



ASSESSORATO AMBIENTE
SETTORE TUTELA DEL SUOLO

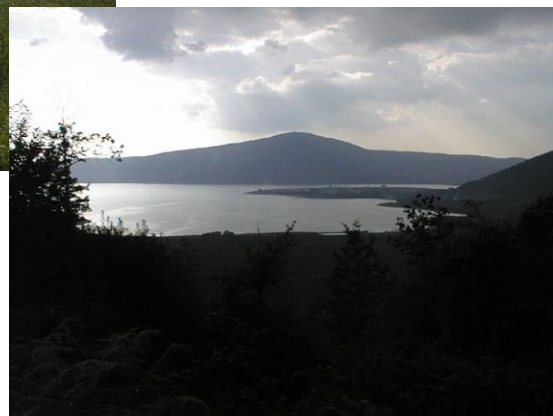
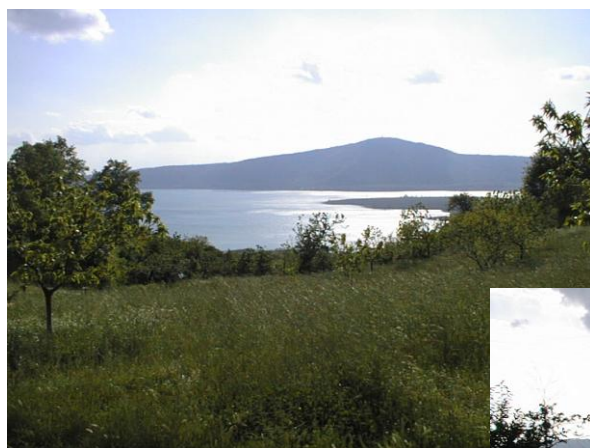


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
Tuscia

FACOLTÀ DI AGRARIA
ISTITUTO DI GENIO RURALE

*Assetto territoriale del bacino del lago di Vico
e tutela del corpo idrico*

Prof. Ing. Antonio Leone



Dicembre 1998

antonioleone

Indice

1. – INTRODUZIONE

1.1 – L'eutrofizzazione

1.2 – Stato trofico dei laghi

1.3 – Cause dell'eutrofizzazione: fonti concentrate e fonti diffuse

1.4 – Il ciclo del fosforo

2. – IL BACINO DEL LAGO DI VICO

2.1 – Inquadramento geografico e lineamenti geopedologici essenziali

2.2 – Caratteristiche morfologiche ed idrologiche del Lago di Vico

2.3 – Paesaggio naturale e paesaggio culturale del lago di Vico

3. – STATO TROFICO DEL LAGO DI VICO

3.1 – Il bilancio del fosforo a scala di bacino

3.2 – Applicazione del modello di Vollenweider

3.3 – Conseguenze dell'analisi effettuata: evoluzione trofica del lago e rilevanza del problema erosivo

4. – CARTOGRAFIA DEL RISCHIO AMBIENTALE

4.1 – Valutazione quantitativa della perdita di suolo

4.1.1 L'erosione idrica accelerata

4.1.2 Analisi modellistica del fenomeno

4.1.3 Cartografia ambientale derivata dalla USLE

4.1.4 Costruzione del modello digitale del terreno

4.1.5 Cartografia derivata dal DEM

4.1.6 Carta del fattore pedologico K-USLE (erodibilità)

4.1.7 Carta dell'uso del suolo

5. – LA CARTA DEI TIPI E DELL'USO DEL SUOLO NEL TEMPO

5.1 – Elementi pedologici

5.1.1 Integrazione delle informazioni pedologiche

5.2 – Evoluzione storica dell'uso del suolo

5.2.1 Evoluzione del seminativo

5.2.2 Evoluzione del castagneto

5.2.3 Le zone umide

6. – *IL RISCHIO EROSIIVO A SCALA DI BACINO*

6.1 – Il fattore di aggressività climatica

6.2 – Il rischio erosivo e la sua evoluzione nel tempo

7. – *GESTIONE E CONTROLLO DEL RISCHIO AMBIENTALE*

7.1 – Interventi di carattere diffuso

7.1.1 Simulazioni modellistiche (modello GLEAMS)

7.1.2 Applicazione del modello GLEAMS al bacino del lago di Vico

7.1.3 Risultati della simulazione: i nutrienti

7.1.4 Risultati della simulazione: i pesticidi

7.2 – Interventi localizzati

7.2.1 Le strade

7.2.2 Il reticolo idrografico

7.2.3 Transizione fra terra emersa e corpo idrico: la vegetazione ripariale del lago

8. – *IL SISTEMA DI MONITORAGGIO*

8.1 – Il territorio

8.1.1 Le apparecchiature di monitoraggio

8.2 – Il lago

PREMESSA

Già da alcuni anni presso l'Istituto di Genio Rurale dell'Università della Tuscia sono state avviate ricerche relative al bacino del lago di Vico (Leone, 1989) in quanto questo territorio, per dimensione e tipologia delle problematiche, si configura come un vero e proprio laboratorio naturale di analisi dell'interazione fra attività agricole ed ambiente, nel caso specifico rappresentato da un lago di particolare sensibilità all'azione antropica.

Obiettivo finale di questi studi è la definizione pragmatica e realistica, di sviluppo sostenibile, termine oggi divenuto di moda e, per questo, spesso abusato nelle dichiarazioni di intenti, ma poco applicato nella pratica quotidiana.

Per questi motivi, nell'agosto del 1996, è stato proposto il finanziamento dello studio in questione all'Assessorato Ambiente, Ecologia, Studi e Programmazione della Provincia di Viterbo, nell'ambito della Convenzione Quadro istituita tra questo Ente e l'Università della Tuscia.

La proposta è stata ritenuta valida ed ha dato luogo alla stipula di una Convenzione tra le suddette Istituzioni per l'espletamento dell'indagine scientifica in epigrafe.

Il tempo necessario per l'espletamento dell'incarico è stato stimato essere di un anno a partire dalla data di stipula (20 dicembre 1996). Ritardi tecnici nell'attribuzione dei fondi hanno però comportato un inizio effettivo del lavoro circa sei mesi dopo la suddetta data e, pertanto, è stata richiesta una proroga di uguale durata per la sua ultimazione. Tale proroga è stata concessa in data 18-11-1997.

Con la presente, si relaziona sullo stato di avanzamento dello studio, come previsto dall'art. 4 della Convenzione.

PRINCIPALI SPUNTI E SCOPI DELLO STUDIO

Il lago di Vico è biotopo di particolare valore paesaggistico ed ambientale, in cui emerge, soprattutto, la presenza del corpo idrico, che occupa oltre un quarto dell'intero bacino ed è caratterizzato da una decisa ed intrinseca sensibilità ambientale, legata all'origine vulcanica del lago, che riduce fortemente la sua "vivacità" idrologica. Esso, infatti, è privo di immissario e presenta tempi molto lunghi di rinnovo delle acque e, quindi, tendenza alla concentrazione degli inquinanti e dei nutrienti.

Soprattutto la concentrazione di questi ultimi è ormai certo essere notevolmente accresciuta nell'ultimo decennio, pur in assenza di carichi civili ed industriali di rilievo nel bacino. E' invece fenomeno evidente e frequentissimo l'erosione accelerata dei suoli delle pendici del bacino.

Il presente lavoro ha come oggetto l'applicazione di una metodologia di indagine sperimentale che permetta di elaborare carte tematiche atte ad individuare nel territorio il grado di sensibilità ambientale con particolare riferimento al rischio erosivo.

Le caratteristiche per cui il lago di Vico è particolarmente significativo ai fini di questo tipo di studio (con importanti ricadute di carattere applicativo) possono essere così riassunte:

- bacino imbrifero situato costituito dalla caldera di un vulcano, quindi una zona rappresentativa per i complessi equilibri esistenti tra i fattori geomorfologici, biologici ed antropici che si verificano al suo interno;
- sede di tradizionali attività produttive economicamente rilevanti per gli abitanti del luogo;
- alto valore naturalistico (Riserva Naturale) e paesaggistico, che porta a far convivere sia la fruizione di beni ricreativi da parte dei turisti, sia la salvaguardia del territorio e delle specie botaniche e zoologiche presenti.

Partendo dallo stato trofico delle acque del lago, quale indicatore della situazione presente nell'ambiente, l'attenzione è stata focalizzata sui dati ricavati dalla bibliografia sul contenuto di fosforo presente nelle acque.

Dalle analisi svolte è emersa l'importanza del contenimento degli apporti di questo elemento al lago di Vico e, quindi, dell'individuazione delle sorgenti di origine diffusa di

macronutrienti che afferiscono al bacino idrografico e la conseguente analisi qualitativa del fenomeno.

Nel valutare le problematiche sopra esposte si è preso in considerazione l'aspetto specifico del problema dell'erosione del suolo, cui è legata l'asportazione di fosforo verso lo specchio lacustre.

1. – INTRODUZIONE

1.1 – L'eutrofizzazione.

Con il termine eutrofizzazione si indica l'anomalo arricchimento in nutrienti delle acque, soprattutto fosforo ed azoto. Questo fenomeno, accentuatosi negli ultimi anni, è uno dei più gravi problemi di deterioramento delle risorse idriche. Basti pensare alla problematica dell'eutrofizzazione del Mare Adriatico e dei sistemi lacustri e fluviali, emersa con forza anche a causa delle macroscopicità della proliferazione algale.

Il fenomeno, pur non presentando gravi rischi da un punto di vista sanitario, manifesta comunque una situazione di degrado ambientale. L'acqua proveniente da un corpo idrico eccessivamente nutrito, infatti, non è tossica, ma di qualità scadente sia dal punto di vista naturale (sistema idrobiologico) che dell'uso umano (potabile, irriguo).

I sintomi tipici dell'eutrofizzazione possono essere così sintetizzati:

- comparsa di fioritura algale;
- crescita sproporzionata di piante acquatiche superiori;
- formazione di "schiuma" e di "tappeti" di alghe flottanti;
- diminuzione della trasparenza dell'acqua;
- odori sgradevoli causati da processi putrefattivi;
- deossigenazione dell'acqua del fondo e formazione di idrogeno solforato;
- massicce morie di pesci.

Ogni corpo idrico ha una determinata risposta all'apporto di abbondanti sali nutritivi, in funzione di moltissimi fattori tra cui, quelli fisici, sono:

1. Il *clima*, con la sua influenza sui cicli di rimescolamento delle acque.
2. La *geomorfologia* e la *pedologia* del bacino idrografico.
3. Il *regime idrologico*.
4. La *morfologia* del corpo idrico.

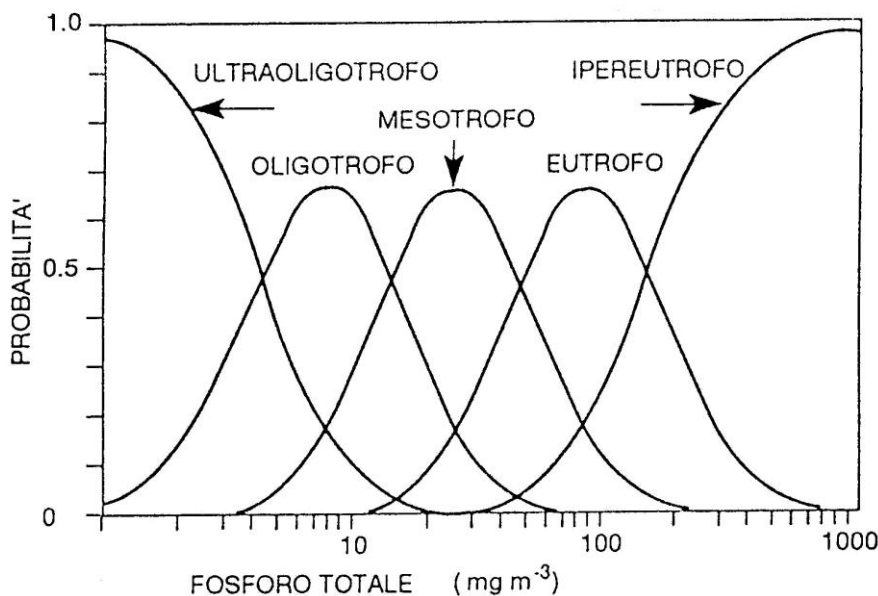
1.2 Stato trofico dei laghi.

Il grado trofico dei laghi è classificato secondo gli schemi riportati in tab.1.1 (classificazione “rigida”) ed in fig. 1.1 (classificazione “elastica”, espressa con approccio probabilistico). Quest’ultimo metodo deriva dalla constatazione che, per effetto delle particolari caratteristiche fenologiche e climatiche di ogni bacino, tutte le categorie trofiche possono essere presenti nei sistemi lentici indisturbati. A seconda della situazione specifica, poi, ogni annata può presentare una particolare trofia. Di qui nasce la necessità di considerare di tipo probabilistico la ricorrenza del grado trofico (O.E.C.D., 1982).

Tab. 1.1: Classificazione trofica dei laghi secondo lo schema “rigido” (Marchetti, 1989).

Classe trofica	Contenuto in P [mg/L]
Ultraoligotrofo	$[P] < 4$
Oligotrofo	$4 < [P] < 10$
Mesotrofo	$10 < [P] < 35$
Eutrofo	$35 < [P] < 100$
Ipereutrofo	$[P] > 100$

Fig. 1.1: Distribuzione delle probabilità di appartenenza delle categorie trofiche in funzione della concentrazione di P (OECD, 1982).



1.3 Cause dell'eutrofizzazione: fonti concentrate e fonti diffuse.

Il grado trofico naturale di un lago è una diretta conseguenza dell'assetto fisico del bacino idrografico (clima, geomorfologia e pedologia), delle caratteristiche del corpo idrico, delle attività antropiche e del relativo uso del suolo del bacino stesso, a testimonianza della stretta correlazione fra i vari sistemi "socio-ambientali" (Dillon e Kirchner, 1975). Per tale motivo è fondamentale il censimento delle fonti di nutrienti ricorrendo all'analisi dei cicli di quelli più importanti: il fosforo e l'azoto.

Le fonti di inquinamenti e nutrienti di un corpo idrico sono generalmente classificate in:

- a) *fonti di tipo concentrato*, riconducibili ad uno scarico puntiforme proveniente da insediamenti produttivi e/o civili.
- b) *fonti di tipo diffuso*, nel caso in cui l'asportazione ed il recapito di inquinanti al corpo idrico recettore sia areale, ovvero non legato ad elementi puntiformi.

Quest'ultimo caso riguarda essenzialmente le attività agricole e silvo-pastorali, quelle estrattive, le costruzioni di grandi infrastrutture e lo sviluppo urbano di grandi aree.

Una fondamentale differenza fra i due tipi di fonti, con implicazioni sulla strategia di prevenzione e controllo, si riscontra sulle modalità di emissione: quelle concentrate recapitano gli inquinanti ai corpi idrici in modo abbastanza continuo, quelle diffuse in modo discontinuo, generalmente in coincidenza con eventi meteorici di particolare entità. La precipitazione in esubero rispetto alla capacità di trattenuta del suolo tende a percolare attraverso il terreno (diretta ai corpi idrici sotterranei) o a scorrere come deflusso superficiale (verso fiumi e laghi).

Ne deriva l'estrema complessità e variabilità territoriale del manifestarsi di queste problematiche, influenzate dall'interazione tra fattori naturali (idrologici, geomorfologici, pedologici, ecc.) e di uso e copertura del suolo. E' di conseguenza fondamentale l'importanza della pianificazione territoriale per il controllo di quello che sta diventando un problema ambientale di rilievo sempre maggiore.

Da tempo numerose ricerche, soprattutto statunitensi, hanno evidenziato come il mancato rispetto degli standard di qualità delle acque sia dovuto alle fonti diffuse, soprattutto di origine agricola. Già dal 1985 Chesters e Schierow segnalavano che, nel 90% dei casi per quanto riguarda i coliformi e l'azoto totale, e nel 70% per quanto riguarda il fosforo, le fonti diffuse erano causa del mancato raggiungimento degli standard statunitensi.

La realtà italiana presenta una più breve tradizione negli studi del fenomeno, tuttavia si può affermare che tra le fonti d'inquinamento di tipo diffuso, quelle agricole sono di gran lunga le più significative (Leone et al, 1996). Recentemente, però, tale problematica incomincia ad assumere un giusto rilievo.

Il presente studio ne costituisce un esempio, insieme a pochi altri italiani, fra i quali si cita l'iniziativa dell'Ente Parco Regionale Migliarino, S. Rossore, Massaciuccoli per il controllo a scala territoriale degli apporti di fosforo al lago Massaciuccoli.

In genere, i bilanci di area vasta, come quelli a scala di bacino, vengono impostati sul fosforo, per la maggiore importanza di questo elemento come fattore limitante della crescita algale e per la maggiore facilità di valutazione modellistica del suo destino ambientale.

1.4 – Il ciclo del fosforo.

Il fosforo (in seguito indicato con P) svolge, nei sistemi biologici, diversi ruoli, tra cui quello di conservazione e trasferimento dell'energia, ed è, pertanto, uno dei fattori limitanti dello sviluppo degli organismi vegetali.

Essendo un importante elemento nutritivo del terreno, la sua presenza è indispensabile in quanto, favorendo la crescita vegetale, indirettamente svolge la funzione di protezione del suolo.

Quando l'elemento entra nel ciclo idrologico, la possibilità che si accumuli in "eccesso" nel corpo idrico recettore può diventare causa di perturbazione della catena trofica e, di conseguenza, la crescita incontrollata di alcune tipologie algali e, dunque, di eutrofizzazione.

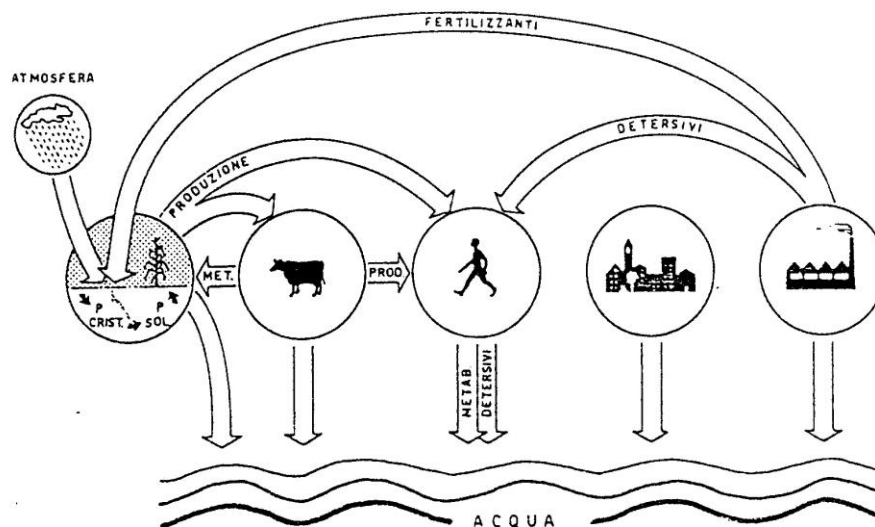
L'analisi del ciclo naturale del P (fig. 1.2) può aiutare a localizzare le fonti di generazione di questo elemento.

Il P è presente nel terreno come fosfato organico ed inorganico, proveniente dalla decomposizione naturale della sostanza organica, dalla deposizione di composti provenienti dall'atmosfera, dall'eventuale presenza di rocce come fosforiti ed apatiti. Il P nella soluzione circolante è il risultato dell'equilibrio tra:

- mineralizzazione della sostanza organica;
- umificazione;

- fissazione da parte della componente argillosa del suolo;
- immobilizzazione da parte dei microrganismi;
- assorbimento delle piante;
- degradazione delle rocce fosfatice;
- fertilizzazione.

Fig. 1.2: Schema del ciclo del fosforo.



Le principali caratteristiche del P nel terreno sono la bassa solubilità e l'elevata capacità di adsorbimento alle particelle di suolo, che è di natura chimica, avviene, cioè, tramite reazioni con anioni. Ne consegue che, normalmente, la presenza dell'elemento adeso alla matrice solida, detto *fosforo particolato* (indicato in seguito con PP), è la più rilevante. Il PP viene distinto in:

- *insolubile* (fluoro, cloro, idrossi, ferridrossi apatiti) = PPI;
- *solubile* (fosfati) = PPs.

Quest'ultima è la forma assimilabile (almeno per la gran parte) dalla vegetazione, compresa quella acquatica e, quindi, può essere responsabile dei fenomeni di arricchimento trofico dei laghi. Essa è normalmente associata allo ione ortofosfato (PO_4), a cui va aggiungunta parte del P organico per ottenere il P totalmente assimilabile dalla vegetazione, che è detto biodisponibile o eutrofizzante o labile. La differenza fra solubile ed

eutrofizzante è tanto maggiore quanto minore la concentrazione di P nelle acque (U.S. N.R.C., 1993).

Queste distinzioni sono da considerarsi non rigide in quanto l'adsorbimento chimico è un fenomeno reversibile e la componente particolata può rientrare in soluzione. Si parla, in tal caso, di *desorbimento*. L'alluminio ed il ferro sono gli elementi più importanti da questo punto di vista: se, infatti, si instaurano condizioni anaerobiche, il ferro si ritrova in forma ridotta (passa da Fe^{3+} a Fe^{2+}), cosa che incrementa il rilascio di P in soluzione, soprattutto se quest'ultima è povera dell'elemento.

Identico meccanismo di (adsorbimento-desorbimento) si instaura negli scambi di P tra sedimento ed acqua al fondo di un lago ed è, quindi, fondamentale questo aspetto per l'analisi dell'impatto del fosforo nei casi in cui questo proviene al corpo idrico in forma particolata, come accade al lago di Vico. In questi casi il problema si presenta più insidioso, sia per il carattere diffuso e non facilmente gestibile della fonte, sia perché può presentarsi anche anni dopo che è cessato l'ingresso di P nel lago, in quanto il sedimento costituisce un "serbatoio" in un primo tempo inattivo, ma che al manifestarsi di carenza di ossigeno diventa rilevante fonte di fosforo. In questi casi si parla di *carico interno* di fosforo.

Molti studi hanno confermato tali ipotesi, con fenomeni eutrofici manifestatisi anche dieci anni dopo la cessazione degli ingressi di P al lago Trummen (Svezia) o con carichi interni di P dell'ordine del 10% del totale per il lago Erie (USA), dati riferiti dall'U.S. N.R.C. (1993).

E' quindi evidente come il P solubile e quello particolato siano strettamente correlati ed entrambi costituiscono un problema per la qualità delle acque, affrontare un aspetto piuttosto che l'altro potrebbe essere, quindi, fuorviante ed anche per questi motivi, sarebbe bene considerare la somma dei due che dà luogo alla biodisponibilità del P, cosa però, per quanto sin qui affermato, praticamente non valutabile e, quindi, conviene sempre effettuare l'analisi in termini di P totale.

Mobilizzazione del fosforo

Il comportamento del fosforo nel terreno fa sì che solo in casi particolari (suoli sottili e sabbiosi, con forti soluzioni di continuità o con falda molto superficiale) l'elemento può costituire un problema per le acque sotterranee; infatti, gli orizzonti pedologici inferiori e la zona insatura dell'acquifero esercitano una forte azione adsorbente, essendo entrambe povere della sostanza.

Un certo grado di rimozione del P può invece essere esercitato dal deflusso superficiale delle acque di pioggia che rimuovono l'elemento dalle aree agricole trasportandolo ai corpi idrici, soprattutto perché esso è più concentrato negli strati superficiali del terreno, dove è più efficace l'azione ruscellante delle acque. Ma è soprattutto l'erosione del suolo, data la forte affinità con la matrice solida, il veicolo di rimozione del P dalle superfici agricole, sebbene ciò non voglia dire che quello asportato possa divenire, almeno nell'immediato, biodisponibile.

Di conseguenza, dai suoli agrari è asportato soprattutto P solubile e P particolato ove, in quest'ultimo, è da annoverare anche quello presente nella sostanza organica erosa.

Dai boschi e dai prati, invece, l'aliquota maggiore è il fosforo solubile, che è praticamente tutto biodisponibile.

Quest'ultimo aspetto è molto importante per le valutazioni dell'impatto ambientale, dal momento che interventi conservativi del suolo (pratiche agricole, forestazione, ecc.), pur comportando minore dilavamento, inducono un cambiamento qualitativo del P asportato, il quale tende a diventare quasi tutto biodisponibile e quindi, di maggiore impatto ambientale (Sharpley, 1992).

Il problema del rischio d'inquinamento da fosfati per i corpi idrici è quindi estremamente complesso e va analizzato sempre nella maniera più calzante possibile al particolare ambiente in esame.

2. – IL BACINO DEL LAGO DI VICO

2.1 – Inquadramento geografico e lineamenti geo-pedologici essenziali.

Il lago di Vico è compreso nella parte settentrionale del bacino del Tevere e, insieme al lago Trasimeno, di Bolsena e di Bracciano, fa parte del complesso dei laghi vulcanici tipici di quest'area. In tale ambito, è il bacino di più modeste dimensioni (area di circa 40 km²) ed è situato alla quota più elevata (620 m s.l.m., valore medio del bacino).

Esso appartiene all'apparato vulcanico ciminico ed è stato generato da uno sprofondamento a caldera del vulcano omonimo.

I maggiori rilievi del bacino sono localizzati nella parte nord ed occidentale del lago; raggiungono i 965 m con il Monte Fogliano e gli 838 m con Monte Venere.

Le pendici esterne della caldera digradano verso il Mar Tirreno ad ovest e la valle del Tevere ad est.

L'emissario, il Rio Vicano, sbocca da un incile artificiale nella parte sud occidentale, probabilmente è stato scavato nel XVI secolo dai Farnese, si trova mediamente alla quota di 510 m s.l.m. ed è affluente del Treia e, quindi, del Tevere.

La storia geologica del territorio in esame è relativamente recente ed è parte integrante dell'evoluzione della fascia peritirrenica dell'Italia centrale. Nel viterbese il vulcanismo si è manifestato per la prima volta nell'area del Monte Cimino, circa un milione di anni fa, con la messa in posto di unità ignimbriche riodacitiche (eruttive effusive) note col nome di "peperino", tipico del viterbese.

Il vulcano di Vico ha iniziato la sua attività contemporaneamente alle ultime fasi di attività del complesso ciminico, intorno a 0.8 milioni di anni fa, sebbene il culmine si è avuto circa 0.4 milioni di anni fa.

E' possibile distinguere a Vico un apparato centrale unico, dal quale si è svolta quasi la totalità dell'attività vulcanica, morfologicamente caratterizzato da un cono lavico troncato alla sommità da una caldera eccentrica verso sud, sede del lago omonimo.

All'interno dell'area calderica sorge un edificio vulcanico più giovane e di più modeste dimensioni: il Monte Venere.

L'area vicana, a tutt'oggi, è interessata da molte manifestazioni idrotermali ad indicare che il sistema dinamico non ha ancora raggiunto un equilibrio definitivo.

I caratteri fondamentali dei suoli sono legati ai processi pedogenetici che si realizzano su materiali vulcanici fini privi di aridità (andisolizzazione). A livello locale si ha però una certa variabilità legata alle pendenze ed alle esposizioni che incidono notevolmente sul grado di insolazione. L'area denominata "Le Pantanacce", posta sul versante settentrionale sotto "Procoio", presenta suoli su depositi lacustri depressi e periodicamente sommersi (Lulli ed al., 1990), tendenzialmente argillosi.

Risalendo il versante a Nord-ovest del lago, si incontrano depositi lacustri terrazzati profondi, seguiti da suoli su depositi colluviali alla base delle pareti interne della Caldera.

Salendo in quota, si rinvengono suoli su depositi piroclastici del Monte Venere i quali, sulla sommità del rilievo, presentano caratteri andici più accentuati.

Nel versante Est, sulla sommità del Monte Fogliano, i suoli poggiano sulle lave leucitiche e presentano fenomeni di criptopodsolizzazione.

Infine, di rilievo la cornice tufacea che si estende ad est del Monte Venere, lungo la cresta della caldera.

2.2 – Caratteristiche morfologiche ed idrologiche del Lago di Vico.

Le principali caratteristiche morfologiche del lago sono state ricavate dalla recente carta tecnica regionale (1990) e, per questo, risultano diverse da quelle, riportate tra parentesi, ricavate da Barbanti et al. (1971), sia per la diversa scala, che per il maggiore livello odierno del lago:

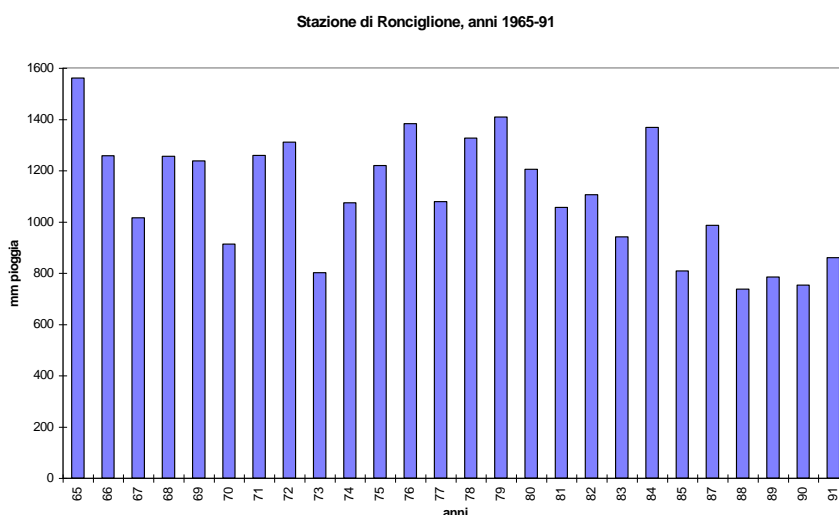
- quota s.l.m.m. decisamente elevata: 510 m (quello di Vico ha la maggior quota tra i grandi laghi italiani);
- area A: 12,93 km² (12,08 km²);
- perimetro L: 18,14 km (16,9 km);
- indice di circolarità ($0.282 L/\sqrt{A}$): 1,42 (1,37);
- profondità media: 21,54 m, da verificare a seguito dei risultati del nuovo rilievo batimetrico;
- profondità massima: 48,5 m.

Per quanto riguarda i dati relativi al bacino imbrifero, risulta interessante il valore elevato del rapporto tra bacino emerso e specchio idrico. La situazione pluviometrica è un altro

aspetto che caratterizza il bacino. Questa è assai differenziata rispetto agli altri laghi del bacino del Tevere, infatti tale parametro meteorologico aumenta con l'altitudine.

Dall'analisi dei dati relativi a Ronciglione, la stazione pluviometrica più vicina al lago, per il periodo 1919-1964, emerge un totale annuo medio di piogge di 1406 mm, decisamente superiore ai circa 1000 mm del bacino del Tevere, cui l'area in esame appartiene. Nell'ultimo periodo, però, (1965-91), si registra un deciso calo di detto valore medio che è sceso a 1104 mm (corrispondenti ad una riduzione del 22%) e lunghi periodi siccitosi dal 1985 al 1991, come mostra la fig. 2.1.

Fig. 2.1: Andamento delle piogge per la stazione di Ronciglione (periodo 1965-1991).



Le differenze tra Ronciglione e le altre stazioni riguardano principalmente il semestre autunno-inverno, mentre nelle altre stagioni i valori non sono dissimili, cosa che accresce l'aggressività delle piogge in questa zona.

Dal punto di vista del regime pluviometrico, esso può dirsi transizionale, si colloca, cioè, tra il tipo sublitoraneo appenninico ed il tipo marittimo. Data la mancanza di un picco secondario primaverile, tutte le precipitazioni tendono a concentrarsi nel semestre autunno-invernale, con un massimo a novembre (Barbanti et al., 1971), confermato anche nell'ultimo ventennio, sebbene nettamente più siccitoso. Le caratteristiche pluviometriche presentano comunque notevole complessità per l'effetto del vicino Mare Tirreno (a ovest) e del Monte Cimino, pochi km a nord est del lago. A ciò si sovrappone una variabilità interna altrettanto

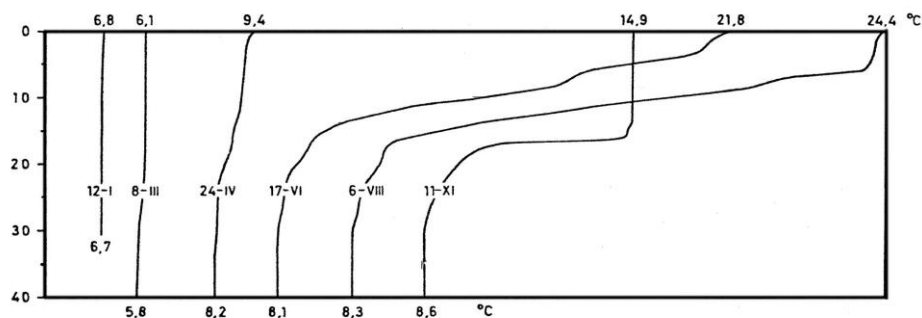
complessa, legata alle forti pendenze ed alla circolarità del bacino, che induce notevoli variazioni di esposizione.

Il tempo teorico di ricambio delle acque lacustri di Vico si stima di 17 anni (Barbanti et al., 1971), valore elevato dovuto ad una vivacità idrologica alquanto modesta, da mettere in relazione con la genesi stessa di questo bacino che, occupando la sommità di un edificio vulcanico, possiede un areale contribuente di superficie limitata se confrontata con il volume delle acque raccolte nella cuvetta lacustre. Manca, inoltre, un immissario.

Il lago, come tutti quelli di clima temperato, è soggetto alla stratificazione termica delle acque, con la temperatura estiva dello strato più superficiale nettamente superiore di quella degli strati profondi (fig. 2.2). Per la minore densità, l'acqua di maggiore temperatura tende a ristagnare in superficie, cosa che impedisce gli scambi di nutrienti ed ossigeno tra la parte superiore del corpo idrico, quella che ha la possibilità di acquisire ossigeno dall'atmosfera, ed il resto della massa d'acqua. In inverno, invece, si verifica un'inversione della stratificazione termica, tale che la temperatura della parte superiore dell'acqua scende a valori più bassi di quella degli strati inferiori, cosa che induce il rimescolamento del corpo idrico e, quindi, la situazione di omeotermia.

Fig. 2.2: Stratificazione termica del lago di Vico.

Dati del primo rilievo di Barbanti et al., confermati da quelli recenti di Franzoi



2.3 – Paesaggio naturale e paesaggio culturale del lago di Vico.

Il paesaggio culturale, quello influenzato dall'uomo, può essere considerato come un grande sistema "socio-ecologico" che, nel caso del lago di Vico, è caratterizzato da alcuni importanti fattori, come:

- una ben definita unità fisica;

- un'attività antropica di impatto ambientale non trascurabile;
- un notevole valore paesaggistico;
- la suscettività dell'ambiente a certe attività dell'uomo.

In tale ottica, la caldera del lago di Vico rappresenta un'area di particolare interesse per la coesistenza di elementi con elevato valore naturalistico (che nel 1982 hanno portato all'istituzione della omonima Riserva Naturale Regionale), con attività antropiche quali l'agricoltura e la pastorizia (Simmi, 1992) e con la fruibilità turistica.

Tra le finalità della Riserva Naturale, vi è la promozione dello sviluppo di attività compatibili con la tutela delle caratteristiche biotiche ed abiotiche dell'ambiente. Far convivere le attività tradizionali della popolazione locale con la salvaguardia degli spazi naturali, anche in relazione alle nuove possibilità in campo turistico, è uno dei compiti in cui la Riserva è attualmente impegnata. Inoltre, sono in corso studi sulla prevenzione dell'inquinamento delle acque del lago e sull'applicazione della lotta biologica per la difesa delle coltivazioni, in particolare del nocciolo.

Nel lago di Vico sono presenti situazioni ecologiche molto diverse tra loro ma condensate in un'area territoriale ristretta e, pertanto, a contatto l'una con l'altra. Questa è forse la caratteristica più importante di questo territorio (Fanfani et al., 1977; Pratesi e Tassi, 1977; Groppali et al., 1981; Relini, 1983; Pavan, 1985, riferito da Simmi, 1992). Percorrendo il bacino dal lago allo spartiacque, si incontrano paesaggi molto vari e di notevole pregio ambientale. La vegetazione palustre delle Pantanacce, per struttura, composizione e ricchezza floristica, presenta aspetti quasi del tutto naturali (Blasi et al., 1989). Procedendo verso l'interno del lago, la successione tipica prevede:

- il canneto (*Phragmitetum australis*);
- il tifeto (*Typhetum angusifoliae*);
- lo scirpeto (*Scirpetum lacustris*).

Questo aspetto è molto importante se si considera che il lago di Vico ricopre un notevole ruolo nell'ambito del complesso sistema fluvio-lacustre, costituito dal Tevere con i suoi affluenti e dai laghi di Bolsena, Martignano, Bracciano e Monterosi e che la maggior parte delle specie ornitiche si rinvencono nell'ambiente acquatico rappresentato dal lago, dai canneti, dalla zona paludosa delle Pantanacce e dai prati umidi circostanti.

In questi ambiti si creano specchi d'acqua riparati, favorevoli allo svernamento ed alla sosta dell'avifauna acquatica e dove lo Svasso maggiore (*Podiceps cristatus*), simbolo del lago, nidifica ed è presente tutto l'anno.

Allontanandosi dal lago e risalendo verso Monte Fogliano si incontrano i prati-pascoli naturali, i seminativi ed i coltivi a nocciolo, seguiti dai castagneti da frutto. Nelle zone a maggiore altitudine è possibile riconoscere diverse tipologie forestali, ascrivibili all'orizzonte submontano ed a quello montano inferiore (Blasi et al., 1989).

Così, nella fascia compresa tra i 530 m ed i 600 m s.l.m., la cerreta è il tipo forestale arealmente più diffuso, mentre sui versanti interni della caldera è più frequente la faggeta, che tende a divenire monospecifica salendo in quota. Elemento di particolare interesse è la faggeta "depressa" del Monte Venere, per la presenza di individui secolari molto al di sotto del limite altitudinale tipico di questa specie dell'Appennino centrale. Tale ricchezza vegetale è da correlare con il clima subumido, che all'interno della caldera accentua il carattere suboceanico, e con la presenza di suoli bruni, ricchi di sostanza organica con rapida evoluzione della frazione minerale ed alta ritenzione di acqua (andosoli) che garantiscono la disponibilità idrica anche nei mesi estivi. Il lago di Vico costituisce un esempio di territorio che, seppur influenzato secolarmente dalla presenza dell'uomo, ha mantenuto un elevato valore naturalistico e paesaggistico, cosa che ne fa un importante punto di riferimento turistico. Una stima delle presenze in tal senso riporta circa 33000 unità (Carbone, 1991).

3. – STATO TROFICO DEL LAGO DI VICO

Lo stato trofico delle acque del lago è un importante indicatore delle problematiche presenti nell'ambiente in cui è inserito.

Infatti il lago è il recapito finale degli afflussi al bacino ed il suo stato è condizionante per il diverso utilizzo delle sue acque, dall'approvvigionamento idrico, alle occasioni turistiche offerte.

Per un armonico sviluppo del sistema socioecologico, qualunque gestione territoriale del bacino deve tenere conto del suo interagire col lago, sia per la tutela di questo ambiente, che per la salvaguardia degli interessi economici.

In passato, la qualità delle acque del lago di Vico è stata oggetto di una serie di ricerche, a cura di: Istituto Italiano di Idrobiologia, nel 1968-70 (Barbanti et al., 1971); Istituto Ittiogenico della Regione Lazio, nel 1985-86 (Gelosi et al., 1985), Dipartimento di Scienze Ambientali, nel 1993-95 (Franzoi, 1997). E' stata, inoltre, effettuata una campagna negli anni 1992-93 da parte di ricercatori finlandesi (Dyer, 1995).

I primi studi hanno segnalato, tra l'altro, lo stato di oligo-mesotrofia delle acque lacustri, come è naturale per bacini di origine vulcanica. Le ricerche più recenti hanno invece rilevato una preoccupante ed ormai certa evoluzione verso una situazione eutrofica del lago, espressa, prima di tutto, da un notevole incremento della concentrazione del fosforo nelle acque lacustri. In tal senso, c'è un buon accordo tra i risultati dell'approccio territoriale-modellistico (Leone e Marini, 1993) ed i più recenti monitoraggi (Dyer, 1995; Franzoi, 1997).

In sintesi, questi studi accertato quanto segue (per maggiori dettagli si rimanda alla specifica ricerca di Franzoi, 1997):

- nel 1968-70 la situazione era di oligo-mesotrofia (concentrazione nelle acque di 7 $\mu\text{g/L}$ di PO_4 e 30 $\mu\text{g/L}$ di NO_3), con buona ossigenazione delle acque, tranne una piccola porzione dell'ipolimnio (fra i 35 ed i 45 m di profondità), in tarda estate;
- nel 1985-86 il contenuto di nutrienti è rimasto all'incirca lo stesso, ma con una più pronunciata deossigenazione del fondo;
- la campagna dei primi anni 90 ha invece dimostrato un sensibile incremento della trofia lacustre, con un incipiente stato eutrofico;
- tale situazione è stata confermata dalla campagna del 1993-95.

E' quindi lecito dedurre che la deossigenazione registrata negli anni '80 abbia attivato il rilascio di P accumulato nei sedimenti del fondo in forma adsorbita. Questo fosforo sta entrando oggi in soluzione, accrescendo il livello trofico del lago. In pratica sembra che il "serbatoio" di P costituito dal sedimento del fondo sia stato "aperto" dalla sempre più accentuata deossigenazione delle acque del fondo.

Poiché la gran parte del fosforo si origina nel bacino idrografico e perviene al lago in forma particolata, è quindi fondamentale una metodologia che correli l'uso del suolo allo stato trofico del lago, definire le attività antropiche di maggior impatto per il corpo idrico ed utilizzare tali indicazioni per una razionale pianificazione del territorio, fondamentale per controllare il suddetto fenomeno.

3.1 – Bilancio del fosforo a scala di bacino.

L'azoto ed il fosforo sono unanimemente riconosciuti dai limnologi come i principali responsabili dell'eutrofizzazione di un corpo idrico (i cosiddetti "fattori limitanti"), cosa confermata per il lago di Vico (IRSA, 1980). Tra i due è preferibile, in genere, fare riferimento al solo P in quanto è sempre e comunque fattore limitante della crescita algale, mentre l'azoto lo è solo in alcuni casi (Vollenweider, 1976; IRSA, 1980). Inoltre, il P è di più semplice modellizzazione, per la mancanza della componente gassosa, cosa che rende la produzione di fosforo nel bacino un parametro adatto a descrivere pragmaticamente la pressione antropica su uno degli elementi più importanti del territorio (Leone e Marini, 1993). Ciò consente di omogeneizzare i vari, e molto diversi, fattori di stress ambientale (insediamenti urbani, attività turistiche, pratiche agricole e zootecniche, ecc.) e di effettuare, tra questi, confronti oggettivi altrimenti impossibili.

Le fonti diffuse di fosforo sono:

- *le precipitazioni*: il P giunge direttamente al lago attraverso le piogge che vi convogliano pulviscolo atmosferico contenente composti dell'elemento;
- *i residui organici naturali*: provenienti da semi, pollini, foglie ecc. che cadono nel lago e dalle deiezioni animali selvatici (i relativi carichi di P vengono conglobati in quelli del suolo non coltivato);

- *il suolo non coltivato*: il P organico proviene da residui vegetali ed animali e quello inorganico dagli elementi minerali di composizione del suolo, entrambi giungono al lago per lisciviazione e scorrimento dell'acqua meteorica che trasporta i composti del P presenti nel terreno o per erosione di particelle dello stesso;
- *il suolo coltivato*: il P proviene dai terreni agricoli fertilizzati con concimi chimici e naturali con i meccanismi identici a quelli del caso precedente;
- *le aree urbane*: il P viene asportato dalle acque piovane che scorrono sulle porzioni di superfici cittadine, prevalentemente impermeabili, esposte alle precipitazioni.

Le fonti localizzate sono:

- *gli effluenti domestici*: il P proviene sia dal metabolismo umano che dai detersivi;
- *gli effluenti industriali*, nel caso in cui vengano trattati composti dell'elemento;
- *gli effluenti di allevamenti zootecnici*, legato al metabolismo.

Tra le attività antropiche che possono indurre inquinamento organico al lago sono da elencare:

- *il turismo* (sia residenziale che di passaggio);
- *le pratiche agricole* (soprattutto il nocciolo);
- *l'allevamento del bestiame* (quasi tutto tenuto allo stato brado).

La valutazione dei carichi di fosforo presenti nel bacino è stata effettuata censendo le attività testé elencate. Per la presenza degli animali domestici, comunque modesta, si sono assunte informazioni dirette, presso gli allevatori locali. Per quelle nel complesso residenziale, sono state effettuate delle brevi interviste alla popolazione presente, sottoponendo ad un campione di 40 unità abitative (su circa 200 ville in totale), un breve questionario dove, oltre alla data, alla zona, al numero di abitanti ed alla provenienza, si sono rilevati il tipo di scarico fognante, i giorni di permanenza estiva e dei fine settimana.

Per quanto riguarda il turismo di passaggio, la stima è stata effettuata rilevando l'attività del campeggio, dei bar, ristoranti ed alberghi presenti nel bacino, e censendo i bagnanti sulle spiagge durante le stagioni estive.

L'apporto al lago con le precipitazioni è stato ipotizzato pari a 0,3 kg/ha x anno, valore intermedio rispetto a quello proposto da Reckhow et al. (1980) per i suoli di roccia madre vulcanica.

Per l'apporto di P proveniente dai suoli coltivati si è fatto riferimento al dato medio ricavato da un'analisi effettuata specificatamente per i noccioli della zona (Biondi et al.,

1988) che fornisce una media di 85 kg/ha x anno di anidride fosforica, corrispondente a 37,5 kg/ha x anno di P. Da quest'ultimo dato si è valutato il "carico reale", cioè la quantità che effettivamente si ritiene giunga al lago, utilizzando i coefficienti di afflusso suggeriti in letteratura.

3.2 – Applicazione del modello di Vollenweider.

Partendo dal presupposto che lo stato trofico di un lago dipende dalla sua morfologia e dal carico di P conseguente alle attività antropiche, Vollenweider (1976) ha proposto la seguente relazione, ripresa dall'O.E.C.D. (1982), che consente la stima della concentrazione media del P nelle acque del lago dopo un tempo sufficientemente lungo affinché si abbia un assetto definitivo dell'ecosistema lacustre:

$$[P]_{\infty} = \frac{L(P)t_w}{z(1+\sqrt{t_w})}$$

con:

$L(P)$ = carico specifico superficiale [mg di P/m²specchio idrico];

z = profondità media del lago [m];

t_w = tempo teorico di rinnovo [anni];

Il carico specifico è calcolato in termini di produzione di P attribuibile ad ogni attività, rapportato ai relativi coefficienti di afflusso al lago (Reckhow et al., 1980):

$$L(P) = C_f A_f + C_{ag} A_{ag} + C_u A_u + C_a A_o + C_{st} \times Na \times (1-SR)$$

dove:

C_f = coefficiente di afflusso per il territorio forestale.

C_{ag} = coefficiente di afflusso per il territorio agricolo.

C_u = coefficiente di afflusso per le aree urbanizzate.

C_a = coefficiente di afflusso degli apporti atmosferici.

C_{st} = coefficiente di afflusso relativo all'impatto sul lago del sistema dei reflui urbani.

A_f = superficie forestale (ha).

A_{ag} = superficie agricola (ha).

A_u = superficie urbanizzata (ha).

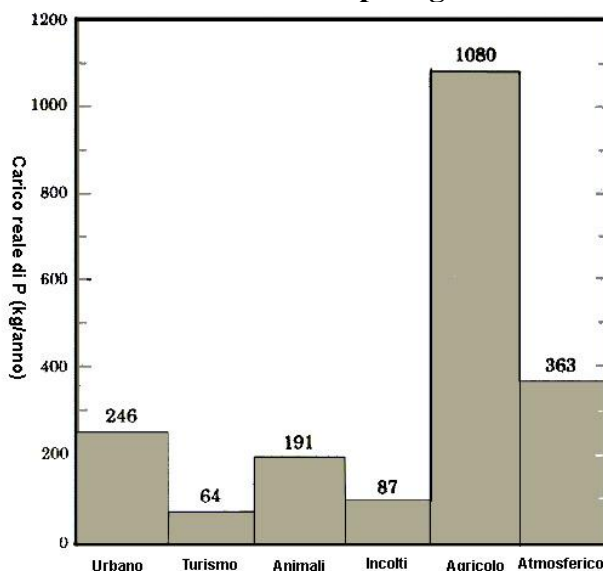
A_o = area del lago (ha).

Na = numero di abitanti serviti da fosse settiche (perdenti).

SR = coefficiente legato ad eventuali fattori ritenzione del suolo (assenti in questo caso).

L'applicazione del modello di Vollenweider, nel caso del lago di Vico, con valori medi dei coefficienti applicati, fornisce una concentrazione di circa 26 $\mu\text{g/L}$ di P, dato che, alla luce delle ricerche sperimentali sin qui effettuate è da considerarsi attendibile. Ciò conforta, a parte la maggiore o minore capacità "previsionale" del modello di Vollenweider, l'utilizzo del metodo a scopo gestionale, in quanto permette di attribuire ad ogni attività antropica e ad ogni fattore di uso del suolo l'aliquota relativa di nutriente che esso apporta al lago e, quindi, di avere una stima del carico antropico sull'ambiente lacustre espresso in termini di produzione di P (fig.3.1).

Fig. 3.1: Carichi reali di fosforo per ogni attività nel bacino.



3.3 – Conseguenze dell'analisi effettuata: evoluzione trofica del lago e rilevanza del problema erosivo.

Per una comparazione tra la situazione attuale e lo stato da considerarsi ottimale, ci si è riferiti allo studio del periodo 1968-70, epoca in cui è stata verificata una situazione ottimale dell'ambiente lacustre. Esso non è immediatamente confrontabile con i risultati dell'applicazione del modello di Vollenweider in quanto non sono state sin qui effettuate analisi del fosforo totale (è stato solo misurato l'orto-fosfato PO_4), ma una stima indiretta è

possibile considerando l'indice MEI calcolato rispetto all'alcalinità delle acque, parametro importante perché invariante del sistema (Vighi e Chiaudani, 1985). Esso è pari a:

$$MEI_{alk} = [alk]/z$$

Ove [alk] è l'alcalinità media (mg/L) delle acque e z la profondità media del lago. Esso è correlato alla concentrazione [P] di fosforo totale secondo la seguente relazione, valida per situazioni di incertezza come quella in esame:

$$\text{Log [P]} = 1.48 + 0.33(\pm 0.09) \text{Log [MEI}_{alk}] \quad (r=0.830)$$

L'applicazione di questa formula fornisce una concentrazione di P pari a 14 µg/L, da considerarsi in linea con l'ipotesi di mesotrofia della situazione indisturbata del lago. Per un'analisi ancora più articolata, si è impostata una definizione del grado di sensibilità del sistema lago di Vico, attraverso il bilancio tra fattori di vulnerabilità e quelli di autodifesa dell'ambiente, riportato in tab. 3.1, che porta, a vantaggio di sicurezza, ad abbassare la soglia di sostenibilità al valore di 12 µg/L.

Tab. 3.1: Bilancio tra capacità di difesa dell'ambiente e suoi fattori di sensibilità.

<i>Fattori di autodifesa</i>	<i>Fattori di sensibilità</i>
Profondità media del lago piuttosto elevata	Modesto ricircolo dell'acqua (tempo medio di rinnovamento 17 anni)
Quota elevata s.l.m.	Utilizzazione per acqua potabile
Buona areazione delle acque	Alto valore paesaggistico del bacino
	Stratificazione termica stagionale delle acque

La tabella segnala una sostanziale equivalenza tra gli indicatori considerati e, quindi, in prima approssimazione, sarà questo l'obiettivo per l'assetto territoriale del bacino, consistente nel riportare la concentrazione prevista dal modello di Vollenweider (26 µg/L), corrispondente all'attuale uso del suolo, entro una concentrazione dell'ordine di 12 µg/L, valore che può essere considerato come una vera e propria capacità portante del sistema lago e che, come si vedrà più avanti, prevede una compatibilità con l'uso agricolo del territorio, purché si riesca a controllare le perdite di fosforo ed il rischio erosivo nelle zone più vulnerabili.

In altri termini, si ha, in tal modo una definizione operativa del limite di sostenibilità dello sviluppo agricolo.

A tale scopo è da ricordare che i dati recenti di Franzoi ^(*) forniscono una concentrazione di fosforo ben maggiore dei 26 µg/L previsti dal modello, a segnalare sia la necessità di una modellistica più sofisticata che consideri, soprattutto, la possibilità di un forte rilascio di P dal sedimento di fondo lago, data l'elevata probabilità di un rilevante carico interno di P (proveniente dal fondo), dello stesso ordine di grandezza di quello esterno (proveniente dal bacino). Tale ipotesi è avvalorata dal gradiente di concentrazione di PO₄ riportato in fig. 3.2, dove si osserva il suo netto aumento con la profondità del lago.

Il prosieguo dello studio sarà, pertanto, indirizzato ad accertare tale ipotesi.

Per meglio evidenziare l'impatto delle diverse concentrazioni di P sin qui prese in considerazione, si riportano, in tab. 3.2, le probabilità di situazione trofica corrispondenti a 12, 26 e 50 µg/L, facendo riferimento all'approccio probabilistico dell'O.E.C.D. riportato in fig. 1.1.

Per l'impostazione dei criteri gestionali, fissato un obiettivo di 12 µg/L ed un punto di partenza di 26 µg/L, in fig. 3.3 si ha uno schema degli interventi possibili. La figura mostra pure come non tutti i territori agricoli debbano, necessariamente, subire azioni di controllo, in quanto buona parte della voce "agricoltura" rientra entro la capacità portante del sistema.

Tab. 3.2: Probabilità di stato trofico in funzione della concentrazione di fosforo considerata come prudenziale soglia di sostenibilità (12 µg/L), quella corrispondente al carico esterno secondo il modello di Vollenweider (26 µg/L) e quella attuale (50 µg/L).

Situazione trofica	12 µg/L	26 µg/L	50 µg/L
Ultraoligotrofia	5	-	-
Oligotrofia	59	18	3
Mesotrofia	36	66	44
Eutrofia	-	16	48
Ipereutrofia	-	-	5
Totale	100	100	100

Si tratta, in sostanza, di individuare le zone di maggiore rischio ed applicare solo ad esse criteri gestionali e di tutela.

Ne consegue il prosieguo del lavoro verso l'impostazione della opportuna cartografia.

^(*) Esso segnala una concentrazione di P totale dell'ordine di 50 mg/L (Franzoi, dati in corso di pubblicazione, comunicati personalmente), doppia rispetto a quella prevista dal modello di Vollenweider.

Fig. 3.2: Concentrazione minima, media e massima a diverse profondità dello ione ortofosfato rilevato nei vari monitoraggi (da Franzoi, 1997).

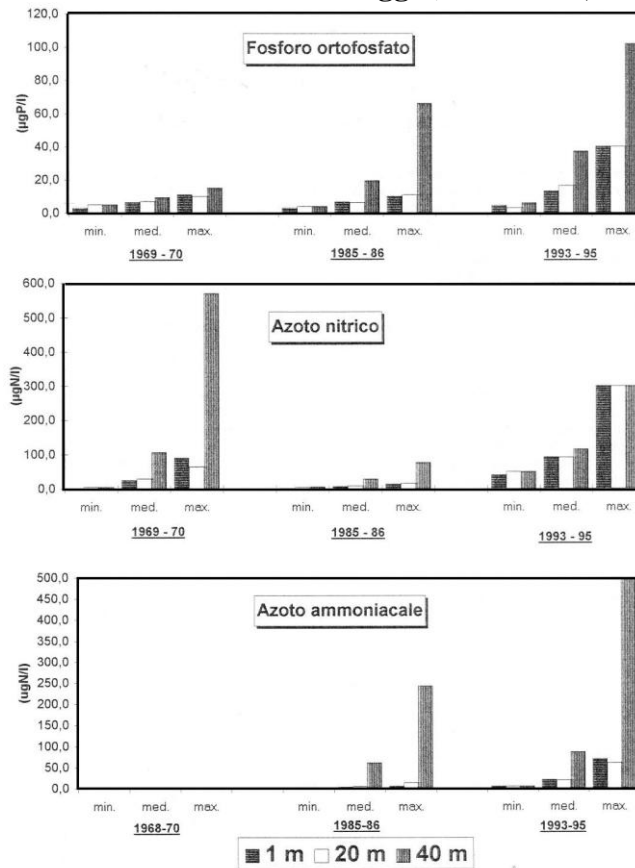
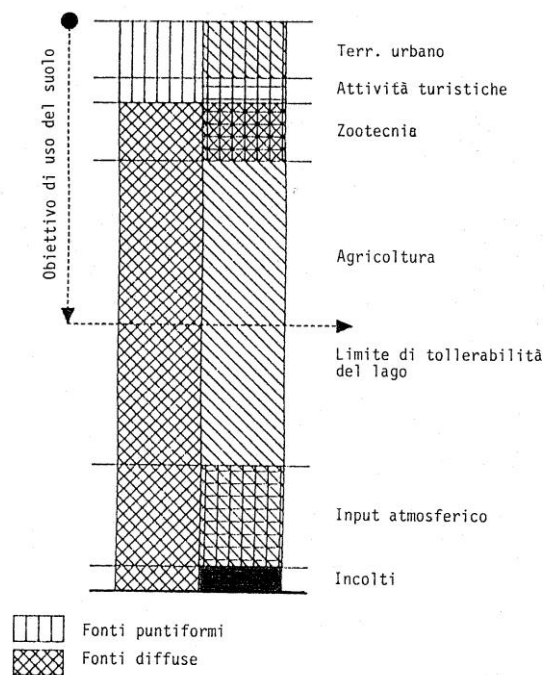


Fig. 3.3: Fonti esterne di P ed obiettivo gestionale.



4. – CARTOGRAFIA DEL RISCHIO AMBIENTALE

L'analisi sin qui effettuata porta ad una sostanziale coincidenza, per il caso specifico del lago di Vico, tra le problematiche di controllo dell'eutrofizzazione e quelle di controllo dell'erosione del suolo.

Quest'ultima coinvolge molteplici fattori relativi al territorio agricolo e forestale, tutti coincidenti verso un concetto essenziale: le differenze del paesaggio e la loro influenza sul fenomeno sono tali da provocare rischi ambientali profondamente diversi anche per attività agricole e forestali identiche. Ne consegue la necessità di definire *dove* le pratiche si svolgono e, quindi, mettere a punto un sistema informativo territoriale "georeferenziato", capace di rappresentare l'interazione tra i vari fattori naturali (pendenza, caratteristiche dei suoli ecc.) che influenzano i fenomeni erosivi e le attività agricole e forestali.

Questo è il cuore del problema, in quanto è chiaro che le stesse colture e le stesse pratiche gestionali porteranno impatti ben diversi sull'ambiente, da un minimo ad un massimo a seconda della diversa vulnerabilità. Di conseguenza, per controllare l'erosione non è detto che tutti gli agricoltori debbano adottare indirizzi tecnici ed incentivi per il controllo dell'erosione. D'altro canto, la stessa analisi dello stato trofico del lago di Vico porta a concludere, come si nota nella fig. 3.3, che buona parte delle attività agricole possono considerarsi ecocompatibili, mentre sono da ricercare quelle che tali non sono ed entro quali margini possono rientrarvi.

Ne consegue il ruolo fondamentale di un sistema informativo territoriale che permetta di evidenziare le differenze del paesaggio secondo l'obiettivo individuato. Questa metodologia consente di reperire, verificare, riportare su mappe ed aggiornare le informazioni relative ad i vari elementi (morfologici, climatici, biotici ecc.) che caratterizzano una determinata zona. L'informatizzazione di tale procedura viene effettuata tramite un software denominato GIS (Geographic Information System) in cui le informazioni di base, oltre ad essere archiviate al fine di essere interconnesse ed elaborate per produrre informazioni derivate, sono suscettibili di rappresentazione mediante cartografia tematica georeferenziata.

4.1 – Valutazione quantitativa della perdita di suolo

4.1.1 – L’erosione idrica accelerata

Nell’affrontare il fenomeno erosivo, la prima considerazione da fare è che nei terreni in pendenza, caratterizzati da una copertura vegetale naturale permanente, avvengono lente perdite di suolo che fanno parte del normale ed universale fenomeno dell’evoluzione del rilievo verso il pianepiano. Questo tipo di erosione è detta geologica o normale e si esplica in tempi molto lunghi. Essa può però essere fortemente accelerata per azione dell’uomo, che, quasi sempre, consiste nel degrado della copertura vegetale del suolo o nella sua asportazione. Se denudato, il suolo si presenta indifeso all’impatto delle gocce d’acqua degli eventi di pioggia più intensi di maggiore energia; vengono a crearsi, così, le condizioni che conducono alla progressiva degradazione del suolo che, prima di tutto, perde la fertilità. Prima ancora che ambientale, quindi, l’erosione è un problema per le produzioni agricole.

L’effetto sigillante delle particelle fini rimosse dagli urti delle gocce facilita l’accumularsi dell’acqua sul suolo, che inizia a scorrervi con moto bidimensionale. Quando l’azione tangenziale, esercitata dalla lama idrica, comincia a rimuovere le prime particelle, si è in presenza di erosione diffusa che però, dal punto di vista idraulico, è una situazione instabile, che tende naturalmente ad evolvere secondo una micro rete idrografica, originando la cosiddetta erosione per rivoli, che è un caso molto frequente nei nocioleti del lago di Vico (fig. 4.1).

Tale effetto è stagionale per due motivi (sinergici):

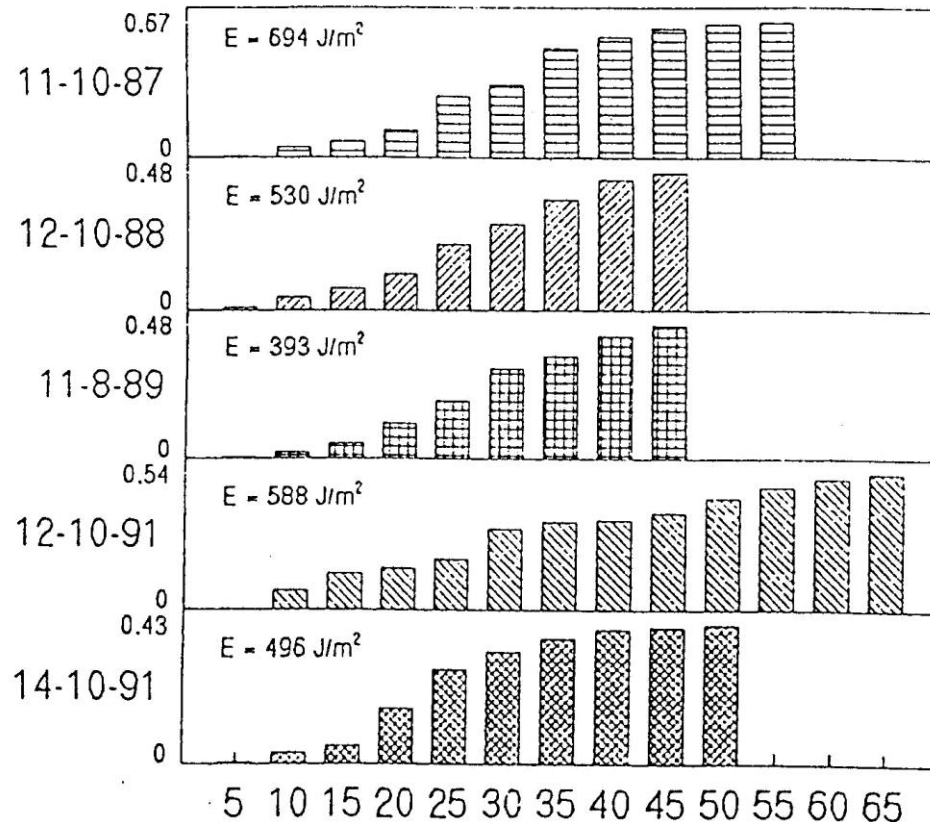
- 1) la stagionalità delle piogge erosive (tarda estate-inizio autunno, vedi fig. 4.1);
- 2) la stagionalità delle lavorazioni agricole che lasciano il terreno scoperto nel periodo in cui si verificano le piogge di maggiore energia (fig. 4.2).

Fig. 4.1: Erosione per rivoli e danni provocati dai fenomeni di deflusso nella caldera di Vico.



Fig. 4.2: Pressione cumulata ed energia totale trasmessa al terreno in cinque eventi pluviometrici di notevole aggressività per il suolo registrati nella stazione di Ronciglione (Leone e Pica, 1993).

Si noti che, non casualmente, le date in cui queste piogge si verificano sono circoscritte ad un ben preciso periodo dell'anno, coincidente con le operazioni colturali connesse alla raccolta delle nocciole.



4.1.2 Analisi modellistica del fenomeno

Nel presente studio l'approccio adottato per la valutazione quantitativa dell'erosione è di tipo modellistico, si basa cioè sulla individuazione di un'area sufficientemente piccola per poter essere definita un'unità del paesaggio, su cui si effettua l'analisi quantitativa di tutte le componenti coinvolte nel fenomeno erosivo e che, su di essa, possono essere ritenute costanti: meteo-idrologia, morfologia, pedologia, uso e copertura del suolo. I risultati del modello forniscono una valutazione delle conseguenze, in termini di erosione, da considerarsi come indicatore numerico dell'impatto ambientale legato all'uso del suolo. E' quindi necessaria quella categoria di modelli detti manageriali, che, pur essendo veri e propri

sistemi di simulazione fisica dei fenomeni, non hanno la pretesa di ricostruire il destino del terreno eroso ad ogni ciclo idrologico, né, tanto meno, per ogni evento pluviometrico. Essi propongono invece l'utilizzo dei risultati della simulazione per confronti tra diversi usi del suolo, in funzione dei principali impatti ambientali, conseguenti alle scelte di gestione del territorio.

L'approccio modellistico quindi, pur con gli ovvi limiti di capacità previsionale, assume un'importanza fondamentale per l'individuazione di aree di maggiore vulnerabilità e per un confronto tra diversi scenari di uso del suolo.

Uno dei modelli più noti è certamente quello che porta alla cosiddetta equazione USLE (Universal Soil Loss Equation) di Wischmeier e Smith (1978).

Essa permette di valutare la perdita di suolo media annua (nel lungo periodo) su una superficie avente caratteristiche uniformi di uso e tipologia del suolo:

$$A = 2,242 \times R \times K \times (L \times S) \times C \times P$$

In cui:

A = perdita di suolo calcolata per l'area considerata (t/ha/anno).

R = *fattore climatico* di aggressività della pioggia, prodotto dall'energia cinetica totale della pioggia per la massima intensità di durata 30' ($[s\text{-ton}\times\text{piede}]^2 \times \text{pollice}/\text{acro}/\text{h}/\text{anno}$).

K = *fattore di erodibilità* del suolo, aliquota del tasso di erosione per unità di R relativo ad una particella standard: lavorata a maggese (rittochino), lunga 22,13 m ed avente pendenza del 9% ($[s\text{-ton}\times\text{piede}]^2 \times \text{h}/[s\text{-ton}\times\text{piede}]/\text{pollice}$).

L = *fattore topografico* espresso in termini di lunghezza, è il rapporto fra la perdita di suolo sul campo di lunghezza l e quella del campo standard lungo 22,13 m (adimensionale).

$$L = (l/22,13)^m$$

l = *lunghezza massima del pendio* misurata secondo la linea di massima pendenza, distanza fra il punto in cui inizia il ruscellamento ed il punto in cui inizia la sedimentazione o il punto in cui si ha un canale ben definito (adimensionale);

$m = 0,6$ per i versanti con pendenza superiore al 10%;

$m = 0,5$ per i versanti con pendenza compresa fra il 6 ed il 10%;

$m = 0,4$ per i versanti con pendenza compresa fra il 3 ed il 6%;

$m = 0,3$ per i versanti con pendenza minore del 3%.

S = *fattore di pendenza*, rapporto fra l'erosione del suolo in un campo di pendenza generica i e l'erosione sullo stesso suolo (e tipo di copertura) di pendenza standard del 9% (adimensionale). Se $\arctg(i)$ è l'angolo corrispondente, questo parametro si stima con la seguente relazione:

$$S = 65,41 \text{ sen}^2(a) + 4,56 \text{ sen}(a) + 0,065$$

Il prodotto L x S, costituisce il cosiddetto fattore topografico della USLE.

C = *fattore di vegetazione e pratica colturale*, dipende dalla particolare coltura e, per una stessa coltura, da una delle cinque fasi del ciclo colturale, secondo la seguente distinzione:

F = maggese lavorato, dall'aratura alla preparazione del letto di semina;

SB = letto di semina, dalla preparazione del letto di semina fino allo sviluppo di vegetazione che copre il 10% della superficie;

1 = sviluppo iniziale dal 10 al 50% di superficie coperta dalla vegetazione;

2 = pieno sviluppo, da 50 al 75% di superficie coperta dalla vegetazione;

3 = maturazione, dal 75% di superficie coperta dalla vegetazione alla raccolta;

4 = residui e stoppie, dalla raccolta alla preparazione dell'aratura per la nuova semina.

Poiché in questi sei periodi l'erosività cambia sensibilmente, il fattore C scaturisce dalla media ponderata su ogni stato colturale con la relativa erosività:

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^6 C_i [\%] \times R_i}{100}$$

P = fattore di tecniche sistematorie, incorpora gli effetti di varie tecniche di gestione del suolo. Se quest'ultimo ne è privo, P = 1.

2,242 = fattore di conversione tra unità di misura anglosassoni (s-ton/acre) e del sistema internazionale (t/ha).

4.2 – Cartografia ambientale derivata dalla USLE

E' evidente da quanto sin qui affermato che l'equazione USLE è applicabile alla singola pendice (unità del paesaggio), per la quale, d'altro canto, è stata messa a punto. L'estensione di detta analisi ad un'area vasta e variegata come il bacino del lago di Vico è possibile con l'uso del GIS, grazie al quale la USLE è stata applicata ad ognuna delle unità del paesaggio della caldera vicana, elaborato che assume la veste di carta del rischio erosivo.

A tale scopo è stata, innanzitutto, acquisita la cartografia di base, costituita dalla carta dei suoli (Lulli et al., 1990) e dalla carta della vegetazione della caldera del lago di Vico (Blasi et al., 1989); da quest'ultima, ulteriormente verificata con le più recenti foto aeree, si è dedotta la carta dell'uso del suolo.

Il fattore climatico è stato assunto pari a 100 in quanto, per difficoltà nel reperimento della notevole mole di dati necessari ("cartellini" originali del Servizio Idrografico del

Ministero dei LLPP, disponibili, per ora, per soli tre anni) il suo calcolo non è ancora da ritenersi adeguato. D'altro canto, scopo essenziale dello studio è quello della zonazione del rischio e, quindi, il solo confronto fra elementi del paesaggio, cosa che rende meno importante il valore numerico. La facilità di elaborazione del GIS, comunque, consente una immediata riclassificazione dei risultati, non appena sarà giudicato adeguato il calcolo del fattore R. Detto problema sarà affrontato nella seconda parte dello studio.

Il fattore di tecniche sistematorie P-USLE è stato posto sempre pari ad 1 in quanto non esistono interventi di tal genere nel bacino.

Per la valutazione del fattore topografico si è resa necessaria la realizzazione ad hoc di un modello digitale altimetrico del terreno (DEM), che merita un discorso a parte per la laboriosità delle operazioni che ha richiesto.

4.2.1 – Costruzione del modello digitale del terreno

Il modello realizzato è di tipo *raster*, l'andamento altimetrico è cioè "discretizzato" attraverso celle di forma quadrata che approssimano la reale morfologia del suolo. Ogni cella costituisce, perciò, una unità informativa e, ovviamente, è tanto più piccola quanto maggiore il dettaglio necessario. In questo caso il lato prescelto è pari a 50 metri, che corrisponde ad un livello di risoluzione piuttosto elevato, comunemente non disponibile, ma in questo caso indispensabile, data la natura dell'indagine e la dimensione del bacino. L'informazione di base è costituita dalla Carta Tecnica Regionale del Lazio, di scala 1.10000 ed equidistanza delle curve di livello pari a 10 m.

Ad ogni cella è stata attribuita una quota pari a quella desunta dalle isoipse della carta di base, come media dei valori su cui ricadevano i quattro spigoli della cella stessa. Ognuna di essa, poi, ha una precisa collocazione spaziale e, perciò, l'operazione descritta dà luogo ad una tabella numerica che è immediatamente acquisibile dal GIS, di cui costituisce l'archivio raster.

In tal modo, il GIS realizza immediatamente la carta dell'altimetria, quella delle pendenze e quella delle esposizioni (figg. 4.3, 4.4, 4.5, rispettivamente).

Come è mostrato dalla legenda delle altimetrie (fig. 4.3), i dislivelli nel bacino di Vico sono molto rilevanti: si passa, infatti, da quote di oltre 800 m s.l.m. ai 510 m s.l.m. dello

specchio idrico. In particolare nella zona del Monte Fogliano in una distanza lineare di poco più di 1100 m tra la cima del monte (964,5 m s.l.m.) e la spiaggia sottostante lambita dal lago, si ha una differenza di quota di circa 455 m. Questa diversità fisica molto spinta della caldera condiziona i fattori fisici e biologici di questo territorio e ne fa un biotopo di spiccato interesse naturalistico.

4.2.2 – Cartografia derivata dal DEM

Nella carta delle pendenze di fig. 4.3, i valori originariamente calcolati sono stati riclassificati seguendo le indicazioni della FAO per le classi di pendenza (tab. 4.1).

Tab. 4.1: Classi di pendenza secondo la FAO.

Tipo di suolo	Codice	Classe principale (gruppo %)	Classe secondaria	
			Codice	Pendenza
Pianura-fondovalle	L	0-20	L1	<0,25
			L2	0,25-0,50
			L3	0,5-1,0
			L4	1,0-1,5
			L5	1,5-2,0
Pendici	U	2-25	U1	2-6
			U2	6-10
			U3	10-15
			U4	15-20
			U5	20-25
Territori di forte pendenza	UV	25-55	UV1	25-55
			UV2	>55

Il fattore topografico della USLE ($L \times S$) è stato determinato seguendo la metodologia di Desmet e Govers (1996) che hanno messo a punto un algoritmo per il suo calcolo automatico, con apposita routine del GIS IDRISI, che è ovviamente basata sul DEM. La relativa carta è riportata in fig. 4.6.

4.2.3 – Carta del fattore pedologico K-USLE (erodibilità)

La carta pedologica è stata costruita sulla base della carta dei suoli della caldera del lago di Vico, redatta da Lulli et al. (1990).

Partendo dalla zona più prossima alle sponde del lago, si presentano in successione i depositi lacustri, con evidente idromorfismo.

Si rinvengono poi suoli su depositi colluviali alla base delle pareti interne della caldera, profondi, franco-argillosi con scheletro o franchi denominati bruni o andici in cui la ritenzione dei fosfati è intorno al 77%.

Sul Monte Venere si presentano suoli sulle vulcanoclastiti originate dal monte stesso, di tipo profondo, franchi, subacidi con ritenzione dei fosfati che si aggira tra l'86 e l'88%. Per il resto, si identificano suoli del tutto analoghi al tipo precedentemente descritto, soggetti ad erosione incanalata.

Per inserire la carta nel programma IDRISI la si è prima digitalizzata mediante il programma grafico AUTOCAD (fig. 4.7).

Sulla base delle informazioni contenute nella carta pedologica (tessitura, sostanza organica, struttura ecc.), si è utilizzato l'abaco di Wischmeier e Smith (1978) che fornisce l'erodibilità K di ogni suolo.

Ricavati questi dati si è operata l'opportuna riclassificazione della carta dei suoli, ottenendo quella del fattore K-USLE (fig. 4.8). Anche questo dato è soggetto ad un affinamento sulla base dei risultati del presente studio in cui, tra l'altro, si stanno completando i rilievi tessiturali finora mancanti nello studio di Lulli et al. Le mappe definitive saranno perciò prodotte nella seconda parte dello studio.

4.2.4 – Carta dell'uso del suolo

La carta dell'uso del suolo è stata ricavata da quella della vegetazione (fig.4.9) redatta da Blasi et al. (1989) e verificata, per un aggiornamento, sulla base delle foto aeree del 1994 ^(*).

La vegetazione forestale è caratterizzata da fustaie di faggio (*Fagus sylvatica*) pluristratificate, con locali e sporadiche comparse di mesofile, querceti (*Quercus cerris*), boschi misti e castagneti. Sono presenti inoltre boschi di castagno (*Castanea sativa*) governati a ceduo.

L'elemento agricolo fortemente prevalente è il nocciolo con recenti impianti di castagno da frutto. Sulla carta sono riportati anche i cespuglieti di ginestra dei carbonai,

^(*) Si è comunque accertato che, praticamente, non esistono variazioni di rilievo tra quanto visibile nelle foto del 1994 e quanto riportato nella carta della vegetazione.

ghiandola e rovi di *Rubus ulmifolius*. Infine si è distinta la zona di fondovalle in prati e pascoli, seminativi e vegetazione palustre.

Anche in questo caso si è proceduto alla digitalizzazione della carta di base con AUTOCAD ed alla sua riclassificazione secondo i valori consigliati da Wischmeier e Smith per il fattore di copertura C (fig. 4.10).

Il fattore C è l'elemento critico del modello USLE, essendo quello più variabile e di maggiore soggettività. Escluse le ormai troppo costose sistemazioni (fattore P) esso rimane l'unico su cui poter intervenire e, quindi, è quello su cui puntare maggiormente l'attenzione in fase di pianificazione.

Nel caso del nocciolo, ad esempio, la presenza di una copertura del suolo, costituita da specie vegetali prative, quali le graminacee e le leguminose, potrà ridurre il fattore C ed essere particolarmente utile nelle zone dove sono associati alti valori dei fattori topografici e di erodibilità del suolo.

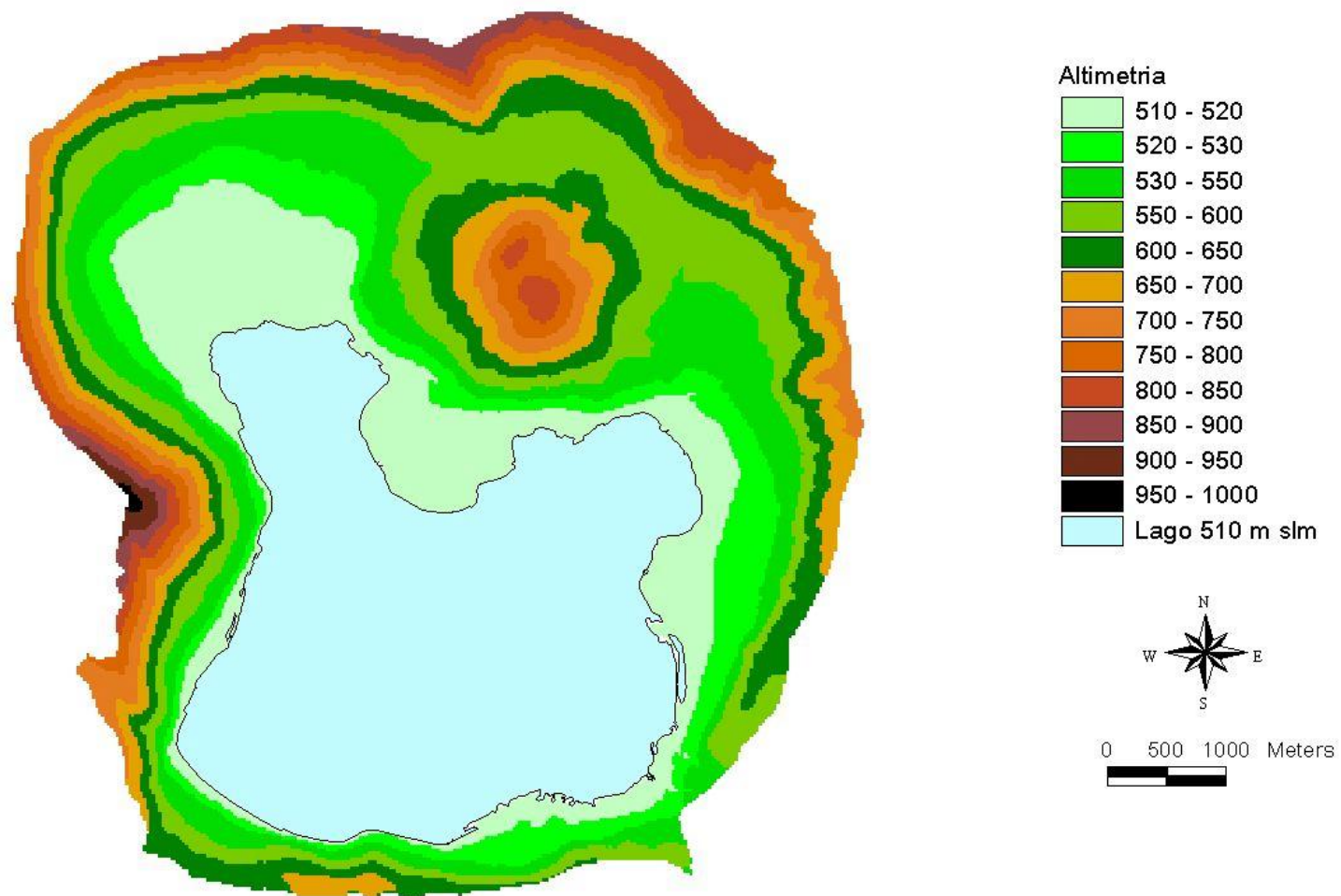
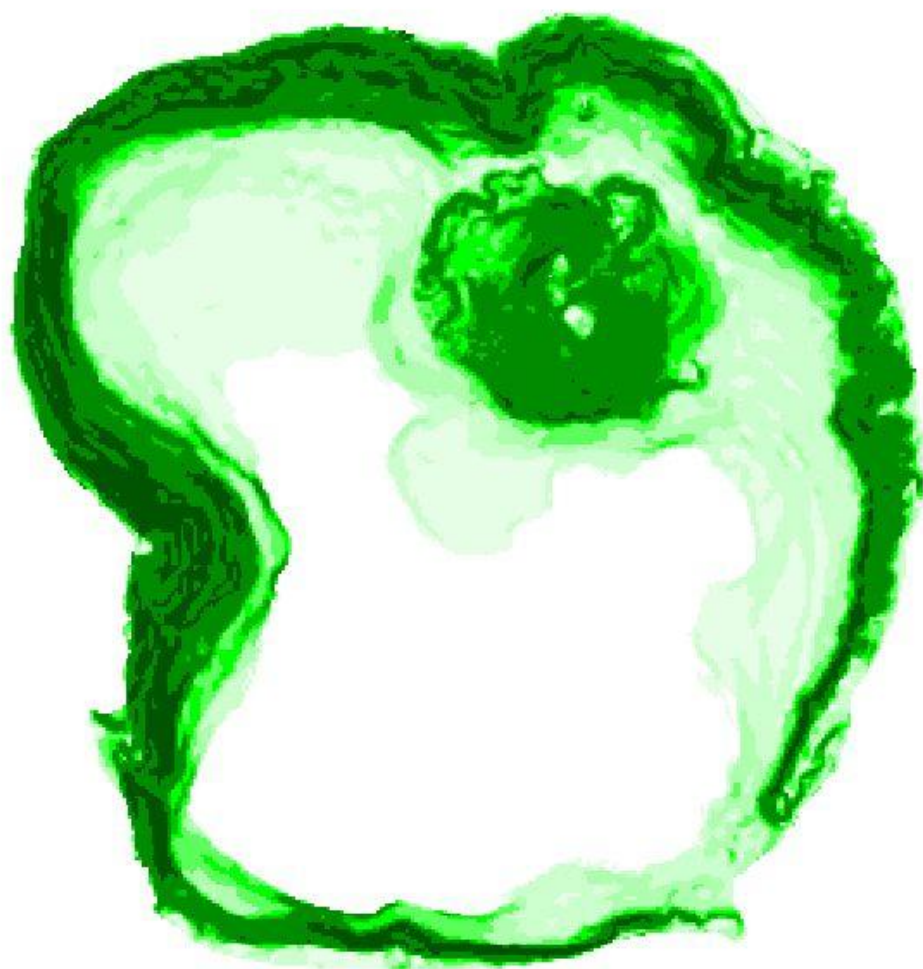


Fig. 4.3: Altimetria del bacino del lago di Vico



Pendenze

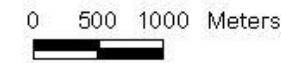
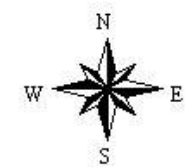
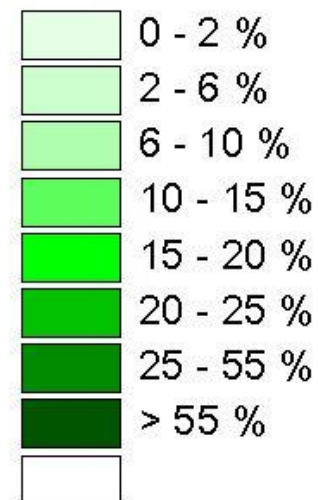


Fig. 4.4: Carta delle pendenze del bacino del lago di Vico

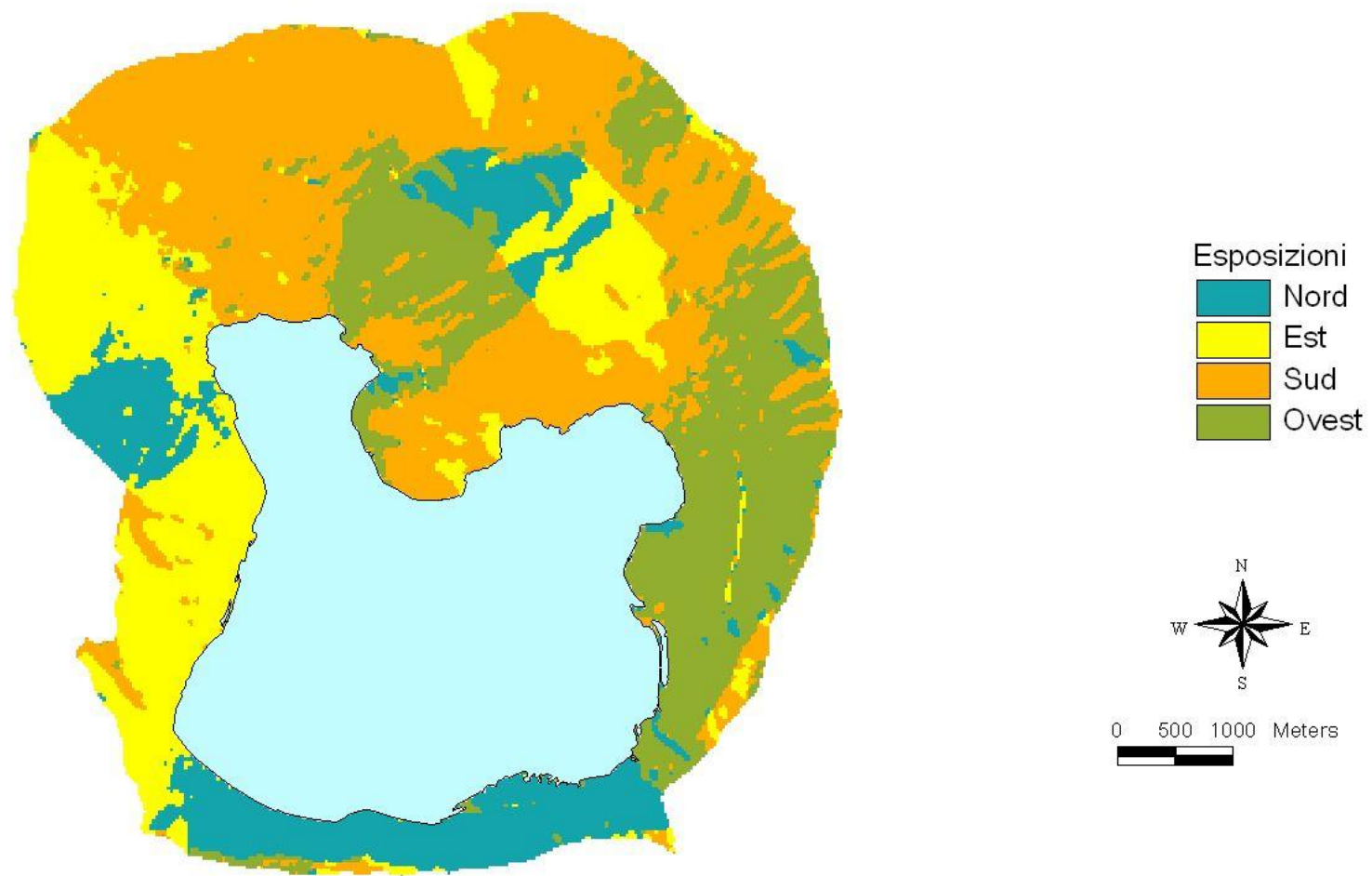


Fig. 4.5: Carta delle esposizioni del bacino del lago di Vico

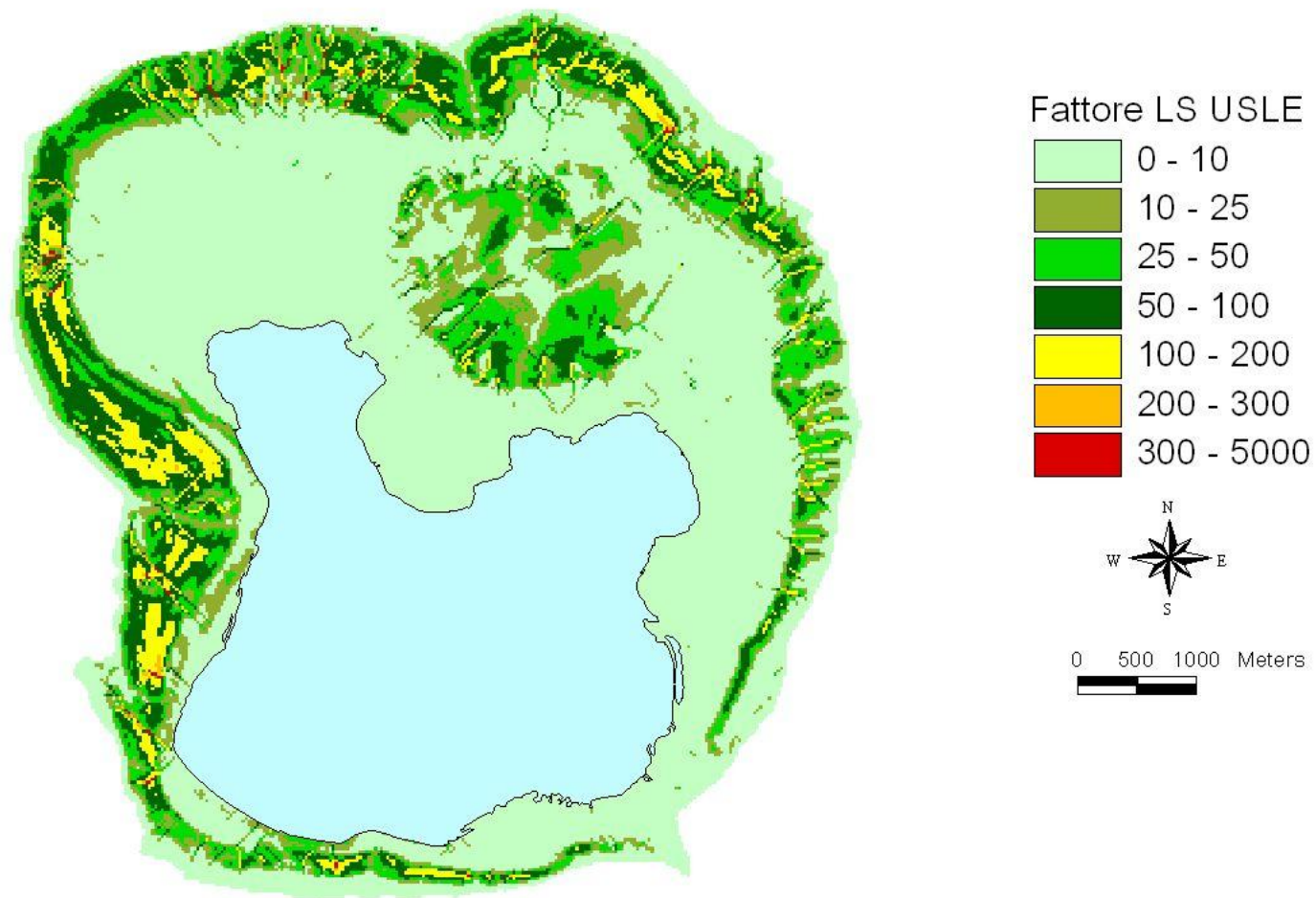
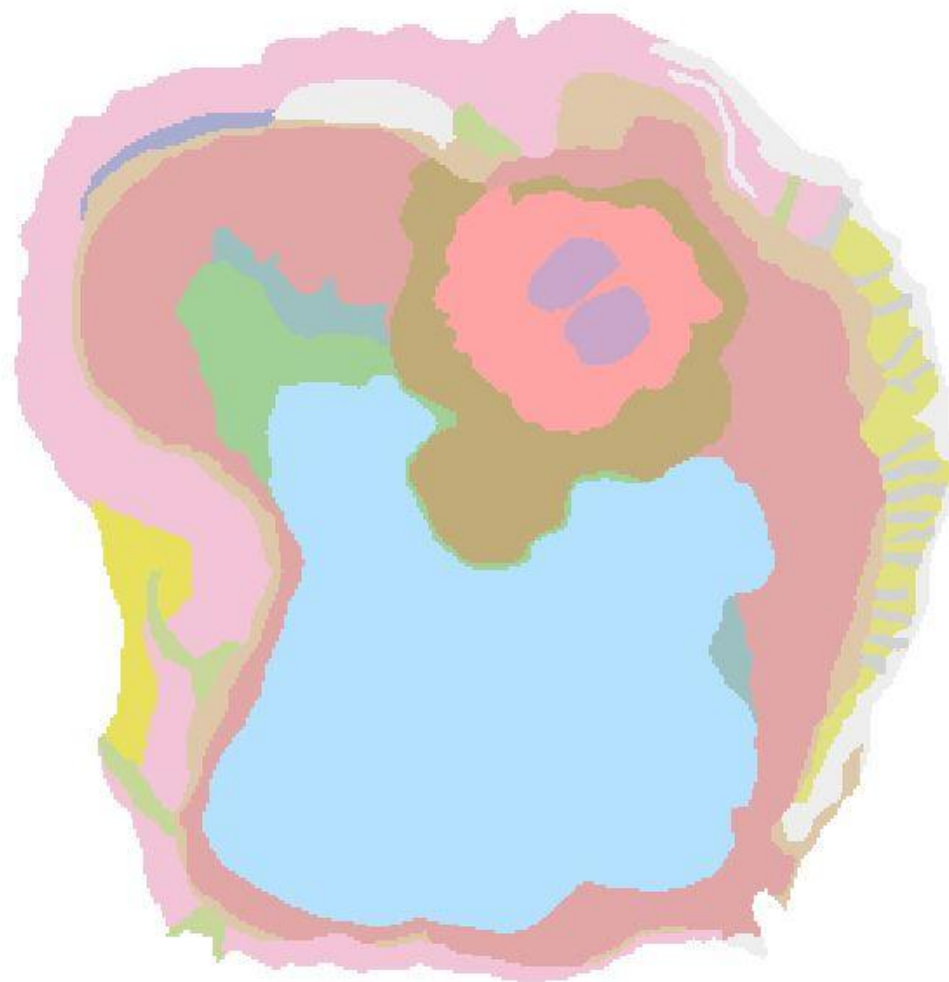
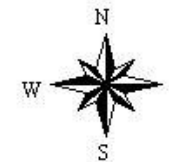


Fig. 4.6: Carta del fattore topografico (LS-USLE)



- Suoli
- Fase erosa suoli tufacei/lave leucitiche
 - Suoli idromorfi su dep. lac. terrazzati
 - Suoli su depositi colluviali
 - Suoli su depositi lacustri depressi
 - Suoli su depositi lacustri terrazzati
 - Suoli su depositi piroclastici
 - Suoli su depositi piroclastici d M. Venere
 - Suoli su lave leucitiche
 - Suoli su lave leucitiche 5% C
 - Suoli su lave leucitiche 8% C
 - Suoli su lave leucitiche di M. Fogliano
 - Suoli su materiali tufacei
 - Suoli sulle vulcanodastiti di M.Venere
 - Suoli tufacei misti a lave leucitiche
 - Lago



0 500 1000 Meters

Fig. 4.7: Carta dei suoli della caldera di Vico (da Lulli et al.)

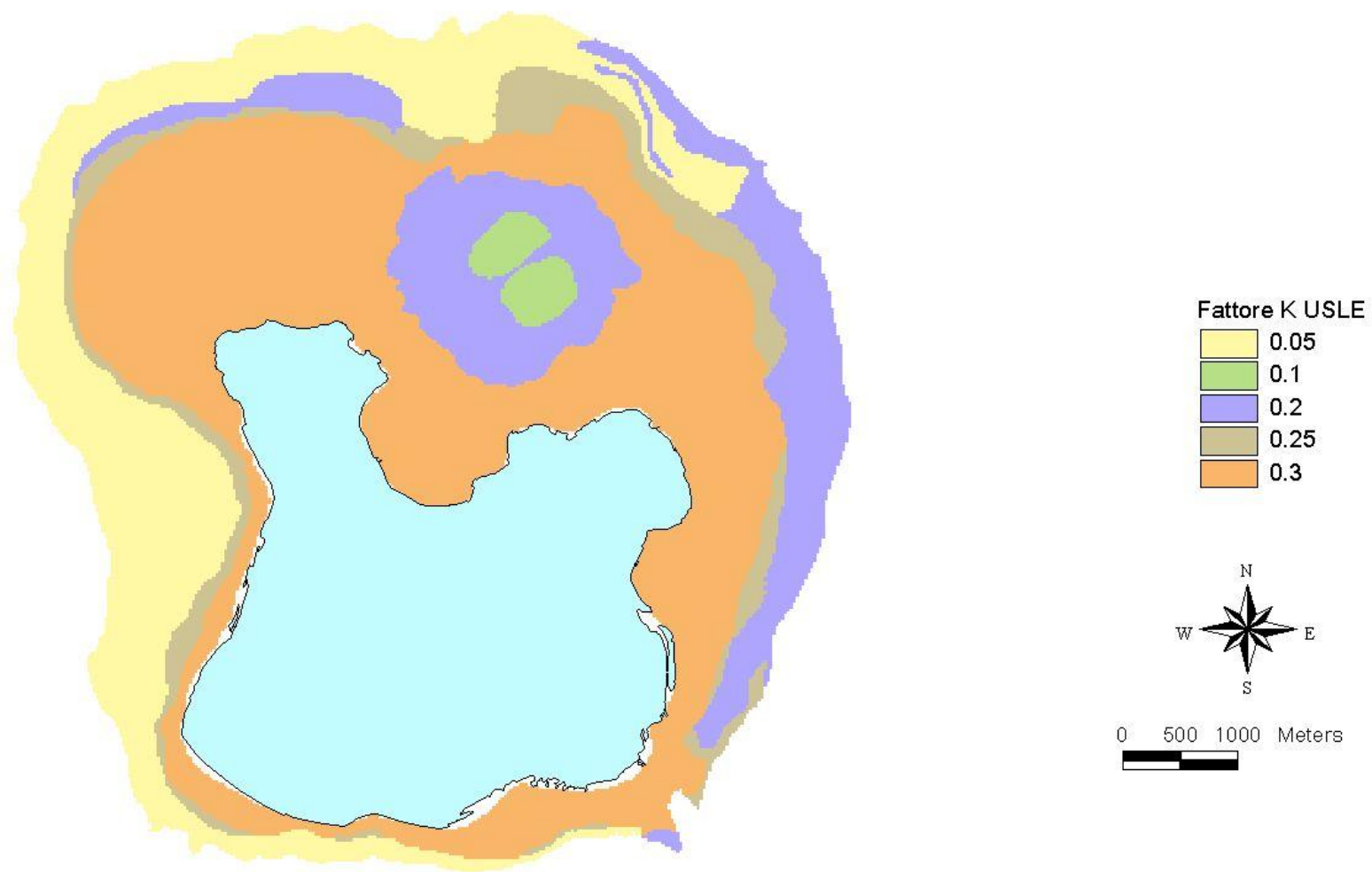


Fig. 4.8: Carta del fattore pedologico (K-USLE)

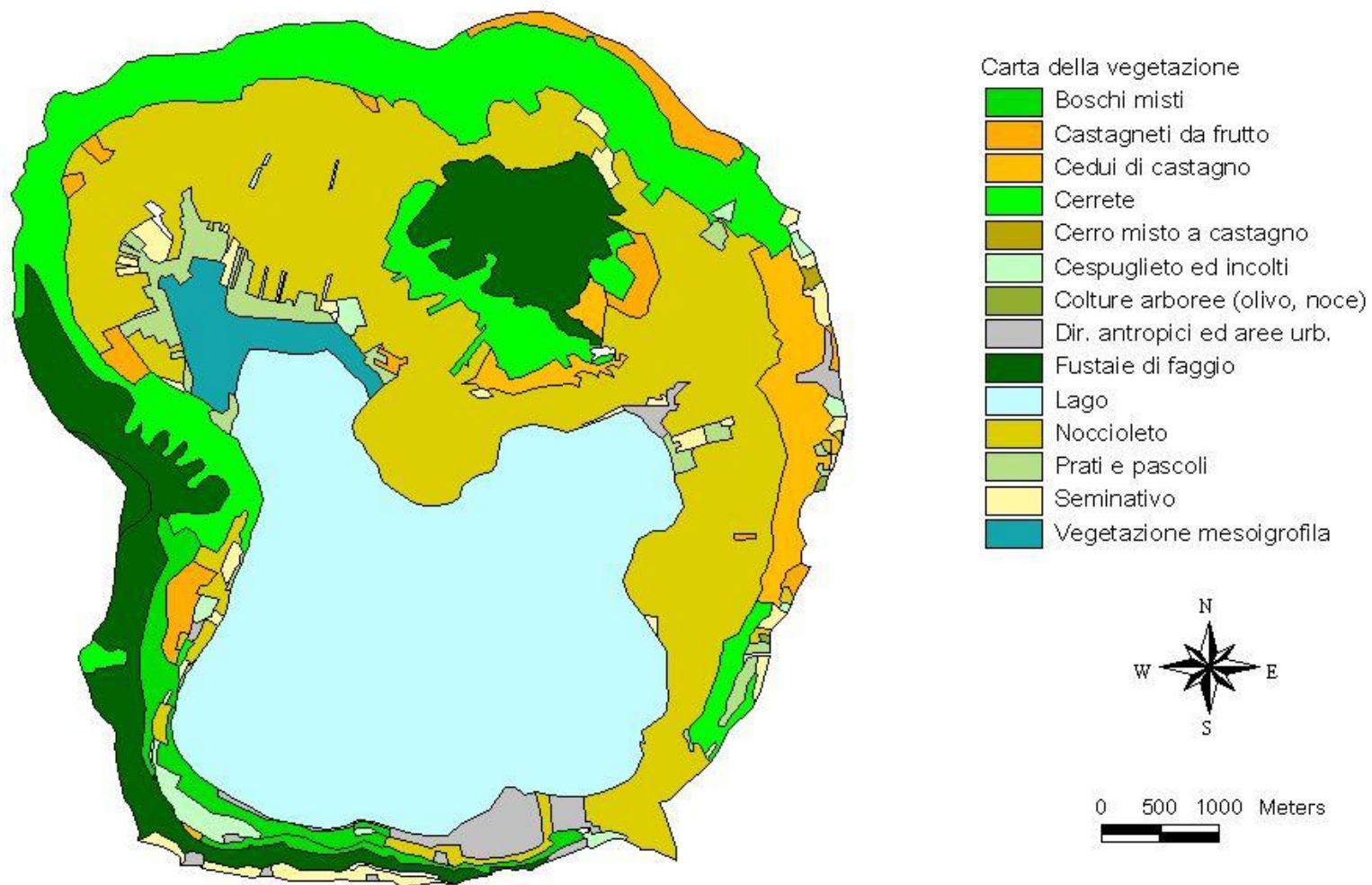


Fig. 4.9: Carta della vegetazione del bacino del lago di Vico (da Blasi et al., 1989)

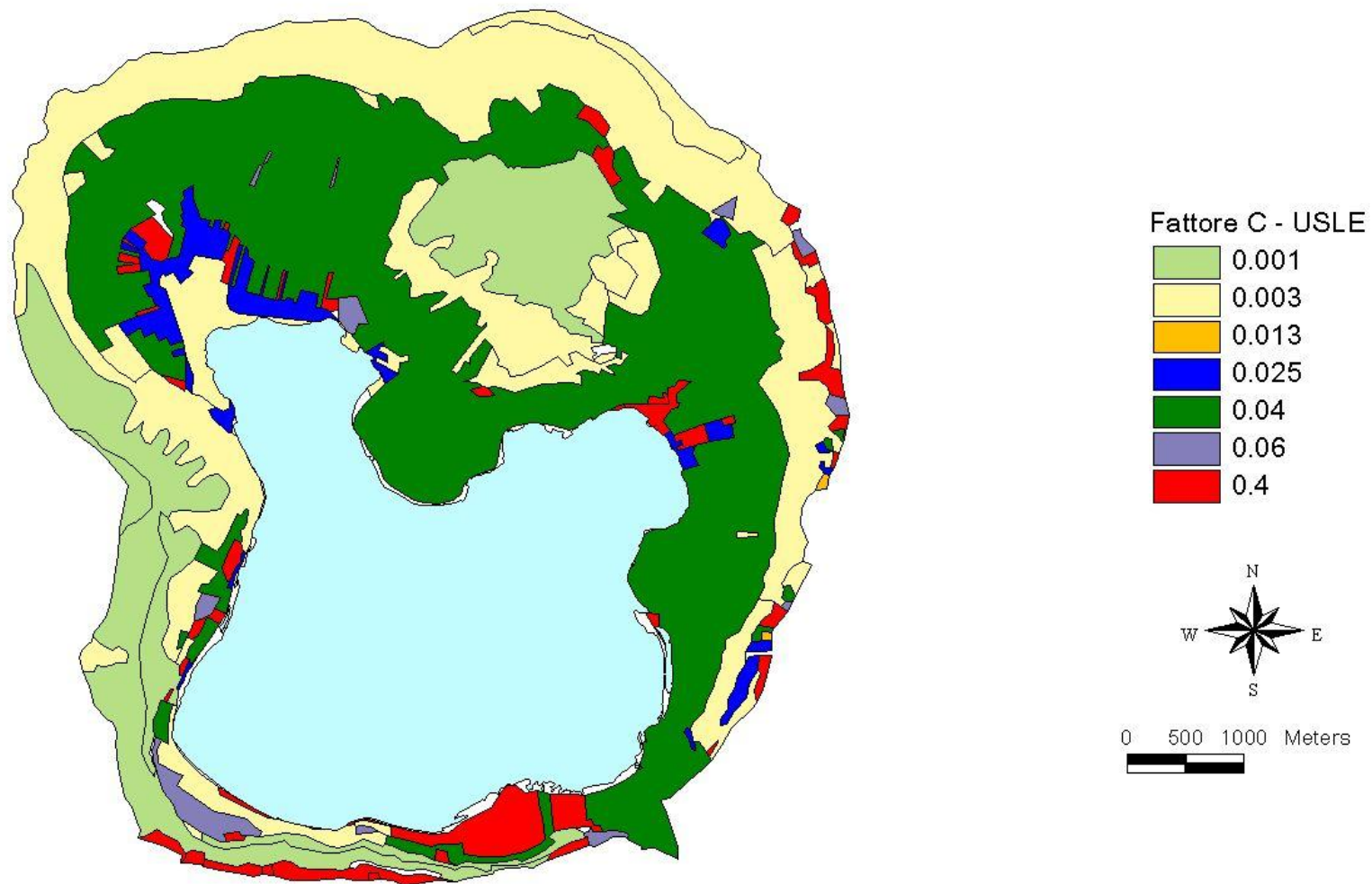


Fig. 4.10: Carta del fattore di copertura del suolo (C-USLE)

5. – CARTOGRAFIA DEI TIPI E DEGLI USI DEL SUOLO NEL TEMPO

In questo capitolo vengono descritti gli studi effettuati sull'uso ed sulla tipologia dei suoli. Essi sono consistiti, essenzialmente, nella costruzione di un sistema informativo, ovvero nel reperimento e rielaborazione di dati già esistenti e di altri acquisiti ex novo per l'integrazione ed l'adeguamento del sistema informativo allo specifico lavoro intrapreso. Per il lago di Vico si dispone di:

- Carta dei Suoli della Caldera di Vico, realizzata dall'Istituto Sperimentale per la Difesa del Suolo di Firenze (Lulli et al., 1990) per il notevole interesse scientifico e la specificità dei suoli del bacino.
- Carta della Vegetazione, nata dalla collaborazione fra il Dipartimento di Botanica dell'Università di Roma-Sapienza e l'Università della Tuscia (Blasi et al., 1989).

Per quanto riguarda la prima, l'integrazione è consistita, essenzialmente, nella misura delle caratteristiche di tessitura e fisico-chimiche dei suoli coltivati della caldera. Esse mancano nel lavoro di Lulli et al., che, essendo orientato al puro fine pedologico, non li ha considerati in quanto fortemente "disturbati" nei loro caratteri intrinseci dall'uso agricolo. Nel caso del presente studio, al contrario, questi suoli sono più importanti degli altri perché l'analisi è mirata proprio a tale territorio.

I rilievi effettuati, quindi, non hanno avuto come obiettivo l'analisi pedologica, ma semplicemente hanno mirato a completare la banca dati necessaria per gli aspetti che competono l'applicazione dei modelli di simulazione della mobilizzazione di nutrienti e sostanze chimiche dal territorio (si veda il relativo capitolo).

La carta della vegetazione è servita per ricavarvi l'uso e la copertura del suolo, attraverso le opportune semplificazioni. Essa è stata redatta alla fine degli anni '80 e, quindi, è stato controllato che non fossero subentrati cambiamenti sostanziali rispetto alle foto aeree più recenti disponibili presso l'Istituto Geografico Militare (1994). Per comprendere l'evoluzione del rischio erosivo, inoltre, si è proceduto a ricostruire l'uso del suolo nel recente passato.

Entrambe le carte di base, per le rielaborazioni necessarie per il presente studio, sono state digitalizzate (vedi cap.4).

Generalità di carattere pedologico

L'apparato vicano si è formato a seguito di emissioni vulcaniche che si sono manifestate con modalità di fuoriuscita alquanto articolate. Le rocce, quindi, sono poco variabili nella composizione chimica, ma presentano caratteristiche morfologiche differenziate, con un apparato composto da colate di lava, colate piroclastiche, depositi magmato freatici, depositi piroclastici e vulcanoclasti (Lulli et al., 1990).

Per quanto riguarda gli aspetti pedologici, le ricerche effettuate da Lulli et al., fin dagli anni '60, sui suoli vulcanici di diversi ambienti dell'Italia, sono approdate a due considerazioni di ordine generale:

- i suoli che si evolvono su materiale vulcanico si diversificano in funzione delle modalità di deposizione;
- i materiali vulcanici finemente suddivisi allorchè permangono coperti da una vegetazione continua sono indotti ad acquisire caratteristiche andiche che diventano spiccate se vi si insedia una vegetazione mesofila.

Tra i fattori fondamentali della pedogenesi (litologia, clima, morfologia, vegetazione e tipo di copertura) i primi due, indubbiamente, sono quelli di maggiore rilievo: se la roccia madre costituisce l'origine dalla quale ha inizio il processo evolutivo che porterà alla formazione di un determinato suolo, il clima assume in genere una funzione primaria nell'indirizzare i processi pedogenetici.

I suoli che si evolvono su litotipi vulcanici sono decisamente influenzati dalle variazioni del clima con la quota (Lulli et al., 1990). La durata del periodo asciutto estivo incide soprattutto sulla genesi di argilla cristallizzata, che conferisce il cosiddetto carattere di *brunicità* al suolo. La maggiore piovosità, associata alla permanenza di condizioni umide drenanti, favorisce invece la genesi delle allofane, termine con cui viene indicato un allumo-silicato idrato senza un'organizzazione strutturale che conferisce carattere di andicità al suolo.

Gli Andisuoli non sono molto diffusi in Italia: si formano in condizioni ambientali drenanti e costantemente umide, che si possono trovare solo a quote superiori ai 600-700 m s.l.m. e su rocce ricche di vetro primario, condizioni ben riprodotte lungo le pendici del cono vulcanico di Vico. Segnatamente quelli presenti nella caldera vicana, sono di colore molto

scuro, quasi nero, sviluppatosi su emissioni vulcaniche ricche in vetro come ceneri, pomici, lave e in materiali vulcanici nei quali la frazione colloidale è dominata da materiali allofanici e da complessi alluminici.

Le caratteristiche salienti degli Andisuoli possono brevemente essere così riassunte:

- bassa densità apparente ($< 0.90 \text{ g/cm}^3$);
- elevata ritenzione idrica e porosità;
- alto contenuto in sostanza organica negli orizzonti più superficiali;
- elevata e variabile carica;
- elevata capacità di ritenzione anionica, specie per i fosfati.

In sintesi, sottolineando quelle che sono le caratteristiche salienti degli Andisuoli in riferimento alle condizioni di “abitabilità” che offrono alle radici delle piante, si deve puntualizzare che:

- si tratta di suoli amorfi molto attivi perché offrono alla soluzione circolante una notevole interfaccia (per l'elevata superficie specifica) e, trattenendo i cationi con legami deboli, li rendono facilmente disponibili;
- si presentano con un alto contenuto di sostanza organica (superiore, a parità di condizioni climatiche, a qualsiasi altro tipo di suolo) che viene trattenuta dagli anioni che si sono accumulati perché legati dall'alluminio, che, essendo il pH prossimo alla neutralità, non risulta dannoso per le piante.

Ne consegue una situazione indubbiamente molto favorevole allo sviluppo delle piante che si giovano della notevole fertilità di questi suoli.

I suoli presenti nella carta di Lulli et al. sono stati classificati secondo la nomenclatura della Commissione Internazionale per la classificazione degli Andisuoli. La scala adottata nella rappresentazione grafica è pari a 1:20000, basata sui tipi dell'IGM (tavoletta 1:25000). In particolare, sono stati analizzati l'Andisuolo della Queceta di Monte Venere, l'Andisuolo della faggeta di Monte Fogliano e per l'Andisuolo della cerreta dell'orlo della caldera, il tutto corredato da un'ampia serie di dati analitici riguardanti le caratteristiche chimico-fisiche, anche a diverse profondità. Il campo di indagine è stato poi ampliato all'intero apparato di Vico, ovvero anche fuori dal bacino del lago, fino alle estremità delle emissioni vulcaniche.

I rilievi effettuati forniscono i parametri fondamentali per la valutazione, anche su base quantitativa, dell'erosione e della mobilizzazione delle sostanze chimiche usate in agricoltura. In tale ambito sono particolarmente importanti: la granulometria, la percentuale di sostanza organica, quella di azoto totale, di fosforo ed il pH (tab.5.1). In particolare, essi consentono di attribuire una nuova veste all'informazione di base di natura pedologica (e, quindi, estremamente specialistica) estrapolandone solo quelle parti necessarie allo scopo applicativo (pianificatorio) oggetto del presente studio e delle integrazioni apportate ai dati della carta pedologica.

Data l'importanza di questi aspetti e considerato che lo studio di Lulli et al. si è limitato ai suoli indisturbati, si è reso necessario eseguire un rilevamento delle caratteristiche chimico-fisiche di tutti gli altri suoli, essenzialmente quelli dei territori agricoli.

5.1.1 Integrazione delle informazioni pedologiche: il lavoro eseguito

I quattro tipi pedologici, sui quali è stato effettuato il campionamento sono contrassegnati, nella carta dei suoli (vedi fig. 4.7), dalle seguenti sigle:

- **At_{1,2,3,4} ed At_i**: suoli che si sono formati sui depositi lacustri terrazzati, profondi, da grossolani a franco limosi. Contengono dall'1 al 2% di carbonio negli orizzonti superficiali. La densità apparente è in genere superiore ad 1. Lulli et al. li classificano come **Andic Dystochrepts**. Questi caratteri originari sono certamente stati alterati dall'attività agricola. L'aratura e la scopertura del suolo tendono infatti ad instaurare condizioni xeriche che riducono la sostanza organica e, con il collasso del materiale vetroso nel suolo, che tende a cristallizzare in argilla, favoriscono la tendenza a condizioni bruniche, a discapito delle naturali caratteristiche andiche. Nell'ottica applicativa, ciò, in estrema sintesi, si traduce in una minore permeabilità e, quindi, una maggiore predisposizione al ruscellamento superficiale ed all'erosione.

Le analisi effettuate hanno comunque rivelato un contenuto in argilla e limo molto basso, tanto da far inquadrare questi suoli nella classe tessiturale di "sabbia franca". Tale anomalia può essere spiegata con l'azione erosiva delle acque ruscellanti che, sulle

pendenze non elevate su cui giacciono tali suoli, tendono ad asportare prevalentemente il materiale più fine, operando, in tal senso, una selezione della tessitura.

A ciò si aggiunge l'azione delle arature che porta in superficie strati più poveri in argilla e limo.

- **C:** suoli su depositi colluviali alla base delle pareti interne della caldera, franco argillosi con scheletro o semplicemente franchi. Contengono dall'1,5 all'11% di carbonio a seconda che siano bruni o andici. La densità apparente varia da 1.2 a 0.8. Lulli et al. li classificano come **Typic Distrochrepts** e **Typic Hapludands**. Anche questi caratteri sembrano alterati dal punto di vista tessiturale alla luce delle analisi effettuate, che hanno riguardato sempre territori agricoli (noccioleti). Il contenuto in argilla e limo risulta infatti, come nel caso precedente, ridotto rispetto alle condizioni di copertura naturale del suolo, tanto da portare questi terreni alla classe "franco-sabbiosi". Anche in questo caso l'azione erosiva può essere la spiegazione più plausibile per tale anomalia, a maggior ragione in questo caso, essendo questi suoli caratterizzati da elevata pendenza.
- **F_{1,2,3}:** suoli sulle vulcanoclastiti di Monte Venere (colluvi, coni di deiezione), profondi, franchi, subacidi. Contengono dall'1 al 5% di C. La densità apparente è intorno ad 1. Lulli et al. li classificano come **Andic Haplumbrepts** e **Typic Hapludands**.
Anche in questo caso l'analisi eseguita porta ad una classificazione tessiturale corrispondente ad un suolo più grossolano rispetto al caso indisturbato (classe "franco-sabbioso") ad ulteriore conferma dell'ipotesi di forte influenza dei fenomeni erosivi sulla selezione tessiturale dei suoli. L'analisi dei dati disaggregati della tab. 5.2, fornisce ulteriore conferma in tal senso: mentre i campioni I e II sono stato prelevati in zone di pendenza medio-alta, il III è in un'area pianeggiante, in cui la sabbia grossolana è quasi assente perché ormai non più trasportata dal deflusso (sedimenta immediatamente ai piedi delle conoidi) e più elevata è la percentuale di materiale fine.
- **P/P-L,** suoli su materiali tufacei, profondi, franchi. A seconda della maggiore o minore copertura vegetale contengono dal 2.5 al 6% di C. La densità apparente è intorno a 1. Lulli et al. li classificano come **Typic Hapludands** e **Entic Hapludands**.

Il presente studio ha trascurato il tipo pedologico indicato da Lulli et al. come A, ovvero quei suoli che si sono formati su depositi lacustri depressi, che per essere ubicati in aree di minima pendenza, non rientrano nelle zone in cui il rischio erosivo è più sensibile.

Dal momento che le aree che corrispondono ai tipi di suolo da rilevare sono piuttosto estese, è stato previsto che i dati oggetto del campionamento (granulometria, pH, % di sostanza organica, % di azoto totale, di fosforo totale ed assimilabile) attribuiti ad ognuno dei 4 tipi derivassero dalla media calcolata su tre campioni, ove ciascun campione fosse a sua volta costituito da 5 sub-campioni del peso di 1 kg di suolo. Perciò i dati riguardanti ogni tipo di suolo derivano da prelievi di 15 subcampioni. Questo schema procedurale è stato rispettato in tutti i casi tranne che per i P/P-L dove, a causa della notevole asperità del terreno e soprattutto della fittezza della vegetazione, i prelievi effettuati sono stati ridotti a cinque, valore da considerarsi comunque più che sufficiente se si considera l'obiettivo dello studio (l'erosione) per il quale l'abbondante copertura vegetale di queste zone costituisce una forte protezione e, quindi, gli aspetti pedologici acquisiscono una minore rilevanza.

Nella scelta delle aree di saggio, tre per ogni tipo di suolo, sono stati seguiti i seguenti criteri:

- i siti prescelti devono offrire la maggiore rappresentatività possibile;
- tenuto conto dell'estensione della superficie oggetto d'indagine, i cinque subcampioni di ogni area di saggio, sono stati prelevati a distanza di circa 100 m l'uno dall'altro;
- le direttrici, lungo le quali sono stati effettuati i prelievi dei subcampioni, hanno seguito un andamento parallelo alle curve di livello per i suoli ubicati nelle zone di minor pendenza ($At_{1,2,3,4}$, $F_{1,2,3}$); mentre per quelli sulle pendici vulcaniche (C e P/P-L) le direttrici di campionamento hanno seguito una direzione normale alle curve di livello. Data la maggiore difficoltà del prelievo, i subcampioni sono stati prelevati a 50 m di distanza l'uno dall'altro;
- l'ubicazione delle aree di saggio ha tenuto conto della copertura vegetale esistente sul suolo preso in esame, avendo cura che ad ogni tipo di suolo corrispondesse un determinato tipo di vegetazione, sia essa agricola o forestale, per ridurre al minimo l'influenza delle diverse specie vegetali sull'evoluzione del suolo.

Poiché i rilevamenti effettuati hanno interessato per lo più gli arboreti, si è ritenuto opportuno operare il prelievo fino ad una profondità di 30 cm, scartando i primi 5 cm di suolo per ovviare ad eventuali inquinamenti superficiali e alla presenza di residui vegetali, seguendo quanto raccomandato dalla Società Internazionale della Scienza del Suolo (1985). I campioni sono stati prelevati usando una idonea trivella sulla quale è stata segnata la profondità massima da esplorare e le porzioni di suolo estratte sono state riposte in sacchetti di plastica recanti due cartellini, uno adesivo esterno e l'altro cartaceo interno, entrambi siglati con una matita indelebile.

I campioni sono stati travasati dal sacchetto di plastica in una vaschetta di alluminio, avendo cura che ognuno fosse accompagnato dal relativo cartellino. Quindi si è proceduto all'essiccazione in stufa alla temperatura di 80°C per 48 ore e, successivamente alla frantumazione, pestando il suolo in un mortaio di legno ed evitando la polverizzazione dei materiali rocciosi. Quindi si è proceduto alla setacciatura, usando un setaccio a maglie di 2 mm di ottone (N.7 UNI) al fine di allontanare lo scheletro dalla terra fine. Infine si è proceduto al prelievo di 500 g di terra fine da ciascuno dei 5 subcampioni afferenti ad uno stesso campione, che è stata deposta in un contenitore e accuratamente mescolata in modo da ottenere 2.5 kg, da cui poi sono stati presi i 100 g di suolo oggetto delle analisi.

Come è noto, si definisce sabbia grossa la frazione di terreno con particelle di diametro compreso tra 2 e 0.2 mm, sabbia fine quella con diametri compresi tra 0.2 e 0.02 mm, limo quella con diametri compresi tra 0.02 e 0,002 mm e argilla quella con diametri inferiori a 0.002 mm.

La separazione della sabbia grossa si esegue generalmente con un setaccio con fori da 0.2 mm, mentre le particelle con diametro minore di 0.2 mm vengono separate mediante metodi di sedimentazione dei liquidi in quiete, basati sulla legge di Stokes che fornisce per un'altezza di 20 cm i tempi di caduta di 9'36" per il limo e 16 h per l'argilla. Prima di essere sottoposto alla vera e propria analisi granulometrica, il campione di terra fine è stato pretrattato allo scopo di disperdere quanto più possibile le particelle di terreno, senza alterare profondamente l'unità strutturale del terreno stesso.

Il procedimento adottato è il seguente: 10 g di terreno secco vengono posti in una beuta, ai quali vengono aggiunti 50 mL di soluzione di esametafosfato sodico (35.7 g del sale sciolti

il 750 mL d'acqua, aggiunti a 7.94 g di carbonato sodico anidro e portati a 1000 mL) ed il tutto viene portato a 250 mL con acqua, quindi si pone la beuta nell'agitatore per 2 h.

Tab. 5.1: Caratteristiche chimico-fisiche dei suoli rilevati.

Zone	Cod	% argilla	% limo	% sab. grossa	% sab. fine	pH	% azoto	% S.O.	P assim. mg/kg	P tot. mg/kg
P.S.P.	1	10.22	22.16	31.49	36.13	6.38	0.138	3.893	8	1217
F_{1,2,3} I	2	7.38	24.81	14.00	53.82	5.56	0.302	5.844	42	3316
F_{1,2,3} II	3	8.7	24.98	22.85	43.47	5.51	0.238	4.573	54	3220
F_{1,2,3} III	4	16.56	44.42	2.29	36.73	5.27	0.161	3.095	116	2290
At_{1,2,3,4} I	5	5.93	13.84	43.49	36.74	5.81	0.159	2.472	75	13716
At_{1,2,3,4} II	6	6.62	19.30	35.73	38.35	6.56	0.218	4.783	49	2242
At_{1,2,3,4} III	7	5.49	13.48	41.81	39.24	6.27	0.139	1.598	61	2624
C I	8	9.13	13.36	30.79	41.17	6.5	0.192	3.561	33	2361
C II	9	7.03	20.53	34.08	38.36	6.23	0.327	7.024	37	3125
C III	10	8.7	22.20	30.71	38.39	6.02	0.134	2.220	12	1073

Le determinazioni effettuate sono sintetizzate in tab. 5.1 dalla quale emergono immediatamente le seguenti considerazioni:

- **granulometria:** non vi sono sostanziali scostamenti fra le diverse zone esaminate ad eccezione del campione F_{1,2,3} III che si caratterizza per una percentuale di argilla e limo doppie rispetto agli altri campioni. Quindi, facendo riferimento alla classificazione granulometrica basata sul metodo del *Soil Survey* americano, la globalità dei terreni ricadono nelle classi: sabbioso-franco e franco-sabbioso; mentre il terreno della zona F_{1,2,3} III si classifica come franco (a grana media). La cospicua percentuale di limo presente nella zona F_{1,2,3} III indica che tale terreno presenta una suscettibilità a diventare fangoso in occasione di precipitazioni piovose (non a caso la località è denominata Pantanello), nonché a formare una crosta superficiale. Ciò è un'ulteriore conferma dell'importanza dei processi erosivi sugli aspetti tessiturali di questi suoli.
- **pH:** come era prevedibile in base alle caratteristiche di umidità del bacino vicano, si sono ottenuti valori di pH che hanno permesso, in genere, di classificare i suoli come subacidi, ad eccezione della zona F_{1,2,3} che possiede terreni spiccatamente acidi. Il valore più basso è quello raggiunto dal campione F_{1,2,3} III.

- Azoto e sostanza organica: in generale, nei terreni agrari l'azoto totale varia, in media, tra 0.10 % e 0.15% e, raramente, può raggiungere lo 0.2 % (Sequi, 1989). Nel caso in esame si può subito cogliere che, per quanto attiene all'azoto totale, la situazione si presenta piuttosto articolata e comunque, ad eccezione di tre campioni che si attestano sullo 0.13 %, gli altri si caratterizzano per una dotazione superiore alla media. Va rilevata, inoltre, esaminando i campioni maggiormente dotati in azoto totale, la buona correlazione esistente fra questo elemento e la dotazione in sostanza organica. I due campioni F_{1,2,3} I e C II, infatti, totalizzano le percentuali più alte in entrambi i parametri esaminati. Questo risultato non costituisce una sorpresa in quanto è noto che l'azoto organico presente negli strati superficiali del suolo può costituire fino ad oltre il 90 % di quello totale (Sequi, 1989). I suoli esaminati si presentano anche con una buona dotazione in sostanza organica che, in alcuni casi, raggiunge percentuali notevolmente elevate.
 - Fosforo totale ed assimilabile: il valore di 13716 mg/kg di P totale ottenuto per il suolo At_{1,2,3,4} I si discosta in modo sensibile da tutti gli altri valori, che sono compresi tra un minimo di 1073 ed un massimo di 3316; essendo perciò maggiore rispetto alla media di un fattore pari a 6, si ritiene che tale campione possa essere stato "inquinato" da qualche subcampione contenente del P in eccesso per la presenza di fertilizzante chimico somministrato di recente. Per quanto riguarda invece il valore di 116 mg/kg di P assimilabile, corrispondente al campione siglato F_{1,2,3} III, anch'esso si discosta dai valori medi compresi fra un minimo di 8 mg/kg ed un massimo di 71 mg/kg, tuttavia, se si considera che la percentuale di argilla e limo è doppia e in qualche caso anche tripla rispetto agli altri campioni, si può giustificare l'elevato valore riscontrato. L'elevato valore di P assimilabile registrato potrebbe essere ricondotto anche al fenomeno di acidificazione di origine biologica. Le condizioni asfittiche del terreno stimolerebbero, infatti, l'attività microbica verso un maggiore rilascio di idrogenioni (con conseguente abbassamento del pH). Questi ultimi svolgerebbero un'azione disgregante sulla struttura cristallina della frazione colloidale minerale, inducendo una liberazione del P in essa contenuto e, di conseguenza, un aumento del P prontamente assimilabile. Il basso valore del pH registrato per il campione F_{1,2,3} III, sembrerebbe convalidare questa ipotesi.
- Nella tab. 5.2 si ha la sintesi dei valori medi dei suoli analizzati.

Tab. 5.2: Caratteri medi dei suoli analizzati.

Zone	% Argilla	% Limo	% Sabbia grossolana	% Sabbia fine	pH	% N	% S.O.	P Assimilabile [mg/kg]	P Totale [mg/kg]
P.S.R.	10.22	22.16	31.49	36.13	6.38	0.138	3.893	8	1217
F_{1,2,3}	10.88	31.40	13.05	44.67	5.45	0.234	4.504	71	2942
At_{1,2,3,4}	6.02	15.53	40.34	38.11	6.21	0.172	2.951	55	2433
C	8.30	20.53	31.86	31.86	6.25	0.218	4.268	27	2186

Per quanto riguarda il P assimilabile, si ricorda che esso rappresenta la disponibilità di tale elemento “a breve termine” e quindi il suo impatto ambientale potenziale a breve termine. Per i suoli italiani coltivati, i valori sono risultati compresi tra 1 e 250 mg/kg, ma la distribuzione di frequenza indica che oltre il 40 % dei suoli è al di sotto di 10 mg/kg e che solo il 5 % supera i 35 mg/kg (Franzin et al., 1990). Perciò, dai valori riportati in tabella, si evince subito che tre dei suoli analizzati si caratterizzano per una dotazione di P assimilabile piuttosto alta. Per quanto riguarda il P totale nei suoli italiani esso varia in relazione alla roccia madre, da 0.2 a 5 g/kg con valori medi intorno a 0.5 (Barber, 1984). Anche in questo caso la tabella 5.2 evidenzia che tutti i suoli si collocano al di sopra dei suddetti contenuti medi, con valori dalle 2 alle 6 volte maggiori del limite di 5 g/kg.

Questi risultati sono in linea con quelli dello studio di Lulli et al. che hanno evidenziato le alte percentuali di ritenzione in P possedute dai tipi pedologici della caldera di Vico e, di conseguenza, la loro cospicua dotazione di fosforo, sia totale che disponibile. E' evidente la conseguenza sulla delicatezza dell'equilibrio trofico del lago.

Si riporta, infine, in tab. 5.3, una sintesi della banca dati pedologici (disponibili e raccolti) e le conseguenti grandezze che influenzano i fenomeni di ruscellamento, erosione e mobilizzazione delle sostanze chimiche, oggetto della modellistica in seguito utilizzata.

5.2 – Evoluzione storica dell'uso del suolo

Le carte dell'uso del suolo

Il bacino del lago di Vico, come la gran parte dei territori italiani, ha subito un drastico cambiamento dell'uso del suolo negli anni '60 e '70 soprattutto. Questo è infatti il periodo

della “rivoluzione verde”, ovvero della trasformazione dell’agricoltura tradizionale in sistemi intensivi nelle aree più fertili e dell’abbandono delle terre marginali e delle pendici collinari e montane da parte di popolazioni rapidamente inurbatesi.

Tab. 5.3: Grandezze fisiche derivate per i suoli della Caldera di Vico.

Tipo suolo	Classe tessiturale	Caratteristiche idrologiche cm ³ /cm ³					Classe Idrolog (SCS- USDA)	Erodib. K-USLE
		Punto appass.	Cap. di campo	Dens.a p [g/cm ³]	Porosit à	Cond.idr [cm/h]		
M. Venere V	Franco sabbioso	0.104	0.224	1.487	0.439	1.593	B	0.10
M. Fogliano L_s	Franco	0.113	0.224	1.447	0.454	1.233	C	0.05
Cerreta L	Franco sabbioso	0.095	0.222	1.513	0.429	2.207	B	0.05
Suoli su materassi Tufacei, P/P-L	Franco sabbioso	0.089	0.192	1.559	0.412	2.620	B	0.20
Deiezioni M. Venere, F_{1,2,3}	Franco sabbioso	0.093	0.211	1.530	0.423	2.342	B	0.30
Dep. Lacustri (Noccioleti), At_i	Sabbia franca	0.068	0.159	1.656	0.375	5.409	B	0.30
Colluvi base Caldera, C	Franco sabbioso	0.080	0.180	1.596	0.398	3.358	B	0.25

Il territorio in esame appartiene alla prima categoria e l’agricoltura è passata dai sistemi agricoli tradizionali (prevalentemente il seminativo) all’arboreto specializzato, costituito quasi esclusivamente dal nocciolo.

Per lo studio delle conseguenze sullo stato trofico del lago del nuovo assetto territoriale, si è ricostruita l’evoluzione nel tempo dell’uso del suolo. A tale scopo si sono utilizzate le seguenti fotografie aeree, ottenute dall’Istituto Geografico Militare (IGM):

- volo del 1942, per il quale si dispone solo di alcuni fotogrammi, che coprono circa il 70% del bacino, scattati dall’esercito alleato durante l’ultimo conflitto mondiale;
- volo del 1954;
- volo del 1971;

- volo del 1983;
- volo del 1994.

Una prima analisi di questa serie ha mostrato che, praticamente, non esistono differenze nell'uso del suolo fra i periodi 1942-1954 e 1983-1994, a conferma che fino al '54 si può parlare di un assetto tradizionale e che il cambiamento drastico dell'uso del suolo (essenzialmente agricolo, quasi tutto rappresentato dall'arboreto specializzato) si è esaurito con l'inizio degli anni '80.

Per questi motivi, si sono ricostruiti in dettaglio gli usi del suolo più rappresentativi, che appartengono alle tre più rilevanti categorie: agricoltura estensiva (1954), fase di trasformazione (1971) ed attuale assetto (1994), realizzando l'opportuna cartografia (figg. 5.1, 5.2 per i primi due casi e fig. 4.9 per la mappa del 1994). Le carte di uso del suolo saranno in seguito indicate con CUS 54, CUS 71 e CUS 94. Esse sono state riportate su carta in scala 1:10000, utilizzando come base la carta tecnica regionale e come primo elaborato la riclassificazione della carta della vegetazione (Blasi et al., 1989) per la CUS 94 (vedi cap. 4). Realizzata quest'ultima, si è proseguito con le altre, per le quali, ovviamente, non è possibile una verifica sul campo e, quindi, i dubbi nell'interpretazione delle foto (per altro pochi) sono stati risolti attraverso il confronto con la CUS 94.

Le carte, una volta realizzate, sono state digitalizzate con il software AUTOCAD e quindi importate nel GIS IDRISI in cui sono state "rasterizzate". Il calcolo delle aree, effettuato dal GIS, ha anche consentito di effettuare una stima dell'errore che scaturisce dalle varie operazioni (fotointerpretazione, digitalizzazione) attraverso la somma che, ovviamente, deve dare l'area totale del bacino emerso (3020 ha, vedi ultima riga della tab. 5.4).

In tab. 5.4 sono riportate le classi d'uso del suolo. Da questa si nota come, all'interno delle aree agricole, a fronte di una situazione sostanzialmente immutata come ripartizione fra territorio agricolo e territorio forestale (i boschi sono praticamente rimasti gli stessi), il seminativo sia stato praticamente tutto sostituito dal noccioleto.

Tab. 5.4: Superficie (ha) delle classi d'uso del suolo (CUS) negli anni 1954, 1971 e 1994.

	CUS 1954	CUS 1971	CUS 1994
Bosco	1334	1333	1291
Seminativo	1064	421	177
Noccioleto	414	880	1235
Castagneto	96	99	102
Aree urbane e cava	13	59	74
Cespuglieto	10	47	48
Vigneto	0	21	0
Zone paludose	98	149	95
Totale	3029	3009	3022
Deviazione % dalla Media (3020 ha)	+9	-11	+2

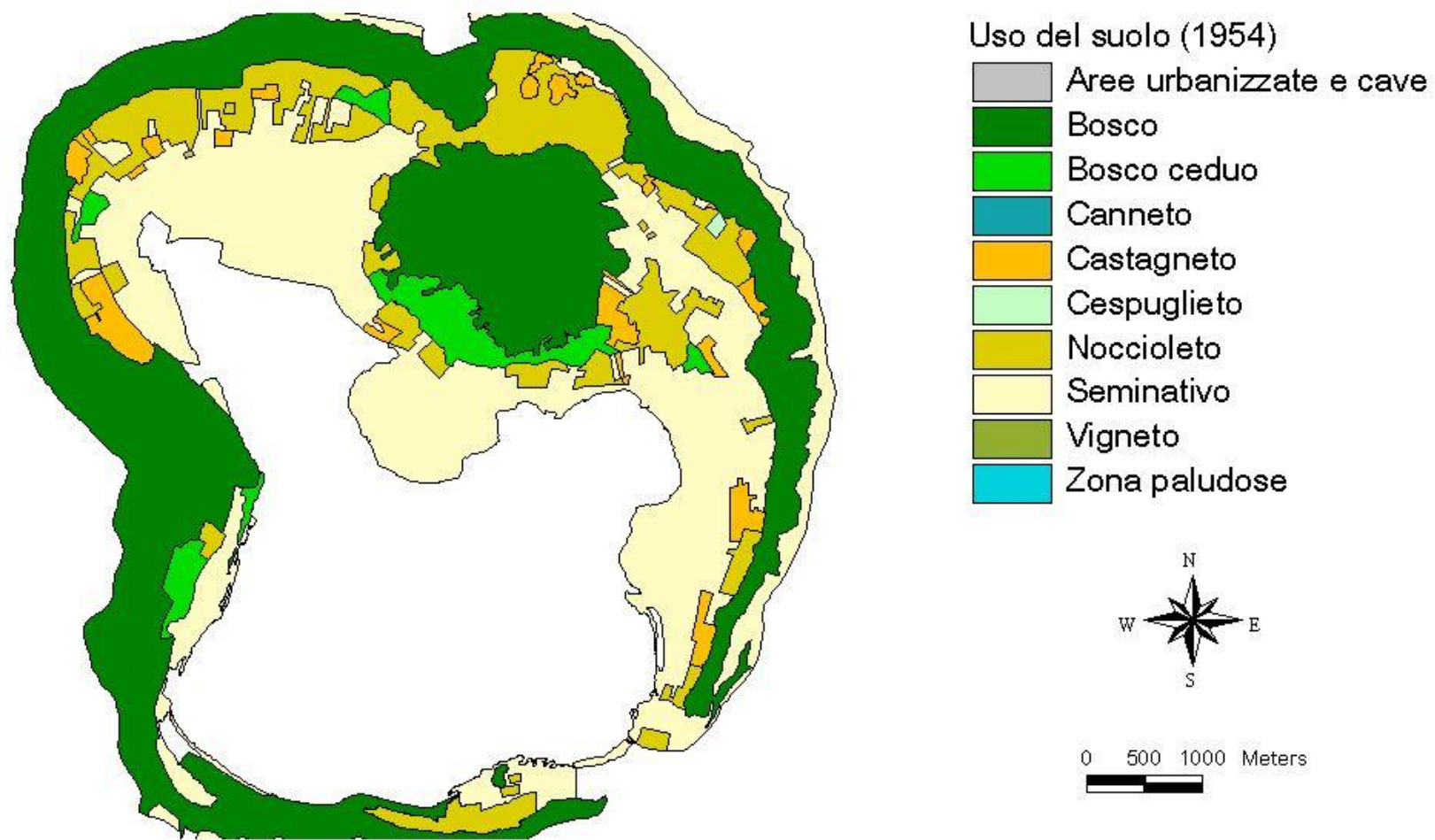


Fig. 5.1: Carta dell'uso del suolo del bacino del lago di Vico nel 1954

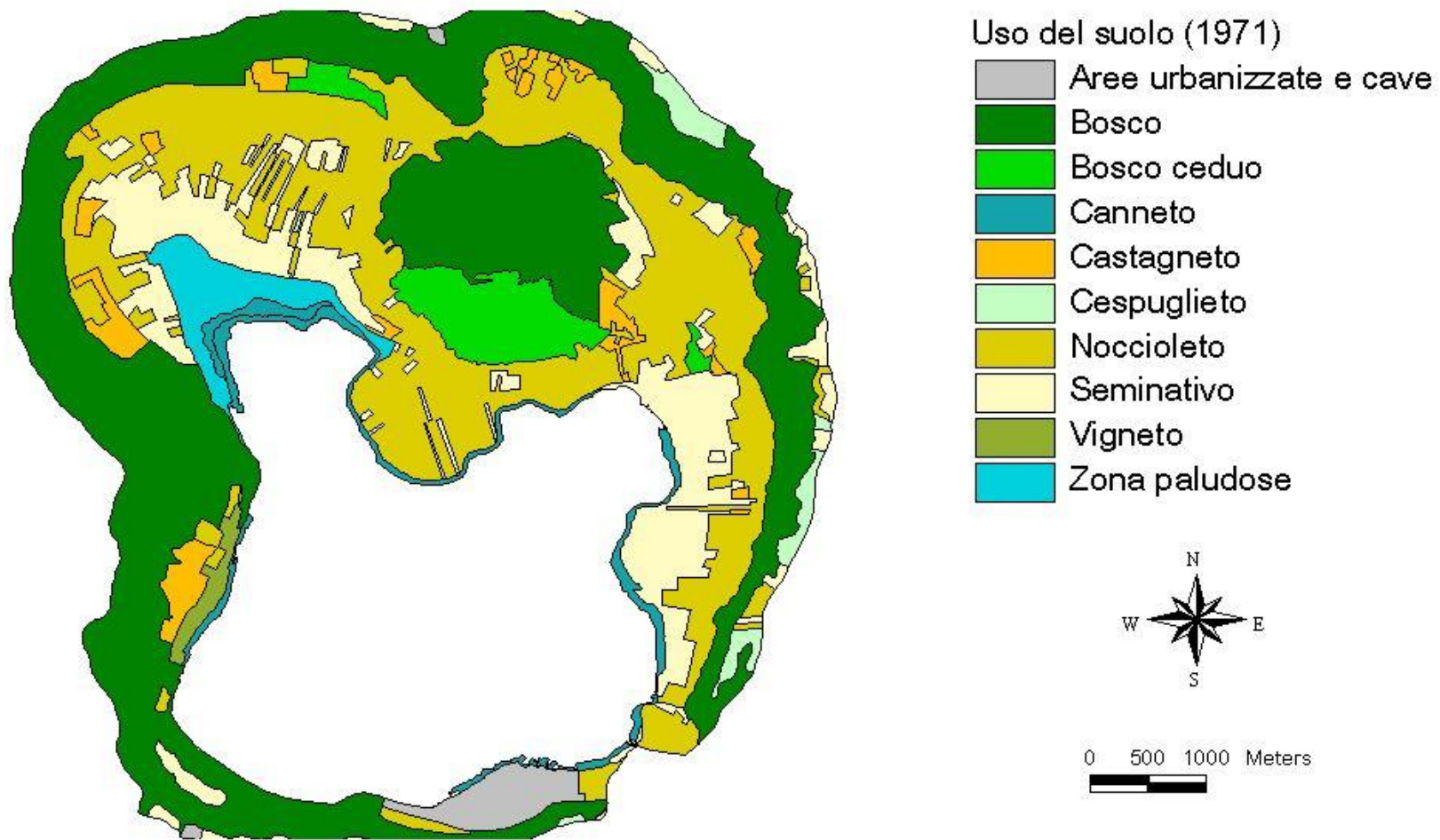


Fig. 5.2: Carta dell'uso del suolo del bacino del lago di Vico nel 1971

La sola tab. 5.4, quindi, ha valenza limitata, in quanto si possono conoscere solo i valori assoluti delle diverse classi; se, però, una classe ha avuto nel quarantennio studiato un incremento di superficie, la tabella non è in grado di indicare le classi a detrimento delle quali si è ottenuto tale incremento. Per rispondere a questa esigenza si è ricorso alla funzione “CROSS CLASSIFICATION” di IDRISI, la quale, una volta acquisite le immagini rasterizzate di CUS 54 e CUS 71, è in grado di fornire l’elaborazione di una carta, che deriva da una verifica incrociata effettuata cella per cella, riguardante gli attributi (seminativo, bosco ecc.) fra le celle corrispondenti delle due mappe, e che rende possibile la conoscenza, ad esempio, di quanta superficie destinata a seminativo nel 1954 non sia rimasta più tale nel 1971 ed a favore di quali altre classi sia ripartita.

La carta così ottenuta si presenta con un numero di classi derivante dalla combinazione di quelle di partenza, tanto elevato da rendere difficilmente comprensibile la situazione che si vuole analizzare. Sulla base dei risultati ottenuti, quindi, si è depurata la carta dei cambiamenti meno significativi, in modo da redigerne una più leggibile (fig. 5.3). Tale operazione è stata poi ripetuta per il periodo 71-94 (fig. 5.4).

Le modifiche inerenti l’uso del suolo che sono intervenute durante i periodi 1954-71 e 1971-94, oltre ad essere qualitativamente illustrate dalle rispettive carte, sono state riportate come dato numerico rispettivamente nelle tabelle 5.5 e 5.6 ottenute utilizzando la “CROSS-TABULATION”, la quale opera il confronto cella per cella delle due immagini fornite come input limitatamente al dato numerico.

Tab. 5.5 Evoluzione dell'uso del suolo relativa al periodo 1954-71.

	Seminativo ha	Palude ha	Nocciolo ha	Ceduo ha	Cespuglieto ha	Castagneto ha	Bosco ha	Aree urb. e Cave (ha)	Canneto ha	Totale 1971
Seminativo	450.25	14	8.75	0	0	4.5	0	0	0	477.5
Z. paludose	0	79.5	0	0	0	0	0	0	0	79.5
Nocciolo	482	0	356.25	14	0	41.5	0	0	0	893.75
Ceduo	0	0	12.5	65	0	0	45.75	0	0	123.25
Cespuglieto	39	0	0	0	11.5	0	0	0	0	50.5
Castagneto	17	0	18.5	6	0	52.5	0	0	0	94
Bosco	0	0	0	0	0	16	1134.75	7.25	0	1158
Aree urbane e cava	27.75	0	18.25	0	0	0	9.75	3.5	0	59.25
Canneto	0	5.75	0	0	0	0	0	0	51.25	57
Vigneto	19	0	0	0	0	0	0	0	0	19
Totale 1954	1035	39.25	414.25	85	11.5	114.5	1190.25	10.75	51.25	1011.75

Tab. 5.7 Evoluzione dell'uso del suolo relativa al periodo 1971-1994.

	Seminativo ha	Palude ha	Nocciolo ha	Ceduo ha	Cespuglieto ha	Castagneto ha	Bosco ha	Aree urbane e cava (ha)	Canneto ha	Vigneto ha	Totale 1994
Seminativo	119.75	26.75	0	0	0	0	0	0	0	4.75	151.25
Z.paludose	11.75	50	0	0	0	0	0	0	24.75	0	86.5
Nocciolo	236	0	880.5	50.5	0	49	0	0	0	15.75	1231.75
Ceduo	0	0	0	1	0	0	61.5	0	0	0	62.5
Cespuglieto	17	0	0	0	27.25	0	16	0	0	0	60.25
Castagneto	24.25	0	0	0	19	50	26.75	0	0	0	120
Bosco	0	0	0	70.75	0	0	1099.75	0	0	0	1170.5
Urb. +cava	13	0	0	0	0	0	6.75	0	0	0	79
Frutteto	0	0	0	0	0.5	0	0.5	0	0		1
Canneto-	0	0	0	0	0	0	0	59.25	49	0	49
Vigneto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale 1971	421.75	76.75	880.5	122.25	46.75	99	1211.25	59.25	73.75	20.5	3011.75

Fig.5.3: Evoluzione dell'uso del suolo nel periodo 1954-1971.

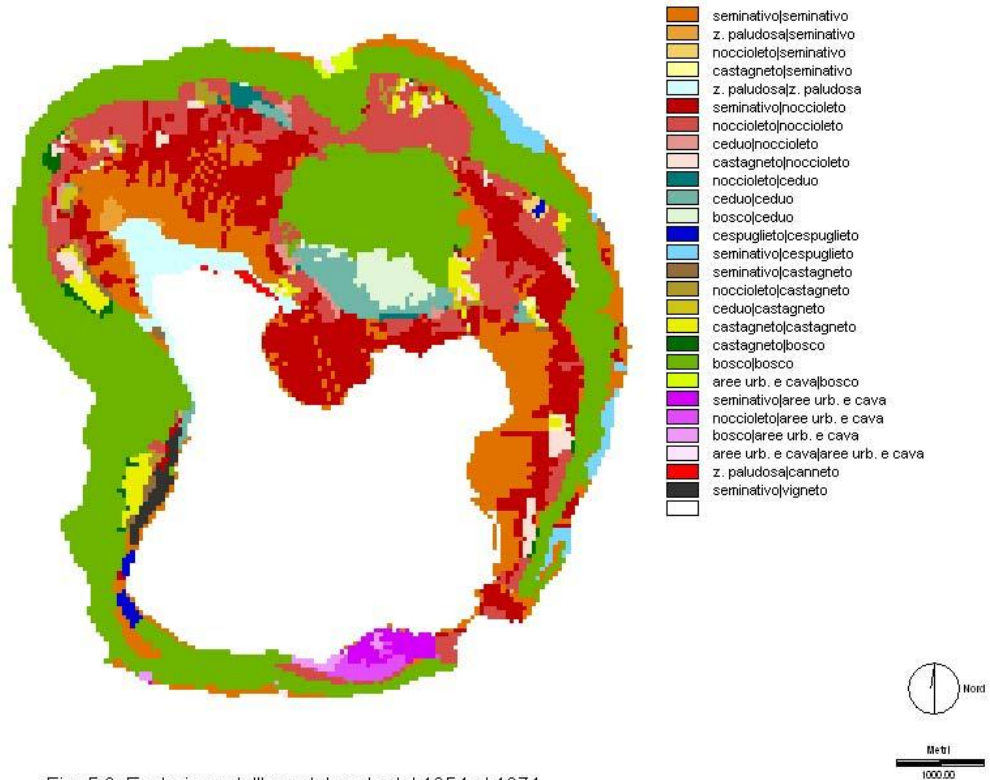


Fig. 5.3: Evoluzione dell'uso del suolo dal 1954 al 1971

Fig.5.4: Evoluzione dell'uso del suolo nel periodo 1971-1994.

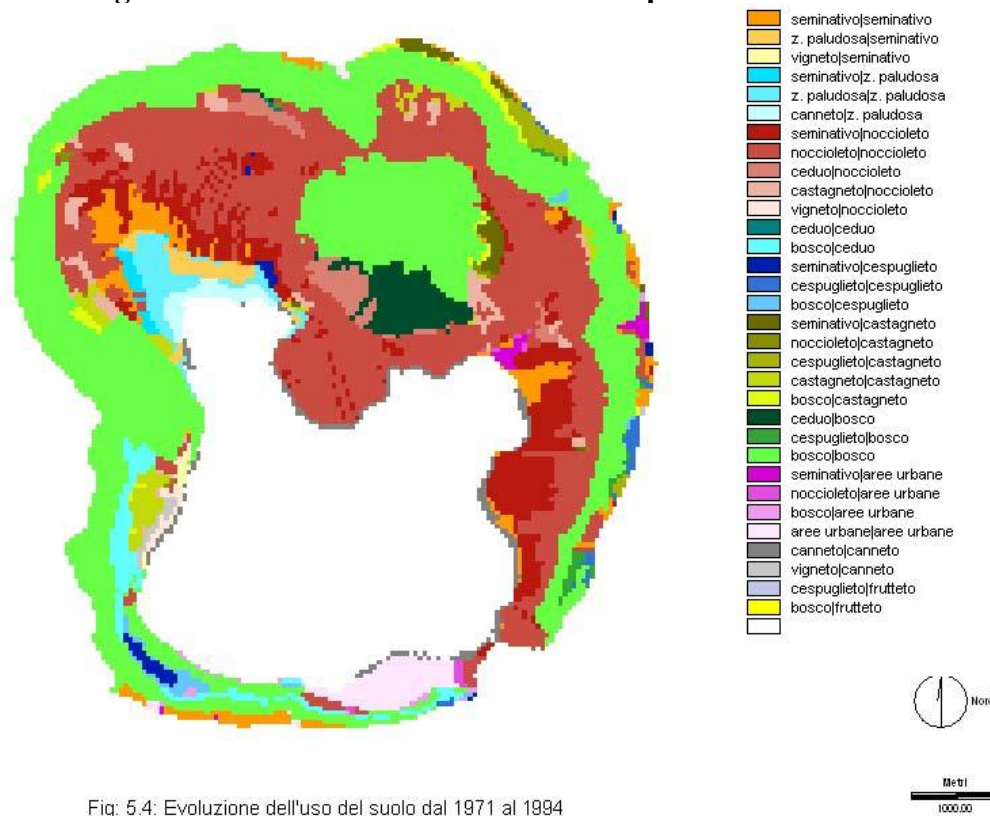


Fig. 5.4: Evoluzione dell'uso del suolo dal 1971 al 1994

5.2.1 – Evoluzione del seminativo

Va innanzitutto premesso che si è inteso assimilare ai seminativi veri e propri le aree destinate a prato, ad erbaio ed a pascolo perché occupano limitate porzioni di territorio e per la loro scarsa influenza sulla finalità del lavoro. Da un'analisi critica della tab. 5.5, relativa al periodo 1954-71, si possono evincere le seguenti considerazioni:

- vi è una netta contrazione del seminativo, che dai 1035 ha del 1954 passa ai 477.5 ha del 1971, sono questi, infatti, gli anni dell'industrializzazione e dell'abbandono della coltivazione delle aree meno produttive;
- le classi che si avvantaggiano della riduzione del seminativo sono, in misura minore, il cespuglieto e le aree urbane (in questo periodo inizia la costruzione il complesso residenziale di punta del lago).
- La variazione più cospicua è quella che riguarda il nocciolo, che si diffonde a macchia d'olio e che al tasso di 20-25 ha/anno sostituisce il seminativo;
- il bosco, invece, mantiene sostanzialmente inalterata sia la consistenza globale che la distribuzione spaziale.

La tab. 5.6 relativa al periodo 1971-94 non fa altro che confermare la tendenza in atto, secondo la quale il nocciolo si espande andando ad occupare soprattutto le superfici a seminativo e, in parte, il castagneto da frutto. La progressiva evoluzione che il seminativo ha avuto in questo quarantennio viene sintetizzata dalla carta riportata in fig. 5.5.

5.2.2 - Evoluzione del castagneto

Il castagneto in termini globali di superficie occupata non subisce notevoli cambiamenti, come si può desumere dalla tabella 5.4, sebbene anch'esso sia al centro di un processo evolutivo.

Dall'esame della carta riportata in fig. 5.6 si evince che il castagneto soffre la concorrenza del nocciolo che ne erode diversi ettari nel periodo preso in considerazione. Il castagneto, però, in questi ultimi anni ha riconquistato alcune

posizioni, a spese di incolti o seminativi situati per lo più sull'orlo nord-est del cono vulcanico, dove viene segnalata la presenza di recenti impianti di *Castanea sativa*.

5.2.3 - Le zone umide

Le zone umide presenti all'interno della caldera sono localizzate per la maggior parte nel settore nord-ovest in località le Pantanacce e poi, in minor misura, lungo il versante occidentale del bacino lacustre (antistanti la località Procoio). Le Pantanacce posseggono un assetto vegetativo articolato e procedendo dalle terraferma verso il lago presentano in successione:

- una zona che è stata definita un mosaico di vegetazione mesoigrofila (Blasi et al., 1989), caratterizzata dall'alternarsi di giuncheti, prati inondata e cespuglieti, il cui rapporto con l'acqua del lago è influenzato dalle variazioni del livello dello stesso che si verificano durante il corso dell'anno;
- una zona presidiata da vegetazione di eliofite palustri in acqua (canneto) con *Phragmites australis* (canna palustre), *Schoenoplectus lacustris* (lisca lacustre), *Typha angustifolia* (lisca a foglie strette), *Sparganium erectum* (coltellaccio maggiore) ed altre;
- una zona, infine, dove predomina una vegetazione di idrofite radicate flottanti o sommerse quali *Potamogeton* spp (brasca, erba tinca, lattuga ranina), *Najas* sp (ranocchina), *Myriophyllum spicatum* (millefoglio d'acqua), ed altre ancora.

Il canneto e le idrofite radicate sono anche gli elementi costitutivi delle zone umide dislocate lungo il versante orientale del lago di Vico. L'importanza di queste zone tipicamente collocate all'interfaccia acqua-suolo non risiede solamente nell'aspetto "naturalistico", in quanto offrono riparo all'avifauna acquatica presente nella Riserva Naturale e sono tra i più importanti elementi di biodiversità, ma svolgono allo stesso tempo un'azione fitodepurativa nei confronti delle sostanze che dall'ecosistema terrestre pervengono alle acque del lago, sia disciolte che adsorbite alle particelle terrose.

6. – *IL RISCHIO EROSIVO A SCALA DI BACINO*

In questo capitolo viene affrontato, in maniera definitiva, il problema della redazione della carta del rischio erosivo, già impostata al cap. 4 e terminata ora con il calcolo del fattore di aggressività climatica o erosività R-USLE ^(*), effettuato per la stazione di Ronciglione, cosa che consente di realizzare una mappa del rischio erosivo.

6.1 – Il fattore di aggressività climatica (R-USLE)

Il fattore R sintetizza gli aspetti climatici dell'erosione idrica accelerata, secondo il modello USLE di Wischmeier e Smith (1978). Il suo calcolo si presenta laborioso e non immediato per la necessità di disporre dell'intero ietogramma di ogni pioggia aggressiva che, come è noto, non fa parte delle pubblicazioni delle normali banche dati. Il primo passo consiste nel valutare, per ogni evento aggressivo il parametro R_e , pari a:

$$R_e = E_c * I_{30,max} \quad (1)$$

ove E_c è l'energia cinetica della pioggia ed $I_{30,max}$ è l'intensità massima, di durata 30 minuti, nell'ambito dell'evento in esame.

Successivamente, si esegue la somma annua di tutti gli R_e e, infine, se ne stima la media, ovviamente considerando un congruo numero di anni.

Per il calcolo di E_c è necessario prima stimare l'energia specifica E' che, secondo Wischmeier e Smith, è pari a:

$$E' = 11,9 + 8,73 * \text{Log}_{10}(I) \quad [\text{J/m}^2/\text{mm}] \quad (2)$$

$$E_c = E' * \Delta P \quad [\text{J/m}^2] \quad (3)$$

essendo ΔP la precipitazione nell'intervallo per il quale si è calcolato I ed E' .

^(*) Tale sfasatura è dipesa dalla difficoltà di reperire i dati pluviometrici grezzi (ietogrammi del pluviografo di Ronciglione) necessari al calcolo di questo fattore. Essi sono stati forniti dal Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici, compartimento di Roma, che si ringrazia vivamente.

L'evento è considerato aggressivo se la pioggia totale supera 13 mm, con interruzioni di non più di 6 ore (oltre le 6 ore le piogge sono considerate distinte). Per intensità di pioggia I maggiori di 76 mm/h, E' è costante, pari al valore corrispondente ai 76 mm/h, ovvero 28,32 J/m²/mm (Wischmeier e Smith, 1978).

Le piogge fornite dall'Ufficio Idrografico di Roma sono quelle riguardanti l'archivio informatizzato, contenenti i dati con scansione oraria di 5 minuti, in file in formato ASCII. La serie completa va dal 1989 al 1997, per cui si dispone di 7 anni di registrazioni che, per una stima della media di R , può essere ritenuto sufficiente, soprattutto se si considera la raffinatezza del calcolo, relativo a piogge di 5'.

Le elaborazioni sono state eseguite con il foglio elettronico Excell, attraverso l'esecuzione di opportune macro. La sequenza di calcolo è la seguente:

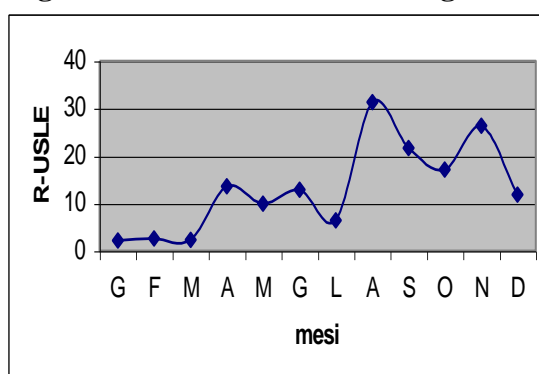
- Importazione dei dati (giorno, ora, pioggia cumulata ad intervalli di 5').
- Calcolo del ΔP nei 5'. Se $\Delta P=0$ per più di 72 volte ($72*5'=6$ ore), viene segnato "fine evento" (e la pioggia entra in un eventuale diverso calcolo di R), altrimenti prosegue il calcolo.
- Calcolo dei ΔP cumulati per verificare che la pioggia totale sia aggressiva (maggiore di 13 mm).
- Calcolo dell'intensità I e verifica che sia inferiore a 76 mm/h. Se $I \geq 76$, $E' = \text{cost} = 28,32 \text{ J/m}^2/\text{mm}$.
- Calcolo della E' (eq. 2).
- Calcolo della E_c (eq. 3).
- Somma delle E_c .
- Stima degli I_{30} .
- Calcolo dell' $I_{30\text{max}}$.
- Calcolo di R_c (eq. 1).

In tab. 6.1 sono riportati i valori di R per i vari mesi e per l'anno, da cui scaturisce la stima finale di $R = 158,6$. In fig. 6.1 è poi l'andamento delle medie mensili. In appendice si ha, invece, un esempio dei calcoli effettuati in ambiente Excell.

Tab. 6.1: R-USLE per la stazione di Ronciglione.

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic	Anno
1989	2,2	5,5	2,0	14,0	5,5	1,7	19,0	39,1	34,6	9,6	29,2	4,4	166,8
1990	2,3	2,6	1,0	23,3	2,7	1,7	2,0	31,4	6,4	56,5	17,6	19,1	166,6
1991	2,2	0,7	3,8	10,6	7,8	7,0	2,0	7,8	29,3	12,0	19,1	11,9	114,2
1994	2,1	1,5	0,0	8,9	7,6	59,9	6,7	0,0	0,0	12,0	52,5	0,0	151,2
1995	1,4	6,9	6,4	11,7	24,4	0,0	15,3	20,2	22,5	0,0	1,1	5,8	115,7
1996	2,2	0,8	3,3	13,4	11,4	10,2	0,0	61,4	5,6	11,5	20,4	30,3	170,5
1997	3,0	0,0	0,0	13,6	10,5	9,7	0,0	60,1	53,6	18,4	44,5	11,9	225,3
Media	2,2	2,57	2,36	13,6	9,99	12,88	6,43	31,42	21,71	17,1	26,34	11,9	158,61
Dev. st.	0,47	2,64	2,32	4,63	7,0	21,12	7,73	23,98	19,17	18,1	17,43	10,2	37,83

Fig. 6.1: Andamento mensile degli R medi.



Il grafico mostra che è più probabile il verificarsi di eventi climaticamente aggressivi fra la tarda estate e l'autunno. Ciò è in accordo con le aspettative teoriche, ma la prevalenza, in assoluto, del mese di agosto mette in evidenza un rischio notevole, perché in questo mese i suoli coltivati a nocciolo sono nudi, privi di vegetazione, sia per l'aridità estiva, sia per favorire l'imminente raccolta.

Questo avviene anche nel caso si adotti la tecnica colturale conservativa del "pratino", che, invece, dovrebbe proprio difendere il suolo. Devono però essere considerati altri fattori:

- Il campione non è sufficientemente rappresentativo, in quanto deviazioni standard così elevate (tab. 6.1) suggerirebbero di adottare serie storiche ben più lunghe, oggi ancora non disponibili.
- R è un fattore puramente climatico, che non tiene conto delle condizioni di umidità del suolo. A parità di R, quindi, nei mesi di ottobre, novembre e dicembre ci si deve aspettare ben più rilevanti eventi erosivi.

- I sette anni disponibili riguardano periodi piuttosto siccitosi e, quindi, soprattutto i mesi autunnali oggetto delle elaborazioni (che sono quelli che più contribuiscono ai totali annui) non sembrano sufficientemente rappresentativi della realtà.

Queste considerazioni avvalorano l'importanza dell'uso di modelli più sofisticati, quali quello usato nel capitolo 7, la cui informazione andrebbe estesa all'area vasta, con la redazione dell'opportuna cartografia.

E' quindi tuttora indispensabile l'uso della USLE per ottenere informazioni a scala di bacino, ovvero per impostare una carta del rischio erosivo, ma è estremamente limitata la possibilità che una tale mappa abbia efficacia dal punto di vista della previsione della quantità di suolo asportato. Ad essa bisogna lasciare il semplice, ma sempre importante, scopo di zonazione del territorio, secondo questo fondamentale processo territoriale per il bacino del lago di Vico.

6.2 – Il rischio erosivo e la sua evoluzione nel tempo

Nelle figure 6.2, 6.3 e 6.4 sono riportate le carte del rischio erosivo, conseguenza dell'uso del suolo nel 1954, 1971 e 1994, rispettivamente. Per quanto fin qui affermato, esse non possono ancora trovare una immediata applicazione dal punto di vista quantitativo (per la quale è necessario un congruo periodo del monitoraggio, descritto al cap.8), ma sono già sufficienti per una suddivisione del paesaggio fra zone di diverso rischio erosivo. Emerge, ad esempio, il ruolo importante delle aree forestali, data la notevole vulnerabilità intrinseca (ovvero, essendo dovuta alla forte declività e lunghezze dei pendii ed all'aggressività del clima) di tali zone, cui si aggiungono caratteristiche particolari dei sistemi forestali:

- intrinseche delle specie, come il faggio, la cui struttura epigea riduce la penetrazione della luce;
- legate alla gestione, come per le cerrete, la cui conduzione a fustaia porta agli stessi problemi.

Entrambe tali situazioni contrastano la crescita del sottobosco e la rinnovazione, a scapito delle funzioni idrogeologiche dei boschi.

Per questo motivo, nella carta del 1994 (fig. 6.4), si è attribuito un fattore di copertura C-USLE maggiore per le cerrete ($C=0,003$ invece che $0,001$), cui consegue un non trascurabile valore dell'erosione media annua (dell'ordine delle 20 t/ha), spesso della stessa categoria dei nocioleti, ovvero dei territori più a rischio (zone gialle della fig. 6.4). A ciò si aggiunga la possibilità di emersione del deflusso ipodermico in bosco, frequente nella lettiera, che viene in superficie al brusco cambio di pendenza tra le pareti della caldera e le zone a valle, soprattutto se queste ultime sono costituite dai nocioleti (cosa frequentissima nel bacino di Vico). Conseguenze da questa analisi l'importanza fondamentale degli aspetti forestali. E' quindi indispensabile, nel piano di assestamento, un capitolo da dedicare alla funzione idrologica e di difesa del suolo dei boschi, anche (e soprattutto) per le importantissime conseguenze sulla qualità delle acque del lago. (*)

Un altro importante risultato delle elaborazioni effettuate emerge dal confronto delle tre carte, che non segnala cambiamenti rilevanti dal punto di vista della distribuzione delle classi di rischio erosivo, pur essendosi verificato il drastico cambio di uso del suolo, dagli anni '60 ad oggi, descritto al cap. 5. Ciò è dovuto al peso preponderante, sull'erosione, dei fattori naturali (inclinazione e lunghezza del pendio ed aggressività del clima, invariati nel tempo) che, nel particolare paesaggio vicano, prevalgono sensibilmente sui fattori antropici (copertura del suolo, dinamici).

L'attuale assetto del territorio ha certamente accresciuto il fattore di sistemazione (P-USLE) perché un tempo l'acqua di pioggia, bene prezioso, era controllata e conservata, campo per campo ed oggi è invece "scaricata" a valle da ogni proprietario. Ciò, come è noto, incrementa quantità e velocità dei deflussi, con le ovvie conseguenze sulla conservazione del suolo. D'altro canto, però, l'odierna adozione massiccia dell'inerbimento dei nocioleti compensa, almeno parzialmente, tale aspetto per la maggiore protezione del suolo, che riduce sensibilmente il fattore di copertura (C-USLE).

(*) L'attuale piano di assestamento forestale non approfondisce questi aspetti.

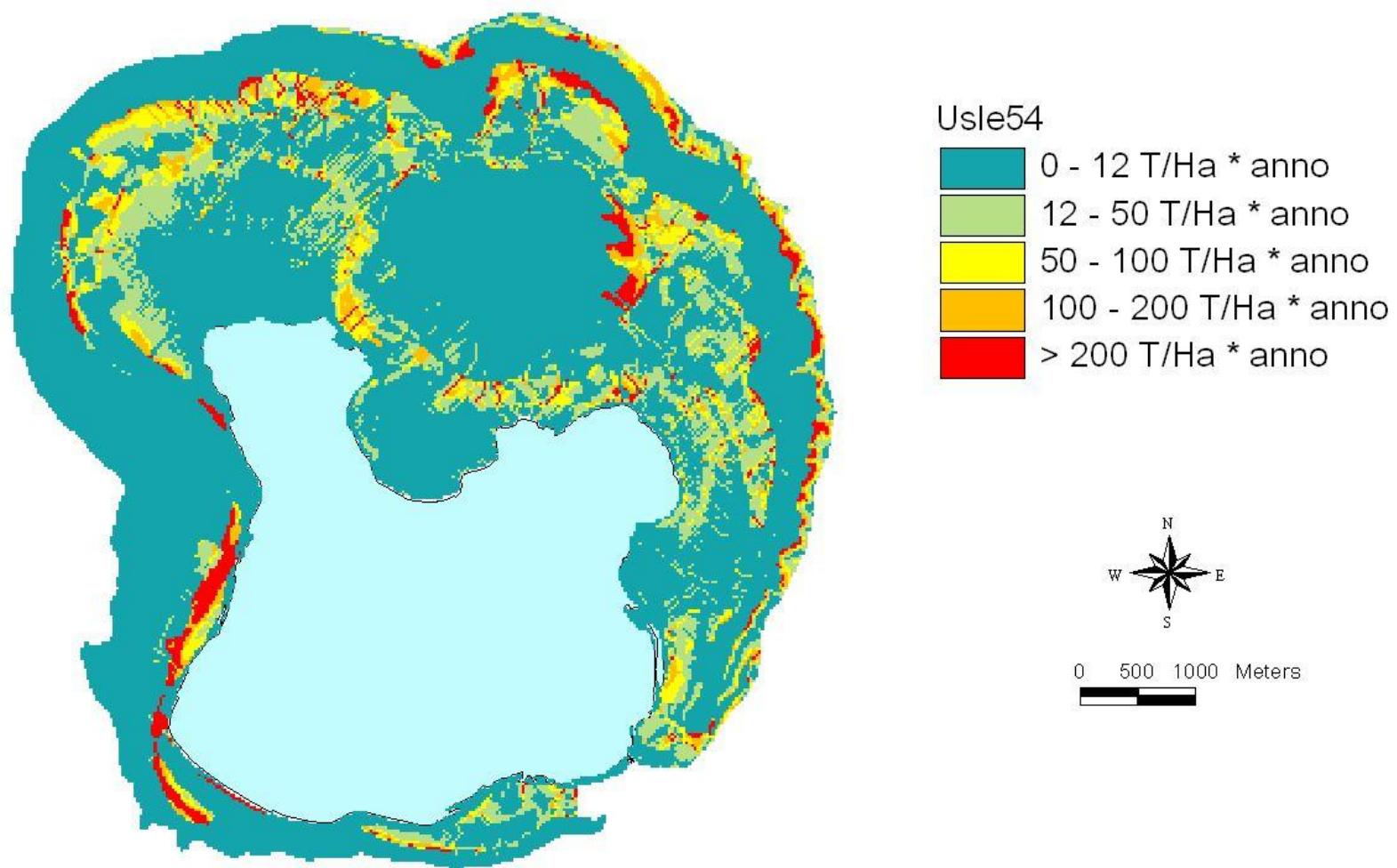


Fig. 6.2: Carta del rischio erosivo (1954)

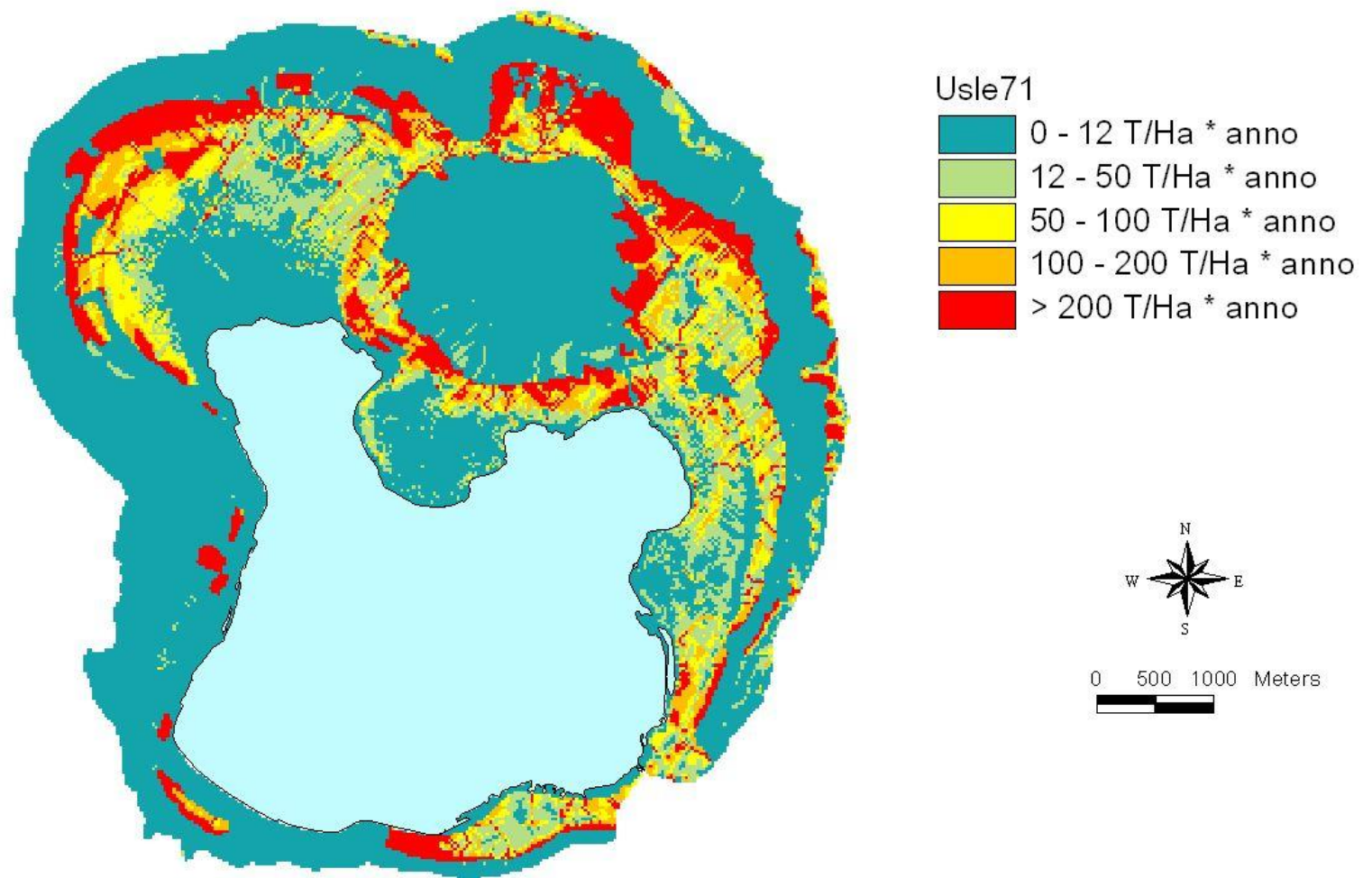


Fig. 6.3: Carta del rischio erosivo (1971)

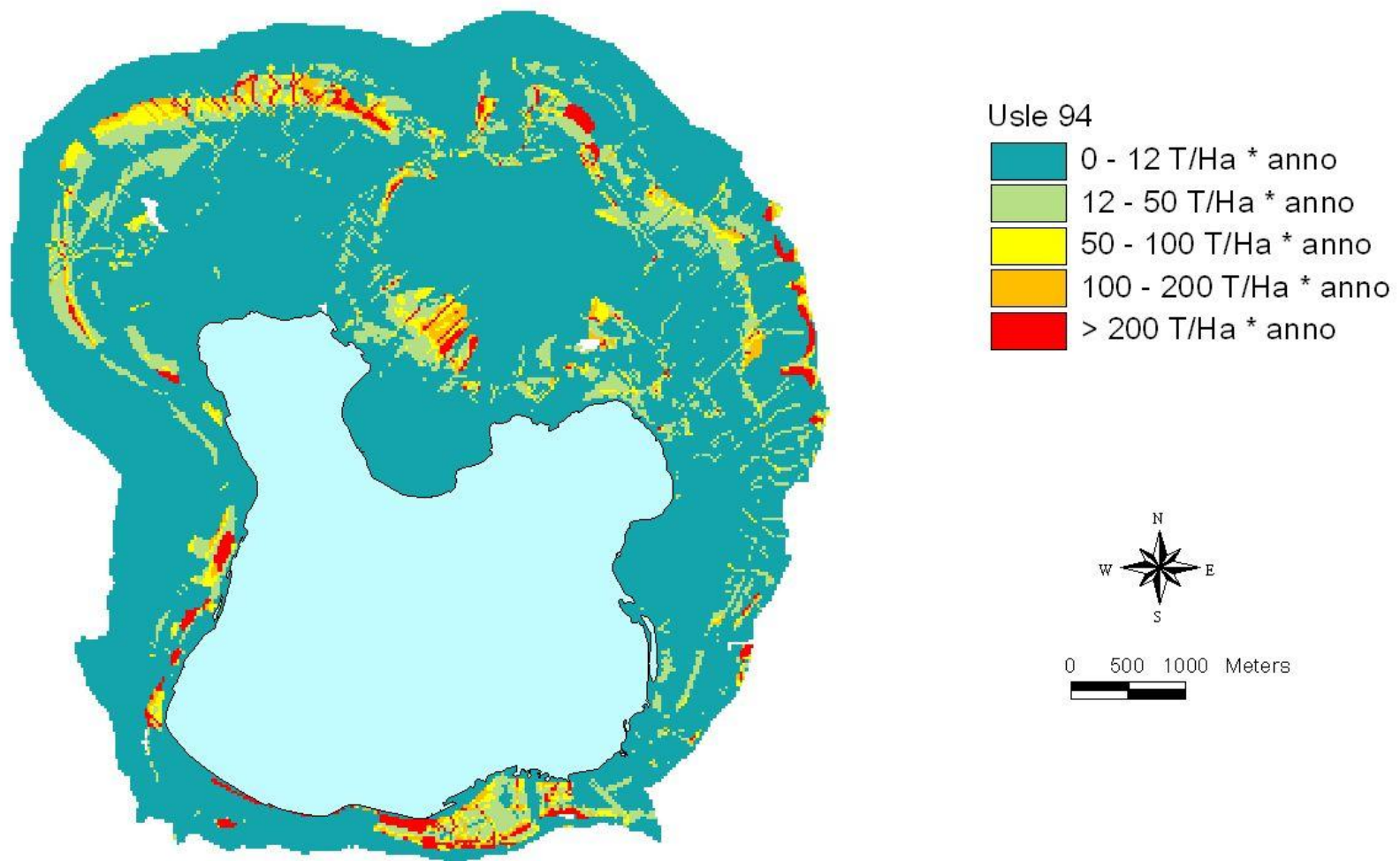


Fig. 6.4: Carta del rischio erosivo (1994)

Ne consegue che la situazione di maggiore impatto ambientale si è manifestata negli anni '70-'80, allorquando era prevalente il nocciolo lavorato.

Tali considerazioni sono valide dal punto di vista della globalità del rischio erosivo (scala di bacino), ma non sono sufficienti a spiegare le differenze più specifiche nell'ambito dei sistemi colturali (scala di campo) per la complessità degli stessi. Questo è un limite dell'equazione USLE che è stato superato con l'utilizzo di un modello più sofisticato, in grado di chiarire certi fondamentali dettagli (vedi cap.7).

Globalmente, però, i risultati della USLE mantengono validità, anche con riscontri nella realtà. Infatti, i rilevanti eventi pluviometrici che hanno caratterizzato i mesi di settembre, ottobre e novembre 1997 ed ottobre 1998, consentono una verifica indiretta del modello USLE, almeno per una prima suddivisione del paesaggio per classi di rischio. Si verifica, infatti, ad ogni evento pluviometrico di una certa entità, l'inondazione delle strade e, se c'è erosione, il deposito sulle stesse del terreno asportato dalle pendici. Si è innanzi tutto accertato che i lati nord ed est della caldera sono nettamente più coinvolti dai fenomeni (vedi fotografie di fig. 6.5), proprio dove le mappe segnalano il maggior rischio. Il ruolo dei noccioli è chiaramente documentato, in quanto, soprattutto nella zona delle pendici settentrionali del Monte Venere, capita di osservare strade invase dal fango quando sono costeggiate dai noccioli o del tutto prive del problema se attraversano i sistemi forestali.

Come segnalano le carte, a questi ultimi è associato un rischio erosivo relativamente minore, ma non trascurabile in valore assoluto e certamente meritevole di attenzione per la delicatezza degli equilibri ambientali del lago. Nelle foto di fig. 6.6 si ha conferma di tale assunzione: nella prima vi si osserva un faggio del Monte Venere ribaltatosi circa venti anni fa, il cui apparato radicale, casualmente disposto contro il pendio, ha trattenuto man mano il sedimento proveniente da monte, con una sorta di effetto briglia. Ciò consentito alla pianta di sopravvivere, assumendo lo strano portamento che si osserva nella foto.

Nella seconda immagine si osserva accumulo di sedimento in prossimità di un avvallamento della strada che, dalla Statale detta Cimina, in prossimità del bivio per Caprarola, scende al lago. In questo punto si innesta un fosso che drena un bacino esclusivamente forestale e, per tale caratteristica, questo punto è stato scelto per il monitoraggio dei deflussi dal territorio forestale (vedi cap. 8).

Fig. 6.5: Fango sulle strade a valle delle zone di maggiore rischio erosivo.
Località Nocicchiola (ramo nord-occidentale, evento del 1987)



Accumulo di fango e danni provocati alla strada provinciale Lago di Vico, ai piedi del monte Venere, evento del 6-7 ottobre 1998



Fig. 6.6: Evidenze dell'erosione del suolo anche nel bosco.

Una caratteristica pianta della faggeta del Monte Venere: l'apparato radicale si è nel tempo sviluppato sul sedimento proveniente da monte



L'avvallamento stradale intercetta un bacino esclusivamente forestale



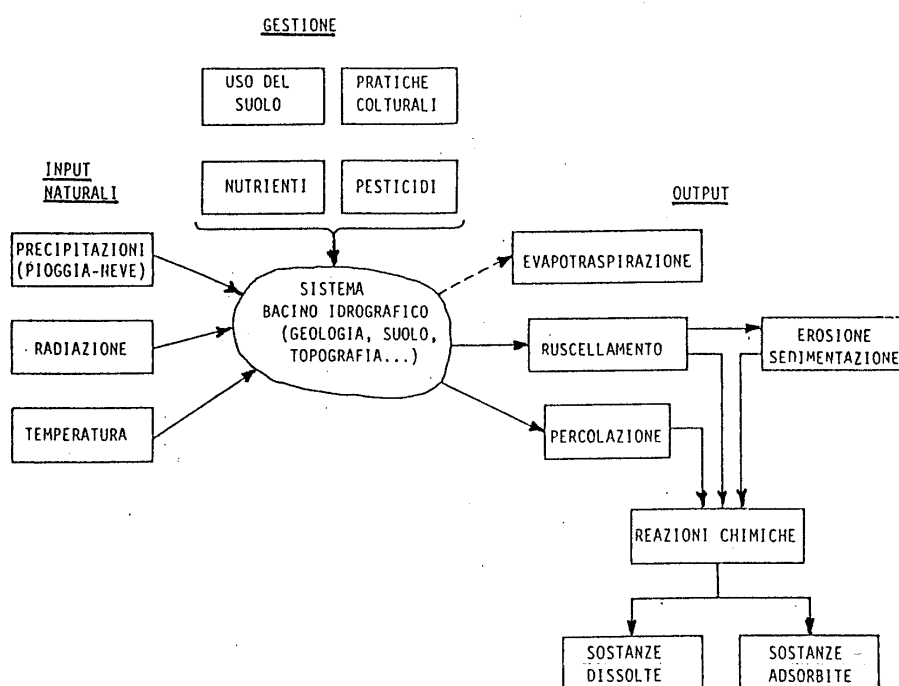
7. – GESTIONE E CONTROLLO DEL RISCHIO AMBIENTALE

7.1 – Interventi di carattere diffuso (scala aziendale)

7.1.1 – Simulazione modellistica (modello GLEAMS)

I limiti di dettaglio dell'equazione USLE sono stati superati implementando il modello GLEAMS (*Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems*), messo a punto dal Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università della Georgia per conto del Ministero dell'Agricoltura statunitense (Leonard e Knisel, 1987). Esso simula la mobilizzazione di nutrienti e pesticidi dallo strato esplorato dalle radici con il ruscellamento, l'erosione del suolo e la percolazione provocate dalle piogge in funzione delle diverse attività agricole, analizzando l'intero sistema ambientale (fig. 7.1). Consente, quindi, l'analisi degli impatti delle attività agricole a scala aziendale.

Fig. 7.1: I sistemi ambientali analizzati dal modello GLEAMS (da Knisel, 1980, modificato).



Il modello è stato concepito proprio allo scopo di confrontare, in termini di impatti ambientali, le diverse scelte di gestione del sistema agricolo, senza la pretesa di ricostruire le effettive quantità di sostanze asportate pioggia per pioggia, cosa che può essere considerata attualmente non realistica e che rende poco praticabile, se non dopo

molti anni di osservazione, anche l'approccio sperimentale (Preti, 1994; Leone et al., 1996). Ciò dipende dalla estrema complessità del sistema e delle interazioni tra le sue varie componenti (naturali ed antropiche, come si osserva nella fig. 7.1) e dal fatto che il fattore di mobilitazione degli inquinanti è la pioggia e, in particolare, le sue manifestazioni che, per intensità ed abbondanza, danno luogo a ruscellamento, erosione e percolazione, ovviamente caratterizzati da fenomeni relativamente rari.

GLEAMS appartiene quindi alla categoria dei modelli manageriali, da utilizzarsi, in prima analisi in forma non calibrata, come ausilio alle decisioni, soprattutto per quel che concerne gli impatti ambientali delle scelte.

Esso simula i flussi di massa nell'unità sistemica costituita dal *campo*, ovvero dall'elemento territoriale omogeneo per caratteristiche naturali (clima, pedologia, morfologia ecc.) ed antropiche (pratiche colturali e criteri di gestione del territorio).

Il programma, quindi, necessita di una serie di *files* di preparazione dei dati che descrivono il sistema:

- *idrologia*, ove vengono riportati i dati climatici (temperatura, radiazione solare, vento, umidità dell'aria) e quelli pedologici (caratteristiche chimico-fisiche e tessiturali del suolo, ricavati dalle analisi effettuate nel cap. 5);
- *erosione*, ove vengono descritte le caratteristiche morfologiche e di suscettività all'erosione del campo;
- *nutrienti*, ove viene descritto nel dettaglio il sistema colturale (rotazioni delle colture, date di semina e raccolta, dosi e date di fertilizzazione e lavorazione ecc.);
- *pesticidi*, ove vengono descritti i trattamenti effettuati (dosi, date ecc.) e le caratteristiche chimico-fisiche che influenzano la mobilitazione dal campo dei composti utilizzati.
- *file delle piogge*, che viene considerato a parte, per il notevole dettaglio che è richiesto per questo fondamentale dato. Il modello, infatti, considera piogge giornaliere per tutto il periodo di simulazione.

Ai primi quattro *files* di ingresso corrispondono altrettanti *files* di uscita, in cui si possono ottenere, a seconda delle varie opzioni, una serie di informazioni, che, essenzialmente, consistono in:

- bilancio idrologico mensile del terreno e stima del deflusso superficiale e del percolato;

- produzione di sedimento (erosione del suolo a livello di campo);
- bilancio dei nutrienti: quantità di fosforo e azoto assunte dalle colture, quantità mineralizzate, quantità asportate con il percolato, il deflusso ed il sedimento eroso;
- quantità di pesticidi asportate con il percolato, il deflusso ed il sedimento.

Un grande vantaggio offerto da GLEAMS consiste nella possibilità di simulare una serie illimitata di annate idrologiche (per quanto è lunga la serie storica disponibile) e, quindi, poter descrivere con accettabile adeguatezza i flussi medi di massa nel sistema, trascurando episodi legati a particolarità climatiche (annate siccitose o caratterizzate da piogge molto intense) ed ottenendo un valore medio che, provenendo da una lunga serie storica, può essere ritenuto realistico, anche in assenza di calibrazione.

7.1.2 - Applicazione del modello GLEAMS al bacino del lago di Vico

Il modello è stato utilizzato per simulare gli impatti ambientali derivanti dall'uso agricolo del territorio. Gli scenari considerati hanno seguito l'evoluzione storica dell'uso del suolo, prendendo in considerazione l'attuale corilicoltura ed il seminativo del passato. Ne scaturiscono i seguenti cinque casi (vedi tabelle 7.1-7.5), di cui sono stati simulati gli impatti ambientali (*):

1. Nocciolo inerbato secondo le odierne tecniche;
2. Nocciolo lavorato, secondo le odierne tecniche;
3. Nocciolo inerbato, con l'adeguamento al regolamento 2078 dell'Unione Europea che incentiva l'agricoltura ecocompatibile;
4. Nocciolo lavorato, secondo le tecniche in uso negli anni '70 e '80, epoca di piena espansione della coltura;
5. Seminativo estensivo, tecnica tradizionalmente praticata fino all'impianto del nocciolo.

(*) Questi scenari sono scaturiti da una collaborazione alla tesi di dottorato di ricerca in Economia Agraria (Branca, in corso di ultimazione).

Tab. 7.1: Sintesi del ciclo colturale nel caso di inerbimento controllato.

Operazione	Modalità di realizzazione	Epoca	Manodopera (ore/ha)	Prodotto	Quantità (kg/ha)	Note
Potatura	manuale	7-21 gennaio	25			
Raccolta legna	trattrice + carro rimorchio	7-21 gennaio	5			
Trasporto legna	trattrice + carro rimorchio	7-21 gennaio	1			
Trinciatura	trattrice + trinciaerba portata	1-7 marzo	0.6			
Fertilizzazione	trattrice + spandiconcime	7-14 marzo	1	concime 20-10-10	700	*
Trinciatura	trattrice + trinciaerba portata	1-7 aprile	0.6			
Fertilizzazione	trattrice + spandiconcime	7-14 aprile	1	concime 20-10-10	300	*
Trattamento	trattrice + irroratrice	14-21 aprile	2	fungicidi	3	Rame (Ossicloruro o Solfato)
Spollonatura	manuale	21-28 aprile	12	solfato ammonico	200	soluzione al 20% (20 kg/100 L acqua)
Trinciatura	trattrice + trinciaerbe portata	1-7 maggio	0.6			
Spollonatura	manuale	14-21 maggio	10	solfato ammonico	200	soluzione al 20% (20 kg/100 L acqua)
Trattamento	trattrice + irroratrice	21-28 maggio	2	fungicidi	1	Procymidone o Carbendazim ***
Trattamento	trattrice + irroratrice	7-14 giugno	2	insetticidi	2	Endosulfan (Thiodan) o Diazinone (Spectracide)**
Spollonatura	manuale	21-28 giugno	10	solfato ammonico	200	soluzione al 20% (20 kg/100 L acqua)
Trattamento	trattrice + irroratrice	7-14 luglio	2	insetticidi	2	Endosulfan (Thiodan) o Diazinone (Spectracide)**
Spollonatura	manuale	21-28 luglio	10	solfato ammonico	200	soluzione al 20% (20 kg/100 L acqua)
Trinciatura	trattrice + trinciaerba portata	15-21 agosto	0.6			
Diserbo	trattrice + irroratrice	1-7 settembre	2	diserbante	15	*** eventualmente, se necessario
Andanatura	trattrice + spazzolatrice	7-14 settembre	10			
Aspiratura	trattrice + aspiratrice	14-21 settembre	10			
Trasporto	trattrice + carro rimorchio	21-28 settembre	1	nocchie in guscio	2000	resa 47%
Andanatura	trattrice + spazzolatrice	7-14 ottobre	10			
Aspiratura	trattrice + spazzolatrice	14-21 ottobre	10			
Trasporto	trattrice + carro rimorchio	21-28 ottobre	1	nocchie in guscio	900	resa 47%
Trattamento	trattrice + irroratrice	1-7 novembre	2	fungicidi	3	Rame (Ossicloruro o Solfato)
Somma ore/ha	.....		131.4	nocchie in guscio tot	2900	(= 1350 kg/ha produzione Effettiva)
Note						
*fertilizzante =	200 kg/ha di N (50% sotto forma nitrica 50% sotto forma ammoniacale) 100 kg/ha di P (anidride fosforica), 100 kg/ha di K (ossido)					
**insetticidi =	oppure 1,5 Kg/ha di Carbaryl(=Sevin), oppure 0,5 Kg/ha di Lambda-cialotrina(=Karathe)					
*** diserbanti =	Glyphosate(=Roundup), Glifosate trimesio, Glufosinate ammonio (=Basta)					

Tab. 7.2: Sintesi del ciclo colturale nel caso di inerbimento controllato ed adesione al regolamento 2078/1992/CEE. (*)

Operazione	Modalità di realizzazione	Epoca	Manodopera (ore/ha)	Prodotto	Quantità (kg/ha)	Note
Potatura	manuale	7-21 gennaio	25			
Raccoltalegna	trattrice + carro rimorchio	7-21 gennaio	5			
Trasportolegna	trattrice + carro rimorchio	7-21 gennaio	1			
Trinciatura	trattrice + trinciaerba portata	1-7 marzo	0.6			
Fertilizzazione	trattrice + spandiconcime	7-14 marzo	1	concimisolidi	v.note	*
Trinciatura	trattrice + trinciaerba portata	1-7 aprile	0.6			
Fertilizzazione	trattrice + spandiconcime	7-14 aprile	1	concimisolidi	v.note	*
Trattamento	trattrice + irroratrice	14-21 aprile	2	fungicidi	3	**rame
Spollonatura	manuale	21-28 aprile	12	solfatoammonico	200	soluzione al 20% (20 kg/100 L acqua)
Trinciatura	trattrice + trinciaerbe portata	1-7 maggio	0.6			
Spollonatura	manuale	14-21 maggio	10	solfatoammonico	200	soluzione al 20% (20 kg/100 L acqua)
Trattamento	trattrice + irroratrice	21-28 maggio	2	fungicidi	3	**rame
Trattamento	trattrice + irroratrice	7-14 giugno	2	insetticidi	2	Diazinone (=spectracide)**
Spollonatura	manuale	21-28 giugno	10	solfatoammonico	200	soluzione al 20% (20 kg/100 L acqua)
Trattamento	trattrice + irroratrice	7-14 luglio	2	insetticidi	2	Diazinone (=spectracide)**
Spollonatura	manuale	21-28 luglio	10	solfatoammonico	200	soluzione al 20% (20 kg/100 L acqua)
Trinciatura	trattrice + trinciaerba portata	15-21 agosto	0.6			
Diserbo	trattrice + irroratrice	1-7 settembre	2	diserbante	15	*** attivato con 10 kg/ha di solfato ammonico
Andanatura	trattrice + spazzolatrice	7-14 settembre	10			
Aspiratura	trattrice + aspiratrice	14-21 settembre	10			
Trasporto	trattrice + carro rimorchio	21-28 settembre	1	nocciole in guscio	1670	resa 44%
Andanatura	trattrice + spazzolatrice	7-14 ottobre	10			
Aspiratura	trattrice + spazzolatrice	14-21 ottobre	10			
Trasporto	trattrice + carro rimorchio	21-28 ottobre	1	nocciole in guscio	830	resa 44%
Trattamento	trattrice + irroratrice	1-7 novembre	2	fungicidi	3	tiofanatemetile
Sommaore/ha	.....		131.4	nocciole in guscio tot	2500	(1110 kg/ha produzione effettiva)
Note						
*fertilizzante=	90 kg/ha di N (50% sotto forma ammoniacale)					
	40 kg/ha di P (anidride fosforica, 50 kg/ha di K (ossido)					
insetticidi =	Diazinone e Fenitritrion (non più di 2 trattamenti l'anno indipendentemente dal fitofago)				* diserbanti =	Glifosate trimesio, Glufosinate ammonio (=basta)
	Olio bianco, Polisolfuro di bario e Zolfo (a fine inverno), estratto di Piretro					
**fungicidi =	Prodotti di rame (Rame, Ossicloruro di Rame, Solfato di rame come poltiglia bordolese), Tiofanate metile					

(*) Non ammessi interventi chimici nelle interfile, ad eccezione della fase di preparazione del terreno per la raccolta. Interventi localizzati sulle file: operando con microdosi su infestanti nei primi stadi di sviluppo; ripetere le applicazioni in base alle necessità (comunque max 15 kg/ha); consigliabili le applicazioni nel periodo autunnale. Ad eccezione della fase di preparazione del terreno per la raccolta, il trattamento chimico diserbante non può interessare più del 50% della superficie complessiva del nocciolo. L'uso dei diserbanti può essere ammesso quando: vi sia sulle file una distanza tra pianta e pianta inferiore a 3,5 m; vi siano impianti con impalcature basse e dimensioni tali da limitare la possibilità di intervenire con organi meccanici; vi siano rischi di erosione (es. pendenze superiori al 5%).

Tab. 7.3: Sintesi del ciclo colturale nel caso di lavorazione totale (1997).

Operazione	Modalità di realizzazione	Epoca	Manodopera (ore/ha)	Prodotto	Quantità (kg/ha)	Note
Potatura	manuale	7-21 gennaio	25			
Raccolta legna	trattrice + carro rimorchio	7-21 gennaio	5			
Trasporto legna	trattrice + carro rimorchio	7-21 gennaio	1			
Fertilizzazione	trattrice + spandiconcime	7-14 marzo	1	concime 20-10-10	700	*
Erpicatura	trattrice + erpice	14-21 marzo	1.2			
Fertilizzazione	trattrice + spandiconcime	7-14 aprile	1	concime 20-10-10	300	*
Fresatura	trattrice + fresatrice	14-21 aprile	2.2			
Trattamento	trattrice + irroratrice	21-28 aprile	2	fungicidi	3	Rame (Ossicloruro o Solfato)
Spollonatura	manuale	1-7 maggio	12	solfato ammonico	200	Soluzione al 20% (20 kg/100 L acqua)
Fresatura	trattrice + fresatrice	7-14 maggio	2.2			
Spollonatura	manuale	14-21 maggio	10	solfato ammonico	200	Soluzione al 20% (20 kg/100 L acqua)
Trattamento	trattrice + irroratrice	21-28 maggio	2	fungicidi	1	Procymidone o Carbendazim****
Trattamento	trattrice + irroratrice	7-14 giugno	2	insetticidi	2	Endosulfan (Thiodan) o Diazinone (Spectracide)**
Spollonatura	trattrice + irroratrice	21-28 giugno	10	solfato ammonico	200	Soluzione al 20% (20 kg/100 L acqua)
Trattamento	trattrice + irroratrice	7-14 luglio	2	insetticidi	2	Endosulfan (Thiodan) o Diazinone (Spectracide)**
Spollonatura	manuale	21-28 luglio	10	solfato ammonico	200	Soluzione al 20% (20 kg/100 L acqua)
Fresatura	trattrice + fresatrice	16-21 agosto	2.2			
Rullatura	trattrice + rullo	21-28 agosto	0.5			
Diserbo	trattrice + irroratrice	1-7 settembre	2	diserbante	15	***eventualmente, se necessario
Andanatura	trattrice + spazzolatrice	7-14 settembre	10			
Aspiratura	trattrice + aspiratrice	14-21 settembre	10			
Trasporto	trattrice + carro rimorchio	21-28 settembre	1	nocciole in guscio	2000	Resa 47%
Andanatura	trattrice + spazzolatrice	7-14 ottobre	10			
Aspiratura	trattrice + aspiratrice	14-21 ottobre	10			
Trasporto	trattrice + carro rimorchio	21-28 ottobre	1	nocciole in guscio	900	Resa 47%
Trattamento	trattrice + irroratrice	1-7 novembre	2	fungicidi	3	Rame (Ossicloruro o Solfato)
Somma ore/ha	.....		137.3	nocciole in guscio tot	2900	(= 1350 kg di produzione effettiva)
Note						
*fertilizzante=	200 kg/ha di N (50% sotto forma nitrica, 50% ammoniacale) 100 kg/ha di P (anidride fosforica), 100 kg/ha di K (ossido)					
insetticidi =	oppure 1,5 kg/ha di Carbaryl (=Sevin), oppure 0,5 kg/ha di Lambda-cialotrina (=Karathe) **= Carbendazim, in GLEAMS assimilato al Tbz, dello stesso gruppo dei					
***diserbanti=	Glyphosate (Roundup), Glifosate trimesio, Glufosinate ammonio (=Basta) chimico dei benzimidazoli					

Tab. 7.4: Sintesi del ciclo colturale nel caso di lavorazione totale (1970).

Operazione	Modalità di realizzazione	Epoca	Manodopera (ore/ha)	Prodotto	Quantità (kg/ha)	Note
Potatura	manuale	7-14gennaio	8			Semplice ripulitura dei rami secchi o attaccati da parassiti
Raccoltalegna	trattrice + carro rimorchio	7-14gennaio	5			
Trasportolegna	trattrice + carro rimorchio	7-14gennaio	1			
Spollonatura	manuale	14-21gennaio	12			
Letamazione	trattrice+spandiletame	21-28gennaio	4	letame maturo misto	20000	*
Erpicatura	trattrice + erpice	1-7febbraio	1.2			
Fertilizzazione	trattrice + spandiconcime	21-28 marzo	2	Nitratoammonico	50	**
Erpicatura	trattrice + erpice	1-7 aprile	1.2			
Spollonatura	manuale	7-14 aprile	12			
Trattamento	trattrice + irroratrice	7-14 aprile	2	insetticidi/fungicidi		***
Fresatura	trattrice + fresatrice	1-14 maggio	2.2			
Trattamento	trattrice + irroratrice	1-10 giugno	2	insetticidi/fungicidi		***
Trattamento	trattrice + irroratrice	1-10 luglio	2	insetticidi/fungicidi		***
Trattamento	trattrice + irroratrice	1-7 agosto	2	insetticidi/fungicidi		***
Fresatura	trattrice + fresatrice	7-14 agosto	2.2			
Rullatura	trattrice + rullo	14-21 agosto	0.5			
Diserbo	trattrice + irroratrice	1-7 settembre	2	diserbante		
Raccolta	manuale	14-21 settembre	70			
Trasporto	trattrice + carro rimorchio	21-28 settembre	1	nocciole in guscio	1200	Resa 40%
Raccolta	manuale	14-21 ottobre	70			
Trasporto	trattrice + carro rimorchio	21-28 ottobre	1	nocciole in guscio	800	Resa 40%
Trattamento	trattrice + irroratrice	1-7 novembre	2	fungicidi		Poltigliabordolese
Potatura	manuale	1-14 dicembre	10			
Sommaore/ha	.....		215.3	nocciole in guscio tot	2000	

Note

*letame maturo misto (valori medi espressi in % sul tal quale)= 0,5 N; 0,25 P (anidride); 0,7 K (ossido)

**perciototale dosi fertilizzanti = 150 Kg/ha di N, 50 Kg/ha di P (anidride fosforica), 140 Kg/ha di K (ossido)

***i trattamenti antiparassitari erano piuttosto trascurati o fatti sporadicamente e, soprattutto, non tenevano conto della tempestività con cui invece andavano eseguiti.

Tab. 7.5: Sintesi del ciclo colturale nel caso di seminativo (1950).

Operazione	Modalità di realizzazione	Epoca	Manodopera (ore/ha)	Prodotto	Quantità (kg/ha)	Note
Aratura a 40 cm	trattrice+aratro	16-31 agosto				
Concimazione azoto-fosfo-potassica	manuale	1-14 settembre		Urea, Perfosfato minerale o d'ossa, Cloruro di potassio	30-20-20	
				Residui animali (cuoio, corna, unghie, lana). Vinacce		*
Erpicatura	trattrice+erpice a denti	14-28 settembre				
Semina	manuale a spaglio	1-14 novembre				
Concimazione azotata	manuale	14-28 febbraio		Nitrato ammonico	10	
Letamazione	manuale	14-28 febbraio		Liquame	20 mc/ha	**
Trattamento						***
Diserbo	manuale	14-21 aprile				
Mietitura	manuale	1-14 giugno				
Essiccazione	manuale	14-28 giugno				
Trebbiatura	manuale	1-7 luglio				
Totale dosi fertilizzanti = 80 Kg/ha di N, 30 Kg/ha di P (anidride fosforica), 80 Kg/ha di K (ossido)						
Note						
*Residui animali (cuoio, corna, unghie, lana) (valori medi espressi in % sul tal quale)= 2 N; 0,2 P (anidride); 0,7 K (ossido)						
Vinacce (valori medi espressi in % sul tal quale)= 1 N; 0,2 P (anidride); 2 K (ossido)						
**Liquame suino o misto (valori medi espressi in % sul tal quale)= 0,3 N; 0,1 P (anidride); 0,5 K (ossido), corrispondente a 40 Kg/ha di N, 10 Kg/ha di P(anidride fosforosa), 60 Kg/ha di K(ossido)						
***i trattamenti antiparassitari erano piuttosto trascurati o fatti sporadicamente.						

Per ognuno di questi scenari, gli impatti ambientali considerati sono stati l'erosione del suolo e la mobilitazione di nutrienti e pesticidi: ruscellamento e lisciviazione dei nitrati (NO₃); fosfato (PO₄) particolato. Quest'ultimo è molto importante come indicatore ambientale in quanto si mobilita in tempi brevi (in superficie) ed è solubile ed immediatamente disponibile per la crescita algale.

Sono stati considerati 50 anni di piogge giornaliere della stazione di Ronciglione, per la quale si hanno registrazioni pluviometriche sin dal giugno 1919, sebbene con varie interruzioni (in totale si dispone di 72 anni, vedi appendice).

Gli altri dati climatici necessari alle simulazioni sono (tab. 7.6):

- temperature medie mensili (massima e minima), per le quali si è ricorso ad un modello di regressione, validato per tutta la provincia di Viterbo e la bassa Toscana (Leone e Marucci, 1989);
- radiazione solare media mensile (MJ/cm²), ottenuta utilizzando il modello proposto dalla FAO (vedi Leone, 1996), a partire dall'eliofania (ore di sole mensili) della stazione di Viterbo aeroporto;
- vento sfilato del giorno medio del mese (stazione di Viterbo aeroporto);
- temperatura di rugiada media mensile (ricavata dalla temperatura e dall'umidità relativa della stazione di Viterbo).

Questi ultimi dati sono tutti ricavati dagli annuari ISTAT (Statistiche Meteorologiche).

Tab. 7.6: Dati meteorologici inseriti nel modello GLEAMS.

Mesi	T med. max [°C]	T med. min [°C]	Radiazione MJ/cm²	Vento sfilato [km/giorno]	T rugiada [°C]
Gennaio	9,1	1,6	124,0	141,0	8,0
Febbraio	12,7	2,9	185,0	160,0	9,1
Marzo	14,5	6,3	180,0	165,0	10,2
Aprile	15,6	6,7	213,0	150,0	12,0
Maggio	20,2	10,1	363,0	114,0	13,8
Giugno	25,7	13,6	310,0	106,0	14,9
Luglio	30,5	18,3	477,0	97,0	16,0
Agosto	27,9	16,4	442,0	87,0	16,0
Settembre	23,4	13,5	316,0	108,0	15,0
Ottobre	13,2	11,0	180,0	115,0	13,8
Novembre	11,6	6,0	125,0	120,0	11,9
Dicembre	10,0	4,8	124,0	118,0	9,9

7.1.3 - Risultati delle simulazioni: i nutrienti

Effetto pendenza

Gli impatti ambientali conseguenza degli scenari di uso del territorio agricolo sono stati simulati facendo variare i fattori che più possono avere influenza sugli impatti stessi, ovvero sulla mobilizzazione di nutrienti e pesticidi: il suolo e la morfologia del territorio, essenzialmente rappresentata dalla pendenza.

Questa prima analisi ha mostrato che, nel bacino di Vico, l'influenza della tipologia di suolo non è così rilevante rispetto agli obiettivi prefissati, soprattutto perché le zone agricole ricadono essenzialmente in un'unica tipologia (At, vedi cap. 5).

Ben più rilevante è invece l'influenza della pendenza e, quindi, si sono simulati i cinque scenari elencati in precedenza per i seguenti casi: 1, 3, 8 e 15 %.

In tab.7.7 sono riportati i risultati ottenuti per il primo caso (nocchioleto inerbito). Gli altri quattro ricalcano questi dati, dal punto di vista dell'effetto pendenza.

L'indicatore di impatto ambientale di più immediata analisi è certamente l'erosione del suolo che, come mostra la tab. 7.7, varia sensibilmente con detto parametro e, alla luce della bibliografia sull'argomento (FAO, vedi Leone, 1996), emerge essere la pendenza dell'8% il limite di sostenibilità dell'attività agricola. Ad essa corrisponde una perdita di suolo di circa 11 t/ha/anno. Questo non è un valore basso, ma, nei limiti dell'incertezza e dell'impossibilità teorica di tale definizione, è da ritenersi accettabile, almeno in una prima approssimazione, in considerazione della particolare morfologia dello del bacino vicano:

- paesaggio in stadio evolutivo giovanile, quindi a naturale vocazione per fenomeni erosivi;
- pendenze elevate in buona parte del territorio;
- aggressività climatica rilevante.

La tollerabilità all'erosione deve quindi essere intesa come un dato di valore puramente pragmatico, utile a definire un obiettivo gestionale, sempre molto relativo al caso particolare in esame, senza una pretesa di oggettività assoluta.

Per quanto riguarda l'asportazione di azoto nitrico (NO₃) e fosforo inorganico solubile (PO₄), le incertezze di definizione della tollerabilità sono ancora maggiori, anche per carenza di bibliografia sull'argomento.

Tab. 7.7: Risultati della simulazione al variare della pendenza.

	Media	Dev. stand.	Max	Min
1 %				
Pioggia [cm]	129,82	37,16	270,49	70,92
Deflusso [cm]	9,26	10,65	53,32	0,78
Percolato [cm]	63,87	25,16	162,51	18,09
Erosione [t/ha/anno]	0,34	0,68	4,44	0,01
NO3 deflusso [kg/ha/anno]	4,19	4,82	24,14	0,35
PO4 sedimento [kg/ha/anno]	0,14	0,19	1,34	0,02
NO3 lisciviato [kg/ha/anno]	148,11	33,65	234,03	22,49
3 %				
Deflusso [cm]	9,26	10,65	53,32	0,78
Percolato [cm]	63,88	25,16	162,51	18,08
Erosione [t/ha/anno]	2,10	3,48	21,48	0,10
NO3 deflusso [kg/ha/anno]	4,19	4,82	24,14	0,35
PO4 sedimento [kg/ha/anno]	0,51	0,90	6,21	0,07
NO3 lisciviato [kg/ha/anno]	148,28	33,69	234,39	22,55
8 %				
Deflusso [cm]	9,26	10,65	53,32	0,78
Percolato [cm]	63,88	25,16	162,51	18,07
Erosione [t/ha/anno]	12,78	19,31	94,93	0,31
NO3 deflusso [kg/ha/anno]	4,19	4,82	24,14	0,35
PO4 sedimento [kg/ha/anno]	3,42	3,42	16,86	0,15
NO3 lisciviato [kg/ha/anno]	148,23	33,68	233,59	22,56
15 %				
Deflusso [cm]	11,78	18,30	109,70	0,24
Percolato [cm]	64,29	25,33	162,51	18,09
Erosione [t/ha/anno]	5,26	7,48	47,87	0,38
NO3 deflusso [kg/ha/anno]	4,20	4,82	24,14	0,35
PO4 sedimento [kg/ha/anno]	5,26	7,48	47,87	0,38
NO3 lisciviato [kg/ha/anno]	148,90	34,32	234,35	22,51

Tuttavia, il seguente bilancio, sebbene, per ovvi motivi di incertezza anch'esso da considerarsi come calcolo di larga massima, fornisce utili indicazioni per avere un più chiaro quadro della situazione, consentendo di stimare la concentrazione di PO₄ negli apporti idrici al lago. Non è possibile un analogo calcolo per il nitrato in quanto non se ne conosce la concentrazione in falda e, notoriamente, tale elemento è

ben presente nelle acque sotterranee, al contrario del fosfato che vi è praticamente assente:

1. Piogge annue: $1298,2 \text{ mm} \times 1200 \text{ ha} = 15,6 \text{ Mmc}$ (milioni di m^3).
2. Evaporazione dal lago: $1050 \text{ mm} \times 1200 \text{ ha} = 12,6 \text{ Mmc}$ (Sibi, 1998).
3. Afflussi al lago sotto forma di ruscellamento dal bacino: $92,6 \text{ mm}$ dal territorio agricolo (1600 ha circa); 60 mm da quello forestale (1300 ha circa), che forniscono un afflusso al lago di circa $2,5 \text{ Mmc}$, corrispondenti ad un apporto al lago di circa 180 mm .
4. Afflussi al lago per percolazione dal territorio agricolo: $9,6 \text{ Mmc}$.
5. Afflussi al lago per percolazione dal territorio forestale: $6,0 \text{ Mmc}$.
6. Deflussi annui dal lago (portata media del Rio Vicano $0,49 \text{ m}^3/\text{s}$): $15,5 \text{ Mmc}$.
7. Totale apporti (piogge+afflussi): $15,6+2,3+9,6+6,0=33,5 \text{ Mmc}$.
8. Totale deflussi (evaporazione+portata emissario): $12,6+15,5=28,1 \text{ Mmc}$.
9. Saldo del bilancio (apporti – deflussi): $33,5 - 28,1 = +5,4 \text{ Mmc}$. Detto saldo positivo induce a pensare che vi sia un importante apporto alla falda da parte del lago e, quindi, esista un bacino idrogeologico del lago diverso da quello topografico, cosa che concorda con i risultati di un recente studio di natura idrogeologica (Sibi, 1998) e dell'ecologia delle acque (Franzoi, 1997).

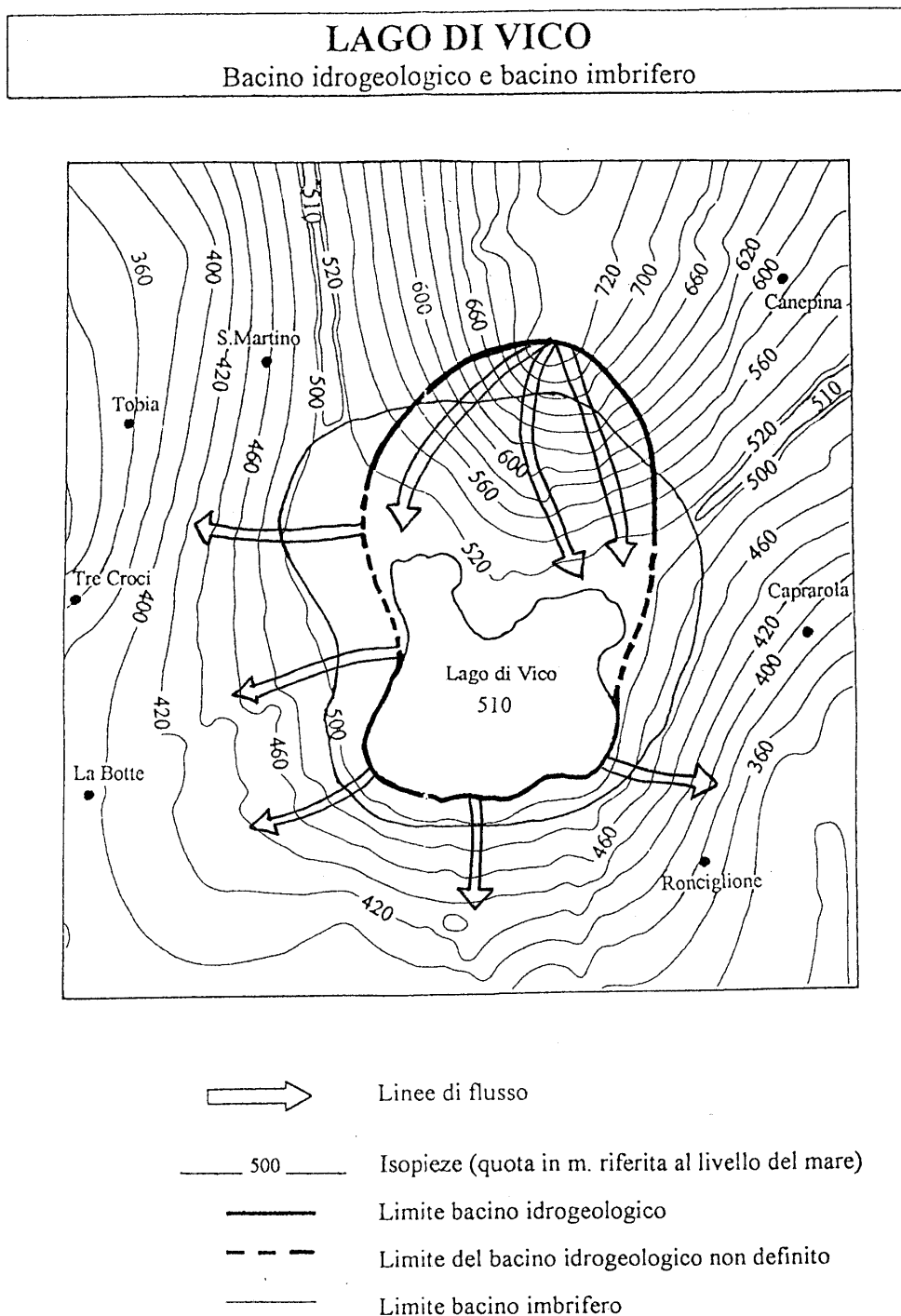
Nell'ipotesi (abbastanza realistica e, comunque, a vantaggio di sicurezza) che i soli $92,6 \text{ mm}$ di deflusso dal territorio agricolo contengano PO_4 in forma particolata ^(S), si possono stimare (tab.7.8) i contributi dei territori con le diverse pendenze alle concentrazioni di PO_4 nelle acque del lago, allorquando queste siano del tutto rinnovate (ultima riga della tabella) ^(*). Questo calcolo considera l'apporto totale al lago di piogge ($33,5 \text{ Mmc}$), di cui i soli 93 mm di deflusso dal territorio agricolo contengono PO_4 .

L'ultima riga di questa tabella segnala, in pratica, che i contributi delle coltivazioni alle pendenze dell'1, 3, 8 e 15% alla concentrazione di PO_4 nel lago sono, rispettivamente, di $7,0$; $25,5$; $116,0$; $263,0 \mu\text{g/l}$. Se si considera che le concentrazioni riscontrate nel 1968-71 erano dell'ordine di $7 \mu\text{g/l}$, si può ritenere,

^(S) Il calcolo è esclusivamente orientato alla valutazione della tollerabilità dell'asportazione di fosforo. Per questo si trascurano altre forme di P, quale quello che può provenire dai boschi o quello non immediatamente biodisponibile (vedi cap 1).

anche da questo punto di vista, come l'agricoltura intensiva, sebbene con una consistente tecnica conservativa quale l'inerbimento, abbia comunque un impatto ambientale non trascurabile ed il limite di pendenza dell'8% emerso dalla sola tollerabilità all'erosione sia già abbastanza largo, sebbene, almeno in prima fase di implementazione delle tecniche di tutela, probabilmente accettabile.

Fig. 7.2: Carta idrogeologica della zona di Vico (da Sibi, modificato).



(*)

Tab. 7.8: Concentrazione di PO₄ [µg/l] nelle acque di deflusso e nel lago per varie classi di pendenza.

	1%	3%	8%	15%
PO ₄ sed. [kg/ha]	0,14	0,51	2,32	5,26
[PO ₄] deflusso	150,5	548,4	2505,6	4465,2
[PO ₄] lago	7,0	25,5	116,0	263,0

Effetto pratica colturale

I risultati dei cinque scenari simulati sono riportati in tab. 7.9.

Tab. 7.9: Mobilizzazione dei nutrienti per vari scenari di uso del territorio agricolo (pendenza 8%).

	Media	Dev.St.	Max	Min
PIOGGIA ANNUA [cm]	129,82	37,16	270,49	70,88
N1 DEFLUSSO [cm]	9,26	10,65	53,32	0,78
PERCOLATO [cm]	63,88	25,16	162,51	18,07
EVAP. reale [cm]	45,13	7,12	61,63	29,59
EROS. [t/ha/anno]	12,78	19,31	94,93	0,31
NO3 defl. [kg/ha/anno]	4,19	4,82	24,14	0,35
PO4 sedim. [kg/ha/anno]	2,55	3,42	16,86	0,15
N2 DEFLUSSO [cm]	9,26	10,65	53,32	0,78
PERCOLATO [cm]	63,86	25,17	162,51	18,04
EVAP. reale [cm]	45,14	7,13	61,63	29,59
EROS. [t/ha/anno]	59,60	73,94	367,02	3,85
NO3 defl. [kg/ha/anno]	4,19	4,82	24,14	0,35
PO4 sedim. [kg/ha/anno]	8,29	8,00	45,36	1,42
N3 DEFLUSSO [cm]	9,29	10,65	53,36	0,80
PERCOLATO [cm]	64,11	25,06	162,51	18,50
EVAP. reale [cm]	45,18	7,11	61,63	29,51
EROS. [t/ha/anno]	12,32	19,13	94,93	0,31
NO3 defl. [kg/ha/anno]	4,21	4,82	24,16	0,36
PO4 sedim. [kg/ha/anno]	0,92	1,76	12,06	0,07
N4 DEFLUSSO [cm]	9,15	10,60	53,28	0,72
PERCOLATO [cm]	63,52	25,23	162,39	17,44
EVAP. reale [cm]	44,78	7,12	61,17	29,20
EROS. [t/ha/anno]	25,85	34,22	179,47	1,22
NO3 defl. [kg/ha/anno]	4,14	4,80	24,12	0,33
PO4 sedim. [kg/ha/anno]	3,80	7,13	50,74	0,05
S DEFLUSSO [cm]	11,01	12,06	59,27	1,28
PERCOLATO [cm]	75,66	26,40	177,39	28,42
EVAP. reale [cm]	43,03	5,95	56,66	27,04
EROS. [t/ha/anno]	10,75	18,32	120,70	0,64
NO3 defl. [kg/ha/anno]	4,98	5,46	26,83	0,58
PO4 sedim. [kg/ha/anno]	0,76	0,82	4,68	0,05
N1 = Nocchieleto inerbito, situazione 1998		N2 = Nocchieleto lavorato totale, 1998		
N3 = Nocchieleto inerbito, regolamento U.E.; 2078		N4 = Nocchieleto lavorato, 1970		
S = Seminativo tradizionale, praticato fino agli anni 50				

Da essa si evince la chiara importanza del tipo di uso del territorio e della pratica colturale adottata. Volendo operare una graduatoria degli impatti ambientali (dal maggiore al minore si ha:

1. Nocciolo lavorato secondo le tecniche odierne (N2 in tabella).
2. Nocciolo lavorato secondo le tecniche passate (N4).
3. Nocciolo inerbito (N1).
4. Nocciolo inerbito ed adeguato al regolamento 2078 dell'UE (N3).
5. Seminativo estensivo (S).

Questi ultimi due scenari sono praticamente identici in termini di impatto ambientale, mentre non altrettanto può dirsi delle due ipotesi di nocciolo inerbito, in quanto quello non adeguato al regolamento 2078 comporta impatti ambientali non trascurabili. Ciò ribadisce l'importanza fondamentale del rigoroso adeguamento alle misure di agricoltura ecocompatibile previste dall'UE, non essendo sufficiente il semplice inerbimento.

Per quanto riguarda i singoli indicatori degli impatti, l'erosione del suolo è rilevante nei casi di nocciolo lavorato (N2 ed N4). Va pure considerata la forte variabilità di questo dato, che, in tutti gli scenari, presenta deviazioni standard molto elevate, anche doppie rispetto alla media e ampiezze del campione che vanno da valori minimi prossimi a zero a valori massimi anche di oltre 10 volte la media (vedi casi N1, N3 ed S).

Questi risultati indicano che sono sufficienti pochi eventi "catastrofici", magari compresi fra molte annate "tranquille", per spiegare la gran parte dell'erosione media annua e portare ad una crisi del sistema.

Ciò è in pieno accordo con le aspettative teoriche ed è perciò una verifica, sebbene indiretta, della bontà del modello. Inoltre, si ha una conferma della forte influenza del fattore climatico, ovvero dell'aggressività delle piogge, ma, ancora di più, della concomitanza tra eventi aggressivi e pratiche colturali che scoprono il suolo (diserbo, lavorazioni). Infatti, l'erosione massima annua si registra nel 1983, anno in cui tale coincidenza si è verificata più spesso, mentre le piogge sono state abbondanti, ma non in maniera particolare: gli anni in assoluto più piovosi sono stati

il 1940 ed il 1941 (dal 1942 al 1950 mancano i dati per l'interruzione bellica), senza che gli impatti ambientali di questi anni siano stati i massimi.

Per il nocciolo, purtroppo, la concomitanza fra piogge aggressive e scopertura del suolo costituirà sempre un problema, in quanto la raccolta, che richiede terreno nudo, avviene nella prima metà di settembre, quando il rischio di tali eventi è sempre piuttosto elevato.

Fondamentale conseguenza di questo risultato è l'inadeguatezza dell'affrontare il problema solo in uno dei suoi aspetti (nel caso specifico quello delle pratiche colturali), ma è necessario integrare gli interventi a scala di campo con altri a scala di bacino. La realtà conferma le ipotesi sin qui formulate: anche se già da qualche anno, in buona parte dei noccioli, si è adottato l'inerbimento, con sicuri risultati dal punto di vista della conservazione del suolo, non si evitano gli abbondanti depositi di fango sulle strade di fondo valle, puntuali in occasione di eventi che, dal punto di vista idrologico, non sono affatto eccezionali (si presentano mediamente 2-3 volte all'anno).

Dal punto di vista della mobilitazione del fosfato, impostando un bilancio analogo a quello effettuato in precedenza, scaturisce la tab. 7.10, omologa della 7.8.

Tab. 7.10: Concentrazione di PO₄ [µg/l] nelle acque di deflusso e nel lago per vari tipi di gestione del territorio agricolo.

		N2	N3	N4	S
PO₄ sed. [kg/ha]	2,32	8,29	0,92	3,80	0,76
[PO₄] deflusso	2505,6	8952,5	990,3	4153,0	690,3
[PO₄] lago	116,0	415,0	46,0	190,0	38,0

Poiché i 46 µg/l dello scenario N3 ed i 38 di S sono valori elevati rispetto alle concentrazioni del lago in condizioni normali (vedi cap.3) questi dati confermano la non trascurabile quantità di fosforo asportato a pendenze che superano l'8%, anche per il sistema di minore impatto ambientale (S) e le tecniche di agricoltura ecocompatibile (N3).

Questo risultato sembra in ottimo accordo con la presenza, già alla fine degli anni '60, di specie algali (*Oscillatoria rubescens* e *Oscillatoria tenuis*), indicatrici di inquinamento organico non altrimenti spiegabile, per l'assenza di scarichi civili e zootecnici nel bacino di Vico (Barbanti et al., 1971).

Per una coltura di così elevato reddito e tradizione presso gli agricoltori locali, non si ritiene comunque realistico partire con limitazioni già a pendenze dell'8% in quanto ne scaturirebbe un vincolo troppo drastico. Trova anche da questo punto di vista conferma la necessità di integrare le tecniche conservative aziendali con gli interventi a scala di bacino che consentano di neutralizzare queste quantità di fosforo.

7.1.4 - Risultati delle simulazioni: i pesticidi

I sistemi colturali prevedono l'uso di pesticidi (vedi tabelle 7.1-7.5), delle seguenti categorie:

- due insetticidi: *endosulfan* o *diazinone*; *carbaryl* o *lambda cialotrina*
- un trattamento di diserbo: *glufosinate* o *glyphosate*
- un trattamento fungicida: *iprodione* o *thiabendazole*

Anche queste sostanze sono asportate dal suolo con il ruscellamento, la percolazione e l'erosione del suolo, a seconda delle caratteristiche ambientali (clima, tipo di suolo, morfologia ecc.) e fisiche delle singole sostanze, riportate in tab.7.11. Per quanto riguarda i fungicidi, non essendo note tali caratteristiche per le sostanze usate, si sono considerati i fungicidi più simili.

Tab. 7.11: Caratteristiche fisiche dei pesticidi oggetto di simulazione.

No	Pesticida	Solub. acqua [mg/l]	Cost. rip. Koc [g/l]	Coeff. assunz. colture	T _{1/2} foglie [giorni]	T _{1/2} suolo [giorni]
1	Endosulfan	0,32	12400	0,10	3,0	50,0
2	Diazinone	60,0	1000	0,10	4,0	40,0
3	Carbaryl	120,0	300	0,10	7,0	10,0
4	Lambda cialotrina	0,01	180000	0,10	5,0	30,0
5	Glufosinate	370000	100	0,10	4,0	7,0
6	Glyphosate	900000	24000	0,10	2,5	47,0
7	Iprodione (Procimidione)	13,90	700	0,10	5,0	14,0
8	Thiabendazole (Carbendazim)	50,0	2500	0,10	30,0	403,0

Il caso preso in considerazione è quello dello scenario N1, con pendenza 8%. I risultati delle simulazioni sono riportati in tab. 7.12, ove sono riportate le quantità mobilizzate con il deflusso superficiale ed in forma particolata (con il suolo eroso).

Tab. 7.12: Mobilizzazione dei pesticidi con il deflusso idrico e l'erosione.

	Mobilizz. con il deflusso	Media	Dev. St.	Max	Min
PIOGGIA ANNUA [cm]		129,82	37,16	270,49	70,88
DEFLUSSO [cm]		9,26	10,65	53,32	0,78
INSETT. [g/ha/anno]	ENDOSULFAN	0,20	0,36	1,57	0,00
INSETT. [g/ha/anno]	DIAZINONE	11,25	23,89	127,83	0,00
INSETT. [g/ha/anno]	CARBARYL	2,08	9,91	69,81	0,00
INSETT. [g/ha/anno]	LAMBDA CIALOTRINA	0,02	0,04	0,17	0,00
DISERB. [g/ha/anno]	GLUFOSINATE	27,64	55,05	250,53	0,00
DISERB. [g/ha/anno]	GLYPHOSATE	42,22	48,61	253,58	4,22
FUNG. [g/ha/anno]	IPRODIONE (PROCIMIDONE)	0,56	1,54	8,04	0,00
FUNG. [g/ha/anno]	THIABENDAZOLE (CARBENDAZIM)	20,64	24,04	127,70	3,01
	Mobilizz. con il sedimento	Media	Dev. St.	Max	Min
EROSIONE [t/ha/anno]		11,92	18,97	109,70	0,24
INSETT. [g/ha/anno]	ENDOSULFAN	0,62	1,23	5,61	0,00
INSETT. [g/ha/anno]	DIAZINONE	2,84	6,10	28,75	0,00
INSETT. [g/ha/anno]	CARBARYL	0,14	0,66	4,68	0,00
INSETT. [g/ha/anno]	LAMBDA CIALOTRINA	0,95	2,19	11,92	0,00
DISERB. [g/ha/anno]	GLUFOSINATE	0,66	1,31	6,28	0,00
DISERB. [g/ha/anno]	GLYPHOSATE	238,45	300,57	1547,69	20,92
FUNG. [g/ha/anno]	IPRODIONE (PROCIMIDONE)	0,09	0,23	1,32	0,00
FUNG. [g/ha/anno]	THIABENDAZOLE (CARBENDAZIM)	13,32	20,51	127,28	1,35

Questi dati mostrano la notevole differenza nel comportamento ambientale dei pesticidi usati nel bacino del lago di Vico. Cosa ancora più importante, differenze altrettanto nette si riscontrano tra sostanze usate come alternative fra loro:

- fra gli insetticidi, il diazinone è ben più mobile (e quindi di maggiore impatto ambientale per il rischio che possa giungere al lago) dell'endosulfan, sia con il deflusso dell'acqua (in forma solubile) che con l'erosione (in forma particolata). Fra carbaryl e lambda cialotrina le differenze non sono

altrettanto decise: il primo è asportato soprattutto con il deflusso, il secondo, poco solubile, esclusivamente con il sedimento. Globalmente è comunque il carbaryl a presentare maggiore rischio di asportazione dal territorio agricolo.

- Fra i diserbanti, è il glyphosate a presentare la maggiore mobilità, soprattutto in forma particolata. L'osservazione dei dati in tabella 7.12 mostra comunque che, in assoluto, i diserbanti sono le sostanze nettamente di maggiore rischio ambientale fra tutti i pesticidi, in conseguenza sia delle caratteristiche fisiche (vedi tab. 7.11) che della concomitanza fra epoca del trattamento (agosto-settembre) e piogge aggressive.
- Fra i fungicidi, il thiabendazole è il più mobile, questo risultato è comunque incerto per la mancanza delle caratteristiche fisiche dei composti usati.

Per quel che riguarda il comportamento generale dei pesticidi, viene confermata l'importanza dei singoli eventi nell'ambito delle 50 annate idrologiche oggetto di simulazione. Le deviazioni standard sono infatti ben superiori alle medie, con punte massime di asportazione in un anno fino a 9-10 volte la media (tab. 7.12). A proposito di quest'ultimo dato, devono destare preoccupazione gli oltre 1500 g/ha di glyphosate particolato asportati nel 1983 che, sebbene, come dato eccezionale, e con le approssimazioni della simulazione modellistica, segnalano l'assoluta incompatibilità di questo composto con l'ambiente del lago di Vico.

Per avere un'indicazione, molto generale e di prima approssimazione, in tab. 7.13 si riportano le concentrazioni dei pesticidi nel lago, dopo un congruo periodo di uso delle sostanze (almeno i 17 anni di tempo teorico di rinnovo delle acque).

In sintesi, quindi, i risultati della simulazione consentono importanti conclusioni di carattere gestionale anche per quel che concerne l'uso dei pesticidi nella valle di Vico:

1. E' possibile una più oculata scelta dei pesticidi di minore impatto ambientale, anche ricorrendo a sostanze oggi utilizzate, senza per questo sconvolgere tecniche colturali consolidate.
2. Le simulazioni modellistiche suggeriscono una graduatoria del rischio ambientale connesso al loro uso. Tra gli insetticidi, andrebbero ricercate alternative all'uso del diazinone e del carbaryl (cui sarebbero preferibili, in prima istanza, l'endosulfan ed il lambda cialotrina). Fra i diserbanti, è

assolutamente incompatibile l'uso del glyphosate, ma entrambi presentano impatti ambientali rilevanti.

3. I risultati ottenuti ribadiscono l'importanza, anche dal punto di vista dei pesticidi, di prendere in considerazione tecniche di controllo di deflussi ed erosione non solo a scala di campo, ma anche a livello di bacino.

Tab. 7.13: Concentrazioni nelle acque del lago stimate secondo le asportazioni previste dal modello.

No	Pesticida	Mob. Totale (def.+sed.) [g/ha]	Conc. lago [µg/L]
1	Endosulfan	0,82	0,041
2	Diazinone	14,09	0,705
3	Carbaryl	2,22	0,111
4	Lambda cialotrina	0,97	0,049
5	Glufosinate	28,30	1,415
6	Glyphosate	280,67	14,03
7	Iprodione (Procimidione)	0,65	0,033
8	Thiabendazole (Carbendazim)	33,96	1,698

Queste considerazioni si fermano ai soli aspetti qualitativi perché, in generale, si sa poco sul comportamento ambientale dei pesticidi, e, in particolare, manca un monitoraggio specifico per il lago di Vico. Esse vanno perciò prese come base di partenza per uno specifico studio in tal senso che coinvolga varie figure professionali e, tra l'altro, consenta di validare il modello per avere uno strumento decisionale con minori margini di incertezza. E' questo l'obiettivo con cui si è progettato il sistema di monitoraggio descritto al cap. 8.

7.2 – Interventi localizzati

In questo paragrafo si prendono in considerazione tutti quei casi in cui il controllo delle fonti diffuse richiede interventi localizzati.

7.2.1 – Le strade

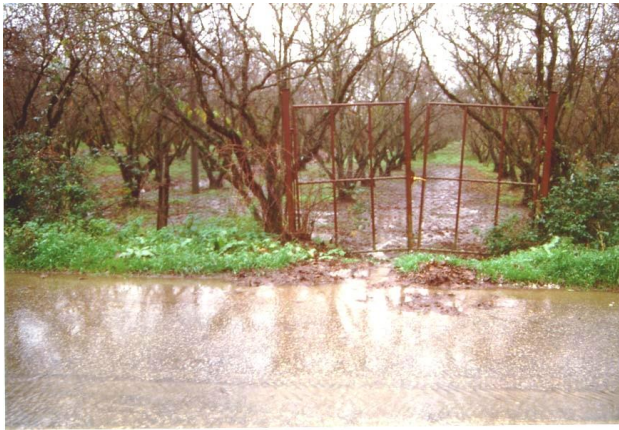
Le strade ed i sentieri forestali all'interno del bacino sono, in molti casi, parte attiva della rete idrografica e, quindi, del trasporto di nutrienti. In fig. 7.3 se ne hanno un paio di esempi: sia la strada provinciale del Lago di Vico (prima foto), sia i sentieri che scendono dalla parte alta del bacino, in occasione degli eventi pluviometrici intensi, divengono importanti corsi d'acqua, con il deflusso che segue la carreggiata fino a quando trova un varco, dal quale prosegue verso valle, dove sono quasi sempre ubicati i noccioleti (fig. 7.4). Questi ultimi, quindi, si trovano spesso nella condizione di ricevere i deflussi provenienti da monte, oltre che essere importante sede dello stesso processo ambientale, con una chiara sinergia negativa dal punto di vista della mobilitazione di nutrienti e pesticidi.

Fig. 7.3: Episodi di deflusso sulle strade a seguito di un evento del novembre 1997.



In pratica, sia per ragioni naturali (lo stadio giovanile del paesaggio e la scarsa evoluzione del reticolo idrografico), che antropiche (la gestione del territorio agricolo e la viabilità) si verifica un disordine territoriale che, dal punto di vista idrologico, carica ulteriormente i noccioleti, acuendone i problemi di smaltimento delle acque e conservazione del suolo. Inoltre, tale situazione porta talune strade ad alterare i naturali bacini imbriferi, con l'incremento delle problematiche del deflusso.

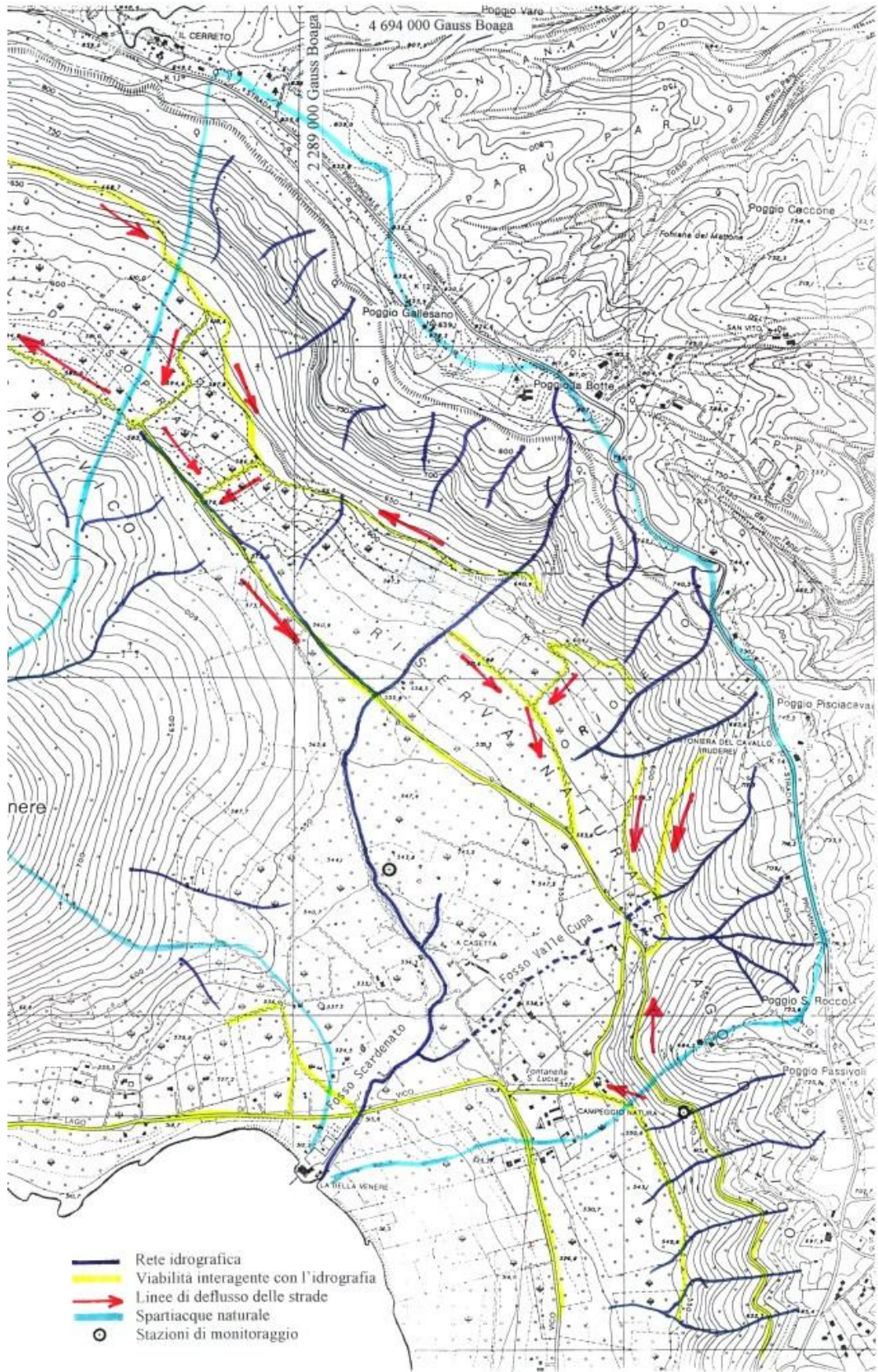
Fig. 7.4: Il deflusso sulla provinciale del lago di Vico inonda il nocchieleto a valle.



L'esempio più chiaro si registra nel bacino del fosso Scardenato (lato nord est, fig. 7.5), la cui estensione è presumibilmente incrementata dal drenaggio operato dal sentiero forestale ai piedi delle pendici del Poggio Gallesano (a nord della zona denominata Val di Sopra, fig. 7.5) e da un tratto della strada Provinciale Lago di Vico, a sud del Campeggio Natura.

Importantissimo è il ruolo dei sentieri forestali che, tagliando a mezzacosta i boschi (siti in zone di notevole pendenza), provocano la fuoruscita del deflusso ipodermico nella lettiera e divengono anch'essi vie d'acqua. Questo è il caso dei sentieri nei boschi della stessa Val di Sopra, di Montagna Vecchia, Poggio S. Rocco ecc. , sempre nella parte settentrionale del lago.

Fig. 7.5: Interferenza fra viabilità e rete idrografica nel bacino del Fosso Scardenato.



In fig. 7.6 se ne ha un esempio, testimoniato dall'erosione della parete operata dalle acque: essa ha provocato lo strano assetto "a sbalzo" dell'albero nella foto.

In altri casi è il cambio di pendenza, da quelle ripide, tipiche del territorio forestale, a quelle più a valle, dove sono ubicati i nocciuleti, a provocare lo stesso fenomeno, in fig. 7.7 ne è testimoniato un caso ai piedi del Monte Venere che ha indotto il proprietario del nocciueto a realizzare un fosso di guardia (in primo piano nella foto).

Conseguenza di questa situazione è la riduzione dei tempi di corrivazione e l'incremento dei coefficienti di deflusso delle acque piovane, che scorrono più veloci ed abbondanti. L'azione aggressiva esercitata sul suolo è perciò maggiore a parità di evento, mentre sono sufficienti piogge di minore durata (quindi più frequenti e di maggiore intensità) per mettere in crisi il sistema naturale di smaltimento delle acque.

Fig. 7.6: Segni del deflusso in bosco che emerge per opera della soluzione di continuità del pendio indotta dalla costruzione della strada.



Fig. 7.7: Segni dell'emersione di deflusso ipodermico in bosco

Il deflusso fuoriesce al passaggio dal territorio forestale a quello agricolo ed ha costretto il proprietario a realizzare il fosso di guardia in primo piano nella foto.

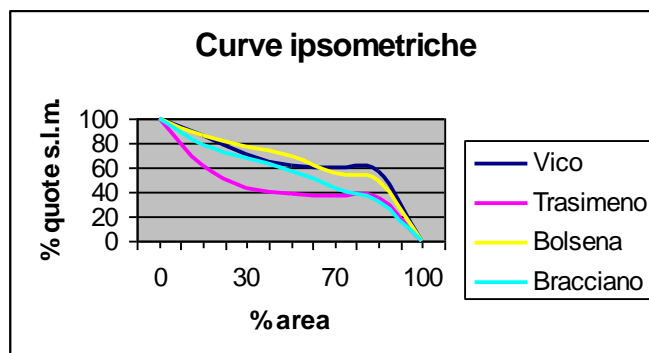


7.2.2 – Il reticolo idrografico

Il reticolo idrografico del bacino vicano è molto particolare poiché risente delle forti pendenze dell'orlo della caldera e del modesto grado evolutivo del paesaggio. Ciò porta ad un modestissimo grado di gerarchizzazione dei canali, che scorrono verso il lago praticamente privi di ramificazioni e formano, quindi, un reticolo radiale centripeto. Il solo fosso Scardenato presenta una qualche articolazione della rete, ma il suo ordine gerarchico è appena pari a 3 (letto sulla Carta Tecnica Regionale a scala 1:10000), grazie alla confluenza in esso del fosso Valle Cupa (vedi fig. 7.5). Ma, in realtà, quest'ultimo è stato del tutto occluso (infatti, nella fig. 7.5 è stato segnato a tratteggio) con il risultato di provocare un deflusso sempre disordinato e diverso ad ogni pioggia.

Questo è un ulteriore indice di paesaggio giovanile, confermato dalla curva ipsometrica adimensionale riportata in fig. 7.8, ottenuta rielaborando quelle di Barbanti et al. (1971). Essa mostra che, soprattutto Vico e Bolsena, presentano una decisa concavità verso il basso, con integrali delle curve superiori a 0,60, valori tipici dei bacini in fase di elevata attività (Ciccacci et al., 1989).

Fig. 7.8: Curve ipsometriche adimensionali per i laghi di Vico, Trasimeno, Bolsena e Bracciano.



Questa morfologia del territorio è tipica, in condizioni naturali, di intensa erosione fluviale e modesta erosione diffusa (delle pendici), con le sezioni fluviali a V e le valli a pareti pressoché verticali, cosa che trova ampio riscontro nella realtà vicana. Ma a questo assetto naturale si è sovrapposta l'attività antropica, con la scopertura del manto vegetale protettivo delle pendici più declivi, cosa che ha messo in moto enormi quantità di sedimento che la rete idrografica, in fase di scavo, facilmente convoglia al lago.

Si ha quindi una ulteriore sinergia, che accentua l'afflusso di nutrienti al lago.

7.2.3 – Transizione fra terra emersa e corpo idrico: la vegetazione ripariale del lago

La vegetazione ripariale ha un fondamentale ruolo nel bilancio dei flussi di massa al lago per la sua ubicazione “strategica”, nella zona di transizione fra terra emersa e corpo idrico. In tal senso essa assume il ruolo decisivo di regolatore degli apporti di nutrienti alle acque, sia per l'azione di intercettazione di deflussi e sedimenti, sia per il ruolo di consumatore dei nutrienti in essi contenuti.

Per questo motivo, è stata studiata l'evoluzione di questa componente dell'ecosistema vicano, costituita prevalentemente da canneto, attraverso lo studio delle fotografie aeree del 1954 e del 1994.

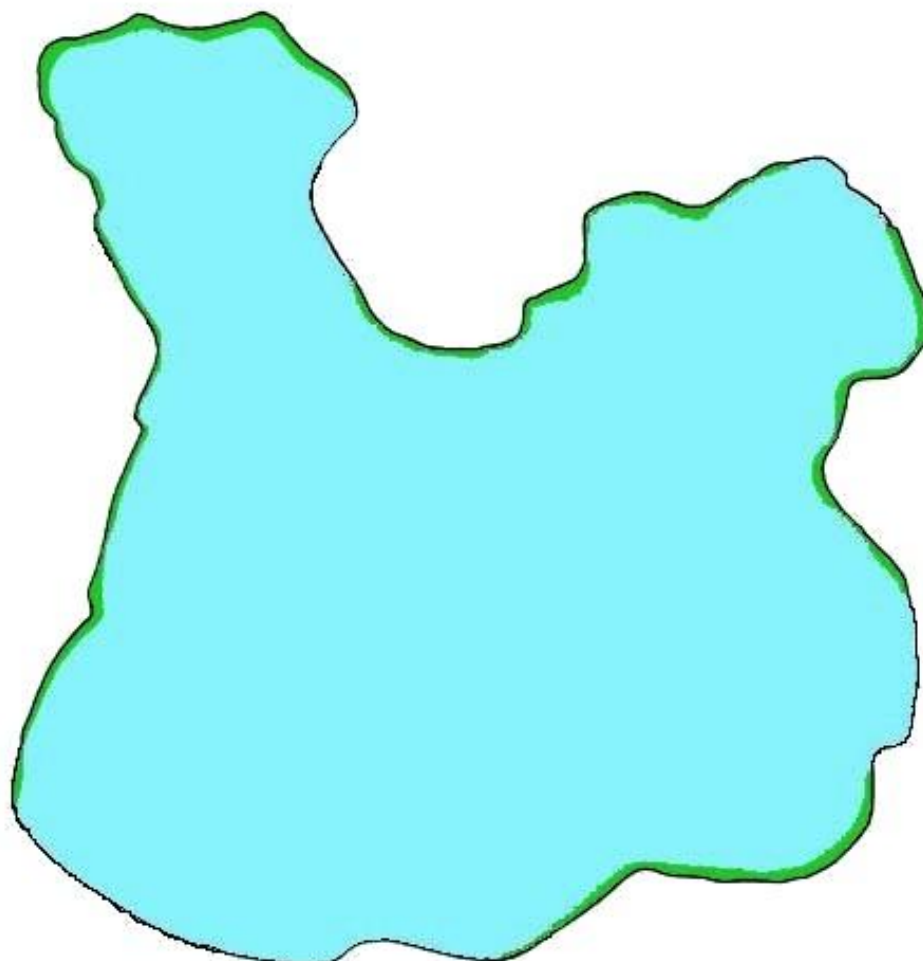
Ne sono derivate le carte in fig. 7.9 e 7.10, dalle quali si evince l'arretramento della vegetazione, quasi del tutto scomparsa in alcune zone, quali la costa

occidentale ed il ramo nord orientale. Rielaborando i dati delle due figure, si è ricavata la carta di fig. 7.11, in cui è sintetizzata l'evoluzione avvenuta, che ha visto la scomparsa di circa 20 ha di canneto.

E' chiaro che questa situazione incrementa gli impatti ambientali generati dal deflusso delle acque e dall'erosione del suolo agricolo, per la drastica riduzione delle fasce filtro fra il terreno emerso e l'acqua.

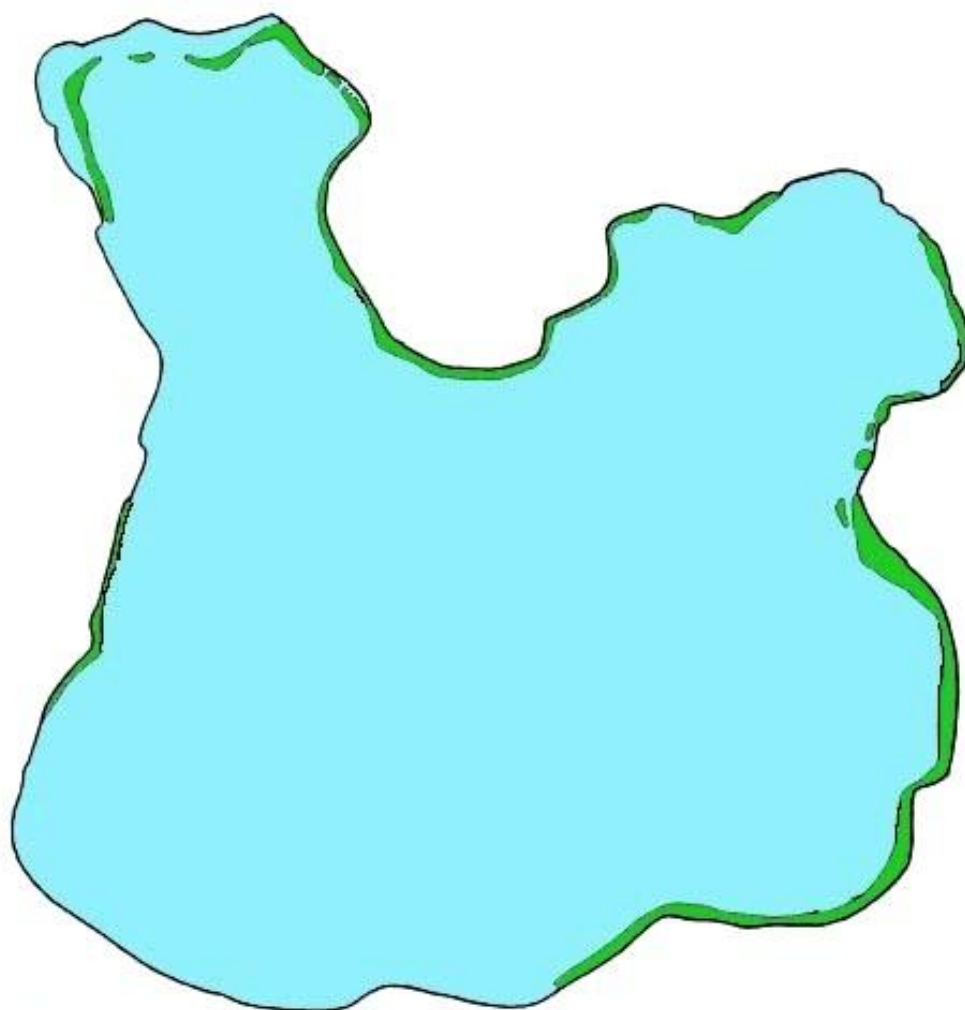
Ancora una volta, il sistema vicano denuncia una sinergia di eventi che ne rendono particolarmente delicato l'equilibrio e rendono indispensabile una serie di interventi integrati, frutto di attenta pianificazione.

Fig. 7.9: Vegetazione acquatica nel 1954.



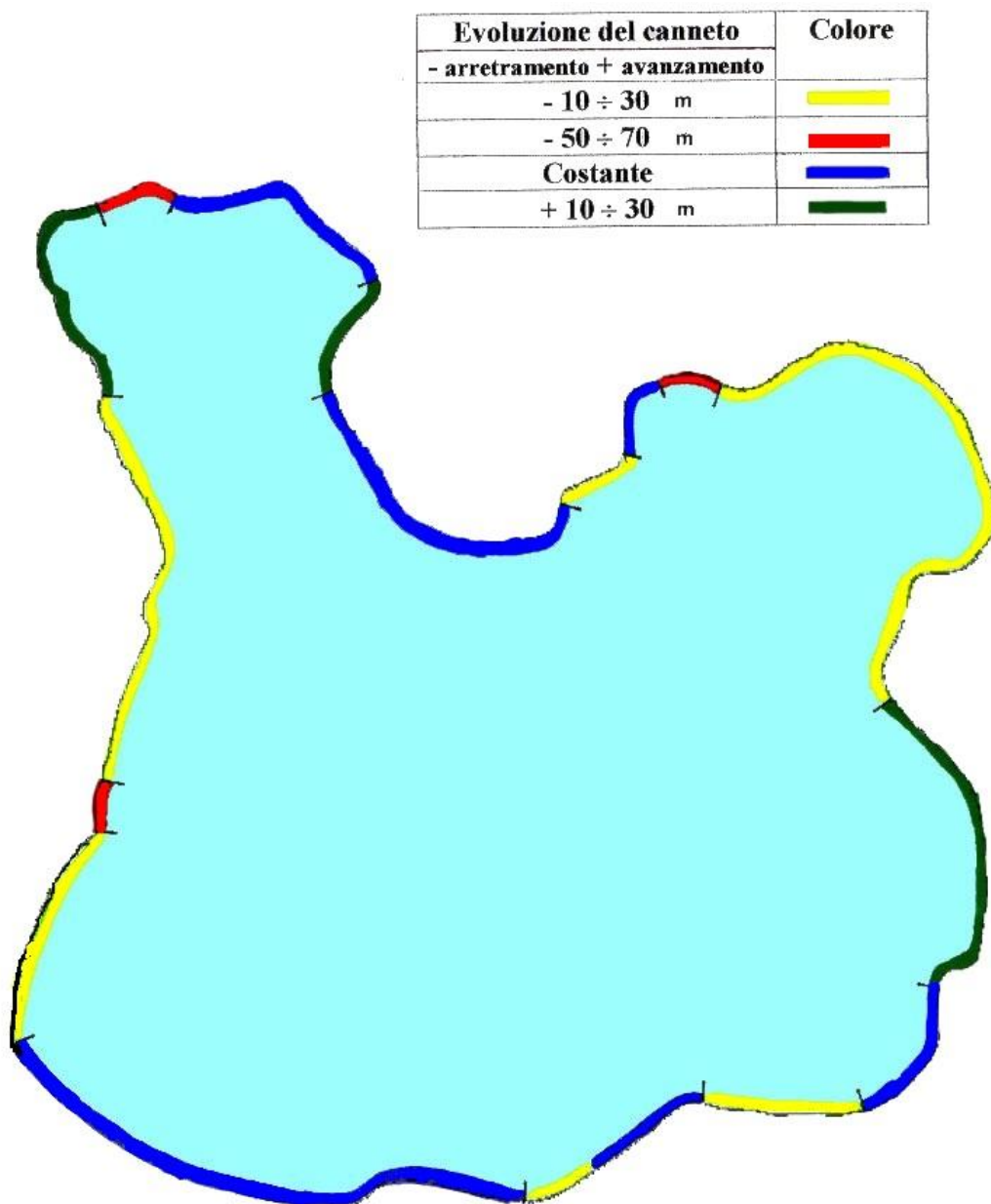
Canneto nel 1954

Fig. 7.10: Vegetazione acquatica nel 1994.



Canneto nel 1994

Fig. 7.11: Evoluzione del canneto fra il 1954 ed il 1994.



Dal punto di vista quantitativo, i risultati sono i seguenti:

- Area coperta dalla vegetazione acquatica nel 1954: 55 ha.
- Area coperta dalla vegetazione acquatica nel 1994: 36 ha.
- Perdita totale: 19 ha.

E' quindi importante valutare l'opportunità di ricostituzione di questa fondamentale componente del paesaggio.

8 – IL SISTEMA DI MONITORAGGIO

8.1 – Il territorio

Il bacino di Vico è stato attrezzato per la valutazione quantitativa dei carichi inquinanti provenienti dal territorio e diretti al lago. Tale lavoro, però, potrà fornire risultati significativi solo su tempi medio-lunghi, quando, cioè, sarà disponibile una serie adeguata di dati che, d'altro canto, dipendono dall'andamento meteorologico (*). Sono infatti noti i limiti della sperimentazione di campo nel particolare settore delle fonti diffuse di inquinamento, caratterizzate da estrema variabilità dei risultati, che rendono poco significativi i dati di pochi eventi idrologici. E' questo il motivo per cui sono indispensabili tempi lunghi di monitoraggio (Leone et al., 1996).

Un'idea di tale variabilità è possibile averla già dalle simulazioni modellistiche discusse al cap. 7 (si notino le deviazioni standard dei dati, sempre elevate). E' questo, d'altro canto, il motivo fondamentale per cui è indispensabile, per ottenere risultati in tempi tecnicamente accettabili, ricorrere ai modelli, anche in forma non calibrata, come è stato fatto con GLEAMS nell'ambito del presente studio, con l'ovvia, conseguente, cautela nella discussione dei risultati.

Di conseguenza, infatti, essi vanno utilizzati entro limiti precisi, non a scopo previsionale, ma per ottenerne indicazioni di prima approssimazione che orientino le scelte gestionali, effettuando, ad esempio, confronti tra pratiche di maggiore o minore impatto ambientale. E' chiaro che, col tempo, aumentando l'informazione derivante dal monitoraggio, può essere incrementata l'affidabilità dei risultati della simulazione, che solo allora assumerà anche un valore previsionale.

Le foto di fig. 8.1 ed 8.2 mostrano, comunque, la fondamentale importanza dei deflussi superficiali per l'assetto ecologico del lago. La prima testimonia quel che accade diffusamente sul territorio (bosco, noccioleti); la seconda quello che riguarda dapprima la rete idrografica e, quindi, il lago, recettore finale. Si nota, infatti, come si formino delle schiume (probabilmente costituite da sostanze organiche) già nella parte alta del bacino (fig. 8.1-A: bosco, 8.1-B: noccioleto) le quali raggiungono

(*) Ad esempio, nei mesi di ottobre e novembre (soprattutto quest'ultimo) 1998 le piogge sono state nettamente inferiori alla media storica.

dapprima i fossi e, quindi, il lago (fig. 8.2-A: fosso Scardenato, 8.2-B: sponde del lago, nei pressi della Bella Venere).

Fig. 8.1: Deflussi sulle principali componenti del paesaggio vicano.

A: BOSCO



B: NOCCIOLETO

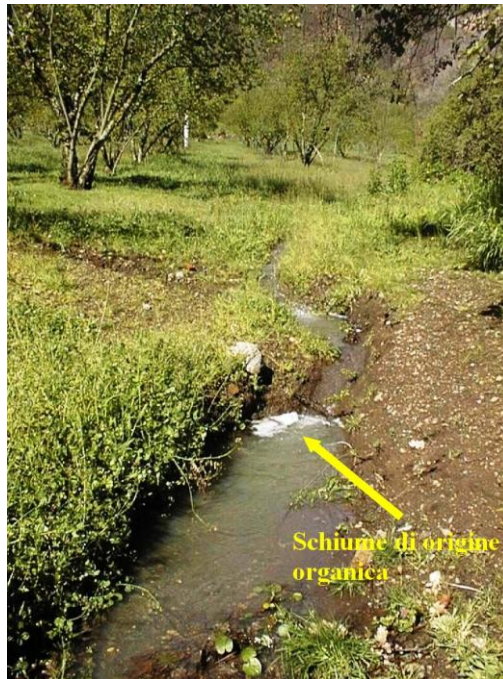
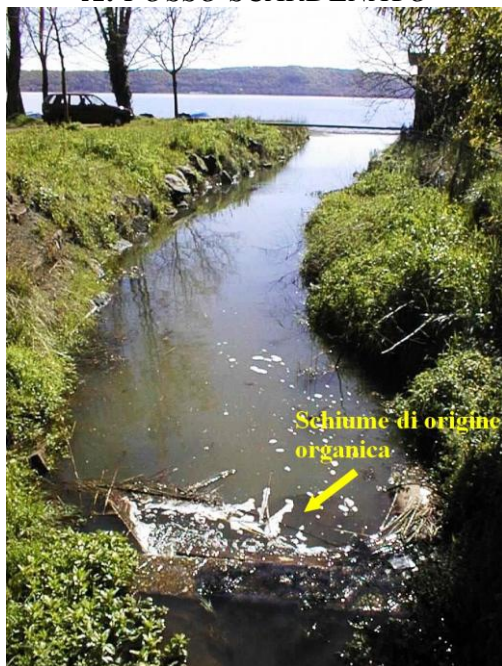
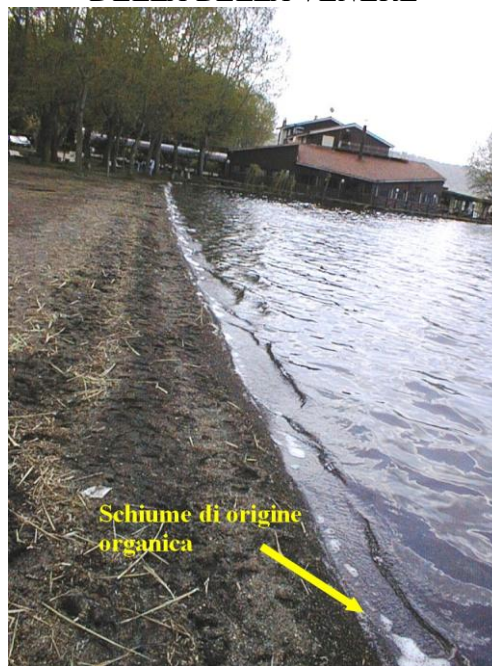


Fig. 8.2: I deflussi raggiungono il lago tramite il sistema idrografico.

A: FOSCO SCARDENATO



B: RIVA DEL LAGO NEI PRESSI DELLA BELLA VENERE



8.1.1 – Le apparecchiature di monitoraggio

Scopo del monitoraggio è quello di valutare la quantità di acqua e sedimento, con i relativi nutrienti e pesticidi, che sono convogliati al lago attraverso la rete idrografica. E' stato perciò scelto il bacino del fosso Scardenato (vedi par. 8.2), certamente il più rappresentativo, sia dal punto di vista idrografico che di uso del suolo.

Nel tratto terminale di questo corso d'acqua è stata ubicata la stazione di monitoraggio (fig. 8.3). Tale scelta esclude una parte del bacino, ma è sembrata la più opportuna per ragioni di sicurezza della strumentazione e di praticità delle misure.

Fig. 8.3: La stazione di monitoraggio sul fosso Scardenato.



Gli strumenti utilizzati sono (fig. 8.3):

- Un pluviografo della *EM (Environmental Measurements Ltd., USA)* tipo ARG 100, registratore in continuo della pioggia (strumento bianco nella fig. 8.3), collegato ad un lettore-acquisitore (*data logger*). La lettura viene effettuata ogni secondo mentre la memorizzazione ha un intervallo temporale di 5 minuti. La pioggia è quindi disponibile come valore di altezza cumulata (mm) nei 5 minuti. Le registrazioni hanno avuto inizio nel maggio 1998. Per riscontro e sicurezza

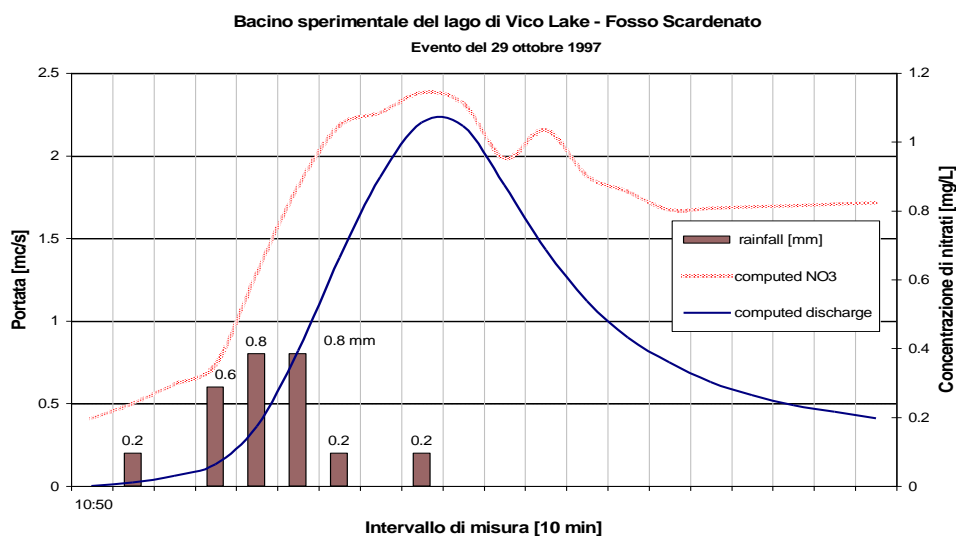
sulle misure effettuate, accanto al pluviografo è stato alloggiato un semplice pluviometro (apparecchio grigio nella fig. 8.3).

- Un misuratore di livello (trasduttore di pressione) della *mjkII automation* (USA), tipo 7062, alloggiato sul fondo del canale e collegato al *data logger*.
- Un campionatore automatico della ISCO (USA), tipo *3700 compact* (visibile in fig. 8.3, adagiato sul terreno), apparecchiatura integrata, costituita da una pompa che, quando il misuratore di livello avverte il sopraggiungere della piena, preleva un campione del deflusso ogni cinque minuti. Il prelievo effettuato è inviato, attraverso un braccio ruotante, ad una serie di 24 bottiglie immerse nel ghiaccio ed alloggiate in un contenitore coibentato, cosa che consente di mantenere i campioni pronti per le analisi di qualità dell'acqua defluita.
- Un data logger tipo *CR10* (si intravede in alto a destra nella fig. 8.3) della *Campbell Instruments* (USA), che acquisisce i dati dei due sensori (precipitazione e livello idrico) e comanda l'accensione del campionatore ISCO. Il comando di prelievo è impartito dal *data logger* quando acquisisce un livello idrico superiore ad 8 cm, lo stesso comando è inibito quando il livello scende a 3 cm. Esso è anche dotato di una sonda di temperatura dell'aria. Tutti questi dati sono immagazzinati nella memoria temporanea del *data logger* e possono essere acquisiti, in formato ASCII, da un computer portatile, tramite l'opportuno collegamento (cavo e software).
- Un misuratore di livello, velocità e portata idrica, del tipo *Mainstream II* (Scan Group Ltd., USA). Lo strumento (in alto a sinistra nella fig. 8.3) è costituito da una unità di acquisizione analogico-digitale del dato e due sensori per il rilievo del livello e della velocità dell'acqua. Essi generano segnali acustici a frequenza costante che, per effetto Doppler, subiscono variazioni causate dal moto dell'acqua; queste vengono elaborate dall'unità centrale per produrre un istogramma di velocità con il tempo. Il sistema calcola la portata come prodotto fra velocità media ed area bagnata; è stata perciò rilevata la geometria dell'alveo nella sezione del canale dove è alloggiato il sensore ed inserita nell'unità centrale. Quest'ultima memorizza le letture con scansione di 2 minuti ed i dati possono essere scaricati (in formato ASCII) tramite collegamento ad un elaboratore portatile. In pratica, con questo strumento si ha un secondo

misuratore di livello (diverso ed indipendente da quello descritto in precedenza) che viene utilizzato esclusivamente per le misure di portata e gli ovvi riscontri fra dati.

Le apparecchiature sono state acquistate, verificate ed installate fra il 1997 ed il 1998, poiché il periodo in cui verificano eventi significativi è generalmente compreso fra la fine di agosto ed il mese di dicembre, i dati più importanti si stanno ottenendo proprio in questo periodo (*), è quindi prematuro trarre conclusioni. Ad ogni modo, in fig. 8.4, si riporta il caso della pioggia del 29 ottobre 1997 che è stata utilizzata come input in un modello di previsione del destino ambientale dei nitrati, scaturito dalla collaborazione fra le Università della Tuscia, di Firenze e di Bologna (Rossi Pisa e Catizone, 1992; Preti, 1994 e 1995) in corso di validazione e taratura per la situazione del lago di Vico.

Fig. 8.4: Andamento delle piogge, portate e concentrazione di nitrati nel fosso Scardenato, evento del 29 ottobre 1997.

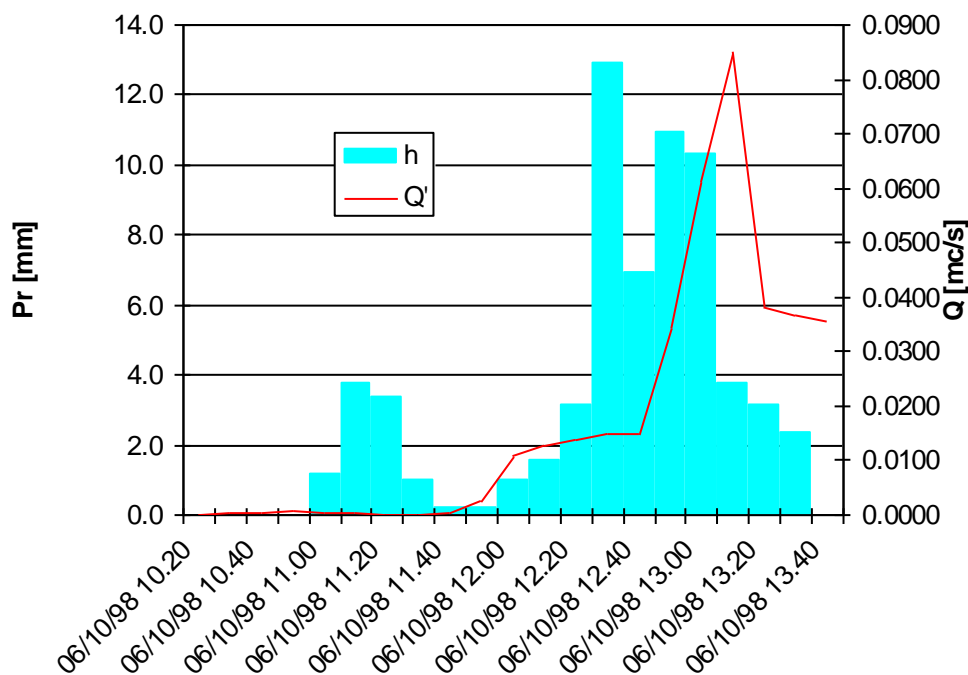


Questa applicazione è da considerarsi ancora semplicemente esemplificativa in quanto è necessaria la taratura idrologica, ovvero la corretta parametrizzazione dei meccanismi afflussi-deflussi, che può essere fatta solo dopo un congruo numero di

(*) Si ricorda che, comunque, occorrono più eventi per ottenere dati significativi e, quindi, questa fase della ricerca ha solo lo scopo di iniziare il monitoraggio per una futura informazione scientificamente adeguata.

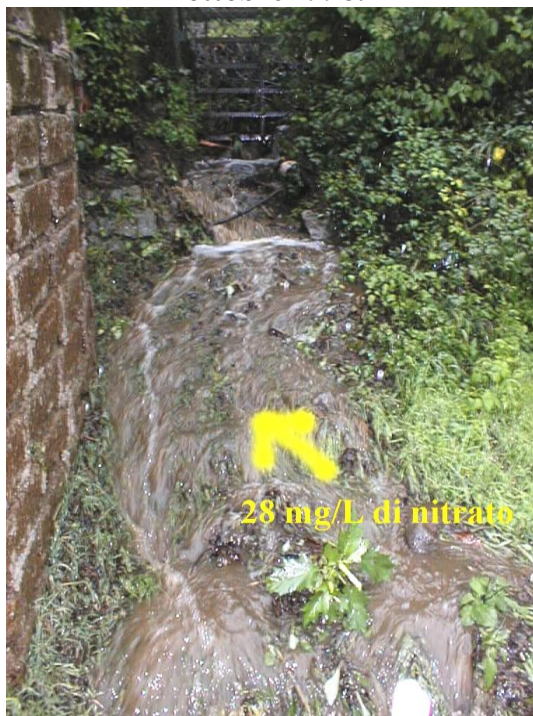
eventi. Purtroppo (da questo punto di vista), la stagione 1998 ha visto pochissimi eventi interessanti, il mese di novembre, ad esempio, normalmente il più pericoloso, quest'anno è stato molto siccitoso. L'unico evento interessante è rimasto quello del 6-7 ottobre che, d'altra parte, ha comportato grossi problemi erosivi e danni alla viabilità (vedi seconda foto in fig. 6.5). Sempre a puro titolo esemplificativo (un solo evento non è sufficiente per la taratura del modello), in fig. 8.5 si riporta la sintesi idrologica del fenomeno. Questa prima elaborazione è comunque importante per dimostrare il buon funzionamento del sistema di monitoraggio, considerata la congruenza fra i dati idrologici: piogge, portate e relativi tempi.

Fig. 8.5: Andamento di piogge e portate nella stazione sperimentale del fosso Scardenato, evento del 6 ottobre 1998.



Per quanto riguarda i nitrati, la foto di fig. 8.5 mostra comunque l'importanza dei deflussi dai noccioleti in cui sono stati più volte riscontrati dati dell'ordine di 30 µg/L di concentrazione.

Fig. 8.6: Deflusso da noccioleto (ex letto del fosso Valle Cupa), evento del 6 ottobre 1998.



8.2 – Il lago

Il monitoraggio relativo al corpo idrico è consistito nel rilievo batimetrico del fondale del lago di Vico ^(§). Un lavoro analogo è stato fatto esattamente trenta anni fa, fra l'aprile ed il giugno 1968 ad opera dell'Istituto Italiano di Idrobiologia (Barbanti et al., 1971).

La necessità di un nuovo rilievo è scaturita dal fatto che, poiché il lago è il recettore finale della notevole quantità di terra asportata dalle pendici, dopo trenta anni questa potesse essere sufficientemente abbondante per avere una buona stima del grado di interrimento della cuvetta lacustre. Inoltre, il rilievo del 1968 è ormai da considerarsi obsoleto per varie ragioni:

- esso presenta limiti cartografici, essendo stato redatto, giustamente, in scala 1:10000, ma la carta di base a maggiore scala all'epoca disponibile era la

^(§) Si ringrazia vivamente la Nautica Fiorò di Punta del Lago per la puntuale ed accurata assistenza prestata. Si ringraziano, inoltre, i dottori Antonio Del Re, Maurizio Rinaldi e Fabio Recanatesi per la collaborazione ai rilievi.

tavoletta 1:25000 dell'IGM. E' stato quindi necessario ingrandirla di 2,5 volte operazione che, con la tecnologia del 1968, ha probabilmente comportato qualche problema di deformazione e, quindi, di georeferenziazione della carta stessa, la cui lettura può portare ad errori di qualche centinaio di metri.

- La quota del lago è oggi sensibilmente superiore (circa 1,20 m), per necessità di regolazione ed uso della risorsa idrica. Per le modestissime pendenze delle sponde, ciò ha comportato una sensibile differenza delle dimensioni di area e perimetro del lago, dal 1968 ad oggi. Si è passati, infatti (vedi § 2.2) da 1208 ha a 1293 ha per l'area e da 16,9 a 18,14 km per il perimetro.
- Conseguenza di queste realtà sono le difficoltà nel riconoscimento dei punti del lago, già da tempo emerse in occasione degli studi ecologici (Franzoi, 1997, 2).
- Oggi si dispone di nuova cartografia di base, la carta tecnica regionale (1990), redatta direttamente in scala 1:10000 e provvista dell'opportuno sistema di coordinate geografiche (sistema chilometrico secondo la proiezione di Gauss-Boaga), che consente di superare i precedenti problemi.
- I sistemi odierni di individuazione della posizione geografica sono di gran lunga più affidabili e rapidi di quelli usati per il rilievo del 1968. Grazie alla tecnica GPS (*Global Position System*), infatti, è possibile una immediata e semplice determinazione del punto-barca quando si è sul lago per le misure di profondità e, inoltre, si possono raggiungere precisioni nettamente superiori (*).

Scopo essenziale del nuovo rilievo è comunque stato il confronto con la situazione del passato. Esso è stato eseguito fra luglio e settembre 1998 in quanto si è attesa una stagione meno ventosa, sia per ragioni di sicurezza che per impedire che le oscillazioni della barca potessero inficiare l'accuratezza della misura della profondità del fondale.

Essa è stata infatti eseguita con un ecoscandaglio della *Lawrance Electronics Inc.* (USA), tipo X-85. Come è noto, questa apparecchiatura sfrutta l'eco di un segnale inviato da un proprio sensore, appoggiato sulla superficie dell'acqua, che genera impulsi elettrici, trasformati in sonori. Gli obiettivi (fondale del lago nel caso specifico) che si trovano entro l'angolo di apertura del fascio di onde sonore,

(*) Ciò è stato confermato da uno degli autori del rilievo del 1968, appositamente contattato (Libera, 1998).

riflettono una parte dell'energia verso il punto di emissione, dove vengono riconvertiti in onde elettriche ed amplificati. La profondità è misurata sulla base del ritardo rispetto all'istante di emissione.

Per questo motivo, l'eccessiva oscillazione può provocare un percorso non verticale del segnale e, quindi, fornire una profondità maggiore della reale. Questa eventualità è comunque limitata dal fatto che, oltre un certo limite di inclinazione, il segnale viene perso e, quindi, manca del tutto la misura; è stata, inoltre, utilizzata, come guida, la vecchia batimetria, che ha consentito di disporre sempre dei necessari ordini di grandezza delle profondità lette.

Poiché la propagazione dell'onda sonora in acqua dipende dalla temperatura, ad ogni uscita è stata verificata la curva di taratura profondità-temperatura, attraverso il confronto fra dato dell'ecoscandaglio e la misura della profondità con un peso e la rollina metrica.

La posizione geografica al momento della misura di profondità è stata rilevata con una coppia di ricevitori GPS *Lawrance Global Nav 200*, in cui l'errore di disponibilità selettiva è stato eliminato tramite la doppia lettura eseguita, in contemporanea, sul lago e su un punto base, realizzato presso l'Istituto di Genio Rurale dell'Università della Tuscia. La distanza fra quest'ultimo ed il lago è, in linea d'aria, compresa fra circa 15 ed 18 km e, quindi, può essere ritenuta breve, con il significato che si attribuisce a tale aggettivo nelle tecniche di rilievo GPS.

In pratica, si è realizzato un software di comunicazione fra il ricevitore ed un computer portatile, ove sono stati registrati tutti i dati GPS (punto geografico ed ora), sia del lago (punto mobile) che della base (punto fisso). Essendo note le coordinate di quest'ultima, la registrazione in continuo del dato GPS su di essa ha consentito di estrapolare, per semplice differenza, l'errore di disponibilità selettiva in quel determinato istante e, quindi, correggere, di volta in volta, il dato contemporaneo ottenuto sul lago.

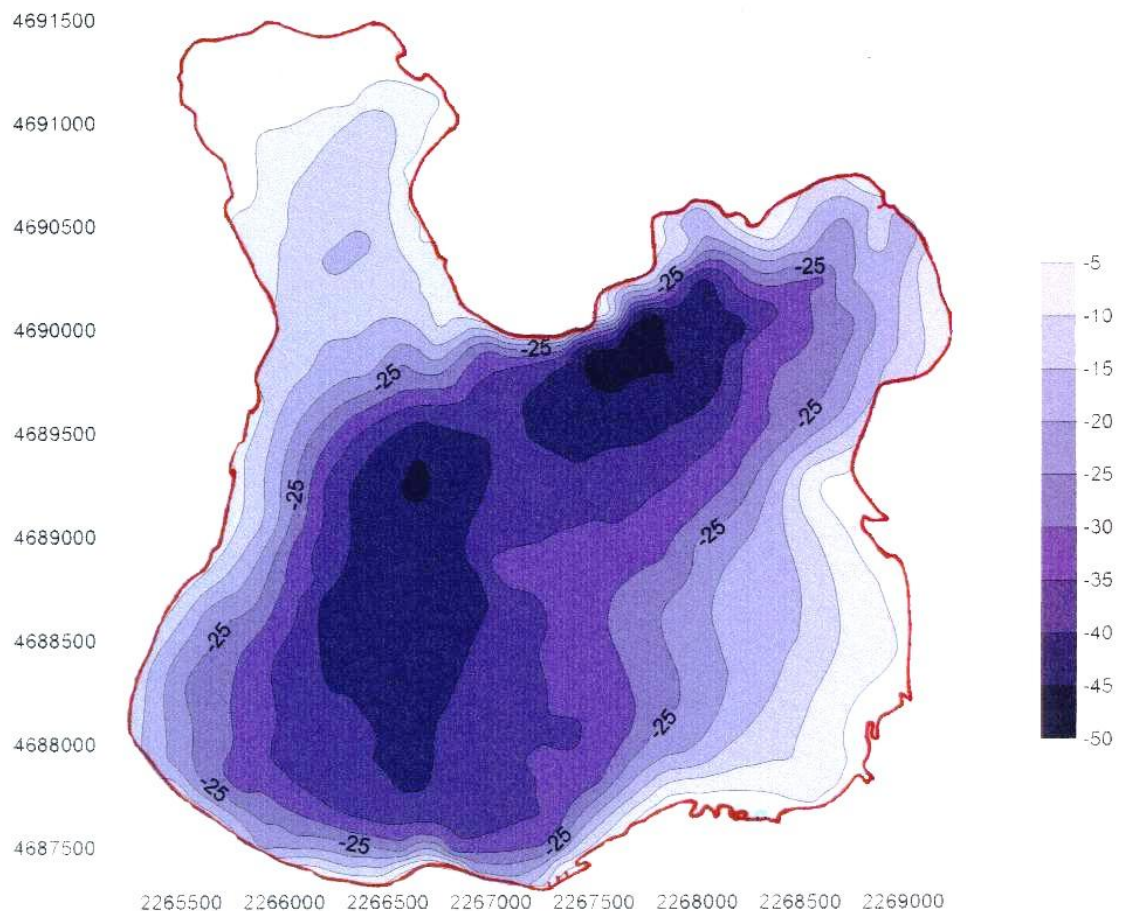
Ciò ha consentito di contenere l'errore di posizione entro 20-30 m al massimo, da considerarsi più che accettabile sia per la scala di lavoro (1:10000, nella quale l'errore è al massimo di 2-3 mm) che per la finalità dello stesso (confronto fra batimetrie).

Le misure sono state effettuate in coordinate chilometriche, secondo la proiezione Universale Trasversa di Mercatore (UTM).

In totale sono stati rilevati 400 punti, corrispondenti ad una densità media di rilievo di circa 1 punto ogni 30000 m², a sua volta corrispondente ad una griglia quadrata 175 m di lato. Ovviamente questo è un valore medio in quanto il rilievo dei punti è stato infittito dove la morfologia del fondale si è rivelata più articolata e diversa dalla situazione del 1968 (sui due rami, soprattutto quello orientale), mentre è stato meno dettagliato al centro del lago, dove si hanno profondità piuttosto uniformi e praticamente identiche a quelle del passato.

I risultati del rilievo sono riportati nella fig. 8.7. Nel prosieguo della ricerca sarà realizzata una mappa in scala 1:10000, con le batimetriche opportunamente inserite nella carta tecnica regionale.

Fig. 8.7: Carta batimetrica del lago di Vico, anno 1998.



CONCLUSIONI

Il lavoro eseguito ha avuto le seguenti fasi:

1. Analisi globale del carico delle attività antropiche nel bacino del lago e conseguente focalizzazione dell'importanza delle fonti diffuse di nutrienti (fosfati e nitrati) sull'evoluzione trofica del corpo idrico.

Ne è conseguita la convinzione di una precisa coincidenza, in una sinergia tipica della gran parte delle problematiche ambientali, fra rischio di eutrofizzazione del lago e rischio di erosione del suolo.

2. Studio dell'evoluzione, negli ultimi 50 anni, dell'uso del suolo e del conseguente rischio erosivo.

Ne è conseguita la realizzazione di un sistema informativo territoriale, progettato per questo specifico obiettivo e basato sull'uso del GIS IDRISI. Si è quindi proceduto all'acquisizione ed integrazione dell'informazione esistente (carte topografiche, dei suoli, della vegetazione, monitoraggio climatico) ed alla zonazione del paesaggio attraverso l'applicazione di un modello di valutazione dell'erosione idrica accelerata (equazione USLE), applicata a scala di bacino, per vari scenari: agricoltura tradizionale (anni '50), passaggio a sistemi intensivi (anni '70), adozione di tecniche di tutela (anni '90: inerbimento controllato, adesione al regolamento CEE 2078/92).

3. Individuazione di varie categorie di interventi, tutte sinergicamente concorrenti alla mobilitazione dei nutrienti (ma anche pesticidi) e, quindi, da affrontarsi in modo olistico, secondo la moderna concezione della pianificazione territoriale:

3 – A) Interventi di carattere diffuso, “a scala di campo”, con l'obiettivo della conservazione del suolo e la regimazione delle acque.

Questi sono stati analizzati attraverso l'uso di GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Practices), un sofisticato modello “manageriale”, che quantifica gli impatti ambientali, conseguenza delle scelte di gestione del territorio agricolo. Le indicazioni ottenute sono:

- a) *data la sensibilità ambientale del sistema, anche scenari a basso impatto ambientale (agricoltura estensiva) hanno un rilievo nell'arricchimento trofico del lago, ad indicare che, comunque, questa è la sua evoluzione, che deve essere rallentata quando la causa è antropica, ma è velleitario pensare di fermare drasticamente.*
- b) *Nell'ottica del suddetto rallentamento dell'evoluzione trofica del lago, sarebbe indispensabile la completa adesione delle coltivazioni del nocciolo al regolamento CEE 2078/92, anche se, comunque, anch'esso può presentare problemi, se le colture si spingono a pendenze elevate.*

- c) *La pendenza è infatti, senza dubbio, il fattore naturale limitante dell'uso del territorio agricolo. Le simulazioni modellistiche aiutano ad individuare nell'8% il limite più ragionevole oltre il quale adottare drastiche tecniche conservative del suolo e di regimazione della acque.*
- d) *Le simulazioni modellistiche mostrano pure come i pesticidi, soprattutto i diserbanti, presentano una suscettibilità alla mobilizzazione idrologica sensibilmente diversa per cui è immediata conseguenza la necessità, ad esempio, di scoraggiare l'uso del Glyphosate, di impatto ambientale nettamente maggiore rispetto all'alternativo Glufosinate.*
- e) *Il bosco può essere importante sede di deflussi idrici e produzione di sedimento, sia per cause naturali (modesto soprassuolo ed ubicazione in porzioni del territorio morfologicamente ad alta vulnerabilità erosiva) che per il drenaggio del deflusso ipodermico operato dalle strade e dalle soluzioni di continuità del pendio.*

3 – B) Interventi di carattere strutturale. *Devono essere indirizzati al controllo di quegli elementi lineari del paesaggio che accentuano il trasporto dei nutrienti o possono esercitare un'azione di filtro. Essi sono:*

- *le strade, soprattutto i sentieri forestali, per la loro influenza sulla rete idrografica naturale ed il drenaggio del deflusso ipodermico.*
- *La rete idrografica, in stadio evolutivo modesto e, quindi, naturalmente vocata all'erosione.*
- *La vegetazione ripariale del lago, zona di transizione fra il bacino emerso ed il corpo idrico, per il suo effetto di filtro dei deflussi superficiali.*

Emerge, in sintesi, l'indispensabile necessità di integrazione di questi interventi in quanto la particolare sensibilità ambientale, per il bacino del lago di Vico più che in altri ambiti, fa sì che ogni progetto settoriale, se privo della necessaria globalità e coordinazione, sarà destinato a fallire.

E' urgente, per questi motivi, una autentica pianificazione, supportata da un elevato contenuto scientifico, ma, soprattutto, sufficientemente elastica per poter essere di volta in volta indirizzata dalle sempre più dettagliate conoscenze offerte dal monitoraggio. Se questo è vero in generale, lo è ancor più in un ambiente complesso e particolarmente sensibile quale il bacino del lago di Vico.

Viterbo, 3 dicembre 1998



Prof. Ing. Antonio Leone

Hanno collaborato allo studio:

- **Dr. ing. Federico Preti**, ricercatore presso l'Istituto di Genio Rurale dell'Università della Tuscia, per quel che concerne il monitoraggio idrologico (cap. 8).
- **Dr. agr. Maria Nicolina Ripa**, tecnico laureato presso lo stesso Istituto, per gli aspetti cartografici e pedologici (capp. 4, 5 e 6).

Ringraziamenti

L'autore desidera ringraziare:

- L'Assessorato Ambiente, Settore Tutela del Suolo, dell'Amministrazione Provinciale di Viterbo.
- La Riserva Naturale Regionale Lago di Vico.
- Dr. agr. Vitantonio Del Re e la Nautica Fiorò di Ronciglione (Viterbo) per la collaborazione ai rilievi batimetrici.
- Dr. agr. Renzo Canonico, dr. agr. Maurizio Rinaldi e dr. for. Fabio Recanatesi per i rilievi effettuati nell'ambito delle proprie tesi di laurea presso la Facoltà di Agraria dell'Università della Tuscia.
- Dr. agr. Giacomo Branca per i rilievi effettuati nell'ambito delle propria tesi di dottorato di ricerca presso il Dipartimento DEAR dell'Università della Tuscia.
- Dr.ssa for. Giulia Benigni e dr. amb. Fabrizio Cannizzaro per la collaborazione generale.
- Il personale dell'Istituto di Genio Rurale dell'Università della Tuscia: i sigg. Franco Orlandini e Giuliano Cipollari per la realizzazione delle strutture di alloggiamento dell'apparecchiatura di monitoraggio; i sigg. Francesco Colopardi, Nicola Goffredo, Paola Marziali e Roberto Rapiti per la collaborazione nell'ambito delle rispettive competenze.

Bibliografia

- ANTINELLI A., A. LEONE (1991), Confronto di alcune tecniche di corilicoltura in termini di conservazione del suolo, *L'Informatore Agrario*, **XLVII** (30):57-60.
- BAKER D. B. (1985), Regional water quality impacts of intensive row-crop agriculture: A Lake Erie Basin case study, *Jour. of Soil and Water Cons.*, **1**:125-132.
- BANNERMAN R. T., D. E. ARMSTRONG, R. F. HARRIS, C. C. HOLDREN (1975), Phosphorus release and uptake from Lake Ontario sediments. *Ecol. Res. Serv. U.S.-EPA 660/3-750-066*, Washington.
- BARBAGALLO S., G.L. CIRELLI, D. GIALLOMBARDO, G. MAZZOLA, A. NICITA (1997), Il rilievo batimetrico dei serbatoi con GPS ed ecoscandaglio, VI Convegno Nazionale d'Ingegneria Agraria, Ancona 11-12 settembre 1997.
- BARBANTI A., A. CAROLLO (1969), Carta batimetrica e note geomorfologiche del bacino del lago di Vico, *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, Pallanza, **5**:117-139.
- BARBANTI L., G. BONOMI, A. CAROLLO, G. CHIAUDANI, I. FERRARI, M. GERLETTI, A.M. NOCENTINI, D. RUGGIU, L. TONOLLI (1971), Limnologia ed ecologia dei laghi di Bolsena, Bracciano, Trasimeno e Vico: situazione attuale e prevedibili conseguenze derivanti da una loro utilizzazione multipla. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, Pallanza (NO).
- BARBER S.A. (1984), *Soil nutrient bioavailability* J. Wiley & Sons, N. York.
- BECCHI I., E. CAPORALI, F. CASTELLI, C. LUBELLO, F. PRETI, D. SETTESOLDI, (1995), "Distributed Geographic Information for nonpoint pollution modelling at high space-time resolution", *Proceedings of Bouyoucos Conference Applications of GIS to the modelling of non-point source pollutants in the vadose zone*, 1-3 may 1995, River Side, Mission Inn, pp. 127-141.
- BIONDI P., A. GUSMAN, L. MILIGI (1988), La richiesta di energia nel nocciolo specializzato, *Genio Rurale* (2):39-46.
- BLASI C., SCOPPOLA A., G. ABBATE, L. MICHETTI, E. SCAGLIUSI, E. KUZMINSKY, F. ANTINORI (1989), Carta della vegetazione del lago di Vico, Regione Lazio, Università di Roma La Sapienza.
- BRANCA G. (1998), Agriculture and cost-effective control of environmental risk: phosphorus use and the threat of eutrophication in Lake Vico, Italy, *Tesi di dottorato di ricerca in Economia Agraria*, in corso di stampa.
- CANONICO R. (1996), Cartografia ambientale per la valutazione del rischio erosivo: il caso del lago di Vico. *Tesi di laurea in Scienze Agrarie*, Università della Tuscia di Viterbo.
- CANTER L. W. (1986), *Environmental Impacts of Agricultural Production Activities*, Lewis Pub., Michigan, USA.
- CARBONE F. (1991), La valutazione economica delle esternalità ambientali: il caso del paesaggio forestale della Riserva Naturale parziale del lago di Vico, *Tesi di laurea*, Università della Tuscia.
- CHESTERS G., SCHIEROW L.J. (1985), A Primer on Nonpoint Pollution, *Journal of Soil and Water Conservation*, **1**:9-13.
- CHISCI G., C. ZANCHI (1994), Aspetti agronomici della conservazione dei suoli in pendio: coperture vegetali e sistemi colturali, *Rivista di Agronomia*, **28** (4):297-319.
- CICCACCI S., L. D'ALESSANDRO, P. FREDI, E. LUPIA PALMIERI (1988), Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa allo studio dei processi di denudazione nel bacino idrografico del torrente Paglia (Toscana meridionale-Lazio settentrionale), *suppl. di Geografia Fisica e Din. Quantitativa*, **1**:171-188.
- COOK K. (1982), Soil loss: a question of values, *Jour. of Soil and Water Cons.*, **2**:89-92.
- DESMET P.J.J., G. GOVERS (1996), A GIS procedure for automatically calculating the USLE L-S factor on topographically complex landscape units, *Journal of Soil and Water Conservation*, **51** (5):427-431.
- DILLON P.J., W. B. KIRCHNER (1975), The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watersheds, *Water Research*, **9**:135-148.
- DYER M. (1995), The water quality of Lago di Vico during 1992-93, *Riserva Naturale del lago di Vico*, 11 pp.

- FAO (1979), Watershed development with special reference to soil and water conservation, FAO Soils Bull. n. 44, Roma.
- FRANZIN F., M. MUNI, M. ZAMBORLINI (1990), Indagine su un campione di terreni di buona produttività, II: Dotazioni di fosforo assimilabile, potassio scambiabile e valori della capacità di scambio cationico, *Agricoltura Ricerca*, **115**: 11-16.
- FRANZOI P. (1997, 1), Ricerche sull'ecologia dell'ittiofauna del lago di Vico, Relazione finale sull'attività svolta, Università della Tuscia, Dipartimento di Scienze Ambientali.
- FRANZOI P. (1997, 2), Comunicazione personale.
- GELOSI E., M. BAZZANTI, P. COLOMBARI, O. FERRARA, L. MASTRANTUONO, G. NICOTRA, M. SEMINARA (1985), Physico-chemical and biological characteristics of Lake Vico (Central Italy), preliminary results, International Symposium on Environmental Biogeochemistry, Viterbo, settembre 1985.
- HAMILTON L. S. (1992), The Protective Role of Mountain Forests, *GeoJournal*, **27** (1):13-22.
- HAYCOCK N.E., MUSCUTT A.D. (1995), Landscape management strategies for the control of diffuse pollution, *Landscape and Urban Planning*, 31:313-321.
- Istituto Di Ricerca Sulle Acque (1980), Indagine sulle acque lacustri italiane, Quaderni IRSA-CNR, n.43.
- KNISEL W.G. (Ed.) (1980), CREAMS: Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems, USDA.
- LEONARD R.A., W.G. KNISEL, D.A. STILL (1987), GLEAMS: Ground Water Loading Effects of Agricultural Management Systems, *Transaction of ASAE*, 30 (5): 1403-1418.
- LEONE A. (1989), Valutazione della pressione antropica sul bacino del lago di Vico (Viterbo), *Rivista di Ingegneria Agraria*, **4**: 210-218.
- LEONE A., M. PICA (1993), Caratteristiche dinamiche e simulazione delle piogge, parte II: procedure di prova e proposta di un simulatore, *Rivista di Ingegneria Agraria*, **3**:176-183.
- LEONE A., R. MARINI (1993), Assessment and Mitigation of the Effects of Land Use in a Lake Basin (Lake Vico in Central Italy), *Journal of Environmental Management*, **39**:39-50.
- LEONE A. (1996), Appunti dalle lezioni di Assetto del Territorio Agricolo e Forestale, Università della Tuscia, Facoltà di Agraria.
- LEONE A., M. GARNIER, A. LO PORTO R. MARINI (1996), L'inquinamento da fonti diffuse di origine agricola: analisi critica delle metodologie di valutazione e controllo, *Acqua-Aria*, **5**:511-518.
- LEONE A., F. PRETI, M.N. RIPA (1997), Pianificazione per processi territoriali, monitoraggio e modellistica ambientale per l'agricoltura sostenibile", AIIA, VI Convegno nazionale di ingegneria agraria, Ancona, 11-12 settembre 1997.
- LIBERA (1998), Comunicazione personale.
- LULLI L., D. BIDINI, P. LORENZONI, P. QUANTIN, M. RAGLIONE (a cura di, 1990), I suoli caposaldo dell'apparato vulcanico di Vico, Istituto sperimentale per la difesa del suolo, Firenze.
- MARCHETTI R. (1989), L'eutrofizzazione: un processo degradativo delle acque, Franco Angeli Editore, Milano.
- NOVOTNY V. (1997), "Diffuse Pollution from Agriculture – Worldwide Outlook", paper presented at the Workshop on "Integrated Management of Water Quality – The Role of the Agricultural Diffuse Pollution Sources, University of Padova, May 11-16, 1997.
- O.E.C.D. (1982), Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control, Organization for Economic Cooperation and Development, Parigi.
- PAGNOTTA R., T. LA NOCE, M. PETTINE, A. PUDDU (1986), I laghi dell'Italia Centrale: classificazione trofica ed analisi dei fattori che la influenzano, *Atti del 7° Congresso A.I.O.L.*, Trieste 11-14 sett. 1986:385-395.
- PRETI F. (1994), "Field Studies and Automatic Monitoring Systems for Testing Agricultural Nonpoint Pollution Models", in *Proceedings of XII C:I:G:R: World Congress on Agricultural Engineering and AgEng '94 Conference on Agricultural Engineering*, 198-205.
- PRETI F. (1995), Main topics and recent experiences for environmental monitoring and modelling diffuse pollution", *Water Science & Technology*, 33, 4-5, 1996.
- PROVINI et al. (1978), Metodi e problemi per la valutazione dei carichi di nutrienti, *Atti del Convegno su: "L'eutrofizzazione in Italia"*, Roma 3-4 ottobre.

- RECKHOW K. H., M. N. BEAULAC, J. T. SIMPSON (1980), Modeling Phosphorus Loading and Lake Response under Uncertainty: a Manual and Compilation of Export Coefficients. U.S. EPA, PB89-209001.
- RINALDI M. (1997), Esperienze preliminari per un sistema informativo territoriale finalizzato al controllo dell'evoluzione trofica del lago di Vico. Tesi di laurea in Scienze Agrarie, Università degli Studi della Tuscia di Viterbo.
- RINALDO A., MARANI A&A. (1987), "Basins Scale Model of Solute Transport", Water Resources Research, vol.23, n. 11, november 1987, pp. 2107-2118.
- ROSSI PISA P., CATIZONE P&P. (1992), "Measuring Nitrogen and Pesticide Losses in Runoff from Arable Systems: an Automated Equipment". Proceedings Workshop "Nitrogen cycling and leaching in cool and wet regions of Europe", 22-23 october 1992, Gembloux, Belgium.
- SHARPLEY A. N., R. G. MENZEL (1987), The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment, Advances in Agronomy, **41**:297-324.
- SHARPLEY A. N. et al. (1992), The Transport of Bioavailable Phosphorus in Agricultural Runoff, Journal of Environmental Quality, **21**:30-35.
- SHARPLEY A. N. et al. (1994), Managing Agricultural Phosphorus for Protection of Surface Waters: Issues and Options, Journal of Environmental Quality, **23**:437-451.
- SIBI A. (1998), Caratteristiche idrogeologiche e modellizzazione del lago di Vico (VT). Tesi di laurea in Scienze Geologiche, Università degli Studi di Perugia.
- SIMMI F. (1992), Aspetti di tutela e gestione della Riserva Naturale Regionale del Lago di Vico, in: "L'ambiente della Tuscia Laziale" (a cura di M. Olmi e M. Zapparoli), Università della Tuscia, pag. 61-67.
- VIGHI M., G. CHIAUDANI (1985), A simple method to estimate phosphorus concentrations resulting from natural background loadings, Water Research, (19):987-991.
- VIGON B. W. (1985), The Status of Non-point Sources Pollution: Its Nature, Extent and Control, Water Resources Bulletin, **21**(2):179-184.
- VOLLENWEIDER R. A. (1976), Advances in defining loading levels phosphorus in lake eutrophication, Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia, **33**:53-83.
- WISCHMEIER W. D., D. D. SMITH (1978), Predicting Rainfall Erosion Losses, a guide to conservation planning, USDA Agricultural Handbook No. 278, Washington, USA.
- YORK D., J. SPEAKMAN (1980), Water Quality Impacts Analysis, in "Environmental Impact Analysis Handbook", G. J. Rau e D. C. Wooten Eds, McGraw-Hill, cap. 6.
- ZINGALES F., G. BENDORICCHIO, A. CONSALTER, A. MARANI & A. RINALDO (1990), "Indagini sperimentali e teoriche sui rilasci dei fertilizzanti chimici da terreni agricoli" ESA V volume "Fertilizzanti, rapporto finale", 19-91.

**AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE - UNIVERSITÀ DELLA TUSCIA
VITERBO**

Maggio 2000



ASSESSORATO AMBIENTE
SETTORE TUTELA DEL SUOLO



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
Tuscia

FACOLTÀ DI AGRARIA
ISTITUTO DI GENIO RURALE

Prof. Ing. Antonio Leone

Assetto territoriale del bacino del lago di Vico

e tutela del corpo idrico

Relazione sull'attività del 2° anno (1999)

INDICE

Introduzione

Cap. 9 – Monitoraggio dei nutrienti di origine diffusa nel bacino di Vico

9.1 – Il monitoraggio

9.1.1 – Monitoraggio a scala di bacino

- **Monitoraggio del territorio agricolo**
- **Monitoraggio del territorio forestale**
- **Gli eventi registrati nel bacino sperimentale**
- **Eventi registrati nelle altre stazioni**
- **Il monitoraggio dei corpi idrici sotterranei**
- **Il carico interno di fosforo**

Cap. 3 – Batimetria del lago

3.1 – Analisi dell'errore del sistema GPS usato

3.2 – Carta batimetrica

Cap. 4 – Conclusioni

PREMESSA

Già da alcuni anni presso l'Istituto di Genio Rurale dell'Università della Tuscia sono state avviate ricerche relative al bacino del lago di Vico (Leone, 1989). Questo territorio, infatti, per dimensione e tipologia delle problematiche, è stato considerato come un vero e proprio laboratorio naturale di analisi dell'interazione fra attività agricole ed ambiente, nel caso specifico rappresentato da un lago di particolare sensibilità all'azione antropica.

Obiettivo finale di questi studi, per i quali il lago di Vico è un laboratorio ideale anche per la successiva generalizzazione delle esperienze, è la definizione pragmatica e realistica di sviluppo sostenibile, termine oggi divenuto di moda e, per questo, spesso abusato nelle dichiarazioni di intenti, ma poco applicato nella pratica quotidiana.

Per questi motivi, nell'agosto del 1996, è stato proposto il finanziamento dello studio in questione all'Assessorato Ambiente, Ecologia, Studi e Programmazione della Provincia di Viterbo, nell'ambito della Convenzione Quadro istituita tra questo Ente e l'Università della Tuscia.

La proposta è stata ritenuta valida ed ha dato luogo alla stipula di una convenzione tra le suddette Istituzioni per l'espletamento dell'indagine scientifica in epigrafe.

La relazione sull'attività è stata consegnata nel novembre 1998 ed i risultati sono stati illustrati nella conferenza del 10 dicembre 1998, nella sede dell'Amministrazione Provinciale di Viterbo.

Nello stesso mese, l'Assessorato all'Ambiente ha contribuito al prosieguo dell'attività di monitoraggio del ciclo di nutrienti alla scala di bacino.

La presente relazione illustra i risultati di questa seconda parte dello studio, fornendo tutti i dati raccolti nel corso del periodo dicembre 1998- dicembre 1999 (compresi).

INTRODUZIONE

Per un migliore inquadramento del problema trattato, è utile sintetizzare il lavoro svolto inizialmente e riprenderne le conclusioni, cui si rimanda (vedi pagg.119-120).

Scopo di questo secondo anno di lavoro è stato il prosieguo del monitoraggio, a scala di bacino e di campo, dei nutrienti e del suolo eroso. E' stata analizzata la mobilitazione di nitrati e fosfati dai seguenti elementi del paesaggio:

- 1) la rete idrografica superficiale (monitoraggio a scala di bacino);
- 2) il territorio agricolo;
- 3) il territorio forestale;
- 4) i corpi idrici sotterranei;
- 5) il fondale del lago.

Questi elementi, insieme, costituiscono i carichi di nutrienti di origine diffusa e servono a interpretare l'incremento delle concentrazioni dei nutrienti nel corpo idrico degli ultimi anni. Le prime quattro voci sono da ascrivere ai cosiddetti carichi esterni, provenendo dal bacino del lago; la quinta costituisce, invece, il carico interno, essendo prodotto dal fosforo liberato dai sedimenti del fondo del lago.

E' utile ricordare che, nel frattempo, la gestione delle risorse idriche è stata profondamente riformata dal nuovo testo unico sulle acque (Decreto Legislativo del 11-5-1999 n.152: *“Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati provenienti da fonti agricole”*). Esso si spinge molto nel dettaglio nelle prescrizioni tecniche (vedi i vari allegati), riprendendo, in pratica, proprio l'approccio seguito nello studio del 1998 come, ad esempio, per la stima indiretta del carico di fosforo (vedi il cap.3 della relazione 1998). Inoltre che, proprio a seguito della ricerca sin qui condotta, il bacino del lago di Vico è stato selezionato tra i siti sperimentali relativi ad un nuovo progetto della Comunità Europea (nell'ambito del V° Programma Quadro sull'ambiente), appena approvato e finanziato dalla CE e di cui il sottoscritto prof. Leone è coordinatore delle Unità Operative italiane, costituite da ricercatori dell'Università della Tuscia e dell'Istituto di Ricerca Sulle Acque del CNR (IRSA-CNR).

CAP.9 – MONITORAGGIO DEI NUTRIENTI DI ORIGINE DIFFUSA NEL BACINO DI VICO

9.1 – Il monitoraggio

9.1.1 Monitoraggio a scala di bacino

Riguarda un sottobacino del lago, relativo al fosso Scardenato, sito nella zona NE del bacino del lago (fig. 7.5 della prima relazione), rappresentativo dell'assetto territoriale dell'intero bacino del lago. Vi sono infatti presenti sia il bosco, nella parte alta, sia coltivi di nocciolo; sono inoltre presenti vaste zone ad elevato rischio erosivo (vedi carta del rischio erosivo: fig. 6.4 della prima relazione).

Nella parte bassa di questo bacino, è stata ubicata la stazione di monitoraggio in continuo dei deflussi e della relativa qualità dell'acqua (per maggiori dettagli vedi il cap. 8 della prima relazione). Nel seguito, essa sarà indicata come stazione 1, le sue coordinate UTM (FUSO 33N) sono:

$$\mathbf{E = 269540\ m}$$

Stazione 1 {

$$\mathbf{N = 4691550\ m}$$

I campioni di acqua prelevati in occasione degli eventi registrati sono stati analizzati per determinare la concentrazione dello ione nitrato (NO_3) e dello ione ortofosfato (PO_4), attraverso il fotometro SYMPLY SPECTROQUANT della Bracco.

Alcune decine di metri a valle della stazione 1, il fosso Scardenato, normalmente fin qui asciutto, presenta una portata continua, seppur modesta, dovuta all'emergere di deflusso ipodermico, il cui ristagno ha provocato, nell'autunno 1998, la proliferazione di colonie algali (fig. 9.1).

Dopo gli eventi di piena (dalle 12 alle 24 ore, per dare il tempo al deflusso ipodermico di emergere) sono stati prelevati manualmente alcuni campioni di acqua. Questo sito, in seguito indicato come stazione 2, ha coordinate UTM:

$$\mathbf{E = 269500\ m}$$

Stazione 2 {

$$\mathbf{N = 4691400\ m}$$

Fig. 9.1: Presenza di colonie algali nella stazione 2.



9.1.2 Il monitoraggio del territorio agricolo

E' stato individuato un piccolo fosso di scolo ai margini di un nocciolo nei pressi della stazione 1. In questo rivolo è stata posta un'asta con quattro bottigliette, alle altezze di 5, 10, 20 e 25 cm dal suolo (fig. 9.2). Questo sito sarà in seguito indicato come stazione 3, le sue coordinate UTM sono:

E = 269360 m

Stazione 3 {

N = 4691330 m



Fig.3.7: Le bottiglie della stazione 3.

9.1.3 – Il monitoraggio del territorio forestale

Sulla strada che dal Poggio San Rocco scende verso il lago, è stata individuata una tomba di attraversamento stradale, sita esattamente in corrispondenza dello sfociare sulla strada di un fosso che drena un sottobacino a copertura esclusivamente forestale. Si è quindi sfruttata tale situazione per valutare gli apporti di nutrienti diffusi del bosco, che, quindi, possono essere considerati quelli naturali (situazione “zero”) di produzione di nutrienti da parte del territorio.

Le coordinate di tale stazione (indicata da ora come 4), sono le seguenti:

$$E = 270290 \text{ m}$$

Stazione 4 {

$$N = 4690850 \text{ m}$$

Anche qui un sistema di bottigliette sistemato nel mezzo della sezione della tomba, intercetta il deflusso di acqua alle altezze di 10, 20, 30 cm dal punto più basso della tubazione che costituisce la tomba di attraversamento.

Il monitoraggio del paesaggio forestale è stato ulteriormente affidato ad un analogo sistema di bottigliette (a 10 e 20 cm) ubicate in un fosso vicino a quello precedente e denominato come stazione 5 e le cui coordinate sono:

$$E = 270490 \text{ m}$$

Stazione 5 {

$$N = 4690250 \text{ m}$$

Fig. 9.3: Intercettazione del deflusso nel bacino forestale.



Ciò si è reso necessario perché alla tomba proviene deflusso convogliato da una attigua strada forestale (fig. 9.4) che, tagliando il pendio, drena il deflusso ipodermico del bosco, trasformandolo in superficiale.

In effetti, i fenomeni di deflusso superficiale in bosco dovrebbero essere eccezionali, e, quindi, il loro verificarsi è da considerarsi come impatto ambientale della strada. I risultati del monitoraggio hanno confermato tale ipotesi: nel periodo di osservazione si sono infatti registrati numerosi eventi nella tomba e nessuno nel fosso.

Riassumendo, le stazioni sono:

Stazione 1: deflusso superficiale nel fosso Scardenato (sottobacino del lago).

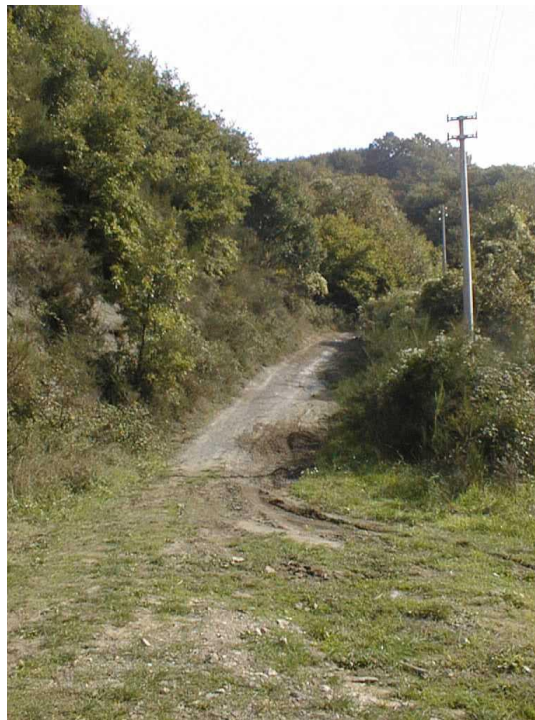
Stazione 2: deflusso ipodermico nel fosso Scardenato.

Stazione 3: deflusso superficiale su un nocciolo.

Stazione 4: deflusso in bosco (tomba di attraversamento stradale).

Stazione 5: deflusso in bosco.

Fig. 9.4: Strada forestale attigua alla stazione 4.



9.2 – Eventi registrati nel bacino sperimentale

Le caratteristiche climatiche della zona fanno sì che gli eventi di piena capitino in genere nel periodo compreso tra giugno e dicembre e, soprattutto, in autunno. In questa stagione è infatti più facile che si abbia la concomitanza dei più importanti fattori che regolano i deflussi superficiali: l'elevata umidità del suolo (provocata da piogge precedenti l'evento), la durata e l'intensità dell'evento adeguata per “produrre” i deflussi.

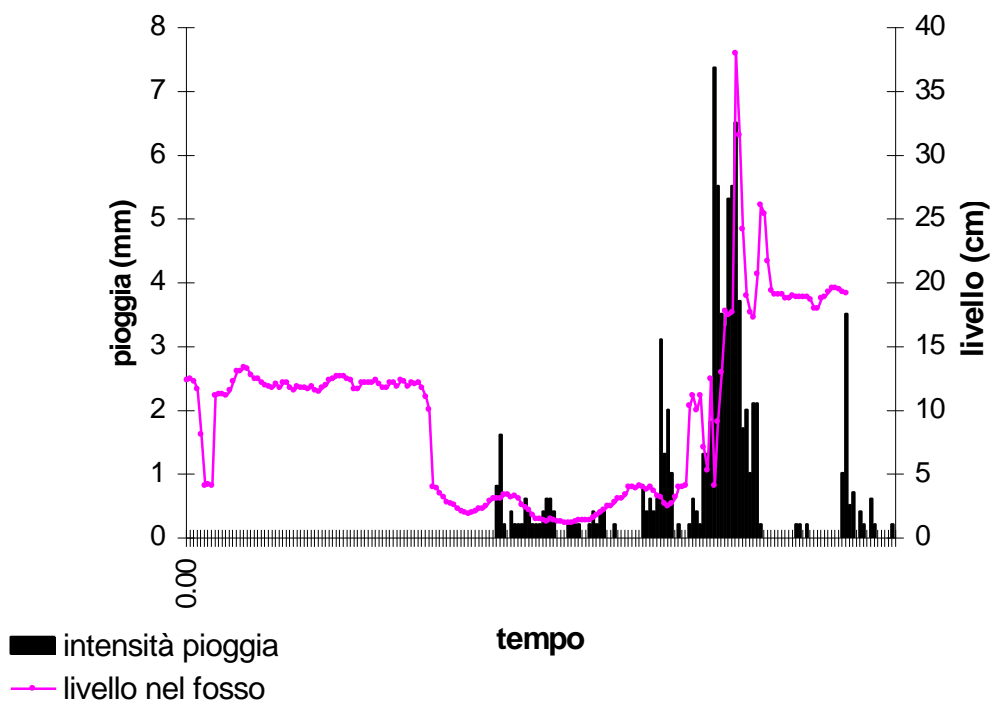
Per ciascun evento si riportano i grafici dell'andamento nel tempo del livello di deflusso nel fosso, insieme alla concentrazione di nitrati e fosfati (ottenuta tramite prelievo con bottigliette alle varie altezze o tramite campionamento automatico), il tutto associato allo ietogramma. Inoltre, si riportano tabelle con i valori di concentrazione dei nutrienti, specificando la tipologia del campione, la stazione di prelievo e l'altezza delle bottiglie nell'alveo.

In assoluto, il primo evento significativo dall'inizio del monitoraggio è occorso il 6 ottobre 1998 ed è stato descritto nella prima relazione, ma, per unitarietà di esposizione, giova sintetizzarne i risultati (vedi tab. 9.1 e fig. 9.5).

Tab. 9.1: Evento del 6 ottobre 1998.

<i>Tipologia campione</i>	<i>Luogo di prelievo</i>	<i>NO₃⁻ [mg/L]</i>	<i>PO₄³⁻ [mg/L]</i>
<i>Acqua piovana</i>	<i>Stazione 1</i>	<i>5,4</i>	-
<i>Deflusso superficiale</i>	<i>Stazione 1</i>		
	<i>5cm</i>	<i>24,3</i>	-
	<i>20cm</i>	<i>12,9</i>	-
	<i>30cm</i>	<i>8,4</i>	-

Fig. 9.5: Evento del 6 ottobre 1998 ($H_{tot}= 83,0$ mm).



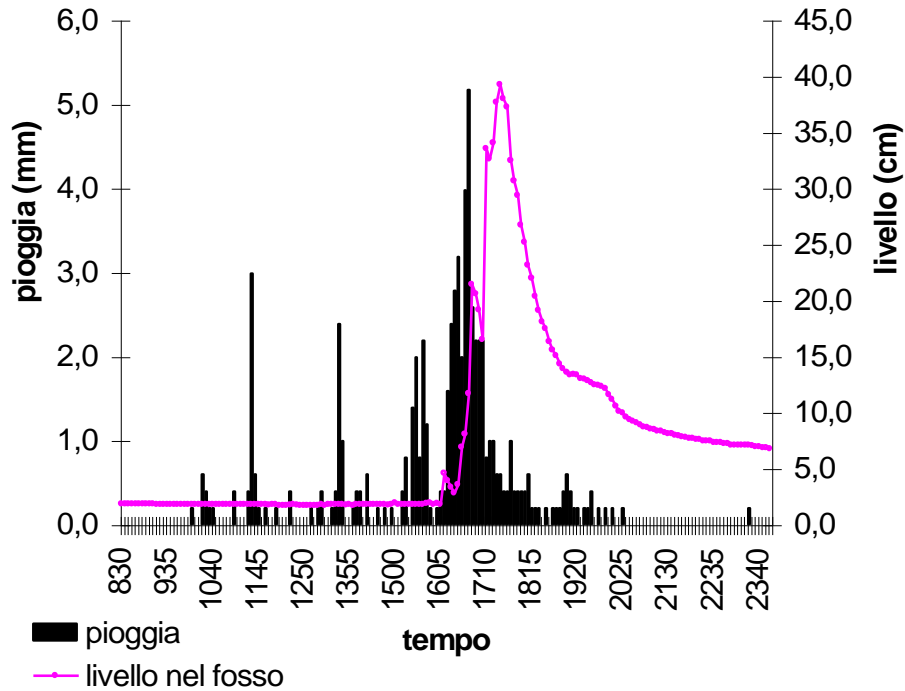
Il secondo evento è stato registrato il 4 dicembre 1998; i risultati sono riportati in fig. 9.6 ed in tab. 9.2.

Questi dati mostrano chiaramente una forte tendenza alla riduzione della concentrazione del nitrato, a partire dal primo deflusso.

Tab. 9.2: Evento del 4 dicembre 1999.

<i>Tipologia campione</i>	<i>Luogo prelievo</i>	NO_3^- [mg/L]	PO_4^{3-} [mg/L]
<i>Acqua piovana</i>	<i>Stazione 1</i>	0,7	-
<i>Deflusso superficiale</i>	<i>Stazione 1</i>		
	<i>5 cm</i>	36,9	-
	<i>20 cm</i>	18,9	-
	<i>30 cm</i>	15,9	-
	<i>40 cm</i>	7,3	-

Fig. 9.6: Evento del 4 dicembre 1998, $H_{tot}= 61,2$ mm.



Per tutto il 1999, la stazione ha funzionato regolarmente, ma gli eventi di deflusso nello Scardenato si sono verificati solo il 28 settembre ed il 5 ottobre 1999 ed i risultati sono riportati, rispettivamente, nei grafici di fig. 9.7 e 9.8 e nelle tabelle 9.3. e 9.4. Come si vede chiaramente da queste figure, si è trattato di due eventi modesti, con altezze dell'acqua nel fosso Scardenato inferiori a 10 cm; non è quindi possibile un'analisi dell'andamento delle concentrazioni di nutrienti simile a quella del 1998.

Nell'evento di settembre è interessante notare che il deflusso presenta due picchi separati, in cui il secondo è dello stesso ordine di grandezza del primo, sebbene generato da una pioggia nettamente inferiore. Ciò si spiega facilmente con l'effetto di saturazione degli invasi (umidità del terreno ecc.) provocato dalla pioggia verificatasi poche ore prima.

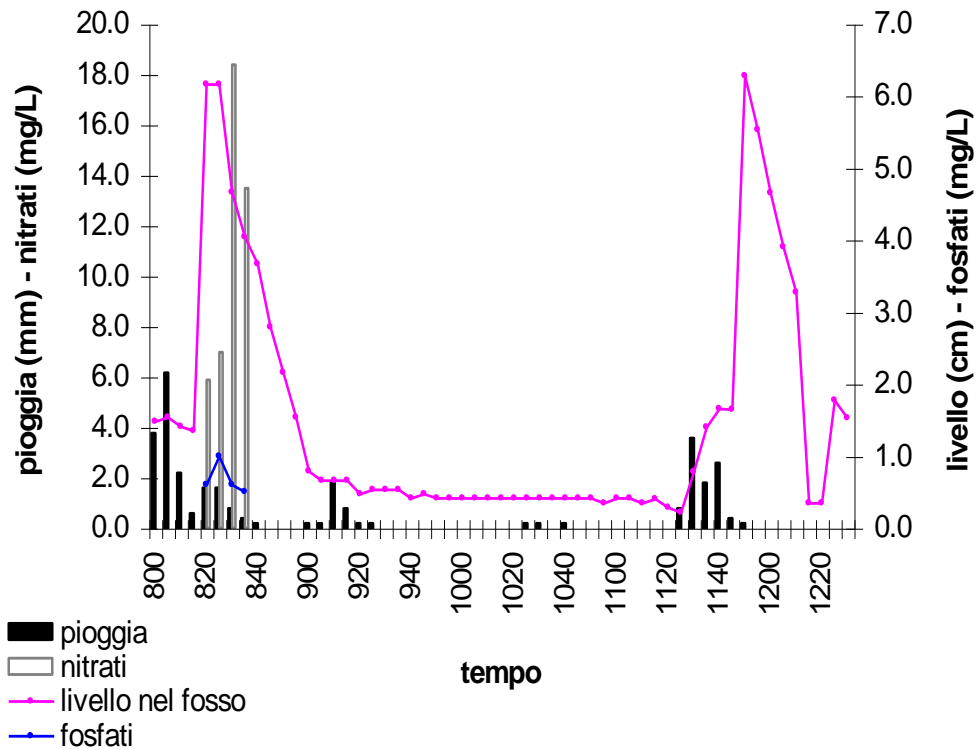
Purtroppo, il campionatore non è entrato in funzione in occasione del secondo picco, probabilmente per il modesto livello idrico nel fosso e per il fatto che la prima onda di piena ha spostato la bocchetta di presa dello strumento.

Il tempo di concentrazione nel primo caso è di 15 minuti, nel secondo di 20 minuti, per effetto della minore intensità della pioggia.

Tab. 9.3: Evento del 28 settembre 1999.

<i>Tipologia campione</i>	<i>Luogo di prelievo</i>	NO_3^- [mg/L]	PO_4^{3-} [mg/L]
<i>Acqua piovana</i>	<i>Stazione 1</i>	3,8	0,1
<i>Deflusso superficiale</i>	<i>Stazione 1 5cm</i>	5,9	0,6
	<i>1° campionamento automatico</i>	7,0	1,0
	<i>2° campionamento automatico</i>	18,4	0,6
	<i>3° campionamento automatico</i>	13,5	0,5

Fig. 9.7: Evento del 28 settembre 1999, $H_{tot} = 31,6$ mm.



L'analisi delle figure 9.7 e 9.8, pur con i limiti legati alla modestia degli eventi occorsi, sembra confermare la netta tendenza alla riduzione della concentrazione del nitrato con l'aumentare della portata di piena, sebbene, attraverso la bocchetta di presa del campionario, non si possa avere la netta differenziazione per livelli che, invece, consentono le bottigliette, le quali, si ricorda, non si sono potute riempire a causa dei piccoli livelli idrici raggiunti.

E' pure interessante notare che il secondo picco del deflusso del 5 ottobre '99 (fig. 9.8, ore 4:50), presenta un analogo nuovo picco nella concentrazione di nitrato. Ciò suggerisce una sorta di maggiore efficienza di estrazione dei nitrati da parte del primo deflusso, indipendentemente dagli eventi immediatamente precedenti e, quindi, indipendentemente da effetti di dilavamento. Probabilmente tale fenomeno è correlato alla diluizione, per il sopraggiungere, nei deflussi successivi al primo, di acqua da zone del bacino più povere in nitrato. Si potrebbe inoltre ipotizzare un'influenza della velocità di scorrimento delle acque: le prime, più lente, sarebbero più efficienti nell'estrazione del composto, mentre le successive, più veloci, lo sarebbero meno. Naturalmente, la verifica di tale ipotesi potrà essere effettuata quando si disporrà di più eventi.

Dato questo aspetto interessante, sembra utile riportare, in tab. 9.5, l'intera uscita del *data logger*.

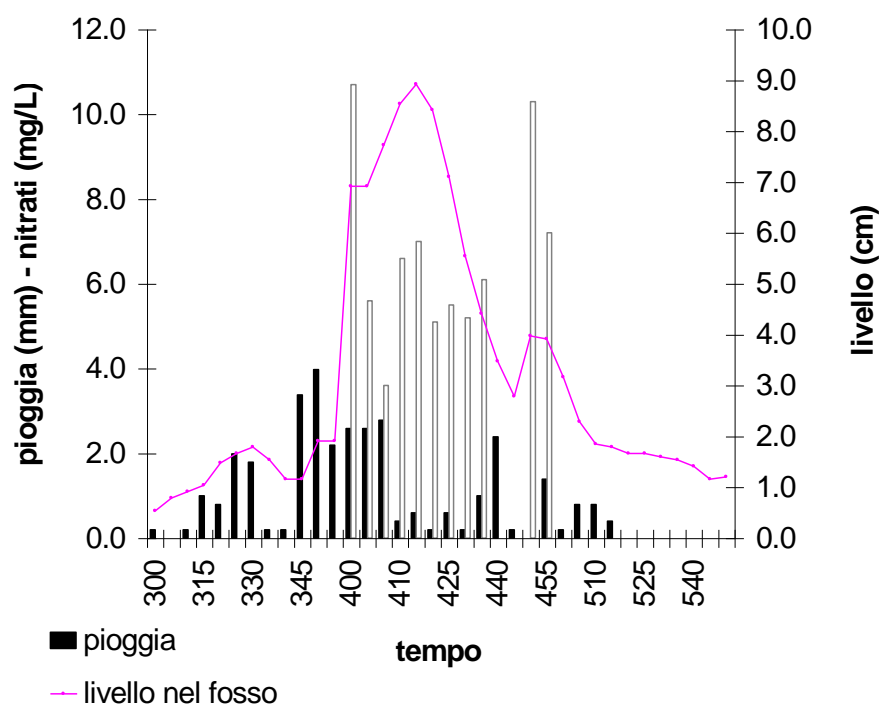
Tab. 9.5: Uscita dell'apparecchio registratore per l'evento del 5-10-1999.

anno	giorno	ora	pioggia	NO ₃ ⁻ [mg/L]	Livello [cm]
....
1999	277	350	4.0		1.9
1999	277	355	2.2		1.9
1999	277	400	2.6	10.7	6.9
1999	277	400	2.6	5.6	6.9
1999	277	405	2.8	3.6	7.7
1999	277	410	0.4	6.6	8.5
1999	277	415	0.6	7	8.9
1999	277	420	0.2	5.1	8.4
1999	277	425	0.6	5.5	7.1
1999	277	430	0.2	5.2	5.5
1999	277	435	1.0	6.1	4.4
1999	277	440	2.4		3.5
1999	277	445	0.2		2.8
1999	277	450	0.0	10.3	4.0
1999	277	455	1.4	7.2	3.9
1999	277	500	0.2		3.2
1999	277	505	0.8		2.3
1999	277	510	0.8		1.9

Tab. 9.5: Evento del 5 ottobre 1999.

<i>Tipologia campione</i>	<i>Luogo di prelievo</i>	$[NO_3^-]$	$[PO_4^{3-}]$
<i>Deflusso superficiale</i>	<i>Stazione 1 5cm</i>	10,7	-
	<i>1° campionamento automatico</i>	5,7	-
	<i>2° campionamento automatico</i>	3,6	-
	<i>3° campionamento automatico</i>	6,6	-
	<i>4° campionamento automatico</i>	7,0	-
	<i>5° campionamento automatico</i>	5,1	-
	<i>6° campionamento automatico</i>	5,5	-
	<i>7° campionamento automatico</i>	5,2	-
	<i>8° campionamento automatico</i>	6,1	-
	<i>9° campionamento automatico</i>	10,3	-
	<i>10° campionamento automatico</i>	7,2	-

Fig. 9.8: Evento del 5 ottobre 1999, $H_{tot}= 31,8$ mm.



Alla luce delle considerazioni sopra riportate, trova ulteriore conferma, per il bacino preso in esame, un tempo di risposta assai breve, il che comporta, per precipitazioni di una certa entità, un'onda di piena ad impulsi (*flash food*), ossia caratterizzata da una portata elevata in un brevissimo lasso di tempo.

Una tale situazione idrologica conferisce ulteriore importanza al controllo delle fonti diffuse di inquinamento attraverso pratiche di ripristino ambientale e pianificazione dell'uso del territorio.

9.3 – Le altre stazioni

Si riportano, in tabella 9.6, i valori di concentrazione di nutrienti ottenuti nelle altre stazioni, specificando la tipologia del campione, il luogo, il periodo del prelievo e l'altezza delle bottiglie interessate all'onda di piena, associando ad ogni evento il relativo ietogramma e l'altezza totale di precipitazione.

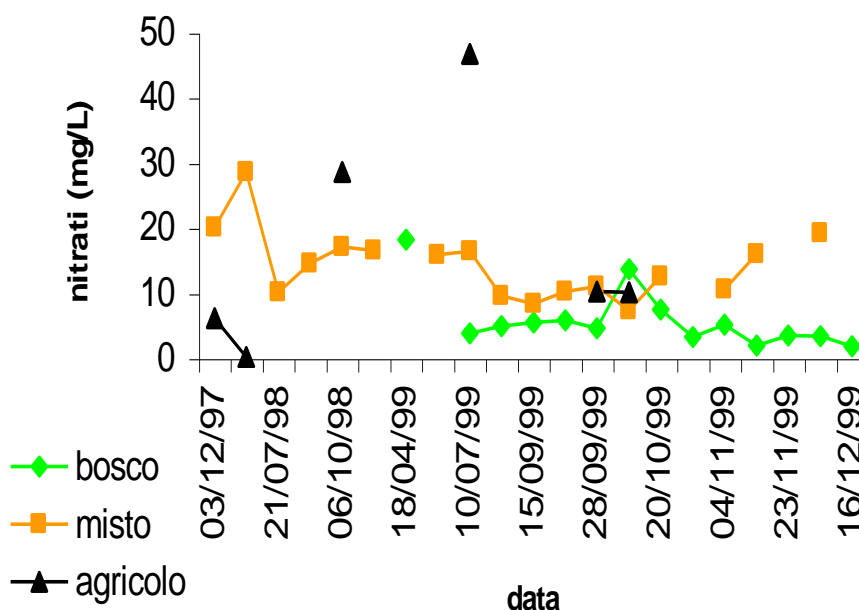
Tab. 9.6: Monitoraggio dei deflussi nelle varie stazioni, compresa la 1.

Data evento	Stazione / Livello idrico	NO ₃ [mg/L]	PO ₄ [mg/L]
21/07/98*	1 / 20 cm	12,0	-
	1 / 30 cm	8,4	-
06/10/98 H _{tot} = 83,0 mm	1 / 5 cm	24,3	-
	1 / 20 cm	12,9	-
	1 / 30 cm	8,4	-
	2 / -	23,3	-
	3 / (manuale)	28,6	-
04/12/98 H _{tot} = 61,2 mm	1 / 5 cm	36,9	-
	1 / 20 cm	18,9	-
	1 / 30 cm	15,9	-
	1 / 50 cm	7,3	-
	2 / -	4,2	-
18/04/99 H _{tot} = 11,7 mm	4 / 10 cm	18,3	0,4
10/07/99 H _{tot} = 32,0 mm	2 / -	16,5	0,1
	3 / 5 cm	46,8	1,6
	4 / 10 cm	3,9	0,2
29/08/99 H _{tot} = 20,5 mm	2 / -	9,6	-
	4 / 10 cm	5,0	-
15/09/99 H _{tot} = 14,7 mm	2 / -	8,4	-
	4 / 10 cm	5,5	-

20/09/99	2 / -	10,3	-
H _{tot} = 26,6 mm	4 / 10 cm	5,9	-
28/09/99	1 / 5 cm	5,9	0,6
H _{tot} = 31,6 mm	2 / -	10,9	0,0
	3 / 5 cm	11,5	1,2
	3 / 10 cm	9,0	1,0
	4 / 10 cm	4,7	0,2
05/10/99	1 / 5 cm	10,7	-
H _{tot} = 31,8 mm	2 / -	16,1	-
	3 / 5 cm	10,2	-
	4 / 10 cm	17,0	-
	4 / 20 cm	10,4	-
20/10/99	2 / -	12,6	-
H _{tot} = 5,8 mm	4 / 10 cm	9,5	-
	4 / 20 cm	5,4	-
23/10/99	4 / 10 cm	3,3	-
H _{tot} = 11,3 mm			
04/11/99	2 / -	10,6	-
H _{tot} = 26,5 mm	4 / 10 cm	5,2	-
06/11/99	2 / -	16,0	-
H _{tot} = 12,1 mm	4 / 10 cm	2,0	-
21/11/99	4 / 10 cm	2,7	0,3
	4 / 20 cm	2,2	0,2
	5 / 10 cm	5,7	0,3
12/12/99**	2 / -	19,3	0,1
H _{tot} = 50,0 mm	4 / 10 cm	4,1	0,3
	4 / 20 cm	2,6	0,3
16/12/99	4 / 10 cm	1,9	0,5
H _{tot} = 69,0 mm			
<p>Stazione 1 = Superficiale Scardenato; Stazione 2 = Ipodermico (livello nullo) Scardenato; Stazione 3 = Superficiale Nocciolo; Stazione 4 = Ipodermico Bosco (tagliato da strada); Stazione 5 = Ipodermico bosco.</p> <p>* I dati del 21/07/98 e del 6/10/98 sono tratti da un lavoro antecedente a questo, svolto nell'anno che va dal dicembre 1997 all'ottobre 1998.</p> <p>** Degli eventi occorsi il 12 e 16 dicembre 1999 non si dispone di ietogramma, ma solo del totale delle piogge che sono rispettivamente di 50 mm e 69 mm.</p>			

Per avere un quadro sintetico dell'asportazione di nitrati dalle varie componenti del paesaggio, in fig. 9.9 si riporta l'opportuno diagramma.

Fig. 9.9: Andamento della concentrazione di ione nitrato presente nell'acqua di deflusso delle varie stazioni di monitoraggio rappresentative dei vari usi del suolo.



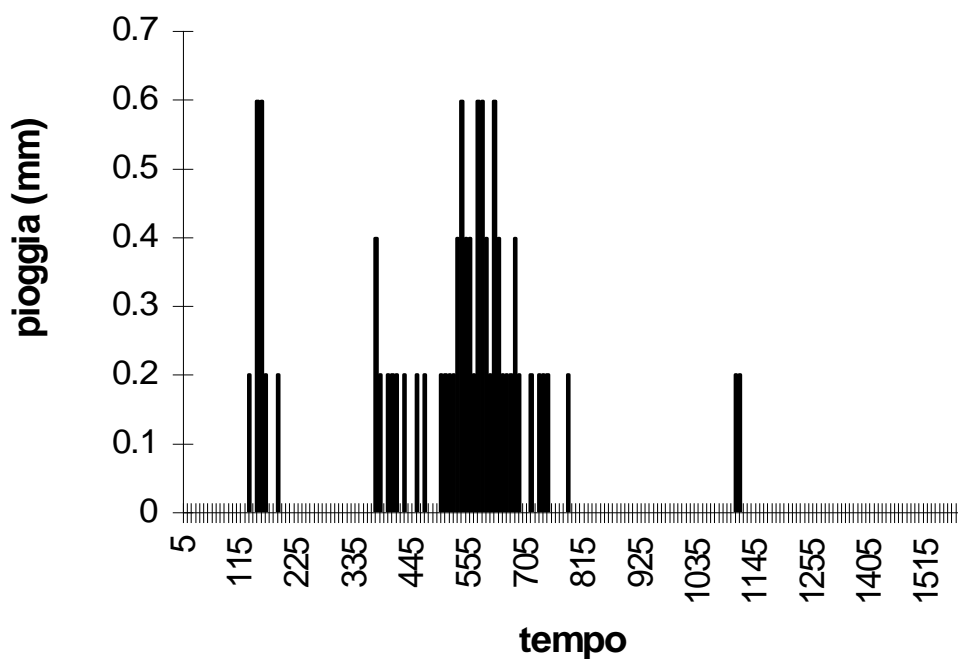
A commento generale di questi risultati, comunque limitati dai pochi eventi registrati, si può dire che i deflussi superficiali dai suoli agricoli sembrano indotti da precipitazioni totali di almeno 30 mm, distribuiti con almeno 10 mm/h di intensità. Ma questo non basta: sono necessari, contemporaneamente, picchi di intensità di almeno 3 mm/5' ed un'adeguata umidità del suolo per precipitazioni precedenti. Per il bosco, ovviamente, le suddette condizioni non sono valide, essendo il deflusso superficiale l'eccezione. Questa assunzione è ribaltata per effetto delle strade forestali che tagliano il pendio e provocano la maggioranza dei deflussi, con frequenza ben superiore a quella del territorio agricolo, come si può ben osservare dalla tab. 9.6.

Dal punto di vista degli eventi erosivi, è da segnalare una profonda differenza fra piogge; ad esempio, pur essendo molto simili gli eventi (addirittura identici in termini di precipitazione totale), l'evento del 28 settembre ha rimosso una grande quantità di sedimento, al contrario di quello del 5 ottobre, i cui deflussi sono stati limpidi. Questo si spiega solo con sensibili differenze di energia, ovvero di intensità dei singoli scrosci di 5'.

Si riportano, infine, di seguito, gli ietogrammi degli eventi elencati in tab. 9.6.

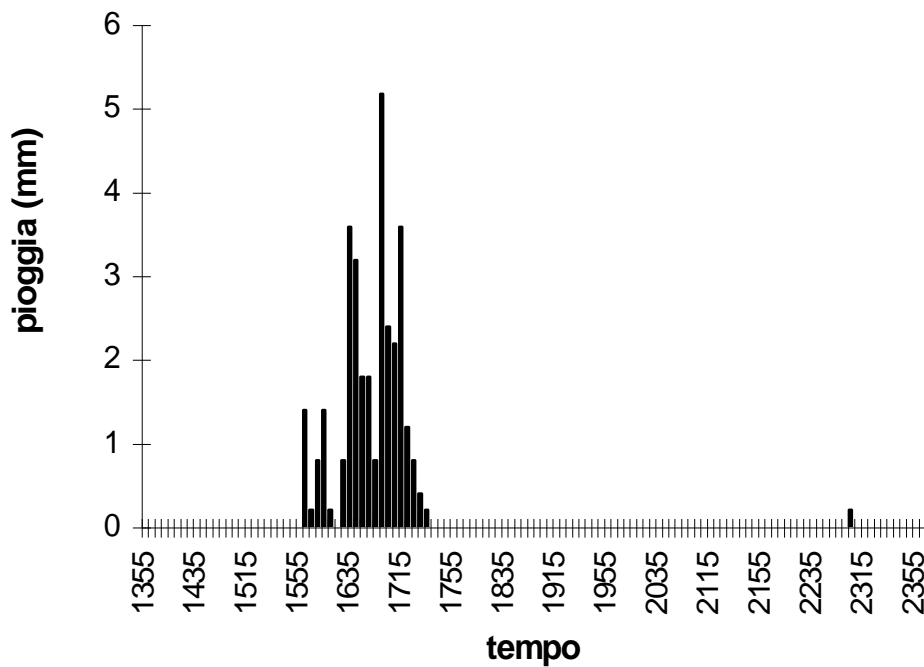
letogramma 18 / 4 / 99

(H_{tot} = 11,74 mm)



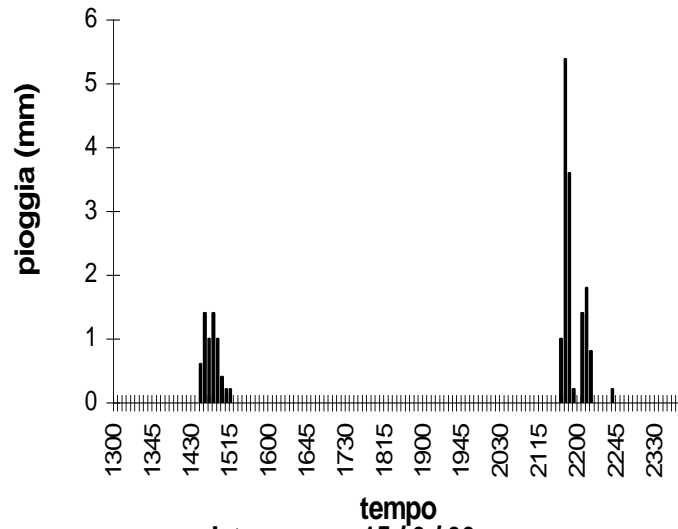
letogramma 10 / 7 / 99

(H_{tot} = 32,04 mm)

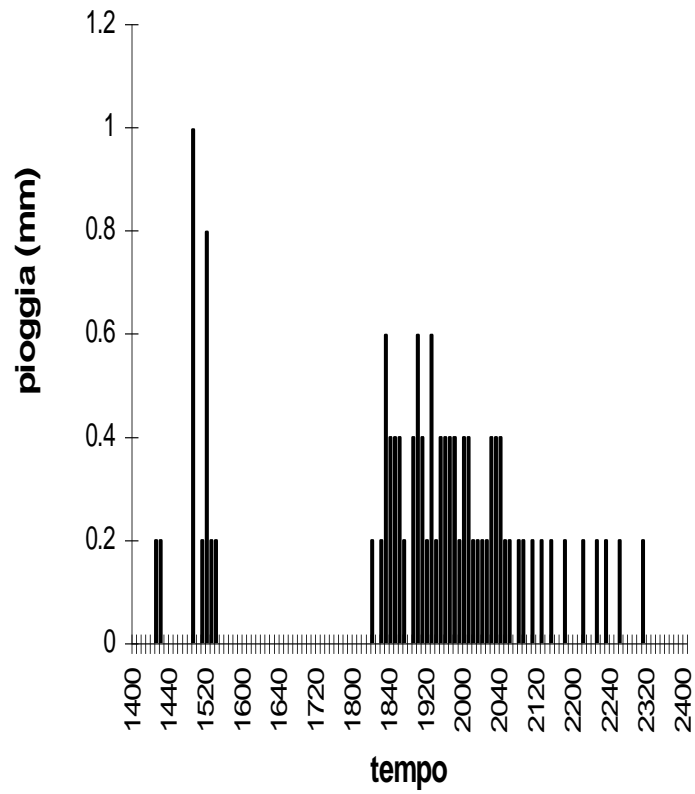


letogramma 29 / 8 / 99

H tot = 20,50 mm

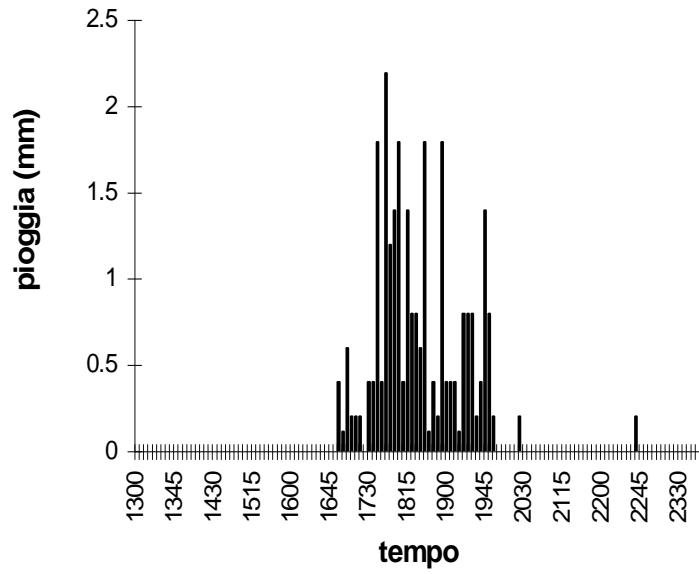


letogramma 15 / 9 / 99
(H tot = 14,73)



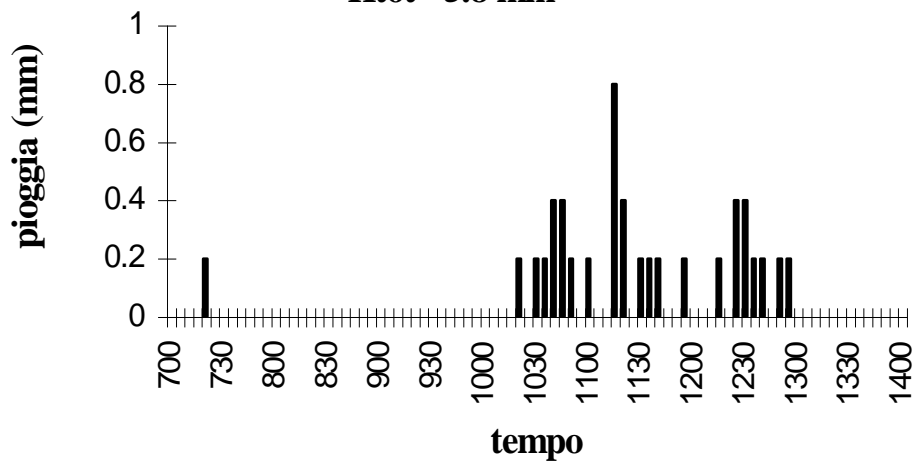
Ietogramma 20 / 9 / 99

(H_{tot} = 26,60)



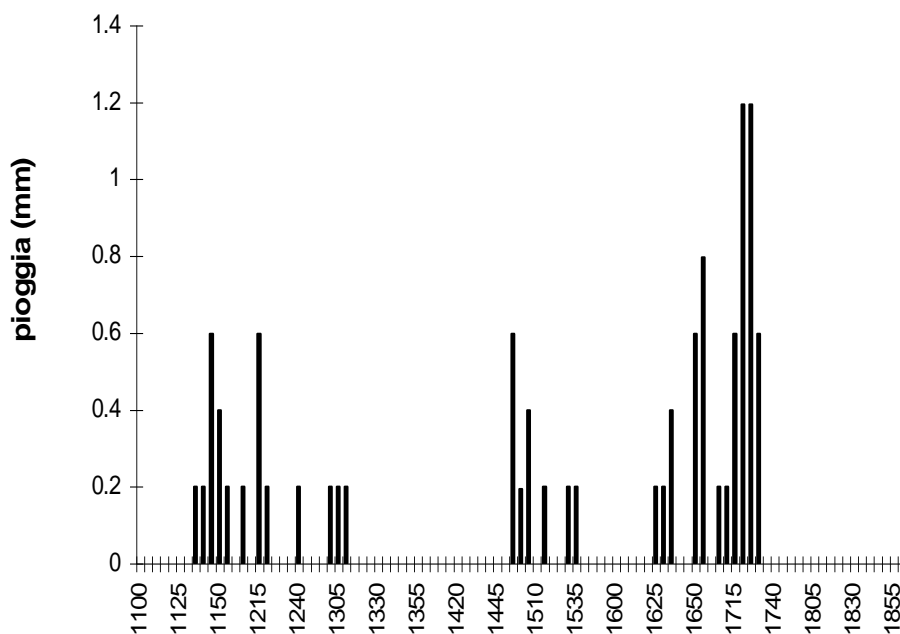
Ietogramma del 20/10/99

H_{tot}= 5.8 mm



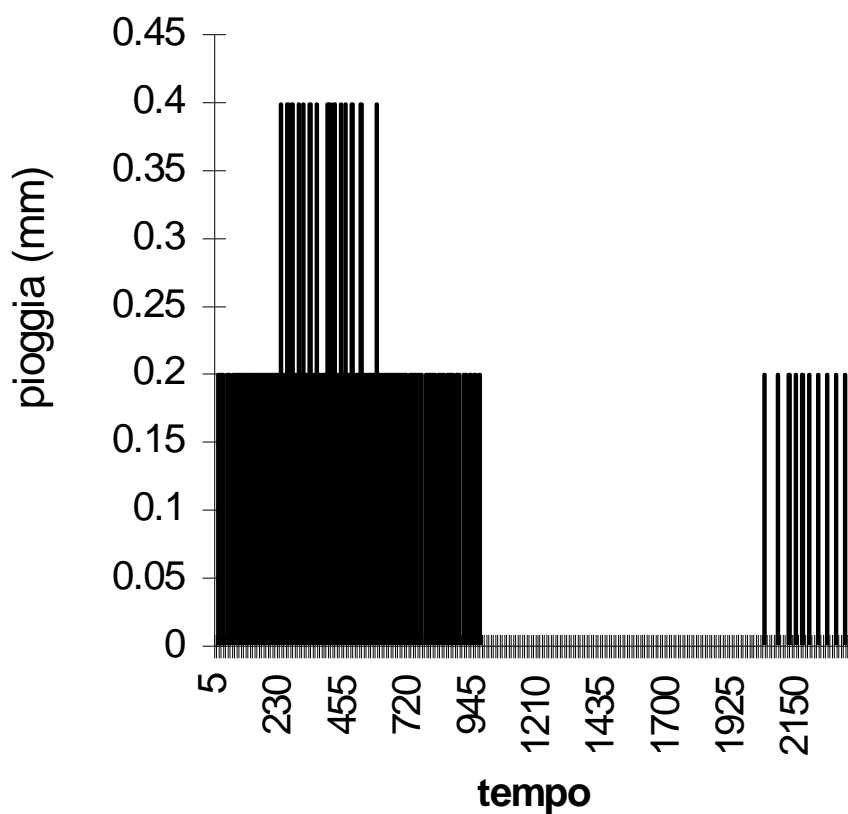
letogramma 23 / 10 / 99

(H tot = 11,34)



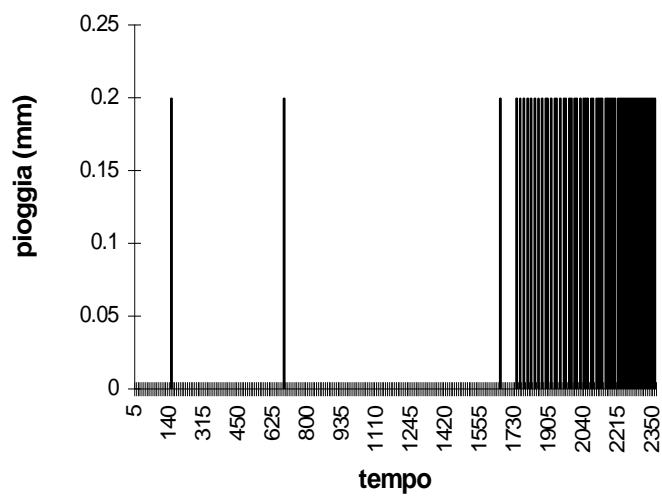
letogramma 4 / 11 / 99

(H tot = 26,47)



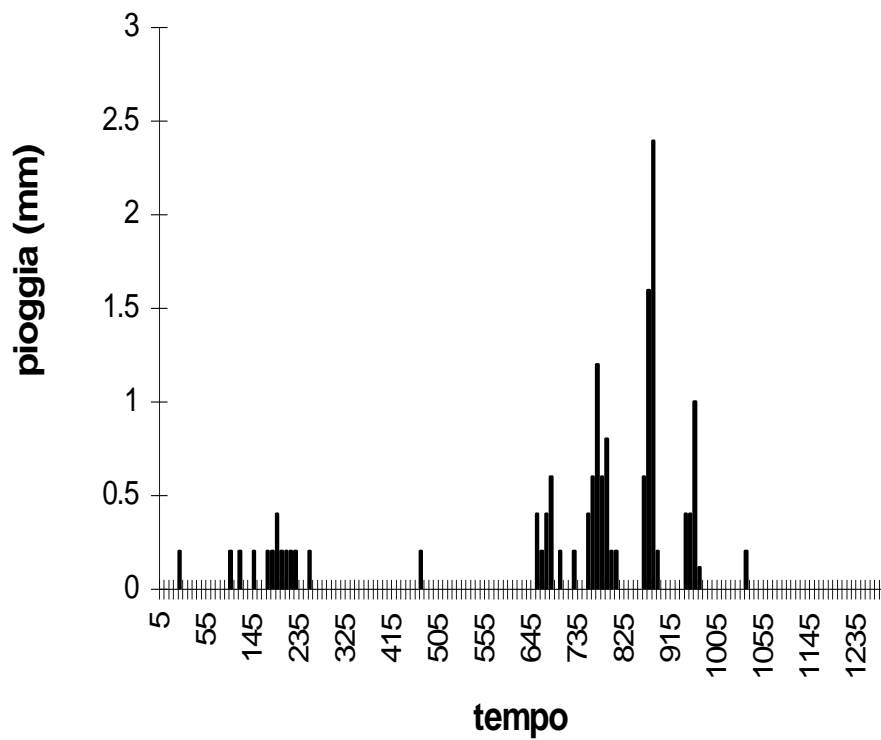
letogramma 6 / 11 / 99

(H tot = 12,14 mm)



letogramma 21 / 11 / 99

(Htot = 15,63 mm)



9.4 – Il monitoraggio dei corpi idrici sotterranei

Allo scopo di avere un quadro completo dell'apporto di nutrienti al lago di Vico, è stata effettuata una breve indagine sulla qualità delle acque di falda. L'importanza di questo aspetto nasce dal fatto che lo stesso corpo idrico è il risultato di un affioramento di acqua sotterranea nella cuvetta lacustre (vedi la fig. 7.2 della prima relazione), dalla quale si evince anche una certa differenza fra bacino imbrifero e bacino idrogeologico.

Questi rilievi sono stati effettuati su una fascia di territorio a nord del corpo idrico, secondo le direttrici di flusso sotterraneo mostrate nella stessa figura 7.2 della parte prima, che si estende dal Campeggio Natura sino alle Pantanacce e di cui sono stati scelti cinque punti di prelievo.

- *punto 1*: pozzo situato all'interno di proprietà privata presso Campeggio Natura.
- *punto 2*: pozzo situato all'interno della foresteria della Riserva Naturale.
- *punto 3*: pozzo situato all'interno di proprietà privata con presenza di nocciolo (località Riacci).
- *punto 4*: fontanile pubblico, sempre in località Riacci, stesso acquifero del punto n.3, a valle, verso il lago.
- *punto 5*: sorgente affiorante presso località le Pantanacce, stesso acquifero del punto n.3 e 4, ancora più a valle. verso il lago.

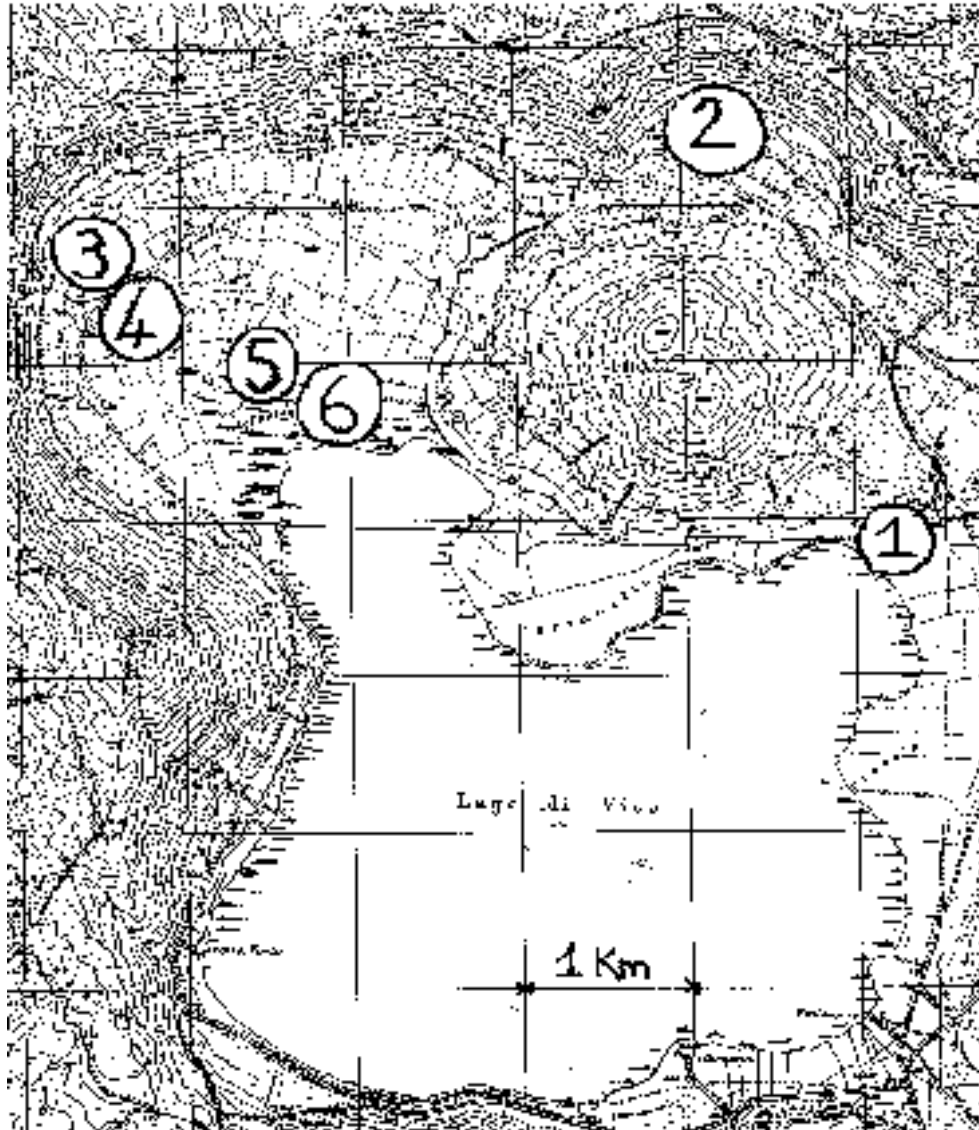
L'ubicazione dei pozzi è in fig. 9.10.

I risultati ottenuti (riportati in tab.9.7) suggeriscono le seguenti osservazioni:

1. *Nei pozzi che intercettano la falda profonda (n. 1 e n. 2) la concentrazione dei nitrati è notevolmente inferiore a quella delle falde superficiali. Ciò testimonia la diretta correlazione fra uso del suolo e qualità delle acque di falda superficiale; quella profonda ha un bacino di alimentazione ben più grande, con aree di ricarica (il complesso Cimino) quasi sempre ricoperte da boschi che, notoriamente, tutelano la qualità dell'acqua.*
2. *Nell'ambito degli acquiferi superficiali (pozzi n. 3, 4 e 5) si nota che, allontanandosi dal suolo coltivato, la concentrazione di nitrati diminuisce*

sensibilmente: si passa da valori elevati nel pozzo 3, intermedi al fontanile 4 e molto modesti al fontanile 5. Questo può essere spiegabile con l'effetto filtro operato dalla vegetazione compresa fra i territori agricoli ed il corpo idrico, abbondantemente presente nella zona delle Pantanacce.

Fig. 9.10: I sei punti di prelievo nel monitoraggio dei corpi idrici sotterranei.



Tab. 9.7: Risultati ottenuti dai prelievi di acqua sotterranea.

Punto di prelievo	Coordinate UTM nel FUSO 33 [m]		Livello idrico (m al di sotto del p.c.)	Prelievo 10/6/99 [mg/L]		Prelievo 21/7/99 [mg/L]		Prelievo 29/9/99 [mg/L]		Prelievo 7/12/99 [mg/L]	
	<i>E</i>	<i>N</i>		[NO ₃ ⁻]	[PO ₄ ³⁻]	[NO ₃ ⁻]	[PO ₄ ³⁻]	[NO ₃ ⁻]	[PO ₄ ³⁻]	[NO ₃ ⁻]	[PO ₄ ³⁻]
1	269210	4690830	40	1,9	-	3,2	-	2,1	0,0	- *	-
2	268190	4693440	90	5,5	-	8,5	-	5,1	0,2	4,5	0,2
3	264520	4692500	1,5	57,8	0,1	58,8	0,1	55,1	0,1	62,6	0,1
4	264630	4692470	0	54,6	0,1	63,3	0,1	50,4	0,1	76,6	0,1
5	265530	4691880	0	2,8	0,0	3,3	0,2	1,6	0,2	0,6	0,3

* In tale data non è stato possibile effettuare alcun prelievo.

9.5 – Il carico interno di fosforo

Nel fondale dei laghi vi è la tendenza all'aumento di concentrazione delle diverse forme di fosforo, causata dalla continua sedimentazione della sostanza organica prodotta negli strati più superficiali e dalla sua demolizione batterica. Il composto rimane per lo più adeso al sedimento, per adsorbimento chimico (tramite ossidi di ferro e magnesio, Fe^{+++} e Mg^{+++} , rispettivamente). Tale situazione dipende dalle condizioni ossido-riduttive dell'acqua del fondale, ovvero dal suo contenuto di ossigeno: se viene a crearsi una situazione prolungata di anossia nello strato ipolimnico, gli ossidi ferrici si riducono a ferrosi (Fe^{++}), la forma del ferro solubile in acqua e il P adsorbito va in soluzione, rendendosi biodisponibile (fosforo eutrofizzante). In altri termini, il P all'interfaccia sedimento-acqua può andare in soluzione e tale eventualità (detto "desorbimento") può manifestarsi anche molti anni dopo l'arrivo al lago del sedimento, che, quindi, diviene un potenziale serbatoio di fosforo per le acque.

Questo aspetto è particolarmente insidioso dal punto di vista della tutela ambientale perché il danno non è immediatamente avvertito si manifesta lentamente nel tempo e diventa macroscopico quando è ormai in uno stadio avanzato e diventa difficile e costoso porvi rimedio.

Per indagare sul carico interno di P, è stato condotto un prelievo di campioni di sedimento dal fondale del lago di Vico, nelle quattro stagioni dell'anno 1999, misurando il carico di P.

Si sono scelte tre stazioni di prelievo a diverse profondità (-40 m, -30 m, -20 m) lungo il transetto segnalato in fig. 9.11. Lo strumento utilizzato è un carotatore della LIMNOS Ltd. (altezza circa 70 cm, area di base circa 80 cm², peso circa 30 kg) che penetra in profondità nel sedimento grazie ad un'elevata velocità di caduta. La carota prelevata è sempre stata di lunghezza superiore a 20 cm ed è stata suddivisa in fette spesse 4 cm l'una (fig. 9.12).

Scopo di queste indagini è stata la determinazione del fosforo totale, effettuata tramite disgregazione con miscela solfonitrica e successiva determinazione spettrofotometrica lungo la colonna di sedimento. In teoria, infatti, la concentrazione di P dovrebbe essere maggiore all'interfaccia acqua-sedimento e ridursi man mano che si va in profondità. In fig. 9.12 viene mostrato l'andamento del fosforo in un tipico sedimento di lago; l'area (tratteggiata in figura) rappresenta l'aliquota di P rilasciato dal sedimento, ovvero il carico interno di P (Jørgensen, 1989).

Fig. 9.11: Siti di campionamento (punti 1, 2, 3; da Scialanca, 1995).

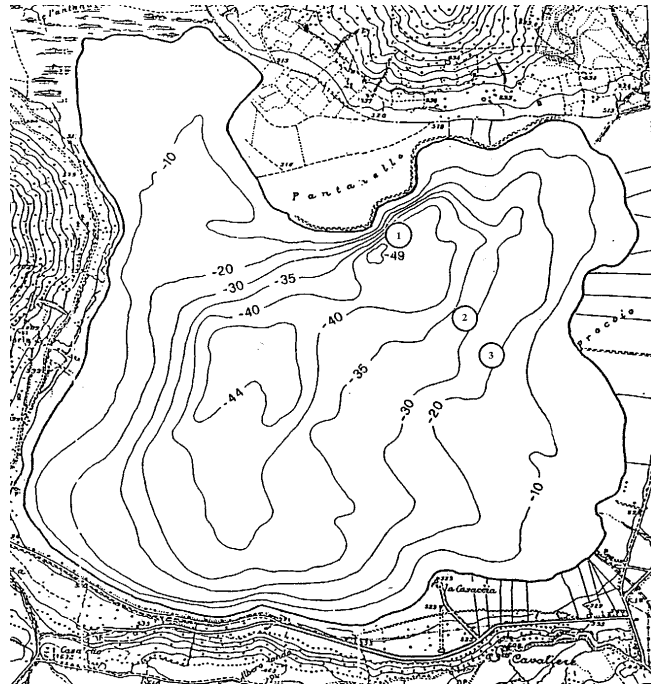


Fig. 9.11: Carotatore utilizzato nei prelievi: il sedimento viene segmentato in fette di 4 cm di spessore e riposto nei barattoli per le analisi (uno per ogni fetta).

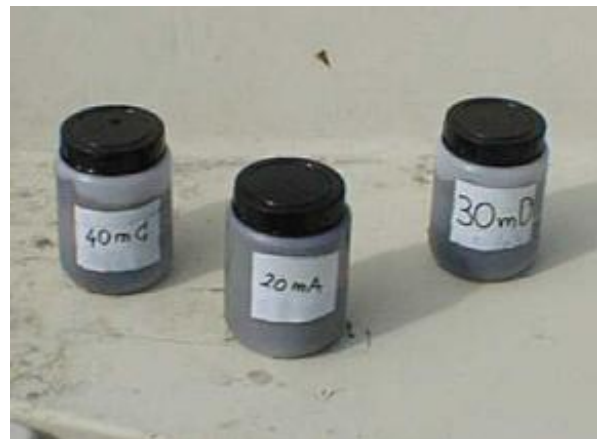
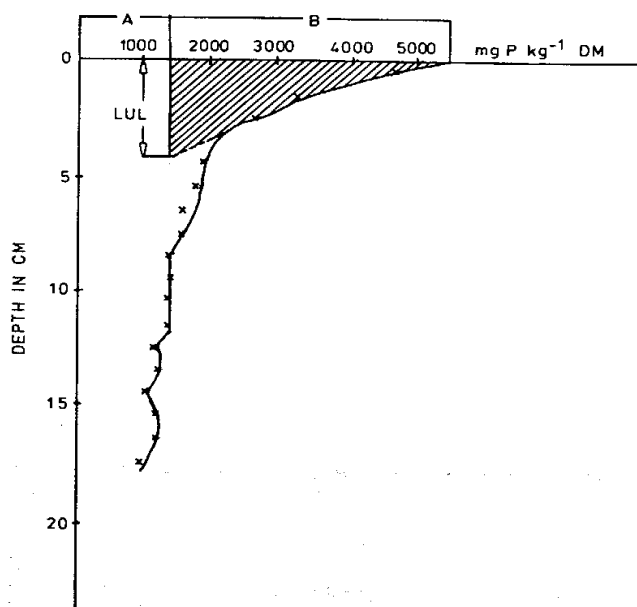


Fig. 9.11: Andamento del fosforo lungo la colonna di sedimento nel lago Esrom, Danimarca. L'area tratteggiata rappresenta il fosforo in forma scambiabile (LUL=carico interno di P; da Jørgensen, 1989).



Prelievo del 30 aprile 1999

Profondità dello strato*		Stazione 1 (- 40 m)		Stazione 2 (- 30 m)		Stazione 3 (- 20 m)	
		E = 267900 m N = 4689660 m		E = 268540 m N = 4690260 m		E = 268840 m N = 4690400 m	
		Umidità %	P [mg/kg]	Umidità %	P [mg/kg]	Umidità %	P [mg/kg]
- 4 cm		93,9	2147	87,0	1880	82,9	1906
- 8 cm		87,5	1483	85,6	1560	82,9	1935
- 12 cm		85,9	2018	83,1	1623	79,7	1894
- 16 cm		84,0	2553	80,5	1337	75,8	1947
- 20 cm		82,3	1997	77,3	1407	72,8	1495
- 24 cm		79,0	1726	-	-	-	-
- 28 cm		-	-	-	-	-	-

Prelievo del 15 luglio 1999

Profondità dello strato		Stazione 1 (- 40 m)		Stazione 2 (- 30 m)		Stazione 3 (- 20 m)	
		E = 267540 m N = 4689820 m		E = 268480 m N = 4690310 m		E = 268730 m N = 4690480 m	
		Umidità %	P [mg/kg]	Umidità %	P [mg/kg]	Umidità %	P [mg/kg]
- 4 cm		89,0	1578	90,1	1499	90,7	1715
- 8 cm		87,3	1376	87,0	1516	88,3	1745
- 12 cm		85,9	1004	84,2	1430	82,5	1574
- 16 cm		85,0	1055	84,6	1276	80,0	1255
- 20 cm		85,0	1056	81,8	1335	79,2	1200
- 24 cm		84,4	1206	79,2	978	80,5	1243
- 28 cm		84,6	938	79,3	1380	78,8	1371

* Ogni strato corrisponde alla fetta di 4 cm di sedimento tagliata dal carotatore. Lo strato a - 4 cm corrisponde al primo della colonna di sedimento, fino ad arrivare a quello più in profondità a -20, -24 e , talora -28 cm, a seconda di quanto sedimento è stato estratto.

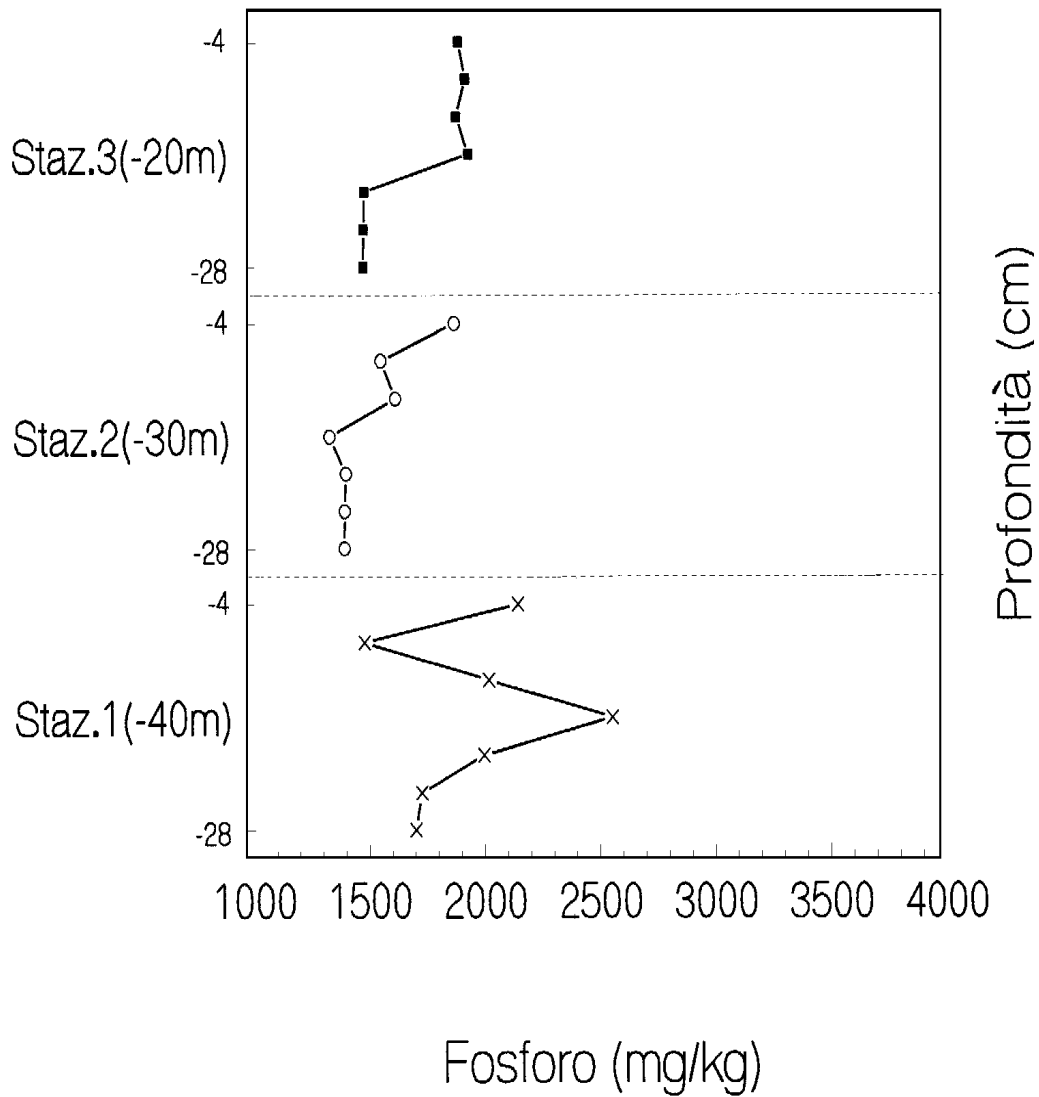
Prelievo del 13 ottobre 1999

			Stazione 1 (- 40 m)		Stazione 2 (- 30 m)		Stazione 3 (- 20 m)	
			E = 267640 m N = 4689540 m		E = 268540 m N = 4690100 m		E = 268730 m N = 4690350 m	
Profondità dello strato			Umidità %	P [mg/kg]	Umidità %	P [mg/kg]	Umidità %	P [mg/kg]
	- 4 cm		90,7	1455	85,4	1320	82,6	2052
	- 8 cm		87,2	1403	87,2	1375	81,5	1793
	- 12 cm		85,1	2239	83,6	1353	74,8	1552
	- 16 cm		82,2	1795	79,7	1324	70,6	2858
	- 20 cm		79,3	3458	76,7	1276	68,8	2139
	- 24 cm		78,0	1629	75,0	1299	62,1	1489
	- 28 cm		78,5	1707	74,7	1528	-	-

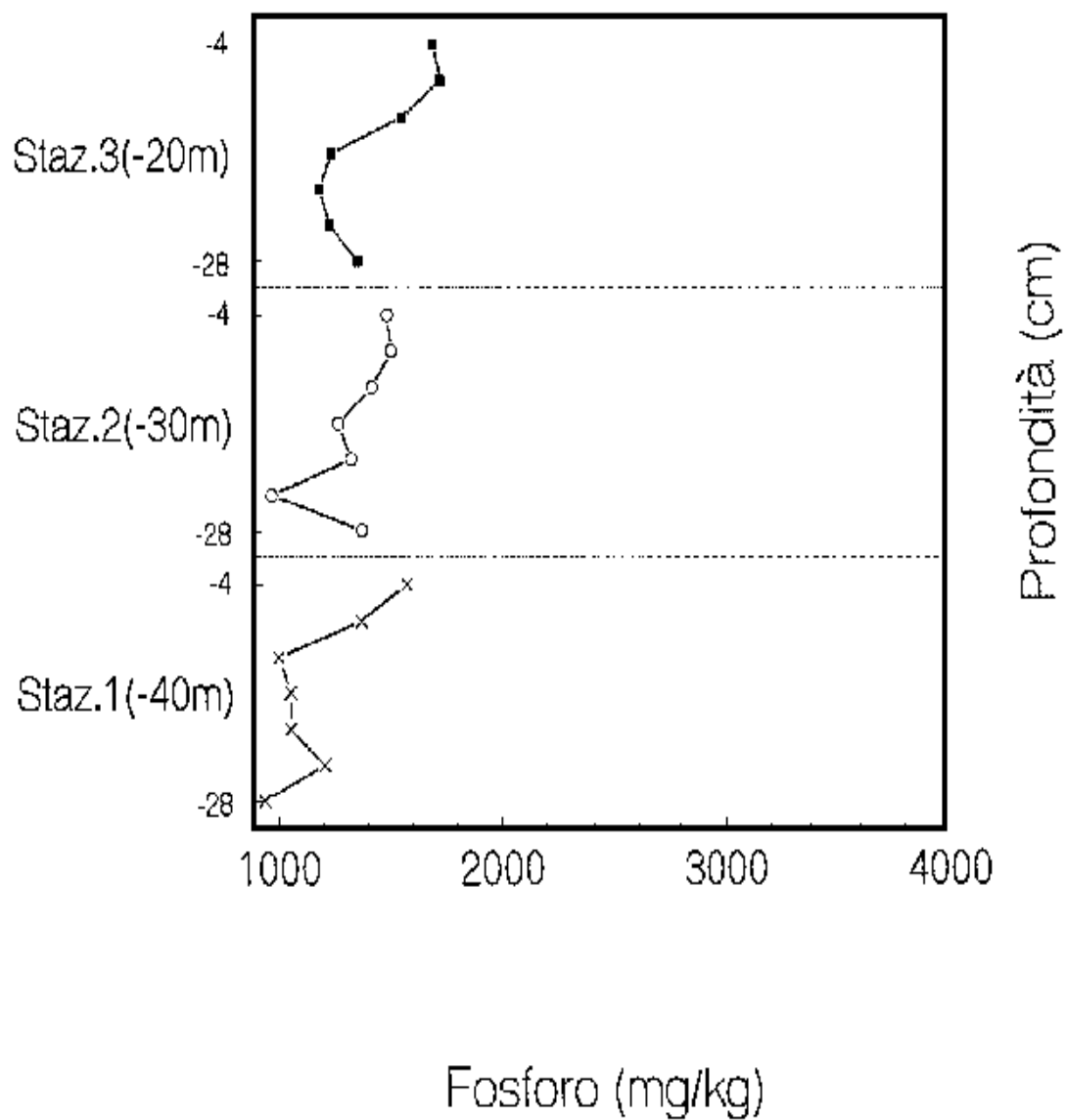
Prelievo del 14 dicembre 1999

			Stazione 1 (- 40 m)		Stazione 2 (- 30 m)		Stazione 3 (- 20 m)	
			E = 267660 m N = 4689800 m		E = 268480 m N = 4690100 m		E = 268560 m N = 4690340 m	
Profondità dello strato			Umidità %	P [mg/kg]	Umidità %	P [mg/kg]	Umidità %	P [mg/kg]
	- 4 cm		92,6	1984	90,6	1733	86,7	1591
	- 8 cm		88,8	1568	87,6	1232	82,0	1506
	- 12 cm		86,9	2436	86,3	1163	75,6	1169
	- 16 cm		84,6	2098	84,6	1403	73,9	1133
	- 20 cm		81,7	1640	82,7	1025	72,6	1449
	- 24 cm		79,7	1379	79,3	1097	72,9	1224
	- 28 cm		79,5	1908	76	1293	-	-

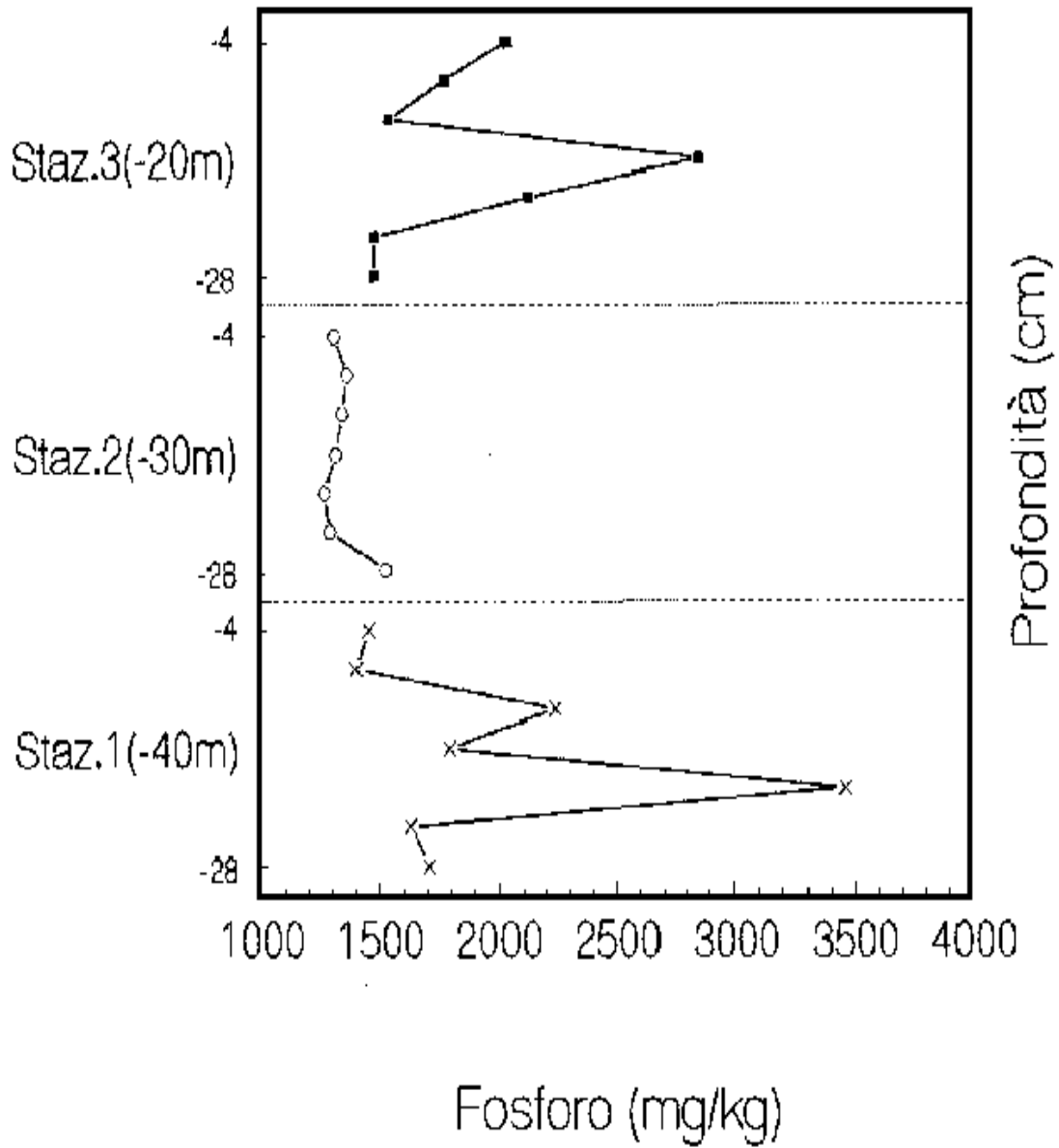
Prelievo 30 aprile 1999



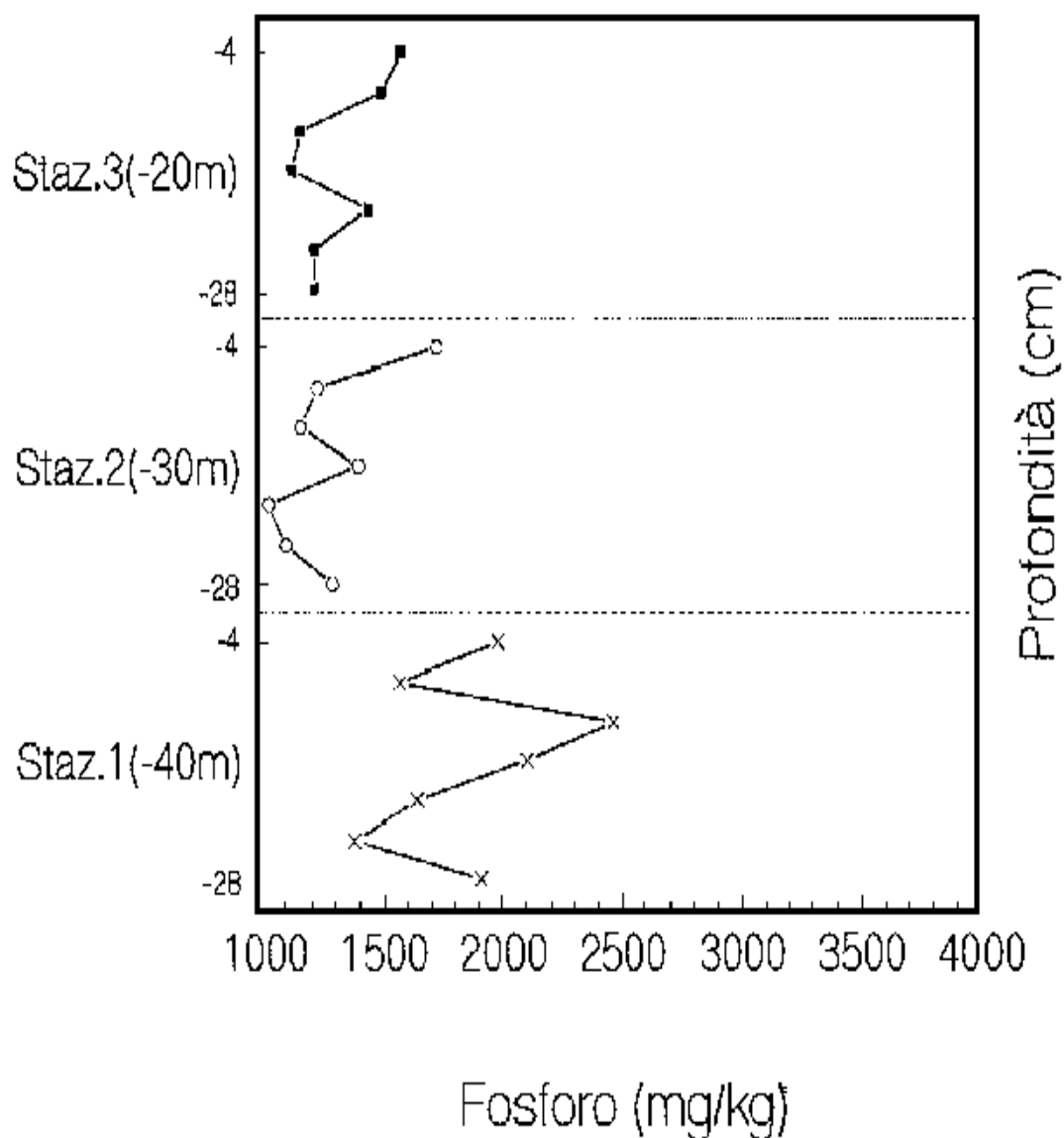
Prelievo 15 luglio 1999



Prelievo 13 ottobre 1999



Prelievo 14 dicembre 1999



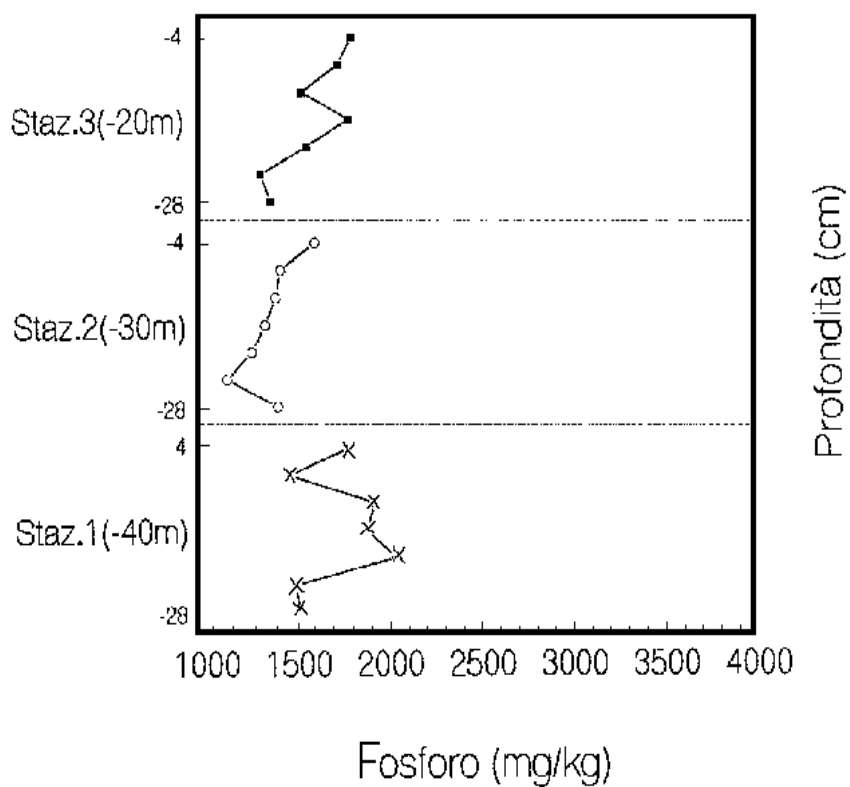
Questi risultati mostrano una certa attività del sedimento al fondo, sebbene manchi la regolarità della fig. 9.11, cosa che suggerisce la necessità di proseguire l'indagine, per avere maggiori riscontri. Sembra però abbastanza chiara la tendenza all'incremento del contenuto in fosforo del sedimento più a contatto con l'acqua, soprattutto nel caso del sedimento a -40 m, dove, cioè, si registrano le condizioni di anossia del fondale (vedi fig. 9.2).

Tab. 9.8: Valori medi annui per le tre stazioni.

Profondità dello strato		Stazione 1 (-40 m) P [mg/kg]	Stazione 2 (-30 m) P [mg/kg]	Stazione 3 (-20 m) P [mg/kg]
	4cm	1791	1608	1816
	8cm	1458	1421	1745
	12cm	1924	1392	1547
	16cm	1875	1335	1798
	20cm	2038	1261	1571
	24cm	1485	1125	1319
	28cm	1518	1400	1371

Fig. 9.13: Grafico dei valori medi annui per le tre stazioni.

Valore medio annuo (1999)



CAP.10 – BATIMETRIA DEL LAGO

Questa analisi ha avuto un duplice scopo:

- a) aggiornare la vecchia cartografia del 1970, condotta con tecnologie oggi superate, come confermato da colloqui con uno degli autori di quel lavoro (Libera, 1998), aggiungendo ulteriori dati e, quindi, raffinando il rilievo già effettuato nel 1998 (vedi cap.8).
- b) Valutare il grado di intrappolamento del sedimento da parte del lago, attraverso il confronto delle batimetriche del 1970 e del 1999. Ciò consente di verificare e calibrare i modelli sul destino ambientale degli inquinanti.

Il rilievo è stato effettuato rilevando la posizione planimetrica tramite un ricevitore GPS (*Lawrance GlobalNav 200*) e le relative profondità tramite un ecoscandaglio (*Lawrance X-85*).

Dati gli scopi del lavoro e la necessità pratica di portare la strumentazione in barca, il rilievo è stato effettuato con un ricevitore semplice, per il quale, perciò, si è effettuata un'analisi dell'errore che, come è noto, contiene quello di disponibilità selettiva. La geometria della costellazione (GDOP) è sempre stata buona: almeno 6 satelliti sono stati sempre visibili.

10.1 – Analisi dell'errore del sistema GPS adottato

Il ricevitore GPS, collegato ad un PC portatile, è stato lasciato nei pressi di un punto GPS dell'Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI, 1997), scelto sulla base della comodità di accesso e della sicurezza nella custodia della strumentazione. Si è quindi considerato il punto ubicato all'estremità del molo occidentale del porticciolo di Capodimonte (Viterbo), davanti al quale è ormeggiata l'imbarcazione della locale Guardia di Finanza^(*), su cui si è alloggiata la strumentazione, lasciata in funzione continua per oltre due giorni.

Il GPS usato acquisisce la posizione ogni 2" e, quindi, in totale sono stati rilevati circa 90000 dati. I risultati sono riportati in tab. 10.1. Essa mostra la buona corrispondenza fra la

^(*) Si coglie l'occasione per esprimere vivo ringraziamento al Comando Provinciale di Viterbo.

media delle misure effettuate e le coordinate GPS fornite dall'IGM. Lo scarto di qualche metro (16,0 m per la longitudine ed 1,1 m per la latitudine) dipende dalla piccola distanza della barca dal punto IGMI.

Tab. 10.1: Sintesi dei risultati dei rilievi effettuati.

Coordinate geografiche	Rilievo GPS		Punto GPS IGM	
	Latitudine	Longitudine	Latitudine	Longitudine
Medie	42° 33' 04,794"	11° 54' 34,348"	42° 33' 03,837"	11° 54' 34,396"
Minime	42° 32' 59,660"	11° 54' 30,820"	-	-
Massime	42° 33' 09,740"	11° 54' 37,560"	-	-
Scarto GPS-IGM [m]	-	-	16,0	1,1
Scarto (max-min), [m]	155,0	176,6	-	-
Scarto (med-min), [m]	71,0	86,2	-	-
Scarto (max-med), [m]	84,0	90,4	-	-

Considerata, quindi, la media delle misure effettuate come valore vero, sono stati calcolati gli scarti fra questa ed ogni singolo dato rilevato. Tali elaborazioni sono state effettuate considerando le lunghezze degli archi (unità metriche e non sessagesimali); le relative statistiche sono riportate in tab. 10.2, nell'ipotesi di distribuzione casuale dell'errore (gaussiana).

Tab. 10.2: Statistica dell'errore di misura.

	Percentile	Latitudine ^(*) $\Delta\Phi$	Longitudine ^(§) $\Delta\lambda$	Distanza ^(#)
Media μ , [m]	-	11,5	9,8	22,2
$\mu+1 \sigma$, [m]	68	9,8	13,5	13,9
$\mu+2 \sigma$, [m]	95	19,6	27,0	27,8
$\mu+2,6 \sigma$, [m]	99	25,5	35,1	36,1
$\mu+3 \sigma$, [m]	99,7	29,4	40,5	41,7
$\mu+4 \sigma$, [m]	99,994	39,2	54,0	55,6
$\mu+5 \sigma$, [m]	99,99994	49	67,5	69,5

^(*) $\Delta\Phi = \text{val.ass.}(\Phi_i - \Phi_{\text{med}})$

^(§) $\Delta\lambda = \text{val.ass.}(\lambda_i - \lambda_{\text{med}})$

^(#) $d = \sqrt{(\Delta\Phi)^2 + (\Delta\lambda)^2}$

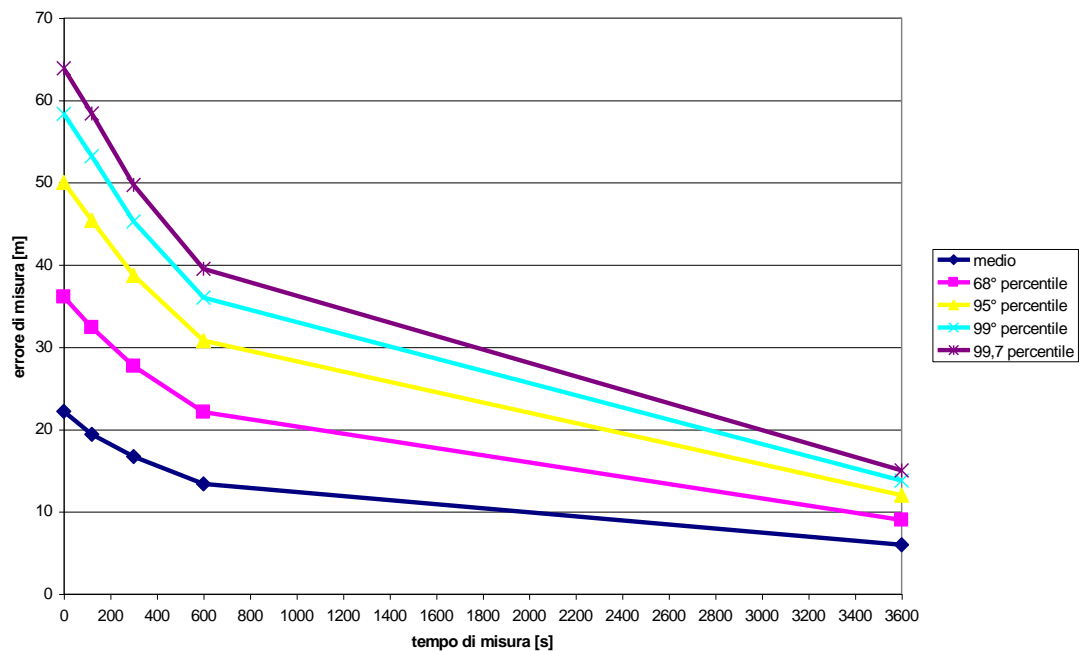
Ad integrazione di questi risultati, è sembrato interessante analizzare l'influenza del numero di misure sull'accuratezza del dato fornito dal ricevitore. In altri termini, si è calcolato l'errore medio (e le relative statistiche) dopo 2, 5, 10 e 60 minuti di misure nello

stesso punto, analizzando gli scarti tra valore vero e medie dei suddetti periodi temporali. I risultati sono riportati in tab. 10.3 e fig. 10.1.

Tab. 10.3: Statistiche dell'errore (distanza punto reale-punto stimato) per vari tempi di misura.

	Dato istantaneo	2'	5'	10'	60'
Media	22,2	19,4	16,7	13,4	6,0
$\mu+1 \sigma$	36,1	32,4	27,7	22,1	9,0
$\mu+2 \sigma$	50,0	45,4	38,7	30,8	12,0
$\mu+2,6 \sigma$	58,34	53,2	45,3	36,02	13,8
$\mu+3 \sigma$	63,9	58,4	49,7	39,5	15,0
$\mu+4 \sigma$	77,8	71,4	60,7	48,2	18,0
$\mu+5 \sigma$	91,7	84,4	71,7	56,9	21,0

Fig. 10.1: Errore di misura in funzione del tempo di rilievo.



I risultati ottenuti consentono di valutare le possibilità di errore di posizione planimetrica e, quindi, giudicare l'utilità dell'apparecchio di cui si dispone in rapporto alla cartografia che si intende utilizzare.

La loro sintesi è la seguente:

- la media dei valori di registrazione di più ore può essere considerata come valore vero della misura.

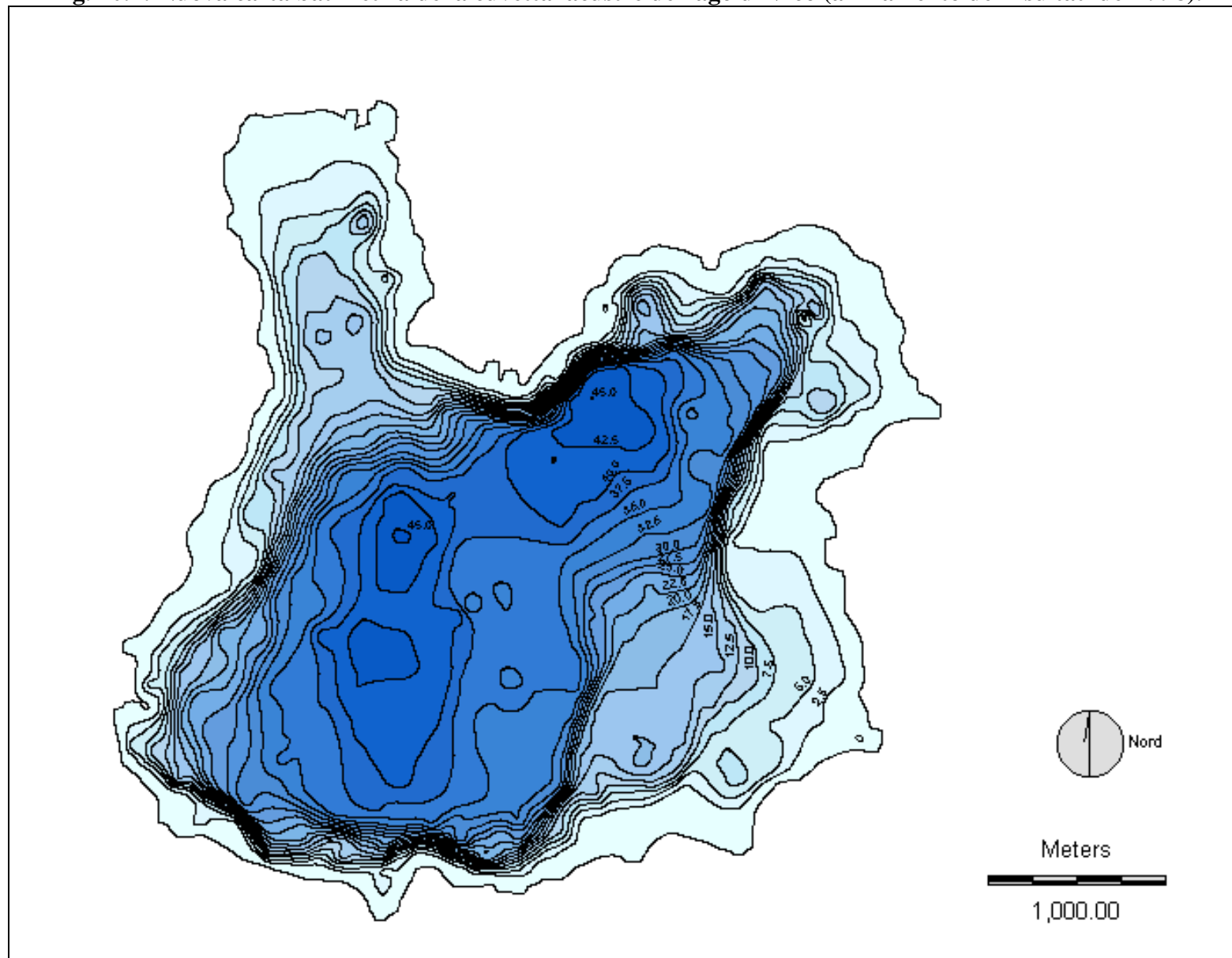
- L'errore massimo registrato è sempre stato inferiore ai 100 m, con prevalenza della latitudine sulla longitudine, la quale, però, presenta maggiore varianza dei dati e, quindi, contribuisce maggiormente a ridurre l'accuratezza di misura sui percentili maggiori (tab. 4.2).
- Effettuando la media delle misure per più minuti (tab. 10.3, fig. 10.1), si nota una rapida riduzione dell'errore, che, dai 10 ai 60 minuti di misure, si riduce in maniera all'incirca lineare, con un tasso (quasi costante per tutti i percentili) di 0,344 m/minuto, contro 1,92 m/minuto del tasso iniziale (da 0 a 10 minuti).
- Il lasso di tempo di 10 minuti può essere considerato il limite per una decisa riduzione dell'errore di misura: la media sui 10', infatti, presenta errori ridotti di oltre il 50% rispetto al semplice dato istantaneo (fig. 10.1).
- Tale riduzione è più elevata per i percentili più alti. Se, quindi, è necessario interpretare i percentili maggiori (si debba, cioè, considerare eventuali errori eccezionali), sarà necessario incrementare l'intervallo temporale della misura, mentre ai percentili più bassi (valore medio, 68°) sono già sufficienti 6-7 minuti di misure per abbattere l'errore di oltre il 50%.

Sulla base di queste considerazioni, si sono effettuate le misure mediando 4-5 dati istantanei in quanto le operazioni in barca non consentono operazioni lunghe. Del rilievo effettuato, quindi, si può affermare che la gran parte del campione (95° percentile) presenta errori planimetrici inferiori a 50 m, ritenuto più che accettabile rispetto alle finalità del rilievo (*).

Il risultato è la carta batimetrica riportata nella fig. 10.2, mentre in fig. 10.3 sono schematicamente indicati i punti del rilievo. In un prossimo lavoro tale carta verrà portata alla scala 1:10000 (carta base la CTR della Regione Lazio), ma questa operazione è rimandata all'estate, per potere avere l'occasione di infittire i punti del ramo occidentale.

(*) Nella scala 1:10000, adottata per il rilievo del 1970, tale errore massimo corrisponde a 5 mm, inferiore a quello insito nella carta di base (tavoleta IGMI 1:25000 ingrandita).

Fig. 10.2: Nuova carta batimetria della cuvetta lacustre del lago di Vico (affinamento dei risultati del 1998).



CONCLUSIONI

I risultati ottenuti sono limitati dalla scarsità di eventi occorsi nell'anno 1999, che ha presentato due soli eventi di piena, per altro molto modesti. Le considerazioni che possono essere fatte hanno quindi bisogno di ulteriori conferme, la cui occasione viene dal progetto AgriBMPWater della CE, per il quale il lago di Vico è bacino sperimentale.

Sintesi dei risultati è la seguente:

- Quando si dispone del dato di concentrazione per vari livelli (nelle bottiglie), si può notare come il nutriente si distribuisce in funzione dell'altezza, e, cioè come, con l'aumentare della portata, diminuisca la concentrazione di nitrato. In altri termini, le acque di primo deflusso sono più concentrate, mentre, all'aumentare della portata nel corso d'acqua (maggiori livelli), subentra un effetto di diluizione.
- Le stazioni che sottendono usi del suolo differenti presentano concentrazioni di nutriente altrettanto diverse: quelle in cui è prelevata acqua di deflusso proveniente da aree forestali presentano concentrazioni di nutrienti nettamente inferiori a quelle presenti in acqua proveniente da aree agricole o miste.
- Nelle aree boscate il deflusso superficiale dovrebbe essere l'eccezione, ma tale assunzione è smentita, in alcuni casi, per l'impatto esercitato dalle strade forestali che tagliano il pendio e provocano deflussi anomali di acqua, con frequenza ben superiore a quella del territorio agricolo. In altri termini, il bosco produce deflussi solo per effetto delle strade, ma queste acque hanno un contenuto in nutrienti molto minore di quello che può provenire dai territori agricoli; in compenso, la frequenza è ben maggiore.
- Dal punto di vista idrologico, perché ci siano fenomeni di piena che apportino inquinanti al lago, è indispensabile il contemporaneo verificarsi di tre condizioni:
 - 30 mm di precipitazione totale con intensità medie di 10 mm/h (ovvero almeno 30 mm in 3 ore);
 - presenza di picchi di intensità di almeno 3 mm/5' nell'ambito dell'evento;

- buona saturazione degli invasi (suolo sufficientemente umido per precipitazioni precedenti).

Sempre dal punto di vista idrologico, è interessante segnalare la diversità degli effetti di eventi pluviometrici apparentemente simili:

- quelli più intensi e brevi (tipo l'evento del 10 luglio 1999) producono poco deflusso nella rete idrografica, ma forte erosione, evidentemente laminare, sulle superfici agricole;
- quelli meno intensi ma più prolungati (tipici dell'autunno) producono piene con minore carico di sedimento.

Viterbo, 20 maggio 2000.



Prof. Ing. Antonio Leone

Bibliografia

- BENNET P. (1997), *The Global Position System FAQ (Frequently Asked Questions)*, vers. 9.001, Internet, <http://www.ngs.noaa>
- Decreto Lgs. 11-5-1999, N° 152, Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale" n. 177 del 30 luglio 1999.
- DI MAGGIO H., Monitoraggio dei nutrienti nel bacino del lago di Vico, Tesi di Laurea in Scienze Ambientali, Università della Tuscia, a.a. 1998-99, 121 pp.
- JØRGENSEN S.E., JØRGENSEN L.A. (1989), *Ecotechnological approaches to the restoration of lakes*, in: "Ecological Engineering an Introduction to Ecotechnology", Mitsch W. J. e Jørgensen S. E. ed., Wiley – Interscience Publication.
- KRENKEL P.A., NOVOTNY V. (1980), *Water Quality Management*, Academic Press.
- KUMM W. (1993), *GPS, Global Position Systems*, Mursia editore, Milano.
- Istituto Geografico Militare Italiano (1997), *IGM95, Direzione Geodetica, Schede monografiche (Capodimonte, VT)*, Firenze.
- LEICA S.p.A. (1995), *Guida all'uso professionale del GPS*, Manuale d'uso.
- LEONE A. (1998), *Assetto territoriale del bacino del lago di Vico e tutela del corpo idrico*, Amministrazione Provinciale-Università della Tuscia Viterbo.
- LEONE A., MARINI R. (1993), *Assessment and Mitigation of the Effects of Land Use in a Lake Basin (Lake Vico in Central Italy)*, J. of Environmental Management, 39:39-50.
- LEONE A. et al. (1996), *L'inquinamento da fonti diffuse di origine agricola: analisi critica delle metodologie di valutazione e controllo*, Acqua & Aria, 5:511-518.
- RECANATESI F., *Assetto del bacino del lago di Vico ed evoluzione trofica del corpo idrico: aspetti idrologici*, Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali, Università della Tuscia, a.a. 1997-98.
- SCIALANCA F., *Ricerche ecologiche sul lago di Vico (Alto Lazio): II. Analisi dei principali parametri limnologici in relazione all'evoluzione trofica dell'ecosistema lacustre*, Tesi di laurea in Scienze Biologiche, Università della Tuscia, a.a. 1994-95.
- SCIALANCA F., ANDREANI P., MUCCILO L., NASCETTI G., *Valutazione della qualità delle acque litorali del lago di Vico (Italia Centrale): analisi chimica, studio della comunità macrobentonica e analisi delle rane verdi del complesso r: Esculenta*, Atti IX Congresso SITE, Lecce, 14-18 settembre 1999.
- SELVINI A. (1996), *Elementi di Cartografia*, Città Studi Edizioni, 160 pp.