passa da 0.43 m³/s dopo 34 minuti per il canale 115 contro 0.19 m³/s dopo 32 minuti per il canale 116. Nel caso dell'evento piovoso del 9 luglio sono state simulate portate maggiori, con 0.8 m³/s dopo 68 minuti nel canale 115 sinistro, e 0.46 m³/s dopo 64 minuti per il canale 116.

L'andamento delle simulazioni del trasporto solido (Fig. 53-56) per il bacino di strada Vallarasca è simile a quelle del deflusso idrico. Anche in questo caso appare evidente come una maggiore scabrezza superficiale sia un parametro determinante per rallentare il deflusso superficiale e di conseguenza limitare l'entità dei processi erosivi.

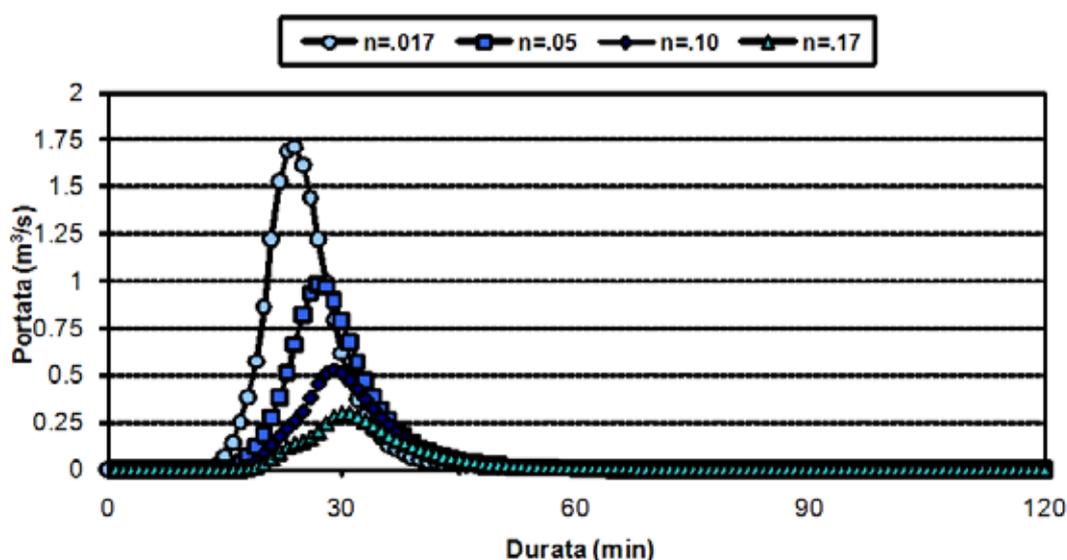


Figura 57. Deflusso del canale 1010 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 07-07-2005.

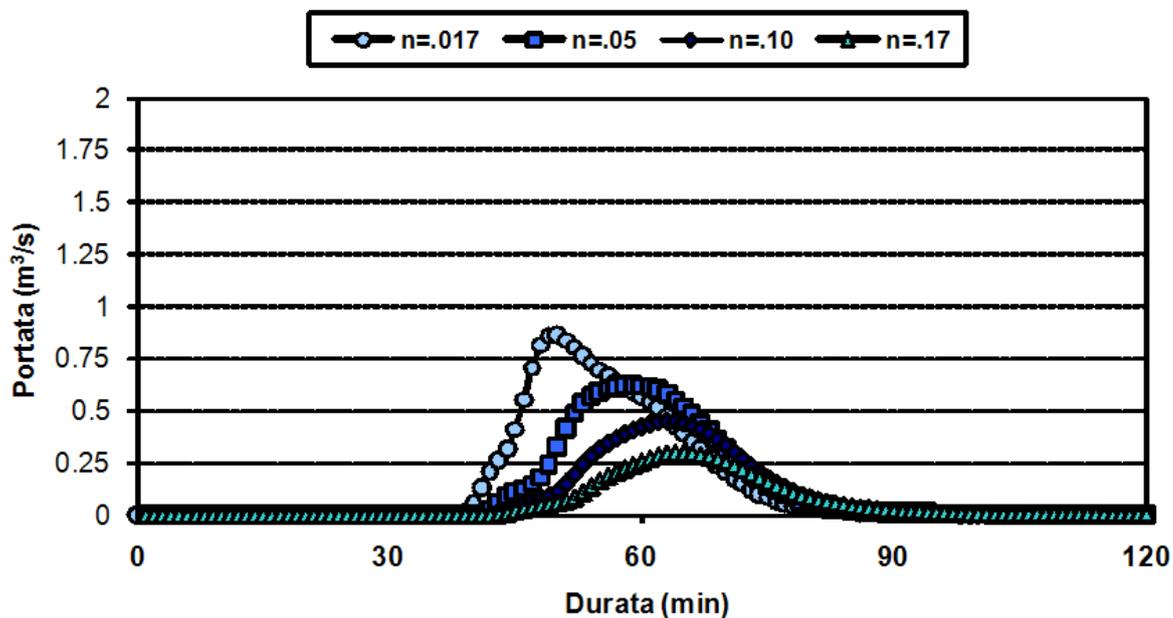


Figura 58. Trasporto solido del canale 1010 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 09-07-2005.

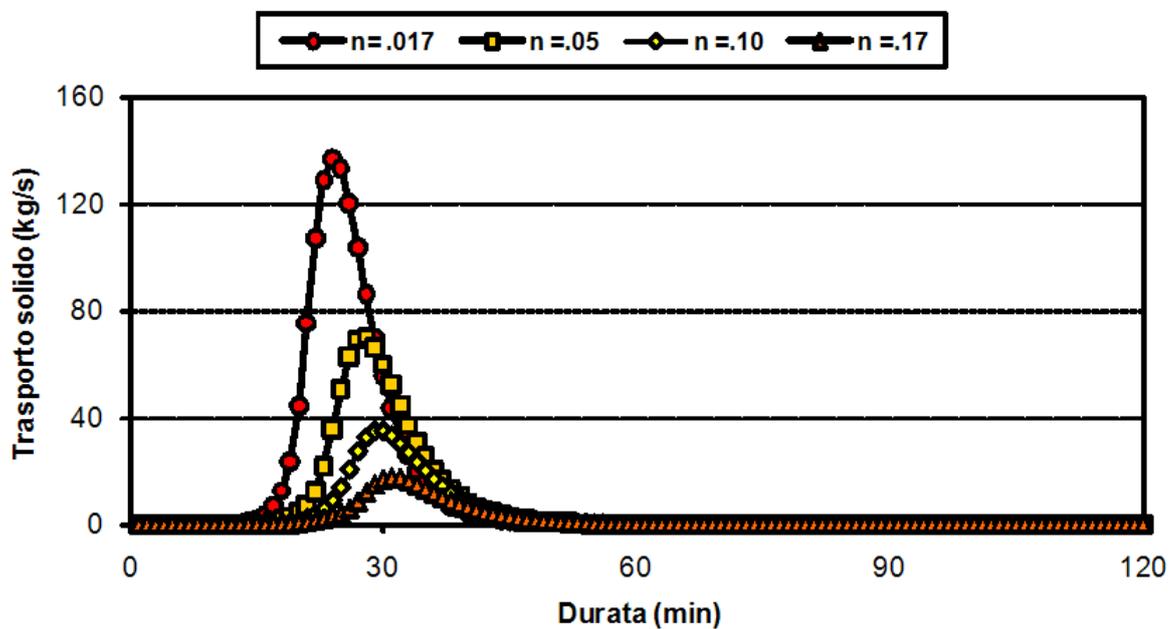


Figura 59. Trasporto solido del canale 1010 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 07-07-2005..

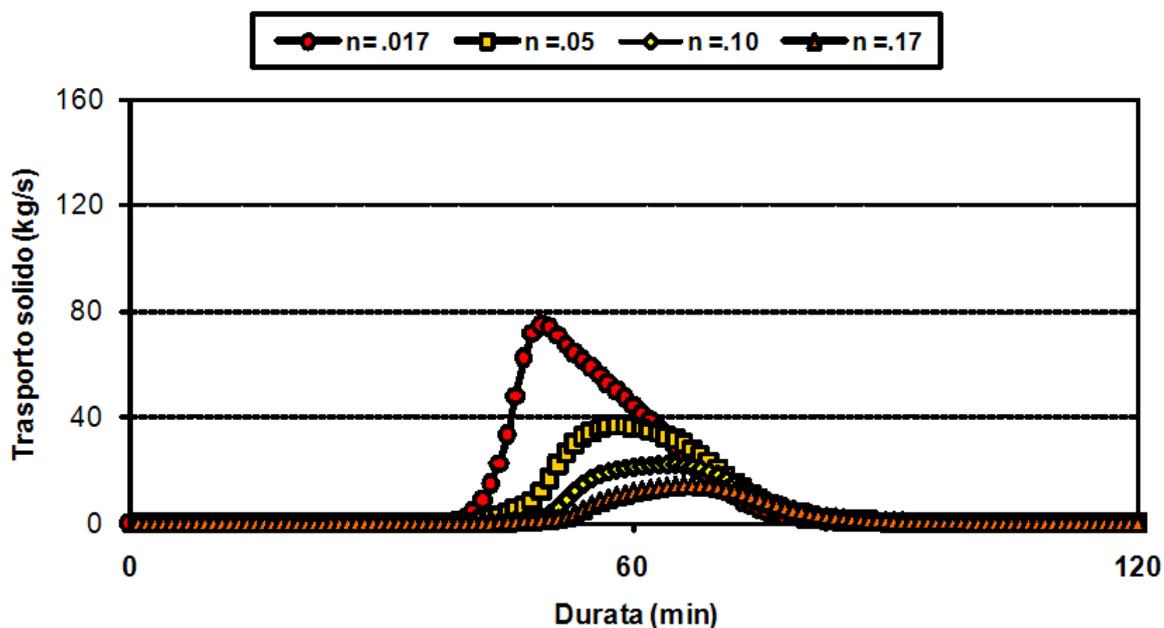


Figura 60. Trasporto solido del canale 1010 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 09-07-2005.

Bacino dei pozzi

La determinazione delle portate mediante il modello afflussi-deflussi per l'evento del 7 luglio 2005 porta, sempre nell'ipotesi di scabrezza "n" = $0.10 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$, per il canale 1010, al valore di $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$ dopo 28 minuti (Fig. 57); tali valori risultano al di fuori della capacità di smaltimento della rete idrografica naturale. Per l'evento del 9 luglio la simulazione porta invece al valore di $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$ dopo 62 minuti (Fig. 58). Le simulazioni del trasporto solido durante i due eventi considerati hanno un'andamento simile a quelle di portata. L'evento del 7 luglio dimostra di poter innescare un trasporto solido di maggiore entità, soprattutto nell'ipotesi in cui la scabrezza di Manning sia minore ($n = 0.017$). Con riferimento al valore di scabrezza $n = 0.10$ le simulazioni forniscono un trasporto solido di 34 kg/s dopo 28 minuti per l'evento del 7 luglio e di 22.4 kg/s dopo 64 minuti relativamente all'evento del 9 luglio.

Bacino C.na Onesti

Il bacino detto "di Cascina Onesti" rappresenta un chiaro esempio degli effetti indotti dall'andamento della rete stradale che, su versante, finisce per

trasformarsi in un percorso preferenziale nel quale l'acqua di scorrimento superficiale può incanalarsi e ruscellare. Tale comportamento, ovviamente, può presentare vantaggi e svantaggi in relazione ai punti di scolo della rete stradale ed allungando (o accelerando) i tempi di concentrazione della piena. Nel caso oggetto di analisi il versante destro presenta un taglio completo con piena intercettazione delle portate. Lo schema dà origine ad una serie di tronchi di rete idrografica che confluiscono nel canale 109. La differenza viene valutata osservando la portata nel tronco 1005, a valle della confluenza.

L'intervento, relativamente alle precipitazioni osservate nell'evento del 7 luglio 2005, mostrano una riduzione della portata indotta dalla strada da $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.69 \text{ m}^3/\text{s}$, e un ritardo nel tempo di picco di 4 minuti, sempre nell'ipotesi di scabrezza pari a $0.10 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ (Figg. 61-64). All'aumentare della durata dell'evento, l'effetto della strada nella simulazione diventa meno evidente. Dalle simulazioni effettuate si evince come la massima efficacia di tale intervento sulla riduzione delle portate sia maggiore per eventi piovosi di breve durata e valori di scabrezza molto bassi (0.017 ;

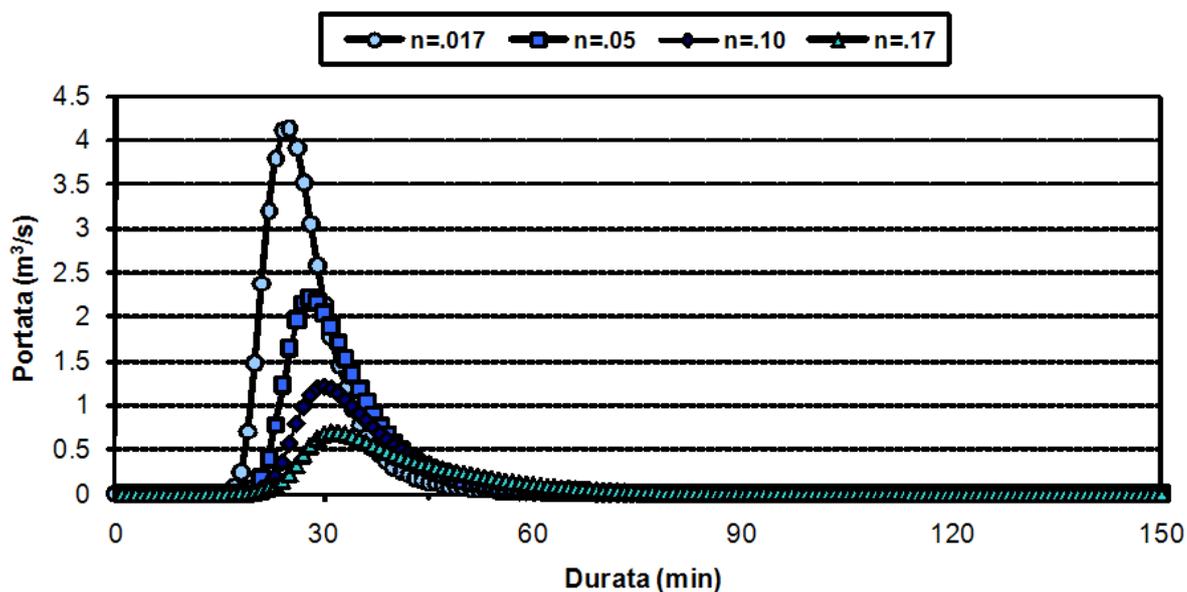


Figura 61. Deflusso del canale 1005 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 07-07-2005 (ipotesi senza strada).

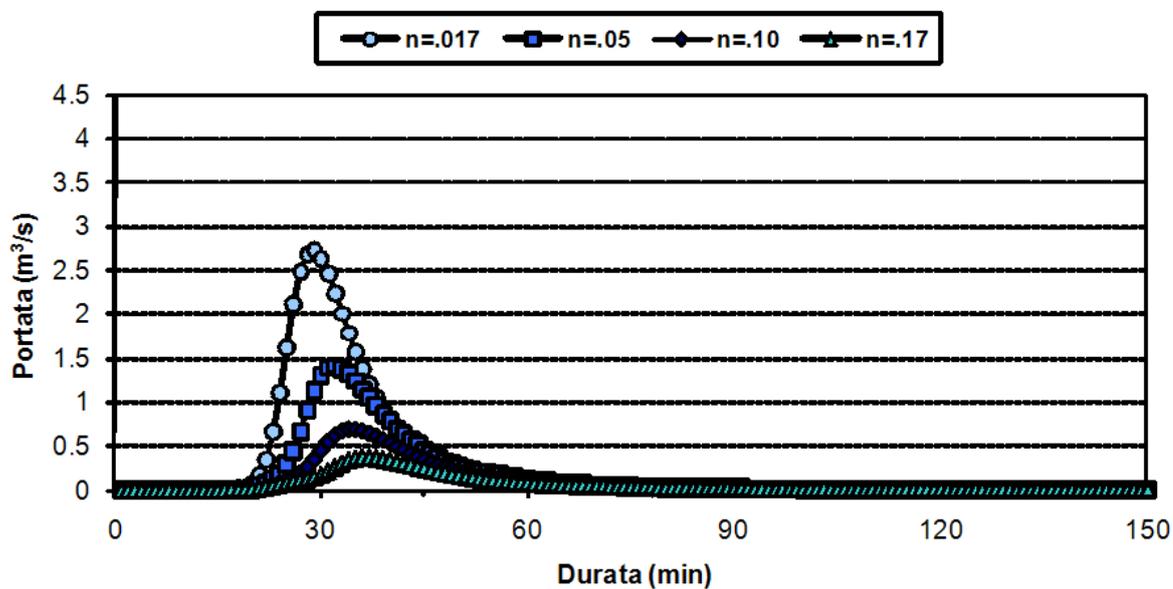


Figura 62. Deflusso del canale 1005 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 07-07-2005 (ipotesi con strada).

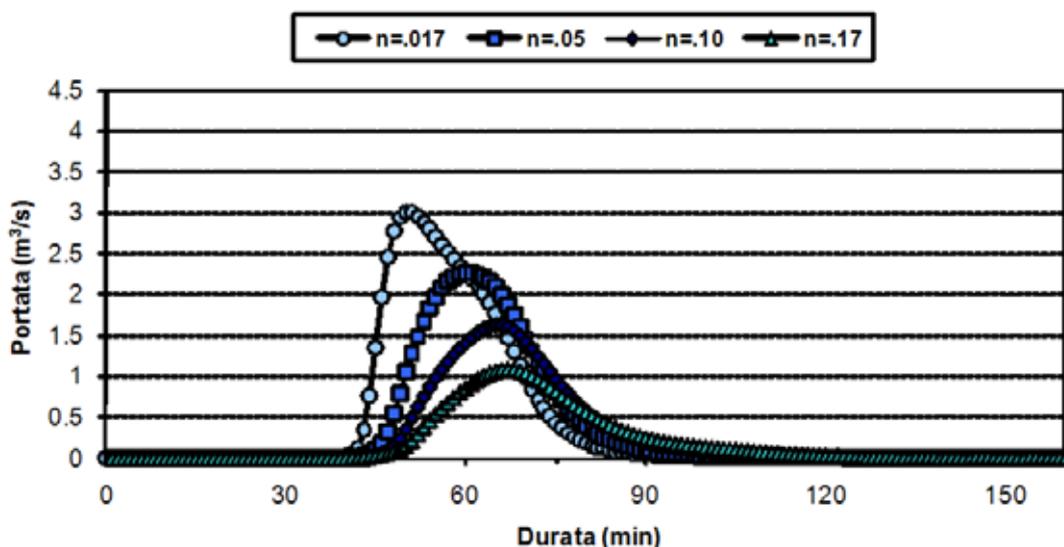


Figura 63. Deflusso del canale 1005 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 09-07-2005 (ipotesi senza strada).

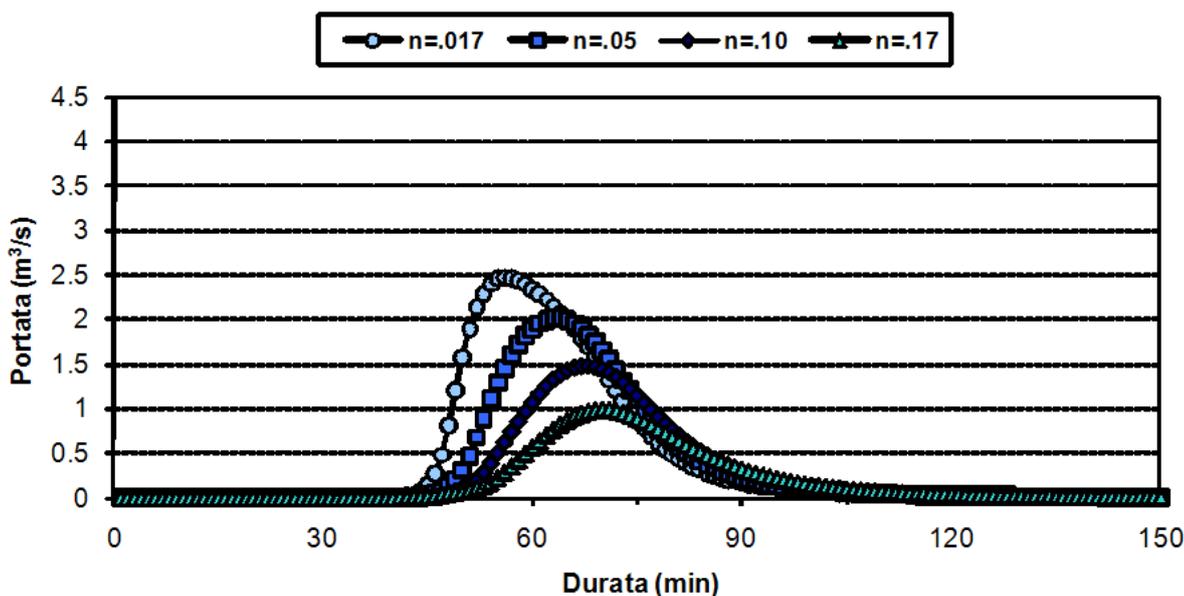


Figura 64. Deflusso del canale 1005 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 09-07-2005 (ipotesi con strada).

0.05 $m^{-1/3} s$) che rappresentano una condizione estrema di suolo nudo già eroso.

Come spesso capita, gli interventi non sono risolutivi a scala locale, ma possono presentare ricadute interessanti a scala di bacino.

In analogia con le simulazioni di portata, anche per il trasporto solido l'effetto dell'introduzione del "taglio stradale di versante" determina una netta riduzione del materiale eroso e trasportato

alla sezione di chiusura (Figg. 65-68). Tale effetto risulta tanto più evidente per eventi meteorologici di breve durata e con valori bassi di scabrezza dei versanti.

Prendendo in esame le simulazioni effettuate attribuendo un valore di scabrezza di Manning pari a $0.10 m^{-1/3} s$, si osserva una riduzione del trasporto solido di 85 kg/s per l'evento del 7 luglio 2005 e di 54 kg/s per quello del 9 luglio 2005.

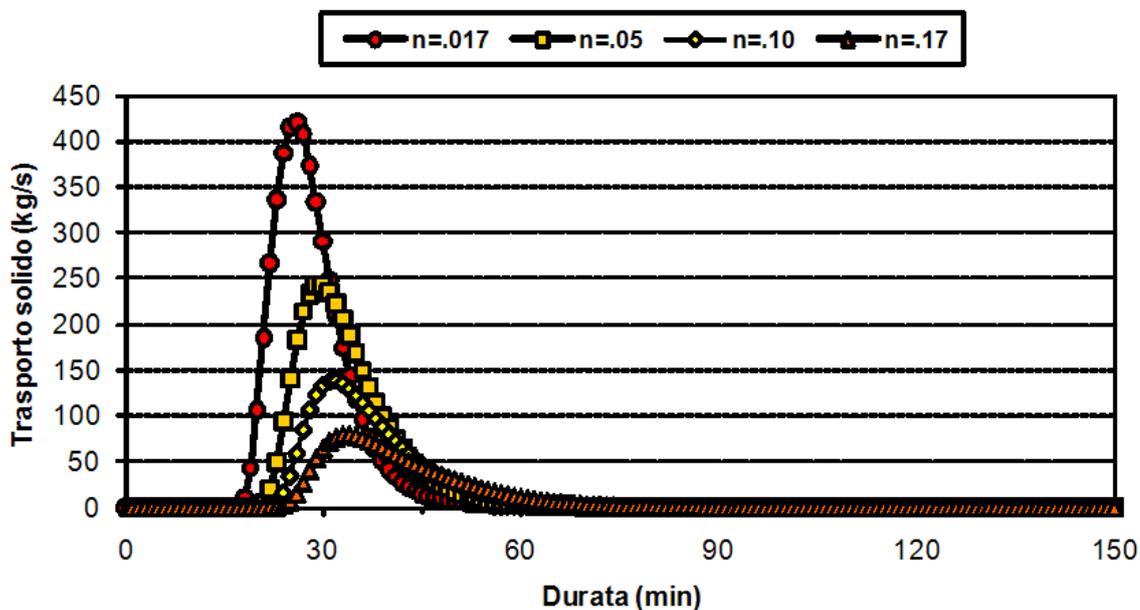


Figura 65. Trasporto solido del canale 1005 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 07-07-2005 (ipotesi senza strada).

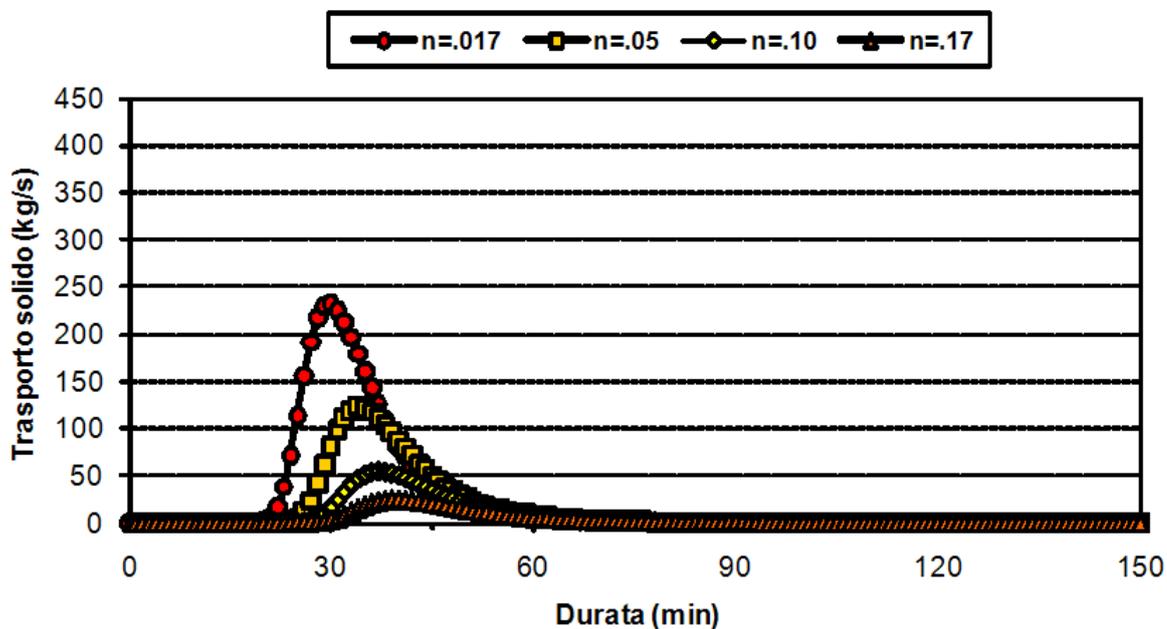


Figura 66. Trasporto solido del canale 1005 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 07-07-2005 (ipotesi con strada).

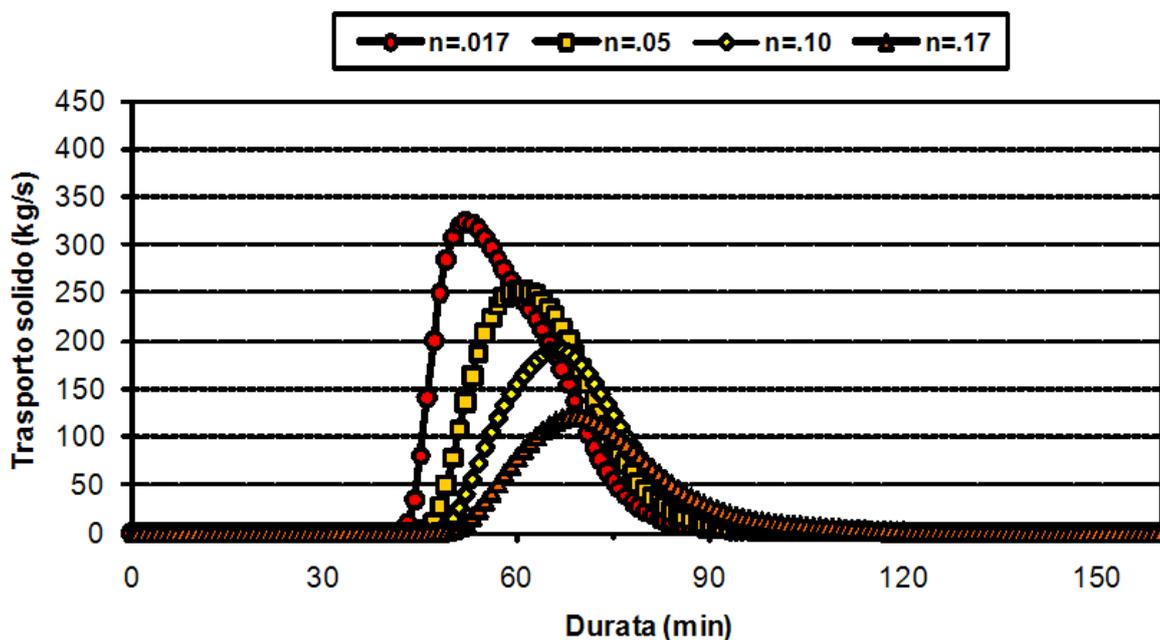


Figura 67. Trasporto solido del canale 1005 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 09-07-2005 (ipotesi senza strada).

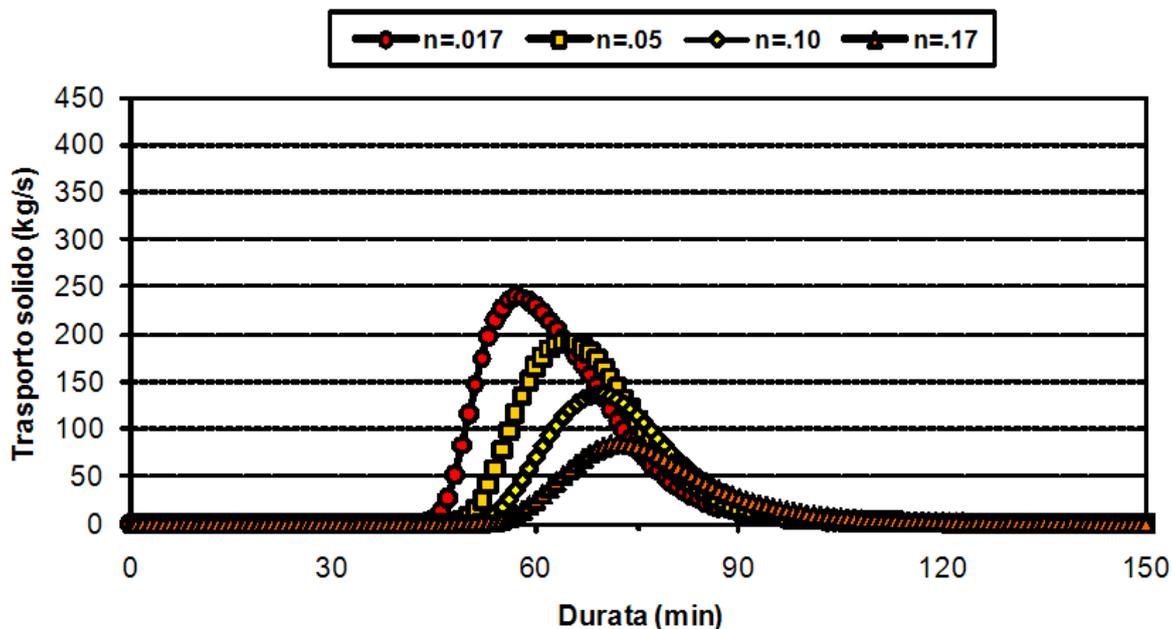


Figura 68. Trasporto solido del canale 1005 al variare della scabrezza idraulica per l'evento del 09-07-2005 (ipotesi con strada).

Non risulta invece molto significativo l'effetto sui tempi di picco che variano solo di alcuni minuti.

5.2.4 PROPOSTE DI INTERVENTO

Al fine di fornire un valido strumento conoscitivo delle opportunità gestionali delle criticità emerse è possibile fornire una sintetica esposizione di differenti soluzioni tecniche e buone pratiche (ampiamente consolidate a livello tecnico e potenzialmente cumulabili tra loro) che potrebbero essere prese in esame previa verifica della fattibilità tecnica ed economica.

A. Controllo delle variazioni d'uso del suolo

Partendo da un approccio di carattere generale è fondamentale evidenziare come i cambiamenti nell'uso del suolo possano essere considerati responsabili indiretti dell'aumento significativo dei deflussi superficiali (a parità di precipitazione). Un esempio tipico, in tale direzione, è rappresentato dalla progressiva impermeabilizzazione derivante dall'espansione di centri urbani e dal ricorso sempre più diffuso a pavimentazioni impermeabili.

La variazione del tipo di copertura del suolo comporta la variazione di parametri utilizzati nella modellazione idrologica quali, ad esempio, parametri sintetici (CN) o analitici (velocità di infiltrazione). Le conseguenze della variazione dell'uso del suolo sono una preoccupazione ricorrente nei paesi in via di sviluppo soprattutto in climi semi-aridi (i.e. Wakindiki et al., 2004). Vale infine la pena citare che gli effetti di tali variazioni, su scala vasta, possono essere comunque simulati mediante modelli numerici appropriati.

B. Criteri di sistemazione dei terreni

Unitamente alla variazione d'uso del suolo, dovrebbero essere prese in considerazione le risagomature dei versanti e le modifiche della rete idrografica.

La sistemazione dei terreni in agricoltura, conseguente al dissodamento di sempre più ampie superfici, ha infatti dato origine ad un vero e proprio filone di letteratura riconducibile alla cosiddetta "bonifica integrale", oggetto di grande

attenzione nei primi decenni del XX secolo con nozioni tutt'ora valide e di grande interesse agro ambientale.

Nell'ambito dei terreni collinari, gli interventi maggiormente approfonditi nei differenti trattati sono identificabili con:

- 1) la sistemazione con fosse a "gira-poggio",
- 2) la sistemazione Landeschi o a "cavalca-poggio",
- 3) la sistemazione "a spina"
- 4) i terrazzamenti.

Tutte le sistemazioni risultano per lo più finalizzate alla mitigazione dei danni prodotti dalla coltivazione a rittochino, mentre la sistemazione a terrazzamenti può essere considerata come l'obiettivo finale dell'epoca per tutti quei terreni ove la pendenza reale superasse il 10-12%. A fronte di pendici più o meno inclinate, Conti (1911) proponeva, infatti, di modificare il pendio in modo da formare spianate destinate alla coltivazione meno inclinate del pendio originario e gestire il raccordo fra le stesse attraverso una striscia erborata lungo le curve di livello dove raccogliere e allontanare l'acqua. Il terrazzamento compiuto presta consentirebbe quindi la regolazione completa dello scolo delle acque, ma richiederebbe un approccio invasivo sull'intero versante coltivato indipendentemente dalla divisione in proprietà. Il concetto risulta chiaro nelle Figg. 69 e 70 tratte dal citato volume di Conti (1911) e di seguito riportate.

Lo stesso Conti ammette, quindi, come il terrazzamento diretto dei terreni risulti possibile solo in rari casi a causa delle comuni condizioni economiche agrarie delle regioni italiane e che la realizzazione dei terrazzamenti dipenda in modo marcato da un complesso di condizioni topografiche, geologiche, climatiche e colturali coesistenti (Conti, 1911).

Anche in assenza di sistemazione a terrazzi, il versante dovrebbe comunque essere interrotto da fossi colatori o di guardia finalizzati alla diminuzione dell'aggressività erosiva dell'acqua di ruscellamento e alla regimazione delle acque in arrivo alle sezioni di chiusura.

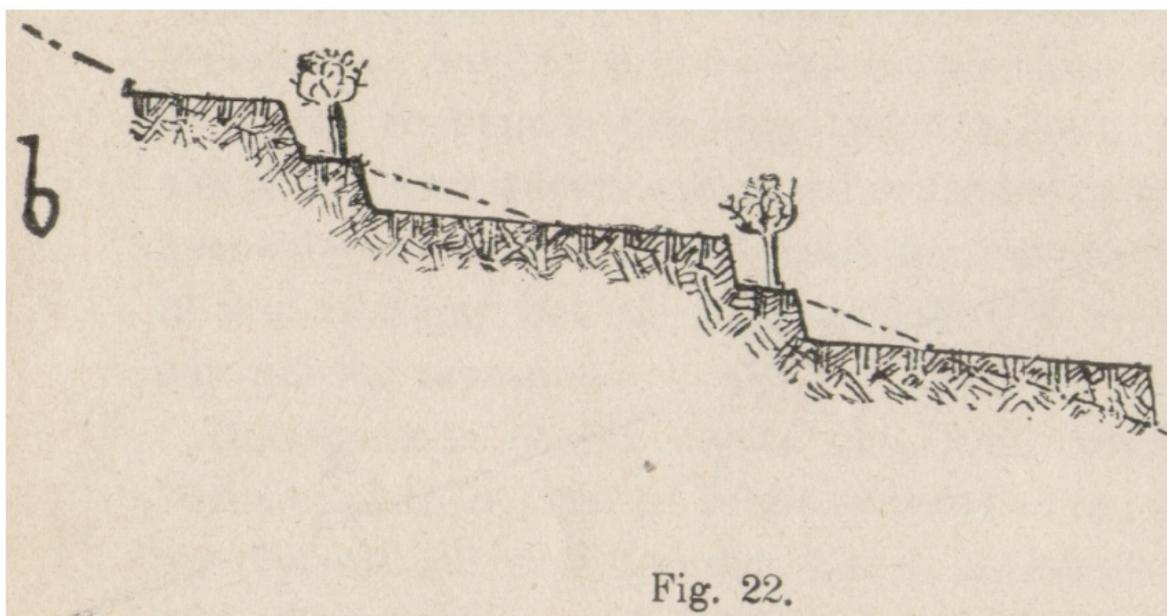


Figura 69. Sistemazione di versante messo a coltura mediante riduzione della pendenza e separazione delle porzioni coltivate mediante filari disposti lungo le curve di livello (da Conti, 1911).

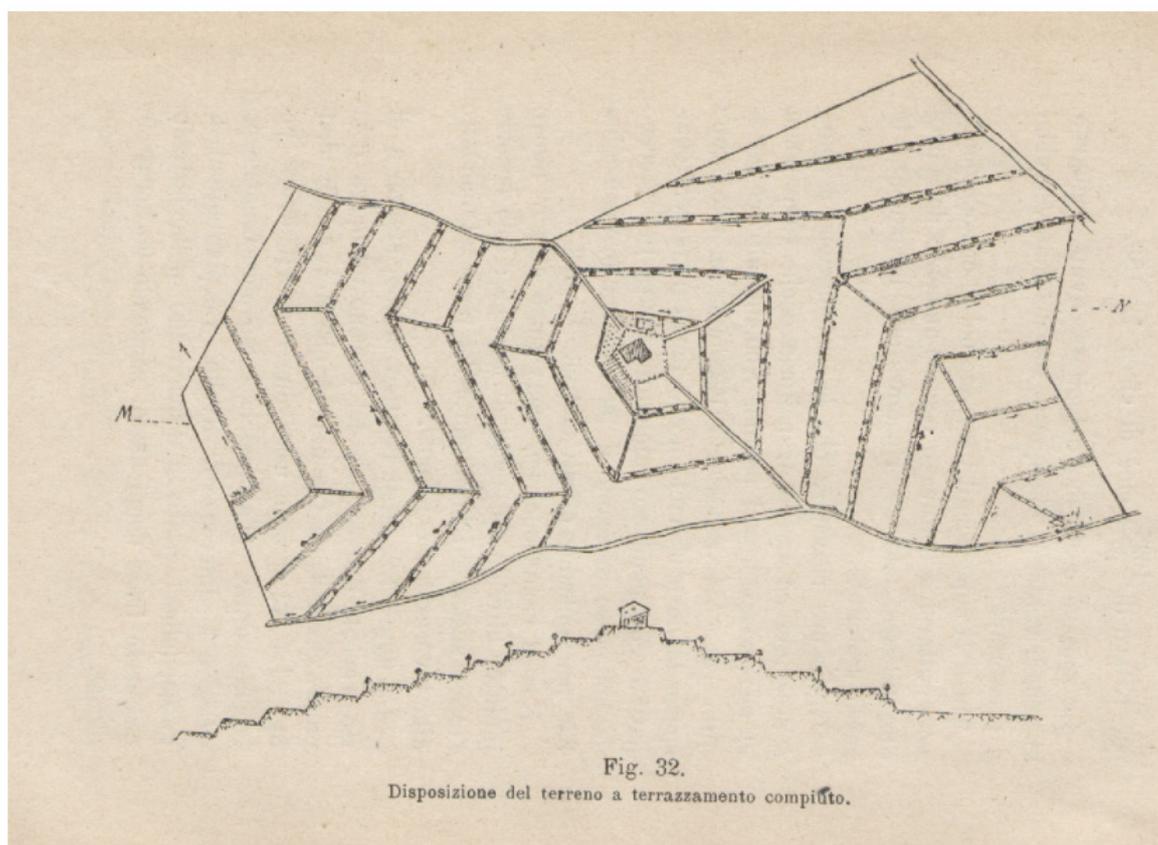


Figura 70. Terrazzamento di un poggio collinare completato con la realizzazione dei fossi di raccolta lungo le curve di livello e allontanamento delle acque mediante fossi lungo la massima pendenza (da Conti, 1911).

Si propongono quindi tecniche miranti ad ottenere falsi terrazzamenti o semplici tagli di versante (Figura 70).

Entrando nel merito dei siti analizzati, un esempio delle sopracitate sistemazioni è stato riscontrato nella parte alta del sottobacino denominato “dei pozzi”, in località sottostante la costa che congiunge la Madonna del Bric e la C.na Polpettone. In corrispondenza di tale

localizzazione il versante risulta infatti interrotto da una scarpata erborata corredata da un cordolo lungo il ciglio superiore (Figura 72) e da un fosso di raccolta alla base (Figura 71).

A supporto delle reti di scolo principali, si ritiene fondamentale che la sistemazione sia seguita dalla realizzazione di un sistema di scoli sotterranei, conosciuti più generalmente col nome di fognature o drenaggi (Fig. 74 - Conti, 1911).

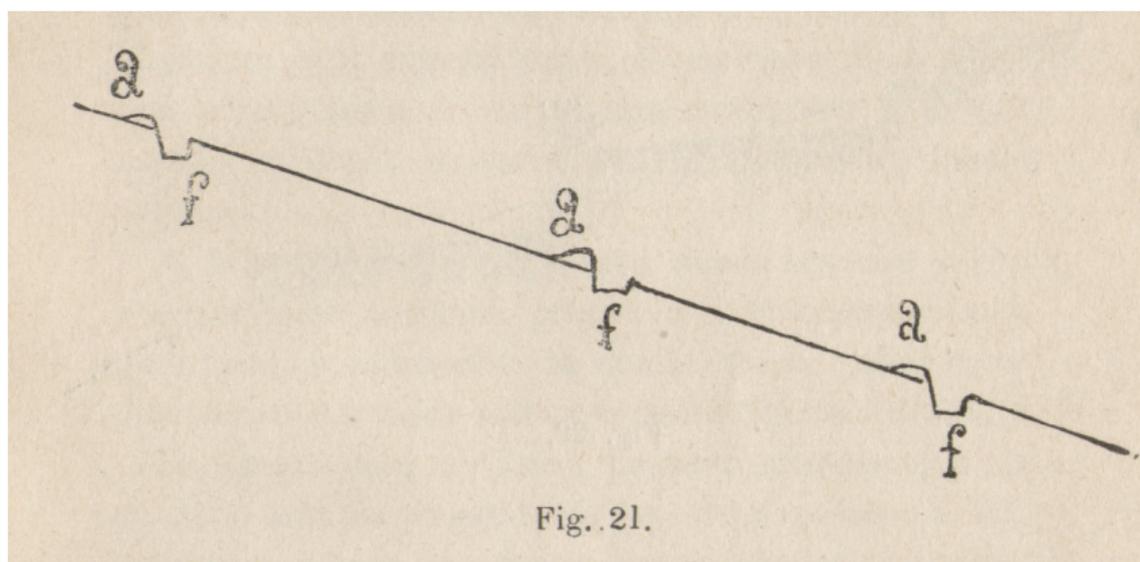


Figura 71. Fosso colatore eseguito in preparazione al terrazzamento. “La terra proveniente dallo scavo delle fosse, si getterà a monte in modo da formare un piccolo argine” (Conti, 1911).



Figura 72. Porzione di versante interrotta da filare di gelsi lungo il ciglio di una scarpata. Si noti il cordolo che impedisce all'acqua di ruscellamento superficiale di superare il ciglio.



Figura 73. Scarpata di raccordo fra due porzioni di terreno, con fosso di guardia alla base.

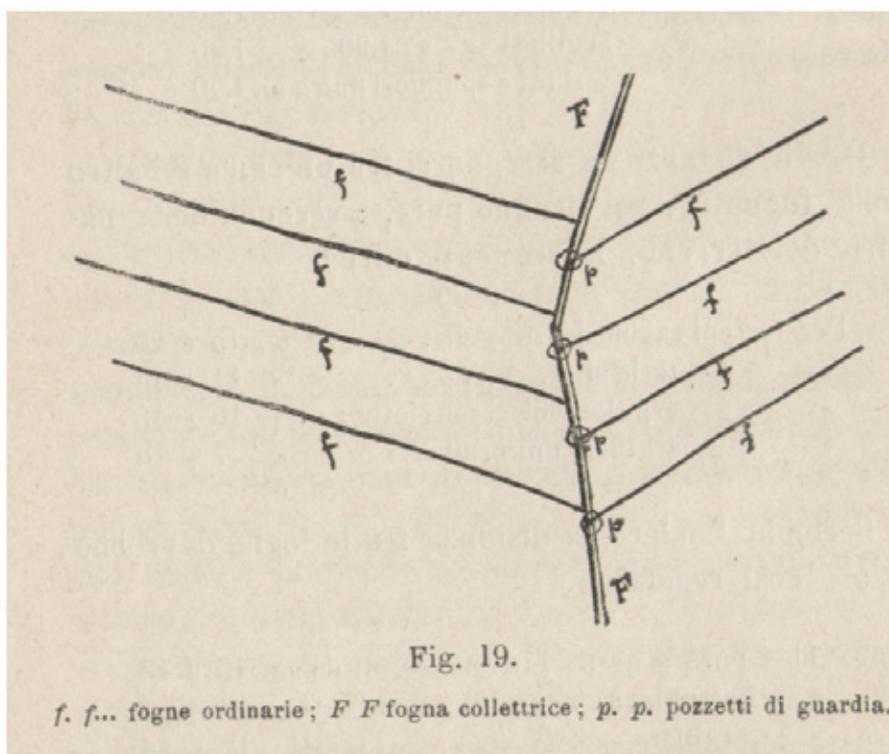


Figura 74. Sistema di drenaggio (da Conti, 1911).

C. Introduzione di copertura erbacea tra i filari

L'introduzione di una idonea copertura erbacea tra i filari rappresenta uno degli aspetti chiave della lotta ai dissesti idrogeologici tanto da rientrare tra gli scopi citati dalle Norme di Attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico (art. 17).

Allo stesso modo, l'inerbimento delle porzioni di terreni denudati è stato oggetto di numerose indagini sperimentali che hanno consentito, oltre che l'analisi di dettaglio della pratica della fresatura, anche l'approfondimento di tale tematica e l'individuazione di specie erbacee idonee (Caporali et al., 1994). A proposito della fresatura sembrerebbe infatti che, per ottenere i medesimi risultati, tale tecnica potrebbe essere limitata unicamente alla porzione di interfila prossima al filare, viceversa, l'estensione a tutto l'interfilare, sembrerebbe una semplice comodità, piuttosto che una lavorazione per migliorare la resa del vigneto.

Tuttavia la pratica della fresatura non appare così estesa da essere ritenuta unica responsabile degli apporti di sedimenti a fondo valle, anche se

localmente gli effetti possano essere significativi non diversi da quelli connessi alla stessa pratica in aree non viticole allorché un evento piovoso intenso dovesse interessare le aree coltivate).

D. Introduzione di "strisce vegetali" fra particelle coltivate con andamento parallelo alle curve di livello

Le fasce tampone, propriamente dette, sono zone di terreno interposte fra un coltivo e un collettore che riceve le acque in eccesso alle quali viene attribuito un notevole valore agro ambientale. Esse sono ritenute, in ambito internazionale, uno dei più efficaci sistemi per la riduzione dei flussi di inquinamento diffuso dai campi coltivati, soprattutto in pianura, e, di conseguenza, un mezzo strategico per la sostenibilità dei sistemi agricoli. In merito, esiste una letteratura specializzata molto sviluppata (Leeds et al., 1994; Nakao et al., 1999). In collina, le sopraccitate fasce potrebbero essere ricostituite in corrispondenza dei cambi di pendenza o lungo i confini dei terreni correnti lungo le curve di livello per ridurre sia la velocità dello scorrimento sul versante, sia la propagazione verso valle dei materiali erosi.



Figura 75. Residui di canneto in posizione marginale lungo una strada di servizio.

Nelle aree coltivate a vite, capita di sentire riferimenti alla originaria presenza di canneti, utilizzati per la manutenzione dei filari, interposti fra le porzioni coltivate (Fig. 75). Tuttavia, l'evoluzione agricola ha via via eliminato i canneti marginali a vantaggio di nuovi materiali per i sostegni. Appare però evidente l'effetto che i canneti in parola avrebbero potuto avere nella limitazione dello scorrimento dell'acqua: da una parte la striscia di vegetazione avrebbe rallentato il movimento dell'acqua a causa dell'aumento di scabrezza superficiale, dall'altra, invece, avrebbe consentito la sedimentazione delle particelle trasportate in sospensione.

Tali interventi potrebbero costituire un obiettivo incentivabile così come è stata incentivata, per altre ragioni, la ricostituzione delle siepi e dei corridoi ecologici.

5.2.4 CONCLUSIONI

“KINEROS2” si è rivelato uno strumento versatile e facile da gestire sia in fase di immissione dei dati che in quella di elaborazione dei risultati finali. Tuttavia per parametrizzare le componenti costitutive di un bacino idrografico, nonostante la semplicità teorica del metodo utilizzato, risulta necessario un numero elevato di variabili di input ed un lungo lavoro di taratura del modello stesso.

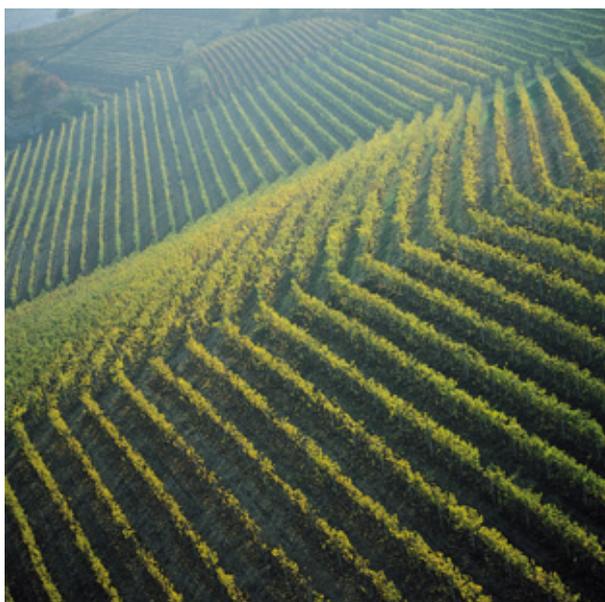
I parametri che inserire hanno evidenziato una maggior problematica di inserimento, poiché di difficile valutazione, sono stati quelli relativi alle caratteristiche di infiltrazione del suolo (e.g. conducibilità idraulica, capillarità, porosità, etc.), che sono caratterizzati da una grande variabilità spaziale oltre che influenzati dalle lavorazioni su scala stagionale. Anche le precipitazioni estive, spesso molto intense e di breve durata, sono notoriamente caratterizzate da una notevole variabilità spaziale e quindi di difficile localizzazione rispetto agli strumenti di misura.

Entrando nel merito delle simulazioni effettuate è appena il caso di sottolineare come i cambiamenti nell'uso del suolo avvenuti a causa dell'espansione delle aree urbanizzate e la progressiva impermeabilizzazione dei terreni

possano essere considerati alcuni tra gli aspetti a maggior incidenza sull'aumento delle portate a parità di precipitazione.

Per quanto concerne l'influenza delle lavorazioni su versante, le simulazioni hanno evidenziato come valori molto bassi di coefficiente di scabrezza di Manning, attribuibili all'applicazione in vigneto di pratiche colturali non corrette, possono essere causa di problemi non trascurabili sia sui picchi di deflusso che sull'erosione di materiale.

Infine, è possibile evidenziare come esistano una serie di possibili interventi di facile realizzazione e con significative ricadute di carattere agro-ambientale sul territorio che vanno da opere scontate, ma non per questo sempre realizzate, a carico della rete drenante (i.e. corretto dimensionamento e periodici interventi di manutenzione al fine di evitare la deposizione di sedimenti che ne riducano la capacità di convogliamento) fino alla semplice introduzione di copertura erbacea tra i filari o alla piantumazione di fasce vegetate lungo le curve di livello finalizzate all'interruzione dei versanti, alla diminuzione dell'aggressività erosiva dell'acqua di scorrimento superficiale, alla deposizione in situ del materiale trasportato in sospensione e al generale rallentamento del ciclo dell'acqua.



CAPITOLO 6 - INTERVENTI DIMOSTRATIVI, ATTIVITA' DI DIFFUSIONE E INTEGRAZIONE CON PROGETTI INTERNAZIONALI

Con l'emanazione di specifici criteri tecnici di intervento per il recupero delle aree generalmente indicate come degradate da fenomeni naturali o di origine antropica, la Regione Piemonte promuove attraverso lo strumento legislativo le tecniche naturalistiche per la sistemazione delle coltri superficiali di terreno. Il contributo del Settore Sostenibilità e Salvaguardia ed Educazione ambientale della Regione Piemonte ha permesso di dare delle indicazioni nella sistemazione del territorio, attraverso l'impiego di tecniche di Ingegneria Naturalistica di seguito descritte.

L'ingegneria naturalistica è una disciplina tecnico-scientifica che utilizza piante vive autoctone come materiale da costruzione, unite a materiali inerti quali pietrame e massi, terra, legname, ferro e acciaio, geosintetici e fibre naturali. L'impiego delle tecniche naturalistiche ha generalmente finalità antierosive, stabilizzanti e di consolidamento. La funzione dei materiali inerti è quella di garantire l'efficienza delle opere per un periodo sufficiente al completo sviluppo dell'apparato radicale della vegetazione messa a dimora, dopodiché l'importanza degli elementi strutturali si riduce, in relazione anche alla durabilità dei materiali che li costituiscono.

Pertanto, nel merito del complesso delle opere volte alla mitigazione dei fenomeni erosivi, oltre agli interventi di carattere selvicolturale, si possono annoverare le seguenti tecniche:

Inerbimenti con semine a spaglio, idrosemine, semine protette e potenziate (mulching).

Tra le tecniche utilizzate nell'Ingegneria naturalistica per la sistemazione delle coltri superficiali del terreno, gli inerbimenti svolgono un ruolo importante, stabilizzando il suolo, proteggendolo dall'erosione superficiale e ricostruendo la vegetazione e le condizioni di fertilità. Esistono tre metodi di applicazione di tali tecniche: semina manuale o a spaglio, semina idraulica o idrosemina e le semine protette. In ciascuno di essi, la scelta delle specie erbacee deve avvenire in base al tipo di terreno, al clima e alla quota del sito di intervento. Inoltre, è buona

regola utilizzare il materiale di scotico, ovvero gli strati più superficiali del terreno asportato durante la fase di rimodellamento dei versanti, in quanto è il più adatto a formare la superficie che sarà successivamente seminata.



Foto 1-2: Sistemazione e recupero ambientale delle sponde del canale scolmatore che collega il Lago di Mergozzo al Lago Maggiore nella località di Fondotoce del Comune di Verbania (VB). Gli inerbimenti costituiscono la prima e più immediata tecnica di difesa dall'erosione superficiale, poiché le specie erbacee a più rapida capacità di attecchimento, le graminacee, esplicano la loro funzione nel volgere di poche settimane.

Cespugliamenti consolidanti

Si interviene consolidando i pendii e scarpate mediante messa a dimora lungo linee suborizzontali di materiale vegetale vivo, migliorandone così le condizioni di stabilità. Tecniche di questo tipo sono denominate gradonate vive. La loro realizzazione prevede lo scavo di una banchina con profondità minima di 50 cm. essa deve avere una contropendenza del 10% circa e non deve essere realizzata perfettamente parallela alle curve

di livello dei pendii, ma deve individuare una via di collettamento delle acque. In seguito vengono posizionate orizzontalmente talee e piantine. L'opera serve validamente per il contrasto dell'erosione superficiale ad opera delle acque meteoriche. D'altra parte, l'apparato radicale delle specie arbustive è in grado di raggiungere maggiori profondità e quindi di consolidare coltri detritiche di maggior spessore rispetto a quanto possano garantire gli inerbimenti.

Palificate semplici, grate



Foto 3-4: Sistemazione di versanti attraverso la messa a dimora di specie arbustive e arboree sotto forma di talee. La specie arborea maggiormente utilizzata per le sue proprietà biotecniche è il salice.

La lotta all'erosione delle coltri superficiali di terreno si esplica anche con palificate semplici, grate vive, e anche con l'utilizzo di svariati materiali antierosivi (reti a contatto metalliche, sintetiche e in fibra naturale).

La palificata semplice, detta anche palizzata, è utile per stabilizzare le porzioni più superficiali

del suolo, attraverso lo sviluppo della rete radicale della vegetazione messa a dimora e grazie ad elementi di ancoraggio che conferiscono immediate condizioni favorevoli al processo di stabilizzazione. Per la realizzazione di questi interventi si utilizza toname scortecciato di latifolia (castagno) o conifera (larice) con diametro minimo di 20 cm. Essi sono disposti perpendicolarmente alla linea di massima pendenza e legati ed ancorati mediante picchetti o piloti, in legno o metallici.

Questi ultimi consentono una maggior profondità di infissione e capacità di penetrazione soprattutto in terreni grossolani e pietrosi. Generalmente è sufficiente una profondità dell'ordine di 1 - 1,5 m, che va incrementata se necessario in funzione delle caratteristiche del terreno, infine si dispone, a monte della palificata, il materiale vegetale in talee e/o piantine.



Foto 5 La stabilizzazione delle coltri più superficiali di terreno può essere effettuata disponendo sui versanti linee continue o sfalsate di palificate semplici (Comune di Strona - BI).

Le grate vive sono particolarmente indicate in situazioni del terreno con elevata pendenza, dai 40° ai 60° e oltre, in cui le condizioni del terreno stesso e del contorno non permettono un rimodellamento della superficie per ridurne l'inclinazione. Inoltre sono un'ottima soluzione anche come protezione di superfici erose e di substrati sterili, che non possono essere inerbiti facilmente.

La struttura di questi interventi è caratterizzata da una serie di tronchi verticali e orizzontali che

formano sul terreno una specie di tessitura a grandi maglie, dette anche camere. Il legname utilizzato deve essere idoneo e durabile (larice o castagno), quindi scortecciato e con un diametro non inferiore ai 20 cm. La loro lunghezza è generalmente compresa tra i 2 e i 6 m. I pali verticali sono posizionati aderenti alla scarpata, distanziati tra loro di 1-2 m, su di essi vengono fissati mediante bulloni, viti legature o incastri i pali orizzontali.



Foto 6 La stabilizzazione di superfici molto acclivi, quale è il caso delle scarpate stradali, può avvenire attraverso l'impiego della tecnica delle grate vive (Val Troncea, presso Pragelato – TO).

Oltre a questi interventi di miglioramento delle caratteristiche geotecniche dei terreni superficiali, che quindi hanno effetto in senso areale, esistono possibilità di intervento di tipo lineare su impluvi e corsi d'acqua. La regimazione si esplica con opere di diminuzione della pendenza del fondo degli alvei, ovvero con manufatti che dissipano per quanto possibile l'energia cinetica delle acque superficiali, o con opere di tipo selettivo, che cercano di abbattere il trasporto solido.

Si annoverano tra queste opere i manufatti in legname e pietra le briglie e le soglie: queste vengono realizzate con la stessa tecnica di allestimento delle palificate vive di sostegno a doppia parete, ma raramente prevedono l'utilizzo di materiale vegetale vivo.

Esercitano una valida funzione di rallentamento del potere erosivo dei corsi d'acqua montani, a condizione che il loro dimensionamento tenga opportunamente conto della dinamica di tali deflussi, di carattere spiccatamente irregolare e con picchi di elevatissima intensità.



Foto 7 L'erosione del fondo alveo di corsi d'acqua a regime variabile, caratterizzati da velocità di deflusso elevate e da capacità di trasporto di materiale solido, può essere mitigata attraverso la messa in opera di sistemi di correzione della quota di fondo alveo, quali briglie e soglie in legname e pietra (Sestriere, TO).

Per questo motivo vengono utilizzati tondami in larice o castagno di diametro non inferiore a 25-30 cm.

6.1 FASE IV: REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DIMOSTRATIVI

Di seguito si fornisce una descrizione degli interventi dimostrativi di prevenzione previsti dalla Fase IV e che il Consorzio Forestale Alta Valle di Susa (CFAVS) ha realizzato.

Intervento relativo al Bacino del Rio Perilleux

Sono stati realizzati interventi di gestione ordinaria della vegetazione forestale - diradamenti selettivi e rimboschimenti - per complessivi 55.741 euro.

Sono stati inoltre eseguiti interventi di taglio intercalare con prelievo selettivo degli individui o dei gruppi di alberi instabili (si intende con il termine instabile alberi o gruppi non in grado di consolidare il suolo con un corredo apparato radicale o con un portamento non in grado di resistere alla pendenza, al carico della neve, ed alla azione erosiva dell'acqua, oltre ad essere di ostacolo alla crescita corretta degli alberi o gruppi di alberi limitrofi). (Foto 8-9)



Foto 8-9. Interventi selvicolturali eseguiti all'interno del rimboscimento del Perilleux

Accanto agli interventi di manutenzione e stabilizzazione del rimboscimento di larice, abete rosso e pino uncinato, sono stati effettuati interventi di manutenzione del reticolo di raccolta acque realizzato con embrici in cemento negli anni '70 ed all'interno delle più recenti ed efficienti trincee drenanti. (Foto 10-11)



Foto 10. Trincee drenanti



Foto 11. Interventi di manutenzione del reticolo delle acque

A corredo degli interventi di stabilizzazione delle rete idrografica esistente e dei popolamenti forestali di origine artificiale, sono stati effettuati localizzati rimboschimenti per completare la copertura forestale esistente al fine del controllo dell'erosione superficiale e della stabilizzazione del versante. (Foto 12)



Foto 12. Rimboscimento di larice, pino uncinato per gruppi del piano subalpino

Stima dei costi

Descrizione interventi	Importo (€)
Disalveo in materie terrose e ghiaiose anche con trovanti di qualunque dimensione e durezza sino alla profondità di cm 100 sotto il pelo delle acque di magra, compresa l'eventuale rimozione lo spostamento in opera dei trovanti di cui prima e degli eventuali prismi di calcestruzzo di difese preesistenti per apertura di savanelle, deviazione di acque, formazione di isolotti, anche per fare luogo alla posa di massi naturali, compresa la sistemazione delle pareti e del fondo degli scavi, il ritombamento delle materie di risulta che dovranno comunque essere utilizzate esclusivamente secondo le disposizioni della Direzione dei Lavori, il riempimento dei vani rimanenti ad opera finita, il trasporto e la sistemazione a rifiuto, o rinterro e ad imbottimento di sponda delle materie eccedenti.	2.241,60
Diradamento di superfici boscate degradate in funzione selvicolturale e di riequilibrio ecosistemico, comprendente tutte le opere di decespugliamento ed il taglio delle piante in esubero, nonché di quelle morte, malate o malvenienti secondo le indicazioni della D. L. , successiva raccolta ed accatastamento dei materiali di risulta, sramatura, cernita ed allontanamento dei materiali non utilizzabili e loro trasporto a discarica, trasporto del legname utile al piazzale di carico.	34.750,00
Rimboschimento a collettivi di larice e pino uncinato.	18.750,00
TOTALE	55.741,60

Intervento relativo al Bacino del Rio Galambra

Sono stati realizzati interventi di gestione ordinaria delle coperture forestali, di miglioramento dell'efficienza delle reti di drenaggio ed il miglioramento dell'efficienza della sorgente in fraz. Millaures per complessivi 25.017 euro. (Foto 13-14)

Sono stati inoltre effettuati interventi di manutenzione delle coperture forestali, finalizzati al mantenimento in efficienza delle fasce boscate ai margini del reticolo idrografico esistente, sia per ridurre le possibilità di erosione delle sponde e sia per conserve in efficienza la capacità di deflusso delle acque superficiali.



Foto 13-14. Manutenzione delle fasce boscate ai margini del reticolo idrografico principale e secondario

Sono stati effettuati interventi di manutenzione del reticolo idrografico artificiale a servizio dei coltivi e dei campi ricostruendo antichi canali irrigui e sistemi di raccolta delle acque per l'irrigazione dei campi. In tali interventi l'obiettivo è stato quello di ricostruire, laddove danneggiato od inefficiente, un sistema di raccolta delle acque trasversale alla massima pendenza raccogliendo e convogliando le acque di scorrimento superficiale all'interno del versante. (Foto 15-16)

Si evidenzia che le avverse condizioni atmosferiche e le copiose precipitazioni nevose, che hanno caratterizzato il periodo autunno-inverno 2008/2009, hanno fortemente rallentato le fasi di realizzazione degli interventi programmati per la manutenzione e la messa in sicurezza dei territori sottesi dai suddetti bacini e che comunque si confida di riavviare i lavori con l'avvento del periodo primaverile, con l'obiettivo di poterli portare a compimento entro la fine del corrente anno.

Stima dei costi



Foto 15-16. Interventi di manutenzione delle coperture forestali, finalizzati al mantenimento in efficienza delle fasce boscate ai margini del reticolo idrografico esistente

Descrizione interventi	Importo (€)
Disalveo in materie terrose e ghiaiose anche con trovanti di qualunque dimensione e durezza sino alla profondità di cm 100 sotto il pelo delle acque di magra, compresa l'eventuale rimozione lo spostamento in opera dei trovanti di cui prima e degli eventuali prismi di calcestruzzo di difese preesistenti per apertura di savanelle, deviazione di acque, formazione di isolotti, anche per fare luogo alla posa di massi naturali, compresa la sistemazione delle pareti e del fondo degli scavi, il ritombamento delle materie di risulta che dovranno comunque essere utilizzate esclusivamente secondo le disposizioni della Direzione dei Lavori, il riempimento dei vani rimanenti ad opera finita, il trasporto e la sistemazione a rifiuto, o rinterro e ad imbottimento di sponda delle materie eccedenti.	12.760,00
Diradamento di superfici boscate degradate in funzione selvicolturale e di riequilibrio ecosistemico, comprendente tutte le opere di decespugliamento ed il taglio delle piante in esubero, nonché di quelle morte, malate o malvenienti secondo le indicazioni della D. L. , successiva raccolta ed accatastamento dei materiali di risulta, sramatura, cernita ed allontanamento dei materiali non utilizzabili e loro trasporto a discarica, trasporto del legname utile al piazzale di carico.	12.257,50
TOTALE	25.017,50

6.2 FASE V. ATTIVITÀ DI DIFFUSIONE E INFORMAZIONE

Ai fini della divulgazione dei risultati delle attività che hanno caratterizzato il progetto sono state intraprese le seguenti iniziative:

- Taormina 16 e il 19 ottobre 2008 - Partecipazione al III Congresso Nazionale di Selvicoltura, nell'ambito del quale IPLA S.p.A. ha presentato un poster dal titolo: "Protezione del suolo e desertificazione in bassa Valle Susa e Val Casternone" - Igor Boni, Matteo Giovannozzi, Mauro Piazzi, Aldo Leo". Il lavoro è una sintesi delle attività svolte nell'ambito del progetto "Monitoraggio e valutazione funzionale degli interventi di rimboschimento e olivicoltura per la lotta alla desertificazione in Italia". Questa iniziativa è stata realizzata nell'ambito della "Sessione 5" - Attività di informazione e sensibilizzazione - del Congresso.
- Bruxelles, febbraio 2009 - Conferenza internazionale sull'Acqua "Peace with Water" – Presentazione dello sviluppo metodologico del Progetto pilota della regione Piemonte;
- Rimini, 11 settembre 2009 - Partecipazione a "Geoitalia 2009 - VII Forum Italiano di Scienze della Terra" mediante la presentazione, nella sessione poster, del "Progetto pilota per contrastare fenomeni di siccità e desertificazione nel territorio della Regione Piemonte";
- Torino, 23 - 25 ottobre 2009 - Partecipazione ad "Alpi 365 Expo"- Montagna mediante la presentazione di due pannelli relativi al "Progetto pilota per contrastare fenomeni di siccità e desertificazione nel territorio della Regione Piemonte" ed al "Sostegno della tariffa del Servizio Idrico Integrato per l'attuazione di specifici interventi connessi alla tutela ed alla produzione delle risorse idriche ed alla attività di sistemazione idrogeologica del territorio montano.

Lo sviluppo metodologico ed i risultati del progetto sono stati presentati nell'ambito del convegno che si è tenuto il 17 giugno 2010, presso Il Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino,

in occasione della "Giornata mondiale per la lotta contro la siccità e la desertificazione".

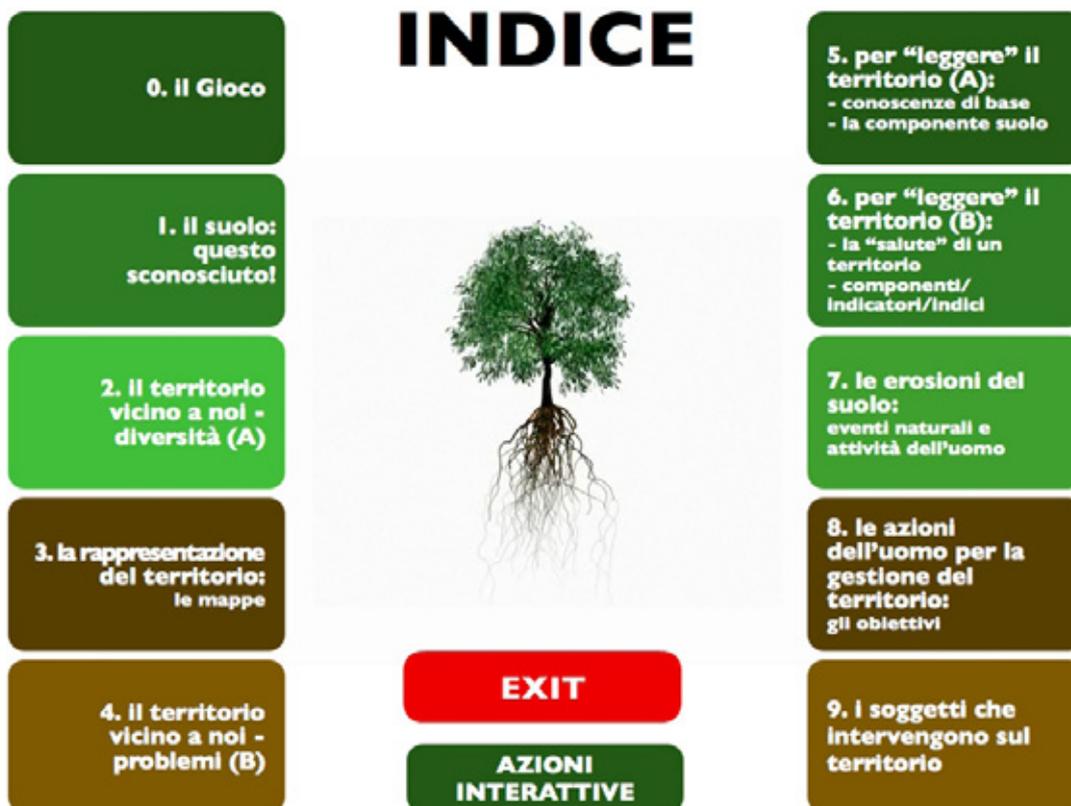
Gli atti del convegno sono stati resi disponibili sul sito della Regione Piemonte, all'indirizzo: <http://www.regione.piemonte.it/acqua/seminario2.htm>.

Nel corso dell'evento sono intervenuti esperti in materia di difesa del suolo, tutela del paesaggio e di uso sostenibile del territorio che, confrontandosi tra di loro e con i partecipanti al seminario, hanno contribuito a chiarire gli aspetti scientifici del degrado del suolo e ad individuare le possibili linee di intervento per contrastare efficacemente i processi che possono portare alla desertificazione di un territorio.

La realizzazione dell'Exhibit

L'attività relativa alla realizzazione della postazione-mostra e laboratorio (exhibit), è stata conclusa nel mese di giugno 2010. La postazione oltre a consentire l'attivazione del percorso caratteristico della metodologia ESAs darà la possibilità, attraverso un'interazione logico-didattica guidata, di simulare i processi di degrado del territorio che portano alla desertificazione mediante un dispositivo "testo-immagine" combinato, sequenziale e di facile comprensione coinvolgendo così nel processo di sensibilizzazione anche un pubblico scolastico e non esperto.





In concreto l'Exhibit realizzato è costituito da una struttura interattiva e multimediale progettata per un doppio utilizzo:

- in forma permanente presso il Museo A come Ambiente (52.000 visitatori l'anno)
- in forma temporanea presso fiere, luoghi di massa, sedi istituzionali, scuole, ecc,

Tale struttura è composta da un monitor da 52 pollici, con schermo touch screen, e alcune appendici interattive (come ad esempio un

microscopio informatico, dei setacci suolo, ecc.) ed è utilizzabile in forma diretta dal pubblico o con l'aiuto di un animatore, che assiste per la navigazione secondo un indice molto ampio sull'argomento.

Gli accessi consentiti per il pubblico e guidati da un animatore possono essere avviate a partire dalle seguenti opzioni:

- 1-indice
- 2-giochi

Una volta avviato il processo di navigazione interattiva gli obiettivi possono essere raggiunti attraverso l'utilizzo dello schema scientifico mutuato dallo studio dei suoli e della loro erosione, delle azioni naturali e dell'uomo. Si riesce con tale meccanismo a realizzare l'ambiente proprio di una "aula di divulgazione" (infatti l'exhibit viene tradotto come "macchina della divulgazione") per un pubblico con diverse fasce di età, in genere non esperto.

L'ampiezza degli argomenti, dei capitoli e dei relativi sottoargomenti permette ai visitatori, specie se supportati dall'animatore, di navigare





all'interno dell'exhibit secondo percorsi diversi e articolati a seconda delle conoscenze e degli interessi di ciascun utente.

Si evince pertanto che i percorsi possibili sono divisi in due differenti impostazioni che si intrecciano secondo una parte più ludica ed un'altra parte più didattica.

I GRANULI
Il suolo contiene vari tipi di frammenti di roccia. Si chiamano "granuli" e sono classificati a seconda delle dimensioni.

Tipo di granuli	Diametro del granuli	Tipo di suolo
Ciottoli o ghiaia	Superiore a 2 mm	Suoli ghiaiosi
Sabbia	Tra 0,005 mm e 2 mm	Suoli sabbiosi
Limo	Tra 0,002 mm e 0,005 mm	Suoli limosi
Argilla	Minore di 0,002 mm	Suoli argillosi

In particolare l'articolazione degli argomenti avviene secondo il seguente indice sintetico:

- vari tipi di suoli;
- il territorio vicino a noi secondo una classificazione che fa riferimento a tre zone: pianura, collina, montagna (Area metropolitana, Langa Cuneese e Alta Valle Susa)
- la rappresentazione del territorio attraverso varie tipologie di mappe tematiche;
- il territorio vicino a noi, alcuni problemi:
- la montagna: gli incendi;
- la collina: erosione;
- la pianura: cementificazione

Una parte dei contenuti è indirizzata ad una "alfabetizzazione" di base sull'argomento suolo per poi successivamente passare ai temi di attualità quali il clima, la gestione del territorio ecc..

La grafica utilizzata e le modalità interattive permettono di attirare l'attenzione, di usare i vari sensi (udito, tatto, vista, ecc.), di vivacizzare il racconto, di sviluppare domande e risposte insieme al gruppo di visitatori.

Per ogni livello di navigazione è sempre garantita la possibilità di ricorrere ad argomenti specifici che sono stati definiti "approfondimento", che permettono di entrare nel dettaglio degli spunti forniti.



Come “leggere” il territorio: le conoscenze di base necessarie;

- la componente suolo;
- per “leggere” il territorio: componenti e indicatori;
- gli indici dello stato di “salute” di un territorio;
- il suolo;
- il clima e lo scorrimento delle acque;
- la vegetazione;
- le azioni dell’uomo (positive e negative);
- gli eventi che lasciano un “segno” sul territorio: le relazioni e le variabili;
- (interazioni tra aspetti naturali ed attività dell’uomo (complessità del sistema uomo-ambiente- territorio);
- formazione di un territorio in base a diverse variabili;
- introduzione di modificazioni: dovute ad eventi naturali e ad azioni dell’uomo;
- cause ed effetti;

- erosione del suolo (i vari tipi di erosione);
- la gestione del territorio;
- le possibilità di mitigazione e le misure di prevenzione nelle zone a rischio di degrado;
- gli obiettivi
- i soggetti che intervengono nel territorio

Esempi:

- i sentieri nell’ambiente di montagna
- le sistemazioni colturali nei territori collinari
- esempi di opere e di misure di mitigazione

Per quanto riguarda gli accessi dal lato dei “giochi” si agisce anche in questo caso attraverso un monitor touch-screen che permette di dialogare come in un vero gioco di simulazione e si procede, di volta in volta, con la scelta tra: la montagna, la collina, la pianura (il riferimento è stato volutamente fatto a luoghi conosciuti e reali).

Il gruppo di visitatori può successivamente procedere “decidendo” in base a fattori quali la pendenza,



Il tempo atmosferico (assenza/presenza di precipitazioni), la conformazione della vegetazione ecc, permettendo all'exhibit di rispondere attraverso la conseguente variazione degli effetti provocati dai suddetti fattori.

In definitiva si evidenzia come nella progettazione e nello sviluppo dell'exhibit molta attenzione è stata rivolta alla “rappresentazione” degli effetti che l'attività antropica, il clima, e lo sviluppo della vegetazione provocano sul suolo e sul territorio., si è cercato inoltre di mettere in evidenza che il persistere di determinate situazioni possono provocare, in assenza di misure di mitigazione/prevenzione, fenomeni estremi quali la desertificazione (soprattutto in aree particolarmente “sensibili”).

6.3 FASE VI: ATTIVITÀ DI INTEGRAZIONE CON ATTIVITÀ INTERNAZIONALI

Il progetto, pur non prevedendo dirette azioni di “gemellaggio” con progetti in ambito internazionale, presenta elementi di interazione con alcune attività delle quali il la Sez. di Idraulica Agraria del DEIAFA dell'Università di torino Torino è referente scientifico. Di seguito si fornisce una breve descrizione delle attività svolte e dei risultati ottenuti.

Mali: progetto finanziato dal Bando 2006 della Regione Piemonte, riguardante la sicurezza alimentare in Sahel. La sezione di Idraulica Agraria ha partecipato alla realizzazione di un progetto riguardante la protezione di pozzi ad uso potabile denominato “Gocce di speranza per Doumba e Koula, Mali” cofinanziato dalla Regione Piemonte e l'ONG “Comitato Collaborazione Medica (CCM)”.

In particolare l'obiettivo è stato quello di fornire adeguato supporto tecnico-scientifico per la costruzione di pozzi ed il conseguente monitoraggio della qualità dell'acqua nonché di fornire indirizzi gestionali adeguati in relazione alle pratiche agricole locali (Salvai et Haverkamp, 2008).

Nell'ambito del progetto sono state messe a punto le linee guida riguardanti le operazioni necessarie per la corretta realizzazione di pozzi in muratura, dalla scelta del luogo di costruzione, alla tecnica

costruttiva fino alla scelta dei materiali da impiegare nonché di tutti i dettagli operativi sulle varie fasi di realizzazione dell'opera. Particolare rilievo è stato dato alle operazioni di manutenzione della struttura in muratura e alle buone pratiche da seguire per mantenere in buono stato le condizioni igienico-sanitarie del pozzo.

Tunisia: partecipazione, negli anni 2000 - 2003 al progetto FAO GCP/TUN/028/ITA denominato “Programma di Conservazione delle Acque e del Suolo nei Governatorati di Kairouan, Siliana e Zaghuan in Tunisia”. Tale progetto, terminato nel 2005, è stato il frutto di una cooperazione bilaterale tra Provincia di Torino e Tunisia al fine di garantire uno sviluppo rurale durevole ed un'agricoltura sostenibile anche in un paese fragile da un punto di vista ecosistemico- ambientale, come può essere considerata la Tunisia.

L'attività messa in atto con il progetto ha riguardato parallelamente sia la realizzazione di infrastrutture di base, sia l'attività di ricerca per lo sviluppo agricolo (integrandolo con altre attività di formazione e di sviluppo di reddito delle comunità locali).

Un aspetto indispensabile è stato il coniugare le necessità della popolazione, ed in particolar modo lo sfruttamento agricolo, con la irrinunciabile necessità di interrompere il processo di degrado del suolo e favorire un'inversione di tendenza della situazione ambientale.

A questo proposito il governo tunisino, attraverso il CES (servizio difesa del suolo), e con un massiccio impiego di capitali, ha avviato una imponente opera di costruzione di sistemazioni idrauliche denominate “Couvettes” con una particolare attenzione alle aree più aride e montuose, soprattutto della zona centrale di Kairouan, Siliana, Sidi Bouzid e Zaghuan.

I vantaggi andranno dalla protezione idrogeologica della pianura alla ricarica delle falde freatiche, fino ad arrivare al beneficio che ogni singolo agricoltore consegue nel trattenere sulla propria parcella l'acqua piovana: maggior produzione agricola, minori costi, alimentazione gratuita per il bestiame (Previati et al., 2010).

Complessivamente il progetto ha coinvolto circa 6.200 famiglie dislocate su una superficie di 92.000 ettari.

CAPITOLO 7 - BIBLIOGRAFIA

Allen R.G., Pereira Luis S., Raes D., Smith M., 1998, "*Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*", FAO irrigation and drainage paper, 56. Roma, .

Ambito Territoriale Ottimale n.1 "Verbano Cusio Ossola e Pianura Novarese", "*Piano d'Ambito*".

Ambito Territoriale Ottimale n.2 "Biellese, Vercellese, Casalese", "*Piano d'Ambito*".

Ambito Territoriale Ottimale n.3 "Torinese", "*Studi Propedeutici Regione Piemonte Fase II*".

Ambito Territoriale Ottimale n.4 "Cuneese", "*Indagini e studi finalizzati alla produzione dei programmi di intervento e dei relativi piani finanziari. Rapporto di Sintesi e Quadro di prospettiva*".

Ambito Territoriale Ottimale n. 5 "Astigiano e Monferrato", "*Piano d'Ambito*".

Ambito Territoriale Ottimale n. 6 "Alessandrino", "*Piano d'Ambito*".

ARPA, Relazione sullo stato dell'ambiente in Piemonte, Edizioni 2009 e 2006.

Bagnouls F., Gaussen H., 1953 "*Saison sèche et indice xérothermique*", Docum. pour les Cartes des Prod. Végét. Série: Généralité, 1: 1-49.

Bedient B.P., Wayne C.H., 1994, *Hydrology and Floodplain Analysis*, Addison-Wesley Publishing Company, p.246.

Borgogno Mondino E.; Testa S.; Bevilacqua I., 2009, "*Generazione di carte di temperatura mediante metodi di interpolazione spaziale basati su criteri multipli diversi dalla posizione: regressione multivariata*", Atti del IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria. Ischia Porto. Memoria n° 6-12.

Bouchet R. J., 1963, "*Evapotranspiration réelle, evapotranspiration potentielle, et production Agricole*", Ann. Agron., 14, 743-824.

Bouma, J., 1989, "*Using soil survey data for quantitative land evaluation*". In: Stewart, B.A. (Ed.), *Adv. Soil Sci.*, vol. 9. Springer Verlag, New York, pp. 177– 213.

- Brumt, D. 1952, *“Physical and dynamical meteorology”*, 2nd ed., Cambridge University Press, 428 pp.
- Brutsaert W., 2005, *“Hydrology, an Introduction”*, Cambridge University Press, Cambridge, 605 pp.
- Brutsaert W., Stricker H., 1979, *“An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration”*, Water Resour. Res., 15, 443-450.
- Buchanan J. M., 1980, *“Rent-seeking Under External Diseconomies”*, in Buchanan J. M., Tollison R.D., Tullock G., (1980) *“Towards A Theory Of The Rent-seeking Society”* College Statio, Texas A&M Press.
- Burman R.D., Jensen, M.E., Allen, R.G., 1987, *“Thermodynamic factors in evapotranspiration”*. In: James, L.G., English, M.G. (Ed.), *Proceedings of Irrigation and Drainage Spec. Conf.*, ASCE Portland, Oregon, pp. 28-30.
- Caporali, F., Campiglia, E., Anselmo, V., 1994, Prospettive per l'uso di *Trifolium subterraneum* L. come cover crop in un nocciololetto dell'Italia Centrale. *Rivista di Agronomia*, 28, 4, 331-335.
- Carollo, A. & V. Libera, 1989, *“Influence des lacs sur la temperature”*, Publications de l'Association International de Climatologie pp. 57 - 61.
- Caroni E., Tropeano D., 1981, Rate of erosion processes on experimental areas in the Marchiazza basin (Northwestern Italy), *Erosion and Sediment Transport Management*, IAHS Publ. No. 133, 457-466.
- Casini L., Gallerani V., Viaggi D., 2008, *“Acqua, agricoltura e ambiente. Nuovi scenari di politica comunitaria”*, Franco Angeli.
- Cherasco A., 1856, *Manuale di fognatura volgarmente detto drenaggio*, Schieppati, Torino.
- CNR - Regione Piemonte, 1980, *Convegno nazionale sulla meccanizzazione della viticoltura collinare Vol.1*, Assessorato Agricoltura e Foreste.
- Coase R.H., 1960, *“The Problem of Social Cost”*, in *Journal of Law and Economics* 3.
- Conti M., 1911, *La sistemazione e lo scolo delle acque nei terreni in collina*, Tipografia Cassone, Casale.
- Conti. M., 1911, *La sistemazione e lo scolo delle acque nei terreni in collina* 2a ed. 114 p.

Crago R. D., Qualls R. J., Feller M., 2010, “*A Calibrated Advection-Aridity Evaporation Model Requiring No Humidity Data*”, Water Resour. Res., doi:10.1029/2009WR008497

Cressie, N.A.C., 1991, “*Statistics for Spatial Data*”. New York: John Wiley & Sons .

Siegel, S., Castellan, N., 1988, “*Nonparametric Statistics For The Behavioural Sciences*”, McCraw-Hill, New York, 399 pp.

Dasgupta P.S., e Heal G. M., 1979, “*Economic Theory And Exhaustible Resources*”, Cambridge University Press.

Di Napoli G., Mercalli L., 2008, “*Il clima a Torino*”, SMS Bussoleno

FAO-UNEP-UNESCO, 1980. “*Méthode provisoire pour l'évaluation de la dégradation des sols*”, M 57 ISBN 92-5-200869-1 Roma, pp.88

Farr, T.G., Rosen, Paul A., C. Edward, Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., Alsdorf, D., 2007, “*The Shuttle Radar Topography Mission*”, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.

Ferraris S., 2008, “*Metodi irrigui per le colture erbacee di pieno campo: efficienza d'uso, consumi energetici, risparmio idrico*”. Relazione sul lavoro svolto. Facoltà di agraria, Università di Torino.

Ferraris, S., Acutis, M., 1996, Overland flow measurements and Kineros code calibration. Estratto dai quaderni di idronomia montana,15: 161- 169.

Franke, R., 1982, “*Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines*”, Computer & Mathematics with Applications Vol. 8. No. 4. pp. 237–281. Great Britain.

Fu P., and Rich P.M., 2002, “*A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry*”, Computers and Electronics in Agriculture 37:25-35.

Fu P., 2000, “*A geometric solar radiation model with applications in Landscape ecology*”, PhD. Thesis, Department of Geography, University of Kansas, Lawrence Kansas, USA.

Gates, D.M., 1980, “*Biophysical Ecology. Springer-Verlag*”, New York.

Giordano A., 1999, *“Pedologia”*, Utet, Torino.

Gu, C., Wahba, G., 1993, *“Semiparametric analysis of variance with tensor product thin plate splines”*. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 55: 353-368.

Harris JM., 2002, *“Environmental and Natural Resource Economics: a contemporary approach”*, Boston, NY Houghton Mifflin.

Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1982, *“Estimating potential evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering”* 108, 225-230.

Harrison, L.P., 1963, *“Fundamental concepts and definitions relating to humidity”*. In: Wexler, A. (Ed) Humidity and moisture Vol. 3, Reinhold Publishing Co., NY.

Hydrologic Engineering Center, 1990, HEC-1, Flood Hydrograph Package, User's Manual. 12-7

Hoaglin, D., Mosteller, F., Tukey, J. 1983, *“Understanding Robust and Exploratory Data Analysis”*, Wiley, New York, 447 pp.

Hutchinson, M. F. 1991, *“The application of thin plate splines to continent-wide data assimilation”*. In: Data Assimilation Systems, edited by J. D. Jasper, BMRC Research Report No. 27, pp. 104-113. Melbourne: Bureau of Meteorology.

Ingegnoli V., Giglio E., *“Ecologia del paesaggio”*, Sistemi Editoriali,

Ingegnoli, V., 1993, *“Fondamenti di ecologia del paesaggio”*. Città studi Milano, 278 pp.

Ingegnoli V., 2002, *“Landscape Ecology: A Widening Foundation”*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Jensen, M.E., Haise, H.R., 1963, *“Estimating evapotranspiration from solar radiation”*. Journal of Irrigation and Drainage E-ASCE 89, 15-41.

INRA, 1998, Cartographie de l'aléa “Erosion des sols” en France, Collection Etudes et Travaux no. 18.

IPLA, Regione Piemonte, 2010. *“Carta di capacità d'uso dei suoli del Piemonte a scala 1:250.000”*.

Selca, Firenze.

IPLA, Regione Piemonte, 2007. "Carta dei suoli del Piemonte a scala 1:250.000", Selca, Firenze.

IPLA, 2007, "*I boschi del Piemonte*", Regione Piemonte

ISAC-CNR, 2009, "*Clima, cambiamenti climatici globali e loro impatto sul territorio nazionale*".

Leeds R., Brown L., Sulc M.R., van Lieshout L., 1994, *Vegetative Filter Strips: Application, Installation and Maintenance*, Ohio State University Extension, AE-467-94.

Lisa L., Gay G., Lisa L., 1998, *Aménagement du sol pour le vignoble piémontais en forte pente*, Groupe d'Etudes des Systèmes de Conduite de la Vigne, Changins, 26-28 Mai 1998, 223-231.

SRTM paper, <http://www.jpl.nasa.gov/srtm/srtmBibliography.html>

Lisa L., Gay G., Lisa L., 1996, *Sistemazione del terreno nei vigneti collinari*, L'Informatore agrario, 11, 79-82.

Makkink, G.F., 1957, "*Testing the Penman formula by means of lysimeters*". J. Inst. Water Eng. 11, 277-288.

McBratney, A.B., Minasny, B., Cattle, S.R., Vervoort, R.W., 2002, "*From pedotransfer functions to soil inference systems*". Geoderma 109, 41– 73.

McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993, "*The relationship of drought frequency and duration to time scales*". Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., pp. 179-184.

Megahan W.F., 1983, *Hydrologic effects of clear cutting and wildfire on steep granitic slopes in Idaho*, Water Resources Research, 19, 811-819.

Mitas, L., Mitasova H., 1988, "*General Variational Approach to the Interpolation Problem*". Comput. Math. Applic. Vol. 16. No. 12. pp. 983–992. Great Britain.

Mitasova, H. and Mitas, L., 1993, "*Interpolation by regularized spline with tension: I theory and implementation. Mathematical Geology*", 25; 641-655.

Monteith, J.L., 1965, "*Evaporation and environment, state and movement of water in living organisms*",

in: Fogg, G.E., (Ed.), Symposium of the Society for Experimental Biology, Academic Press: New York, USA, Volume 19, pp. 205-234.

Motroni, A., Canu, S., Bianco, G., Loj, G. 2004, “*Environmentally sensitive areas to desertification*”, ESAS, Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna, <http://www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/miscellanea/desertificazione/index.asp>.

Murray, F. W. 1967, “*On computation of saturation water pressure*”. Journal of Applied Meteorology, 6:203-204.

Pachepsky, Y.A., Rawls, W.J. (Eds.), 2004, “*Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology*”. Elsevier, Amsterdam.

Penman, H.L., 1948, “*Natural evaporation from open water, bare soil and grass*”. In Proceedings of the Royal Meteorological Society (series A), London, UK, Volume 193, pp. 120-145.

Priestley, C.H.B., Taylor, R.J., 1972, “*On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters*”. Monthly Weather Review 100(2), 81-92, doi: 10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OT AOSH>2.3.CO;2.

Rich, P.M., 1989. “*A manual for analysis of hemispherical canopy photography*”. Los Alamos National Laboratory Report, LA-11733-M.

Rich, P.M., 1990, “*Characterizing plant canopies with hemispherical photography*”. In: N.S. Goel and J.M. Norman (eds). Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. Remote Sensing Reviews 5:13-29.

Saxton K.E., Rawls W.J., 2006, “*Soil water characteristic estimate by texture and organic matter for hydrologic solution*”, Soil Science Society of American journal.

Thornes J.B., 1988, “*Erosional equilibria under grazing*”, in J. Bintliff, D. Davidson and E. Grant (eds.) Conceptual Issues in Environmental Archaeology, Edinburgh University Press, pp. 193-210.

Kosmas C., Kirkby M., Geeson N., 1999, “*Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*”, European Commission Community Research Project Report EUR 18882.

Merlo C., 2009, “*Acqua Agricoltura Ambiente. Fondamenti tecnici e conoscitivi per il risparmio idrico nell'irrigazione con speciale riferimento alla regione Piemonte*”, Quaderno del Dipartimento di economia e ingegneria agraria, forestale e ambientale, Facoltà di Agraria, Università di Torino.

Neher P.A., 1990, *“Natural Resource Economics: Conservation and Exploitation”*, NY Cambridge University Press

Penman H.L., 1948, *“Natural evaporation from open water, bare soil, and grass”*, Proc. Roy. Soc. London A193, 120-146.

Previati M., Bevilacqua I., Canone D., Ferraris S., Haverkamp R., 2010, *“Evaluation of soil water storage efficiency for rainfall harvesting on hillslope micro-basin built using time domain reflectometry measurements”*, Agricultural Water Management, pp. 449- 456, Vol. 97 (3).

Priestley C.H.B., Taylor R.J., 1972, *“On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters”*, Monthly Weath. Rev., 100, 81-92.

Regione Piemonte, 2007, PTA, *“Piano tutela delle acque”*, Direzione Pianificazione delle risorse idriche.

Regione Piemonte, 2006, *“Le risorse idriche in Piemonte”*, Direzione pianificazione delle risorse idriche.

Rich P.M., Dubayah R., Hetrick W.A., and Saving S.C., 1994, *“Using Viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology”*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, pp 524-529.

Salvai L., Haverkamp R., *“Puits fabriqués en briques concaves de ciment: manuel de construction. Rapport du projet”*.

Soil Survey Staff, 2006. *“Keys to Soil Taxonomy”*, 10 th ed. USDA - Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

Soil Survey Division Staff, 1993, *“Soil Survey Manual”*. U.S. Department of Agriculture Handbook 18. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., USA.

“Strategia tematica per la protezione del suolo”, 2006. Brussels, 22 settembre 2006 COM(2006)231.

Tetens, O., 1930, *“Über einige meteorologische Begriffe”*. z. Geophys. 6:297-309.

Thornthwaite, C. W., Mather, J. R., 1955, *“The Water Balance. Drexel Institute of Technology”*, Laboratory of Climatology, USA.

Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., 1955, "*The water balance*". Publications in Climatology; Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology: Centerton, NJ, USA, Volume 8, pp. 1-86.

Tournon G., 1981, "*Irrigazioni*", in: Manuale di Ingegneria Civile, Cremonese, Roma.

Turner R. K., Pearce D. W., Bateman I., 2003, "*Economia Ambientale*", Il Mulino, Bologna.

UE Project ENV4 CT 95 0119, "*metodologia MEDALUS*", Mediterranean Desertification And Land Use.

UNEP, 1992, "*World atlas of desertification*". Edward Arnold, London.

USDA, 1993. "*Soil survey manual*", U.S. Government Printing Office.

Wahba, G., 1990, "*Spline Models for Observational Data*". CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.

Wackernagel, H., 1995, "*Multivariate Geostatistics. An Introduction with Applications*". Berlin: Springer Verlag.

Wösten, J.H.M., Pachepsky, Ya. A., Rawls, W.J., 2001, "*Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics*". J. Hydrol.251, 123–150.

Ventura, F., Spano, D., Duce, P., Snyder, R.L., 1999, "*An evaluation of common evapotranspiration equations*". Irrig. Sci. 18, 163-170, doi: 10.1007/s002710050058.



Direzione Ambiente

Via Principe Amedeo, 17 - 10123 Torino

Tel. 011 - 432.4503 fax 011 - 432.4632

E-mail: direzione10@regione.piemonte.it

Sito web: www.regione.piemonte.it/acqua/seminario2.htm



Direzione Ambiente

Via Principe Amedeo, 17 - 10123 Torino

Tel. 011 - 432.4503 fax 011 - 432.4632

E-mail: direzione10@regione.piemonte.it

Sito web: www.regione.piemonte.it/acqua/seminario2.htm