

I GEORGOFILI

Quaderni
2007-IX



LA VALUTAZIONE AGRO-FORESTALE E AMBIENTALE DEI SUOLI E DELLE TERRE

Firenze, 11 ottobre 2007



EDIZIONI POLISTAMPA

Con il contributo di



ENTE CASSA DI RISPARMIO DI FIRENZE

Copyright © 2008
Accademia dei Georgofili
Firenze
<http://www.georgofili.it>

Edizioni Polistampa
Via Livorno, 8/32 - 50142 Firenze
Tel. 055 737871 (15 linee)
info@polistampa.com - www.polistampa.com
Sede legale: Via Santa Maria, 27/r - 50125 Firenze

ISBN 978-88-596-0490-7

Responsabile redazionale: dott. Paolo Nanni

Servizi redazionali, grafica e impaginazione
SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA

Proprietà letteraria riservata

Supplemento a «I Georgofili. Atti dell'Accademia dei Georgofili»
Anno 2007 - Serie VIII - Vol. 4 (183° dall'inizio)

INDICE

PAOLO SEQUI <i>Realizzazione e prospettive della collana di metodi analitici per l'agricoltura</i>	7
EDOARDO A.C. COSTANTINI <i>Attualità e prospettive dei metodi di valutazione dei suoli e delle terre</i>	13
CLAUDIO BINI <i>I suoli dalla contaminazione al risanamento</i>	41
ELVIO BELLINI, EDGARDO GIORDANI, DANIELE MORELLI <i>Suoli e colture arboree da frutto</i>	63
LUCIANO LULLI <i>Suoli e colture tipiche e di qualità</i>	81
MARCELLO PAGLIAI <i>La valutazione agro-forestale e ambientale dei suoli e delle terre</i> <i>Sintesi conclusiva</i>	89

PAOLO SEQUI*

Realizzazione e prospettive della collana di metodi analitici per l'agricoltura

Sono trascorsi quasi venti anni da quando il Ministero delle Politiche agricole alimentari e forestali ha istituito l'Osservatorio Nazionale Pedologico, che ha subito affrontato problemi di notevole importanza e urgenza in materia di suolo, come la costituzione di una banca di informazioni sulla cartografia pedologica nazionale e la definizione dei criteri per l'istituzione di servizi del suolo nelle regioni che ne erano prive. L'Osservatorio ha poi promosso i progetti per la costruzione delle banche dati pedologiche regionali e di quella nazionale, che hanno finalmente consentito all'Italia di mettersi al passo con i più avanzati paesi europei. Attualmente gli argomenti dei quali si occupano gruppi di lavoro costituiti *ad hoc* e composti da rappresentanti ministeriali e regionali, oltre che da illustri esperti nazionali, sono vari e di grande rilievo: basti citare il regolamento per l'individuazione delle aree agricole contaminate o il supporto alla strategia tematica europea sul suolo.

Quello della definizione dei metodi di analisi è uno dei temi più importanti affrontati fin dall'istituzione dell'Osservatorio. Parlando di questa attività in occasione di una giornata di studio svoltasi circa dieci anni or sono (Sequi, 1998) non esitai a definire una nuova era l'approvazione e la successiva ufficializzazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo", avvenuta con un decreto dell'allora Ministero dell'Agricoltura e Foreste (1992). Per la prima volta nella sua storia il dicastero si faceva formalmente carico di pubblicare sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana metodi riguardanti non alimenti, mangimi o mezzi per la produzione agraria, ma caratteristiche e proprietà relative al più importante dei comparti ambientali, il suolo.

* *Coordinatore Scientifico dell'Osservatorio Nazionale Pedologico del MiPAAF e Direttore del Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazione tra Pianta e Suolo del CRA, Roma*

La giornata di studio di dieci anni fa era dedicata alla normalizzazione dei metodi di analisi fisica del suolo, e in questo caso si potevano registrare due novità di rilievo. La prima era che il decreto di approvazione dei metodi era accompagnato da un manuale di commenti e interpretazioni di metodi pubblicati nello stesso decreto; la seconda era che il manuale costituiva il risultato di un lungo e complesso lavoro di una squadra di esperti coordinati da Marcello Pagliai, e che comprendeva non solo i metodi ufficializzati, ma anche tutti quelli che era sembrato importante raccogliere, discutere e fare conoscere agli interessati. Per la cronaca, all'epoca il manuale risultava l'unico al mondo nel settore, preceduto da una sola opera pubblicata negli Stati Uniti d'America.

Come si può comprendere, il manuale rappresentava un complemento al decreto di estrema utilità. Senza rivestire il valore ufficiale del decreto, lo poteva superare per interesse e lo superava per completezza non solo per il numero dei metodi riportati, ma perché di ogni metodo forniva un inquadramento bibliografico, motivava l'importanza e, se del caso, si proponeva di illustrare all'utilizzatore le eventuali difficoltà di esecuzione e di guidarlo nella migliore interpretazione analitica dei risultati. Ne precisava la posizione nazionale e internazionale, la prima riferita alla pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale, la seconda all'eventuale approvazione da parte della Commissione Europea o degli Enti internazionali di normazione (ISO e CEN). Altra decisione presa allora fu quella di pubblicare tutti i manuali in volumi realizzati a schede, allo scopo di agevolare l'aggiornamento e la sostituzione di ogni singolo metodo.

A partire dal primo manuale, ne sono stati pubblicati altri cinque, tutti preceduti da un decreto di ufficializzazione; si ritiene utile elencare decreti e manuali in calce a questa presentazione. Fa eccezione il settimo e oggi ultimo manuale dei *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*. Nonostante la sua importanza strategica, quella di fornire elementi utili per la programmazione territoriale e la razionale gestione ambientale del suolo, l'ufficializzazione potrà richiedere un lavoro supplementare di coordinamento delle esperienze e tradizioni di ogni singola Regione italiana. E si può essere certi del valore strategico che proprio questo lavoro supplementare riveste: resta uno dei compiti istituzionali più importanti ed emblematici, oggi non ancora compiutamente realizzati, dell'Osservatorio Nazionale Pedologico.

Sono sicuramente opportune due considerazioni, dopo tanti anni di esperienza dall'inizio della realizzazione dei decreti di ufficializzazione e della collana dei metodi analitici per l'agricoltura che ho l'onore e l'onere di coordinare.

La prima può a prima vista apparire negativa: le ambizioni innegabili riposte nella collana da chi l'aveva concepita avevano fatto prevedere una tiratura

di migliaia di copie e l'autofinanziamento degli eventuali aggiornamenti. In realtà, al di là dell'utenza molto qualificata che ha favorevolmente e spesso entusiasticamente accolto le opere, il numero delle copie stampate si è rivelato talvolta anche eccessivo rispetto a quello immaginato in via di progettazione della collana. Anche le ristampe e gli aggiornamenti talora sono apparsi economicamente quasi improponibili, motivo per cui vi si è dovuto rinunciare, e con un certo dispiacere. Si è pertanto deciso per il futuro di privilegiare versioni *on-line*, che appaiono più consone ai tempi attuali e potranno dare pari soddisfazione agli autori, agli esperti che ne compongono l'utenza qualificata e ai promotori dell'iniziativa in sede ministeriale.

In secondo luogo sembra importante sottolineare come la collana abbia avuto riflessi molto positivi, anche superiori alle aspettative iniziali, sull'applicazione di metodi da parte di vari laboratori, pubblici e privati, e sulla diffusione di metodi consolidati a livello internazionale. Importanti riconoscimenti si sono avuti fra l'altro anche con la citazione da parte di utilizzatori di altri settori produttivi e di altri ministeri, basti pensare a molti provvedimenti legislativi di interesse ambientale o a diverse linee guida relative all'adozione delle migliori tecniche disponibili nei settori relativi ai comparti ambientali non solo agricoli considerati.

Infine, ma non per importanza, chi scrive deve esprimere un sentito ringraziamento a tutti coloro che hanno collaborato con grande impegno e abnegazione alla stesura dei metodi, primi fra gli altri gli esperti della Società Italiana della Scienza del Suolo. Nel caso specifico di questo manuale, quelli della VI Commissione siss "Uso e conservazione del suolo", a partire dal suo coordinatore Edoardo A.C. Costantini, che ha seguito e coordinato la stesura dell'opera con la collaborazione di esperti di validità ampiamente riconosciuta, oltre che con la sua personale capacità e passione per la materia.

RIASSUNTO

Il Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, per il tramite dell'Osservatorio Nazionale Pedologico, ha pubblicato una collana di manuali dedicati ai metodi di analisi che erano stati approvati e resi ufficiali. La collana ha avuto un notevole successo, anche se necessita di adeguamenti, uno dei primi fra i quali è senz'altro la diffusione *on-line*. L'attuale settimo volume se ne differenzia anche perché riguarda la valutazione dei suoli e delle terre, argomento di interesse spesso più locale o regionale che nazionale: un volume per la prima volta non in relazione all'ufficializzazione di metodologie ufficiali, che possono così prefigurare un eccitante obiettivo da perseguire in collaborazione fra Stato e Regioni.

ABSTRACT

Recently, the National Pedological Observatory (Italian Ministry of Agriculture) has afforded the publication of a series of handbooks in connection with the approval of official analytical methods of agricultural interest. Handbooks have been highly appreciated, although they deserve some basic change in the programme of circulation among users, like diffusion on-line. Previous handbooks differ from the seventh now published, because it concerns the evaluation of land and soils, a topic often linked to regional rather than national interest. This last handbook does not succeed a legislative promulgation of official methods, which may be considered as an exciting issue for coordination of central and regional activities and authorities.

BIBLIOGRAFIA

SEQUI P. (1998): *Una collana di metodi di analisi del suolo e delle acque*, «I Georgofili. Quaderni», III, 7-9.

DECRETI MINISTERIALI*

- D.M. 11 maggio 1992: *Approvazione dei «Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo»*, Suppl. Ord. n. 70 alla Gazzetta Ufficiale n. 121 del 25 maggio 1992.
- D.M. 18 aprile 1994: *Rettifiche al decreto ministeriale 11 maggio 1992 riguardante l'approvazione dei Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo*, Gazzetta Ufficiale n. 109 del 12 maggio 1994.
- D.M. 1° agosto 1997: *Approvazione dei «Metodi ufficiali di analisi fisica del suolo»*, Suppl. Ord. n. 173 alla Gazzetta Ufficiale n. 204 del 2 settembre 1997.
- D.M. 13 settembre 1999: *Approvazione dei «Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo»*, Suppl. Ord. n. 185 alla Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21 ottobre 1999.
- D.M. 23 marzo 2000: *Approvazione dei «Metodi ufficiali di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico»*. Suppl. Ord. n. 60 alla Gazzetta Ufficiale n. 87 del 13 aprile 2000.
- D.M. 25 marzo 2002: *Rettifiche al decreto ministeriale 13 settembre 1999 riguardante l'approvazione dei metodi ufficiali di analisi chimica del suolo*, Gazzetta Ufficiale n. 84 del 10 aprile 2002.
- D.M. 8 luglio 2002: *Approvazione ed ufficializzazione dei Metodi di analisi microbiologica del suolo (Decreto n. 010175)*, Suppl. Ord. n. 156 alla Gazzetta Ufficiale n. 179 del 1° agosto 2000.
- D.M. 23 febbraio 2004: *Approvazione dei metodi ufficiali di analisi biochimica del suolo*. Suppl. Ord. n. 42 alla Gazzetta Ufficiale n. 61 del 13 marzo 2004.
- D.M. 21 marzo 2005: *Metodi ufficiali di analisi mineralogica del suolo*. Suppl. Ord. n. 60 alla Gazzetta Ufficiale n. 79 del 6 aprile 2005.

* Per questi due settori è opportuno seguire un ordine cronologico e non alfabetico.

COLLANA DI METODI ANALITICI PER L'AGRICOLTURA, DIRETTA DA PAOLO SEQUI

- PAGLIAI M., coord. (1997): *Metodi di analisi fisica del suolo*, Franco Angeli Editore, Milano.
- VIOLANTE P., coord. (2000): *Metodi di analisi chimica del suolo*, Franco Angeli Editore, Milano.
- MECELLA G., coord. (2001): *Metodi di analisi delle acque per uso agricolo e zootecnico*, Franco Angeli Editore, Milano.
- PICCI G., NANNIPIERI P., coord. (2002): *Metodi di analisi microbiologica del suolo*, Franco Angeli Editore, Milano.
- BENEDETTI A., GIANFREDA L., coord. (2004): *Metodi di analisi biochimica del suolo*, Franco Angeli Editore, Milano.
- ADAMO P., coord. (2005): *Metodi di analisi mineralogica del suolo*, Franco Angeli Editore, Milano.
- COSTANTINI E.A.C., coord. (2007): *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, XII+922 pp., con CD, Edizioni Cantagalli, Siena.

EDOARDO A.C. COSTANTINI*

Attualità e prospettive dei metodi di valutazione dei suoli e delle terre

INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni l'agricoltura tradizionale e intensiva sta lasciando il posto a un'agricoltura multifunzionale, il cui scopo primario non è più solo la quantità, ma anche e soprattutto la qualità dei prodotti, in un contesto di protezione e valorizzazione dell'ambiente che è ben espresso dallo slogan "l'agricoltura produce paesaggio". Com'è noto, il 26 giugno 2003 il Consiglio dei Ministri dell'Agricoltura dell'Unione Europea ha approvato una radicale riforma a carico della Nuova Politica Agricola Comune (PAC), la così detta "Condizionalità", destinata a rivoluzionare le modalità di sostegno dell'intero settore da parte della UE per i prossimi 10 anni; l'erogazione degli incentivi sarà subordinata al rispetto di specifiche norme in materia di salvaguardia ambientale, sicurezza alimentare e protezione degli animali.

Il questo ambito il suolo rappresenta un elemento essenziale sia per la protezione dell'ambiente sia per realizzare la multifunzionalità dell'agricoltura, poiché senza dubbio entrambi gli obiettivi si realizzano attraverso la pianificazione dell'uso e la gestione corretta del suolo stesso.

La valutazione dei suoli e delle terre è la disciplina che si è sviluppata nell'ambito delle Scienze del Suolo proprio per dare riferimenti metodologici e fornire strumenti operativi per la pianificazione dell'uso e la gestione corretta del suolo. In questa sede si riporta lo stato dell'arte della disciplina e alcuni dei principali avanzamenti metodologici e operativi nel processo di valutazione, illustrando infine alcune delle possibili prospettive di indagine e applicazione.

* CRA – Centro di ricerca per l'agrobiologia e la pedologia, Firenze

LA VALUTAZIONE DEI SUOLI E DELLE TERRE

La valutazione dei suoli e delle terre è un sistema di classificazione che valuta per una certa porzione di territorio l'uso ottimale o le eventuali limitazioni a usi più o meno specifici, tramite una serie di attività, tra cui l'esecuzione e interpretazione dei rilevamenti sui caratteri fisici del territorio (suoli, forme, vegetazione, clima, geologia ecc.), sulle colture e sui prodotti, integrati con aspetti economici e sociali. Sebbene vi siano testimonianze di valutazioni delle terre antiche quasi quanto quelle relative allo sviluppo dell'agricoltura, è solo a partire dalla diffusione della pedologia come scienza autonoma e della cartografia pedologica, cioè dall'inizio del secolo scorso, che la valutazione dei suoli e delle terre ha assunto una prospettiva prettamente territoriale.

Nonostante la valutazione delle terre abbia come fondamento culturale unificante la conoscenza dei suoli, cioè dei loro caratteri, qualità e distribuzione geografica, le metodologie di valutazione delle terre possono avere una serie praticamente infinita di variazioni, secondo il contesto culturale e applicativo in cui vengono realizzate. La valutazione delle prestazioni di un determinato tratto di terra è presente in ogni processo di pianificazione delle attività che su esso si svolgono. Bisogna considerare infatti le molte funzioni del suolo e le diverse discipline che ne affrontano la valutazione. Nell'ambito delle scienze agroforestali, le funzioni del suolo di maggiore interesse sono la produzione di biomassa, cibo e fibre; nelle scienze ambientali l'azione di filtro e tampone tra la superficie e la falda idrica; in quelle geologiche il suolo è considerato come regolatore dei bilanci idrogeologici e per l'estrazione di materiali grezzi e acqua; in ecologia il suolo ha la funzione di habitat biologico e riserva genetica; nelle scienze dell'architettura e dell'ingegneria il suolo è valutato come base fisica per lo sviluppo degli insediamenti e delle infrastrutture; l'interazione poi tra discipline scientifiche e umanistiche conduce a riconoscere al suolo la funzione di preservazione del patrimonio culturale agricolo, paesaggistico, paleo-ecologico, paleontologico e archeologico.

Limitandosi alla valutazione dei suoli per finalità prettamente agricole e forestali, questa si realizza a ogni livello e scala geografica: dalla scala aziendale a quelle più generali. A scala aziendale la valutazione viene fatta in funzione delle esigenze dell'agricoltore, il quale poi decide, anche in base a considerazioni economiche, sociali e culturali, che destinazione dare alle proprie terre. A scala più generale, municipale, consortile, regionale o nazionale, è la collettività, diversamente definita e costituita, che adotta le forme di pianificazione del suo territorio più idonee alle finalità individuate.

LA VALUTAZIONE DEI SUOLI E DELLE TERRE NELL'AMBITO
DELLE APPLICAZIONI AGRO-FORESTALI

Le valutazioni territoriali

Le valutazioni territoriali in ambito agro-forestale hanno avuto nel tempo una serie nutrita di riferimenti internazionali, tra questi alcuni sono stati universalmente riconosciuti come principali: il sistema americano di stima di idoneità delle terre alla trasformazione irrigua (Irrigated land use, USBR, 1953), quello per la definizione della capacità d'uso delle terre (Land Capability Classification, Klingebiel, e Montgomery, 1961), successivamente rivisto per adattarlo alle regioni tropicali e ai suoli con problemi di fertilità chimica (Soil Fertility Capability Classification, Sanchez, 1982 e 2003). Vi sono stati poi i riferimenti metodologici prodotti dalla FAO, il principale dei quali *A framework for land evaluation* (FAO, 1976) è tutt'ora alla base della maggior parte dei sistemi di valutazione, mentre per applicazioni a piccola scala (nazionale o continentale) il sistema FAO di riferimento per la valutazione delle risorse naturali è la zonazione agro-ecologica (Agro-ecological Zones, AEZ, 1978a, 1978b, 1980, 1981). Nel 2007 la FAO ha aggiornato i principi di valutazione nel testo *Land evaluation, towards a revised framework* (FAO, 2007).

Da un punto di vista operativo, la struttura fondamentale del procedimento di valutazione delle terre può essere così schematizzata: i) identificazione degli utenti (amministratori, tecnici, agricoltori, consorzi, ecc.) e definizione delle finalità; ii) identificazione delle forme di utilizzazione dell'area considerata e del livello tecnologico di riferimento; iii) definizione di un'area geografica o di un'entità spaziale oggetto della valutazione; iv) definizione dei requisiti colturali, gestionali e di sostenibilità ambientale delle forme di utilizzazione individuate, attuali o potenziali; v) definizione delle proprietà fisiche dell'area considerata, che di norma sono misurabili e che risultano importanti per le forme di uso individuate; vi) definizione dei modelli per la valutazione; vii) esecuzione della valutazione, calibrazione e presentazione dei risultati.

Nel testo *Land evaluation, towards a revised framework* (FAO, 2007) vengono sostanzialmente ribaditi i concetti espressi nel framework del 1976, con l'aggiunta di alcune importanti novità. Una delle principali riguarda la necessità di sviluppare nel processo di *land evaluation* un ruolo maggiormente attivo e rilevante degli utilizzatori. Questi dovrebbero essere interpellati sia nella fase iniziale di definizione degli obiettivi, problemi e loro cause, sia in quella finale di validazione dei risultati. Viene anche illustrato il contributo che le popolazioni locali possono fornire nella cartografia dei suoli, e come

questo possa essere integrato nella classificazione internazionale. Sono quindi riportati esempi di cartografia pedologica, nei quali si combinano le conoscenze locali sul comportamento dei suoli con le loro caratteristiche genetiche e applicative indagate con metodo internazionale. Nel testo poi viene particolarmente sottolineata la necessità di accompagnare la *land evaluation* con attività di ricerca in campo agronomico, soprattutto per stabilire i requisiti colturali, e in campo biofisico, in particolare nella modellistica ambientale.

Il modello di valutazione

Il modello di valutazione dei suoli e delle terre più diffuso è quello che utilizza la logica booleana¹ e che fa riferimento a una tabella dove vengono messi a confronto i requisiti di un determinato tipo di utilizzazione con le qualità delle unità pedologica (tabella di confronto, i.e. *matching table* o *lookup table*). È questo un momento molto delicato, poiché dare un peso diverso a questa o quella qualità significa variare, anche notevolmente, l'esito della valutazione. I metodi di attribuzione delle classi di attitudine mediante l'impiego della tabella di confronto sono molti, ma il più usato è certamente quello della massima limitazione. Secondo questo metodo le unità di terre vengono classificate in base alla limitazione più severa per un determinato uso. È un metodo analogo alla "legge del minimo" postulata nel 1840 da Liebig, il quale affermava che «la crescita dei vegetali è determinata dall'elemento che è presente in quantità minore rispetto ai fabbisogni». Ampliata in tempi successivi, la legge del minimo spiega le modalità di crescita delle popolazioni negli ecosistemi: «la crescita di un individuo (o di una popolazione) in un ecosistema è determinata dal fattore ecologico che è presente in quantità minore rispetto alle necessità». Il risultato del confronto consente di individuare per ciascun suolo la qualità con il valore più basso e attribuirne la classe relativa. Ad esempio, per una certa attitudine si prendono in considerazione 5 qualità, che per un certo suolo assumono attributi s1, s2, s1, s3, s1. Essendo il valore s3 il più basso, quella unità territoriale assumerà la classe di valutazione complessiva S3. Per calibrare la correttezza delle valutazioni è indispensabile stabilire dei suoli caposaldo (*benchmark soils*) dove sono conosciute in dettaglio le caratteristiche e qualità del suolo e, allo stesso tempo, la risposta colturale o agrotecnica stimata.

¹ Logica booleana: branca della matematica che utilizza i soli numeri 1 e 0 e le sole operazioni AND, OR e NOT.

QUALITÀ E CARATTERISTICHE	CLASSI DI ATTITUDINE DEI SUOLI ALLA COLTIVAZIONE DELL'OLIVO IN PROVINCIA DI SIENA			
	S1	S2	S3	N
falda (profondità cm)	>100	>100	>100	<100
classificazione	≠ Vertisuoli	≠ Vertisuoli	≠ Vertisuoli	= Vertisuoli
conducibilità elettrica dS m-1 (1m)	<1	1-2	>2-4	>4
AWC mm/100cm	>110	110-70	69-30	<30
drenaggio interno	Buono o moderato o imperfetto se drenaggio esterno > medio, o imperfetto se drenaggio esterno = medio e scheletro ≥35%	Talvolta eccessivo o imperfetto se drenaggio esterno ≥ medio o scheletro ≥35%, o imperfetto se drenaggio esterno = medio e scheletro ≥35%	Eccessivo o imperfetto o lento se drenaggio esterno > medio e scheletro ≥35%	Lento o molto lento

Fig. 1 Esempio di tabella di confronto utilizzata per classare l'attitudine dei suoli alla coltivazione dell'olivo in provincia di Siena

Le tabelle non sono tuttavia l'unico modo per procedere al confronto fra requisiti e qualità o per stimare le qualità da caratteristiche diagnostiche. In tempi recenti la fase di confronto è sempre più spesso attuata ricorrendo a procedimenti alternativi a quelli tradizionali, quali albero delle decisioni, analisi statistica, reti neurali, modellistica, ecc. (Calzolari et al., 2006).

Le zonazioni colturali

Un esempio particolarmente significativo di studi a carattere integrato e interdisciplinare, che coinvolgono competenze riguardanti i diversi fattori ambientali (suolo e clima in primo luogo), l'ecologia, l'agrotecnica e la genetica, la trasformazione e la valutazione del prodotto, è rappresentato dalle zonazioni colturali. Le zonazioni colturali sono studi realizzati per determinare l'attitudine di differenti zone alle colture di qualità. La coltura di elezione è senz'altro la vite (Lulli et al., 1989; Scienza et al., 1990; Costantini et al.,

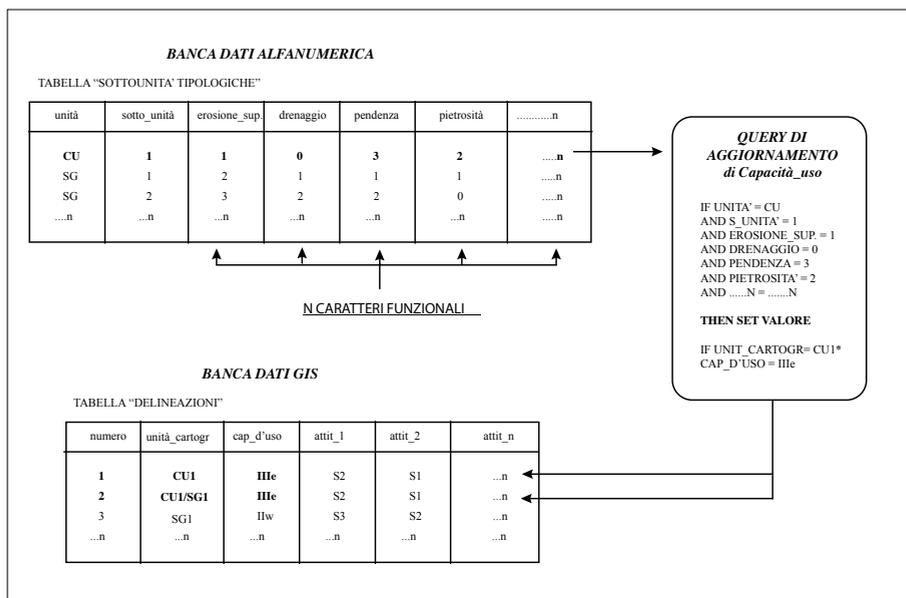


Fig. 2 Esempio di implementazione in database di procedimento di classificazione di capacità d'uso tramite logica booleana

1991; Falcetti et al., 1992; Fregoni et al., 1992), ma sono state attuate esperienze riguardanti anche altre colture, quali ad esempio la patata (Vecchio et al., 2000), le colture da frutto (Scotti, 2006), il tabacco (Costantini et al., 1992), l'olivo (Costantini et al., 2006a), il frassino da manna (Crescimanno et al., 1993), il farro e la lenticchia (Raglione et al., 2002), ma anche la produzione di formaggio (Regione Piemonte, 2002). In queste esperienze, la ricerca della vocazione ambientale a una coltura viene ottenuta facendo interagire le informazioni climatiche, pedologiche e colturali con l'espressione vegetativa, produttiva e qualitativa della coltura stessa. Si associa al concetto di "vocazione colturale" il termine di "zonazione" inteso come suddivisione di un territorio in base alle caratteristiche ecopedologiche e geografiche con verifica della risposta adattativa della coltura. La zonazione quindi è un processo complesso, è uno studio integrato e interdisciplinare che mira, mediante analisi diverse, a suddividere il territorio in funzione della vocazionalità alla coltivazione della specie in oggetto. Tramite la zonazione vengono studiati e divulgati i costituenti del cosiddetto *terroir* e la verifica dei legami che intercorrono tra i fattori così evidenziati e le tipologie di prodotto ottenibili.

Del *terroir* sono state date numerose definizioni, a partire dall'esperienza francese, spesso con riferimento esplicito alla vite (Deloire, 2005; Vaudour,

2002 e 2005). Volendo considerare tutte le colture interessate dal procedimento di zonazione, quelle cioè dove è strategica la ricerca della qualità, una possibile definizione di *terroir* è la seguente:

Terroir: «insieme di terreni le cui caratteristiche naturali - suolo, sottosuolo, rilievo e clima - costituiscono un insieme unico di fattori che conferisce al prodotto che ne deriva, attraverso le piante o gli animali, caratteristiche specifiche. L'uomo adatta le sue tecniche di produzione a queste condizioni particolari dell'ambiente naturale, al fine di esaltare il risultato qualitativo del prodotto ottenuto, conferendogli peculiarità ed esclusività».

Il *terroir* può essere cartografato e anche “costruito”, delineando terre omogenee per caratteristiche climatiche, topografiche, geologiche, pedologiche, gestionali, con riconoscimento di provenienza e tipicità attuale o potenziale. Dal punto di vista giuridico, in Francia il *terroir* è un'area ben delimitata. Proprio per tale precisa delimitazione areale, le denominazioni d'origine possono essere protette validamente solo sulla base di una conoscenza precisa del *terroir*. Più la conoscenza del *terroir* sarà scientifica e supportata da dati precisi, meno la denominazione sarà vulnerabile e meglio sarà difendibile. In tal senso si colloca anche l'attuale normativa italiana in materia di Denominazioni d'Origine (Legge n. 164/92), strumento principe per la tutela e la valorizzazione del territorio, qualificato scientificamente nelle molteplici caratteristiche che concorrono a realizzare un prodotto di qualità. Dal punto di vista economico, definire un *terroir* consente di comporre un insieme di unità in funzione delle loro potenzialità per una data coltura, di definire un modo particolare e specifico di elaborazione del prodotto, di individuare un mercato particolare. È dunque importante che la dimensione della proprietà e le modalità di raccolta siano in accordo con le possibilità del mercato, della mano d'opera e delle strutture del territorio. Si otterranno così dei prodotti ad alta specificità, che potranno usufruire di una politica agricola economica originale e concorrenziale.

In Italia, l'importanza dell'indagine pedologica nell'analisi della zonazione, in particolare viticola, venne affermata con chiarezza nei primi anni Ottanta, per essere ulteriormente sviluppata negli anni Novanta e successivi (tab. 1). Gli studi di zonazione viticola, soprattutto a scala di dettaglio e semidettaglio e nei comprensori vitivinicoli di maggiore pregio, aree DOC e DOCG, hanno fornito elementi utili alla comprensione dei fattori ambientali funzionali alla produzione di qualità per molte varietà coltivate.

La zonazione viticola è assimilabile a un processo di valutazione del ter-

PROGETTO	DOC/DOCG	SCALA	PERIODO	PUBBLICAZIONE RISULTATI
Oltrepo Pavese (PV)	Oltrepo Pavese	1:25.000	1983-1987	Scienza et al., 1990
S. Gimignano (SI)	Vernaccia di San Gimignano	1:10.000	1984-1986	Lulli et al., 1989
Forlì	Sangiovese, Albana	1:10.000	1986	Antoniazzi e Bordini, 1986
Faedo (TN)	Trentino	1:10.000	1988-1990	Falcetti, 1994
Val Tidone (PC)	Colli Piacentini	1:5.000	1989-1991	Fregoni et al., 1992
La Toscana	Chianti Classico	1:5.000	1989-1990	Costantini et al., 1990
Montepulciano (SI)	Vino Nobile di Montepulciano	1:25.000	1989-1992	Costantini et al., 1996
Isonzo (GO)	Isonzo	1:50.000	1989-1993	Michelutti et al., 1996
Franciacorta (BS)	Franciacorta	1:25.000	1992-1994	Panont et al., 1997
Valli Cembra e Adige (TN, BZ)	Trentino, Alto Adige	1:10.000	1992-1995	Falcetti et al., 1998
Marche (AN, MC)	Verdicchio dei Castelli di Jesi e di Marelica	nd	1993	Intrieri et al., 1993
Castagneto Carducci (LI)	Bolgheri	1:10.000	1993-1995	Bogoni et al., 1997
Val d'Illasi (VR)	Soave, Valpolicella	1:25.000	1993-1995	Failla e Fiorini, 1998
Barolo (CN)	Barolo	1:25.000	1994-1996	Regione Piemonte, 2000
Trentino (TN)	Trentino	1:10.000	1995	Bertamini et al., 1995
Colli Euganei e Piave (PD, TV, VE)	Colli Euganei, Piave	1:25.000	1995-1996	Falcetti e Camprostrini, 1996a, b, c
Grave (PN)	Grave del Friuli	1:50.000	1995-1997	Colugnati et al., 1997
Val Lagarina (TN)	Trentino	1:20.000	1994-1996	Porro et al., 2002
Barbera (AT, AL)	Barbera d'Asti	1:25.000	1997-1998	Regione Piemonte, 2001
Cirò (Kr)	Cirò	1:25.000	1998-1999	ARSSA, 2002
Conseglano (TV)	Prosecco	1:10.000	2000	Tomasi et al., 2004
Provincia di Arezzo	Chianti, Cortona, Valdichiana	1:50.000	1999-2001	Scienza et al., 2003
Provincia di Siena	Varie a vitigno di riferimento Sangiovese	1:100.000	1999-2000 2002-2003	Costantini e Sulli, 2000; Costantini et al., 2001; Costantini et al., 2006a
Valle Telesina (BN)	Falghina e Aglianico	1:25.000	2004	Bonfante et al., 2005

Tab. 1 *Principali zonazioni viticole pubblicate in Italia*

ritorio attraverso una stima del suo comportamento quando viene usato per fini viticoli. La stima è tanto più precisa quanto maggiori e approfondite sono le conoscenze dei fattori in gioco: nel nostro caso principalmente il clima, il suolo, la fisiologia della vite, le tecniche agronomiche. È da sottolineare che il procedimento di stima non può prescindere dalle finalità della valutazione e dalla scala alla quale vengono effettuati i rilevamenti: aziendale, consortile, provinciale, ecc. Per ogni grandezza di scala adottata, cambiano le finalità e possono essere diversi anche i parametri utilizzati per l'indagine.

Per la zonazione aziendale, gli obiettivi sono volti a massimizzare l'interazione tra i vitigni e le diverse condizioni ambientali presenti all'interno dell'azienda. Così le informazioni di cui l'azienda necessita si rivolgono alla corretta dislocazione varietale nei diversi siti aziendali, alla scelta dei portinnesti, a una adeguata scelta delle densità di impianto e dei carichi produttivi in relazione alle potenzialità dei luoghi, a una appropriata data di vendemmia, a una programmata differenziazione enologica delle uve che giungono in cantina, ecc. Tutti questi sono esempi e risultati di un conoscere approfondito del proprio *terroir*, di un impiego sapiente e moderno delle proprie risorse, per un risultato finale programmato e non solo auspicabile.

Nel caso della valutazione a scala comprensoriale, le finalità invece sono individuate nella programmazione territoriale, ad esempio, nello studio delle possibilità di estensione della viticoltura nel comprensorio di competenza, nonché nella realizzazione dei vari Piani territoriali di coordinamento e dei sistemi informativi territoriali.

La zonazione, infatti, può essere anche uno strumento per la programmazione economica, in quanto permette di valutare dove è necessario investire, sia per migliorare la conoscenza delle aree ancora poco conosciute, sia per incentivare le scelte colturali coerenti con le attitudini accertate, sia per disincentivare (o almeno sottoporre a più accurate valutazioni) le scelte colturali contraddittorie. È stato ampiamente dimostrato però che il controllo dei fattori ambientali influenti la qualità del prodotto, ancor più della quantità, è possibile solo al dettaglio e al grande dettaglio, e che le capacità agrotecniche e di trasformazione delle imprese hanno un ruolo importante sul risultato finale (Costantini e Campostrini, 1996; Lebon et al., 1997; Champagnol, 1997). Da ciò deriva la sottolineatura che dal risultato della valutazione del territorio non è in alcun modo possibile dare una qualifica positiva o negativa alle aziende produttrici.

Un'area potenzialmente "vocata" è quindi un ambito territoriale dove vi sia una buona probabilità di incontrare suoli che producano nella maggior parte degli anni in modo soddisfacente, con un buon risultato qualitativo,

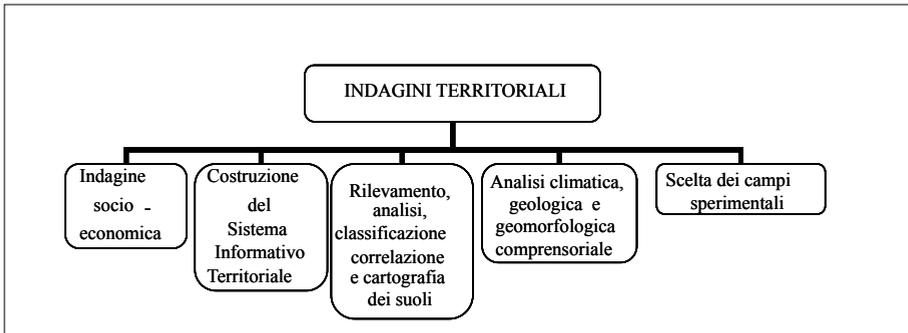


Fig. 3 Le indagini territoriali nel metodo di zonazione culturale

senza necessità di interventi agrotecnici particolarmente onerosi e senza rischio geomorfologico e pregiudizio per la conservazione del suolo.

Per quanto detto in precedenza, nel caso di un comprensorio vitivinicolo il processo di valutazione del territorio si configura come una stima dell'attitudine dei terreni alla produzione di una coltura di qualità (*land suitability* per la qualità dei prodotti). La stima viene svolta sulla base delle caratteristiche fisiche permanenti del territorio stesso; uno schema metodologico è riportato nelle figure 3, 4 e 5. In ogni caso, oltre alle finalità specifiche, il procedimento di valutazione dovrà tenere presente il principio dell'uso sostenibile del territorio, cioè di un uso che non determini un deterioramento severo o permanente nelle sue qualità; in altre parole, è necessario uno studio dell'impatto ambientale dei sistemi di impianto delle colture. Infatti, poiché ogni intervento agricolo porta a un'alterazione dell'ambiente, sia esso naturale o già antropizzato, è importante che durante la valutazione siano considerate le conseguenze di tali interventi, in modo da declassare i terreni che possano subire gravi fenomeni di degrado con il tipo di uso previsto.

Operativamente, la zonazione inizia con un'indagine socio-economica preliminare, segue poi la caratterizzazione pedologica, l'acquisizione dei dati climatici pluriennali per le stazioni già disponibili nell'area di studio e la fase critica della scelta degli appezzamenti sperimentali.

La scelta degli appezzamenti sperimentali è strategica, in quanto determina la rilevanza e la rappresentatività dei risultati che verranno ottenuti. Tale scelta deve essere compiuta solo dopo il rilevamento di un campione il più ampio possibile dei campi coltivati con la coltura di riferimento presenti nel comprensorio, cercando di controllare le variabili pedologiche, climatiche e agrotecniche. Di solito è necessario esaminare molti possibili appezzamenti prima di scegliere quelli adatti. È buona norma, poi, prevedere una serie di

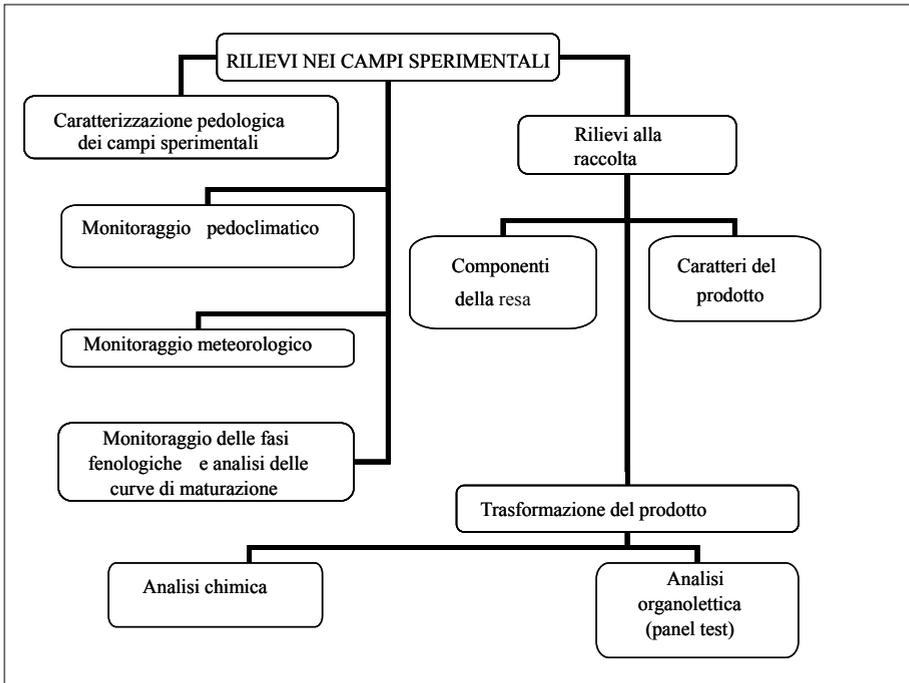


Fig. 4 I rilievi nei campi sperimentali

rilievi pluriennali (almeno 3-4 anni) per arrivare alla stima dell'interazione tra coltura e ambiente.

Segue l'individuazione dei requisiti colturali, cioè delle relazioni funzionali del suolo e dell'ambiente con la risposta quantitativa e qualitativa della pianta. L'individuazione dei requisiti colturali è una delle fasi più importanti nel procedimento di valutazione. Per quanto riguarda il procedimento di valutazione della vocazionalità del territorio per ogni specifica coltura, varietà e tipologia di prodotto desiderato, le esperienze di zonazione hanno indicato che ogni singola situazione ambientale va valutata in termini potenziali rispetto al modello agronomico di riferimento e alle condizioni ambientali che ne permettono la realizzazione, cioè il risultato merceologico (ad esempio enologico) corrisponde a un modello di crescita e maturazione della pianta determinato da pratiche agricole, clima e condizioni del suolo (Van Leeuwen e Seguin, 1997; Costantini, 1998). I fattori ambientali infatti influenzano l'equilibrio fisiologico di ciascuna varietà, il quale regola l'espressione del genotipo. La valutazione dei suoli quindi deve essere effettuata in relazione alla distanza che intercorre tra le

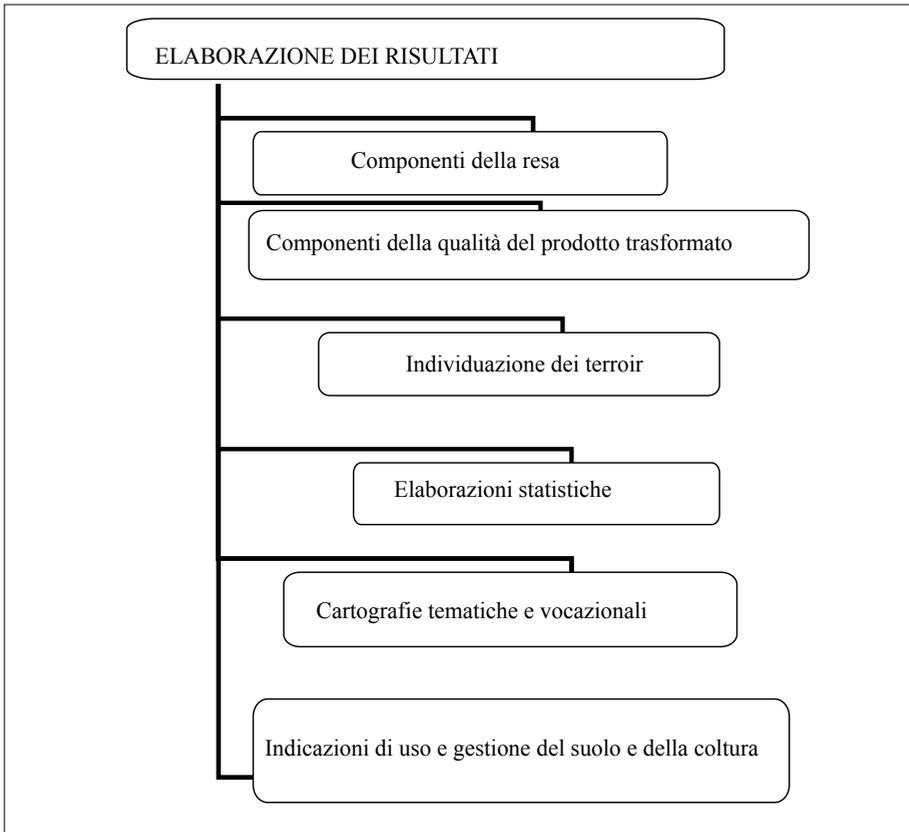


Fig. 5 *L'elaborazione dei risultati*

condizioni specifiche e quelle di riferimento, in altre parole, in funzione delle limitazioni che le condizioni naturali oppongono al raggiungimento dell'obiettivo agronomico. Il vitigno Sangiovese, per esempio, nei suoli più fertili, quelli cioè in cui mancano limitazioni permanenti, produce risultati enologici insoddisfacenti, a causa dell'eccessiva produttività. Risultati migliori possono essere ottenuti in suoli piuttosto fertili, ma con delle limitazioni pedologiche che inducono uno stress moderato. I suoli poco fertili, ad esempio, quelli severamente erosi, producono sempre meno che i più conservati, ma forniscono risultati molto variabili in funzione dell'andamento climatico dell'anno (Campostrini e Costantini, 1996).

Nel caso del Sangiovese, il modello viticolo di riferimento ha preso in esame il comportamento vegeto-produttivo della pianta con obiettivi enologici rivolti alla qualità del vino. Per la realizzazione di tale modello sono stati presi in esame diversi parametri relativi alla vigoria espressa dalle

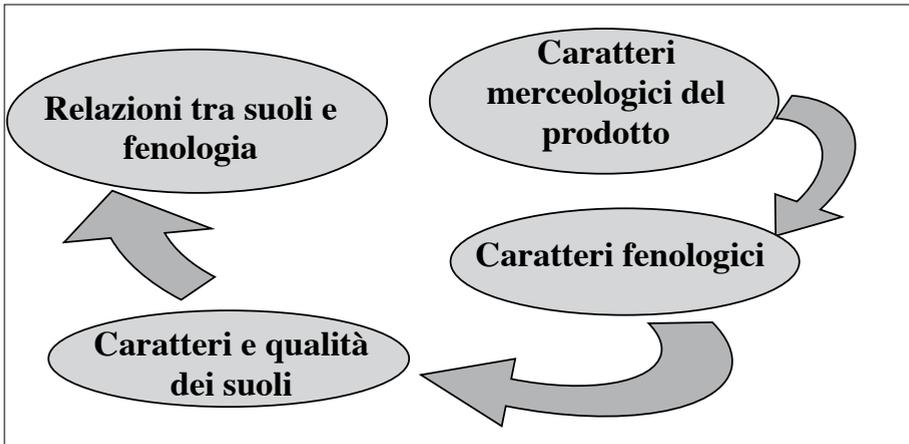


Fig. 6 Fasi sperimentali nel procedimento di individuazione dei requisiti colturali

piante (peso del legno prodotto nell'annata), alla fenologia (con particolare riferimento alle fasi di invaiatura e maturazione) e agli aspetti produttivi in riferimento alla quantità e soprattutto alla qualità dell'uva (contenuti glucidici e acidi, sostanze coloranti). L'elaborazione dei dati ha previsto la ricerca dei parametri viticoli statisticamente correlati ai più importanti parametri che contraddistinguono la qualità del vino e l'individuazione dei caratteri pedologici a loro volta significativamente correlati ai parametri viticoli. I caratteri pedologici così individuati (caratteri e qualità funzionali) sono stati impiegati per la costruzione di un modello generale che ha fornito una scala di attitudine alla coltivazione del Sangiovese (Costantini et al., 2006b). I rilievi nei campi sperimentali e le elaborazioni effettuate, porteranno così all'identificazione dei *terroir*, unità spaziali di funzionamento omogeneo della coltura. Al loro interno tutte le piante avranno una risposta agronomica e qualitativa paragonabile e l'agricoltore potrà mettere in atto le tecniche colturali ottimali.

Infine viene realizzata la cartografia di attitudine che, nel caso dell'individuazione dei *terroir* aziendali, sarà prodotta a scala di dettaglio o grande dettaglio. In figura 7 invece è riportato un esempio a scala di riconoscimento, relativo al vitigno Sangiovese nella provincia di Siena. La diversa connotazione delle aree indica che, dai dati ottenuti, risultano presenti in esse suoli a diversa vocazione prevalente. Le carte attitudinali esprimono quindi una graduatoria di aree a diversa convenienza di utilizzazione, corrispondente a una minore o maggiore probabilità di trovare terreni con una determinata attitudine.

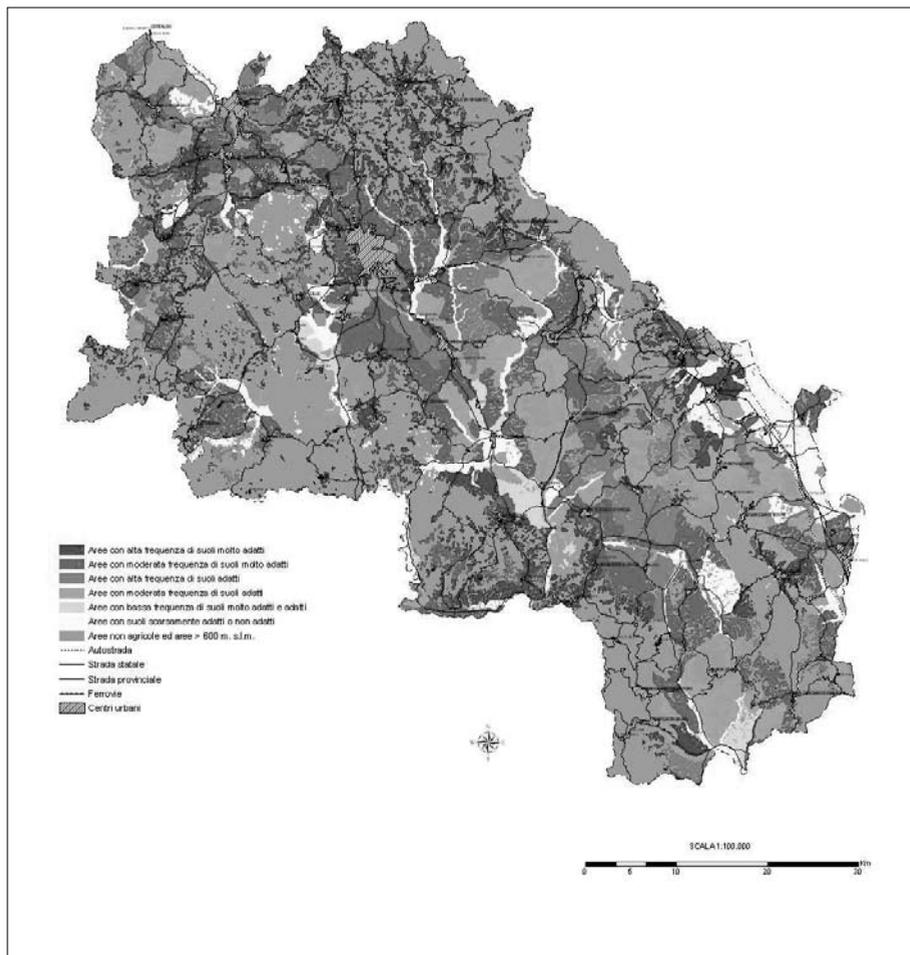


Fig. 7 *Attitudine dei suoli al vitigno Sangiovese nella provincia di Siena*

Oltre alle carte attitudinali, che sono una visione di sintesi utile soprattutto a fini programmatori, possono essere prodotte a partire dai dati pedologici, soprattutto alle scale di dettaglio, una serie di carte che illustrano i caratteri che interessano la gestione agronomica del vigneto, o che individuano alcune importanti qualità delle terre. Nel primo caso, ad esempio: pietrosità del suolo, contenuto in scheletro, drenaggio interno, salinità, profondità utile per le radici, caratteri vertici, acqua disponibile per le piante, pH; nel secondo: difficoltà di gestione agrotecnica, carta della sostenibilità ambientale, carta dei paesaggi viticoli, capacità depurativa dei suoli (Costantini et al., 2006a; Morlat, 2001; White, 2003; Vaudour, 2005).

AVANZAMENTI METODOLOGICI IN ALCUNI PUNTI CHIAVE DEL PROCESSO DI VALUTAZIONE DEI SUOLI E DELLE TERRE

La spazializzazione della valutazione

La spazializzazione della valutazione è tradizionalmente ottenuta sulla base della carta pedologica. L'oggetto della valutazione può essere l'unità cartografica o la tipologia di suolo. Nel primo caso si presuppone una corrispondenza tra suolo e unità cartografica, nel secondo i suoli caposaldo o i suoli modali delle tipologie sono valutati e il risultato della valutazione viene confrontato con la presenza singola o associata delle tipologie nelle unità cartografiche. Vi saranno dunque delle unità cartografiche di tipo S1, oppure S1 e S2, oppure S1 e S3 ecc., con una certa percentuale per ogni classe. Alternativamente, anziché valutare il solo profilo caposaldo o il profilo modale della tipologia, è possibile valutare tutte le singole osservazioni relative alla tipologia presenti nel *database* e stabilire la classe modale della tipologia o, eventualmente, le classi più rappresentative, per poi procedere come descritto.

Recentemente, sono stati proposti metodi di spazializzazione diversi dalla carta pedologica in senso classico (McBratney e De Gruijter, 1992). L'uso di tecniche di analisi spaziale, come la geostatistica, e la disponibilità di strati informativi continui, come le immagini da satellite o modelli digitali del terreno, consentono di caratterizzare in continuo un determinato tratto di terra per alcuni attributi e quindi, in una rappresentazione di tipo raster, di effettuare la valutazione per pixel.

La spazializzazione geostatistica si basa sul principio che una proprietà del suolo sconosciuta può essere stimata attraverso la relazione che essa ha con altre conosciute, poste nello stesso luogo (McBratney et al., 2003). I metodi geostatistici che sono stati messi a punto in questi ultimi anni sono innumerevoli. Alcuni sviluppi recenti delle tecniche geostatistiche tendono a combinare l'osservazione delle variazioni pedologiche discontinue con la modellazione di quelle continue, in modo da fornire indicazioni sull'incertezza del valore di una caratteristica di un suolo all'interno del suo pedopaesaggio (Lagacherie e Voltz, 2000). Per un'efficace trattazione di questo approccio si rimanda a Dobos et al. (2006).

La diffusione dei GIS sta gradualmente cambiando la metodologia di valutazione delle terre. Da una valutazione che utilizzava essenzialmente la tipologia di suolo o l'unità cartografica come unico contenitore di informazioni e unità di valutazione, negli ultimi anni si sta passando a un uso integrato di banche dati geografiche, tra cui quella pedologica. L'informazione chiesta

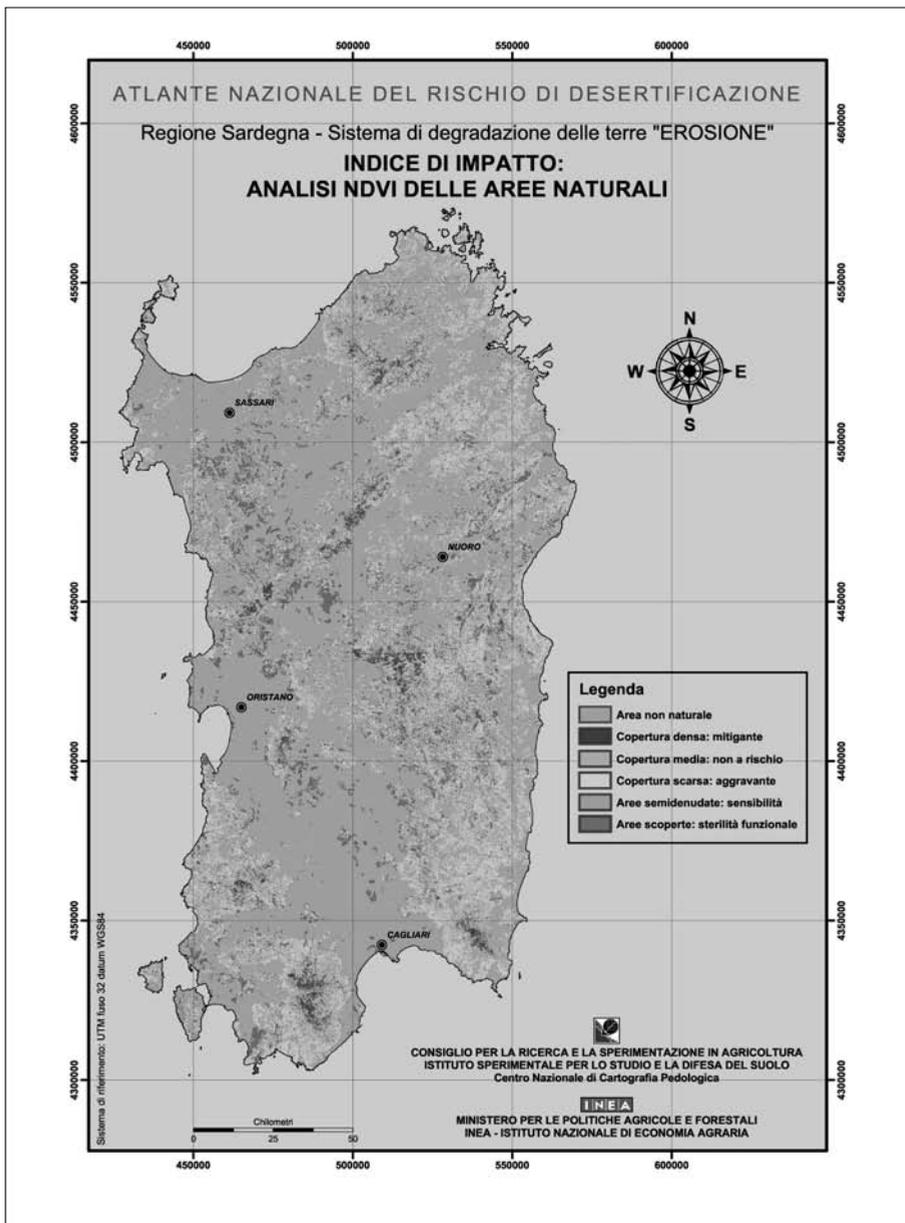


Fig. 8 Esempio di spazializzazione per rilevazione diretta di variabile indicatrice. Elaborazione dell'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) su immagine satellitare, per valutare il grado di copertura del suolo nelle aree "naturali" (vegetazione forestale e arbustiva, superfici a pascolo e a prato) e il relativo rischio di degradazione del suolo per erosione

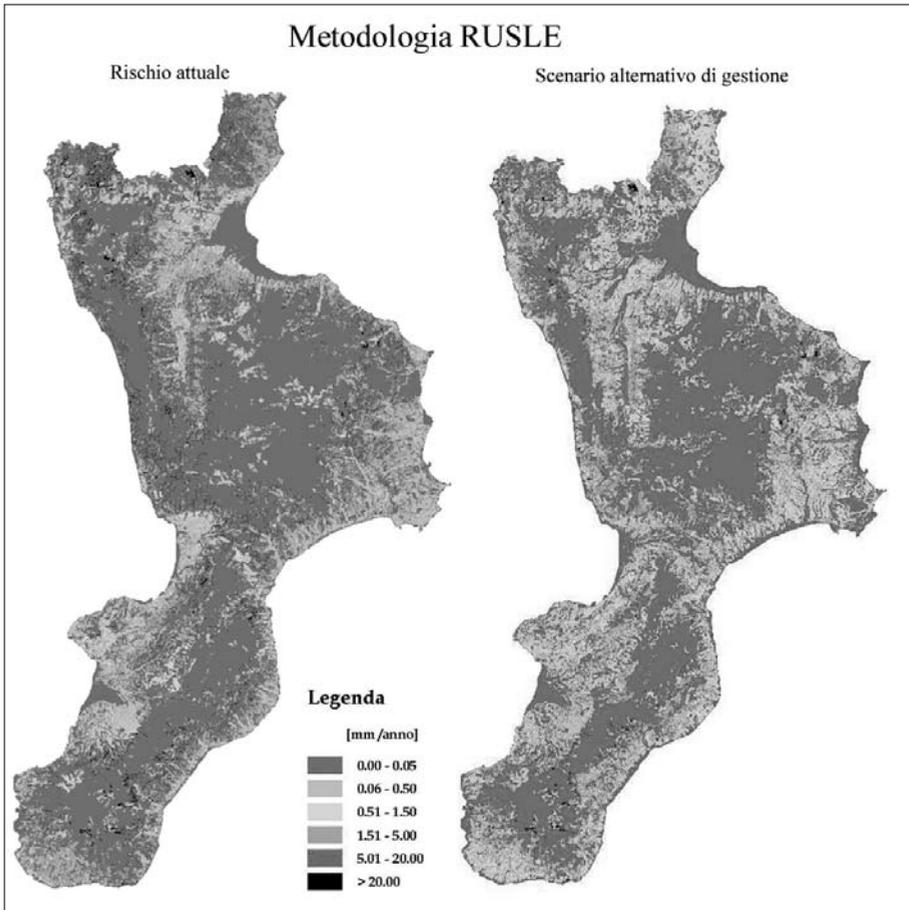


Fig. 9 Esempio di spazializzazione tramite pixel per la valutazione del rischio di erosione. Al pixel sono state associate le informazioni necessarie per applicare il modello RUSLE, ricavate da vari strati informativi, tra cui quello pedologico

alla banca dati pedologica riguarda solo alcuni caratteri e qualità del suolo, ricavati essenzialmente dalla descrizione e analisi del profilo, che vengono messi in relazione agli aspetti funzionali di carattere morfologico, geologico, idrologico, di uso del suolo, ecc. In questo modo il processo di valutazione ha come oggetto il pixel, a cui sono associate le informazioni ricavate dai vari strati informativi originali (ad esempio: pendenza, quota e drenaggio dal DEM; risposta spettrale nelle varie lunghezze d'onda dal satellite; acqua disponibile, profondità, pietrosità dalla banca dati dei suoli; substrato dalla banca dati litologica; precipitazione, temperatura e loro elaborazioni dalle spazializ-

zazioni climatiche ecc.). Un esempio di spazializzazione tramite pixel per la valutazione del rischio di erosione con il modello *RUSLE* è stato realizzato in regione Calabria (ARSSA, 2005; fig. 9).

I vantaggi di questo approccio metodologico sono: una più dettagliata spazializzazione della valutazione; l'automazione delle procedure di valutazione; la possibilità di modificare i parametri di valutazione e verificare immediatamente il risultato; l'integrazione di molti strati informativi. Vi sono da considerare, però, anche i pericoli insiti in questo metodo, relativi in particolare alla coerenza tra la scala nominale dei tematismi utilizzati, il loro contenuto informativo e la scala di riferimento della valutazione. Se, ad esempio, una certa valutazione richiede un'uscita cartografica di un certo dettaglio, è necessario che anche le qualità funzionali delle terre siano stabilite a quel dettaglio. Utilizzando un *DEM* ad alta risoluzione e, invece, un'informazione pedologica o climatica al riconoscimento, si otterrà una valutazione solo apparentemente dettagliata. Vi è poi il problema della propagazione dell'errore. Ogni tematismo porta con sé una serie di errori tipologici e topologici (ad esempio, di misurazione, di elaborazione, di spazializzazione) che viene moltiplicata per gli errori di ogni singolo tematismo. Per cui più strati informativi vengono utilizzati, e maggiore è il loro grado di approssimazione, più grande sarà l'errore nella valutazione. Poiché la propagazione dell'errore è in genere esponenziale, si può intendere facilmente quanto sia importante un'oculata scelta dei tematismi da utilizzare.

La valutazione delle terre tramite *GIS* può comunque avere come oggetto anche il poligono, invece che il pixel. Ogni singola delimitazione presente nel *GIS*, infatti, può avere una diversa distribuzione delle tipologie pedologiche al suo interno, quindi una combinazione più o meno articolata di classi di valutazione. In tal caso è possibile fornire una valutazione probabilistica della presenza delle diverse classi di attitudine all'interno di ogni poligono (fig. 7).

L'esplicitazione dell'incertezza nell'indagine pedologica e nella valutazione delle terre

Le carte d'attitudine realizzate applicando tabelle di valutazione come quella sopra riportata generalmente non forniscono informazioni sull'affidabilità della valutazione stessa. Il giudizio del lettore si basa soprattutto sulla qualità dell'approccio metodologico e sulla quantità di dati trattati. Rendere esplicita e facile da leggere l'incertezza dell'informazione fornita è invece importante per diversi motivi, tra cui i principali sono il rendere consapevoli gli utilizzatori dei limiti di uso corretto della cartografia e l'identificazione delle aree

dove sono necessarie ulteriori indagini. Le fonti di incertezza possono essere ricondotte sostanzialmente a:

- i. incertezza nei dati, legata a problemi di campionamento e misura;
- ii. estensione del dato puntiforme a dato areale;
- iii. incertezza del modello di valutazione.

Vi sono diversi metodi che possono essere utilizzati per esplicitare l'incertezza. Alcuni fanno riferimento al concetto di "purezza" dell'informazione, cioè esprimono la percentuale di inclusioni di suoli diversi in ogni unità cartografica; altri si riferiscono alla "confidenza" della valutazione. Questa può essere riferita al modello di valutazione adottato o alla presenza di prove sperimentali specifiche su suoli caposaldo. Altri metodi esprimono in forma numerica (statistica) o di giudizio di esperto (classi) la "affidabilità" della spazializzazione o del legame suolo-paesaggio (King e Le Bas, 1996; Napoli et al., 1999; Costantini e Sulli, 2000). Tali criteri, che producono cartografie associate alla valutazione, rappresentano degli strumenti atti a definire l'attendibilità informativa della cartografia prodotta. Numerosi esempi di realizzazione di cartografie di "confidenza" e "purezza" della valutazione sono riportati nel *database* pedologico europeo (<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/>).

Indici di diversità

Per esplicitare la complessità dei suoli e l'incertezza nella valutazione è anche possibile utilizzare metodi comunemente impiegati negli studi ecologici, che quantificano la diversità presente nel territorio indagato (Costantini et al., 2002). L'indice di diversità di Shannon, in particolare, può essere utilizzato per quantificare la complessità pedologica e paesaggistica di un'area.

$$H' = \sum_{i=1}^n p_i * \ln(p_i)$$

dove H' è il valore dell'indice, p_i è la proporzione di individui i nell'area studiata; p_i è calcolato come n_i / N , con n_i = numero di individui i e N numero totale di individui; p_i può essere la percentuale di area occupata dall'individuo i (suolo oppure paesaggio a seconda del caso).

L'indice d'uniformità ($E = \text{evenness}$) è derivato da quello di Shannon e può variare da 0 (massima uguaglianza) a 1 (massima diversità):

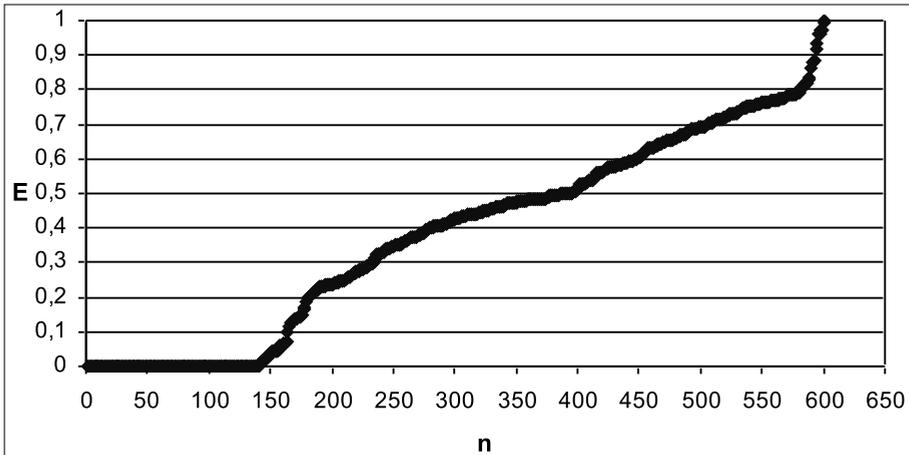


Fig. 10 *Diversità di valutazione nei poligoni della carta d'attitudine dei suoli all'olivicultura in provincia di Siena. p_i = classe/poligono ($km^2 km^{-2}$); n = valore cumulato di numero di poligoni, n totale = 601*

$$E = H'/H \max = H'/\ln S$$

dove S è la numerosità della popolazione.

Nella figura 10 l'indice d'uniformità è stato utilizzato per valutare la diversità di valutazione in ogni poligono relativo alla valutazione delle terre di Siena all'olivicultura. Come risulta dalla figura, la distribuzione dei valori dell'indice mostra che vi è solo un piccolo gruppo di poligoni omogenei, cioè con suoli tutti della stessa attitudine, mentre la maggior parte dei poligoni della carta racchiude suoli a diversa attitudine. Il valore medio dell'indice è comunque piuttosto basso ($E = 0,365$), ciò significa che solo relativamente pochi poligoni hanno suoli di tre o quattro classi diverse e che, quando sono presenti suoli a diversa attitudine, vi è comunque un suolo territorialmente prevalente.

Validazione con dati indipendenti

Nell'esperienza di Siena è stata anche realizzata una validazione della valutazione, cioè una verifica a posteriori con dati del tutto indipendenti da quelli utilizzati per la valutazione stessa. Da notare che in questo caso la validazione riferisce della bontà del modello di indagine pedologica e della sua spazializzazione, non della tabella di confronto utilizzata per stimare l'attitudine in esame, nel caso di studio, la lavorabilità dei suoli.

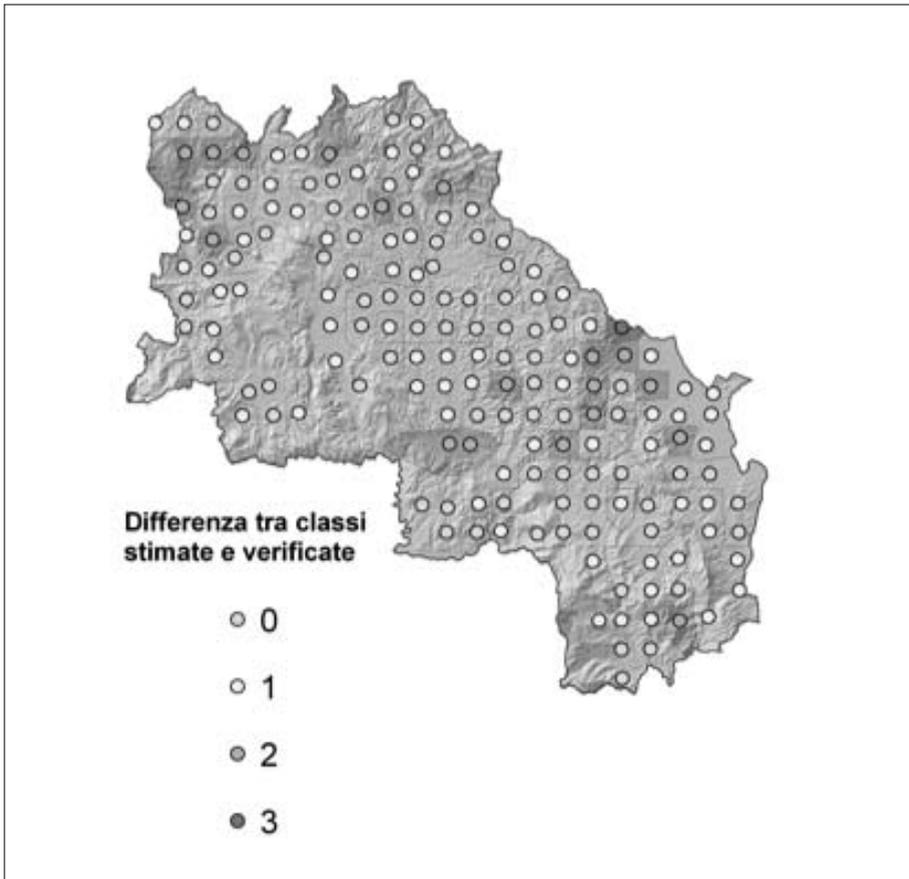


Fig. 11 *Differenza tra classi di lavorabilità dei suoli in provincia di Siena stimate e verificate. La lavorabilità è stata stimata tramite indagine pedologica a scala 1:100.000, oppure verificata per mezzo di dati indipendenti da quelli utilizzati per la stima, e cioè con un rilevamento a griglia delle aree agricole, realizzato successivamente alla stima. Spazializzazione dei punti tramite il metodo di Voronoi (Nelson et al., 2004)*

Un rilevamento a griglia di 170 trivellate è stato realizzato nella parte interessata dalla valutazione, circa 2.000 km², escludendo corpi idrici, aree forestali ed edificate. In ogni sito sono stati raccolti i dati necessari per valutare la lavorabilità dei suoli, per confrontarla con quella stimata in precedenza tramite un rilevamento pedologico a scala 1:100.000 (Costantini et al., 2006a). Sono state considerate quattro classi di accordo, in funzione della distanza tra le due valutazioni e cioè, 0 = identica valutazione; 1 = differenza di una classe tra i due approcci; 2 = differenza di due classi; 3 = differenza di tre classi (fig. 11).

La valutazione dell'accordo tra classi stimate e verificate è stato sottoposto ad analisi statistica tramite il test di "Kappa accuracy", che permette di correggere il grado di corrispondenza considerando la possibilità che l'accordo sia solo casuale (Jenness and Wynne, 2005). Secondo questo metodo, la "Overall Accuracy" è semplicemente il numero di casi corretti diviso il numero totale di punti. La "Overall Specificity" è la capacità del modello di stima di evitare che un punto sia classificato come X se in realtà non è X. Il valore di Kappa è la misura dell'accuratezza delle misure stimate corretta considerando la corrispondenza casuale. Il valore P riflette la probabilità che il modello funzioni meglio che una distribuzione casuale nel predire la distribuzione nel territorio delle classi di lavorabilità dei suoli.

Il risultato della validazione ha fornito i seguenti risultati: la Overall Accuracy è 0,59, la Overall Specificity è di 0,86; il valore di Kappa 0,36, con $P < 0,00001$. Il test statistico indica quindi che la corrispondenza generale è abbastanza buona, così come la capacità del modello di evitare di classificare erroneamente i punti, ma l'accuratezza, corretta per la casualità, è piuttosto bassa, anche se molto significativa. Evidentemente la variabilità del territorio, soprattutto in alcune aree, è maggiore di quanto l'indagine pedologica è riuscita a caratterizzare.

CONCLUSIONI

La breve e certamente incompleta disamina sopra riportata è però sufficiente a dimostrare come la valutazione dei suoli e delle terre sia una disciplina che, nonostante sia già molto articolata e complessa, abbia ancora ampi margini di sviluppo. Nella realtà agro-forestale italiana, in particolare, dove sono importanti la valutazione dei suoli per le colture di qualità e la zonazione colturale, vi è la necessità di una continua ricerca dei caratteri e qualità dei suoli e delle terre funzionali alla qualità dei prodotti e alle loro proprietà salutistiche. Ulteriori avanzamenti sono anche necessari nei metodi di spazializzazione e di esplicitazione dell'incertezza nell'indagine pedologica e nella valutazione delle terre.

Altrettanto importanti poi sono gli studi di valutazione delle terre per l'applicazione delle tematiche agro-ambientali previste in sede nazionale ed europea (tra le altre, direttiva nitrati, regolamenti per lo spandimento dei reflui e dei fanghi, "condizionalità"), che in questa sede non è stato possibile trattare. Per avere informazioni su tali esperienze, e su altre ancora, si rimanda al manuale dei metodi di valutazione dei suoli e delle

terre, pubblicato di recente dall'Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, in collaborazione con il Consiglio per la ricerca e sperimentazione in agricoltura e la Società Italiana della Scienza del Suolo (Costantini, 2006). Il manuale, disponibile su richiesta presso il Centro di agrobiologia e pedologia di Firenze, offre un'ampia raccolta di metodi di valutazione dei suoli e delle terre in campo agricolo, forestale, geologico, naturalistico, ambientale e per la programmazione territoriale.

RIASSUNTO

La valutazione dei suoli e delle terre è una disciplina afferente a varie scienze, tra cui le scienze agrarie e le scienze del suolo che, nella sua versione moderna, si è sviluppata nella seconda metà del secolo scorso. In Italia la disciplina sta ricevendo un importante impulso nel settore agro-forestale sia dagli studi di zonazione culturale sia a seguito delle direttive agro-ambientali nazionali ed europee. Nel presente lavoro si ripercorrono brevemente la storia e i fondamenti della disciplina e si forniscono alcuni esempi e riferimenti bibliografici su alcune esperienze recenti. Particolare attenzione è rivolta al tema della zonazione viticola, ai metodi di spazializzazione dell'informazione pedologica e ai metodi di esplicitazione dell'incertezza presente nella cartografia pedologica e nella valutazione delle terre.

ABSTRACT

Soil and land evaluation is a discipline belonging to different sciences, among them, Agricultural and Soil Sciences, which has developed, in its modern version, during the second half of the last century. In Italy, the discipline has received an important push in the agri-forest sector from both studies on crop zoning and as a consequence of the national and European agri-environmental directives. In this work, the history and the fundamentals of the discipline are briefly retraced, some recent examples are illustrated, and a bibliography is reported. A particular attention is given to the issue of viticultural zoning, to the methods of soil information spatialization, and to the methods that can be used to make explicit the uncertainty of soil mapping and land evaluation.

BIBLIOGRAFIA

- ANTONIAZZI A., BORDINI R. (1986): *Indagine sulle vocazioni viticole della provincia di Forlì*, Camera di Commercio I.A.A., Forlì.
- ARSSA (2002): *Carta dei suoli e zonazione viticola del Cirò DOC*, Regione Calabria, pp. 229.

- ARSSA (2005): *Carta del rischio di erosione attuale e potenziale della regione Calabria. Scala 1:250.000*, [Online] <http://151.99.144.4/regcal/arssa/carte/condizionalita/report.pdf>
- BERTAMINI M., BAZZANELLA G., MESCALCHIN E. (1995): *Viticultura ed ambiente trentino. Primi riscontri di un progetto sperimentale-dimostrativo in aree marginali*, Provincia autonoma di Trento, pp. 134.
- BOGONI M., LIZIO BRUNO F., MACCARONE G., NICOLINI G., SCIENZA A. (1997): *Interaction among grapevine cultivars (Sangiovese, Cabernet Sauvignon and Merlot) and site of cultivation in Bolgheri (Tuscany)*, Colloque international *Les terroirs viticoles*, 17-18 juillet 1996, Angers, pp. 423-431.
- BONFANTE A., BASILE A., BUONANNO M., MANNA P., TERRIBILE F. (2005): *Un esempio metodologico di utilizzo della modellistica idrologica e delle procedure GIS nella zonazione viticola*, «Boll. Soc. It. Sc. Suolo», (SISS), LIV, 2005, 1-2, pp. 135-143.
- CALZOLARI C., COSTANTINI E.A.C., VENUTI L. (2006): *La valutazione dei suoli e delle terre: storia, definizioni e concetti*, in *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Ministero Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale, Costantini, E.A.C. (Ed.), Cantagalli, Siena, pp. 3-52.
- CAMPOSTRINI F., COSTANTINI E.A.C. (1996): *Gestione del vigneto Nobile di Montepulciano per la valorizzazione delle risorse naturali del territorio*, in *Vino Nobile di Montepulciano: zonazione e valorizzazione delle risorse naturali del territorio*, a cura di F. Campostrini ed E. Costantini. Regione Toscana, Firenze, pp.110-120.
- CHAMPAGNOL F. (1997): *Caractéristiques édaphiques et potentialités qualitatives des terroirs du vignoble languedocien*, Colloque international *Les terroirs viticoles*, 17-18 juillet 1996, Angers, pp. 259-263.
- COLUGNATI G., MICHELUTTI G., BELLANTONE P., BULFONI D., ZANELLI F. (1997): *Vine environment interaction as a method for land viticultural evaluation. An experience in Friuli Venezia Giulia (N-E of Italy)*, Colloque international *Les terroirs viticoles*, Angers, 17-18 juillet 1996, pp. 183-193.
- COSTANTINI E.A.C. (1998): *Le analisi fisiche nella definizione della qualità dei suoli per la valutazione del territorio*, La normalizzazione dei metodi di analisi fisica del suolo, «I Georgofili. Quaderni», III, 1998, Firenze, pp. 33-57.
- COSTANTINI E.A.C. (ED.) (2006): *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.
- COSTANTINI E.A.C., BARBETTI R., BUCELLI P., CIMATO A., FRANCHINI E., L'ABATE G., PELLEGRINI S., STORCHI P., VIGNOZZI N. (2006): *Zonazione viticola ed olivicola della provincia di Siena*, Grafiche Boccacci Editore, Colle val d'Elsa (SI), pp. 224.
- COSTANTINI E.A.C., BARBETTI R., BUCELLI P., L'ABATE G., LELLI L., PELLEGRINI S., STORCHI P., (2006b): *Land Peculiarities of the Vine Cultivation Areas in the Province of Siena (Italy), with Indications concerning the Viticultural and Oenological Results of Sangiovese Vine*, «Boll. Soc. Geol. It.», VI, Società Geologica Italiana, Roma, pp. 147-159
- COSTANTINI E.A.C., BARBETTI R., RIGHINI G. (2002): *Managing the Uncertainty in Soil Mapping and Land Evaluation in Areas of High Pedodiversity*. Methods and Strategies Applied in the Province of Siena (Central Italy), Acts of the Int. Sym. On Soils with Med. type of Climate, CIHEAM IAMB, Bari, pp. 45-56.
- COSTANTINI E.A.C., BAZZOZZI P., PELLEGRINI S., STORCHI P. (2001): *Dove è possibile estendere la coltivazione ecocompatibile del Sangiovese nella provincia di Siena?*, Simposio Intern. *Il Sangiovese*, 15-17 febbraio 2000, Firenze, pp.185-194.

- COSTANTINI E.A.C., CAMPOSTRINI F. (1996): *Vino Nobile di Montepulciano: zonazione e valorizzazione delle risorse naturali del territorio*, in *Vino Nobile di Montepulciano: zonazione e valorizzazione delle risorse naturali del territorio* a cura di F. Campostrini ed E. Costantini. Regione Toscana, Firenze, pp. 9-14.
- COSTANTINI E.A.C., CAMPOSTRINI F., ARCARA P.G., CHERUBINI P., STORCHI P., PIERUCCI M. (1996): *Soil and climate functional characters for grape ripening and wine quality of "Vino Nobile di Montepulciano"*, «Acta Hort.», 427, ISHS, pp. 45-55.
- COSTANTINI E.A.C., CASTELLI F., CASTALDINI, D., RODOLFI G., NAPOLI R., PANINI T., BRAGATO G., PELLEGRINI S., ARCARA P.G., CHERUBINI P., SPALLACCI P., BIDINI D., SIMONCINI S., (1992): *Valutazione del territorio per la produzione di tabacco di tipo Virginia Bright: uno studio interdisciplinare nel comprensorio veronese (Italia settentrionale)*, Supp. Annali ISSDS, xx, pp. 157.
- COSTANTINI E.A.C., LULLI L., MIRABELLA A. (1991): *First experiences to individuate soils suitable for the production of high quality Vernaccia of San Gimignano*, Atti simposio internazionale: La gestione del territorio viticolo sulla base delle zone pedoclimatiche e del catasto. 29-30 giugno 1987, S. Maria della Versa (PV), pp. 125-135.
- COSTANTINI E.A.C., LULLI L., PINZAUTI S., CHERUBINI P., SIMONCINI S. (1990): *Indagine sui caratteri funzionali del suolo che agiscono sulla qualità del vino*, Atti del x incontro su: contributi ed influenza della chimica nella produzione, conservazione e commercializzazione del vino, Ist. Chimica org. Univ. Siena, pp. 27-40.
- COSTANTINI E.A.C., SULLI L. (2000): *Land evaluation in areas with high environmental sensitivity and qualitative value of the crops: the viticultural and olive-growing zoning of the Siena province*, «Boll. S.I.S.S.», 49 (1-2), pp. 219-234.
- CRESCIMANNO F.G., DAZZI C., FATTA DEL BOSCO G., FIEROTTI G., OCCORSO G. (1993): *Research on woody plants with low energetic inputs: first results for the "Land Suitability System" on Ash-tree manna ("Fraxinus angustifolia" Vahl and "Oxycarpa")*, in *Soil Biota, Nutrient Cycling and Farming System*, Paoletti, Foissner & Coleman (Ed.), LEWIS publisher, pp. 183-192.
- DELOIRE A., VAUDOUR E., CAREY V., BONNARDOT V., VAN LEEUWEN C. (2005): *Grapevine responses to terroir: a global approach*, «J. Int. Sci. Vigne Vin», 39, 4, pp.149-162.
- DOBOS E., CARRÉ F., HENGL T., REUTER H.I., TÓTH G. (2006): *Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps*, EUR 22123 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, pp. 68.
- FAILLA O., FIORINI P. (1998): *La zonazione viticola della Val d'Ilasi. Manuale d'uso per il viticoltore*, Cantina sociale di Ilasi, 159.
- FALCETTI M. (1994): *Faedo e il suo vigneto. Annotazioni geografiche, storiche ed agronomiche sulla viticoltura e l'enologia del conoide trentino*, Ed. Stampalith, Trento.
- FALCETTI M., CAMPOSTRINI F. (1996a): *I suoli dell'area a DOC del Piave. Provincia di Treviso*, Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto, Serie pedologica, 2, pp. 91-108.
- FALCETTI M., CAMPOSTRINI F. (1996b): *I suoli dell'area a DOC del Piave. Provincia di Venezia*, Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto, Serie pedologica, 3, pp. 85-102.
- FALCETTI M., CAMPOSTRINI F. (1996c): *I suoli dell'area a DOC dei Colli Euganei*, Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto, Serie pedologica, 4, pp. 103-118.
- FALCETTI M., DE BIASI C., ALDRIGHETTI C., COSTANTINI E. A.C., PINZAUTI S. (1998): *Progetto di zonazione delle Valli di Cembra e dell'Adige. Analisi del comportamento di Pinot nero in ambiente subalpino*, Simp. Intern. Territorio e vino, 19-24 maggio 1998, Siena.
- FALCETTI M., PINZAUTI S., SCIENZA A. (1992): *La zonazione dei terreni vitati del Trentino*, «Vignevini», 9, pp. 57-64.

- FAO (1976): *A framework for land evaluation*. Soils Bulletin 32, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO (1978a): *Report on the agro-ecological zones project. Methodology and results for Africa*, World Soil Resources Report 48, I, FAO, Rome.
- FAO (1978b): *Report on the agro-ecological zones project. Results for Southwest Asia*, World Soil Resources Report 48, II, FAO, Rome.
- FAO (1980): *Report on the agro-ecological zones project. Results for Southeast Asia*, World Soil Resources Report 48, IV, FAO, Rome.
- FAO (1981): *Report on the agro-ecological zones project. Results for South and Central America*, World Soil Resources Report 48, III, FAO, Rome.
- FAO (2007): *Land evaluation, towards a revised framework*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, land and water discussion paper, 6, Rome.
- FREGONI M., ZAMBONI M., BOSELLI M., FRASCHINI E., SCIENZA A., VALENTI L., PANONT C.A., BRANCADORO L., BODONI M., FAILLA O., LARUCCIA N., NARDI I., FILIPPI N., LEGA P., LINONI F., LIBÉ A. (1992). *Ricerca pluridisciplinare per la zonazione viticola della Val Tidone (Piacenza, Italia)*, «Vignevini», 11.
- INTRIERI C., FILIPPETTI I., SILVESTRONI O., MARCHEGIANI E., MURRI A. (1993): *Zonazione bioclimatica e primi rilievi fenologici nella viticoltura della Regione Marche*, «Vignevini», 6, pp. 62-68.
- JENNESS J., WYNNE J.J. (2005): *Cohen's Kappa and classification table metrics 2.0: an ArcView 3x extension for accuracy assessment of spatially explicit models*, U.S. Geological Survey Open-File Report OF 2005-1363, U.S. Geological Survey, Southwest Biological Science Center, Flagstaff, AZ, USA.
- KING D., LE BAS C. (1996): *Towards a European Soil information System: past activities and perspectives of the soil and GIS Support Group*, in Soil databases to support sustainable development, JRC, ISPRA, pp. 115-124.
- KLINGEBIEL, A.A., MONTGOMERY, P.H. (1961): *Land capability classification*, USDA Agricultural Handbook 210, US Government Printing Office, Washington DC.
- LAGACHERIE P., VOLTZ M. (2000): *Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area and digital elevation data: a conditional probability approach*, «Geoderma», 97, pp. 187-208.
- LEBON E., DUMAS V., MORLAT R. (1997): *Influence des facteurs naturels du terroir sur la maturation du raisin en Alsace*, Colloque international *Les terroirs viticoles*, 17-18 juillet 1996, Angers, pp. 359-366.
- LEBON E., DUMAS V., PIERI P., SCHULTZ H.R. (2003): *Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards*, «Functional Plant Biology», 30, pp. 699-710.
- LULLI L., COSTANTINI E.A.C., MIRABELLA A., GIGLIOTTI A., BUCELLI P. (1989): *Influenza del suolo sulla qualità della Vernaccia di San Gimignano*, «Vignevini», 1/2, pp. 53-62.
- MCBRATNEY A.B., DE GRUIJTER J.J. (1992): *A continuum approach to soil classification by modified fuzzy k-means with extragrades*, «J. Soil Sci.», 43, Soil Conservation Service, 1983 e 1997. National Soil Handbook, USDA, Washington DC, USA, pp. 159-175.
- MCBRATNEY A.B., MENDOÇA SANTOS M.L., MINASNY B. (2003): *On digital soil mapping*, «Geoderma», 117 (1-2), pp. 3-52.
- MICHELUTTI G., BELLANTONE P., MION T., BULFANI D., MENEGON S., COLUGNATI G. (1996): *I suoli e la vocazione viticola*, Comprensorio di produzione dei vini Doc Isonzo.
- MORLAT R. (2001): *Terroirs viticoles: étude et valorisation*, Oenoplurimedia, Chaintré.

- NAPOLI R., COSTANTINI E.A.C., GARDIN L. (1999): *Un sistema informativo pedologico per le valutazioni agro-ambientali a scala di dettaglio e semi-dettaglio*, «Agricoltura Ricerca», xxi, pp.159-176.
- NELSON, T., BOOTS B., WULDER M., FEICK R. (2004): *Voronoi methods for aggregating point objects extracted from high spatial resolution remotely sensed imagery*, «GeoInformatica», 8 (2), pp. 143-155.
- PANONT C.A., BOGONI M., MONTOLDI A., SCIENZA A. (1997): *Improvement of sparkling wines production by a zoning approach in Franciacorta (Lombardy, Italy)*, Atti, Colloque international *Les terroirs viticoles*, Angers, 17-18 juillet 1996, pp. 454-460.
- PORRO D., STEFANINI M., MENEGONI R., PINZAUTI S., CAMPOSTRINI F., FALCETTI M. (2002): *La zonazione del vigneto SAV*, Società Agricoltori della Vallagarina, Rovereto (TN).
- RAGLIONE M., LORENZONI P., ANGELINI R., BONIFAZI A., FEBELLI C., SPADONI M., VENUTI L., VERZILLI C. (2002): *Carta dei suoli dell'altopiano di Leonessa (Rieti) e delle loro idoneità per alcune colture tipiche*, Edizioni Arti Grafiche Nobili Sud, Rieti, pp. 279.
- REGIONE PIEMONTE (2000): *Barolo. Studio per la caratterizzazione del territorio, delle uve e dei vini dell'area di produzione*, Quaderni Regione Piemonte – Agricoltura.
- REGIONE PIEMONTE (2001): *Barbera. Studio per la caratterizzazione del territorio, delle uve e dei vini dell'area di produzione del barbera d'Asti*, Quaderni Regione Piemonte – Agricoltura.
- REGIONE PIEMONTE (2002): *Il formaggio Ossolano. Uno studio per la caratterizzazione del territorio, dei sistemi produttivi zootecnici, e dei formaggi*. Documento finale Interreg II Italia-Svizzera, Regione Piemonte, Torino, pp. 287.
- SANCHEZ P.A., COUTO W., BUOL S.W. (1982): *The fertility capability soil classification system: interpretation, applicability and modification*, «Geoderma», 27 (4), pp. 283-309.
- SANCHEZ P.A., PALMA C.A., BUOL S.W. (2003): *Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics*, «Geoderma», 114, pp.157-185.
- SCIENZA A., BOGONI M., VALENTI L., BRANCADORO L., ROMANO F. (1990): *La conoscenza dei rapporti tra vitigno ed ambiente quale strumento programmatico in viticoltura: stima della vocazionalità dell'Oltrepò Pavese*, «Vignevini», 12, pp. 4-62.
- SCIENZA A., MARIANI L., FAILLA O., BRANCADORO L., PRIMAVERA F., GIULIERINI P., BERNAVA M., FASOLI V., TONINATO L. (2003): *Arezzo: Terra di vini. Dalla zonazione al manuale d'uso del territorio*, Provincia di Arezzo.
- SCOTTI, C. (2006): *La conoscenza dei suoli applicata alla coltivazione di colture arboree*, in *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Costantini, E.A.C. (Ed.), , Cantagalli, Siena, pp. 922.
- TOMASI D., CETTOLIN C., CALÒ A., BINI C. (2004): *I suoli e i climi della fascia collinare del comune di Conegliano e loro attitudine alla coltivazione del vitigno Prosecco (Vitis sp)*, Ed. Comune di Conegliano (TV).
- USBR DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION (1953): *Irrigated land use, Part 2: Land classification*, B. R. Manual, U.S. Government Printing Office, Washington, v.
- VAN LEEUWEN C., SEGUIN G. (1997): *Incidence de la nature du sol et du cépage sur la maturaturin du raisin, a Saint Emilion, en 1995*, Colloque international *les terroirs viticoles* Angers, France, INRA, pp. 154-157.
- VAUDOUR E. (2002): *The quality of grapes in relation to geography: notions of terroir at various scales*, «J. Wine Res.», 13, 2, pp. 117-141.
- VAUDOUR E. (2005): *I terroir. Definizioni, caratterizzazione e protezione*, Edagricole, Bologna, pp. 295.

VECCHIO G., LULLI L., PAESE F., BRAGATO G., ARAMINI G. (2000): *Attitudine dei suoli alla coltivazione della patata da seme in Sila Grande – Calabria*, in *I suoli della tavoletta Lago di Cecita*, Monografia, Progetto PANDA, sottoprogramma 2, Serie 1, n.150.

WHITE R. E. (2003): *Soils for fine wines*, Oxford University Press, US.

CLAUDIO BINI*

I suoli dalla contaminazione al risanamento

I. INTRODUZIONE

La contaminazione del suolo e dell'ambiente è un fenomeno la cui valenza è stata percepita solo in anni recenti, e rappresenta una delle grandi emergenze del XXI secolo, anche perché la società è sempre più attenta ai suoi effetti sulla salute umana, e acquisisce crescente consapevolezza dei rischi di malattie come conseguenza dell'esposizione ai prodotti chimici, come amianto, uranio, benzene. Ne sono dimostrazione i numerosi processi a imprese ritenute responsabili della malattia o della morte di dipendenti. Anche in Italia, come in gran parte dei paesi industrializzati, la problematica della caratterizzazione e della bonifica dei siti contaminati sta acquisendo una crescente rilevanza nel campo della salvaguardia e della tutela del suolo e dell'ambiente in generale, anche per l'accresciuta sensibilità della popolazione.

Le aree preesistentemente occupate da industrie altamente inquinanti, come Porto Marghera (VE), Piombino (LI), Bagnoli (NA) o i poli conciarci di Arzignano (VI) e S. Croce sull'Arno (PI), presentano livelli di forte contaminazione, sia di sostanze organiche che inorganiche. Molte delle sostanze organiche che vanno a inquinare gli ecosistemi sono assai nocive per la salute dell'uomo e degli altri esseri viventi. Analogamente, molti metalli, se presenti a determinati livelli di concentrazione, sono tossici e possono distribuirsi tra i vari organismi viventi attraverso la catena alimentare. La valutazione del rischio per la salute umana sta quindi assumendo un'importanza sempre più rilevante nella soluzione dei problemi connessi alla bonifica dei suoli: viene infatti impiegata per identificare e classificare i siti in base alla priorità di intervento, per stabilire gli

* *Dipartimento di Scienze Ambientali, Università Ca' Foscari di Venezia - Dorsoduro*

obiettivi e gli standard di disinquinamento, per la scelta della tecnologia più adatta alla specifica situazione. Per le aree sottoposte a forte inquinamento, i rischi diretti e indiretti per la salute rendono urgente la bonifica, e accettabili i costi da sostenere, a prescindere dalla strategia scelta per il recupero dell'area. In altri casi, come per terreni con livelli di contaminazione non rischiosi, o per i quali i costi siano eccessivi rispetto ai benefici ottenuti, gli interventi di bonifica possono eliminare o ridurre i rischi per l'ambiente, consentendo il recupero e la valorizzazione per usi produttivi, per servizi pubblici e per aree verdi, di ambienti degradati altrimenti inutilizzabili, e favorendo il decollo di una vera e propria industria del settore.

Un sito si definisce "contaminato" quando presenta «alterazioni chimiche, fisiche o biologiche del suolo o del sottosuolo o delle acque superficiali o sotterranee, tali da determinare un pericolo per la salute pubblica o per l'ambiente naturale o costruito» (D.M. 471/99).

In particolare per quanto riguarda il suolo, la contaminazione può essere di origine naturale o antropica.

Quella di origine naturale è legata ad anomalie geochimiche connesse a fattori litologici, come certi litotipi arricchiti in metalli (ad esempio Ni, Cr, Cu nelle rocce serpentinosi, As nella farina fossile), o ad aree minerarie e giacimenti (mercurio al Monte Amiata, solfuri misti di Ag, Cu, Pb, Sb, Sn, Zn in varie zone d'Italia, in particolare Toscana e Sardegna).

Va da sé che le discariche minerarie costituiscono un problema nel problema, in quanto sono fonte di contaminazione diffusa su superfici spesso più ampie della stessa aureola di anomalia geochimica.

Ben più importante e preoccupante è la contaminazione di origine antropica, connessa cioè con le attività produttive. Fra queste le più significative in termini di contaminazione sono:

- attività industriali (petrolchimico, elettronica, metallurgia, vernici, ceramiche...);
- emissioni e sversamenti;
- compostaggio; RSU; discariche;
- attività agricole (fertilizzanti, diserbanti, liquami...).

Fra i contaminanti si possono distinguere, in base alla loro composizione e natura, ma anche alla diffusione, pericolosità e diversità di possibile intervento di recupero, due categorie, quelli organici e quelli inorganici.

I principali contaminanti organici sono:

- olii minerali (petrolio, diesel...);

PAESE	SITI CONTAMINATI (TOTALE)	SITI CONTAMINATI IN CONDIZIONI CRITICHE
Germania	32500	10000
Belgio	8300	2000
Italia	5600	2600
Olanda	5000	4000
Danimarca	3600	3600

Tab. 1 *Numero di siti contaminati in alcuni paesi selezionati (Adriano et al., 1995)*

- composti aromatici (IPA, PCB...);
 - prodotti della combustione (diossine...);
 - agrochimici.
- Quelli inorganici sono:
- metalli pesanti (Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb...);
 - volatili (As, Hg, Se);
 - radionuclidi, anioni (nitrati, fosfati...).

A livello globale, il degrado di origine chimica interessa il 12 % della superficie complessiva dei suoli considerati degradati (Adriano et al., 1995).

Una ricerca condotta alcuni anni fa in cinque paesi europei (tabella 1) ha individuato 9000 siti industriali contaminati (pari allo 0,2% del territorio) che richiedono un immediato intervento per salvaguardare la salute pubblica, o che comunque hanno severe limitazioni d'uso imposte dalla contaminazione. Altri 14.000 siti richiedono ulteriori indagini per appurare il rischio effettivo.

In Svizzera sono 100.000 gli ettari di terreno con tenori di Zn superiori ai limiti consentiti, 300.000 ha presentano valori elevati di Cd e Pb, 50.000ha di Cu.

Nell'ultimo decennio la situazione è ulteriormente peggiorata. I dati più recenti (Adriano, 2001; Ministero dell'Ambiente, 2006) indicano che:

- nel mondo, l'inquinamento del suolo interessa complessivamente 2 mld di ha;
- in Europa sono stati censiti oltre 500000 siti inquinati, di cui oltre 20000 in condizioni critiche;
- in Italia i siti inquinati sono oltre 10000, di cui 2600 in condizioni critiche. Il Ministero dell'Ambiente ha prodotto una lista nazionale delle priorità di intervento, in testa alla quale c'è il polo petrolchimico di Marghera, già oggetto di approfondite indagini e di un *master plan* mirato al disinquinamento e alla protezione della laguna di Venezia (Zonta et al., 2007).

L'inquinamento del suolo non è solo un problema di ordine sociale e sanitario, ma anche economico, poiché comporta dei costi in termini di calo della produttività, della qualità del prodotto e del valore della proprietà. Inoltre il costo per la bonifica dei suoli contaminati, in particolare per i metalli pesanti, è ingentissimo, tanto che solo pochi paesi, tutti industrializzati (Usa, Gran Bretagna, Olanda, Germania, Australia), hanno avviato azioni di recupero, mentre molti paesi in via di sviluppo si trovano in gravi difficoltà.

Stime relative agli ultimi decenni danno perdite di suolo di oltre 3 ha/min/anno per contaminazione, con un danno quantificabile in oltre 3Mld \$/anno (Pierzynski, 2003). In particolare per quanto riguarda i metalli pesanti, si calcola che circa 1 miliardo di persone sia affetto da malattie per contaminazione da piombo, circa 500.000 da cadmio, oltre 100.000 da arsenico (senza considerare le aree asiatiche – Bangladesh, Pakistan – dove l'inquinamento delle acque da As è drammatico, e il rischio per la popolazione è elevatissimo), 80.000 da mercurio.

2. IL QUADRO NORMATIVO

Nel rispetto dei Regolamenti, Direttive e Raccomandazioni emanate dall'Unione Europea in tema ambientale, anche il nostro Paese si è dotato di strumenti legislativi ai fini della tutela dell'ambiente. Il quadro normativo italiano fa riferimento a vari provvedimenti di legge succedutisi nel tempo, anche per adeguare le normative italiane a quelle europee, e le norme in essi contenute sono diventate via via più severe, anche per l'estendersi dei fenomeni di contaminazione.

Gli Atti più significativi sono:

- L. n. 441/87 *Disposizioni urgenti in materia di smaltimento dei rifiuti*;
- D.M. n 185/89 *Criteri e linee guida per l'elaborazione e la predisposizione dei Piani di Bonifica*.
- D.L. 22/97, noto come "Decreto Ronchi". Contiene le linee guida per le opere di bonifica, e le persone giuridiche ed Enti coinvolti in queste attività.
- D.M. n. 471/99 *Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica ed il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'art. 17 del D.L. 5 febbraio 1997, n° 22, e successive modifiche ed integrazioni*.

Questo decreto, all'allegato 1, riporta le soglie di concentrazione per i vari

	SITI AD USO VERDE PUBBLICO PRIVATO E RESIDENZIALE	SITI AD USO COMMERCIALE E INDUSTRIALE
Composti inorganici	mg/kg ss	mg/kg ss
Antimonio	10	30
Arsenico	20	50
Berillio	2	10
Cadmio	2	15
Cobalto	20	250
Cromo totale	150	800
Cromo VI	2	15
Mercurio	1	5
Nichel	120	500
Piombo	100	1000
Rame	120	600
Selenio	3	15
Stagno	1	350
Tallio	1	10
Vanadio	90	250
Zinco	150	1500
Cianuri	1	100
Fluoruri	100	2000
Composti organici		
Benzene	0.1	2
Etilbenzene	0.5	50
Stirene	0.5	50
Toluene	0.5	50
Xilene	0.5	50
Benzo(a)antracene	0.5	10
Benzo(a)pirene	0.1	10
Benzo(b)fluorantene	0.5	10
Benzo(k) fluorantene	0.5	10
Crisene	0.5	50
Dibenzo(a)pirene	0.1	10
Dibenzo(a,h)antracene	0.1	10
Indenopirene	0.1	50
Pirene	5	10

Tab. 2 Valori di concentrazione limite accettabile nel suolo e nel sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare (all. 1 D.M. 471, semplificato)

inquinanti e per usi del suolo diversi, con riferimento alle concentrazioni totali (tab. 2). È da notare che, ai sensi del decreto 471/99, articolo 2, risulta inquinato qualsiasi sito in cui anche uno solo dei valori di concentrazione misurati è al di sopra dei limiti tabellari.

Recentemente, a seguito di un'iniziativa della Commissione Europea, i contenuti del decreto 471 sono stati riveduti come riportato nel D.L. 152/2006, noto come Codice sull'Ambiente, o Testo Unico. In esso vengono introdotti i concetti di "Concentrazione Soglia di Rischio" e di "Concentrazione Soglia di Contaminazione", e viene indicato come sito contaminato «una porzione di territorio...nella quale i valori delle concentrazioni soglia di rischio...risultano superati», con ciò richiedendo la messa in sicurezza e la bonifica del sito, previa una sua caratterizzazione e analisi di rischio sanitario e ambientale.

La *messa in sicurezza d'emergenza* comprende gli interventi necessari e urgenti per rimuovere le fonti di inquinanti, contenere la diffusione degli inquinanti e impedire il contatto con le fonti inquinanti presenti nel sito, in attesa di interventi di bonifica. Qualora in un sito inquinato i valori di concentrazione limite accettabili non possano essere raggiunti neppure con l'applicazione delle migliori tecnologie di bonifica disponibili a costi sopportabili, devono essere previste apposite *misure di sicurezza*, ovvero interventi e specifici controlli per impedire danni alla salute pubblica o all'ambiente, misure di monitoraggio ed eventuali limitazioni rispetto alle previsioni degli strumenti urbanistici. Per *messa in sicurezza permanente* si intendono invece gli interventi atti a isolare in modo definitivo le fonti inquinanti rispetto alle matrici ambientali circostanti.

Risulta così inevitabile l'obbligo di *bonifica* – ovvero l'insieme degli interventi atti a eliminare le fonti di inquinamento e le sostanze inquinanti o a ridurre le concentrazioni delle sostanze inquinanti presenti nel suolo, nel sottosuolo, nelle acque superficiali o sotterranee a un livello uguale o inferiore ai valori limite accettabili.

Costituisce complemento degli interventi di bonifica, nei casi in cui sia richiesto, il *ripristino ambientale*, cioè l'insieme degli interventi di riqualificazione ambientale e paesaggistica che consentano di recuperare il sito all'effettiva e definitiva fruibilità per la destinazione d'uso conforme agli strumenti urbanistici in vigore, assicurando la salvaguardia della qualità delle matrici ambientali. Esiste pertanto la necessità di definire il *progetto di bonifica*.

3. METODOLOGIE DI BONIFICA E RISANAMENTO DEI SUOLI

Poiché la sostenibilità ambientale dipende in larga misura dall'ecosistema suolo, mantenere un suolo sano è un prerequisito per la salute umana.

Il rischio associato ai suoli inquinati varia da sito a sito in funzione delle caratteristiche del sito, delle conoscenze scientifiche, della percezione della

popolazione e degli amministratori, delle priorità dei singoli paesi, del rapporto costi/benefici, dell'uso che si intende fare di quel sito, ecc.

Occorre prevedere pertanto *azioni di mitigazione* dell'inquinamento, di *bonifica e risanamento* dei siti contaminati.

Il Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22 (Decreto Ronchi) ha il merito di aver elaborato dei criteri di valutazione dei suoli contaminati univoci per tutto il territorio nazionale e di aver definito le procedure tecniche e amministrative per adottare le operazioni di bonifica. Queste sono riassumibili in sei punti:

- identificazione e caratterizzazione del sito;
- verifica preliminare del rischio;
- selezione dell'azione di risposta ed eventuali alternative;
- studio di fattibilità;
- azioni di recupero;
- operazioni a chiusura dell'intervento.

Nell'applicazione della procedura vanno inoltre considerate tre categorie di criteri:

- criteri di *soglia*, mirati alla protezione dell'ambiente e della salute;
- criteri di *bilancio*, mirati all'efficacia a lungo e breve termine, all'implementazione, ai costi;
- criteri di *opportunità*, mirati alla modifica della situazione ambientale (accettazione da parte delle Autorità e della popolazione: caso emblematico quello del Corridoio 5 in Val di Susa).

Per quanto riguarda il risanamento, i sistemi correntemente usati per il recupero dei siti contaminati prevedono due tipologie di intervento:

- tecniche di "confinamento";
- tecniche di "trattamento".

Confinamento

Queste metodologie comprendono le tecniche di ingegneria civile che hanno come obiettivo quello di rimuovere o isolare le sorgenti dei contaminanti oppure modificarne il percorso o le vie di migrazione. Tali metodologie comprendono:

- lo scavo con smaltimento sia all'interno che all'esterno del sito;
- barriere costruite nel terreno;

- sistemi di incapsulamento;
- misure idrauliche di pompaggio e trattamento.

Importanti fattori per l'adozione di tali tecniche sono:

- la disponibilità di spazio all'interno dell'area;
- studi geologici e idrogeologici;
- disponibilità di materiali di rivestimento naturali;
- disponibilità di materiali di copertura adatti;
- il possibile impatto degli scavi e degli elementi di disturbo;
- la sterilizzazione di aree per interventi immobiliari.

Trattamento

Il trattamento dei siti contaminati si basa su processi che hanno come finalità la rimozione, la stabilizzazione o distruzione degli inquinanti.

- *Rimozione* dei contaminanti attraverso alcuni processi di mobilizzazione e accumulo degli inquinanti (lisciviazione e assorbimento, vedi fig. 1), alcuni processi di concentrazione e raccolta degli inquinanti (attraverso separazioni fisiche) o una combinazione di processi (piante accumulatrici).
- *Stabilizzazione in situ* del contaminante, che viene reso meno mobile o meno tossico attraverso una combinazione di processi chimici, fisici e biologici.
- *Distruzione*, attraverso la degradazione chimico-fisica e/o biologica dei contaminanti, per esempio con un trattamento termico.

I processi di trattamento possono essere descritti a seconda di dove vengono effettuati, ovvero:

- *ex situ*, interventi effettuati su terreni rimossi dal sito inquinato;
- *in situ*, interventi effettuati senza rimozione o movimentazione del suolo inquinato;
- *on site*, con movimentazione e rimozione di materiali e suolo inquinato, ma con trattamento nell'area del sito stesso (può essere sia *in situ* che *ex situ*);
- *off site*, con movimentazione e rimozione di materiali e suolo inquinato fuori dal sistema stesso, per avviare i materiali e il suolo agli impianti di trattamento o in discarica.

I trattamenti possono essere di tipo fisico, chimico, termico, biologico.

In particolare, il trattamento biologico è una tecnologia nota anche come *bioremediation*, definita come «l'utilizzo di organismi viventi per ridurre o

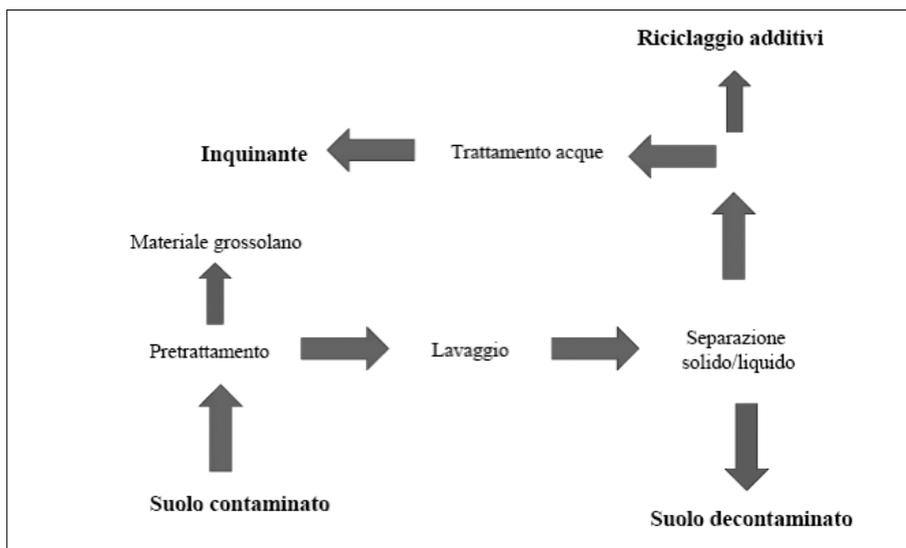


Fig. 1 Schema della tecnica di lisciviazione del suolo (*soil washing*)

eliminare gli inquinanti ambientali» (Adriano et al., 1999).

La *bioremediation* comprende uno o più dei seguenti processi:

- degradazione – decomposizione biochimica dell'inquinante attraverso l'azione dei microrganismi presenti nel suolo (batteri, funghi, attinomiceti);
- trasformazione – conversione biochimica del contaminante per renderlo meno tossico e/o meno mobile;
- accumulo – dei contaminanti organici e inorganici nei tessuti delle piante;
- mobilizzazione – del contaminante in una soluzione che verrà poi separata dal suolo contaminato.

I primi due costituiscono la *bioremediation* vera e propria, e fanno uso di tecniche proprie della microbiologia, gli ultimi due costituiscono la cosiddetta *phytoremediation*, e fanno uso di piante superiori.

Proprio questa tecnologia, più recente, potenzialmente poco distruttiva e meno costosa, e inoltre, al contrario delle precedenti, applicabile ad ampie porzioni di territorio inquinato, sarà illustrata dettagliatamente di seguito.

4. PHYTOREMEDIATION

La *phytoremediation* (in italiano “fitorimedio”) consiste «nell'utilizzo delle piante per rimuovere, eliminare, contenere o rendere meno pericolosi i contaminanti

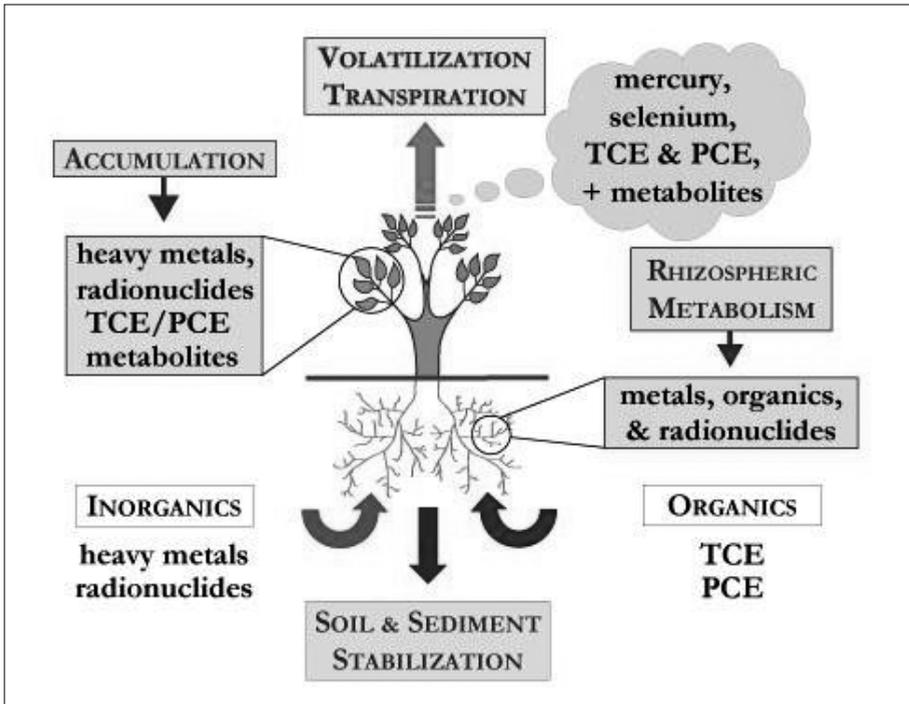


Fig. 2 Schema delle differenti tecniche della *phytoremediation* (adattato da Adriano, 2001 www.uga.edu/srel/Snapshots/phyto_fig.jpg)

ambientali (metalli pesanti, inquinanti organici e inorganici, elementi radioattivi, prodotti esplosivi) presenti nel suolo o nelle acque» (Barbafieri, 2001).

La tecnica si basa su alcuni processi naturali che vengono svolti dalle piante, tra i quali:

- assorbimento diretto di metalli e di alcuni composti organici moderatamente idrofobici;
- accumulo o trasformazione delle stesse sostanze chimiche attraverso la lignificazione, metabolizzazione, volatilizzazione;
- utilizzo di enzimi rilasciati dalle piante per catalizzare la degradazione dei composti organici inquinanti;
- rilascio di essudati nella rizosfera, che apportano carbonio al suolo, modificano il pH e stimolano l'attività microbica per la degradazione dei contaminanti.

Le numerose tecniche utilizzate nella *phytoremediation* si basano sui processi sopra descritti, e possono essere distinte (fig. 2) in:

- fitostabilizzazione;
- fitostimolazione;
- fitoestrazione;
- fitoestrazione assistita;
- fitodegradazione;
- fitovolatilizzazione;
- rizofiltrazione.

La “fitostabilizzazione” consiste nell’utilizzare piante tolleranti l’effetto tossico di elevate concentrazioni di metalli, che immobilizzano il contaminante all’interfaccia suolo-radice. Si può avere assorbimento, precipitazione, complessazione dei contaminanti, in modo da ridurne la mobilità e impedirne la migrazione nelle falde o l’ingresso nella catena alimentare. La fitostabilizzazione è particolarmente indicata nei siti dove è indispensabile mantenere i metalli in forma non mobile, per evitarne la dispersione, come nel caso del cromo (Bini et al., 2000; 2008).

La “fitostimolazione” consiste nello stimolo della degradazione microbica o fungina attraverso il rilascio di essudati ed enzimi nella rizosfera (Schnoor et al., 1995). Si tratta di una relazione simbiotica tra le piante e i microrganismi del suolo. Le piante forniscono i nutrienti ai microrganismi, mentre i microrganismi provvedono a decontaminare il suolo, favorendo lo sviluppo radicale.

La “fitoestrazione” utilizza piante che hanno un’elevata capacità di accumulo di inquinanti (metalli, radionuclidi), e sono dette per questo iperaccumulatrici (Baker et al., 2000). Queste piante estraggono i contaminanti dal suolo e li concentrano nella porzione epigea (foglie, fusto). Alla fine del ciclo vegetativo, o comunque una volta cessato l’assorbimento, la pianta potrà essere raccolta, e il contaminante allontanato dal terreno ed eventualmente recuperato per distillazione o altro trattamento. Le piante iperaccumulatrici sono in grado di accumulare quantità di metalli fino a 500 volte maggiori delle quantità presenti nelle piante non accumulatrici, raggiungendo concentrazioni di metalli nelle foglie anche superiori al 5% del peso secco. Una pianta iperaccumulatrice può accumulare più di 10 ppm di Hg, 100 ppm di Cd, 1000 ppm di Cu, Cr, Pb, 10000 ppm di Zn.

La “fitodegradazione” è un meccanismo molto efficace nella decontaminazione del suolo da inquinanti organici moderatamente idrofobi. Consiste nella trasformazione di molecole organiche complesse in molecole semplici e nell’eventuale accumulo di cataboliti non tossici nei tessuti vegetali. Le piante



Fig. 3 *Alyssum bertoloni* è una piccola pianta, endemica dei terreni serpentinosi e da tempo nota come accumulatrice di nickel (Brooks, 1998)

trasformano il contaminante organico attraverso vari processi metabolici interni aiutati da vari enzimi, degradandoli a molecole semplici immagazzinate nei vacuoli o incorporate nei tessuti vegetali.

La “fitovolatilizzazione” consiste nella trasformazione di alcuni metalli e di alcune sostanze organiche in forme chimiche volatili, che vengono rilasciate in atmosfera. Esempi di contaminanti che possono essere fitovolatilizzati sono Hg, Se, As, TCE.

La “rizofiltrazione” è una tecnica specifica per le acque, che possono però includere percolati del terreno. Si utilizzano piante iperaccumulatrici di metalli ad apparato radicale particolarmente diffuso, in grado di assorbire e concentrare i metalli nelle radici, nonché di promuovere la precipitazione a seguito di processi di essudazione di fosfati.

Il criterio ispiratore della *phytoremediation* è la ricerca e selezione di “piante metallo-tolleranti”, sia spontanee che coltivate, sia erbacee che arbustive e arboree.



Fig. 4 Le Brassicacee sono le più diffuse piante iperaccumulatrici di metalli. *Thlaspi caerulescens* (a sinistra) accumula in particolare Cd e Zn (Mc Grath, 1998), *Brassica juncea* (a destra) è nota per accumulare soprattutto Pb (Marchiol et al., 2004)

In particolare, secondo quanto riportato in letteratura (Baker et al., 1981; 2000), si distinguono:

- piante escluditrici. Sono le specie vegetali in grado di bloccare i metalli a livello delle radici, con un effetto-barriera che impedisce la traslocazione verso le parti aeree (fusti, foglie);
- piante indicatrici. Sono le specie che assorbono e traslocano metalli dalla radice alle parti aeree, in proporzione alla quantità presente nel suolo;
- piante accumulatrici. Sono le specie in grado di assorbire e traslocare metalli dalla radice alle parti aeree, in quantità maggiore rispetto alla concentrazione del metallo nel suolo;
- piante iperaccumulatrici. Sono le specie che, come le precedenti, accumulano metalli nelle parti aeree, ma in misura molto più elevata (fino a 500 volte) rispetto a quelle. Vi sono specie, per esempio, in grado di accumulare oltre 100 mg/kg di cadmio, e oltre 10.000 mg/kg di zinco).

Finora sono state individuate, nel mondo, oltre 400 specie iperaccumulatrici, molte delle quali, come *Alyssum bertoloni* (fig. 3), appartenenti alla famiglia delle Brassicacee (Baker et al., 2000). Il problema maggiore è che gran parte di queste piante ha “scarsa biomassa”, e quindi la capacità di accumulare metalli nelle parti aeree è limitata. Per tale motivo si sta ricorrendo, da una

SPECIE	CONCENTRAZIONE Zn kg/t	RESA BIOMASSA t/ha	RIMOZIONE METALLO kg/ha
<i>Thlaspi caerulescens</i>	10.63	5.4	57.4
<i>Cardaminopsis balleri</i>	5.21	2.7	14.1
	Concentrazione Pb kg/t	Resa Biomassa t/ha	Rimozione metallo kg/ha
<i>Zea mays</i>	10.5	25	1900
<i>Brassica juncea</i>	1.29	18	630
	Concentrazione As kg/t	Resa Biomassa t/ha	Rimozione metallo kg/ha
<i>Pteris vittata</i>	0.9	13	20

Tab. 3 Alcuni esempi di piante accumulatrici, con l'indicazione delle concentrazioni di metallo, della produzione di biomassa e della quantità di metallo rimosso

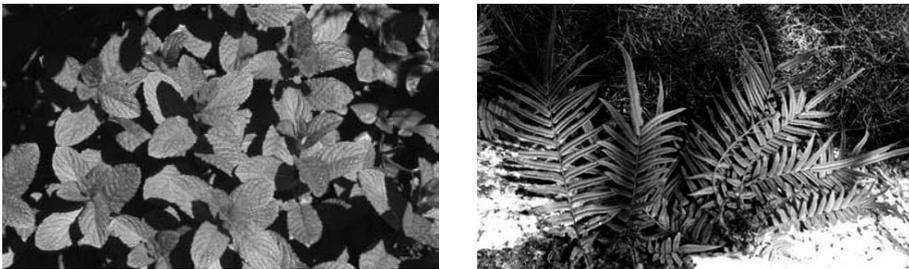


Fig. 5 *Mentha aquatica* (a sinistra) e *Pteris vittata* (a destra) sono state scoperte recentemente (Sette et al., 2001; Blaylock et al., 2003) come specie accumulatrici di arsenico

ventina di anni, a sperimentazioni di laboratorio (in vaso), e di campo (scala pilota e full scale), per individuare nuove specie accumulatrici e per incrementare la biomassa delle specie già note, tramite “ingegneria genetica”.

Fra le piante più studiate (tab. 3) vi sono molte crucifere, e in particolare *Thlaspi caerulescens* (fig. 4 a), in grado di assorbire grandi quantità di Zn e Cd (Mc Grath, 1998), e *Brassica juncea* (fig. 4 b), per Pb (Marchiol et al., 2004). Fra le piante coltivate, il mais appare interessante per estrarre Pb (Huang & Cunningham, 1996), mentre il girasole sembra efficace per la stabilizzazione, presentando un effetto-barriera a livello radicale (Simon, 2003).

Altre piante sono state impiegate per estrazione di As in rizofiltrazione. Una specie di menta – *Mentha aquatica* – (fig. 5a) appare in grado di accumulare 8900 mg/kg di arsenico (Sette et al., 2001), una felce – *Pteris vittata* – (fig. 5b) 4300 mg/kg di arsenico (Blaylock et al, 2003). Altre ancora sono state sperimentate per l'elevata biomassa, come *Phragmites australis* in fitodegradazione di nitrati e fosfati (Massacci et al., 2001); *Cannabis sativa* (Fig. 6)



Fig. 6 *Cannabis sativa* è nota per gli effetti legati all'uso della droga, ma recentemente è stata identificata anche come moderata accumulatrice di metalli (Kos & Lestan, 2004)



Fig. 7 *Salix viminalis* è una delle poche specie arboree utilizzate in pieno campo per la *phyto-remediation* di terreni contaminati (Greger & Landberg, 2003)

come moderata accumulatrice di vari metalli (9 mg/kg di rame nelle foglie, 42 mg/kg nelle radici: Kos e Lestan, 2004).

La nuova frontiera è l'individuazione di piante arboree a elevata biomassa e rapida crescita, in modo da poterle tagliare e raccogliere il metallo. Questo è stato sperimentato ad esempio in Svezia, in pieno campo, su 18.000 ha, con *Salix viminalis* e *Salix caprea*, dimostratisi ottimi accumulatori di Zn e Cd. *Salix viminalis* (fig. 7) accumula fino a 2413 mg/kg di zinco, e 326 mg/kg di cadmio (Greger & Landberg, 2003).

5. SITUAZIONE ATTUALE E PROSPETTIVE

La *phyto-remediation* è una tecnologia emergente per la bonifica dei siti contaminati che permette la rimozione di inquinanti organici e inorganici dal suolo e dalle acque, e la stabilizzazione fisica dei suoli contaminati.

Numerosi sono i vantaggi rispetto ad altre tecniche di trattamento:

- miglioramento delle proprietà chimiche, fisiche e biologiche del suolo;

- riduzione degli effetti dell'erosione;
- ridotta produzione di rifiuti;
- potenziale recupero dei metalli;
- miglioramento estetico dell'area;
- elevato consenso della popolazione;
- costi ridotti rispetto ad altre tecniche di remediation (40% in meno rispetto ad altre tecnologie *in situ* e fino al 90% rispetto ad altre tecnologie *ex situ*).

Vi sono tuttavia alcuni svantaggi:

- forte dipendenza dalle condizioni ambientali e climatiche;
- forte dipendenza dalla concentrazione e disponibilità del contaminante;
- profondità della contaminazione, comunque inferiore a 5 m;
- tempi di recupero più lunghi rispetto ad altre tecniche.

Sebbene esista una bibliografia abbastanza ampia sulla *phytoremediation*, non sono ancora del tutto chiari i meccanismi fisiologici che regolano i processi sopra elencati, anche perché molti di questi meccanismi sono sito-specifici. Tale specificità dipende prima di tutto dal tipo di inquinante, dalla sua composizione e dalla possibile evoluzione, e quindi dalla specie vegetale che potrà essere utilizzata. Occorrono perciò ulteriori indagini volte a chiarire sia i meccanismi coinvolti che la scelta delle piante da utilizzare, eventualmente con l'applicazione delle tecniche di ingegneria genetica per migliorare la produzione di biomassa.

L'utilizzo della *phytoremediation* è particolarmente vantaggioso quando il grado di contaminazione è basso e diffuso su un'area estesa, la profondità della contaminazione è limitata alla rizosfera o alla zona interessata dagli apparati radicali delle piante, e quando non vi sono limiti temporali all'intervento. Si calcola infatti che, con le piante iperaccumulatrici attualmente utilizzabili, occorrono almeno 3-5 anni per avere risultati apprezzabili nel risanamento di un suolo moderatamente contaminato (Mc Grath, 1998).

Una delle prerogative più interessanti della *phytoremediation*, insieme con il basso impatto ambientale, è la relativa economicità rispetto alle altre tecniche utilizzabili. Black (1995) ha stimato un costo di soli 80 \$/m³ di suolo bonificato tramite fitoestrazione, contro un costo di 250 \$/m³ per il *soil washing*. Secondo Cunningham e Berti (1997) il costo di fitodepurazione per ettaro ammonterebbe a 100000\$, mentre il semplice costo di scavo e collocamento in discarica è di 500000\$, e le tecniche tradizionali di trattamento *in situ* hanno costi oscillanti fra 500000 e 1000000\$ per ettaro. Tuttavia, i costi effettivi

TRATTAMENTI IN-SITU	COSTI (U.S. \$/M ³)
Soil flushing	50-80
Bioremediation	50-100
Phytoremediation	10-35
TRATTAMENTI EX-SITU	
Escavazione e trasporto in discarica	30-50
Smaltimento in discarica controllata	100-500
Incenerimento o pirolisi	200-1500
Solil washing	150-200
Bioremediation	150-500
Solidificazione	100-150
Vetrificazione	Fino a 250

Tab. 4 *Costi di varie tecniche di bonifica per unità di suolo trattato (da Adriano, 2001)*

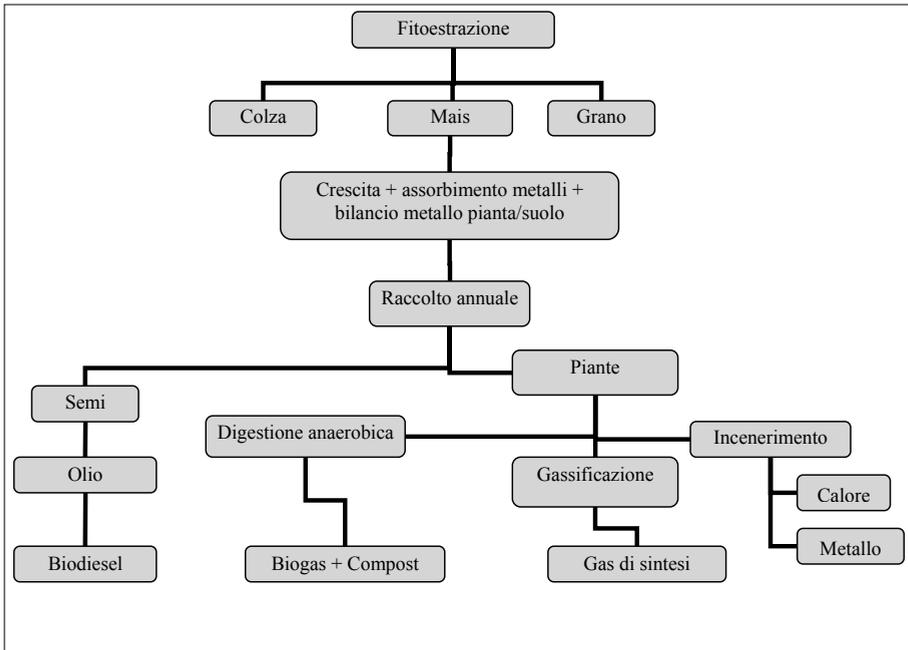
possono essere altamente variabili e saranno calcolabili meglio solo quando la tecnica sarà affermata. Attualmente infatti la scarsità di applicazioni di pieno campo (*full scale*) rende difficile fornire indicazioni precise su tempi e costi del ripristino.

Le prospettive sono riferibili al protocollo di bonifica messo a punto dagli USA, che prevede, in ultima analisi, il recupero del metallo e la sua commercializzazione, con costi per il disinquinamento decisamente abbattuti (di oltre 10 volte) rispetto alla decontaminazione *ex-situ*, e basso impatto ambientale (0.25 M\$ contro 3M\$). A tale scopo sono già sorte in USA, Canada, Australia e anche in Europa numerose *Companies* (GLASS, DUPONT) interessate a questo *business* (Adriano, 2001).

Nella tabella 4 è presentato un confronto dei costi di varie tecniche di bonifica. Occorre precisare che molti dei trattamenti *ex situ* richiedono l'utilizzo combinato di diverse voci indicate in tabella, e i costi complessivi risultano perciò elevati.

Parallelamente, si sta procedendo con opportune scelte di piante coltivate (come colza e mais), per abbinare la *phytoremediation* con la produzione di biodiesel e biogas, secondo il protocollo riportato nello schema 1 (adattato da Vangronsveld et al., 2007).

Negli ultimi anni la *phytoremediation* ha visto una notevole crescita di interesse, considerati i numerosi vantaggi che offre. Tuttavia sono necessarie ulteriori ricerche per individuare specie in grado di accumulare numerosi me-



Schema 1

talli con un'alta efficienza e per trovare le tecniche colturali più opportune per ciascuna pianta. Occorre inoltre risolvere il problema dello smaltimento delle biomasse una volta raccolte.

Sono soprattutto necessarie ulteriori prove dell'efficacia del metodo, ottenibili solo da sperimentazioni in campo, mentre finora la maggior parte dei dati disponibili deriva da prove su microcosmi.

Nonostante ci sia parecchio lavoro da fare prima di un'eventuale commercializzazione di questo metodo, è opinione comune che più approfondite conoscenze sulla fitoestrazione potranno fornire risultati applicativi interessanti nella messa a punto di nuove tecniche di intervento a basso impatto, e basso costo, per il risanamento dei suoli, e che la *phytoremediation* possa conquistare una notevole fetta del mercato del disinquinamento nel prossimo futuro.

RIASSUNTO

Viene presentato lo stato delle conoscenze relative alla contaminazione del suolo ed alle tecniche di risanamento dei siti contaminati.

Dopo una breve rassegna degli aspetti normativi e della legislazione relativi ai siti contaminati in Italia, vengono descritti i principali tipi di intervento per la bonifica ed il recupero di tali siti, con particolare riferimento al fitorimediazione, una tecnica messa a punto di recente, di limitato impatto ambientale e relativamente poco costosa.

Viene quindi riportata una serie di esempi di piante utilizzate per il recupero di terreni inquinati da metalli pesanti, ed è messa in evidenza la capacità di accumulare tali metalli nelle parti epigeiche delle piante selezionate.

Vengono infine esaminati i vantaggi e gli svantaggi di questa tecnica, ed è indicata la nuova frontiera nella ricerca di piante ad elevata biomassa, come le piante arboree, per ottimizzare questa promettente tecnica.

ABSTRACT

The paper reports a general overview of the present knowledge on remediation of contaminated sites. In the first part, some general definitions of soil contamination are given, together with a short illustration of the current Italian Legislation Acts about remediation of contaminated soils. In the second part, a review of remediation techniques is presented, with particular reference to phytoremediation, i. e. the utilization of higher plants to remediate contaminated sites. Some experimental trials are reported, which highlight the behaviour of different plants (excluder, indicator or accumulator plants) with respect to contaminants, particularly heavy metals. A provisional list of accumulator plants for different metals is also given.

The problems and the opportunities offered by such low cost, environmental friendly technique, and the new research frontiers in the field of phytoremediation are finally outlined.

BIBLIOGRAFIA

- ADRIANO D.C. (2001): *Trace Elements in the Terrestrial Environment*, 2th edit., Springer-Verlag, New York, N.Y., p. 866.
- ADRIANO D.C., BOLLAG J.M., FRANKEMBERGER W.T., SIMS R.C. (1999): *Biodegradation of contaminated soils*, Soil Science Society of America, «Agronomy Monograph», 372, pp.772.
- ADRIANO D.C., CHLOPECKA A., KAPLAND D.I., CLIJSTERS H., VANGROSVELT J. (1995): *Soil contamination and remediation philosophy, science and technology*, in *Contaminated Soils*, R. Prost ed., INRA, Paris, pp. 466-504.
- BAKER A. J. M. (1981): *Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals*, «J. of Plant Nutrition», 3, pp. 643-654.
- BAKER A. J. M., MC GRATH S., REEVES R., SMITH J. (2000): *Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils*, in *Phytoremediation of contaminated soils*, N. Terry and G. Banuelos eds., Lewis Publisher, London, pp. 85-107.
- BARBAFIERI M. (2001): *Applicabilità e limiti della fitodepurazione*, in *Siti contaminati; indagini, analisi di rischio e tecniche di bonifica*, a cura di L. Bonomo, Politecnico di Milano, pp. 699-717.

- BINI C., MALECI L., ROMANIN A. (2008): *The chromium issue in soils of the leather tannery district in Italy*, «Jour. of Geoch. Explor.», 96, 2/3, pp.194-202.
- BINI C., MALECI L., GABBRIELLI L., PAOLILLO A. (2000): *Biological perspectives in soil remediation with reference to chromium*, in *Bioremediation of contaminated soils*, D. Wise ed., Marcel Dekker Inc., N.Y., pp. 663-675.
- BLACK H., (1995): *Absorbing possibilites: phytoremediation*, «Environmental health perspectives», 103, 12, pp. 1-6.
- BLAYLOCK M.J., ELLES M.P., NUTTAL C.Y., ZDIMAL K.L., LEE C.R. (2003): *Treatment of As contaminated soil and water using Pteris vittata*, Proc VI ICOBTE, Uppsala, Sv.
- BROOKS R.R. (1998): *Phytochemistry of hyperaccumulator*, in *Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining*, R. Brooks ed., CAB International, U.K., pp.15-53.
- CUNNINGHAM S.D., & BERTI W.R. (1997): *Phytoextraction or in-place inactivation: technical, economic and regulatory consideration on the soil-lead issue*, Proc IV ICOBTE, Berkeley, Cal., pp. 627-628.
- GLASS D. & ASSOCIATED, INC. ESTIMATES (1997): *Estimated U.S. markets for phytoremediation 1997-2005*, Explorer-Internet.
- GREGER M. & LANDBERG T. (2003): *Improving removal of metals from soil by willow (Salix viminalis)*, Proc. VII ICOBTE, Uppsala, Sv.
- HUANG J.W., CUNNINGHAM S.D. (1996): *Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation*, «New Phytol.», 134, pp. 75-84.
- KOS B. & LESTAN D. (2004): *Soil washing of Pb, Zn, and Cd using biodegradable chelator and permeable barriers and induced phytoextraction by Cannabis sativa*, «Plant and Soil» 63, 1/2, pp. 43-51.
- MARCHIOL L., SACCO P., ASSOLARI S., ZERBI G. (2004): *Reclamation of polluted soils: phytoremediation potential of crop-related Brassica species*, «Water, Air & Soil Pollution», 158 (1), pp. 345-356.
- MASSACCI A., IANNELLI M.A, PIETRINI F. (2001): *Il fitorimediaio: organismi vegetali come potenziali agenti disinguinanti*, «Bol. Soc. It. Sci. Suolo», 50, 3, pp. 581-588.
- MC GRATH S. (1998): *Phytoextraction for soil remediation*, in *Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining*, R. Brooks ed., CAB International, U.K., pp. 261-287.
- PIERZINSKY G. (2003): *Trace element chemistry, contamination and ecotoxicity*, in *Biogeochemistry of Trace Elements*, G. Gobran and N. Lepp (eds), Proc. VII ICOBTE, Uppsala, 1, 1, pp. 14-15.
- SETTE B., BOSCAGLI A., RICCOBONO F. (2001): *Mentha aquatica L. as an arsenic accumulator*, Proc 6th ICOBTE, Guelph, Ont, Ca, p. 395.
- SCHNOOR J.L. (1995): *Phytoremediation of organic and nutrient contaminants*, «Environ. Sci. & Technol.», 29, 7.
- SIMON L. (2003): *Cadmium rhizofiltration capacity of Helianthus annuus and Brassica juncea*, in *Biogeochemistry of Trace Elements*, G. Gobran and N. Lepp (eds):. Proc. VII ICOBTE, Uppsala, 1, 2, pp. 206-207.
- VANGRONVELD, J., MEERS E., DEJONGHE W., GEURDS, M., DIELS L., DEFOORT B., BEECKMAN E., SMIS J. (2007): *Phytoremediation for heavy metal contaminated soils and combined bio-energy production*, in *Biogeochemistry of trace elements: environmental protection, remediation and human health*, Y. Zu, N. Lepp, R. Naidu (eds), *Biogeochemistry of trace elements: environmental protection, remediation and human health*, Proc. IX ICOBTE, Beijing, pp. 162-163.

ZONTA R., BOTTER M., CASSIN D., PINI R., SCATTOLIN M., ZAGGIA L. (2007): *Sediment chemical contamination of a shallow water area close to the industrial zone of Porto Marghera (Venice Lagoon, Italy)*, «Marine Pollution Bulletin», 55, pp. 529-542.

ELVIO BELLINI*, EDGARDO GIORDANI*, DANIELE MORELLI*

Suoli e colture arboree da frutto

I. INTRODUZIONE

Le definizioni delle caratteristiche pedologiche ideali di un suolo in riferimento alle specie arboree da frutto non solo rappresentano un'informazione basilare sulla riuscita o meno della loro coltivazione, ma indirizzano il mondo della ricerca verso nuovi orizzonti in termini di approfondimenti sulle relazioni suolo/albero (scambi gassosi e di soluzioni di nutrienti, mediate anche da organismi simbiotici, etc.) e contribuiscono a definire l'ideotipo di epibionte (portinnesto), necessario per superare le limitazioni degli attuali ipobionti.

Gli autori del lavoro hanno la modesta pretesa di presentare un sunto dei principali caratteri funzionali dei suoli idonei alla coltivazione delle principali specie arboree da frutto dei climi temperati. Particolare attenzione è stata comunque posta su quattro caratteri (salinità, sodicità, pH e contenuto in calcare attivo) dei suoli e sulla adattabilità di una vasta gamma di specie/portinnesti in uso e in sperimentazione, in virtù della crescente problematica associata alle caratteristiche chimiche dei suoli italiani, nonché alla sempre minore qualità e quantità delle risorse idriche disponibili per l'agricoltura.

2. SPECIE ARBOREE DA FRUTTO E CARATTERI FUNZIONALI DEL SUOLO

Le specie arboree da frutto oggetto di analisi sono state: Agrumi, Olivo, Vite, Albicocco, Ciliegio, Pesco, Susino, Melo, Pero, Actinidia, Castagno, Kaki e Melograno (AA.VV., 1991; 2002).

Negli alberi da frutto, i caratteri funzionali del suolo che maggiormente

* *Dipartimento di Ortoflorfrutticoltura, Polo Scientifico e Tecnologico, Università degli Studi di Firenze*

influenzano la coltivazione di queste specie sono (Regione Emilia Romagna, I.TER, 1998): la profondità utile per lo sviluppo dell'apparato radicale; la tessitura, la struttura e la fessurazione; la salinità e la sodicità; il drenaggio; il ristagno idrico; il rischio di inondazione; la disponibilità di ossigeno; la reazione (pH); il calcare attivo; la stanchezza. Infine, non sono da trascurare le micorrizze.

2.1. *Agrumi*

I più importanti parametri pedologici che influenzano la risposta produttiva degli agrumi sono la tessitura, la reazione e la permeabilità.

I migliori suoli sono quelli tendenzialmente franchi (equilibrata presenza di argilla, limo e sabbia), con reazione compresa tra 6,5 e 7,5. Occorre comunque sottolineare che agrumeti innestati su arancio amaro possono generare risultati soddisfacenti anche in suoli a pH 8,0-8,2, usuali in ambiente siciliano. Sono sconsigliati terreni ad alta componente sabbiosa perché hanno scarsa ritenzione idrica, o a forte componente limoso-argillosa per i pericolosi ristagni che creano (tab.1).

Gli agrumi, inoltre, dimostrano una medio-scarso resistenza nei confronti del calcare attivo (per essere ottimale un suolo non dovrebbe contenerne più del 5-7%) (Calabrese e Dazzi, 2006).

2.2. *Olivo*

I suoli più indicati alla coltivazione dell'olivo sono quelli caratterizzati da ottimo drenaggio, questo per garantire alla pianta un corretto equilibrio tra capacità idrica e scambio gassoso (tab. 2).

I suoli più idonei per l'olivo sono quelli identificati pressoché per la vite, inoltre, la letteratura conferma che la tolleranza alla salinità dall'olivo è paragonabile a quella della vite, in virtù dell'esteso apparato radicale. Quest'ultimo necessita di almeno 100 cm di profondità del suolo (o profondità di falda) per espandersi ottimamente (Franchini et al., 2006).

2.3. *Vite*

La vite è una pianta molto plastica nei confronti del suolo, ben si adatta a tessiture medie, fini o grossolane, non necessariamente fertili, con reazione tendenzialmente neutra (6,5-7,5).

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	CLASSI DI TERRENI			
	Suoli molto adatti	Suoli adatti	Suoli scarsamen- te adatti	Suoli non adatti
	S1	S2	S3	N
Profondità utile alle radici (cm)	> 70	70 - 40	40 - 30	< 30
Tessitura	Franca, Franco-sabbiosa, Franco-argilloso- sabbiosa	Sabbiosa, Sabbioso-franca, Franco-argillosa, Argilloso-sab- biosa	Franco-limosa, Franco-argilloso- limosa	Argillosa, Limosa, Argillo- so-limosa
Salinità su aran- cio amaro (EC 1:5 dS/m)	< 2,0	2,1 - 2,5	2,6 - 3,0	> 3,5
Salinità su citrange (EC 1:5 dS/m)	< 1,5	1,6 - 1,8	1,9 - 2,2	> 2,3
Disponibilità di ossigeno	Elevata	Buona	Moderata	Imperfetta, scar- sa, molto scarsa
Reazione (pH)	6,0 - 7,5	5,5 - 6,4 7,5 - 8,4	< 5,5; > 8,4	-
Calcare attivo su arancio amaro (%)	< 7	8 - 10	11 - 12	> 12
Calcare attivo su citrange (%)	< 5	6 - 7	8 - 9	> 9

Fonte: rielaborazione da Calabrese e Dazzi, 2006

Tab. 1 *Limitazioni pedologiche alla crescita degli agrumi su arancio amaro o citrange*

La vasta gamma di portinnesti disponibili le permette adattarsi a molte tipologie di suolo (tab. 3). Portinnesti come il 140 Ruggeri e 1103 Paulsen sono indicati per suoli caratterizzati da elevati valori salso-salini, consentendo alla pianta un corretto assorbimento del ferro. Questi inoltre conferiscono elevata resistenza alla siccità. Per terreni particolarmente argillosi si sono dimostrati ottimi i portinnesti Kober 5BB e 420A. Mentre per terreni freschi e di medio impasto, sciolti o anche umidi si è contraddistinto il portinnesto SO4 (Bucelli e Costantini, 2006).

2.4. *Pesco*

Il pesco presenta una buona adattabilità pedologica, preferendo tuttavia terreni tendenzialmente sciolti e fertili; anche se proprio in questi terreni (correlata alla presenza di nematodi), si manifesta maggiormente il fenomeno della stanchezza (i sintomi variano da stentati accrescimenti a ritardi nella messa a

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	CLASSI DI TERRENI			
	Suoli molto adatti	Suoli adatti	Suoli scarsamen- te adatti	Suoli non adatti
	S1	S2	S3	N
Falda profondità (cm)	> 100	> 100	> 100	< 100
Classificazione	No vertisuoli	No vertisuoli	No vertisuoli	Sì vertisuoli
Conducibilità elettrica (dS/m) (1m)	< 1	1 - 2	3 - 4	> 4
AWC (mm 100/ cm)	> 100	110 - 70	69 - 30	< 30
Drenaggio interno	Buono, modera- to, piuttosto mal drenato se dre- naggio esterno >medio, piutto- sto mal drenato se drenaggio esterno =medio e schele- tro $\geq 35\%$	Talvolta ecces- sivo o piuttosto mal drenato se drenaggio esterno \geq medio o scheletro $\geq 35\%$, piuttosto mal drenato se dre- naggio esterno =medio e schele- tro $\geq 35\%$	Eccessivo, imper- fetto, mal drena- to se drenaggio esterno >medio e scheletro $\geq 35\%$	Mal drenato e molto mal drenato
Fonte: Franchini et al., 2006				

Tab. 2 *Limitazioni pedologiche alla crescita dell'olivo*

frutto) (Baldini e Scaramuzzi, 1981 a). Nei riguardi della salinità e della sodicità il pesco è abbastanza suscettibile (valori ottimali < 0,2 dS/m e < 5ESP rispettivamente); perciò sarebbe auspicabile una particolare attenzione alle acque irrigue (Dichio et al., 2003).

Grazie alla disponibilità di numerosi portinnesti diversi dal pesco franco, è possibile coltivare questa drupacea anche in suoli molto difficili (tab. 4).

Il pH del terreno ottimale è tendenzialmente neutro: all'aumentare si crea un'alcalinità costituzionale che determina un effetto clorosante sulle foglie; mentre terreni acidi sono correlati a fenomeni di deperimento conosciuti come *short life*.

2.5. *Melo*

Il melo presenta una buona adattabilità nei riguardi del suolo (tab. 5), preferendo tuttavia terreni fertili di medio impasto: rifugge terreni spiccatamente argillosi e compatti in cui il lento smaltimento delle acque determina fenomeni di asfissia. Non si adattano nemmeno suoli molto sciolti, caratterizzati

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	GRUPPI DI PORTINNESTI	INTENSITÀ DELLE LIMITAZIONI		
		ASSENTI O LIEVI	MODERATE	SEVERE
Profondità utile alle radici (cm)	K5BB; SO4; 140Ru; 1103 P	> 100	50 - 100	< 50
	420A; 110 R	> 50	25 - 50	< 25
Tessitura	K5BB; SO4; 420A; 110 R	Media, mod. fine, mod. grossolana	Grossolana, fine	-
	140 Ru; 1103 P	Grossolana; mod. grossolana; mod. fine; fine	Media	-
Fessurazione	K5BB; SO4; 420A; 110 R	Bassa	Media	Forte
	140 Ru; 1103 P	Bassa	Media, forte	-
Salinità (EC 1:5 dS/m)	K5BB; SO4; 420A; 110 R; 140 Ru	< 0,4	0,4 - 0,8	> 0,8
	1103 P	< 0,8	0,8 - 1,0	> 1,0
Sodicità (ESP)	Tutti	< 8	8 - 10	> 10
Reazione (pH)	420A; 110 R	6,5 - 7,5	5,5-6,5; 7,5-8,5	< 5,5; > 8,5
	K5BB; SO4	6,5 - 7,5	5,5-6,5; 7,5-8,0	< 5,5; > 8,0
	140 Ru; 1103 P	6,5 - 8,0	5,4-6,5; 8,0-8,8	< 5,4; > 8,8
Calcare attivo (%)	110R; 1103 P; SO4	< 12	12 - 17	> 17
	K5BB; 420A	< 12	12 - 20	> 20
	140 Ru	< 15	15 - 40	> 40

Fonte: Bucelli e Costantini, 2006

Tab. 3 *Limitazioni pedologiche alla crescita della vite su diversi portinnesti*

da scarsa ritenzione idrica, perché il più diffuso portinnesto, l'M9, che conferisce ridotto vigore, non ha un apparato radicale molto sviluppato per estrarre l'acqua dagli orizzonti più profondi.

I suoli ottimali devono avere reazione tendenzialmente neutra e valori di calcare attivo inferiori all'8%.

2.6. *Actinidia*

I terreni ottimali presentano tessitura media, moderatamente fine o moderatamente grossolana, permeabili, con elevata capacità di ritenzione idrica e ricchi di materiale organico. L'actinidia si adatta anche ai terreni leggeri e ghiaiosi,

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	GRUPPI DI PORTINNESTI	INTENSITÀ DELLE LIMITAZIONI		
		ASSENTI O LIEVI	MODERATE	SEVERE
Profondità utile alle radici (cm)	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman, Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman	Media, moder. fine, moder. gros- solana	-	Fine, grosso- lana
	Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	Media, moder. gros- solana	Moder. fine	Fine, grosso- lana
Fessurazione	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman	Bassa	Media	Forte
	Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	Bassa	-	Media, forte
Salinità (EC 1:5 dS/m)	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman, Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	< 0,2	0,2-0,4	> 0,4
Sodicità (ESP)	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman, Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	< 5	5 - 10	> 10
Rischio di inon- dazione: -Inondabilità	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman, Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	Nessuno o raro	Occasionale	Frequente
Rischio di inon- dazione: -Durata	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman, Ibrido interspecifico Ishtara	Estrema- mente breve, molto breve	Breve	Lunga, molto lunga
	Mirabolano MrS 2/5	Estr. breve, molto breve, breve	Lunga	Molto lunga
Disponibilità di ossigeno	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman, Ibrido interspecifico Ishtara	Buona	Moderata	Imperfetta, scarsa, molto scarsa
	Mirabolano MrS 2/5	Buona, moderata	-	Imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	Mirabolano MrS 2/5 Ibrido interspecifico Ishtara	6,5-7,5	5,5-6,5; 7,5-8,5	<5,5; >8,5
	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman	6,5-8	5,5-6,5; 8-8,5	<5,5; >8,5
Calcare attivo (%)	Ibrido interspecifico Ishtara	< 5	5 - 9	> 9
	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman	< 8	8 - 13	> 13
	Mirabolano MrS 2/5	< 7	7 - 10	> 10

Fonte: Bellini et al., 2006

Tab. 4 *Limitazioni pedologiche alla crescita del pesce su diversi portinnesti*

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	GRUPPI DI PORTINNESTI	INTENSITÀ DELLE LIMITAZIONI		
		ASSENTI O LIEVI	MODERATE	SEVERE
Profondità utile alle radici (cm)	M9 e cloni derivati	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	M9 e cloni derivati	Media, moder. fine, moder. grossolana	Grossolana, fine	-
Fessurazione	M9 e cloni derivati	Bassa	Media	Forte
Salinità (EC 1:5 dS/m)	M9 e cloni derivati	< 0,4	0,4 - 0,8	> 0,8
Sodicità (ESP)	M9 e cloni derivati	< 8	8 - 10	> 10
Rischio di inondazione: - Inondabilità	M9 e cloni derivati	Assente o lieve	Moderato	Alto
Rischio di inondazione: - Durata	M9 e cloni derivati	Estremamente breve, molto breve	Breve	Lunga, molto lunga
Disponibilità di ossigeno	M9 e cloni derivati	Buona	Moderata	Imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	M9 e cloni derivati	6,5 - 8,5	5,4 - 6,4;	< 5,4; > 8,5
Calcare attivo (%)	M9 e cloni derivati	< 8	8 - 10	> 10

Fonte: Bellini et al., 2006

Tab. 5 *Limitazioni pedologiche alla crescita del melo su diversi portinnesti*

purché irrigati e lautamente concimati con sostanza organica (Zuccherelli, 1987, 1994). L'actinidia è pianta piuttosto sensibile ai fenomeni di fessurazione e crepacciamento del suolo, per cui i terreni con bassi quantitativi di argille a reticolo espandibile, e quindi con bassa tendenza a fessurare sono da considerare i migliori. Le condizioni ottimali di salinità del suolo sono inferiore a 0,4 dS/m e percentuali di sodio scambiabile (ESP) inferiori all'8%.

I terreni ottimali alla coltivazione dell'actinidia autoradicata devono avere un valore di calcare attivo inferiore al 4%, se innestata su D1 al 6% (tab. 6).

2.7. *Pero*

Le esigenze del pero nei riguardi della tessitura del terreno sono inferiori rispetto alle altre specie: questa coltura subisce severe limitazioni della crescita solo in presenza di terreni a tessitura sabbiosa, sabbioso - franca e franco - sabbiosa grossolana (tab. 7). La reazione del terreno ottimale deve essere tendenzialmente neutra; se innestato su franco e sue selezioni (OHF 40,

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	GRUPPI DI PORTINNESTI	INTENSITÀ DELLE LIMITAZIONI		
		ASSENTI O LIEVI	MODERATE	SEVERE
Profondità utile alle radici (cm)	Autoradicato, D1	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	Autoradicato, D1	Media, moder. fine, moder. grossolana	Grossolana, fine	-
Fessurazione	Autoradicato, D1	Bassa	Media	Forte
Salinità (EC 1:5 dS/m)	Autoradicato, D1	< 0,4	0,4 - 0,8	> 0,8
Sodicità (ESP)	Autoradicato, D1	< 8	8 - 10	> 10
Rischio di inondazione: Inondabilità - Durata	Autoradicato, D1	Assente o lieve; estremamente breve	Moderato; molto breve	Alto; da breve a molto lunga
Disponibilità di ossigeno	Autoradicato, D1	Buona	Moderata	Imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	Autoradicato, D1	6,0 - 6,5	5,4 - 6,0; 6,5 - 8,0	< 5,4; > 8,0
Calcare attivo (%)	Autoradicato D1	< 4	4 - 6	> 6
		< 6	6 - 8	> 8

Fonte: Bellini et al., 2006

Tab. 6 *Limitazioni pedologiche alla crescita dell'actinidia autoradicata o su portinnesto D1*

OHF 69) la tolleranza senza subire limitazioni arriva fino a pH 8. Un problema particolarmente sentito in alcune zone tradizionalmente interessate alla pericoltura, caratterizzate da terreni ricchi in carbonati, è la clorosi ferrica (Bellini, 1993).

L'insorgenza può essere prevenuta con l'utilizzo di ammendanti per la chelazione del ferro e l'utilizzo di idonei portinnesti resistenti (franchi). Questi ultimi insieme al Cotogno CTS 12 risultano senza dubbio i più resistenti al calcare attivo, fino al 12% senza risentirne.

2.8. Susino

In generale il susino innestato su Mirabolani predilige terreni di tessitura media, moderatamente fine o moderatamente grossolana, mentre incontra limitazioni della crescita in presenza di terreni con tessitura fine o grossolana. Nel caso di piante innestate su Ishtar, anche suoli con tessitura moderatamente fine inducono limitazioni della crescita, mentre risultano non idonei i terreni a tessitura grossolana o fine (tab. 8).

Il susino risulta gravemente danneggiato da fenomeni di ristagno idrico: soltanto i terreni in cui il rischio di inondazione è nullo o raro sono da ritenersi esenti da limitazioni della crescita (Baldini e Scaramuzzi, 1981 b).

2.9. *Albicocco*

L'albicocco predilige terreni con tessitura media o moderatamente grossolana (tab. 9). La migliore o peggiore adattabilità dipenderà comunque dalla combinazione pianta-portinnesto: il franco, in virtù dell'elevata vigoria e dell'apparato radicale più profondo, si adatta meglio ai suoli sciolti, anche pietrosi; in quelli a tessitura fine è indispensabile garantire il rapido allontanamento delle acque in eccesso, essendo molto sensibile ai fenomeni di asfissia radicale.

I vari portinnesti di susino, avendo radici più superficiali, e essendo quindi maggiormente sensibili alla siccità, mal si adattano a suoli con tessitura grossolana (Pirazzini, 2002).

I suoli ottimali per la coltivazione dell'albicocco devono essere caratterizzati da contenuti salini ($< 0,4\text{dS/m}$), sodici ($\text{ESP} < 8\%$) e di calcare attivi ($< 8\%$) medi.

2.10. *Ciliegio*

Il ciliegio innestato sul franco da seme o sull'ibrido Colt ottiene i migliori risultati produttivi in terreni con tessitura media, moderatamente fine o moderatamente grossolana (tab. 10). Al contrario, va incontro a severe limitazioni della crescita in suoli pesanti o eccessivamente sciolti.

Come il susino, anche il ciliegio risente notevolmente di fenomeni di ristagno idrico, seppur di breve durata (48 ore); suscettibilità che aumenta se innestato su franco da seme. Portinnesti come il Colt, in terreni che rimuovono prontamente l'acqua, sono in grado di conferire una maggiore resistenza a condizioni d'anossia (De Salvador e Lugli, 2002).

3. SPECIE ARBOREE E CARATTERI CHIMICI DEL SUOLO

I dati relativi all'idoneità dei suoli rispetto ai principali caratteri chimici (salinità, sodicità, calcare attivo e pH) per le diverse specie arboree da frutto non sono sempre univoci. Infatti diversi fattori (suoli diversi, pio-

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	GRUPPI DI PORTINNESTI	INTENSITÀ DELLE LIMITAZIONI		
		ASSENTI O LIEVI	MODERATE	SEVERE
Profondità utile alle radici (cm)	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato, Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato	Fine, media, moder. fine, moder. grossolana	-	Grossolana
	Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	Media, moder. fine, moder. grossolana	Fine	Grossolana
Fessurazione	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato	Bassa, media, forte	-	-
	Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	Bassa	Media, forte	-
Salinità (EC 1:5 dS/m)	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato, Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	< 0,4	0,4 - 0,8	> 0,8
Sodicità (ESP)	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato, Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	< 8	8 - 10	> 10
Rischio di inondazione: - Inondabilità	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato, Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	Assente o lieve	Moderato	Alto
Rischio di inondazione: - Durata	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato, Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	Estremamente breve, molto breve	Breve	Lunga, molto lunga
Disponibilità di ossigeno	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato, Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	Buona, moderata	-	Imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato	6,5 - 8	5,4 - 6,5; 8 - 8,8	< 5,4; > 8,8
	Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	6,5 - 7,5	5,4 - 6,5; 7,5 - 8,8	< 5,4; > 8,8
Calcare attivo (%)	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato	< 10	10 - 12	> 12
	Cotogno BA 29, Sydo	< 5	5 - 8	> 8
	Cotogno MC	< 4	4 - 6	> 6

Fonte: Bellini et al., 2006

Tab. 7 Limitazioni pedologiche alla crescita del pero su diversi portinnesti

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	GRUPPI DI PORTINNESTI	INTENSITÀ DELLE LIMITAZIONI		
		ASSENTI O LIEVI	MODERATE	SEVERE
Profondità utile alle radici (cm)	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	Media, moder. fine, moder. grossolana	Grossolana, fine	-
Fessurazione	Ibrido interspecifico Ishtara	Media, moder. grossolana	Moder. fine	Grossolana, fine
	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	Bassa	-	Media, forte
Salinità (EC 1:5 dS/m)	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5 Ibrido interspecifico Ishtara	< 0,2	0,2 - 0,4	> 0,4
Sodicità (ESP)	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	< 5	5 - 10	> 10
Rischio di inonda- zione: - Inondabilità	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	Assente o lieve	Moderato	Alto
- Durata	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	Estremamente breve, molto breve, breve	Lunga	Molto lunga
	Ibrido interspecifico Ishtara	Estremamente breve, molto breve	Breve	Lunga, molto lunga
Disponibilità di ossigeno	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	Buona, mo- derata	-	Imperfetta, scarsa, molto scarsa
	Ibrido interspecifico Ishtara	Buona	Moderata	Imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Ibrido interspecifico Ishtara	6,5 - 7,5	5,5-6,5; 7,5-8,5	< 5,5; > 8,5
Calcare attivo (%)	Mirabolano da seme, Mirab. 29C	< 7	7 - 10	> 10
	Ibrido interspecifico Ishtara	< 5	5 - 9	> 9

Fonte: Bellini et al., 2006

Tab. 8 *Limitazioni pedologiche alla crescita del susino su diversi portinnesti*

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	GRUPPI DI PORTINNESTI	INTENSITÀ DELLE LIMITAZIONI		
		ASSENTI O LIEVI	MODERATE	SEVERE
Profondità utile alle radici (cm)	Franco, Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	Franco	Media, moderatamente grossolana	Moder. fine, fine, grossolana	-
Fessurazione	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	Media, moderatamente grossolana	Moderatamente fine	Grossolana, fine
	Franco	Bassa	Media	Forte
Salinità (EC 1:5 dS/m)	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	Bassa	-	Media, forte
	Franco, Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	< 0,4	0,4 - 0,8	> 0,8
Sodicità (ESP)	Franco, Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	< 8	8 - 10	> 10
Rischio di inondazione: - Inondabilità	Franco, Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	Assente o lieve	Moderato	Alto
Rischio di inondazione: - Durata	Franco	Estremamente breve, molto breve	Breve	Lunga, molto lunga
	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	Estremamente breve, molto breve, breve	Lunga	Molto lunga
Disponibilità di ossigeno	Franco	Buona	Moderata	Imperfetta, scarsa, molto scarsa
	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	Buona, moderata	-	Imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	Franco, Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	6,5 - 7,5	5,4 - 6,5; 7,5 - 8,5	< 5,4; > 8,5
Calcare attivo (%)	Franco	< 8	8 - 12	> 12
	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	< 7	7 - 10	> 10

Fonte: Bellini et al., 2006

Tab. 9 *Limitazioni pedologiche alla crescita dell'albicocco su diversi portinnesti*

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	GRUPPI DI PORTINNESTI	INTENSITÀ DELLE LIMITAZIONI		
		ASSENTI O LIEVI	MODERATE	SEVERE
Profondità utile alle radici (cm)	Franco da seme, Ibrido Colt	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	Franco da seme, Ibrido Colt	Media, moder. fine, moder. grossolana	-	Grossolana, fine
Fessurazione	Franco da seme, Ibrido Colt	Bassa	Media	Forte
Salinità (EC 1:5 dS/m)	Franco da seme, Ibrido Colt	< 0,4	0,4 - 0,8	> 0,8
Sodicità (ESP)	Franco da seme, Ibrido Colt	< 8	8 - 10	> 10
Rischio di inondazione: - Inondabilità	Franco da seme, Ibrido Colt	Assente o lieve	Moderato	Alto
Rischio di inondazione: - Durata	Ibrido Colt	Estr. breve, m. breve	Breve	Lunga, molto lunga
Disponibilità di ossigeno	Franco da seme	Estremamente breve	Molto breve	Da breve a molto lunga
	Ibrido Colt	Buona	Moderata	Moderata, imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	Franco da seme, Ibrido Colt	6,5 - 8,5	5,4 - 6,4	< 5,4; > 8,5
Calcare attivo (%)	Franco da seme, Ibrido Colt	< 7	7 - 12	> 12

Fonte: Bellini et al., 2006

Tab. 10 *Limitazioni pedologiche alla crescita del ciliegio su franco da seme o su Colts*

vosità, età delle piante, ecc.) influenzano i valori dei dati raccolti nelle diverse ricerche. In tabella 11 vengono riportati i valori medi desunti da varie fonti bibliografiche per diverse specie e/o combinazioni specie/portinnesti, sui quali è stata applicata l'Analisi delle Componenti Principali.

L'analisi statistica ha portato all'individuazione di due componenti principali (CP) con autovalore > 1, la CP 1 (che esprime le variabili "salinità" e "sodicità") e la CP 2 (nuova variabile che rappresenta le variabili "pH" e "calcare attivo"), rispetto alle quali è stata analizzata la disposizione dei binomi specie/portinnesto (fig. 1).

Specie/portinnesto	Salinità (dS/m)	Sodicità (ESP)	pH	Calcare attivo (%)	Specie/portinnesto	Salinità (dS/m)	Sodicità (ESP)	pH	Calcare attivo (%)
Arancio amaro	0,2	-	6,7	7	Ciliegio/Franco da seme	0,4	8	7	7
Citrangè	1,5	-	6,7	5	Ciliegio/Colt	0,4	8	7	7
Vite/1103 PAULSEN	0,8	8	7,3	17	Albicocco/Franco	0,4	8	7	8
Vite/SO4	0,4	8	7	17	Albicocco/Mirabolano da seme	0,4	8	7	7
Vite/KOBER 5BB	0,4	8	7	20	Albicocco/Mirabolano 29C	0,4	8	7	7
Vite/420 A	0,4	8	7	20	Albicocco/Mirabolano MrS 2/5	0,4	8	7	7
Vite/140 RUGGERI	0,4	8	7,3	40	Melo/M9 e cloni	0,4	8	7,5	8
Vite/110 RICHTER	0,4	8	7	17	Pero/Franco (OHF 40, OHF 69)	0,4	8	7,3	10
Olivo	1	8	7,1	40	Pero autoradicato	0,4	8	7,3	10
Pesco/GF 677	0,2	5	7,3	8	Pero/Cotogno BA 29	0,4	8	7	5
Pesco/Ibrido Cadaman	0,2	5	7,3	8	Pero/ Cotogno MC	0,4	8	7	4
Pesco/Mirabolano MrS 2/5	0,2	5	7	7	Pero/Sydo	0,4	8	7	5
Pesco/Ishtara	0,2	5	7	5	Castagno	0,2	-	5,8	2
Susino/Mirabolano da seme	0,2	5	7	7	Melograno	0,6	8	6	50
Susino/Mirabolano 29C	0,2	5	7	7	Kaki	0,4	-	6,5	4
Susino/Mirabolano MrS 2/5	0,2	5	7	-	Actinidia autoradicata	0,4	8	6,3	4
Susino/Ishtara	0,2	5	7	5	Actinidia/D1	0,4	8	6,3	6

Tab. 11 Valori medi dei principali caratteri chimici per le specie arboree da frutto trattate

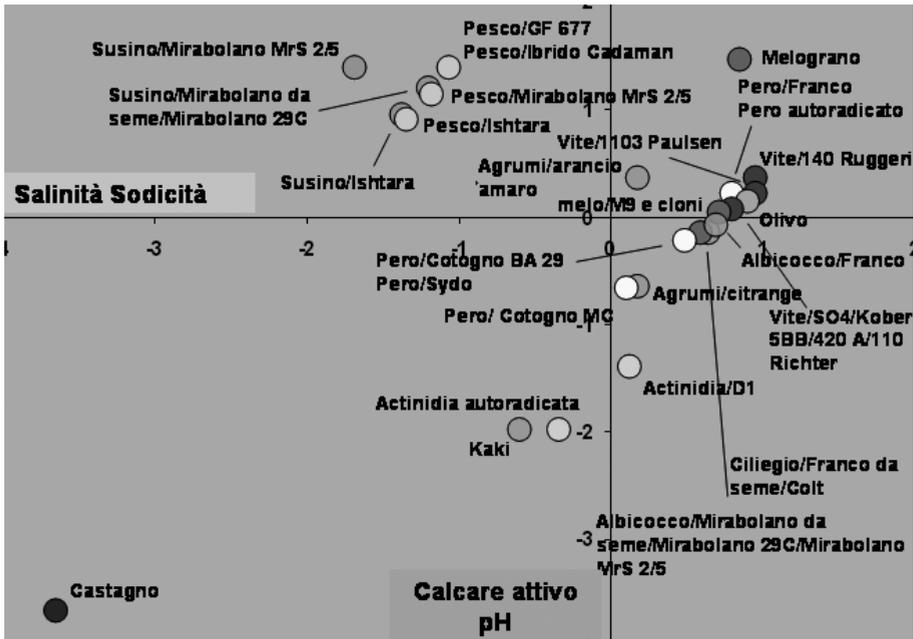


Fig. 1 *Disposizione delle specie/portinnesti rispetto alle due componenti principali*

Tra le specie che meglio si adattano ad ambienti salso-sodici si segnalano il melograno, la vite innestata su 140 Ruggeri e su 1103 Paulsen, il pero su franco o autoradicato e l'olivo; il castagno ha bisogno di ambienti con valori molto bassi di salinità, calcare attivo e pH.

L'odierna peschicoltura è basata su portinnesti quali il GF 677 (ibrido pesco-mandorlo), l'MrS 2/5 (clone di susino) e portinnesti intraspecifici (come il Cadaman o il Barrier 1), che conferiscono buona adattabilità a elevati valori di calcare attivo (dall'8 fino al 13%) e di pH (7-7,3); questi sono però caratterizzati da una scarsa propensione per i terreni salini ($EC\ 1:5\ dS/m < 0,2$) o sodici ($ESP < 5$) (Loreti e Massai, 2003).

L'orientamento futuro è indirizzato verso lo sfruttamento di aree con maggiori tenori salso-sodici: tra i portinnesti promettenti in tal senso possono essere menzionati Montclar-Chanturgue e PS A7 (entrambi da seme). Inoltre, polivalenti per varie tipologie di suolo si stanno confermando due ibridi di susino: Tetra e Penta (fig. 2).

Il pero, quando innestato su cotogno (BA 29, MC, Sydo), è una specie mediamente più suscettibile al calcare attivo rispetto al pesco (i suoli ottimali non devono superare valori di 4-5%), mentre più adatti a terreni con elevati tenori (fino al 10%) si rivelano i portinnesti franchi; relativamente

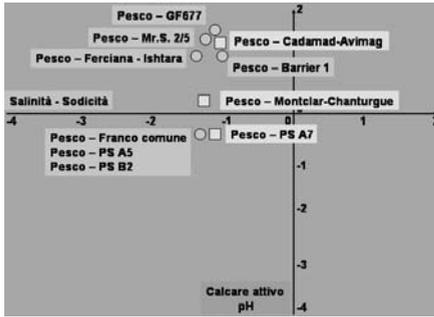


Fig. 2 Portinnesti tradizionali (○) e promettenti (□) per il pesco

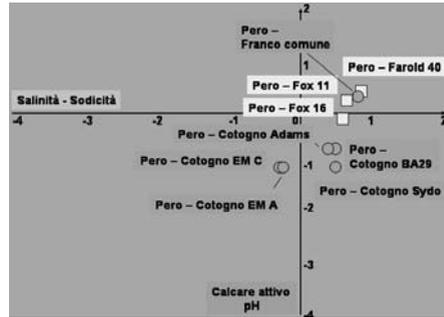


Fig. 3 Portinnesti tradizionali (○) e promettenti (□) per il pero

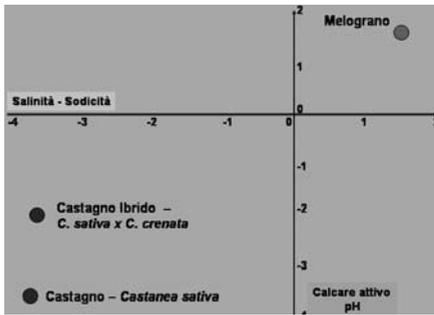


Fig. 4 Esigenze pedologiche per castagno e melograno



Fig. 5 La coltivazione del melograno in Spagna

alla salinità e alla sodicità il pero, indipendentemente dal portinnesto, ben si adatta a terreni caratterizzati da valori elevati ($EC\ 1:5\ dS/m < 0,4$; $ESP < 8$).

Gli ipobionti più promettenti sono da ricercarsi in portinnesti franchi (Farold 40, Fox 11 e Fox 16), che rispetto ai cotogni tollerano elevate percentuali di calcare attivo e pH maggiori del terreno (fig. 3) (Bellini e Nin, 1999).

Il diospiro si adatta ai terreni più vari, purché non eccessivamente argillosi, né umidi né aridi: il portinnesto più utilizzato in condizioni ottimali si è dimostrato il *Diospyros lotus* L., in ragione anche di una maggiore resistenza alle basse temperature. In terreni particolarmente aridi si è dimostrato migliore il portinnesto franco per l'elevata resistenza alla siccità; mentre per terreni umidi e a pH acido si è contraddistinto come portinnesto il *Diospyros virginiana* L. (Bellini e Giordani, 1991).

Agli antipodi per esigenze pedologiche troviamo due specie: il castagno e il melograno. Il castagno è specie che necessita di terreni a pH acido e con tenori di salinità, sodicità e calcare attivo bassissimi (<1-2%), per cercare un'adattabilità a un maggior numero di terreni, in alcune zone stanno acquisendo

spazio ibridi di castagno (*C. sativa* x *C. crenata*), meno esigenti, di origine orientale, ma con standard qualitativi inferiori (fig. 4). Il melograno invece si caratterizza per la sua propensione a terreni con quantitativi di sali e calcare attivo elevati (oltre il 50%): nelle zone più siccitose e calcaree della Spagna stanno nascendo impianti ultramoderni di questa specie (fig. 5).

RIASSUNTO

Vengono espone in modo sintetico le caratteristiche pedologiche dei suoli per diverse classi di idoneità in riferimento alle principali specie arboree da frutto di zone temperate (agrumi, olivo, vite, drupacee e pomacee). Per ciascuna specie vengono riportati i caratteri funzionali, con particolare riferimento a fattori maggiormente limitanti la diffusione delle singole specie. Particolare attenzione è stata comunque posta su quattro caratteri (salinità, sodicità, pH e contenuto in calcare attivo) dei suoli e sulla adattabilità di una vasta gamma di specie/portinnesti in uso e in sperimentazione. L'analisi delle componenti principali è stata applicata su dati relativi a salinità modicità, pH e calcare attivo di 34 specie o combinazione di specie/portinnesti, mettendo così in evidenza quelle specie per le quali questi parametri sono fortemente limitanti (es. castagno europeo e actinidia) o quelle molto tolleranti (es. melograno).

ABSTRACT

Soil characteristics for different classes of suitability are reported for the main fruit tree species grown in temperate areas (citrus, grape, olive, stone fruits and pome fruits). Special attention has been paid to chemical characteristics of the soils (salinity, sodicity, pH and active lime) and the adaptability of many species and species/rootstocks. The Multivariate Principal Component Analysis has been applied on a set of data regarding soil salinity, sodicity, pH reaction and active lime of 34 fruit tree species and combinations of species/rootstocks. Species or species/rootstocks have been screened for these strongly limiting factors, clearly showing the very susceptible species (eg. European chestnut and kiwifruit) and those more tolerant (eg. pomegranate).

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1991): *Frutticoltura speciale*, REDA, Roma.
 AA.VV. (2002): *I portinnesti dei fruttiferi 2002: albicocco, ciliegio, melo, pero, susino, pesco*, suppl. «L'Informatore Agrario», 51.
 BALDINI E., SCARAMUZZI F. (1981 a): *Frutticoltura anni 80 - Il pesco*, REDA, Roma.
 BALDINI E., SCARAMUZZI F. (1981 b): *Frutticoltura anni 80 - Il susino*, REDA, Roma.
 BELLINI E. (1993): *La coltivazione del pero*, Edizioni L'Informatore Agrario, Verona.
 BELLINI E., GIORDANI E. (1991): *Diospyrus kaki* L., *Diospyrus lotus* L., *Diospyrus virginiana* L., «Terra e Vita», 30, pp. 40-42.

- BELLINI E., NIN S. (1999): *La coltivazione del pero in Italia. Scelta del portinnesto e delle cultivar*, «L'Informatore Agrario», 41.
- BELLINI E., GIORDANI E., MORELLI D. (2006): *Il pesco. Il melo. L'actinidia. Il pero. Il susino. Il ciliegio. L'albicocco*, in *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, coordinatore E.A.C Costantini, Edizioni Cantagalli, Siena, pp. 643-784.
- BUCELLI F., COSTANTINI E.A.C. (2006): *Vite da vino e zonazioni vitivinicole*, in *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, coordinatore E.A.C Costantini, Edizioni Cantagalli, Siena, pp. 519-578.
- CALABRESE F., DAZZI C. (2006): *Agrumi*, in *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, coordinatore E.A.C Costantini, Edizioni Cantagalli, Siena, pp. 501-518.
- DICHIO B., XILOYANNIS C., MONTANARO G. (2003): *L'irrigazione della peschicoltura meridionale: efficienza, qualità e rispetto ambientale*, «Frutticoltura», 7, 8, pp. 33-38.
- DE SALVADOR F.R., LUGLI S. (2002): *I portinnesti del ciliegio*, suppl. «L'Informatore Agrario», 51, pp. 9-16.
- FRANCHINI E., CIMATO A., COSTANTINI E.A.C. (2006): *Olivo*, in *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, coordinatore E.A.C Costantini, Edizioni Cantagalli, Siena, pp. 579-642.
- LORETI F., MASSAI R. (2003): *Orientamento per la scelta dei portinnesti del pesco*, «Frutticoltura», 7, 8, pp. 26-30.
- PIRAZZINI P. (2002): *I portinnesti dell'albicocco*, suppl. «L'Informatore Agrario», 51, pp. 5-8.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, I.TER (1998): *Catalogo dei suoli della pianura emiliano romagnola*, www.gias.regione.emilia-romagna.it/suoli/guidaindice.asp.
- ZUCCHERELLI G. (1987): *L'actinidia pianta da frutto e da giardino*, Frutticoltura moderna, manuali tecnici Ed. agricole, Bologna.
- ZUCCHERELLI G. (1994): *L'actinidia e i nuovi kiwi*, Frutticoltura moderna, manuali tecnici Ed. agricole, Bologna.

LUCIANO LULLI*

Suoli e colture tipiche e di qualità

La qualità del suolo si raggiunge con la definizione del “corpo naturale suolo” (*soil body*).

In altre parole il suolo, quale identità resa discreta dal rilevamento e dalle analisi diagnostiche, grazie alla sua riconosciuta specificità, consente il confronto tra suoli e tra suolo e non suolo.

La sua identità è la sua specificità. Caratteristica questa, che è la qualità che il suolo esprime tutte le volte che vengano effettuate valutazioni di merito, in quanto adatto o non adatto, idoneo o non idoneo agli usi che se ne vogliono fare, non esclusa la sua destinazione naturale (*wild life*).

Il “corpo naturale suolo” si delimita con la *cartografia delle superfici*, che identifica aree o domini nei quali il suolo è pressoché omogeneo, e con la *classificazione*, che consente di definire i caratteri genetici e operativi utili alla gestione del territorio.

La *cartografia* delimita, nel continuo superficiale, porzioni di territorio entro le quali dominano alcuni caratteri specifici del suolo, riconosciuti e misurati attraverso il campionamento delle sezioni o profili aperti durante il rilevamento.

La *classificazione* permette di collocare il suolo all’interno delle categorie del sistema, sino a definire quei caratteri funzionali che influiscono sulle pratiche agricole o forestali; nel contempo individua quei caratteri specifici che differenziano un suolo dagli altri suoli.

Al corpo di suolo viene dato un *nome*.

A livello più basso di classificazione il nome è assegnato a quella *serie* di suoli *tutti simili tra loro* che si presuppone abbiano analoghi comportamenti. La serie in genere prende il nome dalla *località* nella quale è stata identificata

* CRA – Centro di ricerca per l’agrobiologia e la pedologia (CRA-ABP) – Catanzaro

per la prima volta. La località indica l'insieme dei caratteri fisici al contorno, dando alla serie una dimensione fisica e ambientale.

Dopo questa lunga e necessaria sequela di definizioni mi preme di specificare meglio cosa significa rilevare e classificare un suolo.

Di fatto, discretizzare il continuo superficiale vuol dire individuare porzioni di territorio o domini entro i quali isolare delle specificità o qualità del suolo. Infatti identificare (descrivere e analizzare) e dare un nome al suolo (classificare) significa *qualificarlo*.

I criteri di identificazione sono sempre inerenti alle esigenze dell'uomo e quindi soggettivi, sia in campagna che nel sistema di riferimento della classificazione (Costruttivismo).

QUALITÀ DEL SUOLO, QUALITÀ DEL PRODOTTO

Agli inizi degli anni Ottanta si sentì nel mondo occidentale la necessità economica di puntare sulla qualità piuttosto che sulla quantità dei prodotti.

Una serie di ragioni contingenti ci portò a indagare se la qualità del suolo come sopra definita influisse sulla qualità del vino. Inizii allora all'Istituto per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze il primo studio sulle relazioni tra qualità del suolo e qualità del prodotto.

IL VINO

Si usarono le serie di suoli rilevate da Edoardo Costantini in tutto il territorio di San Gimignano e la Vernaccia come vitigno. A quei tempi la Vernaccia veniva vinificata in purezza.

Risultò che tra le serie di suolo rilevate quelle che si avvicinavano come caratteristiche ai suoli degli orti e dei dintorni della città di San Gimignano davano, sia nella annate migliori che in quelle peggiori, i migliori vini (*Vigne e Vini*, 1989).

La serie San Gimignano, di eccellenza per la Vernaccia, è composta di suoli bruni, profondi con un orizzonte di alterazione ben strutturato che sopporta anche eventi catastrofici (scassi), e che si formano su depositi pliocenici marini. Sono neutri o leggermente alcalini. Detto all'antica: la Vernaccia esige suoli profondi, freschi e fertili.

Tutti gli scostamenti da questa condizione o stato per le radici della vite conducono a un decadimento della qualità del vino.



Fig. 1 *Profilo della fase* sottile della serie San Gimignano; suoli sui quali si produce Vernaccia di qualità*
 (*fase = porzione di land definita in base a caratteri che incidono sugli usi agricoli e forestali, come in questo caso la limitata profondità del suolo)

Fanno eccezione i suoli dinamici della (serie) Monte che, annata per annata, si avvicinano o si allontanano dal comportamento dei suoli della (serie) San Gimignano. Per cui la minore o maggiore qualità del vino prodotto, a parità delle altre condizioni, dipende dall'andamento meteorologico. Non è detto quindi che, in una buona annata, tutti i suoli, più o meno adatti, migliorino le loro produzioni.

LA PATATA

Dalla pianta arborea, la vite, che persiste sul terreno per lunghi periodi, a una coltivazione erbacea decisamente stagionale. In questi casi l'effetto suolo può essere meno determinante causa la ridotta persistenza della coltivazione sul terreno. L'ambiente indagato è l'altopiano granodioritico della Sila dove si coltiva la patata da seme.



Fig. 2 Sulla serie Cecita collocata nei fondovalle fluvio-lacustri dell'altopiano si ottengono le più alte produzioni ma con una qualità organolettica lievemente inferiore. Non mancano fenomeni di tossicità da alluminio

La qualità dei suoli deriva da due elementi essenziali: la natura dei materiali della roccia madre e dall'andamento climatico. Anche i suoli sottili presentano una certa fertilità naturale perché lo sfaticcio di roccia, oltre alla fertilità fisica che si manifesta nella penetrabilità alle radici delle piante, presenta anche una certa fertilità chimica per la presenza di materiale amorfo nelle sabbie granitiche. Difatti anche le superfici fortemente erose e denudate, se arate, diventano rapidamente suolo. Qualità questa affine a quella dei materiali vulcanici piroclastici.

Sui suoli che insistono sui graniti si ottengono i migliori risultati. Mentre sugli sfaticci di roccia, diciamo il regolite o non suolo, le qualità organolettiche e merceologiche si deprimono.

Sui suoli che derivano dai fondovalle lacustri aumentano le produzioni ma si deprimono le qualità organolettiche della patata.

L'OLIO

Le indagini sull'olio seguono una serie di prove che indicano la scarsa efficacia delle caratteristiche del suolo sulla qualità dell'olio prodotto. Lo dimostrava anche la distribuzione della Carolea su tutti o quasi i tipi di terreno del Cantanzarese. Tuttavia i suoli lisciviati delle superfici terrazzate sono maggiormente vocati alla produzione di olio di qualità.

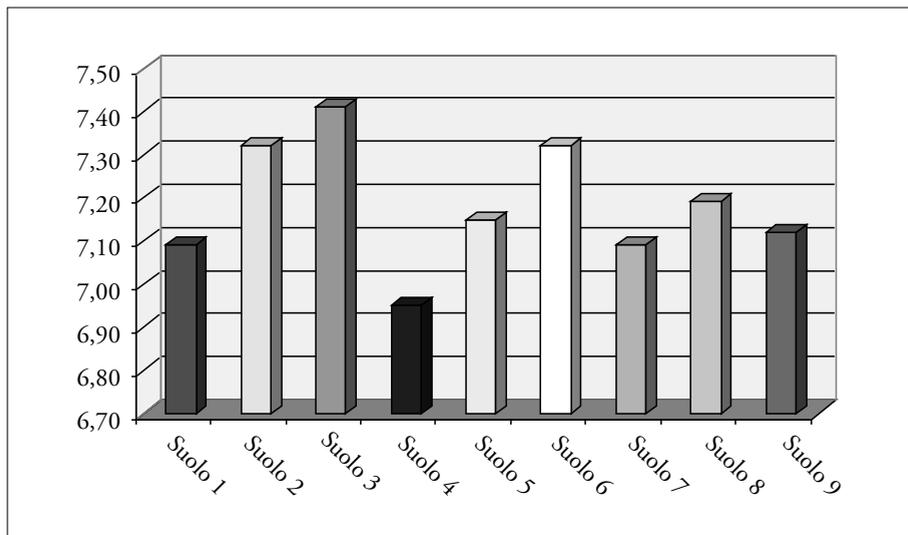


Fig. 3 Valori medi del panel test degli oli monovarietal della cv Carolea. Provenienti da diversi suoli calabresi. Annata 2000-2001. Il suolo 3 dei terrazzamenti produce il migliore olio del confronto, mentre il suolo 4 delle piane, con ristagno di acqua in qualche momento dell'anno, produce l'olio peggiore

Alcuni suoli del Medio Jonio Catanzarese (come nel Montiferru in Sardegna) presentano decremento della qualità dell'olio per ristagno temporaneo d'acqua in profondità.

Non si hanno nel caso della produzione di olio gli effetti marcati che sono emersi per altre produzioni, come nel caso del vino. Tuttavia se si punta su una produzione di qualità è bene tenere conto anche della posizione spaziale delle coltivazioni, alla quale nei nostri ambienti è sempre connessa una variazione di suolo.

I TARTUFI¹

Nel caso del tartufo o meglio, dei tartufi pregiati e non, quelle che contano sono alcune proprietà (qualità) del suolo che consentono ai funghi di fruttificare.

¹ Gli studi sui tartufi Bianco pregiato e Scorzone sono stati possibili grazie alla collaborazione fattiva della Regione Toscana (ARSIA). Le indagini sul Bianchetto sono state effettuate da Lorenzo Gardin per conto dell'ARSIA. Le indagini sul Nero pregiato sono state possibili grazie alla collaborazione del prof. Bencivenga e coll. dell'università di Perugia e dagli studi di Marcello Raglione e coll. dell'Istituto del Suolo, sezione di Rieti. Essenziale la collaborazione di Gilberto Bragato dell'Istituto di Nutrizione Piante.

In un esteso bosco di querce solo in alcuni siti si cavano i tartufi, la ragione principale è che in quei luoghi si sono formate le condizioni per la maturazione dei carpofori.

Anche lungo i fiumi e i torrenti solo in alcuni siti si cavano i tartufi. Ed è così per le pendici, per le frane e per tante altre condizioni geomorfologiche. La ragione di ciò è che necessita per la fruttificazione del capoforo, oltre a un pedoclima favorevole, che varia da tartufo a tartufo, la presenza o vicinanza di *calcare attivo* e di una *macroporosità interconnessa*.

Se le condizioni nel suolo si verificano, per azione della dinamica geomorfologica o di quella climatica, o ambedue, allora e solo allora, il micelio fruttifica e avviene la crescita del tartufo.

Mi riferirò inizialmente ai due tartufi pregiati: il bianco d'Alba (*Tuber magnatum Pico*) e il nero di Norcia (*Tuber melanosporum*); Alba e Norcia sono solo due località tartufigole famose, ma producono gli stessi tartufi di tutte le altre località (italiane e non).

Per i due tartufi pregiati le vie percorse per la fruttificazione sono diverse.

Per il bianco sono necessari eventi catastrofici che consentono alla massa di suolo di avere un alto contenuto di macropori interconnessi.

L'ambiente suolo deve essere aerato, quindi ossigenato, calcareo.

Il carpoforo si forma in poche settimane in coerenza con la dinamicità del mezzo.

I siti del tartufo si trovano in genere in aree a tettonica attiva.

Il suolo è poco differenziato.

Per il tartufo nero, invece, è necessario un ambiente tendenzialmente stabile come sono le superfici calcaree in Appennino, la cui solifluzione è stata congelata (bloccata) dalla fine della glaciazione. O altrimenti gli ambienti relativamente stabili delle marne. O superfici relativamente stabili, come i terrazzamenti.

Il suolo è ben strutturato, scheletrico sulle superfici calcaree.

Il carpoforo permane quasi tutto l'anno nel terreno con crescita regolare.

L'ambiente poco dinamico consente al tartufo di formare il pianello, area entro il quale gran parte della vegetazione spontanea viene eliminata dalla emissione di tossine.

Lo Scorzone o tartufo mediterraneo (*Tuber aestivum*) e il Bianchetto o Marzuolo (*Tuber albidum*) sono due tartufi a vasta diffusione, ma meno pregiati del Bianco d'Alba e del Nero di Norcia, località che per antonomasia indicano i due tartufi nobili, ma la loro diffusione è molto più vasta dei due areali d'elezione.

Per il tartufo mediterraneo o Scorzone l'areale di distribuzione coincide con l'ambiente mediterraneo e un pedoambiente con stagione secca che possiamo trovare anche in siti collocati in ambienti diversi dal tipo clima mediterraneo.

I caratteri del mezzo sono simili a quelle del tartufo pregiato ma sopportano un qualche periodo di siccità.

Per i tartufi è il pedoclima che conta.

Per il Bianchetto, che necessita di un pedoambiente umido ma drenante, sempre calcareo, i siti possono essere diversi, dalla dune costiere ai grugni delle rocce verdi. Stupefacente è il fatto che sulle rocce ultra basiche, dove la vegetazione stenta a crescere, si possano trovare tartufi. C'è ancora molto da studiare.

Quelli presentati sono alcuni esempi tratti in gran parte dalla mia esperienza. Per il vino e l'ulivo le cose sono andate molto avanti, merito di Edoardo Costantini. Per la patata le cose vanno avanti grazie a Giuseppe Vecchio. Per i tartufi grazie a Marcello Raglione, Gilberto Bragato e Lorenzo Gardin.

Per quanto invece concerne le relazioni tra suoli e qualità dei prodotti, spero di avere accennato ad approcci che, anche se lunghi, sono risultati efficaci dal momento che la ricerca necessita di prolungate fasi di campagna.

Il suolo deve essere ben conosciuto, intendendo per suolo l'intero corpo con la sua conformazione e con la sua estensione superficiale e, nel caso specifico dei tartufi, con la sua collocazione (il sito), se si vogliono fare confronti che indichino la qualità delle produzioni, qualunque esse siano.

CONCLUSIONI

Premettendo che, alla base di ogni qualità, esiste sempre un giudizio di merito che condiziona il prodotto nel senso voluto dalle esigenze dell'uomo (alto grado di soggettività), si è riscontrato che, ogni qualvolta si ottiene un prodotto naturale conforme alle esigenze, sono risultate determinanti le condizioni fisiche o fisico-chimiche del suolo (alto grado di oggettività).

Se ne deduce perciò che le condizioni del mezzo fisico condizionano la riuscita di un determinato effetto e che queste sono da ricercarsi in un suolo con precise proprietà. E, poiché le combinazioni dei fattori di crescita sono innumerevoli, alla *specificità* corrisponde una *singularità*, per cui precise combinazioni dei fattori di produzione si possono verificare *solo* in particolari contesti, *unici* e difficilmente riproducibili.

RIASSUNTO

Nel testo l'Autore, dopo aver definito la qualità del suolo, descrive alcune esperienze sperimentali relative al rapporto tra la qualità del suolo e la qualità del prodotto. Vino, patata e tartufo sono gli esempi sui quali si sofferma per dimostrare come il suolo partecipi alla produzione di prodotti di qualità.

ABSTRACT

In this work the A. after giving the soil quality definition, described some experimental studies about soil and products quality relationship. Wine, potato and truffles are examples used to attest as soil is an important factor for producing quality.

BIBLIOGRAFIA

- A.A.V.V.: *Valorizzazione della biodiversità dell'olio in Calabria*. (in stampa)
- BRAGATO G., PANINI T., PAGLIAI M. (1992): *Soil porosity and structural conditions in soils involved in white truffle production in the "Crete Senesi" area (Tuscany)*, «Agr. Med.», vol. 122, pp. 180-188.
- CREMASCHI M., RODOLFI G. (1991): *Il suolo*, La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- GARDIN L., BAGLIONI F., LULLI L., RISI B. (1997): *Indagine ecologica sul tartufo scorzone (Tuber Aestivum Vitt.) in Toscana*, «Monti e Boschi», 5, pp. 13-18.
- GARDIN L. (2005). *I tartufi minori in Toscana. Gli ambienti di crescita dei tartufi marzuolo e scorzone*, Quaderni ARSIA, 1, 2005.
- LERNER D. a cura di (1971): *Qualità e quantità e altre categorie della scienza*, Universale scientifica Boringhieri, Torino, p. 268.
- LORCH E.R. a cura di (1976): *La qualità*, Il Mulino/Seminari Interdisciplinari di Venezia, Bologna, p. 424.
- LULLI L., COSTANTINI E.A.C., MIRABELLA A., GIGLIOTTI A., BUCELLI P. (1989): *Influenza del suolo sulla qualità della Vernaccia di San Gimignano*, «VigneVini», 1/2, pp. 53-62.
- LULLI L., BRAGATO G., GARDIN L. (1999): *Occurrence of Tuber melanosporum in relation to soil surface layer properties and soil differentiation*, «Plant and Soil», 214, 1/2, pp. 85-92.
- LULLI L., PRIMAVERA F. (1998): *Tuber magnatum Pico: environment of growth*, Atti Simposio Tartufo, Aix en Provence.

MARCELLO PAGLIAI*

La valutazione agro-forestale e ambientale dei suoli e delle terre. Sintesi conclusiva

Questa giornata di studio è stata, fra l'altro, l'occasione per presentare il manuale di valutazione dei suoli e delle terre, il quale si inserisce nella collana dei metodi analitici per l'agricoltura dopo i metodi di analisi delle acque e i metodi di analisi fisica, chimica, microbiologica, biochimica e mineralogica del suolo.

La necessità di un manuale di questo genere è motivata anche dal fatto che negli ultimi decenni stiamo assistendo a tangibili cambiamenti non solo climatici, ma anche ambientali e del sistema agricolo: da un lato si assiste a un intensificarsi dei processi di degradazione del suolo (erosione, compattamento, impermeabilizzazione, consumo di suolo, perdita di sostanza organica e di struttura, salinizzazione, desertificazione, ecc.) dovuti senza dubbio a una non corretta gestione del territorio; dall'altro lato a un radicale cambiamento del modo di fare agricoltura. L'agricoltura tradizionale e intensiva sta lasciando il posto a un'agricoltura multifunzionale il cui scopo primario non è più la quantità, ma, semmai, la qualità dei prodotti in un contesto non solo di protezione dell'ambiente ma di valorizzazione dell'ambiente stesso: "agricoltura che produce paesaggio".

La degradazione del suolo rappresenta ormai un'emergenza a livello planetario. Si tratta di un'emergenza tanto più pressante in Italia, a causa dell'alta variabilità dell'ambiente, anche per la presenza di molti tipi di suolo caratterizzati da vulnerabilità senza dubbio più alta rispetto agli altri Paesi Europei. Proprio quella variabilità che ha contribuito a far guadagnare l'appellativo di "bel paese" all'Italia.

Purtroppo negli ultimi decenni il nostro "bel paese" ha subito, con frequenza impressionante e crescente, eventi catastrofici, con numerose alluvioni

* CRA – Centro di ricerca per l'agrobiologia e la pedologia (CRA-ABP) – Firenze

verificatesi dal Nord al Sud. La maggior parte, anzi la totalità, di questi disastri ambientali sono riconducibili alla mancanza di attenzione al suolo nella gestione degli ecosistemi agrari e forestali.

Ma oltre ai disastri ambientali più eclatanti, l'intensificazione della pressione antropica nelle particolari condizioni climatiche mediterranee ha provocato una preoccupante degradazione dei suoli, rendendo tangibile, in molte aree del nostro paese, il rischio di desertificazione. Infatti sono cinque e tutte al Sud le regioni italiane seriamente interessate al problema della desertificazione, cioè del progressivo inaridimento del terreno con conseguente perdita di fertilità, problema che è una priorità nazionale. Il 21.3% dei suoli del territorio nazionale è a rischio di desertificazione (41,1% nel Centro e Sud Italia). La degradazione del suolo avvenuta negli ultimi 40 anni ha provocato una diminuzione di circa il 30% della capacità di ritenzione idrica dei suoli italiani, con un relativo accorciamento dei tempi di ritorno degli eventi meteorici in grado di provocare eventi calamitosi.

L'erosione del suolo è proprio la principale causa di detta degradazione e rappresenta, quindi, una minaccia ambientale insidiosa che, nella maggior parte dei casi, provoca danni irreversibili nel lungo periodo. Spesso, quando ci si accorge di questi effetti dannosi è ormai troppo tardi e il degrado della risorsa suolo è da ritenersi permanente.

Nonostante l'aumentata coscienza verso la protezione dell'ambiente e verso lo sviluppo di un'agricoltura sostenibile, ancora rimane molto da fare per arginare questa minaccia. L'Agenzia Europea per l'Ambiente, nel report IRENA del 2005, indica che i sistemi di coltivazione conservativa sono adottati solo su circa il 10% delle terre coltivate di molti stati membri, fra cui l'Italia; anche se si osserva una loro crescente diffusione soprattutto in Germania, Spagna, Finlandia, Francia, Portogallo e nel Regno Unito.

Il suolo rappresenta quindi l'elemento essenziale sia per la protezione dell'ambiente sia per consentire meglio la multifunzionalità dell'agricoltura, attraverso la pianificazione di un corretto uso del suolo stesso.

Scopo di questo manuale è proprio quello di fornire utili elementi per programmare detto corretto uso del suolo alla luce anche dell'applicazione della Nuova PAC. Come è noto il 26 giugno 2003 il Consiglio dei Ministri dell'agricoltura dell'Unione Europea ha approvato una radicale riforma a carico della politica agricola comune (PAC), la così detta "Condizionalità", destinata a rivoluzionare le modalità di sostegno dell'intero settore da parte della UE per i prossimi 10 anni; infatti l'erogazione degli incentivi sarà subordinata al rispetto di specifiche norme in materia di salvaguardia ambientale, sicurezza alimentare e protezione degli animali.

Altro aspetto è quello della sfida futura della nostra agricoltura da giocarsi tutta sulle colture di qualità e sulle colture tipiche, così come il corretto uso del suolo basato sulla vocazione del territorio cioè sul conferimento al binomio coltura/terre di una connotazione di eccellenza qualitativa, che si fonda sulle sue peculiarità. Molto spesso la coltura di qualità diventa anche coltura di riferimento come immagine trainante di un territorio. Oggi si parla infatti di “qualità totale del territorio” cioè il territorio gestito in funzione della qualità dei prodotti, conservazione del suolo e degli ecosistemi, salubrità dell’ambiente, bellezza del paesaggio.

Il manuale fornisce gli strumenti conoscitivi per valorizzare le potenzialità delle terre e condurre la migliore gestione agrotecnica, partendo dalla conoscenza del suolo.

Il manuale si colloca nella strategia dell’Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo del Ministero delle Politiche Agricole che, assieme alle Regioni, realizza l’introduzione della conoscenza del suolo nelle scelte di gestione del territorio a livello nazionale, regionale e locale.

Tale attività dell’Osservatorio Nazionale Pedologico ha già visto realizzato numerosi progetti, tra cui la formazione dei nuclei pedologici regionali e il progetto Carta dei suoli d’Italia a scala 1:250.000, che hanno prodotto quelle conoscenze di base che potranno essere ora, tramite la pubblicazione del presente manuale, più adeguatamente valorizzate.

RIASSUNTO

Il manuale dei metodi di valutazione dei suoli e delle terre, la cui presentazione è stata l’oggetto di questa giornata di studio, fornisce elementi utili e innovativi per programmare un uso corretto del suolo, per valorizzare le sue potenzialità e per prevenirne la degradazione; aspetto, questo, che rappresenta un’emergenza a livello planetario.

L’esigenza di un manuale del genere si è resa ancora più pressante alla luce dell’applicazione della Nuova PAC, la quale introduce norme in materia di salvaguardia ambientale e, quindi, di protezione del suolo. Il manuale fornisce, appunto, elementi per attuare e valutare detta protezione.

ABSTRACT

The manual of methods for soil and land evaluation, presented in this workshop, gives an useful and innovative support to plan a correct soil use, to valorise its potentiality and to prevent its degradation. As it is well-known, soil degradation is a major environmental problem worldwide.

The necessity of this kind of manual is also emphasised by the application of the New CAP, that introduces directives for environmental protection and, therefore, for soil protection. The manual provides information to realise and to evaluate such a soil protection.

Finito di stampare in Firenze
presso la tipografia editrice Polistampa
nel novembre 2008

