

M. FALCINI, S. VITTORINI (*)

STUDIO DEL CLIMA E DEI CARATTERI IDROLOGICI DELLE ARGILLE PLIOCENICHE PRESSO PODERE NUOVO (MONTECATINI VAL DI CECINA) IN FUNZIONE DELL'IMPATTO DI UNA DISCARICA SULL'AMBIENTE

Riassunto - Dopo aver messo in relazione tra loro i fattori, antropici e naturali, che hanno determinato l'attuale morfologia dell'area in esame, si è cercato di individuare, attraverso lo studio granulometrico delle argille plioceniche, della situazione geostrutturale dell'area, del clima, del bilancio idrico climatico e delle prove di permeabilità, quali potrebbero essere le problematiche connesse all'eventuale realizzazione di una discarica nel contesto geologico studiato.

È emerso che, sebbene le argille siano impermeabili per definizione, la presenza di faglie e di joints determina una permeabilità secondaria che eleva il coefficiente di permeabilità K a valori di due ordini di grandezza maggiori rispetto a quello ($k < 1 \cdot 10^{-7}$ cm / s) comunemente riportato in letteratura. Questi valori sono stati rilevati nelle zone attraversate da sistemi di joints, la cui distribuzione, com'è noto, non è omogenea. Pertanto si ritiene necessario, per la scelta di aree idonee all'ubicazione di discariche nelle argille, eseguire un'opportuna indagine per l'individuazione di discontinuità strutturali nel terreno.

Le prove sono state condotte in aree a biancana, caratterizzate dalla prevalenza della frazione argillosa su quella sabbiosa, perciò non ci sembra opportuno estrapolare i risultati ottenuti alle aree argillose calanchive che, sebbene interessate da sistemi di joints, hanno la frazione sabbiosa prevalente su quella limosa ed argillosa.

Parole chiave - Toscana, argille plioceniche, joints, permeabilità, discariche.

Abstract - *Study of climate and hydrological characteristics of Pliocene clays close to «Podere Nuovo» (Montecatini Val di Cecina) in relation to the environmental impact of a dumping area.* After interrelating the numerous factors, anthropic and natural, which determined the existing morphology of the area under exam, we tried to identify, through a granulometrical study of pliocene clays, the geostruttural situation of the area, the climate, the water balance and through permeability tests, which could be the problems linked to the eventual realisation of a dumping ground in the geological environment under study.

It is to be noted that, though clays are impervious, the presence of fault and joints determine secondary permeability which raises the coefficient of permeability by two orders higher than that normally reported in scientific literature ($k < 1 \cdot 10^{-7}$ cm / s). These values have been found in a zone crossed by joint systems, the distribution of which, as known, is not homogeneous. Hence it is necessary, when choosing suitable areas in clays for dumping grounds, to

make an appropriate research for locating structural discontinuity on the ground.

The permeability tests have been carried out in areas with biancane, that are characterised by the prevalence of clay over sand and hence we repute it is not fair to extrapolate the results obtained at the calanchive (badlands) areas, which though effected by joint systems has the sand fraction prevailing over that of the clay.

Key words - Tuscany, Pliocene clay, joint systems, permeability, dumping ground.

L'area scelta per la discarica è una vallecchia ubicata nel bacino del T. Gagno, affluente di destra del F. Cecina. La vallecchia è posta sul versante di sinistra di un rilievo a morfologia collinare caratteristico dei terreni argillosi a biancane che, dalle pendici del rilievo formato dalle vulcaniti di Montecatini Val di Cecina, scende fino al corso del Cecina. La vallecchia è il bacino di drenaggio di un piccolo corso d'acqua che confluisce nel Rio Ergagno, affluente del T. Gagno; la sua superficie è di circa 132.500 m² ed ha una quota media ponderata di circa 120 m s.m. Essa è ubicata a circa 2,2 Km da Montecatini V. C. e a 4 Km da Saline di Volterra (Fig. 1).

Nell'area di studio affiorano argille del Pliocene sormontate da lembi di alluvioni terrazzate del Quaternario (Mazzanti, Squarci e Taffi, 1962). Si tratta delle tipiche argille color grigio-cenere o azzurrognolo che hanno una percentuale di sabbia di circa il 10%. La porzione argillosa è in media del 50 % e quella limosa del 40%. La loro potenza è ragguardevole anche se difficilmente misurabile; comunque nel sondaggio S₃, eseguito dalla Soc. Larderello, a NE di Podere Nuovo, la sonda ha attraversato 950 m di argilla senza raggiungerne la base (Fig. 2). Le alluvioni terrazzate, di modesta potenza, sono presenti anche intorno a Poder Nuovo e sono poste sullo spartiacque orientale della vallecchia in esame.

Alla fase tettonica distensiva, che ha provocato in tutto il bacino di Volterra una profonda depressione in cui si sono depositi i sedimenti pliocenici, è seguito, alla fine del Pliocene medio, un sollevamento che ha interessato anche i bacini dell'Era e del Cecina.

* Centro di Studi per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino, Via S. Maria, 53, 56025 Pisa.

Lavoro eseguito nell'ambito del Progetto: *Tecnologie innovative per il controllo dell'inquinamento da scorie e rifiuti industriali, comprese le tecniche di riciclaggio (CNR). Linea C.*

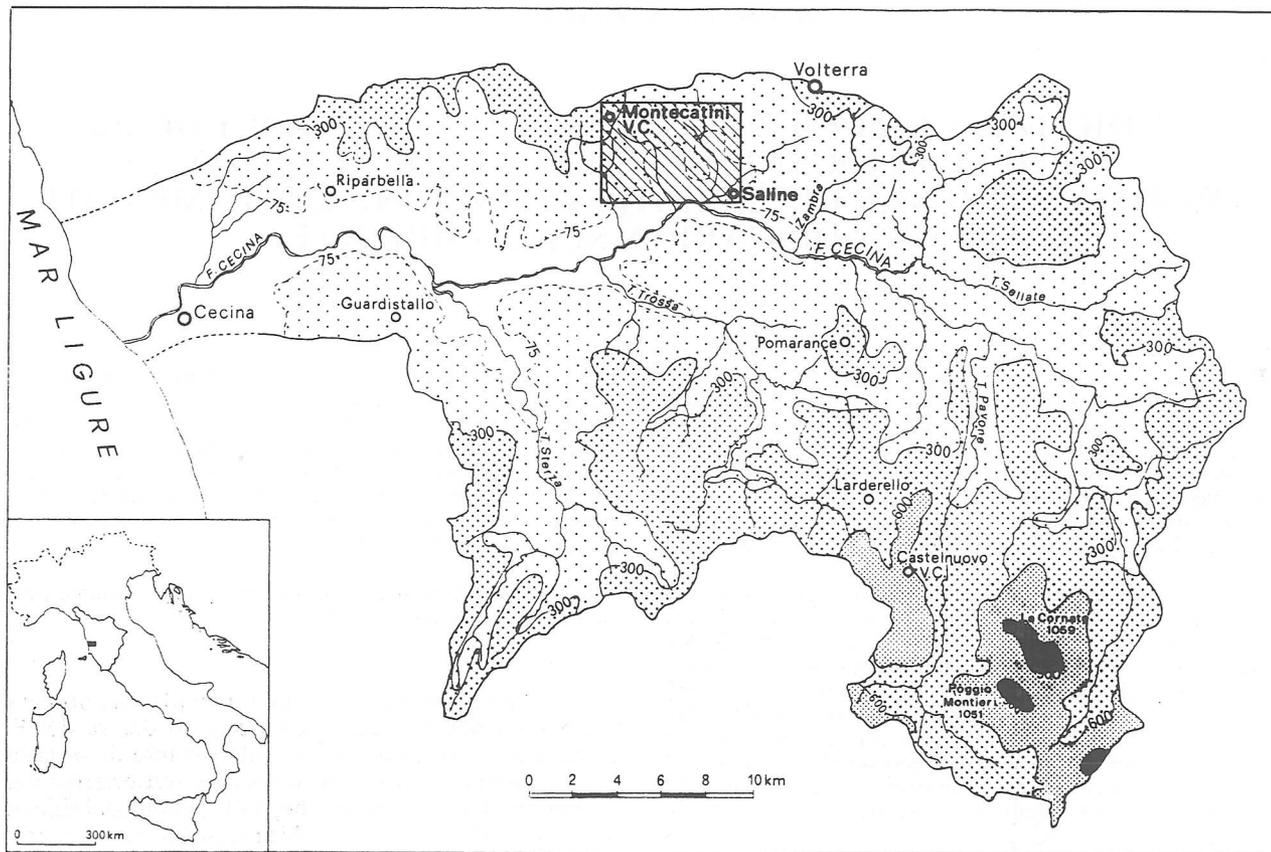


Fig. 1 - Inquadramento geografico dell'area in esame.

La presenza di numerose faglie dirette e la dislocazione a varie quote dei depositi quaternari indica che questa fase tettonica non si è ancora conclusa, come è messo in evidenza dalla Carta Neotettonica dell'Appennino settentrionale (Bartolini *et al.*, 1980).

Questo fenomeno risulta anche da: 1) la quota topografica della base delle alluvioni terrazzate del Quaternario aumenta progressivamente a partire dal fondovalle del T. Gagno (110 m) fino all'estremità occidentale della valle stessa (presso Montecatini Val di Cecina) dove raggiunge i 150 m. Tale dislivello denoterebbe un sollevamento dovuto ad eventi molto recenti, posteriori ai depositi terrazzati; 2) la faglia che pone a contatto le argille plioceniche con i gessi, presso Montecatini Val di Cecina, è attiva, data la presenza di sorgenti termali, come quella di Podere S. Ottaviano; 3) nelle argille è presente una fitta rete di fratture: queste rocce, infatti, al di sotto dello strato alterato, si comportano come un corpo rigido e fragile sul quale si possono impostare diaclasi e sistemi di fratture senza rigetto o con un rigetto molto piccolo (joints). Questo fenomeno si troverebbe associato ad aree tettonicamente attive o di sollevamento recente ed è presente nelle vicinanze di faglie, di cui rispecchiano l'andamento, o in strutture piegate, dipendendo dalle tensioni che vi si sviluppano; 4) l'alveo dei corsi d'acqua vicini al-

l'area della ricerca, tra cui l'Era ed il Cecina, che scorrono nelle argille plioceniche, è impostato spesso sui terreni stratigraficamente sottostanti; 5) gli intensi fenomeni erosivi presenti nel territorio (calanchi, biancane, balze) paleserebbero un sollevamento in atto essendo questo ritenuto una concausa della loro genesi.

Nelle rocce argillose tuttavia, data la rapida alterazione della loro superficie, è difficile riconoscere, con la sola osservazione diretta, tracce di faglie e di fratture; quelle dell'area in esame sono state per la maggior parte individuate attraverso i sondaggi eseguiti dalla Società Larderello; è così possibile ipotizzare che ve ne siano altre non ancora individuate. Le principali forme di erosione che interessano in generale le argille plioceniche sono i «calanchi» e le «biancane», che, pur essendo presenti nella stessa formazione, hanno caratteristiche morfologiche diverse. Nel Bacino di Volterra ed in altri luoghi è frequente incontrare entrambe le forme nello stesso ambito, in successione altrimetrica o in aree contigue; ne è derivata la personale convinzione che questo fatto sia dovuto al differente comportamento delle argille di fronte agli agenti esterni, causato dalla diversa composizione granulometrica e mineralogica che si riscontra sovente tra i vari strati e fra i diversi bacini di sedimentazione.

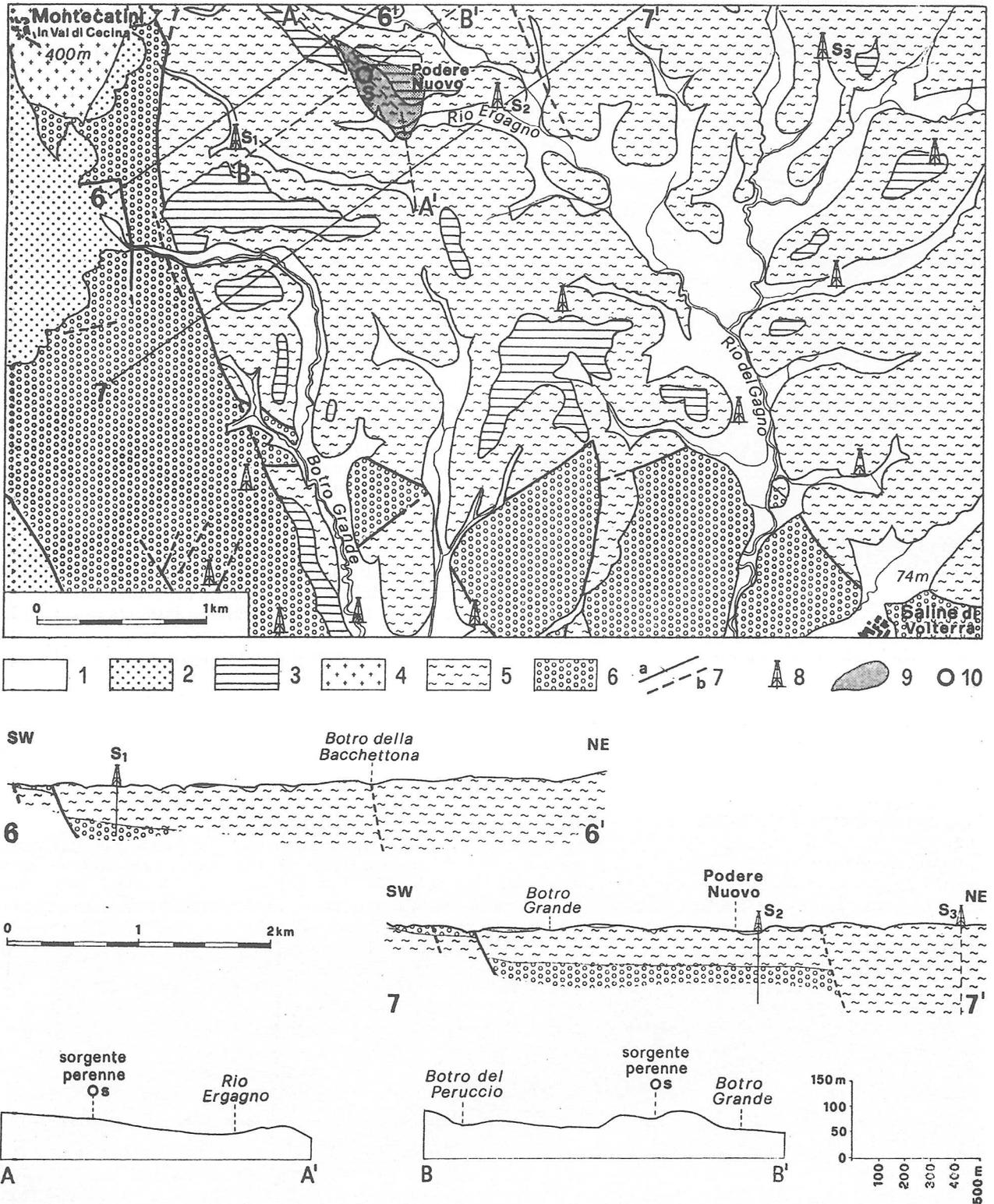


Fig. 2 - Lineamenti geotettonici dell'area compresa tra Montecatini Val di Cecina e Saline di Volterra. 1) alluvioni recenti; 2) Selaggi di Montecatini V.C.; 3) alluvioni terrazzate; 4) detriti; 5) argille plioceniche; 6) argille mioceniche; 7) faglie (a) e faglie presunte (b); 8) sondaggi; 9) la vallecola in esame; 10) sorgente perenne.



Fig. 3a - Paesaggio a biancane dopo la loro demolizione meccanica. Le ondulazioni che si possono osservare sullo sfondo e le chiazze più chiare sono la testimonianza della presenza delle biancane esistenti prima dello spianamento.

Per quanto riguarda la composizione granulometrica, utilizzando i diagrammi C M di Passega (1957), che si riferiscono rispettivamente alle dimensioni dei granuli in corrispondenza dell'unpercentile e alla mediana della distribuzione granulometrica di ciascun campione, si hanno, laddove si trovano nella stessa area biancane e calanchi (Val d'Era, Val d'Orcia e Basento), due distinte nubi di punti che indicano, per le argille a biancane, un ambiente di acque tranquille e pelagiche, e per quelle a calanchi un ambiente di piattaforma. Nella valle del Piomba (Abruzzi), invece, dove la morfologia è tutta calanchiva, i punti sono disposti, senza soluzione di continuità, parallelamente alla retta $C = M$, indicando un deposito per corrente di torbida (Vittorini, 1977). Nell'area in esame, che è posta nel Bacino di Volterra, le analisi micropaleontologiche mostrano, per le argille a biancane, un ambiente di sedimentazione marino franco in zona neritica esterna, parte profonda (Zancleano, zona a *Globorotalia puncticulata*), mentre per le argille a calanchi, un ambiente marino franco intorno al limite tra la zona neritica interna e quella esterna (Zancleano/Piacenziano, limite tra la zona a *Globorotalia puncticulata* e quella a *G. aemiliana*). Malgrado che i due metodi siano diversi si nota una convergenza di risultati poiché, in ambedue i casi, risulta che l'ambiente di sedimentazione delle argille a biancane è di mare profondo, ed in sostanza distinto da quello delle argille a calanchi, avallando l'ipotesi che le due forme del terreno si impostano su argille aventi caratteristiche differenti, almeno per quanto riguarda la composizione granulometrica. Allo stes-



Fig. 3b - Malgrado la demolizione effettuata vi sono zone dove le biancane tendono a riformarsi. Si possono osservare su di esse i cuscini erbosi dovuti all'alternanza umido-secco (soliflusso mediterraneo).



Fig. 4a - Tracce di sistemi di joints rilevabili ai piedi di una biancana a circa 1 km dalla vallecchia in esame.



Fig. 4b - Tracce di sistemi di joints sulle pareti di un pozzetto scavato nella roccia madre, nell'area in esame.

so risultato si era giunti in precedenti ricerche, dove la stessa indagine era stata svolta effettuando il confronto sulla composizione mineralogica. Anche in questo caso le argille caratterizzate dalle due forme di erosione risultavano diversificate tra di loro, poiché si era rilevato la presenza o una maggiore percentuale di minerali espandibili nelle argille a biancane rispetto a quelle a calanchi (Vittorini, 1971; Vittorini, 1977; Sdao, Simone e Vittorini, 1984; Pinna e Vittorini, 1989).

Tra Saline di Volterra e Montecatini V. C. la morfologia è a biancane e quindi l'argilla ha un prevalente contenuto argilloso e limoso; queste forme di erosione tuttavia sono state spianate meccanicamente per consentire l'impiego del territorio per usi agricoli e di esse rimane solo qualche testimonianza. Nonostante ciò, presso Podere Nuovo è facile riconoscere, nei terreni messi a coltura, la traccia delle primitive forme cupuliformi, sia dall'andamento ondulato del paesaggio, sia dalle chiazze grigie, distribuite a macchie di leopardo nel terreno che rappresentano la base della biancane recise (Figg. 3a e 3b).

Nonostante la presenza di sistemi di joints nelle argille sia resa manifesta da bande colorate da ossidi di ferro presenti nei periodi secchi sulla parete di tagli recenti o sulla superficie delle biancane (Fig. 4a), nella nostra area la demolizione e lo spianamento di tutte le asperità hanno quasi tolto la possibilità di individuare queste tracce. Solo uno sbancamento di oltre un metro e mezzo, che ha messo a nudo la roccia madre, ha consentito di individuare un sistema di joints, probabilmente associato alle faglie presenti come indicherebbe la direzione appenninica delle principali diaclasi (Fig. 4b).

La granulometria delle argille di questo territorio è caratterizzata da un elevato tenore di argilla e di limo, mentre il contenuto di sabbia è molto scarso, come mostra il prospetto seguente. Ovviamente si tratta di dati ricavati da campioni non rappresentativi di tutta l'area in esame, ma ci sembra utile confrontare questi dati anche se parziali, con quelli relativi ai calanchi, indicati nella successiva tabella, di un'area poco distante anch'essa appartenente alla stessa formazione delle argille plioceniche.

BIANCANE

Percentuali ponderali delle frazioni granulometriche per due campioni esemplificativi								
Argilla	Limo			Sabbia				
< 2 µm	2-5 µm	5- 10 µm	10-20 µm	20-40 µm	40-80 µm	80-160 µm	160-320 µm	> 320 µm
50,1	20,9	10	12	2,6	4,4	—	—	—
49,3	17,2	13,8	10,3	5,3	4	0,1	—	—
49,6	42,1			8,2				

CALANCHI

Percentuali ponderali delle frazioni granulometriche per due campioni TIPO								
Argilla	Limo			Sabbia				
< 2 µm	2-5 µm	5- 10 µm	10-20 µm	20-40 µm	40-80 µm	80-160 µm	160-320 µm	> 320 µm
32	15	10,9	10,1	10	8,7	7,8	4,7	0,8
19,4	6,9	9,6	9,9	13,5	16,8	15,8	10	0,8
25,7	31,2			44,5				

L'effetto del profondo scasso operato per eliminare le biancane, livellare e mettere a coltura il terreno ha avuto come conseguenza anche l'approfondimento dello strato alterato superficiale, poiché l'azione idrometeorica, che normalmente non si spinge sulle biancane al di là di alcuni centimetri, attualmente ed in particolare nelle zone più depresse, può raggiungere e superare il metro. Le crepe (fratture di contrazione) che si formano in superficie (Fig. 5), per la riduzione di volume dell'argilla nei periodi secchi, consentono un maggiore assorbimento delle piogge ed un più facile deflusso ipodermico. Questo accade nell'interfaccia alterite - roccia madre, ma può usare ed approfondire vie preferenziali (piping) che accelerano ed incrementano il deflusso al di sotto della superficie del suolo, a discapito del ruscellamento, favorendo anche l'approfondimento dell'alterazione.

Il clima

Questa parte dell'indagine tende ad individuare le conseguenze che per effetto del clima possono derivare dalla realizzazione della discarica.

Per i dati termometrici ci si è avvalsi della stazione di Volterra mentre per i dati pluviometrici si è potuto contare, oltre che su questa stazione, anche su quella di Saline di Volterra e di Montecatini Val di Cecina. Tuttavia, poiché in ricerche recenti svolte dagli autori sono stati calcolati i gradienti termici e pluviometrici della Val di Cecina, si sono potuti ricavare i valori medi delle temperature e delle precipitazioni per il periodo 1954-1992, mentre si sono utilizzati i dati giornalieri delle stazioni suddette per approfondire determinati argomenti. I dati anemometrici sono stati ricavati dall'Osservatorio dell'Ae-

ronautica Militare di Volterra, che è posto sullo spartiacque tra la Val di Cecina e la Val d'Era.

La temperatura

La temperatura media annua del periodo considerato, alla quota media della vallecchia (120 m), è di 14,1 °C (Tab. 1), essa però è soggetta a sensibili variazioni interannuali, oscillando tra i 12,5 °C (1956) e i 15,8 °C (1988).

Il mese con temperatura media più bassa è Gennaio, con una temperatura media mensile (6,1 °C) piuttosto elevata, perché raramente i valori giornalieri scendono al di sotto dello zero °C. Ciò nondimeno nel 1929 a Volterra, che però è posta a 500 m di altitudine, il termometro è sceso fino a -11 °C; nel 1956 si sono verificati 42 giorni con gelo, di cui ben 14 senza disgelo; nel 1985, la temperatura è scesa fino a -11 °C, con 25 giorni di gelo e 6 senza disgelo. Tuttavia soltanto in due anni (nel 1929 e nel 1956) si è avuto un mese (febbraio) con temperatura media negativa, rispettivamente di -0,8 e di -1,9 °C; si tratta di casi limite, di anni con freddo eccezionale, dato che la temperatura media invernale, dall'inizio delle osservazioni ad oggi, tende invece ad aumentare.

Il mese con temperatura media più elevata è Agosto, che è stato il mese più caldo nel 76 % degli anni, la cui media del periodo è di 23,1 °C. Da Giugno a Settembre la temperatura massima diurna supera spesso i 30 °C; nel 1983, ad esempio, a Volterra si sono registrati 40 giorni, di cui 19 consecutivi, con la temperatura maggiore o uguale a tale valore, superato abbondantemente il 27 luglio in cui il termometro ha toccato 42 °C, valore insolito per l'altitudine cui è posta questa località.



Fig. 5 - Fessure di contrazione nell'ara in esame.

Come per l'inverno, anche per l'estate si osserva una tendenza positiva delle temperature nel tempo. Tale fenomeno diviene molto più accentuato a partire dal 1968, poiché l'aumento tendenziale della temperatura estiva passa dai $0,0049\text{ }^{\circ}\text{C}$ per anno a $0,09\text{ }^{\circ}\text{C/a}$, compiendo un balzo di un'unità di grandezza.

Le precipitazioni

Le precipitazioni medie annue del periodo ammontano a 939 mm (Tab. 2), ma anche per questo elemento del clima le oscillazioni interannuali sono notevoli, poiché lo scarto fra il minimo (658 mm nel 1957) ed il massimo valore annuo (1417 mm nel 1960) è notevole (~ 115 %).

Il mese meno piovoso è luglio con 34,8 mm di media e quello più piovoso è Ottobre con 122,6 mm, anche se i valori massimi mensili superano spesso i 200 mm (288 mm nel novembre del 1966; 283 mm nel dicembre del 1960; 214 mm nell'Ottobre del 1960). La stagione più piovosa è l'autunno, seguita dall'inverno, mentre quella più asciutta è l'Estate. Il regime pluviometrico medio è di tipo Submediterraneo (AIPE), anche se in qualche anno se ne può discostare alquanto, pur rimanendo nel gruppo dei regimi a minimo estivo. Casi limite sono invece il 1954, che ha avuto il massimo in primavera ed il minimo in autunno (PIEA) ed il 1966, con il massimo in autunno ed il minimo in primavera (AIEP), che presentano forti anomalie nella distribuzione annua delle precipitazioni (Tab. 3).

Come accade nella maggior parte delle località italiane, in sintonia con quanto avviene nel bacino del mediterraneo, la tendenza dei valori annui delle precipitazioni nella Val di Cecina è negativa, ma rispetto ad altre parti della Toscana, la diminuzione non è molto forte, poiché quella tendenziale è di circa un millimetro l'anno. In ogni caso, tenendo conto del trend positivo della temperatura e di quello negativo

delle precipitazioni, il clima dell'area in esame tende ad una maggiore aridità.

Le precipitazioni massime da 1 a 5 giorni consecutivi

Le precipitazioni brevi ed intense, quando si verificano dopo un periodo siccitoso, non generano generalmente un deflusso superficiale importante in un ambiente argilloso non disturbato, perché, specie in estate, le acque meteoriche, attraverso le crepe, penetrano quasi tutte nel suolo ed evaporano, mentre solo qualche volta determinano un deflusso ipodermico. In un ambiente artificiale, invece, come può essere quello di una discarica, dove il letto del deposito è nella maggior parte dei casi impermeabilizzato, è presente il rischio di tracimazione e di diffusione nell'ambiente di sostanze inquinanti.

Nell'area in esame, il percolato trasportato in questo modo sarebbe assorbito direttamente dal terreno a valle della discarica nel semestre caldo, potendo raggiungere gli acquiferi attraverso i joints e le faglie. Durante il semestre freddo, con la saturazione del suolo, prevalendo il deflusso superficiale, il percolato raggiungerebbe il Cecina, scorrendo nella fitta rete dei canali naturali.

Si sono analizzate le precipitazioni massime da 1 a 5 giorni consecutivi di Saline di Volterra e di Montecatini Val di Cecina, per il trentennio 1960-89. Confrontando i grafici della figura 6 si può notare che la tendenza delle precipitazioni massime da 1 a 5 giorni consecutivi a Montecatini in Val di Cecina (414 m s.m.) è fortemente negativa, anche se il coefficiente angolare diviene sempre più basso col diminuire della durata dell'evento. Tale fenomeno è più evidente a Saline di Volterra, che si trova nel fondovalle a 72 m di quota, poiché il coefficiente angolare delle precipitazioni massime di un giorno ha valore positivo.

Questo fatto indicherebbe che, oltre a verificarsi una

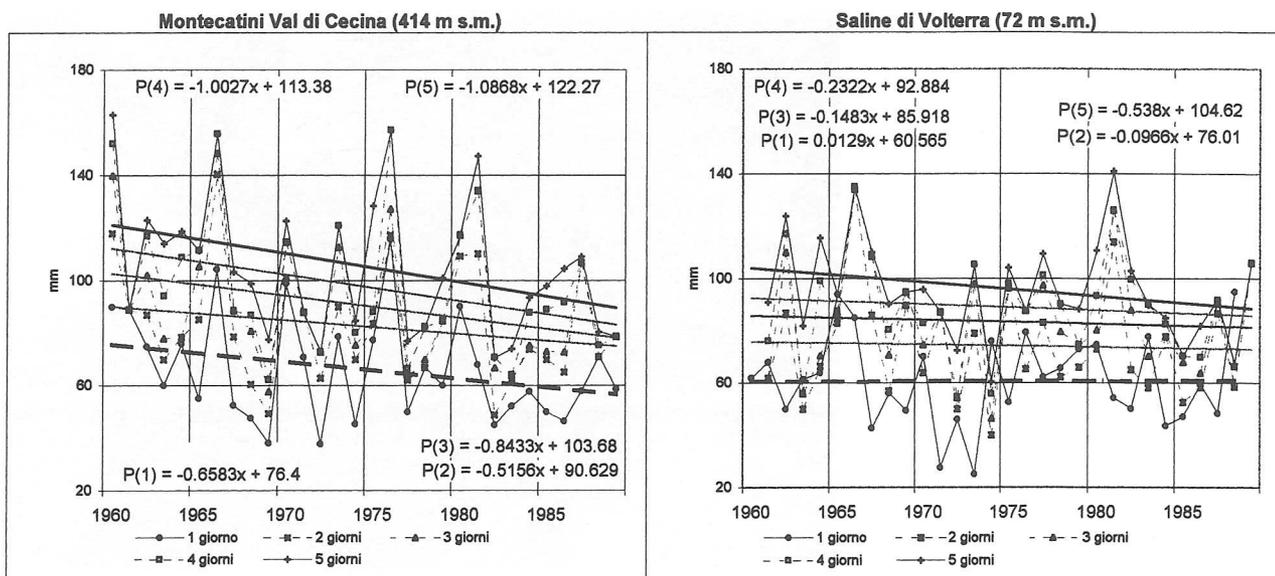


Fig. 6 - Andamento interannuale e trend delle precipitazioni massime da 1 a 5 giorni consecutivi.

flessione delle precipitazioni medie, tende a diminuire anche l'entità delle precipitazioni brevi ed intense di tipo frontale, mentre sono in leggero aumento quelle estive di tipo temporalesco, in corrispondenza dei fondi vallivi e pianeggianti, come mostra il caso di Saline, in sintonia con l'aumento della temperatura, cui sono legate le piogge convettive.

Infatti il valore massimo di un giorno registrato nel trentennio a Saline è di 95 mm ed è relativo al 6 agosto del 1989. Si è trattato di un temporale della durata compresa tra 3 e 6 ore ed è stato circoscritto a questa località, poiché nelle stazioni vicine non sono state registrate piogge di tale entità, eccetto che a Montecatini V. C. dove si è registrata una precipitazione di 58 mm.

I venti

La più vicina stazione anemometrica è quella di Volterra, che si trova a pochi chilometri in linea d'aria dal luogo in esame, ma è posta a 500 m s.m. I venti registrati in questa stazione non sarebbero molto disturbati dalla morfologia terrestre, data l'assenza di importanti rilievi, e per la bassa rugosità della superficie del terreno per un raggio di molti chilometri. Tuttavia potrebbero risentire in qualche modo dell'effetto di canalizzazione indotto dalla valle del Cecina che è disposta secondo la direzione E-W. I dati anemometrici presi in considerazione si riferiscono al periodo 1961-1983 (ISTAT, anni vari), sufficientemente lungo per conferire una buona attendibilità ai risultati ottenuti.

Le medie annue di tutto il periodo mostrano che il vento regnante è il Grecale, con il 17,84% delle frequenze, seguito dal Libeccio (15,19%), dal Ponente (9,51%) e dal Mezzogiorno (8,95%). Le altre direzioni hanno frequenze inferiori, anche se ancora si-

gnificative (Tab. 4). Il Grecale è anche il vento dominante, poiché la sua velocità media ponderata è di 6,4 m/s, mentre il Libeccio, con 4,9 m/s, si pone al quarto posto. Comunque i venti più frequenti e forti sono allineati secondo la direzione Nord-Est / Sud-Ovest e Nord/Sud, come mostra il grafico della figura 7 in cui sono rappresentate le frequenze per classi di velocità, nelle otto principali direzioni.

I grafici stagionali della stessa figura indicano che la situazione descritta per l'anno medio tende, in Inverno, ad una accentuazione dei venti del primo e del terzo quadrante in cui il NE ha una frequenza vicina al 24 % (velocità media ponderata di 7,6 m/s), mentre la Tramontana, che ha una frequenza di appena il 5,6 %, registra una velocità media di 7,8 m/s, che è la massima stagionale fra tutte le direzioni. L'autunno, con una frequenza complessiva dei venti del 32,4% sul totale annuo ed una velocità media di 4,9 m/s, si presenta come la stagione più ventosa.

Il bilancio idrico

Le argille plioceniche, malgrado che per la loro tessitura siano impermeabili, raggiungendo, in prove di laboratorio, un coefficiente di permeabilità $K < 1 \times 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$, assumono, a causa delle crepe superficiali che si formano nelle alteriti per le variazioni dell'umidità e per la presenza dei joint systems, una permeabilità secondaria. Per tali motivi si genera un deflusso ipodermico che modifica l'idrologia superficiale (Vittorini, 1979): le acque meteoriche sono portate a scorrere nello strato alterato e nelle fessure, piuttosto che sulla superficie del suolo, generando vie preferenziali fino a raggiungere la roccia madre, scorrendo quindi sull'interfaccia fra le due zone (pseudocarsismo).

L'acqua può giungere così in breve fino a parecchi

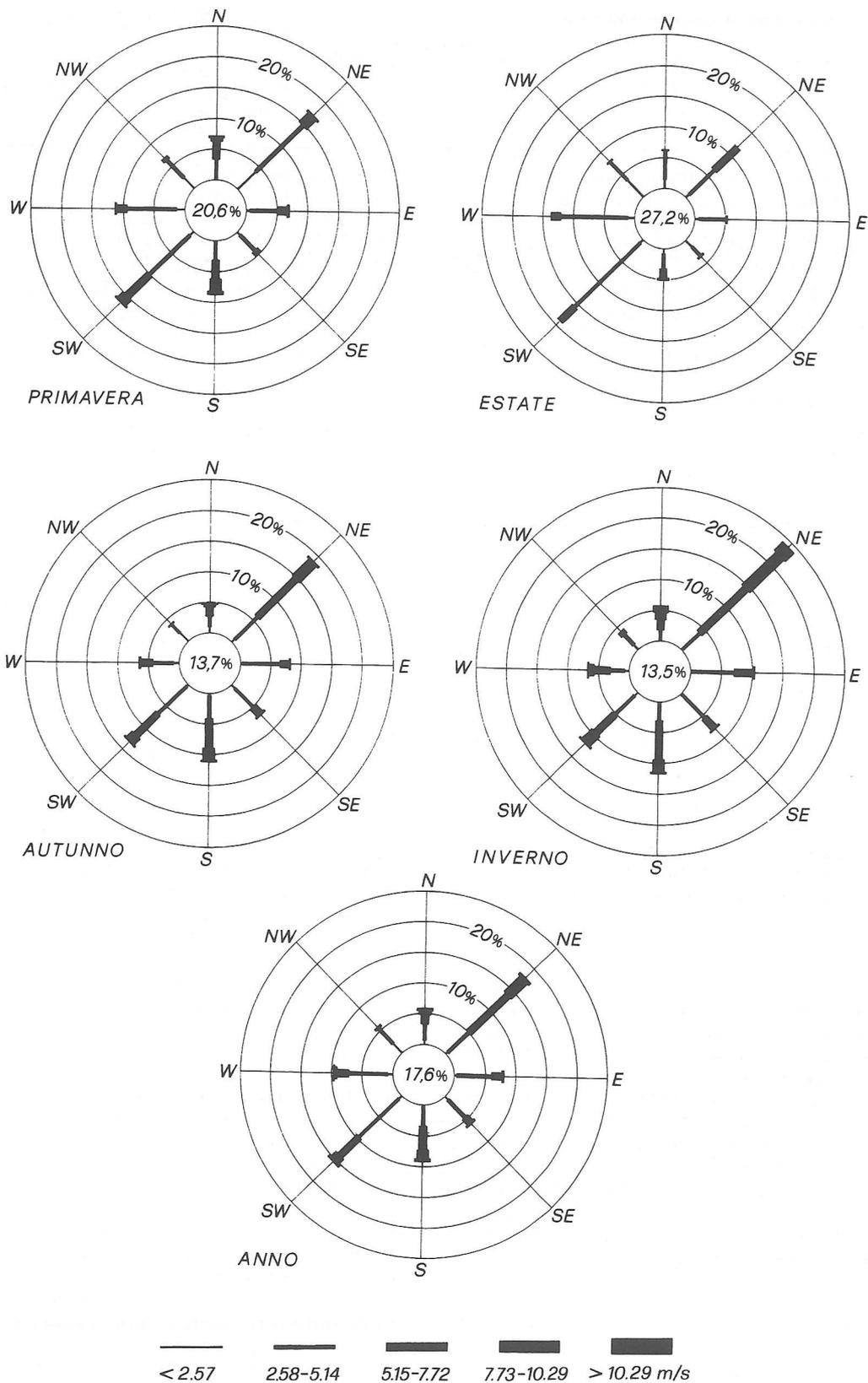


Fig. 7 - Frequenze dei venti stagionali ed anni, per classi di velocità e per le otto principali direzioni a Volterra, dal 1961 al 1983.

decimetri di profondità interessando tutte le alteriti. Dopo periodi piovosi abbastanza lunghi, tuttavia, a causa dell'umidità accumulata nel suolo, con il restringimento delle fessure dovuto al rigonfiamento delle argille, al deflusso ipodermico segue quello superficiale.

Poiché la velocità di scorrimento del deflusso ipodermico è molto bassa, l'acqua rimane intrappolata nelle alteriti per molto tempo ed è soggetta all'evapotraspirazione che varia da pochi decimi di millimetro al giorno durante l'inverno ad oltre cinque millimetri al giorno durante l'estate. Si può comprendere allora, per tutto questo complesso di cose, perché nei terreni argillosi il deflusso superficiale sia basso e che nei bacini a prevalente componente argillosa il coefficiente di deflusso raggiunga valori modesti, come mostrano alcuni dati relativi ad un campo sperimentale posto nelle argille della Val d'Era presso Legoli (Vittorini, 1971) ed indicati nel prospetto seguente:

Periodo di osservazione	Precipitazioni (mm)	Intensità (mm/h)	Coeff. di defl.
27-09 / 12-10-63	42	5,2	0,05
03-12-63 / 21-01-64	52,7	1,9	0,17
22-01 / 07-04-64	133,8	1,5	0,15
08-04 / 17-07-64	241,4	9,5	0,01
17-11-64 / 08-02-65	211	1,3	0,17
14-10-65 / 27-01-66	319,4	1,4	0,06
9-11-66 / 21-01-67	161,8	4,1	0,1

Il più elevato coefficiente di deflusso si è registrato in Inverno (gennaio-febbraio), mentre in primavera ed in autunno i valori sono stati modesti (in estate non si è verificato nessun deflusso apprezzabile).

Anche se si tratta di misure effettuate in una parcella di piccole dimensioni (1000 m²), dove l'idrometro, installato in una vasca di raccolta, poteva registrare soltanto il deflusso superficiale, esse sono dello ordine di grandezza di quelle effettuate in altre aree sperimentali della Val d'Era da altri ricercatori (Chisci e Panicucci, 1973).

Se ai fatti testé descritti si associa la tettonica, sotto forma di faglie e joints, le perdite di acqua in un'area ristretta sono ancora più rilevanti poiché la permeabilità indotta dalle fratture determina un flusso di acqua verso le falde profonde. Presso Podere Nuovo, le argille sono intensamente fratturate e dalle prove di permeabilità eseguite si sono ottenuti valori del coefficiente di permeabilità K:

$$1,37 \times 10^{-5} < K < 1,03 \times 10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$$

di due unità di grandezza superiore a quello generalmente citato in letteratura per le argille ($K < 1 \times 10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$).

Infatti queste misure non differiscono molto da quelle

di portata eseguite dal 1968 al 1977 relative alla parte medio-alta del bacino del Torrente Roglio (83,3 Km²), che è formato per il 41% di argille plioceniche.

In questo bacino, nel decennio indicato, si sono verificati in media 135 giorni di assenza di deflusso all'anno; il coefficiente di deflusso medio annuo è stato di appena 0,12, con un massimo di 0,21 nel 1976 ed un minimo di 0,07 nel 1972 e nel 1973 (Rapetti, 1978; Rapetti e Vittorini, 1979).

Per valutare il bilancio idrico della vallecola in esame si è ricorsi al metodo di Thornthwaite (Thornthwaite e Mather, 1957). Del bilancio sono riportati i principali parametri nei grafici relativi al periodo 1954-1992 e ad alcuni anni significativi.

Secondo i calcoli, il periodo di massimo deflusso presunto (RO), relativo a 39 anni di osservazioni termopluviometriche (Tab. 5 e Fig. 8), cade tra la fine dell'Inverno e l'inizio della Primavera, mentre in Autunno il deflusso è molto basso. Infatti le piogge di questa stagione, anche se le più copiose, sono

utilizzate dal suolo, come è noto, per ricostruire la riserva idrica depauperata nel periodo estivo. In alcuni anni il deflusso presunto risulta anticipato rispetto all'andamento normale se le precipitazioni autunnali sono precoci ed abbondanti. Questo è accaduto, ad esempio, nel 1960, l'anno più piovoso del periodo, quando le piogge, che hanno cominciato a cadere abbondantemente sin da Settembre, determinarono il massimo deflusso a Dicembre.

La variazione interannuale dei deflussi annui calcolati per la vallecola in esame è notevole poiché oscilla dai 176 mm del 1973 agli 820 mm del 1960, cui corrispondono rispettivamente $23,3 \times 10^3$ e $108,7 \times 10^3 \text{ m}^3$ di acqua.

Il deflusso di conseguenza è legato non solo alla quantità, ma anche al regime delle precipitazioni: la valutazione del bilancio idrico climatico annuo quindi non è corretta, se si prendono come parametri di riferimento soltanto i valori annui delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione, in quanto bisogna tenere conto della interazione di questi due parametri durante tutto il corso dell'anno. Infatti, se com'è noto, la variabilità del regime delle precipitazioni annue è rilevante, quella dell'ETP annua è abbastanza costante, ma lo scarto tra i suoi valori mensili e stagionali è notevole, poiché la concentrazione massima di que-

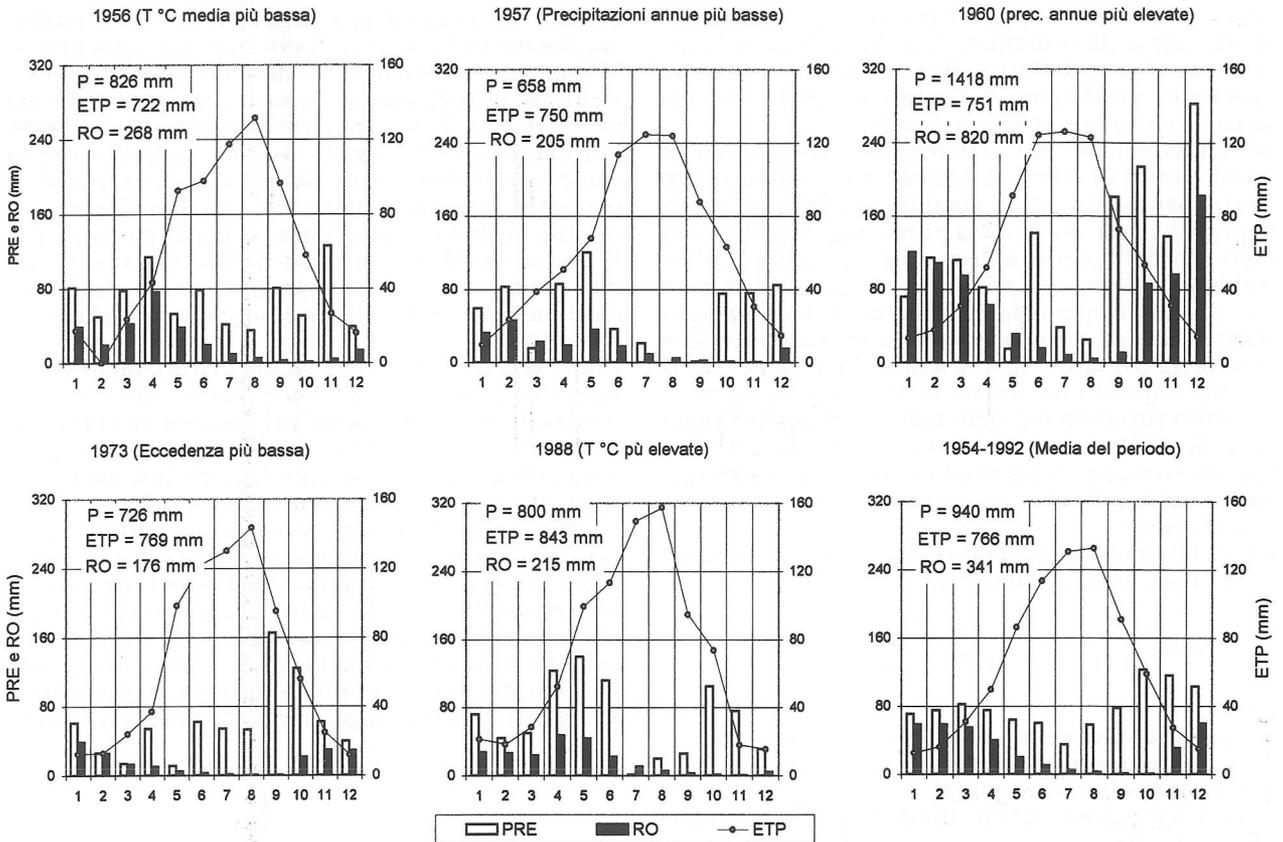


Fig. 8 - Le precipitazioni (P), l'evaporazione potenziale (ETP) e il deflusso glob. presunto (RO) negli anni più rappresentativi.

sto elemento del clima si verifica nei tre mesi estivi. In questo periodo la Ceet (concentrazione estiva dell'efficienza termica) è circa il 50% dell'ETP annua, oscillando tra il 47,6% del 1966 ed il 51,5% del 1973. Esiste perciò una grande differenza di bilancio idrico a seconda del periodo in cui ricorrono le più importanti precipitazioni in quanto, più esse si verificano nel semestre caldo, tanto maggiori saranno le perdite per evapotraspirazione e minore sarà il deflusso.

In sintesi il clima medio cui è soggetta la vallecola in esame, secondo la classificazione di Thornthwaite, è di tipo *Umido B₁* avente il moisture index (Im) = 22,6 e la cui formula climatica è: $B_s B'_2 b'_4$, ma nel periodo considerato è variato tra il *Subarido* del 1957 ($C_{s_2} B'_2 b'_4$), con $Im = -12,2$ e forte deficit estivo e l'*Umido B₄* del 1960 ($B_4 s B'_2 b'_4$), con $Im = 88,7$ e moderato deficit estivo.

La permeabilità

Nell'individuazione di aree idonee all'ubicazione di discariche controllate è assegnata particolare importanza alla permeabilità dei terreni; ad ogni formazione geologica viene generalmente attribuita una classe di permeabilità sulla base di valutazioni derivanti dai dati riportati in letteratura.

Poiché le argille plioceniche sono classificate come rocce altamente impermeabili, i siti argillosi rappresentano aree ottimali per l'impianto delle discariche, anche perché le impermeabilizzazioni artificiali necessarie in altri terreni, oltre ad essere economicamente onerose, risultano scarsamente affidabili tanto da avere più che una funzione di barriera impermeabile quella di attenuazione del flusso del percolato.

Sebbene la porosità delle argille sia molto elevata, e le ridotte dimensioni dei pori determinano una scarsa attitudine a farsi attraversare dall'acqua, in aree tettonizzate ed in sollevamento, come quelle del Bacino di Volterra e nella Toscana meridionale, le faglie ed i joints determinano in esse, una permeabilità secondaria per fessurazione.

La tecnica da noi impiegata per la determinazione del coefficiente di permeabilità in situ del terreno è stata quella delle prove a carico variabile in pozzetto superficiale a base quadrata. Questa scelta è stata determinata sia dalla possibilità di reperire nelle vicinanze del sito scelto per le prove una pala meccanica per l'asportazione del terreno superficiale, sia dalla semplicità esecutiva della prova stessa.

L'area scelta per le prove era coltivata a grano e quindi soggetta ad arature molto profonde per cui, come già accennato, si è provveduto alla rimozione della coltre alterata per una profondità di 1,5 m fino ad in-

contrare la roccia in posto e per un'area sufficientemente ampia da consentire la realizzazione dei pozzetti necessari per l'esecuzione delle prove. Queste operazioni preliminari sono state realizzate non essendo nota la presenza o meno dei joints.

Successivamente alla realizzazione dei pozzetti di forma cubica di 40 cm di lato, si è provveduto al loro riempimento con acqua potabile per saturare il terreno prima dell'inizio della prova. Dopo qualche ora il livello dell'acqua, abbassatosi a seguito dell'assorbimento, è stato ripristinato ed i pozzetti protetti con un telo impermeabile di nylon e lasciati indisturbati fino al giorno successivo, in modo da essere certi della completa saturazione del terreno e che vi si fosse stabilito un regime di flusso permanente.

Il giorno successivo è stato nuovamente ripristinato il livello dell'acqua calato durante la notte e si sono iniziate le misure registrando la velocità di abbassamento del livello dell'acqua nel pozzetto in funzione del tempo.

Per l'elaborazione dei dati rilevati, è stata utilizzata la seguente formula empirica:

$$K = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \times \frac{1 + (2h_m / b)}{(27h_m / b) + 3} \text{ cm s}^{-1}$$

dove:

h_m = altezza media dell'acqua nel pozzetto [cm]

b = lato del pozzetto [cm]

$t_2 - t_1$ = intervallo di tempo [s]

$h_2 - h_1$ = variazione del livello dell'acqua nell'intervallo $t_2 - t_1$ [cm]

Data l'irregolare distribuzione delle diaclasi, i valori di permeabilità sono variate sensibilmente da una zona all'altra, per cui risulta estremamente importante, ai fini della individuazione di aree litologicamente idonee all'ubicazione di discariche, conoscere con precisione la dislocazione sul territorio dei sistemi di joints. Questo obiettivo può essere raggiunto attraverso uno studio integrato comprendente l'osservazione e il rilevamento diretto sul suolo delle fratture, lo studio delle lineazioni attraverso l'interpretazione di foto aeree ed immagini da satellite e la realizzazione di prove di assorbimento.

CONCLUSIONI

L'area in cui sono state eseguite le indagini è una vallecchia formata sulle argille plioceniche caratterizzata dalla presenza di scarse tracce di quello che una volta era un paesaggio a biancane. Nella zona, sebbene intensamente rimodellata con mezzi meccanici, per sfruttare ed estendere al massimo lo spazio coltivabile, è possibile rilevare tuttavia un affioramento di acque sotterranee posto a quote superiori a quelle del reticolo idrografico e numerose tracce di joints sulla superficie di ciò che rimane ancora delle biancane.

L'esistenza di una morfologia che tradisce l'originaria dipendenza dalle biancane e che queste, sebbene continuamente rimodellate meccanicamente, conti-

nuo a riaffiorare nel paesaggio, la presenza inoltre nel Bacino di Volterra di faglie che, con ogni probabilità, raggiungono il substrato preneogenico e l'esistenza di altri fenomeni descritti, rappresentano un chiaro indizio di movimenti verticali in atto nell'area. Per questo motivo appare fondato supporre che la sorgente anzidetta (Fig. 2), vista la sua particolare posizione, altro non sia che una risalita di acqua di origine profonda attraverso una faglia passante per la vallecchia. Questa ipotesi sarebbe avvalorata dal fatto che, oltre a questa sorgente, ve ne sarebbero altre due che sono allineate ad essa con direzione NW-SE.

Come si è visto nel contesto del lavoro, nello strato superficiale del terreno, notevolmente alterato e attraversato da fessure beanti, si instaura, nei momenti opportuni, un efficace deflusso ipodermico delle acque meteoriche. Queste giunte sull'interfaccia alteriti-roccia madre, possono infiltrarsi in profondità, fino a raggiungere gli eventuali acquiferi, attraverso la rete esistente di faglie e joints. Ciò è dimostrato dal relativamente elevato valore del coefficiente di permeabilità rilevato nella roccia madre attraverso le prove di assorbimento, da cui si deduce che, laddove sono presenti tali fratture si ha, nelle argille plioceniche, una permeabilità secondaria che, in base alle misure finora eseguite, può considerarsi medio bassa.



Fig. 9 - La sorgente rappresentata nella cartina della figura 2 si trova sulla sommità dello spartiacque che delimita a nord l'area oggetto di studio.

Questa circostanza limita notevolmente la possibilità di realizzare una discarica nella vallecchia in esame. Infatti anche se si realizzasse una impermeabilizzazione, attraverso l'impiego di membrane impermeabili, queste non darebbero garanzie di durabilità nel tempo ed inoltre potrebbero essere soggette a perdita di integrità a seguito della scollatura delle saldature tra i vari teli o a seguito del danneggiamento da parte di oggetti acuminati presenti tra i rifiuti o dal passaggio delle pale meccaniche. Ne conseguirebbe una fuoriuscita di sostanza inquinante che, oltre a penetrare nel terreno, sarebbe facilmente veicolata attraverso la rete dei canali naturali fino al Cecina. Un altro fattore fortemente limitante è dato dalla direzione in cui spirano i venti regnanti (SW-NE) che a livello del suolo, per effetto della canalizzazione operata dalla valle del Cecina, la percorrerebbero in senso longitudinale, trasportando gli odori sgradevoli provenienti dalla massa dei rifiuti verso Volterra, quando soffiano venti occidentali e verso Ponteginori quando soffiano venti orientali. Si è pertanto portati a ritenere che l'impianto di una discarica di rifiuti, posta nella vallecchia situata nel bacino del T. Gagno, potrebbe costituire un grave rischio per l'ambiente.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- Boccaletti, M., Decandia, F.A., Gasperi, G., Gelmini, R., Lazzarotto, A., Zanzucchi, G., 1987. Carta strutturale dell'Appennino Settentrionale. CNR, P.F. Geodinamica, S.P. 5, Tipografia senese.
- Bucciante, M., 1922. Sulla distribuzione geografica dei calanchi in Italia. *L'universo*, 38: 585-605.
- Calzolari, C., Ristori, J. E Sparvoli, E., 1993a. Soils of «biancana» badlands: distribution, characteristics and genesis in Beccanello farm (Tuscany, Italy). *Quaderni di Scienza del Suolo*, Vol. V, Firenze: 119-142.
- Calzolari, C., Ristori, J., Busoni, E., Chiarucci, A., 1993b. Morphology development in a «biancana» badland area and relationships with soils and vegetation. In: *Proceedings of the workshop «Soil erosion in semiarid Mediterranean areas»*, Taormina, Italy, Oct. 28-30, 1993: 205-216.
- Chisci, G., Panicucci, M., 1973. Primi risultati idrologici relativi alle argille plioceniche marine. *Ann. Istit. Sperim. Studio e Difesa del Suolo*, 4: 39-52.
- Colica, A. e Guasparri, G., 1990. Sistemi di fratturazione nelle argille plioceniche del territorio senese. Implicazioni geomorfologiche. *Atti Acc. Fisiocrit. Siena, Serie XV, Tomo IX*: 29-36.
- Costantini, A., Gandin, A., Guasparri, G., Mazzanti, R., Lazzarotto, A., Sandrelli, F., 1980. Neotettonica dei fogli: 111 Livorno, 112 Volterra, 113 Castelfiorentino, 119 Massa Marittima, 120 Siena, 121 Montepulciano, 126 isola d'Elba, 127 Piombino, 128 Grosseto, 129 S. Fiora. In: *Contributi alla realizzazione della carta neotettonica d'Italia: Parte III*. Pubblicazione n. 356 del Progetto Finalizzato Geodinamica, C.N.R..
- I.S.T.A.T., 1961-1983. *Annuario di Statistiche Meteorologiche*.
- Lazzarotto, A., Mazzanti, R., 1965a. Stratigrafia neogenica Toscana: Studio geologico di tre sezioni del complesso neotettonico di Pomarance e Castelnuovo Val di Cecina (Prov. di Pisa). *Boll. Soc. Geol. It.*, 84 (3): 291-302.
- Lazzarotto, A., Mazzanti, R., 1965b. Sulle caratteristiche di alcune strutture tettoniche frequenti nelle formazioni neotettoniche delle alte valli dei fiumi Cecina, Cornia e Milia. *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 84 (5): 177-196.
- Lulli, L., Ronchetti, G., Tellini, M., 1973. Ricerche parcellari sulla conservazione dei suoli argillosi. V. Studio pedologico di dettaglio in parcelle sperimentali. *Annali Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo*. Firenze, Vol. IV: 53-84.
- Mazzanti, R., Squarci, P., Taffi, L., 1963. Carta geologica della zona di Montecatini Val di Cecina (Prov. di Pisa). Centro di Studi per la Geologia dell'Appennino, CNR, Pisa. *Libr. Artistica Cartogr.*, Firenze.
- Mazzanti, R., Rodolfi, G., 1988. Evoluzione del rilievo nei sedimenti argillosi e sabbiosi dei cicli neogenici e quaternari italiani. In «La gestione delle aree franose», Edizioni delle Autonomie: 13-60.
- Montani, C., Morandi Cecchi, M., Vittorini, S., 1985. Trattazione numerica e cartografica del bacino del Torrente Roglio. In Montani C., Morandi Cecchi M. (ads): *I metodi informatici per la trattazione numerica e cartografica degli aspetti morfologici dei bacini idrografici*. Pp: 77-93. CNR Prog. Fin. Informatica, ETS Editrice, Pisa.
- Pinna, M., Vittorini, S., 1985. Contributo alla determinazione dei regimi pluviometrici in Italia: in Pinna M., *Contributi in climatologia*. Mem Soc. Geogr. Ital., 39: 147-167.
- Pinna, S., Vittorini, S., 1989. Su alcune caratteristiche delle argille plioceniche della Val d'Era (Toscana) in rapporto alla genesi dei calanchi e biancane. *Geog. fis. din. Quaternario* 12: 131-137.
- Rapetti, F., 1978. Idrologia dell'alto e medio bacino del torrente Roglio (Val d'Era). *Riv. Geol. Appl. e Idrogeol.*, 13: 185-222.
- Rapetti, F., Vittorini, S., 1979. Il deflusso liquido e torbido del T. Roglio (bacino dell'Arno), relativi al 1977, in relazione ai processi di erosione nelle argille plioceniche. *Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Ser. A*, 86: 65-76.
- Sdao, G., Simone, A., Vittorini, S., 1984. Osservazioni geomorfologiche su calanchi e biancane in Calabria. *Geogr. fis. Din. Quaternario*, 7: 10-16.
- Soriano, M.D., Colica, A., Torri, D., 1992. La influencia de la estructura y propiedades de los materiales en la evolucion de badlands. In «Estudios de geomorfologia en España. Actas de la II reunion national de badlands», Murcia: 183-191.
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., 1957. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Publications in climatology, Centerton, New Jersey, 10, 3: 185-311.
- Torri, D., Bryan, R., 1997. Micropiping processes and biancana evolution in southeast Tuscany, Italy. *Geomorphology*, Elsevier.
- Torri, D., Monaci, F., 1991. La meccanica dell'erosione idrica superficiale nei sedimenti argillosi neogenici. In «La gestione delle aree collinari argillose e sabbiose», Edizioni delle Autonomie: 85-92.
- Torri, D., Colica, A., Rockwell, D., 1994. Preliminary study of the erosion mechanism in a Biancana badland (Tuscany - Italy) - Catena, Elsevier.
- Vittorini, S., 1971. La degradazione in un campo sperimentale nelle argille plioceniche della Val d'Era (Toscana) e i suoi riflessi morfogenetici. *Riv. Geogr. It.* 78, 2: 3-30.
- Vittorini, S., 1977. Osservazioni sull'origine e sul ruolo di due forme di erosione nelle argille: calanchi e biancane. *Boll. Soc. Geogr. It., Ser. X*, Vol. VI: 25-54.
- Vittorini, S., 1979. Ruscamento, deflusso ipodermico ed erosione nelle argille plastiche. *Riv. Geogr. It.* 86, 3: 338-346.
- Vittorini, S., 1984. Ricerche sulla geomorfologia della penisola di Crotone (calabria). *Boll. Soc. Geogr. It. Ser. XI*, Vol. I: 497-507.

