

I paesaggi geologici italiani (4)

I rilievi collinari sulle argille

a cura di

Sigea (Società italiana di geologia ambientale)



Il colle di Todi è costituito dalla tipica successione delle argille azzurre che passano in alto a un termine sabbioso-conglomeratico, sul quale è costruito l'antichissimo centro. Le argille di base sono coltivate secondo la tradizionale sistemazione delle colline dell'Italia centrale. Per altro la pendice nord-ovest del colle è colpita da numerose e antiche frane, che minacciano aree perimetrali dell'abitato

**Francesco Biondi, Aldo Brondi, Eugenio Di Loreto, Giuseppe Gisotti,
Lorenzo Marcolini, Claudio Margottini, Roberto Rossi**

materiali
**Verde
Ambiente**

Le colline argillose

I paesaggi argillosi rappresentano una delle configurazioni morfologico-ambientali dominanti di buona parte dei rilievi collinari nella penisola italiana, occupando una superficie (circa 6 milioni di ettari) pari al 20 per cento del territorio nazionale.

Il complesso formazionale cui possono essere riferiti i paesaggi argillosi è quello delle argille plio-pleistoceniche (o argille azzurre), di cui ci occuperemo nel presente inserto.

Non prendiamo in considerazione il complesso delle "argille varicolori scagliose", formazioni più antiche, che inglobano spesso rocce diverse, le quali sono caratterizzate da un paesaggio alquanto diverso dal nostro.

La notevole omogeneità, interrotta solo da regolari intercalazioni sabbiose, che caratterizza le argille plio-pleistoceniche, consente la costituzione di un paesaggio collinare assai omogeneo e continuo. La regolarità del paesaggio di tali argille è peraltro alterata dalla frequente manifestazione di tipiche forme erosive a "calanchi", agevolata dalla presenza di un'importante frazione limosa nella matrice argillosa. Forme tipiche di degradazione idrometeorica delle argille, facilitate da regolari reticoli di fessurazione superficiale, sono rappresentate da cupole alte solo alcuni metri. Tali forme, diffuse in varie parti della penisola, assumono il nome di "biancane" in Toscana.



Le Bolge di Atri, in Abruzzo, costituiscono un paesaggio argilloso dove il fenomeno dei calanchi accentuato comporta effetti scenici di interesse non solo scientifico e didattico ma anche turistico

mento e quelli di progressivo arretramento del fronte collinare, come nelle "Balze" di Volterra.

Si tratta, in tutti i casi, di fenomeni di ampia portata, verso cui l'uomo è talora impotente (dopo aver però determinato spesso l'instaurarsi del processo erosivo), ma che possono costituire "singolarità" geomorfologiche, talvolta anche di interesse turistico come nel caso dei calanchi di Atri.

Le argille plio-pleistoceniche sono diffuse a quote medio-basse per buona parte dello sviluppo dell'arco padano-adriatico fino al Gargano, nel Preappennino tirrenico, nella Basilicata e in Sicilia.

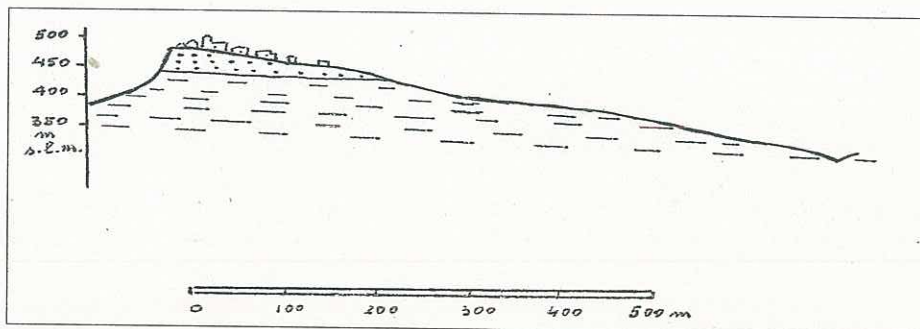
Lo scarso sviluppo di un sufficiente spessore di suolo, lo scarso contenuto di materia

sfacente sviluppo della vegetazione. Dal punto di vista agricolo, queste caratteristiche determinano una certa capacità produttiva, ma allo stesso tempo una limitazione, dovuta alla necessità di speciali pratiche colturali, se si vuole garantire l'uso "sostenuto" del terreno, cioè un uso tale da escludere in pratica il rischio di degrado nel futuro.

I problemi non sono tanto la fertilità e la capacità di trattenere le sostanze per le colture, ma sono più che altro di ordine fisico o legati alla gestione delle acque. Infatti, le pratiche agricolo-gestionali devono essere finalizzate all'incremento dell'infiltrazione delle acque piovane, alla riduzione del rischio di erosione e all'uso ottimale dell'acqua disponibile.

La predisposizione al dissesto dei paesaggi collinari argillosi rappresenta un elemento di precarietà per insediamenti e infrastrutture. Tale situazione è stata tenuta ben in conto in passato allorché l'uomo cercava di conformarsi allo stato di fatto fisico-geografico evitando di contrapporsi alle manifestazioni dell'instabilità particolarmente frequenti sui versanti. Nei fatti gli insediamenti e la rete viaria venivano scrupolosamente localizzati nelle zone di maggiore stabilità, le cime e i crinali. La stessa agricoltura veniva sviluppata con pratiche che fossero quanto meno possibile predisponenti per l'erosione e per i dissesti.

Al giorno d'oggi la presunzione di una capacità superiore al reale della tecnologia induce a non conferire il giusto peso allo stato di instabilità latente tipico delle varie morfologie delle argille e l'intervento umano è spesso il fattore scatenante dei dissesti. L'unica difesa contro i dissesti è rappresentata dalla ricostituzione del manto vegetale che un tempo ricopriva i rilievi argillosi. Occorre peraltro precisare che se è quasi impossibile interrompere un processo calanchivo, la ricostruzione artificiale della vegetazione presenta comunque notevole impegno e tempi prolungati. Nei processi di recupero vegetale occorre, qui più che in altre situazioni, tener conto del dinamismo della vegetazione che esige la giusta considerazione e il ricorso all'impianto di specie tipiche degli stadi pionieri quale prima fase di intervento. Per le aree ancora ricoperte



Schizzo geologico di una situazione-tipo di collina argillosa sormontata da una placca di "sabbie gialle", alla cui sommità

è costruito un centro abitato, che può essere Todi, o Salandra, ecc. Le scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni, l'erosione

regressiva dei corsi d'acqua, il pesante impatto antropico hanno provocato la rottura di precari equilibri idrogeologici, per cui le pendici

argillose sono soggette a frane, che spesso innescano altre frane a carico delle sabbie sovrastanti

Localmente, in tali formazioni si verificano fenomeni di frana che assumono un certo rilievo e diffusione. Tali fenomeni, anche se per secoli non hanno mai veramente condizionato l'attività umana (dedita in passato principalmente all'agricoltura), acquistano oggi una notevole rilevanza per la incidenza sempre crescente dei centri abitati e della rete di infrastrutture.

Altre forme di erosione nelle argille azzurre, determinate sempre dalla loro elevata erodibilità, sono i fenomeni di burrona-

organica e la scarsa capacità di cedere alle piante l'acqua assorbita limita fortemente la suscettività agricola dei terreni correlati ai rilievi argillosi. Proprio per l'alto contenuto in particelle fini, i suoli sulle formazioni argillose presentano alcune caratteristiche tipiche, che sono: un profilo di solito scarsamente sviluppato e poco profondo, una forte fessurazione estiva e una notevole tendenza all'erosione. D'altra parte questi suoli sono generalmente provvisti degli elementi nutritivi necessari per un soddi-

da vegetazione spontanea occorre definire la complessità strutturale e lo stadio reale quale riferimento per orientare il recupero verso forme più mature. È necessario in particolare, quale che sia lo stadio del processo dinamico, non procedere ad asportazione del manto vegetale. La precarietà del sistema ambientale delle argille ha fatto comportare tempi lunghi per lo sviluppo di ogni stadio esistente; tempi altrettanto lunghi sono da mettere in conto per la riconquista degli stessi stadi.

Le argille azzurre sono associate solitamente alle "sabbie gialle" del ciclo sedimentario plio-pleistocenico, per cui alla sommità delle colline argillose sono spesso presenti placche rigide di sabbie (e/o di conglomerati); su tali rilievi tabulari nel passato sono sorti numerosi centri urbani, quali Todi (Umbria), Salandra (Basilicata): questi insediamenti per solito si limitavano ai bordi della placca sabbiosa, mentre le pendici argillose erano occupate da colture agrarie estensive.

Alle pendici argillose è stata la spesso applicata la sistemazione idraulico-agraria "a girapoggio", caratterizzata dalle fosse di scolo giranti che seguono, nel loro percorso, le curve di livello: questo sistema si è venuto diffondendo, nel corso dell'Ottocento, dalle Crete Senesi e dalle bianche del volterrano un po' a tutta l'Italia, poiché offre una certa garanzia contro l'erosione idrica, cui sono particolarmente soggetti i terreni argillosi.

Un aspetto frequente di questo paesaggio è quello delle cave di argilla, usata da sempre per il cotto e i laterizi. Spesso accanto alla cava esiste la fornace, visibile da lontano per l'alta ciminiera. È questo però un aspetto di attività artigianale sempre più rara, a causa della industrializzazione della produzione di manufatti di argilla.

Collegate alla presenza delle argille sono le costruzioni in mattoni con i tetti in cotto, che caratterizzano le antiche case di varie regioni come il senese o varie città delle Marche o dell'Emilia Romagna. (a.b.)

Aspetti geologici

È bene accennare ai caratteri mineralogici e fisico-chimici delle argille, poiché tali caratteri spiegano molti comportamenti di questi terreni anche per quanto riguarda la loro evoluzione geomorfologica, le loro utilizzazioni, il loro paesaggio.

Le argille sono composte da silicati d'alluminio idrati organizzati in strati di tetraedri il cui centro è occupato dal silicio (Si) e i vertici dall'ossigeno, e strati ottaedrici coordinati al centro dall'alluminio (Al) e ai vertici dai gruppi ossidrilici OH. Gli strati si sovrappongono gli uni sugli altri e rimangono uniti per condivisione degli ossigeni dei tetraedri e gli OH degli ottaedri. Da questa sovrapposizione di strati risulta una struttura a "fogli", in scala microscopica,

da cui il nome mineralogico di "Fillosilicati" (dal greco *phyllon* = foglia).

Al momento della formazione degli strati avvengono numerose sostituzioni "isomorfe", cioè il Si di alcuni tetraedri viene sostituito dall'Al, e l'Al di alcuni ottaedri dal Mg o dal Fe; queste sostituzioni non pregiudicano la struttura del minerale ma creano solo degli scompensi nelle cariche elettriche interne, che vengono neutralizzate dall'adsorbimento di cationi o di acqua negli strati interfogliari.

I minerali argillosi vengono classificati generalmente in base alla loro struttura, pertanto si distinguono 6 grandi gruppi:

- Gruppo della Caolinite: di cui fanno parte il Serpentino, la Dickrite e la Nacrite; non contengono cationi interscambiabili, si formano per degradazione dei feldspati alcalini in ambiente acido. Il Caolino è molto sfruttato industrialmente perché è il principale componente delle porcellane.

- Gruppo dell'Illite: include tutti i termini di passaggio tra le miche e le argille. L'Illite è il minerale argilloso più frequente, si forma per alterazione delle miche e dei feldspati alcalini in ambiente alcalino.

- Gruppo delle Smectiti: costituiscono il gruppo delle **argille espandibili**; infatti hanno come caratteristica principale la possibilità di assumere o cedere acqua, aumentando lo spessore del minerale da circa 10 a 18 angstrom, e hanno una alta capacità di scambio cationico. Le smectiti comprendono la Montmorillonite, la Nantronite, la Saponite e la Beidellite; si formano in ambiente alcalino per l'alterazione di rocce silicatiche basiche con un alto contenuto di Ca e di Mg e un basso contenuto in K.

- Gruppo della Vermiculite: hanno alcuni caratteri intermedi tra la Montmorillonite e la Clorite; anche queste sono espandibili e hanno una alta capacità di scambio cationico; sembrano formarsi principalmente per

stica di comporsi con struttura a catena anziché a strato.

Dal punto di vista fisico-chimico, le argille hanno caratteristiche peculiari:

- dimensioni piccolissime delle particelle (ossia minori di 2 millesimi di millimetro);

- alta superficie specifica (rapporto tra superficie delle particelle e unità di volume);

- elevata presenza di vuoti capillari (ossia "micropori", con diametro minore di 8 millesimi di millimetro) che permettono la lenta risalita dell'acqua per diversi metri;

- comportamento colloidale se portate in soluzione (per le dimensioni estremamente piccole delle particelle e per le cariche elettriche libere di superficie);

- alta plasticità (formano facilmente masse plasmabili se inumidite);

- bassa permeabilità (sono praticamente impermeabili al passaggio dell'acqua gravitativa);

- elevata capacità di scambio cationico (adsorbono sulla loro superficie gli ioni dalle acque con cui vengono a contatto per poi cederli ad altre acque con diversa concentrazione ionica).

Per quanto riguarda la genesi delle rocce argillose, si possono distinguere due grandi gruppi.

Argille sedimentarie: si formano a seguito di un processo sedimentario in cui si sono verificati l'erosione, il trasporto e la deposizione, quest'ultima in ambiente marino o continentale. La sedimentazione argillosa continentale è caratteristica di ambienti fluviale, lacustre e lagunare: solo questi due ultimi suscitano qualche interesse per lo spessore dei sedimenti, che comunque sono molto limitati nella loro estensione. Le argille di sedimentazione marina hanno estensioni considerevoli e spessori che raggiungono anche alcune migliaia di metri. Le argille sedimentarie non sono mai

Le Balze di Volterra. Caso di dissesto idrogeologico di un colle argilloso alla base che passa in alto alle "sabbie gialle", soggette a frane di crollo. La città etrusca è famosa anche per questo fenomeno



l'alterazione della mica biotitica e più raramente degli anfibioli e dalla clorite.

- Gruppo delle Cloriti: la distanza tra i pacchetti è di circa 14 angstrom, non sono espandibili, la capacità di scambio cationica è pressoché uguale a quella delle illiti.

- Gruppo della Paligorskite, del quale fa parte anche la Sepiolite: hanno la caratteri-

pure: infatti può essere rilevante la componente formata da gusci, o frammenti di essi, di organismi che vivevano nelle acque del bacino sedimentario; altra componente molto importante è il materiale terroso a granulometria maggiore (limi e sabbie). A seconda dell'ambiente sedimentario l'argilla può contenere quantità apprezzabili di

carbonato di calcio (fino al 5 per cento, oltre si hanno le marne) che modificano sensibilmente alcune caratteristiche; inoltre possono contenere ferro del tipo ridotto che conferisce al sedimento una colorazione azzurrognola (onde il nome di "argille azzurre" di alcune di esse) o materiale organico che determina una colorazione nerastra.

I sedimenti argillosi in base all'intensità e alla durata del processo diagenetico (allontanamento dell'acqua interna, diminuzione della porosità, ricristallizzazione di alcuni minerali, ecc.) subito possono presentarsi più o meno compattati, e pertanto si distinguono in:

- *argilla*: è il sedimento ancora dotato di capacità plastiche e la diagenesi ha operato solo la parziale ricristallizzazione dei minerali argillosi;

- *argillite*: è il sedimento compattato, corrispondente a uno stato di diagenesi più avanzata con la ricristallizzazione dei minerali argillosi in tipi non **espandibili**, tale da portare alla perdita delle proprietà plastiche;

mosaico nell'area ligure-piemontese e nell'area toscana; sono presenti con una fascia continua dall'Appennino emiliano-romagnolo, per tutto il versante adriatico, fino al promontorio garganico; infine consistenti affioramenti si rinvengono in Lucania e in Sicilia. Sono depositi sedimentari marini che si sono accumulati per tutto il Pliocene (periodo geologico che va da 7 a 1,8 milioni di anni fa) e l'inizio del successivo periodo, il Pleistocene, con potenti spessori nelle depressioni situate ai piedi delle Alpi e degli Appennini, ormai definitivamente emersi. Sono depositi che si sono formati in un mare relativamente profondo, hanno una buona componente carbonatica nonché di materiale siltoso (limoso): anche la componente biotica è ben rappresentata con un ricco contenuto in gusci di Gasteropodi, Lamellibranchi e Foraminiferi. Al passaggio dal Pleistocene inferiore al medio c'è stato un ulteriore sollevamento della catena appenninica con l'emersione di questi sedimenti ancora non consolidati dal processo diagenetico che pertanto hanno mantenuto

acquifera; per tale motivo l'argilla viene definita un *aquiclude*.

Tali argille costituiscono spesso la formazione impermeabile di base delle falde acquifere contenute nei terreni soprastanti stratigraficamente, come le "sabbie gialle" plio-pleistoceniche, o in altri terreni come i depositi piroclastici (tufi vulcanici), i depositi alluvionali: questo secondo caso si presenta nella città di Roma, dove le argille azzurre rappresentano il substrato impermeabile della più importante falda locale, contenuta nelle ghiaie dei depositi alluvionali.

Dove il contatto fra le due formazioni a diversa permeabilità interseca la superficie topografica, si formano numerose sorgenti, sfruttate dall'uomo.

Per i motivi sopra citati, il reticolo idrografico sulle argille è dotato di una elevata "densità di drenaggio" (rapporto tra la somma della lunghezza di tutti i corsi d'acqua di un certo bacino idrografico e l'area del bacino stesso) ed è di tipo "dendritico" (arborescente).



Nelle stesse plaghe delle argille azzurre, questa volta nei pressi di Matera, in Basilicata, si ripropongono le stesse forme delle Crete Senesi, consistenti in colline con ampi dossi quasi pianeggianti e versanti poco acclivi

- *argiloscisti*: l'argilla ha subito pressione tale che presenta caratteristiche al limite tra l'azione diagenetica e quella metamorfica; l'argilla ha iniziato a trasformarsi in forme micacee, la roccia si presenta compatta e si spezza secondo superfici pianoparallele.

Argille residuali: sono quelle che si formano nei suoli delle terre emerse in condizioni climatiche essenzialmente caldo-umide, dove l'idrolisi e la lisciviazione operano alterazioni molto profonde. Oltre all'allontanamento dei cationi anche buona parte della silice passa in soluzione, pertanto rimangono sul posto idrossidi di ferro e d'alluminio associati ad argilla caolinitica povera in silice. Nella fascia intertropicale questi depositi argillosi (chiamati "bauxite") possono avere lo spessore di diversi metri. Le "terre rosse" sono formate in gran parte da argille residuali.

I depositi argillosi in Italia

In Italia i depositi argillosi maggiormente rappresentati perché ricoprono una notevole superficie del territorio nazionale sono quelli delle "argille azzurre". Affiorano a

la caratteristica di plasticità.

Con il sollevamento dei fondali marini, il mare diventava meno profondo e pertanto la sedimentazione è passata man mano a termini sempre più sabbiosi per giungere a vera sabbia (la formazione delle "Sabbie gialle") e poi ai Conglomerati: si è trattato quindi di un ciclo sedimentario marino in cui le argille azzurre rappresentano il deposito inferiore e più antico. Di minore importanza sono i depositi argillosi continentali di cui il più noto è quello del bacino del lago tiberino che si è formato durante il periodo Villafranchiano.

Una importante parte della città di Roma è fondata sulle argille azzurre marine, che affiorano ad esempio a Monte Mario e al Colle Vaticano, onde il nome di "Argille Vaticane" che alcuni autori danno a questi sedimenti.

Idrogeologia

Queste argille sono praticamente impermeabili, o meglio non costituiscono degli "acquiferi", poiché pur essendo porose e talora sature d'acqua non ne permettono una circolazione tale da formare una falda

Fenomeni erosivi nelle argille azzurre

I depositi argillosi plio-pleistocenici italiani fanno parte prevalentemente del sistema collinare connesso con la catena montuosa appenninica. La conformazione del rilievo è caratterizzata da dislivelli moderatamente elevati tra i crinali e gli impluvi; forme dolci e arrotondate sono associate o a sistemi di versanti in cui è molto intensa l'erosione di tipo regressivo (legata all'approfondimento del reticolo idrografico minore), o a zone dove i fenomeni franosi sono frequenti specialmente sotto forma di colamenti, rendendo il paesaggio ulteriormente ondulato.

Le argille azzurre, per le caratteristiche di impermeabilità, hanno un sistema di drenaggio esclusivamente superficiale. Infatti l'acqua delle precipitazioni non potendosi infiltrare scorre tutta in superficie erodendo il complesso argilloso e modellandolo in vario modo. Diversi elementi concorrono a determinare il tipo di erosione: essi possono essere riconducibili essenzialmente al contenuto in sabbia, carbonati e sali del sedimento, o definiti dalle condizioni climatiche, dalla vegetazione e dalla morfologia generale (in particolare la pendenza del versante).

Un tipo di erosione più avanzata è definita a "calanchi", che si instaura su argille con un discreto contenuto di materiale sabbioso-siltoso poste su pendii ripidi e preferenzialmente esposti a sud o a sud-ovest, dove la vegetazione di norma è meno abbondante. Accanto a questo fattore, molti autori hanno osservato che i calanchi si sviluppano nei versanti stratificati a reggi-poggio (con direzione opposta al pendio) e che, prevalendo nell'Appennino un'inclinazione verso nord-est degli strati argillosi del Pliocene, i versanti calanchivi risultano rivolti a sud e sud-ovest. L'acqua piovana asporta, soprattutto dopo un periodo secco, le lamelle d'argilla staccate dal dissecca-

mento, innescando così un processo erosivo molto intenso. Nel sistema calanchivo, il reticolo di drenaggio è molto fitto, determinato da numerose vallecicole più o meno grandi, con versanti molto ripidi, separate da creste di argilla che prendono l'aspetto di lame. La normale vegetazione non ha più la possibilità di attecchire limitandosi a poche specie pioniere.

Altra forma erosiva, molto meno frequente, è costituita dalle "biancane": si innescano su argille a bassissimo contenuto sabbioso ma ricche in sali. Morfologicamente le biancane si presentano come una aggregazione di collinette di tipo mammellonare, le quali nei periodi secchi, per effetto della capillarità, portano in superficie i sali contenuti negli strati profondi dell'argilla, prendendo così l'aspetto chiaro. Il fenomeno è abbastanza evidente perché le collinette sono quasi prive di vegetazione e quella poca presente è del tipo alofita (piante resistenti ad alte concentrazioni di sale nel suolo).

A seguito dell'alterazione superficiale e delle infiltrazioni delle acque negli strati sottostanti, i versanti delle argille azzurre sono soggetti a movimenti gravitativi. Le tipologie franose che più si riscontrano sono essenzialmente due:

- colamento: dove la massa franosa assume l'aspetto di un fluido molto viscoso, il quale può muoversi anche su versanti con deboli pendenze. Il movimento franoso in genere interessa i primi 2-4 metri di spessore, ma spesso è limitato allo strato coltivato; la velocità del processo è molto varia ed esso può essere da lentissimo a rapido (ha molta rilevanza il contenuto in acqua);

- scivolamento rotazionale: questo tipo di movimento franoso interessa prevalentemente argille con una buona componente calcarea e spesso sovrastate da strati di depositi sabbioso-ghiaiosi dotati di una buona permeabilità che permette al complesso di imbibirsi di una notevole quantità d'acqua; il movimento va da lento a moderato.

Brevi considerazioni geotecniche

Dal punto di vista geotecnico le argille hanno sempre rappresentato un grosso problema nella determinazione delle opportune scelte progettuali, perché anche quando si è operato con la massima accortezza (idonee indagini geognostiche e caratterizzazioni geotecniche) per dedurre il loro probabile comportamento in seguito alle sollecitazioni dovute agli interventi umani, si è spesso andati incontro a sensibili errori di previsione.

Questa difficoltà di studio deriva dal fatto che le argille risentono enormemente delle sollecitazioni alle quali sono state sottoposte in passato, con la conseguenza che le relazioni sforzi-deformazioni hanno un vasto campo di variabilità, ulteriormente accentuato dalla presenza di argille espandibili, caratterizzate dal rigonfiamento per assunzione di acqua. Solo raramente si ha una sicura conoscenza della natura e della

entità delle pressioni che hanno subito nella loro storia. Il comportamento dei terreni argillosi è di tipo complesso e comunque né di tipo elastico né di tipo lineare sia sotto sollecitazioni idrostatiche che tangenziali. Il consolidamento di un terreno argilloso comporta tempi lunghi per la lentezza che richiede l'allontanamento dell'acqua interna, prevalendo, come già si è detto, la microporosità.

Tali considerazioni sono doverose anche per spiegare non solo i gravi fenomeni erosivi che talora sono evidenti nei paesaggi dei rilievi argillosi, ma anche per motivare i dissesti statici cui sono soggette le opere umane nelle citate plaghe argillose. (f.b.)

I suoli

Dal lato pedologico, l'argilla rappresenta uno dei costituenti della fase solida del suolo avente dimensioni inferiori a 0,002 millimetri, costituito da silicati con struttura lamellare. Tali "foglietti" presentano al loro esterno delle cariche positive e vengono tenuti aggregati dai cationi (ioni con cariche negative) presenti nella soluzione circolante del suolo.

Le dimensioni di questi foglietti sono microscopiche e infatti nel suolo, dal lato chimico-fisico, l'argilla è definita un "colloide", ovvero di natura né liquida né solida ma un insieme di particelle minute disperse in un mezzo acquoso che nel suolo viene chiamato "soluzione circolante". I colloidali generalmente sono elettronegativi e hanno la capacità di "adsorbire" sulla superficie gli ioni di segno opposto.

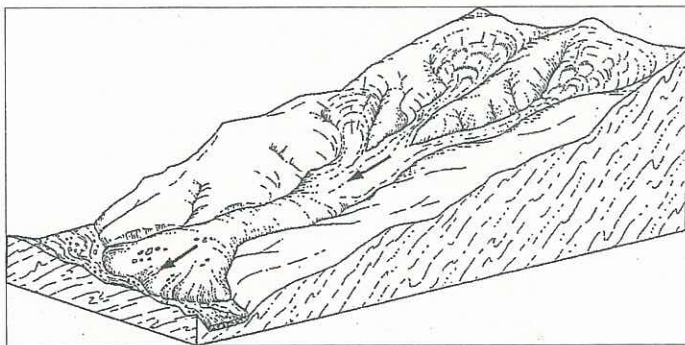
L'argilla è uno dei componenti fondamentali del suolo sia dal lato fisico-meccanico che biochimico.

Dal lato fisico-meccanico l'argilla contribuisce alla creazione di una struttura, ovvero di una aggregazione spaziale delle particelle solide secondo forme che determinano uno specifico assetto del terreno lasciando spazio alla porosità. Vi è poi da ricordare la quasi assoluta impermeabilità dell'argilla dovuta alla capacità di "bloccare" le molecole d'acqua senza farle passare negli spazi fra i vari foglietti. Negli strati di argilla l'acqua si infila attraverso spaccature macroscopiche; non percola attraverso una microporosità del tutto asente.

Dal lato biochimico le capacità di adsor-

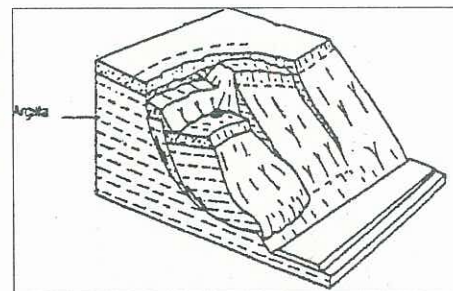
bimento sono fondamentali perché consentono alle radici di estrarre gli ioni dal terreno; ioni che se non fossero adsorbiti sarebbero portati via dalle acque. L'argilla, perciò, è la componente che più influisce su una fondamentale caratteristica dei suoli: la capacità di scambio cationico (Csc) che determina, praticamente, la capacità di tenere a disposizione delle colture gli elementi nutritivi.

La dizione "terreno argilloso" è una definizione tecnica che indica terreni con prevalenza di argilla secondo il diagramma triangolare della "tessitura dei suoli" (ben noto nelle scienze agrarie) che individua le caratteristiche dei suoli e li nomina, secondo le diverse percentuali di sabbia, limo e



Frana di colamento nelle argille

Frana di scivolamento rotazionale nelle argille



argilla. Si può parlare di terreni argillosi a partire da percentuali di argilla generalmente superiori al 40 per cento.

Possiamo, quindi, trarre una prima conclusione dai ragionamenti precedenti: l'argilla è un componente essenziale per un buon terreno e, in una equilibrata tessitura, determina una buona struttura del terreno, una porosità sufficiente, una buona disponibilità di elementi nutritivi.

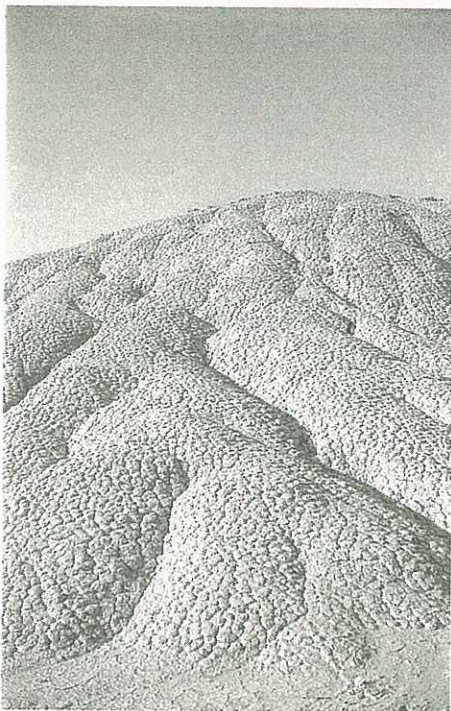
Cosa accade, invece, nei terreni argillosi propriamente detti? Si tratta, nella maggior parte dei casi, di terreni "forti", ovvero di difficile lavorabilità (per la resistenza meccanica alle lavorazioni agricole), di scarsa permeabilità, ma di discreta dotazione di sostanze nutritive. È anche interessante notare che, a dispetto delle apparenze generalmente siccitose, i terreni argillosi, proprio per la loro natura, riescono a immagazzinare una certa quantità di acqua anche nei periodi più caldi trattenendola nella struttura delle argille: acqua utilizzabile dagli apparati radicali anche se con qualche difficoltà quando le disponibilità idriche del terreno si vanno esaurendo.

Lo sviluppo dei suoli sugli affioramenti

delle "argille azzurre" è condizionato principalmente da due fattori: quello climatico e quello geomorfologico (in tale termine si include anche il fattore topografico e in particolar modo la pendenza e l'esposizione del terreno).

Prendendo una sezione di una collina argillosa nelle condizioni climatiche dell'Italia centrale, si può distinguere, procedendo dall'alto verso il basso, questa sequenza di suoli:

- nella sommità del versante, dove la pendenza è minima, il profilo è meno interessato dai processi erosivi, pertanto il suolo è ben differenziato in orizzonti, con accumulo negli strati profondi dei carbonati; spesso si intrecciano in superficie dei caratteri "vertici" legati ai cicli di contra-



Un primo piano di una pendice argillosa denudata e soggetta a erosione accelerata, con le caratteristiche crepacciature, prodotte dall'alternanza di un periodo piovoso con uno secco

zione e di dilatazione delle argille seppure in maniera modesta. Questi suoli sono classificabili come *Vertic Calcic Cambisols* (sistema FaO): sono caratterizzati da un profilo ABC con un epipedon (strato superficiale) "ocrico" (scarsa presenza di sostanza organica) sovrapposto a un orizzonte "cambico" (orizzonte di alterazione) i cui carbonati sono stati concentrati negli strati sottostanti.

Prevalgono condizioni di scarsa umidità estiva che rende questi suoli praticamente duri e compatti. Sono mediamente profondi con una alta capacità di ritenuta idrica e una permeabilità molto bassa, da poco a mediamente calcarei con una reazione che va dal neutro al moderatamente alcalino;

- nella parte media del versante, dove la pendenza oscilla tra il 15 e il 35 per cento,

i suoli sono interessati da fenomeni cronici di ruscellamento e smottamenti, pertanto hanno un basso grado di differenziazione rispetto all'argilla originale; questi suoli vengono classificati come *Calcaric Regosols*. Sono suoli con un profilo AC in cui si riscontra solo un epipedon ocrico di spessore esiguo; sono poco profondi con scarsa ritenuta idrica, hanno abbondante calcare con una reazione moderatamente alcalina;

- nei fondovalli, dove le condizioni morfologiche permettono il ristagno di umidità e la concentrazione dei cationi liberati dalla alterazione dei versanti, si formano nuove argille del tipo smectitico dando origine così ai *Vertisols*.

Questo contenuto elevato di minerali argillosi espandibili costituisce la causa principale del fenomeno ciclico del rigonfiamento e contrazione da cui deriva il tipico effetto delle crepacciature del suolo con una profondità che può raggiungere oltre un metro. Questa azione fisica provoca il processo di autoinghiottimento dovuto alla caduta di particelle di superficie dentro le fessure aperte nel periodo secco, le quali vengono inglobate e omogeneizzate nel successivo periodo umido in cui il suolo si rigonfia. Questi suoli hanno un profilo del tipo AC: l'orizzonte superficiale ha un andamento verticale molto regolare per il continuo rimescolamento; sono suoli mediamente profondi, con una buona ritenzione idrica, hanno una reazione da neutra ad alcalina e una elevata capacità di scambio cationico. In Italia, quest'ultimo tipo di suoli sulle argille azzurre è scarsamente rappresentato. (f.b., l.m. a.a.)

Vegetazione

La vegetazione spontanea

I terreni argillosi pedologicamente evoluti non presentano fattori specificatamente limitanti per particolari specie vegetali o loro cenosi; quindi le formazioni naturali che si trovano nelle zone argillose sono essenzialmente determinate dal climax o da altri fattori meteorologici o orografici locali. In Italia le argille caratterizzano generalmente l'Appennino da altezze medio-basse fino a 1.000 metri e oltre. Prevalgono, quindi, le diverse formazioni di querce, termofile e mesofile in funzione della latitudine e dell'altimetria.

Ma vediamo come le specie vegetali conquistano questi substrati argillosi, evolvendosi con essi fino allo stadio "climax", ossia la situazione in cui l'associazione vegetale è in equilibrio con l'ambiente circostante.

Il condizionamento della vegetazione spontanea nelle formazioni argillose appare con grande evidenza lungo le pareti o le pendici più ripide e soggette a forte erosione, in cui solo poche piante riescono a resistere alla demolizione della superficie grazie al loro profondo e tenace apparato radicale, come, ad esempio, *Artemisia cre-*

tacea nei calanchi pliocenici dell'Appennino centro-settentrionale o *Lygeum spartum* (sparto) e *Atriplex halimus* nelle praterie erose delle argille meridionali.

Con il miglioramento delle caratteristiche del substrato, tale da permettere il formarsi di un sufficiente e stabile spessore di suolo, si manifesta la presenza di altre specie alofite e xerofite, quali *Inula viscosa* e *Hedysarum coronarium* (sulla), capaci di resistere alle difficili condizioni edafiche proprie delle argille ancora poco alterate e che vanno a costituire le prime fitocenosi che caratterizzano le fasi evolutive iniziali della vegetazione. Queste, se non disturbate o impedita da cause naturali (erosione, ristagni di acqua, ecc.) o antropiche, si evolvono nel tempo, in stretta relazione alle caratteristiche e al grado di maturazione pedogenetica del suolo e nella direzione determinata dal clima locale, verso stadi potenziali finali. Nel "piano basale" questi corrispondono prevalentemente alla vegetazione di macchia mediterranea o di foresta costituita da piante sempreverdi di latifoglie dell'"orizzonte mediterraneo", alle formazioni forestali costituite prevalentemente da latifoglie decidue con dominanza di querce termofile o di termo-mesofile con prevalenza, nei terreni argillosi, di *Quercus cerris* (cerro) nell'"orizzonte mediterraneo" e infine, alle formazioni di latifoglie decidue nell'"orizzonte montano inferiore" del "piano montano".

L'uomo può interferire in questo quadro dinamico naturale della vegetazione alterandolo con le colture agricole e con il pascolo, ovvero modificandolo sostanzialmente con lo sfruttamento eccessivo delle formazioni boscate, innescando processi di regressione verso gli stadi iniziali o, addirittura, favorendo l'instaurarsi di vasti fenomeni erosivi.

Del bosco originario, espressione di un delicato equilibrio faticosamente raggiunto nel tempo tra clima, suolo e vegetazione, spesso non rimane che qualche relitto in cui le componenti floristiche sono profondamente alterate e in cui le funzioni di protezione e di produzione sono ridotte al minimo o praticamente annullate.

Il paesaggio tipico delle aree argillose è quindi spesso privo di boschi essenzialmente per due motivi: il primo, per la convenienza o la necessità da parte dell'uomo di estendere sulle pendici argillose le colture agricole (per moderate pendenze, per l'assenza di scheletro, per la buona fertilità chimica dei suoli lavorati, ecc.); il secondo, per la facilità con cui, a causa di uno sfruttamento eccessivo e irrazionale dei soprassuoli boscati, si instaurano processi irreversibili di regressione fino alla totale scomparsa del bosco. (g.g.)

La vegetazione coltivata

In Italia l'agricoltura e la zootecnia hanno generalmente interessato le zone argillose, anche quando sarebbe stato consigliabile un più accorto utilizzo di questi suoli come nel caso della campagna senese.

La morfologia è allora risultata ulteriormente "addolcita" dall'uso secolare dell'aratro ma si sono creati molti casi di dissesto.

La coltura prevalente è ed è stato il seminativo di grano, spesso anche in coltura ripetuta, intercalata da prati o prati pascolo per consentire un minimo di rotazione delle colture secondo le più diffuse e conosciute tecniche agronomiche.

Non è però possibile fare delle generalizzazioni perché, in moltissimi casi, i terreni argillosi collinari sono stati oggetto di ingegnose sistemazioni idraulico-agrarie miranti a consentire l'utilizzazione agricola del suolo limitando o annullando i potenziali danni del dilavamento.

Le sistemazioni, a terrazze, a girapoggio, a cavalcapoggio, a spina, queste ultime particolarmente diffuse sui terreni argillosi della Toscana, rappresentano uno dei tratti maggiormente caratterizzanti il paesaggio di intere zone nonché una delle testimonianze più belle della cultura agronomica del passato, frutto dell'ingegno di grandi scuole agronomiche e del lavoro di migliaia e migliaia di uomini. In questi casi le sistemazioni idraulico-agrarie hanno consentito uno spettro colturale ben più ampio e gli impianti di colture arboree di pregio come vite e olivo.

In altri casi, come nella Campagna Romana, nelle zone argillose ha funzionato e tuttora funziona la sistemazione mutuata dai terreni di natura tufacea: i piccoli altipiani centrali sono utilizzati a seminativi limitatamente alla parte più pianeggiante, le vallecicole sono utilizzate per colture richiedenti maggiore umidità (spesso sono irrigati), le pendici sono lasciate boscate per contenere il dissesto.

Nel Mezzogiorno, per tutta una serie di motivi climatici e storico-culturali - non ultimo il latifondo -, il paesaggio dei terreni argillosi è purtroppo caratterizzato da una monotona successione di seminativi di cereali. Nelle zone collinari sono state spesso messe a coltura zone con pendenze eccessive e il ripetersi dell'incendio delle stoppie ha eroso anche i residui lembi di vegetazione lasciati negli spazi più impervi.

Il paesaggio delle zone argillose presenta quindi tratti mutevoli, variabili di zona in zona, frutto di molti fattori fra cui, non ultimo, quello antropico. L'uomo si rivela, anche in questo caso, protagonista o distruttore del proprio ambiente: artefice di grandi testimonianze di civiltà o causa di tante, piccole e grandi situazioni di degrado che ci ricordano la fragilità e l'irripetibilità del nostro habitat. (l.m.)

Interventi dell'uomo

Le sistemazioni collinari classiche

Un'area geografica fondamentale per la comprensione del paesaggio collinare italiano è quella toscano-umbro-marchigiana, dove l'elemento cardine consiste nella **sistemazione dei terreni**, cui hanno atteso

per secoli molte generazioni di agricoltori.

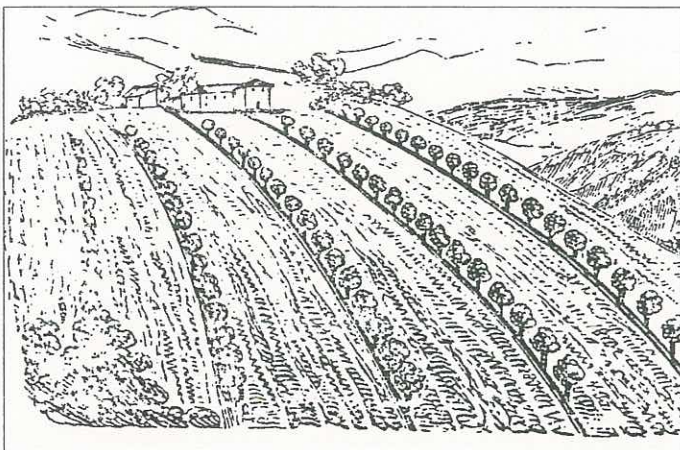
In questa conquista delle terre da coltivare si sono avute varie fasi. Sicuramente in tempi remoti la vegetazione naturale doveva coprire, e difendere dall'erosione, gran parte di questi terreni. Poi essi furono disboscati e lavorati, con tecniche che non tene-

mente nei solchi tracciati dall'alto verso il basso "portano via il fior di terra" e con esso piante e concime.

Già il Landeschi, uno dei grandi maestri della sistemazione agricola toscana, aveva raccomandato nel '700 i lavori in senso orizzontale: "per evitare l'erosione dei suoli

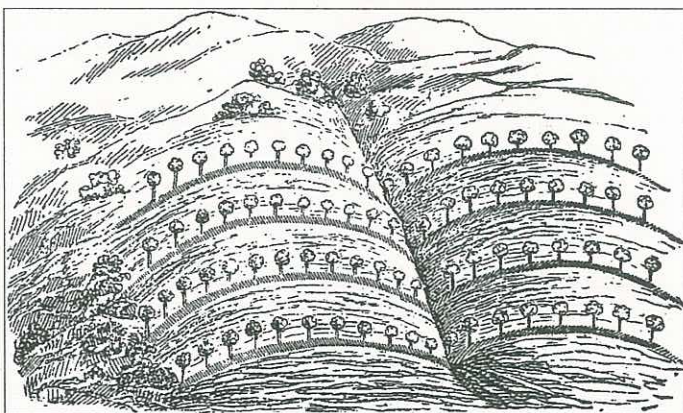
tutte le colture debbono essere organizzate in senso orizzontale come in pianura".

Tra i diversi tipi di sistemazione dei campi alcune erano particolarmente indicate per le colline argillose, come quella "a girapoggio" in cui le linee di lavorazione seguono le curve di livello, o la sistemazione "a spina", che è considerata la mi-



Rittochino
(Caruso 1898)

Cavalcapoggio
(Caruso 1898)



vano in debito conto il fattore erosione, specialmente nei terreni argillosi. Solo più tardi, nel '700, vennero ideate e messe in atto le tecniche di "bonifica" dei terreni collinari, in particolare in Toscana, patria dell'erosione e anche delle sistemazioni collinari.

I paesaggi delle argille sono frequenti nell'Italia centrale, dove l'erosione del suolo, chiamata antropica perché indotta dall'uomo con il disboscamento e il lavoro dei campi, è arrivata a mettere in crisi l'agricoltura di certe contrade. È un problema antico di cui ci si era resi già conto nella seconda metà del Settecento: fu allora che il controllo delle acque divenne la preoccupazione maggiore della scuola agronomica toscana. Ma si trattava di un processo cominciato molto tempo prima e che si era aggravato parallelamente al diffondersi dell'insediamento e della colonizzazione agricola.

Accanto al disboscamento un'altra causa dell'erosione è stato infatti il particolare modo di lavorare la terra "a rittochino" cioè dall'alto verso il basso seguendo la pendenza del terreno.

Gli studiosi dell'agricoltura collinare sono unanimi nella condanna del "lavoro a rittochino" perché le acque scorrendo veloce-

gliore, ma è anche la più difficile perché unisce i vantaggi del girapoggio (fossi e lavori orizzontali) con quelli del rapido allontanamento delle acque e comporta il modellamento delle pendici.

All'erosione dei suoli l'uomo ha quindi reagito con un lavoro immenso che ha parzialmente salvato le colline dalla rovina: a partire dal Settecento e per tutto l'Ottocento il paesaggio toscano-marchigiano è stato rimodellato con una delle più belle trasformazioni fondiarie che possa vantare l'agricoltura basata su tecniche tradizionali.

Cosa accadrà di questi paesaggi? Da alcuni decenni essi hanno cambiato con rapidità sconcertante; la decadenza del "bel paesaggio" collinare è riconoscibile quasi dappertutto: campagne abbandonate, diffusione degli incolti, case in rovina, terre senza contadini, vaste colate di cemento che invadono qua e là le più belle campagne del mondo.

In alcune aree collinari argillose è in espansione il settore zootecnico. Ad esempio nel senese è comparso l'allevamento ovino: è una forma di recupero del vecchio spazio agrario piuttosto singolare e così in contrasto con la tradizione agricola toscana!

In altre aree la meccanizzazione spinta ha modellato un nuovo tipo di paesaggio collinare, cercando di ottenere una agricoltura redditizia come nel cesenate, dove però le nuove sistemazioni hanno provocato eclatanti casi di erosione accelerata.

In altre aree ancora le tradizionali sistemazioni sono state abbandonate, e le colture agrarie vengono sostituite da vegetazione spontanea, che però non è il bosco bensì un confuso e inestricabile intreccio tra arbusti spinosi.

In altre aree, grazie ai pochi agricoltori rimasti, il paesaggio classico viene conservato.

In conclusione, è una trasformazione, questa, della vita rurale, che inevitabilmente si sta realizzando con massicci danni al paesaggio classico.

L'urbanizzazione delle colline argillose

Nella situazione-tipo le colline argillose sono sormontate da placche di sabbie, alla cui sommità sono costruiti numerosi piccoli centri, come Todi (Umbria), Castignano (Marche), Salandra (Basilicata).

La posizione rilevata fu inizialmente scelta per scopi difensivi, e anche perché le "sabbie gialle", dove erano più cementate, fornivano pietra da costruzione, mentre le pendici argillose poteva ospitare la pastorizia e l'agricoltura.

Queste colline facevano parte di piccole valli secondarie, caratterizzate da processi erosivi più o meno attivi a carico peraltro di rocce molto erodibili, appunto le Argille azzurre e le Sabbie gialle.

Le scadenti caratteristiche geotecniche delle rocce, l'erosione regressiva dei corsi d'acqua, l'uso sempre più intensivo dei suoli, già nel passato (anche in epoca romana per i centri urbani più antichi) portarono a franamenti localizzati delle pendici collinari.

Con lo sviluppo recente di questi centri, caratterizzato da notevoli movimenti di terra e dall'apporto massiccio di acqua (da parte di acquedotti e fognature, più o meno perdenti), l'equilibrio idrogeologico, già precario, ha subito violenti attacchi: pertanto si manifestano nelle pendici argillose erosioni accelerate fino alle frane di colamento o, a seconda delle condizioni morfologiche e litostigrafiche, frane di scoscendimento; questi movimenti di massa possono innescare, al contatto con le Sabbie soprastanti, frane di crollo in queste ultime.

Va detto che tra le cause generali di questi accelerati processi di erosione sono da annoverarsi anche movimenti tettonici durante il Quaternario (fenomeni neotettonici) e cambiamenti climatici, che hanno interessato in particolare le fasce preappenniniche. I primi hanno prodotto, nell'arco degli ultimi 6-7.000 anni, un sollevamento di varie decine di metri delle terre emerse e quindi un aumento del dislivello fra queste e il "livello di base" (livello medio del mare), favorevole all'erosione. (g.g.)

I calanchi di Civita di Bagnoregio

Caratteristiche geologiche e geomorfologiche

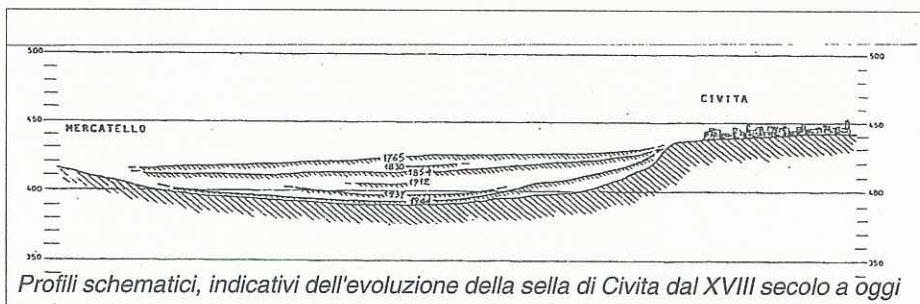
Civita di Bagnoregio è un antico centro medioevale, sorto su un precedente insediamento etrusco, sito nell'Italia centrale nella parte Nord della provincia di Viterbo. È ubicato sulla cima di un colle a 443 metri sul livello del mare in corrispondenza dello spartiacque tra due bacini idrografici posti in direzione circa est-ovest. L'abitato ha una differenza di quota con i fondovalle di 200 metri con quello settentrionale e 250 circa con quello meridionale.

Civita è collegata al centro di Bagnoregio, da cui dipende amministrativamente, da una stretta sella morfologica su cui poggia un esile ponte la cui stabilità è continuamente minacciata dal susseguirsi di movimenti franosi. Questi non interessa-

sia grossi scoscendimenti, sia di frane di scivolamento, sia colate di fango in occasione di abbondanti precipitazioni, che, data la impossibilità di attecchimento della vegetazione, fenomeni di erosione calanchiva: difatti le acque pluviali, defluendo sui pendii, dilavano le formazioni argillose asportando in sospensione minutissimi frammenti e, scorrendo in superficie senza penetrare in profondità, scavano e erodono rapidamente. Tale asportazione del materiale argilloso provoca inoltre lo scalzamento della base del bancone tufaceo di copertura per cui questo, rimanendo pensile, crolla nei fondovalle.

Cenni di idrologia

L'attuale reticolo idrografico è caratterizzato da due valli principali, corrispondenti al Fosso Torbido e al Fosso di Lubriano, i quali si sviluppano tendenzialmente verso est, sia pure con sensibili variazioni di direzione. In particolare il Fosso Torbido,



no comunque soltanto la sella, ma l'intero colle che nel passare del tempo ha subito una notevole riduzione di estensione.

Geologicamente il colle può essere suddiviso in due formazioni sovrapposte. Una sommitale vulcanica, relativa all'attività del vicino apparato vulcanico Vulsino di età compresa tra 0,04 m.a. e 0,88 m.a. e una basale argillo-sabbiosa del Pleistocene inferiore.

La parte vulcanica, formata da un bancone tufaceo, con spessore variabile tra i 50 e i 65 centimetri circa, risulta a sua volta composta da due unità sovrapposte distinte. La superiore è una ignimbrite tefritico-fonolitica dello spessore di circa 20 metri, nota in letteratura con il nome di "Tufo litoide a scorie nere", mentre la parte sottostante, con spessori di circa 40 metri, è costituita da tufi basali stratificati. Questi sono formati da alternanze di banconi pomiceo scoriacei e da livelli cineritici più coerenti.

Inferiormente alla serie vulcanica è presente un "Complesso argilloso-sabbioso", che presenta scadenti qualità geomeccaniche.

L'area è interessata da vistosi fenomeni erosivi dovuti a un complesso di cause tra loro strettamente collegate. In particolare, l'approfondimento dei fondovalle a opera dei torrenti settentrionale e meridionale ha provocato elevate pendenze morfologiche e di conseguenza l'instabilità dei fianchi argillosi delle valli; in questi si manifestano

dopo un breve tratto iniziale verso est, presenta andamento alternativamente verso nord-est e sud-est; il Fosso di Lubriano, dopo un tratto iniziale verso est notevolmente più lungo dell'omologo tratto del Fosso Torbido, piega a sud-est e poi decisamente a sud, direzione che mantiene fino alla confluenza in quest'ultimo. Le due incisioni vallive presentano inoltre marcate differenze anche nell'altimetria dei profili longitudinali. Mentre nel loro tratto inferiore (al disotto di quota 175-200 circa) i due profili hanno andamento molto simile, in quello superiore il profilo del Fosso Torbido è notevolmente più ripido del Fosso di Lubriano.

Ambedue i profili presentano sensibili discontinuità non direttamente connesse a fatti litologici, ma imputabili, oltre che all'interazione con gli affluenti, ai movimenti franosi i cui accumuli sui fondovalle non sono stati ancora completamente rimossi. I due fossi presentano differenze sensibili anche nelle caratteristiche dei rispettivi bacini: più largo e tendenzialmente asimmetrico quello del Fosso Torbido (versante sinistro più sviluppato del destro), più stretto e mediamente simmetrico quello del Fosso di Lubriano. Una caratteristica comune è, per contro, rappresentata dalla suddivisibilità del loro corso, nei riguardi della componente verticale dell'erosione sui fondovalle, in due tratti distinti: uno inferiore, con spianante alluvionali di fondovalle pressoché continue e con erosione

scarsa o nulla, e uno superiore, privo di queste spianate e in erosione più o meno continua, anche se di modesta entità. Questa caratteristica sta a indicare che, attualmente, nel loro tratto inferiore le due incisioni principali si limitano a trasportare il carico solido proveniente dall'erosione, peraltro modesta, esercitata dalle stesse incisioni nel loro tratto superiore, e da quella, molto più cospicua, esercitata dalle incisioni affluenti e dai fenomeni a carattere diffuso (Calanchi e frane di vario tipo) che si sviluppano nei loro bacini.

Evoluzione morfologica in tempi storici

Nella zona in studio la presenza del centro abitato di Civita di Bagnoregio ha permesso di raccogliere numerose informazioni storiche che hanno consentito di quantificare, quasi come un monitoraggio del territorio aritroso nel tempo, l'attività erosiva e la velocità dei processi morfologici avvenuti nel corso degli ultimi secoli e quindi tutt'ora in atto. Al fine di valutare l'evoluzione morfologica del colle di Civita di Bagnoregio, e di conseguenza dell'abitato, in tempi storici, è stata effettuata una ricerca tendente a reperire informazioni sull'assetto urbanistico del nucleo abitato nel passato, sull'avvenimento di antiche frane e sui metodi di consolidamento e salvaguardia del colle fino a oggi intrapresi. Tale ricerca, condotta utilizzando sia le principali monografie storiche riguardanti Bagnoregio e Civita, sia i sommari dei Consigli Comunali dal 1542, che tutta una serie di perizie, relazioni, ecc., ha consentito di recuperare una notevole mole di informazioni; con queste è stato possibile redigere un elenco cronologico delle principali manifestazioni franose e delle opere di stabilizzazione intraprese dal 1373 al 1970.

Sono risultate infine di notevole utilità le opere iconografiche, cartografiche e fotografiche, attraverso le quali è stato possibile ricostruire una sequenza documentaria della zona che si protrae dall'inizio del XVIII secolo.

Dall'esame del materiale raccolto si possono effettuare alcune osservazioni:

a) il fenomeno erosivo presenta, nel suo insieme, velocità molto spinte che si ripercuotono sulla stabilità della rupe su cui sorge l'abitato di Civita di Bagnoregio; il degrado geomorfologico ha prodotto in questa, dal 1700 a oggi, una riduzione di circa il 20-25 per cento

della superficie urbanizzata;

b) la storia di Civita di Bagnoregio risulta fortemente condizionata dalle frane che hanno interessato il suo perimetro e risultano documentate dal 1450. Degne di nota risultano quelle del 1450, del 1466-1469, del 1554, del 1562, del 1661, del 1695, del 1764, del 1797, del 1810 e del 1888. È da rilevare in questo secolo una certa tendenza alla diminuzione dell'occorrenza delle frane riguardanti il perimetro della rupe e

Civita di Bagnoregio. Anche in questo caso, come per la Valle dei Templi, colline argillose sopportano alla loro sommità placche di rocce più resistenti sulle quali furono costruiti templi o centri abitati. Il dissesto idrogeologico delle argille provoca l'instabilità delle aree periferiche del rilievo tabulare, che nel crollo trascinano le costruzioni



interessanti nuclei abitativi: ciò può essere imputabile alla riduzione delle abitazioni nei bordi e nelle aree più instabili (per esempio, zona Ponte) e forse a una certa efficacia degli interventi effettuati;

c) la strada di accesso a Civita di Bagnoregio corre in cima a una cresta morfologica e risulta costantemente interessata da fenomeni franosi; questi sembrano accentuarsi negli ultimi secoli e ciò potrebbe essere imputabile a una certa esponenzialità del fenomeno erosivo nei fianchi delle valli sottostanti. A conferma di questo si può ricordare che la strada di accesso ha subito un abbassamento di circa 20-25 metri dal 1854 a oggi, anche se in tale valore devono essere considerati gli abbassamenti artificiali del secolo scorso, atti ad ottenere una sede stradale di dimensioni adeguate;

d) le opere di consolidamento e salvaguardia fino a oggi intraprese non hanno mai seguito un piano organico di bonifica integrale: sono state sempre limitate o ad aree in forte erosione momentanea o alla sistemazione di piccole parti dei fondovalli o al ripristino della viabilità tra Bagnoregio e Civita. Soltanto i rimboschimenti del 1948 e 1957 hanno interessato estese porzioni del colle ma, a causa di una non perfetta conoscenza della fenomenologia erosiva, non hanno prodotto gli effetti sperati;

e) per quanto riguarda la velocità di erosione delle aree calanchive, è stata reperita una serie di informazioni relative all'ar-

retramento della testata del calanco "ponticelli" antistante Civita di Bagnoregio, pubblicata in un giornale parrocchiale di Bagnoregio; in particolare le osservazioni si riferivano alle misure di arretramento della testata del calanco rispetto a 6 punti fissi, indicati da altrettanti picchetti metallici installati, nel febbraio del 1970, a distanza di cinque metri dal bordo del calanco. Per 11 anni di seguito sono stati misurati, sempre nel mese di febbraio, gli arretra-

menti relativi alla testata del calanco dovuti a fenomeni erosivi. I risultati evidenziano, nel periodo 1970-1981, un arretramento complessivo medio di 69 centimetri, cui corrisponde un valore medio annuo pari a 6,27 centimetri.

Parco regionale della Valle dei Calanchi

La proposta per la creazione di un parco naturale della "Valle dei Calanchi" o dei "Calanchi di Civita" risale ai primi anni '80.

Le peculiari caratteristiche ecologiche e geomorfologiche dell'area ne hanno da subito ispirato la denominazione e sono tali da suggerire un vasto programma di ricerche scientifiche e tecnologiche, che sta muovendo ora i primi passi e che ha già sollevato interesse e sostegno anche a livello internazionale.

Sviluppando tematizzazioni specifiche nel parco dei Calanchi, si possono caratterizzare in maniera specifica tutte le principali finalità istitutive del parco stesso (conservazione, ricerca, educazione ambientale) e quindi le sue modalità di gestione.

Non è difficile immaginare, infatti, che tale sistema - sia nelle sue singole componenti periferiche, sia nella sua intelligenza centrale - sia progettato per fornire ai visitatori del parco, a seconda del loro livello di competenza, un'esperienza diretta e tangibile dei fenomeni e delle peculiarità presenti.

Si tratterebbe di creare un centro scientifico, strutturato in parte come un vero e proprio "museo scientifico" specializzato, e in parte come un "museo all'aperto" lungo un percorso guidato e attrezzato con le stazioni di monitoraggio, opportunamente collocate.

A puro titolo esemplificativo si possono citare alcuni esempi degli aspetti d'interesse:

- i rapporti uomo/ambiente (con particolare riferimento al territorio dell'alto Lazio);

- le emergenze naturalistiche e storiche presenti nel parco (Calanchi, associazioni vegetali specifiche, reperti archeologici, ecc.);

- evoluzione vulcano-sedimenti dell'area;

- comportamento dinamico dell'ammasso tufaceo della rupe;

- individuazione di giacimenti fossiliferi (malacofauna plio-pleistocenica) nei sedimenti argillosi del vallone;

- evoluzione storica del borgo di Civita in relazione agli eventi sismici e franos verificatisi nel tempo;

Scendendo in un dettaglio maggiore si potrebbe prevedere la realizzazione di tre aree laboratorio attrezzate con sistemi di monitoraggio, controllo e/o bonifica delle aree in dissesto aventi valenza più generale. Tali aree potrebbero essere:

- un'area laboratorio per lo studio dei fenomeni di dissesto idrogeologico;

- un'area laboratorio per lo studio dei fenomeni calanchivi;

- un'area laboratorio per lo studio dell'influenza delle pratiche agricole e culturali sull'erosione del suolo. (c.m.)

Un paesaggio in tensione: le Crete senesi e la Val d'Orcia

Il paesaggio delle colline argillose della provincia di Siena, le cosiddette "Crete", è ben noto e apprezzato per le sue qualità scenografiche. Esso è caratterizzato da un rilievo ondulato più o meno pronunciato, in cui morbide colline arrotondate si susseguono una dopo l'altra. Le Crete sono coperte da vasti campi di grano e di foraggiere, punteggiate da casali isolati, segnate da file di cipressi e circondate da piccole città e villaggi fortificati medioevali.

Questo scenario, col cambiare delle stagioni, suscita sia sentimenti forti e dram-

matici sia sensazioni riposanti e di spazio senza limiti.

È opportuno chiarire che con il termine "Crete" in genere viene fatto riferimento a tutto il territorio delle colline argillose plioceniche della parte meridionale della provincia di Siena, un'area che dalle valli dell'Arbia, dell'Ombrone e dell'Asso arriva alla Val d'Orcia e alta Val di Paglia. Il termine "Crete senesi", in senso stretto, però si riferisce più precisamente all'area più vicina a Siena, ricadente nei comuni di Asciano, Monteroni d'Arbia, Buonconvento e S. Giovanni d'Asso e comprendente piccole parti dei comuni limitrofi.

Nell'ambito delle Crete si trova un'area più ristretta caratterizzata dalla presenza

a queste forme del rilievo e che è dovuto all'efflorescenza di sali di sodio (in particolare solfati di sodio: thenardite).

Come già detto, le biancane, che si possono trovare anche insieme ai calanchi o che possono essere collegate a "corridoi" vegetali prevalentemente costituiti da formazioni riparie, rappresentano un elemento molto importante che contribuisce a una maggiore articolazione dello scenario e che svolge funzioni di diversificazione biologica e di rifugio per varie specie animali e vegetali.

Nella zona delle Crete senesi e nella Val d'Orcia le biancane si presentano nel loro aspetto più tipico, formando spesso estesi raggruppamenti. Esse sono il principale



Un aspetto tipico del paesaggio delle colline argillose: le Crete Senesi, colline blandamente ondulate, utilizzate a seminativo asciutto, come il frumento. Infatti la morfologia non pianeggiante e la non opportunità di irrigare questi terreni impermeabili e predisposti all'erosione accelerata limitano le scelte colturali. Sullo sfondo si notano versanti aggrediti fortemente dall'erosione idrica, che si manifesta sotto forme tendenti verso quelle calanchive

delle "biancane", che sono forme del territorio tipiche, dovute all'erosione, che aumentano la diversità scenica e biologica del paesaggio.

Le biancane sono forme di erosione diverse dai calanchi, i quali si presentano come microbacini dal caratteristico reticolo idrografico pinnato, e sono determinate da condizioni morfogenetiche differenti. Le biancane sono forme del territorio meno frequenti dei calanchi, in Toscana e in Italia, e sono caratteristiche di aree in cui i sedimenti argillosi sono piuttosto puri e privi di una copertura di sabbie; i calanchi invece si formano su sedimenti argillosi con una maggiore componente di sabbia o dove questi sedimenti sono coperti da livelli di sabbie, che peraltro determinano la formazione di pendenze maggiori.

Nella loro forma più tipica le biancane (localmente chiamate anche "mammelloni" e in altre zone, come la Lucania, definite "dorsi di elefante") si presentano come cupolette argillose alte pochi metri, sprovviste del sottile mantello vegetale nel lato esposto a sud.

È in questo lato che si realizza, nelle giornate serene invernali, il caratteristico fenomeno di sbiancamento che dà il nome

fattore di diversificazione del paesaggio agrario che caratterizza l'intera area delle Crete, dove vi è una forte prevalenza di campi molto vasti, spesso larghi quanto un intero versante, in cui vengono praticate coltivazioni estensive (soprattutto di grano duro, orzo e foraggiere) e il pascolo.

Recentemente nell'agricoltura delle Crete c'è stata un'inversione di tendenza, infatti è cessato il progressivo abbandono dei terreni marginali ed è cominciata una conversione a pascolo di una parte dei seminativi; questo processo, dovuto principalmente all'immigrazione di pastori (soprattutto dalla Sardegna), dopo il rapido declino in atto negli anni '50, ha visto un forte aumento degli ovini che, tra il 1955 e il 1982, si sono quasi decuplicati. L'aumento del carico di ovini ha portato al pascolamento anche di terreni degradati come le biancane e le aree calanchive.

Infatti gli effetti devastanti prodotti dalle pecore in queste aree a equilibrio precario risultano dovuti, oltre che al denudamento causato dal numero eccessivo di capi per unità di superficie (scarsa produzione di foraggio rispetto al fabbisogno alimentare degli ovini), anche all'effetto del continuo calpestio. Quest'ultimo infatti su suoli ar-

gillosi umidi, quindi con bassa capacità portante, produce una perdita di struttura e una riduzione della porosità e della velocità di infiltrazione dell'acqua. Il generale effetto di compattazione impedisce una efficace ricostruzione del manto erboso asportato e, con la relativa diminuzione della permeabilità, incrementa il ruscellamento superficiale e, conseguentemente, l'erosione.

Ciò è dovuto però anche a una precisa scelta dei pastori, che tendono a nutrire le pecore con la flora spontanea delle Crete. Alcune specie floristiche che crescono sui terreni più impervi e degradati sono particolarmente gradite per il sapore che darebbero al latte delle pecore e al tipico formaggio pecorino prodotto nella zona.

La vegetazione pioniera delle aree degradate delle argille plioceniche è caratterizzata dalla presenza di *Artemisia cretacea* e di altre alofite, come *Parapholis strigosa* e *P. incurva*. Sulle biancane, come sui calanchi, è stato rinvenuto un solo tipo di vegetazione pioniera, l'associazione *Parapholido-Artemisietum cretaceae*. L'areale di quest'associazione sembra essere

infatti un maggior volume dell'acqua dilavante e quindi una maggiore energia erosiva di questa.

Nella maggior parte dei casi, non essendo previste opportune opere di difesa e di canalizzazione che intercettino le acque dilavanti interrompendone il flusso, si innescano inevitabilmente fenomeni di erosione che possono evolversi rapidamente con grande danno sia per il suolo agrario, sia dal punto di vista del bilancio idrico generale del bacino. Col diffondersi di una meccanizzazione sempre più potente, è stato possibile spianare molti terreni a topografia accidentata per lavorarli.

Quest'operazione di "bonifica" è stata effettuata soprattutto a spese delle "biancane", che prima erano state risparmiate per gli alti costi che avrebbe comportato l'operazione.

Un secondo problema è legato all'attività di pascolamento sulle biancane. Da un punto di vista puramente botanico, quest'attività può essere vista come un elemento positivo, per gli effetti che essa avrebbe sulla dinamica dell'evoluzione della vegetazione; essa infatti conserverebbe la vege-

Biancane delle Crete senesi.

Sono infatti state prese misure nell'ambito del Piano regolatore generale o nell'ambito di un Progetto di "Parco artistico naturale della Val d'Orcia". Per quanto riguarda il secondo aspetto, del pascolamento, invece, non sono ancora chiare le azioni da intraprendere.

La necessità di impedire, o quanto meno di ridurre, il proseguimento del pascolo ovino su queste superfici è evidente sia in considerazione del dissesto idrogeologico prodotto, che della rapida riduzione delle capacità produttive di questi "pascoli".

Fintanto che non saranno prese efficacemente le misure che consentano di contrastare tutti gli elementi che portano alla rottura del suo equilibrio, permarranno le condizioni per considerare questo come un paesaggio in pericolo. (r.r.)

Ruolo della vegetazione nel recupero dei suoli argillosi

È nota la difficoltà di effettuare la bonifica delle aree argillose notevolmente dissestate e, in particolare, di quelle calanchive.

L'esperienza ha sostanzialmente confermato le estreme difficoltà e onerosità, nella maggior parte dei casi, di ottenere con buon successo e in breve tempo una soddisfacente copertura vegetale di queste aree. In passato nelle sistemazioni dei calanchi venivano realizzati, con manodopera sul posto, canali erodenti sulle creste dei calanchi, con funzioni di modellamento, e solchetti di minore sezione disposti a spina dentro i canaloni racchiusi tra le creste con funzione regimante. Si otteneva così: 1) di eliminare rapidamente le acque superficiali e di impedire la formazione di colate di fango cospicue; 2) di consentire alla vegetazione spontanea di affermarsi indisturbata tra i solchetti; 3) di concentrare le acque sulle creste attivandone la demolizione.

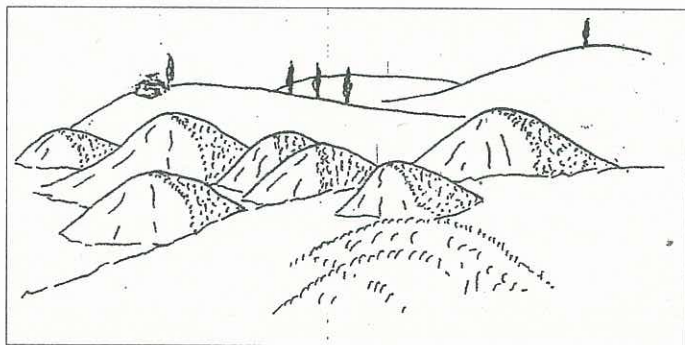
Si devono ora però rilevare due importanti novità che hanno notevolmente influito sui tradizionali criteri di sistemazione ampiamente applicati, in passato, nelle argille azzurre e cioè:

- la disponibilità di potenti macchine operatrici capaci di rimuovere o lavorare in breve tempo grandi masse di suolo e di roccia argillosi;

- la difficoltà o l'impossibilità (salvo ovvie eccezioni) di poter contare su operatori agricoli disposti a coltivare le pendici risultanti dalla sistemazione.

Queste novità sembrano favorire un maggiore impiego del bosco nell'opera di sistemazione, pur con tecniche più aggiornate e più graduali di quelle impiegate nel passato. Ma questo si verifica raramente. Recenti osservazioni compiute al riguardo portano a concludere che, nella maggioranza dei casi, l'opera di sistemazione dei calanchi viene limitata alla realizzazione di "colmate di monte" attraverso briglie in terra

Schizzo del paesaggio a "biancane" delle Crete Senesi



ristretto alle colline argillose plioceniche della Toscana meridionale, sebbene una vegetazione simile si trovi anche nelle aree calanchive di altre regioni. Oltre a questa vegetazione pioniera sono presenti anche arbusteti e cespuglieti (con *Spartium junceum*, *Prunus spinosa*, *Ulmus minor* e *Juniperus communis*).

Le varie componenti di questo paesaggio culturale, i villaggi, i seminativi, i pascoli, le biancane e gli occasionali calanchi e corridoi costituiti dalle formazioni riparie conservano tuttora le loro funzioni. Questo quindi non può essere definito come un paesaggio che sta scomparendo. Ciò nonostante, il suo equilibrio è fortemente in tensione per la tendenza in atto all'eccessiva espansione di un elemento a scapito degli altri.

L'elemento principale che minaccia l'equilibrio di questo "paesaggio in tensione" è dovuto alla grande diffusione di una pesante meccanizzazione agricola. I lavori di spianamento alterano la naturale geometria dei versanti, sia per la diversa pendenza che si viene a determinare, che influisce sulla velocità di scorrimento delle acque, sia per la lunghezza dei campi ottenuta; una maggiore lunghezza dei campi determina

tazione ad Artemisia, inibendo lo sviluppo delle formazioni arbustive. Dal punto di vista della conservazione del suolo e delle forme del territorio, invece, risulta che il pascolamento porta inevitabilmente alla degradazione, innescando processi di erosione idrica incanalata per fossi. Il pascolamento non è infatti tollerabile né dai calanchi, che sono forme del territorio soggette a una forte dinamica erosiva, né dalle biancane, che sono caratterizzate da condizioni d'equilibrio estremamente precario. Da queste considerazioni consegue che la conservazione della vegetazione pioniera ad Artemisia, che si sviluppa su entrambe le forme di erosione, è da prevedersi attraverso modi diversi dal pascolamento; a meno che l'obiettivo non sia quello di mantenere questo tipo di vegetazione a prescindere dalla forma del territorio che l'ospita.

Per quanto riguarda l'aspetto che minaccia maggiormente l'equilibrio di questo paesaggio, ossia l'azione di spianamento delle biancane, vi è già una forte sensibilizzazione tra la popolazione e le amministrazioni locali. I primi passi per la protezione sono già stati fatti dai Comuni della Val d'Orcia e dal Comune di Asciano, nel cui territorio si trova la maggior parte delle

battuta, attuate oggi con maggiore facilità di un tempo, grazie all'aiuto dei moderni mezzi meccanici. L'eccessivo costo del modellamento e lo scarso interesse produttivo delle superfici che ne risultano inducono a contenere la sistemazione alle sole opere di fondo (briglie) lasciando sostanzialmente alla natura il compito della lenta colonizzazione delle pendici da parte della vegetazione spontanea.

Talora la sistemazione idraulico-forestale viene ancora praticata con diversi risultati nelle pendici ai margini o alla base delle zone calanchive e dissestate per contenere o rallentare l'espansione dei fenomeni erosivi laddove il suolo si presenta con caratteristiche più favorevoli nei riguardi della vegetazione arborea e arbustiva, ad esempio per la presenza di lenti sabbiose.

I metodi adottati consistono in genere nella *lavorazione localizzata* del suolo con piantagione di alberi e/o arbusti particolarmente adatti a questo impiego, preceduta dalla canalizzazione delle acque superficiali, e nella semina di erbe consolidatrici su suolo leggermente lavorato in superficie.

In situazioni non eccessivamente sfavorevoli, in vicinanza a zone abitate e spesso intensamente coltivate, si possono osservare iniziative promosse da operatori agricoli per la sistemazione idraulico-agraria di pendici anche calanchive, con rilevanti opere di modellamento, di regimazione e di drenaggio, attuate con potenti mezzi meccanici. Al riguardo si citano come esempio alcune zone situate nelle colline plioceniche romagnole (come nel Cesenate) o toscane in cui il grado di argillosità dei suoli è attenuato in superficie dalla presenza di sedimenti sabbiosi. Con cospicui movimenti di terra vengono demolite anche creste e pareti calanchive, mescolando così sabbia e argilla, si ricostruiscono drenaggi, affossature, colmate superficiali, creando in tal modo appezzamenti di terreno sufficientemente stabili e fertili, lavorabili meccanicamente, su cui vengono attuate colture di pregio (frutteti, vigneti, fragole, ecc.). Questa intensa opera di bonifica è poi completata da alcuni laghetti artificiali, sufficienti a fornire l'acqua necessaria per la irrigazione delle colture.

Sono assai scarse le iniziative di *rimboschimento* promosse spontaneamente da

privati nei terreni chiaramente argillosi, nonostante i notevoli incentivi previsti dalle leggi.

La scarsa riuscita dei primi impianti effettuati, la tradizionale destinazione agricola di questi terreni, i frequenti errori nella scelta di metodi di impianto e delle specie, hanno influito in modo negativo al riguardo.

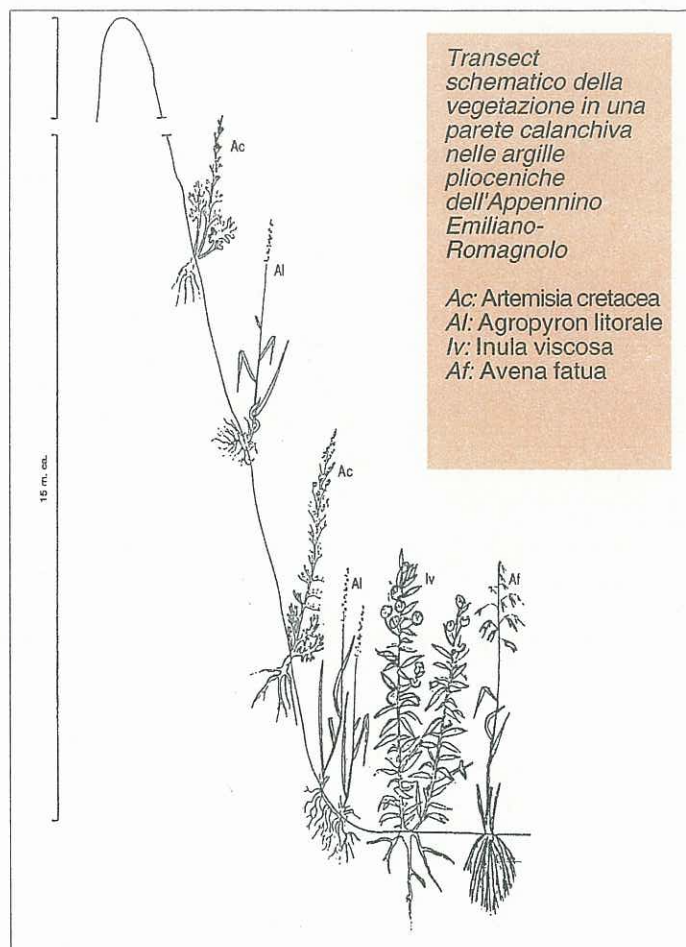
I rimboschimenti di terreni argillosi attuati per iniziativa pubblica in questo dopoguerra sono stati invece numerosi, specialmente nel Mezzogiorno.

È possibile compiere un consuntivo dei metodi attualmente adottati per il rimboschimento dei terreni argillosi (in genere sono terreni abbandonati dall'agricoltura).

Questi metodi possono distinguersi, come segue, sostanzialmente in base alle diverse tecniche di preparazione del suolo e alle caratteristiche preparatorie o definitive degli impianti:

- senza preparazione del suolo e, in seguito, con lavori estensivi e superficiali, con l'impiego preliminare di specie arbustive e arboree preparatorie;
- con *lavorazione localizzata* del suolo e l'impiego o meno di specie preparatorie;
- con *lavorazione andante* (o *totale*) del suolo, più o meno profonda e, in genere, con l'impiego di specie già utili ai fini della produzione legnosa.

La **prima tecnica** si basa sulla possibilità di accelerare o agevolare con interventi graduali e moderati (spargimento di seme,

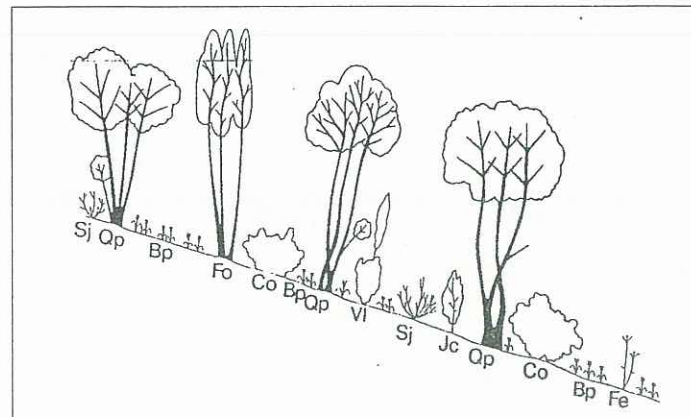


piantagione di poche specie pioniere senza lavorazione del suolo, ecc.) l'evoluzione della vegetazione che avviene spontaneamente anche nei terreni argillosi particolarmente difficili.

Il rimboschimento mediante *lavorazione localizzata* del suolo viene attuato con diverse modalità. L'impiego dei "gradoni" e dei "terrazzamenti" su substrati argillosi si è verificato specialmente nel Mezzogiorno e non ha sempre fornito buoni risultati, specialmente in confronto a quelli ottenuti con altri sistemi più moderni di lavorazione. Favorendo il ristagno dell'acqua nelle stagioni piovose, i gradoni possono influire negativamente sulla stabilità delle pendici argillose, tanto più se attuati in modo intensivo.

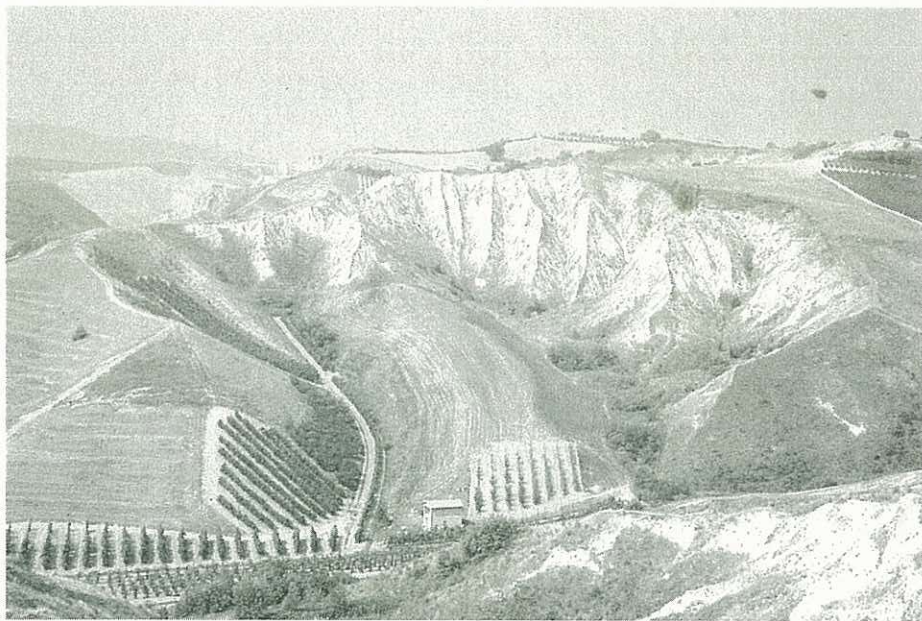
Nell'Appennino settentrionale e centrale si è fatto invece largo uso delle "buche", da tempo generalmente sconsigliate (ma ancora purtroppo molto generalizzate) sia perché riducono la stabilità delle pendici, sia per il ristagno delle acque che avviene nella buca durante la stagione piovosa, sia per il modesto volume di terreno "lavorato" a disposizione delle piante.

In generale la *lavorazione localizzata* può trovare applicazione su pendici molto acclivi in cui non è possibile intervenire con mezzi meccanici. Si può affermare che questi metodi di lavorazione localizzata (specialmente a buche drenate, a strisce con varia pendenza o a rittochino) forniscono risultati - per ora - abbastanza soddisfacenti



nelle pendici argillose dell'Appennino settentrionale in condizioni edafiche non troppo negative (e cioè con suoli relativamente profondi e permeabili, già inerbiti e cespugliati) e in località con estati poco siccitose. Dove, per diversi motivi, è mancato il drenaggio delle acque, i risultati sono invece negativi. La lavorazione localizzata può fornire risultati discreti, e anche buoni, solo nelle stazioni non siccitose nei terreni argillosi ex-agricoli sufficientemente profondi, che dispongano già di una buona struttura e di un minimo drenaggio: ciò anche su pendenze notevoli, purché, in quest'ultimo caso, la presenza e le caratteristiche della vegetazione spontanea esistente forniscano garanzie di stabilità.

Sistemazione dei calanchi a Brisighella (Emilia Romagna). Si notano briglie sul fondo del fosso, inerbimento sui versanti



Con la **lavorazione andante e profonda** del suolo vengono trasferiti in campo forestale alcuni moderni criteri agronomici per la sistemazione produttiva dei terreni declivi volti a migliorarne le caratteristiche strutturali e a favorirne l'immagazzinamento delle acque meteoriche, assicurando, nel tempo stesso, un sufficiente drenaggio in profondità.

La lavorazione del suolo - da eseguirsi nel periodo estivo - viene in genere preceduta da opere di modellamento e di regimazione idrica che assumono diversa intensità a seconda delle asperità locali.

L'applicabilità di questo metodo dipende, ovviamente dalla pendenza e dalla stabilità delle pendici.

Le macchine operatrici possono essere impiegate su pendenze notevoli (superiori anche a 30-35 per cento), ma in tal caso è opportuno alternare o completare la lavorazione andante con opere di sistemazione più intensive.

Questa tecnica di preparazione del suolo, adottata con successo nel rimboscimento dei terreni argillosi del Mezzogiorno, ha gradualmente sostituito in questi anni nelle pendici meccanizzabili le precedenti tecniche basate sull'apertura di buche in terreno

non lavorato, ovvero di strisce, gradoni, ecc., con andamento parallelo alle curve di livello. La disponibilità di macchine operatrici capaci di modellare facilmente le pendici e di attuare a rittochino scavi anche profondi su tutta la superficie ha reso possibile l'applicazione di questa tecnica.

È possibile comunque affermare che la lavorazione andante produce risultati in genere superiori a quella localizzata (specialmente se a buche). La maggiore piovosità nelle regioni settentrionali può indubbiamente favorire un più lungo ristagno delle acque nel terreno lavorato e ciò può richiedere - rispetto al Mezzogiorno - la realizzazione di più impegnative opere di fognatura e di regimazione delle acque; in

compenso però dovrebbero ridursi gli oneri per le prime cure colturali e, forse, nelle zone più piovose, sarà certamente possibile e conveniente attuare colture intercalari con specie erbacee miglioratrici (leguminose).

Per quanto riguarda la *scelta delle specie da impiegarsi nel rimboscimento di terreni argillosi* allo scopo di proteggere il suolo dall'erosione, è necessario tener conto, oltre che delle caratteristiche stazionali, anche delle finalità che si intendono raggiungere.

Nei casi in cui la vegetazione spontanea presenta stadi evoluti già avanzati, gli interventi potranno ridursi solo all'attenuazione di fenomeni erosivi con opere di sistemazione e di regimazione, in genere estensive, ovvero potranno essere volti a impedire azioni di disturbo dirette o indirette da parte dell'uomo, lasciando sostanzialmente alla natura il compito di ricostruire nel tempo una copertura forestale più efficiente.

Se invece si vogliono accelerare i tempi di costituzione della copertura vegetale, si dovrà intervenire con decise lavorazioni del suolo.

A questo fine la *lavorazione andante a rittochino* col previo modellamento e con

adeguate opere di sistemazione del suolo (ed, eventualmente, con l'aggiunta di correttivi e concimazioni), sembra fornire i migliori risultati nei terreni con pendenza moderata. Su pendenze notevoli possono attuarsi *lavorazioni localizzate*, tenendo però presenti i limiti e le raccomandazioni indicati nei punti precedenti.

Una appropriata scelta delle specie assume poi una notevole importanza per la riuscita degli impianti.

Nell'«orizzonte mediterraneo» ottimi risultati si sono ottenuti con l'*Eucalyptus occidentalis* Ende e l'*E. x trautii* Vilm.

Anche il *Pinus halepensis* ha dato buoni risultati ed è largamente impiegato nei rimboschimenti accanto agli eucalipti.

Nell'«orizzonte sub-mediterraneo» si sono ottenuti buoni risultati con *Ulmus campestris*, *Ulmus pumila* L., *Fraxinus ornus*, *Acer campestre*, *Ostrya carpinifolia*.

In particolare si è potuto osservare che l'olmo ricopre rapidamente il suolo e favorisce una rapida evoluzione del suo profilo. La *Robinia pseudoacacia* può essere messa a dimora con metodi assai semplici.

Nei terreni più compatti e acclivi nelle pendici più soggette a fenomeni franosi buoni risul-

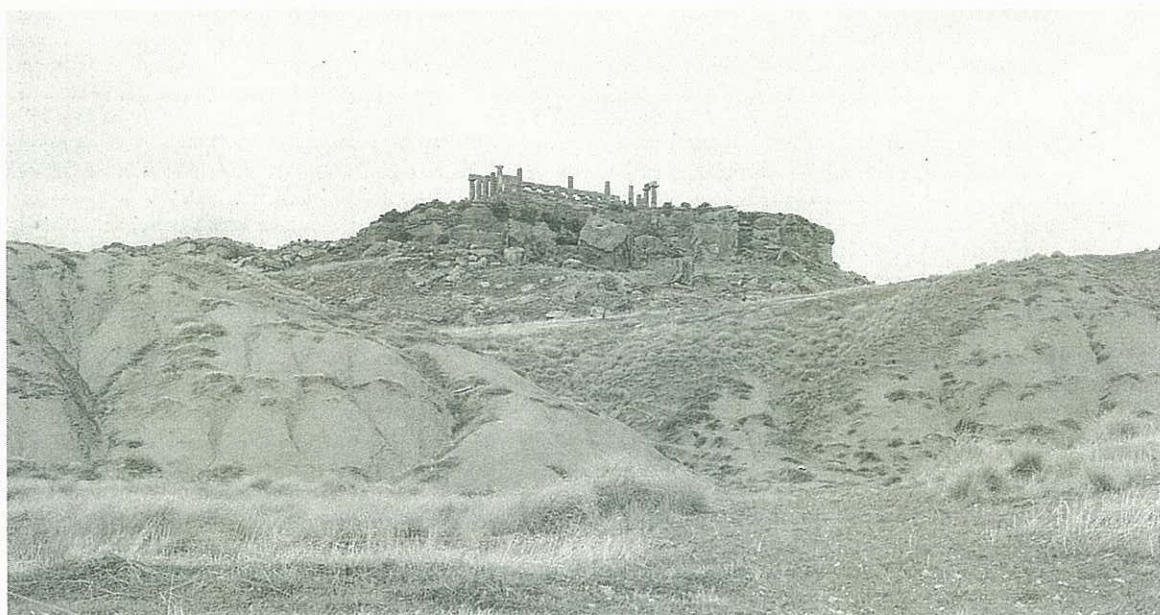
tati si sono ottenuti con l'impiego di cespugli preparatori, quali *Tamarix gallica*, *Spartium junceum*, *Crataegus*, *Cornus sanguinea*.

L'impiego di provenienze di *Pinus silvestris* che cresce spontaneo in substrati argillosi dell'Appennino settentrionale (ad esempio in provincia di Reggio Emilia) è in corso di osservazione in alcune aree sperimentali, ma è ancora presto per esprimere un giudizio definitivo.

Nelle colmate, nei compluvi freschi e con terreno profondo l'impiego di pioppi e di salici può fornire discreti risultati.

I buoni risultati ottenuti nel rimboscimento dei terreni argillosi del Mezzogiorno con lavorazione andante a rittochino potrebbero stimolare ed estendere questo metodo, con i necessari aggiustamenti, ai terreni argillosi dell'Appennino centrale e settentrionale in cui le condizioni climatiche sono certamente più favorevoli alla coltura forestale.

La lavorazione andante e profonda e la sistemazione idraulica volta a migliorare il drenaggio dei terreni argillosi introducono nella selvicoltura soluzioni agronomiche ben accettabili allorché si realizzano in condizioni stazionali adatte. (g.g.)



Valle dei Templi ad Agrigento. Il Tempio di Hera (Giunone) sorge su una placca di calcarenite alla sommità di una collina di argille plio-pleistoceniche. L'erosione accelerata delle argille provoca lo scalzamento della calcarenite sommitale, che è soggetta a crolli che minacciano il tempio

Le argille come barriere geologiche

Nell'ambito dello stoccaggio dei rifiuti, si intende per **barriera geologica** quel materiale geologico che per alcune sue proprietà intrinseche costituisce un diaframma di contenimento di sostanze inquinanti derivanti dallo smaltimento dei rifiuti, ossia il "percolato".

Le caratteristiche che servono per valutare la funzionalità di una barriera geologica sono varie e le principali sono la composizione mineralogica e/o petrografica e la permeabilità.

Dalla composizione mineralogica e/o petrografica derivano altre caratteristiche che direttamente influenzano la funzione della barriera geologica: esse sono la capacità di ritenzione chimica e il rigonfiamento-plasticità del materiale.

Nel caso delle argille, è un fatto ben conosciuto e provato che esse impediscono efficacemente il movimento dei liquidi. Esse sono considerate buone barriere geologiche a motivo della loro bassa **permeabilità** e dell'alta **capacità di adsorbimento** di cui sono dotati i minerali argillosi.

Il tipo di minerali argillosi in questi materiali (cioè caolinite, argille a strati misti e montmorillonite) può fornire vantaggi addizionali.

In generale, le argille caolinitiche possiedono una capacità di adsorbimento minore rispetto a quelle montmorillonitiche: in altre parole le argille montmorillonitiche, a causa della loro proprietà rigonfiante, sono spesso capaci di sigillare le fessure aperte; così queste argille possiedono una permeabilità minore rispetto alle argille caolinitiche.

Oltre che del **rigonfiamento**, le argille sono più o meno dotate di **plasticità** e le argille saturate con ioni sodio risultano assai più plastiche di quelle saturate con cationi bivalenti, come calcio o magnesio. Anche questa proprietà facilita la sigillatura

di eventuali fessure nella massa stessa.

La plasticità e il rigonfiamento delle argille rivestono grande importanza nel caso di sforzi indotti, ossia nel caso di sollecitazioni sismiche o di disequilibri nell'assetto naturale causati, ad esempio, dall'azione di scavo necessaria alla realizzazione di una discarica.

A motivo di importanti fenomeni di adsorbimento e scambio ionico che avvengono nei minerali argillosi, questi possiedono una buona **capacità di ritenzione chimica**, che garantisce la presenza di barriere di tipo geochimico nei confronti della diffusione di sostanze liscivate dall'accumulo dei rifiuti. (g.g.)

Le argille quale contenitore geologico dei rifiuti radioattivi

La pericolosità dei rifiuti radioattivi risiede nella loro capacità di produrre radiazioni dannose per gli organismi. Come è noto la radioattività decade col tempo e pertanto, raggiunta una certa soglia, genericamente corrispondente a quella del fondo naturale, i rifiuti cessano di essere pericolosi.

I tempi di decadimento dei radioelementi associati ai vari rifiuti radioattivi sono quanto mai variabili. In sintesi estrema, sotto il profilo dei tempi necessari per un sufficiente decadimento, i rifiuti sono raggruppabili in tre categorie:

prima categoria: da mesi a pochi anni;
seconda categoria: da decenni a pochissime centinaia di anni

terza categoria: diecimila anni per un decadimento fino ai livelli della radioattività emessa da concentrazioni naturali di elementi radioattivi; centomila anni per il raggiungimento del livello della radioattività di fondo. Appartengono a questa categoria i prodotti residui della combustione nucleare, in particolare il Cs 137 e alcuni isotopi del plutonio. Tali rifiuti vengono denominati "ad alta attività e lunga vita".

L'ampia variazione di durata della radio-

attività determina la possibilità e la necessità dell'adozione di criteri di gestione ed eliminazione nettamente differenziati per le tre categorie di rifiuti.

Per i rifiuti della prima categoria la semplice custodia in isolamento rappresenta l'unica precauzione gestionale da adottare prima dell'eliminazione in discariche che, al limite, potrebbero essere anche quelle dei rifiuti urbani.

Per la seconda categoria si impone l'isolamento in appositi manufatti costituiti da matrici isolanti da confinare in depositi specifici. L'ingegneria da sola potrebbe, sul piano concettuale, garantire le condizioni di sicurezza. Nella prassi si ricorre a una opportuna combinazione di strutture tecnologiche di isolamento e di situazioni geologiche favorevoli. I depositi possono essere costruiti in superficie o in sotterraneo, anche a limitata profondità.

Per l'ultima categoria non si configura al momento altra soluzione che l'isolamento in parti profonde di idonee formazioni geologiche sufficientemente stabili per i tempi necessari.

Le argille rappresentano una delle tre formazioni geologiche prescelte dalla Comunità Europea per risolvere appunto il problema dell'eliminazione dei rifiuti radioattivi a lunga vita. Le altre formazioni sono rappresentate dai graniti e da formazioni saline. L'eliminazione dei propri rifiuti rappresenta un problema che ogni Stato membro della Ce deve risolvere in maniera autonoma sul proprio territorio. L'interesse della Ce ha un carattere sovranazionale ed è diretto alla dimostrazione dell'affidabilità di quel particolare tipo di eliminazione dei rifiuti cui corrisponde la definizione di "smaltimento geologico".

Geologico significa che l'affidabilità di questo tipo di eliminazione risiede esclusivamente nella capacità delle formazioni geologiche prescelte di isolare efficacemente per i tempi necessari i rifiuti in esse confinati. Alle barriere e alle strutture inge-

gnistiche non può essere assegnato altro ruolo che quello di prevenire l'esposizione degli addetti alle radiazioni emanate dai rifiuti e di favorire il caricamento e la gestione del deposito fino a sigillatura e abbandono dello stesso. A determinare questa assegnazione di compiti così differenziata ai due diversi tipi di barriere, artificiali e naturali, è l'importanza del tempo quale fattore di sicurezza. Ammessa infatti una uguale capacità di isolamento, per i due tipi di barriere citate non esiste analoga dimostrazione di durata specifica nel tempo. L'archeologia non fornisce infatti dimostrazioni di durata di manufatti al di là di poche migliaia di anni.

Per le formazioni geologiche esistono per contro dimostrazioni di durata anche di molte centinaia di milioni, o più, di anni.

Tempi di isolamento alla scala dei centomila anni mettono evidentemente fuori causa l'affidabilità delle barriere tecnologiche. Lo smaltimento non può che essere geologico.

Con questa necessaria e lunga premessa, è necessario comunque precisare che l'orientamento generale individua la sicurezza di un deposito costruito in parti profonde di formazioni geologiche in un sistema di barriere multiple (concetto multibarriera) costituito da:

- matrice vetrosa;
- contenitore di acciaio;
- materiali inerte al contorno;
- parete della galleria;
- formazione geologica;

La formazione geologica rappresenta la barriera da considerare come l'unica effettiva per il tempo di isolamento considerato.

L'ampia diffusione nel proprio territorio ha orientato l'Italia a polarizzare l'attenzione sulle formazioni argillose. L'Enea ha condotto ricerche specifiche su due linee. Una prima linea è corrisposta a ricerche di interesse comunitario per la dimostrazione dell'affidabilità generale delle argille quale contenitore dei rifiuti radioattivi. Per tali

ricerche sono state utilmente analizzate le possibilità offerte dallo studio di "analoghi naturali". La seconda linea, di esclusivo interesse nazionale, ha riguardato l'analisi dei caratteri territoriali delle argille per l'individuazione di potenziali siti atti alla costituzione di depositi di rifiuti. Ogni attività di ricerca è stata interrotta dall'Enea per l'impossibilità di operare sul territorio a seguito degli esiti del referendum per la moratoria nucleare. I rifiuti comunque restano e con il venir meno delle competenze maturate con la ricerca condotta la loro esistenza rischia di divenire un problema reale.

Le ricerche condotte sono state ampiamente probanti dell'affidabilità del concetto di smaltimento geologico.

Gli elementi raccolti per la linea di ricerca di siti sarebbero sufficienti per una prima classificazione di vari bacini argillosi quali potenziali ricettori di depositi di smaltimento.

nel complesso alcune attività sono oggi mantenute in vita da alcuni istituti universitari solo per la linea della dimostrazione di affidabilità del concetto nell'ambito di azioni finanziate dalla Cee.

I caratteri positivi delle argille in relazione alla loro capacità di immobilizzazione dei radionuclidi dei rifiuti sono costituiti da:

- capacità di cattura totale del cesio;
- capacità di cattura del plutonio;
- caratteri chimico-fisici atti a favorire la formazione di ossidi stabili del plutonio;
- caratteri chimico-fisici delle acque contenute atti a svolgere la stessa funzione nei riguardi del plutonio;
- bassissima permeabilità conferente all'argilla carattere di barriera idrologica efficace;
- capacità di rapida autosigillazione in caso di creazione di fratture e faglie.

Le ricerche condotte sul territorio italiano hanno permesso di dimostrare ampiamente la decisa consistenza dei caratteri e capaci-

tà delle argille sopra elencati. Lo studio della diffusione dei gas attraverso piani di faglie e fratture delle argille ne ha dimostrato la pratica impermeabilità. Gli studi di geochimica hanno ampiamente dimostrato la pratica immobilità nelle argille di elementi a comportamento analogo a quello dei radionuclidi in gioco.

Per concludere l'unica possibilità di destabilizzazione di un deposito di rifiuti radioattivi costruito in parti profonde di idonee formazioni argillose risiede nella distruzione diretta delle stesse a seguito di processi di sollevamento tettonico generale e di conseguente erosione.

Nessuna possibilità di distruzione può determinarsi in situazioni geologiche stabili o di sprofondamento. La scelta di un sito in una situazione di sollevamento può essere effettuata a condizione che sia possibile la valutazione della velocità di avvicinamento del deposito alla superficie topografica in rapporto ai tempi di isolamento atteso. (a.b.)

Interventi per il risanamento di aree franose in terreni argillosi

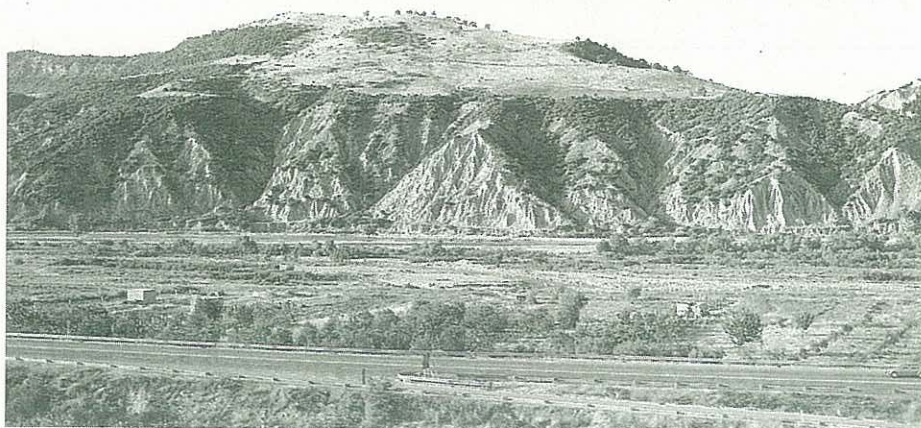
Lungo i versanti in cui sono presenti depositi argillosi plio-pleistocenici (che contengono una discreta porzione di limi), si verificano con notevole frequenza fenomeni franosi e di erosione accelerata. L'uomo insediandosi in questi territori ha dovuto affrontare quotidianamente i problemi legati al dissesto idrogeologico, rapportandosi con l'accentuato dinamismo di questi ambienti che conferisce loro un certo fascino di spettacolarità, per le tipiche forme di erosione, unite a una latente pericolosità.

La diffusione crescente dei dissesti nelle aree collinari è da ricercarsi nel disordine idraulico conseguente all'abbandono delle sistemazioni idraulico-agrarie, soltanto in

parte dovuto all'esodo rurale verificatosi negli ultimi decenni. Altre cause che contribuiscono alla instabilità sono: gli scavi per la costruzione e l'allargamento di strade, gli scassi e le lavorazioni profonde nelle aree collinari per l'estensione di colture specializzate.

Per poter affrontare correttamente la progettazione di un qualsiasi intervento per la stabilizzazione dei versanti dissestati, occorre eseguire una indagine preliminare atta a

In alcune situazioni, dove fattori naturali, (litologici, topografici, microclimatici) e/o antropici (disboscamento, lavorazioni errate o di rapina) hanno agito come cause concomitanti nel dissesto idrogeologico, le forme dolci delle colline argillose sono bruscamente interrotte da pendii ripidissimi, come in questo caso della sponda sinistra del fiume Basento, dove l'alta sponda si è formata per scalzamento al piede dovuto all'erosione fluviale



definire i fenomeni in atto attraverso la conoscenza delle caratteristiche geologiche, geotecniche, del clima, dell'idrografia, e della copertura vegetale dell'area presa in esame. Dopo aver eseguito questi studi fondamentali, si è in grado di elaborare tecniche di sistemazione efficaci. Come detto in precedenza, le tipologie di frane che si riscontrano nei terreni argillosi sono essenzialmente il colamento e lo scivolamento rotazionale (scoscendimento) e per queste vengono adottate in linea generale le seguenti categorie di interventi:

- riprofilatura dei versanti; si interviene tramite lo scoronamento dei cigli franosi e il rimodellamento del pendio per riportare la pendenza del versante su livelli compatibili con l'angolo di attrito del terreno;

- captazione delle acque superficiali e conseguente intubazione delle stesse che vengono scaricate al di fuori dell'area in frana, attraverso canalette a spina e collettori a ritocchino, oltre a fossi di guardia;

- realizzazione di drenaggi allo scopo di catturare le acque sotterranee, attraverso la realizzazione di trincee poco profonde, colmate con ghiaia e pietrisco rivestite di "tessuto non tessuto". Nei casi più impegnativi (come nelle grandi frane di scoscendimento) vanno realizzate altre opere quali gallerie e pozzi drenanti che risultano molto efficaci;

- esecuzione di opere di contenimento quali le gabbionate, che sono strutture di sostegno del versante e drenaggio delle acque che sopportano anche moderate deformazioni.

Inoltre vi sono altri provvedimenti quali: le graticciate, le fascinate, le griglie, le reti, le stuoie, i tessuti, e gli interventi per la ricostituzione del manto vegetale, che, pur non essendo vere e proprie opere di consolidamento, svolgono una funzione protettiva evitando o prevenendo peggioramenti nelle condizioni di stabilità, e a lungo termine risultano determinanti per la sistemazione finale dei versanti.

Va infine sottolineata l'opportunità di ridurre al minimo la presenza umana nell'area instabile attraverso provvedimenti di vincolo (limitazioni alle sole attività agrosilvo-pastorali). Non di rado, infatti, si determinano variazioni irreversibili del suolo e ineliminabili limitazioni d'uso. (e.d.l.)

Coordinamento a cura di:
Giuseppe Gisotti, Eugenio Di Loreto

SIGEA

Società Italiana di Geologia Ambientale

c/o Interservice,
via G.A. Badoero, 67/F - 00154 Roma
tel. 06/51600401, 5943344, 9499936
fax 06/5180754, 9496952



Tipica frana di colamento nelle argille. Il movimento franoso si inalvea in un solco vallivo

BIBLIOGRAFIA

Angelini M.G., Toni G., 1982 - *Metodologia di analisi e di intervento sui pendii interessati da movimenti franosi* - Geologia tecnica, n. 1

Arnoldus - Huyzendveld A. et al., 1982 - *Carta dei suoli di Roma in scala 1: 50.000* - Comune di Roma, Assessorato Agricoltura

Aa.Vv., 1977 - *I paesaggi umani* - Collana "Capire l'Italia". Touring club italiano

Aa.Vv., 1978 - *L'utilizzazione dei terreni argillosi dell'Appennino, con particolare riguardo alle argille plioceniche* - Istituto sviluppo economico Appennino centro-meridionale, Bologna

Biondi F.A. et al., 1984 - *Carta dei suoli della valle del fiume Sacco* - Isnp, Regione Lazio, Roma

Commissione interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e per la difesa del suolo. III Commissione fenomeni idrogeologici connessi con la difesa del suolo, 1971 - *Guida alla classificazione delle frane e ai primi interventi* - Atti Commissione, Roma

Desio A., 1985 - *Geologia applicata all'ingegneria* - Hoepli, Milano

Gisotti G., 1988 - *Principi di geopedologia* - Calderini, Bologna

Gisotti G., 1993 - *Rapporti fra suolo e piante nelle argille. Il caso di Civita di Bagnoregio* - in: "Aa.Vv. - Studio, monitoraggio e bonifica dei centri abitati instabili". Enea, Associazione Civita, Ordine nazionale geologi

Goldberg L.F., 1982 - *Chimica del suolo* -

Clesav, Milano

Gottardi G., 1984 - *I minerali* - Boringhieri, Torino

Margottini C., Savarese N., 1993 - *I calanchi di Civita di Bagnoregio: alcune ipotesi per la creazione di un parco geomorfologico* - in: "Aa.Vv. - Studio, monitoraggio e bonifica dei centri abitati instabili". Enea, Associazione Civita, Ordine nazionale geologi

Puglisi S., 1963 - *Esperienze e sistematica nella tecnica delle sistemazioni calanchive* - Ministero Agricoltura e Foreste, Collana verde, n. 9

Rossi R., 1993 - *Un esempio di paesaggio in pericolo: l'area a biancane delle Crete Senesi e della Val d'Orcia* - in "EM Linea ecologica", n. 5, sett.-ott., anno 25

Rossi R., Vos W., 1993 - *Criteria for the identification of a red list of mediterranean landscapes: three examples in Tuscany* - in "Landscape and Urban Planning", n. 24, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam

Rotini O.T., 1968 - *Degradazione delle argille in Toscana e difesa del suolo* - in Atti del Convegno "Le scienze della natura di fronte agli eventi idrogeologici", novembre 1967 - Acc. naz. Lincei, Quaderno n. 112

Sereni E., 1979 - *Storia del paesaggio agrario italiano* - Laterza, Bari

Vos W., Stortelder A.H.F., 1992 - *Vanishing Tuscan Landscapes. Landscape ecology of a Submediterranean-Montane area (Solano Ba-*