ATTI

DELLA

SOCIETÀ TOSCANA

DI

SCIENZE NATURALI

RESIDENTE IN PISA

MEMORIE - SERIE A

VOL. LXXXIV - ANNO 1977

INDICE

Landini W., Menesini E L'ittiofauna plio-pleistocenica della sezione della Vrica (Crotone - Calabria). Nota preliminare	Pag.	. 1
Mazzei R Biostratigraphy of the Rio Mazzapiedi-Castellania section (type-section of the Tortonian) based on calcareous nannoplankton .	»	15
Costantini A., Lazzarotto A., Micheluccini M Le formazioni liguri nell'area a sud del Monte Cetona (Toscana meridionale)	»	25
Fornaciari G Industria litica rinvenuta in località « Galceti » (Prato) . $$.	»	61
Galiberti A Industria di tipo paleolitico superiore nella grotta di S. Michele a Cagnano Varano (prov. di Foggia)	»	75
MAZZANTI R Reperti di Elephas antiquus nel pleistocene di Fauglia (Pisa)	»	79
VITTORINI S Variazioni della linea di costa al Gombo (Litorale pisano)	»	91
PAGANI M., Turi A Analisi mineralogica quantitativa per diffrazione a raggi X di sedimenti carbonatici attuali: applicazione ai sedimenti della laguna di Porto Cesareo (Penisola Salentina)	»	104
FORNACIARI G I risultati dei saggi di scavo condotti in alcune grotte a Piano di Mommio di Massarosa nella Bassa Versilia	»	122
Brizio A La pellicola all'infrarosso falso-colore nello studio della degradazione dei versanti	»	156
BATTAGLIA S., NANNONI R., ORLANDI P La piemontite del Monte Corchia (Alpi Apuane)	»	174
Elenco dei Soci per l'anno 1977	»	179
Norme per la stampa di note e memorie sugli Atti della Società Toscana di Scienze Naturali	»	191

A. Brizio (*)

LA PELLICOLA ALL'INFRAROSSO FALSO-COLORE NELLO STUDIO DELLA DEGRADAZIONE DEI VERSANTI (**)

Riassunto — Vengono brevemente enumerate alcune tecniche fotografiche di recente introduzione nel campo degli studi ambientali, quale supporto integrativo alle tradizionali indagini basate sulla interpretazione di aerofotografie in b.n..

Si esaminano in particolare le caratteristiche della pellicola all'infrarosso falsocolore e le relative tecniche di ripresa. Ne viene da ultimo discussa criticamente l'applicabilità allo studio di alcuni problemi di stabilità delle scarpate.

Abstract — New photografic tecniques, recently carried out in the field of environmental management, are discussed as integrative tools of traditional studies based on the interpretation of black and white aerial photos. The characteristics of color infrared film are closely examined as well as the shooting tecniques.

Finally some considerations about the use of this film applied to geologic problems concerned with slopes stability are critically presented.

GENERALITÀ

Alle recenti esigenze di una migliore comprensione del territorio, finalizzata a determinarne lo stato di degradazione e a definirne le potenzialità in termini di risorse disponibili, si sono affiancati nel campo della fotointerpretazione — da tempo tradizionale strumento integrativo e di verifica per quanti sono preposti allo studio dei problemi ambientali —, nuovi metodi di ricerca basati

^(*) Istituto di Geologia, Università di Pavia.

^(**) L'Autore desidera ringraziare la Società I.R.T.A. (Istituto di Rilevamenti Terrestri ed Aerei) di Milano per i consigli ricevuti a proposito della tecnica di ripresa delle immagini, nonché per le attrezzature messe a disposizione per lo sviluppo e la stampa delle medesime.

sull'uso di fotografie che estendono, quanto a lunghezze d'onda registrate, il tradizionale *range* pertinente alla luce visibile.

Ci si riferisce in particolare alla possibilità di visualizzare, tramite un codice cromatico opportuno, la radiazione infrarossa, quella cioè corrispondente a lunghezze d'onda iniziali di 700 nm circa.

Partendo da questa soglia si possono distinguere radiazioni infrarosse di varia natura e di conseguenza la strumentazione atta a registrarle varia di volta in volta (R. N. COLWELL, J. D. LENT [1969]).

Le comuni macchine fotografiche — beninteso corredate di una pellicola opportuna — sono in grado di registrare le radiazioni infrarosse sino a circa 900 nm (per questo dette « infrarosso fotografico »), riflesse da qualsiasi superficie illuminata, mentre per l'infrarosso termico (emesso a lunghezze d'onda superiori da qualsiasi oggetto dotato di una certa temperatura), occorrono strumentazioni particolari (termocamere, *scanners* meccano-ottici, ecc.).

Oltre a poter disporre di una documentazione ampliata quanto a lunghezze d'onda registrate, il fotointerprete può oggi avvalersi di immagini che coprono aree a carattere regionale, dal momento che si è pervenuti ad un sensibile incremento della distanza di presa.

In tal senso le recenti imprese spaziali compiute da ERTS, SKYLAB, LANDSAT hanno fornito un contributo fondamentale al *remote sensing* del nostro pianeta.

Non per questo gli studi e i tradizionali rilevamenti eseguibili al suolo sono stati accantonati.

Qualsiasi indagine a carattere ambientale basata sulla fotointerpretazione di immagini riprese da aereo o da satellite (quale che sia la banda spettrale coperta) non può infatti prescindere dal cosiddetto ground truth, cioè dal riscontro diretto a terra. Con questo termine intendiamo tutto l'insieme di operazioni volte ad individuare preventivamente le condizioni ottimali di ripresa del successivo rilevamento a distanza. In funzione della natura specifica dei problemi suscitati dallo studio dell'ambiente, si richiede infatti alle immagini riprese dal cielo di esasperare determinate caratteristiche della superficie terrestre a detrimento di altre.

Così, combinando secondo modalità diverse le varie bande spettrali privilegiate nel corso del *ground truth*, si potranno di volta in volta evidenziare le peculiarità geomorfologiche, la situazione agricolo-forestale, il grado di inquinamento delle acque e altri parametri nella regione considerata.

D'altra parte il ground truth costituisce il più valido strumento di verifica dell'interpretazione di immagini riprese a distanza soprattutto nei casi in cui, sussistendo la non univocità della relazione tra la tonalità cromatica di un elemento del paesaggio sulla fotografia e le caratteristiche di quello nella realtà, questa permanga ambigua.

Emerge quindi la duplice utilità di eseguire prima e dopo la campagna fotografica a distanza, un accurato riscontro a terra della zona esaminata (nel caso in cui il *remote sensing* si riferisca ad intere regioni si può fare affidamento sui cosiddetti *test sites* o aree campione). Da una parte infatti il *ground truth* consente la successiva acquisizione di aerofotografie dimensionate sulla qualità del problema da esaminare; disponendo quindi della documentazione aerofotografica o da satellite, è in grado di fornire, tramite il rilevamento tradizionale di un'area campione, una « chiave di lettura » delle immagini, che ne agevola la fotointerpretazione.

A questi aspetti particolari del ground truth si ricollega lo studio presentato in questa sede. L'esame geologico-strutturale di una zona dell'Appennino piacentino, volto tra l'altro ad individuare la tipologia e le caratteristiche dei dissesti idrogeologici esistenti, è stato infatti integrato da un rilievo fotografico all'infrarosso falso-colore (IR f.c.) effettuato da terra e prolungato nel corso di un intero anno solare.

L'insieme delle immagini ottenute, che purtroppo una serie di ragioni economiche ci impedisce di pubblicare, costituisce un primo tentativo di valutarne l'utilità a fini geologici e la loro esecuzione è finalizzata ad individuare le condizioni ottimali per eseguire poi una campagna di rilevamenti aerei. Ovviamente il tipo di informazione che si potrà ottenere da una ripresa aerea all'IR f.c. potrà differire da quella fornita dai fotogrammi eseguiti dall'Autore, ma certamente vi sarà la possibilità di creare una correlazione tra i due tipi di immagini: in particolare, come è stato accennato, riprese fotografiche da terra vanno utilizzate nel programma di rilevamenti al suolo che sempre deve accompagnare ogni ricerca basata sull'interpretazione di aerofotografie.

CARATTERISTICHE DEL MATERIALE SENSIBILE IMPIEGATO E MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE RIPRESE FOTOGRAFICHE

L'uso da terra della pellicola all'IR f.c. non richiede partico-

lari difficoltà in sede di ripresa. E' stata infatti utilizzata una macchina fotografica da 35 mm con lettura TTL ed un pellicola sensibile all'infrarosso fotografico, facilmente rinvenibile sul mercato, la EKTACHROME INFRARED IE 135-20.

Questa emulsione, di tipo invertibile, è stata esposta per 100 ASA, come da istruzioni (Eastman Kodak Company [1972]).

Contrariamente a quanto accade per le normali pellicole, il materiale sensibile in questione non riproduce i colori della scena fotografata quali essi sono in realtà, ma, appunto, li falsa. Scopo primario di falsare i colori è quello di rendere intellegibile la radiazione infrarossa. I rapporti tra luci primarie e colori sottrattivi sono rappresentati in fig. 1, mentre in fig. 2 si osservano i differenti meccanismi con cui le pellicole a colori e quelle all'IR f.c. operano la riproduzione cromatica. La differenza fondamentale sta nel fatto che mentre i tre strati della prima sono sensibili alle luci blu,

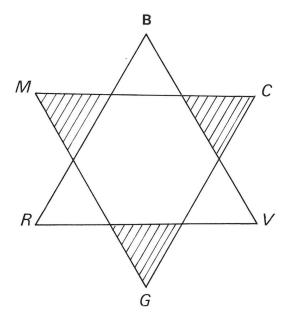


Fig. 1 - Il poligono stellato evidenzia i rapporti tra le luci primarie (Blu, Verde, Rossa) e i colori sottrattivi (Giallo, Magenta, Cyan). Considerando tre luci consecutive, quella centrale risulta dalla mescolanza delle altre due. La somma delle tre luci primarie corrisponde alla luce bianca, mentre il nero è ottenuto miscelando tra loro i tre colori sottrattivi (vertici tratteggiati), così chiamati perché rappresentano i « complementari » delle luci primarie diametralmente opposte. Ad esempio un filtro giallo sottrae la componente blu allo spettro visibile.

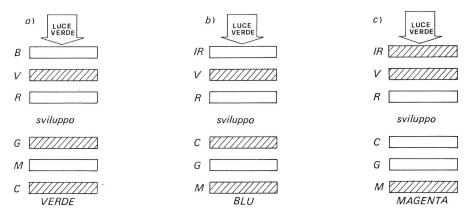


Fig. 2 - Riproduzione dei colori nei materiali invertibili. Il caso a) si riferisce ad una pellicola per diapositive a colori; b) e c) ad una pellicola all'IR f.c.. In a) e b) si suppone di fotografare un oggetto avente stesso colore (es. verde) e stesse caratteristiche di riflessione spettrale. A sviluppo ultimato i tre strati dell'emulsione si colorano in G, M, C con una densità che è inversamente proporzionale all'esposizione ricevuta all'atto della presa. In a) cioè hanno la medesima densità gli strati G e C, in b) quelli C e M. Per il principio della sottrazione dei colori ciò fa sí che in a) l'oggetto fotografato appaia nei suoi colori reali, in b) in falsi colori (blu). In b) e c) sono ripresi due oggetti che hanno stesso colore visibile (verde) ma differenti caratteristiche di riflessione: in c) l'oggetto riflette anche la radiazione infrarossa. Questa differenza nel potere riflettente è quindi individuabile tramite rese cromatiche (blu, magenta) diverse, potendo disporre di un'emulsione sensibile alle lunghezze d'onda entro le quali essa si manifesta.

verde e rossa rispettivamente (ogni colore può essere pensato come una miscela di queste tre luci primarie), nella pellicola all'IR f.c. essi vengono impressionati dalle onde infrarosse, verdi e rosse dello spettro elettromagnetico. Tutti e tre gli strati della pellicola sono inoltre sensibili alla radiazione blu che, indesiderata ai fini dell'interpretazione dei fotogrammi, viene eliminata anteponendo all'obiettivo un filtro giallo (colore complementare).

E' importante sottolineare che lo sviluppo dei materiali invertibili fa sì che gli strati dell'emulsione si colorino rispettivamente in cyan, giallo e magenta con una densità che è inversamente proporzionale all'esposizione ricevuta all'atto della presa (R. GALETTO [1974]). Il tratto centrale delle curve sensitometriche di queste pellicole è infatti una retta obliqua. La pellicola all'IR f.c. (vedi fig. 2 b, c) è inoltre in grado di leggere e tradurre in codici cromatici distinti le differenze di composizione spettrale di due oggetti, anche se questi presentano colore analogo.

Una delle proprietà di maggiore interesse in questa emulsione

si avvale della generale forte riflessione della vegetazione sana nella regione dell'infrarosso. Sfruttando cioè il fatto che variazioni appena percepibili all'occhio nella regione del verde corrispondono a più marcate differenze di riflessione nella zona dell'infrarosso, la pellicola in questione riesce a rendere con peculiarità cromatiche esclusive ciascuna specie vegetale (fig. 3).

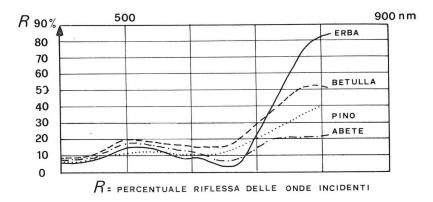


Fig. 3 - Spettro di riflessione di alcune piante (da R. Galetto [1974]). La vegetazione sana ha un potere riflettente molto più accentuato nella regione dell'infrarosso che non in quella del visibile. E' questo il motivo per cui nei materiali sensibili all'infrarosso fotografico, la rapidità dello strato cyan è considerevolmente ridotta rispetto a quella degli strati giallo e magenta (N. L. Fritz [1967]).

Il rilievo fotografico eseguito in Val Trebbia aveva lo scopo di accertare se e in qual misura alcuni dei parametri (litologia, grado di imbibizione dei suoli, caratteri e diffusione della copertura vegetale, ecc.) coinvolti nella stabilità dei versanti, fossero in qualche modo diversamente caratterizzabili sulla pellicola all'IR f.c., tenuto conto delle proprietà che la distinguono rispetto ai materiali tradizionali.

In primo luogo la natura dinamica dei fenomeni franosi (attivi e quiescenti, suscettibili o meno, questi ultimi, di riviviscenza) ha suggerito di sorvegliarne l'evolversi per un arco di tempo non troppo limitato, e di conseguenza il rilievo fotografico è stato protratto nel corso di un intero anno solare. Questo da un lato ha consentito di saggiare direttamente la latitudine dell'emulsione, ossia la sua fllessibilità operativa; d'altra parte è stato possibile determinare un periodo dell'anno ottimale per effettuare le riprese, tenuto conto della natura applicativa del problema affrontato.

Per quanto riguarda il primo punto, la letteratura (N. L. FRITZ [1967], J. A. Howard [1973]) ammette una tolleranza di ½ diaframma da ambo i lati dell'esposizione ottimale. Le esperienze condotte in campagna confermano questa indicazione. Operando inizialmente con un esposimetro a luce incidente e riflessa, in seguito facendo affidamento esclusivamente sulla lettura TTL, è stata individuata nella combinazione 1/125 f/11 con filtro Wratten n. 16 (arancio), l'esposizione base per una giornata di pieno sole nel periodo primavera-autunno. Questa, a meno delle correzioni apportate in funzione del coefficiente del filtro utilizzato, corrisponde appieno a quella suggerita dalla Kodak anteponendo all'obiettivo il filtro n. 12 (« minus blue »).

L'uso del filtro arancio è stato preferito in quanto più adeguato nel differenziare cromaticamente i vari litotipi esposti.

L'esperienza ci ha altresì suggerito di effettuare le riprese nelle massime condizioni di luce di volta in volta possibili, sia per ottenere un buon dettaglio anche in corrispondenza dei piani lontani dell'immagine (aumento della profondità di campo), sia perché in condizioni di cielo coperto la percentuale di energia riflessa nell'infrarosso fotografico è ridotta rispetto a quella disponibile in condizioni di cielo sereno (le nubi diffondono l'infrarosso), e conseguentemente risulta meno agevole ottenere immagini correttamente esposte (G. T. Hunter, S. J. Glenn Bird [1970]).

Altro problema da puntualizzare era quello della messa a fuoco delle inquadrature. In linea teorica infatti l'uso della pellicola all'IR f.c. richiede un leggero incremento della distanza tra il piano della pellicola e quello dell'obbiettivo, dal momento che le onde infrarosse hanno lunghezza maggiore di quelle dello spettro visibile e quindi l'immagine tenderebbe a formarsi oltre il piano focale. D'altra parte l'elevata profondità di campo conseguita operando prevalentemente a diaframma chiuso, ha consentito di tralasciare questo artificio e si sono ottenute immagini sufficientemente nitide posizionando semplicemente la ghiera di messa a fuoco sulla tacca « infinito ».

Qualsiasi indagine basata sulla fotointerpretazione trae il massimo profitto dall'esame di immagini il più possibile confrontabili tra loro, vale a dire derivate da materiali sensibili aventi caratteristiche iniziali (età, stato di conservazione) analoghe, e sottoposti a modalità di ripresa, trattamenti di sviluppo e stampa omogenei. Se da una parte alcuni coefficienti (stato di conservazione della pel-

licola, modalità delle riprese), sono stati per quanto possibile controllati, le circostanze non hanno consentito di standardizzare appieno altri parametri — segnatamente le fasi di sviluppo — che concorrono a determinare la qualità del risultato finale in termini di equilibrio cromatico. Nell'impossibilità di controllare quest'ultimo con i tradizionali metodi basati sulla fedeltà nella riproduzione della scala dei grigi, il giudizio sulla qualità dei fotogrammi è stato fatalmente influenzato dal criterio estetico.

Questo metodo operativo comporta purtroppo dei limiti, ascrivibili in definitiva alla eterogeneità dei criteri che guidano le scelte soggettive.

Molto opportunamente N. L. Fritz [1967] sottolinea come non vi sia necessariamente una corrispondenza tra il corretto equilibrio cromatico e le qualità estetiche di un'immagine.

In tal senso chi scrive vanta un'esperienza significativa: la detezione delle linee di impluvio in zone completamente boscate, sulla base delle differenti tonalità assunte dalla vegetazione lungo il corso d'acqua, risulta agevolata nel caso di fotogrammi sottoesposti.

L'esame critico del materiale raccolto ed in particolare delle stampe ottenute dall'ingrandimento delle diapositive, ha posto in luce una leggera dominante cyan, pur nella sostanziale leggibilità delle immagini. N. L. FRITZ [1967] suggerisce che questo inconveniente possa essere causato dall'invecchiamento del materiale sensibile impiegato. Si può d'altra parte ammettere che un imperfetto filtraggio della luce in sede di riproduzione su carta al bromografo conduca allo stesso risultato.

Per migliorare la resa delle diapositive in termini di equilibrio cromatico sono disponibili filtri appositi (Kodak Color Compensating Filters), che però non abbiamo avuto modo di sperimentare.

APPLICAZIONE DELLA FOTOGRAFIA ALL'IR F.C. AD UN'INDAGINE GEOLOGICA SULLA STABILITÀ DEI VERSANTI

La tipologia dei dissesti idrogeologici, le cause che li determinano e i relativi fattori innescanti, le relazioni esistenti tra la distribuzione areale delle frane e il *pattern* strutturale della zona costituivano lo scopo primario dello studio intrapreso in Val Trebbia, nel tratto in cui questa, tra i paesi di Ponte Organasco e Confiente,

presenta un andamento meridiano. La regione è localizzata nella porzione meridionale di una finestra tettonica (« Finestra di Bobbio » secondo gli Autori della Scuola Pavese) e pertanto le soluzioni di continuità strutturale che la caratterizzano sono frequenti e particolarmente articolate.

Se da una parte la situazione tettonica ne rappresenta un coefficiente remoto, ancorché primario, la generale degradazione dei versanti trova in fattori attuali e contingenti la sua principale motivazione. Ricordiamo a questo proposito il regime delle precipitazioni e la conseguente denudazione dei pendii ad opera delle acque dilavanti, che inibisce, tra l'altro, lo sviluppo di un'adeguata coltre vegetale protettiva; l'erosione al piede delle scarpate da parte dei principali corsi d'acqua; le pratiche agricole primitive che non contemplano un'adeguata regimazione delle acque superficiali oltre che, naturalmente, la natura stessa delle formazioni litologiche affioranti, prevalentemente a dominante argillosa (« Argille a Palombini », « Calcare e Argilla di S. Maria » della letteratura geologica), e quindi di per se stesse potenzialmente instabili.

La natura del problema ha quindi suggerito di effettuare le riprese fotografiche prevalentemente in primavera e in autunno, quando cioè i parametri che interessavano (localizzazione della roccia in posto, qualità e sviluppo dei suoli e loro grado di imbibizione, ecc.) non fossero mascherati da una qualche copertura (vegetazione troppo fitta, manto nevoso).

L'indagine svolta riveste carattere preliminare, tenuto conto dell'esigua letteratura esistente in materia. Si può affermare tuttavia che la tecnica sperimentata presenta qualche utilità nella valutazione qualitativa della degradazione dei versanti, particolarmente nel caso di quei pendii in corrispondenza dei quali il dilavamento generalizzato si identifica in combinazioni cromatiche ben precise sulle fotografie in falso-colore.

Per quanto riguarda i sistemi franosi veri e propri occorre distinguere quelli quiescenti che, impersonando una situazione di stabilità ormai acquisita, mascherano il proprio substrato roccioso con la presenza di orizzonti pedologici più o meno sviluppati, da quelli tuttora attivi dove più facilmente — e segnatamente in corrispondenza delle nicchie di distacco — la litologia risulta esposta e le sovrapposizioni stratigrafiche rispettate. In quest'ultimo caso è stato possibile, operando con filtri adeguati, precisare delle distinzioni nell'ambito dei termini rocciosi coinvolti nel dissesto e

ciò è risultato particolarmente utile per comprendere il meccanismo di quegli eventi che per essere situati — in parte almeno — in località non facilmente accessibili, erano stati tralasciati nel corso del rilevamento tradizionale.

Ci sembra comunque doveroso puntualizzare che in definitiva la tecnica usata, dimensionata per leggere un range spettrale non molto più esteso di quello accessibile all'occhio umano, non consente di estrapolare l'interpretazione delle immagini sino a formulare delle previsioni sull'evoluzione delle forme di degradazione, ma unicamente ne evidenzia con particolare precisione i caratteri morfologici, a mezzo di netti scarti cromatici con la circostante vegetazione. A questo proposito le modalità secondo le quali abbiamo impostato il lavoro di ripresa (relativamente scarso numero dei « soggetti » fotografati ma seguiti — a intervalli variabili — nel corso dei 12 mesi), si sono rivelate proficue nel senso che i tagli cromatici di cui sopra si verificano solo in determinati periodi dell'anno. Nel caso delle paleofrane la stagione privilegiata è costituita dall'inizio dell'autunno, quando i coltivi che ne interessano la superficie contrastano fortemente (colore magenta) con la vegetazione di latifoglie circostante, ormai in via di ingiallimento e perciò verdastra sulle fotografie.

Una campagna di rilevamenti aerei che avesse lo scopo di censire e delimitare i sistemi franosi quiescenti, dovrebbe perciò essere condotta nella stagione indicata. Nel tratto appenninico indagato le superfici coltivate, sviluppate parallelamente ai pendii, corrispondono infatti — quasi senza eccezioni — a frane di antica data, ormai assestate.

Analogamente per le frane attive, dove prevalendo la componente « litologica » rispetto a quella « vegetazionale », la stagione che ci sembra più adeguata è la primavera (in tal modo la vegetazione risulta tendenzialmente magenta e la roccia nell'usuale colore blu cyan).

Oltre a queste informazioni a carattere generale, il rilievo fotografico condotto ha consentito di dettagliare con maggiore finezza, rispetto all'osservazione visiva da lontano e alle immagini tradizionali, taluni elementi fisici del paesaggio che si possono considerare coinvolti nella stabilità dei pendii. Ne diamo qui un breve elenco, riservandoci un successivo commento:

a) Vegetazione: i contrasti cromatici tra le varie essenze facilitano la detezione del percorso delle linee di impluvio (in zone

anche completamente boscate), spesso corrispondenti a solchi di natural drenaggio localizzati ai margini dei corpi franosi. Consentono altresì — sempre in zone boscate — l'individuazione indiretta di limiti litologico-formazionali.

- b) *Litologia*: individuazione degli affioramenti di roccia in posto e riconoscimento di alcuni litotipi, verificata la univocità della relazione tipo litologico/falso-colore corrispondente.
- c) Degradazione dei versanti: valutazione dell'entità e delle caratteristiche della sua diffusione lungo i pendii tramite le differenti rese cromatiche delle componenti organica-humica e inorganica-pietrosa degli orizzonti pedologici di superficie.

Per quanto concerne il primo punto, è stato possibile, sulla base della resa cromatica della vegetazione, cartografare alcuni elementi geologici significativi ai fini dello studio intrapreso.

Ci riferiamo in particolare alla determinazione del percorso dei solchi di deflusso che incidono trasversalmente i versanti e a quella di alcuni limiti geologici in zone boscate.

Nel primo caso l'esame delle fotografie integra le osservazioni a carattere morfologico eseguite sul terreno. Nell'area esaminata le linee di impluvio corrispondono spesso ad allineamenti di pioppi e salici che, come è noto, richiedono terreni adeguatamente impregnati per il loro sviluppo. Altrove la tipologia delle essenze vegetali è omogenea e le specie che allignano lungo i corsi d'acqua minori sono le stesse che interessano il versante nel suo complesso (farnie, roverelle, querciole e altre fagacee).

In questi casi l'andamento dei solchi di deflusso è egualmente individuabile in quanto le piante che ne sottolineano il percorso vegetano in condizioni di maggiore umidità e presentano un colore magenta tendente al blu nelle fotografie in falso-colore riprese d'estate. Questa tonalità è in contrasto con il magenta rosso relativo alla vegetazione circostante.

Si può pensare che questa diversità di toni magenta sia dovuta ad un differente comportamento delle foglie nel riflettere la radiazione infrarossa. E' noto infatti l'elevato potere assorbente dell' acqua nei confronti di tali lunghezze d'onda (A. Anson [1970]).

L'utilità di poter identificare con precisione l'andamento delle linee di impluvio nelle zone boscate deriva dal fatto che in certi casi esse delimitano corpi di frana ormai assestati, di cui costituiscono il natural drenaggio. Le immagini all'IR f.c. consentendo una distinzione tra le varie essenze arboree sulla base delle differenti percentuali di radiazione infrarossa riflessa, forniscono altresì la possibilità di individuare le demarcazioni tra specie vegetali diverse.

Talora i risultati conseguibili in tal senso sono significativi anche dal punto di vista geologico in quanto i confini vegetazionali corrispondono spesso, con buona approssimazione, ad altrettante soluzioni di continuità litologico-formazionali.

L'utilità di poter trarre indicazioni indirette sull'andamento dei limiti litologici servendosi della resa cromatica della vegetazione arborea quale parametro distintivo è evidente date le difficoltà in cui spesso si imbatte il geologo di campagna quando si trovi ad operare all'interno di boschi.

Annoveriamo in questo campo la determinazione « fotografica » del limite tra il membro del « Calcare e Argilla di S. Maria » e quello dell'« Alberese » appartenenti entrambi alla formazione di Monte Penice (Eocene sup.), distribuita con larga frequenza nell'ambito dell'area esaminata. La ricognizione al suolo ha dimostrato che nei casi in cui i suddetti membri non siano direttamente visibili perché ricoperti dalla vegetazione, il primo costituisce, quasi senza eccezioni, il substrato roccioso di un castagneto, mentre sul secondo, tramite l'intermezzo costituito dagli orizzonti pedologici, si impostano le fagacee.

All'inizio dell'autunno queste specie vegetali sono facilmente distinguibili tra loro sulle immagini in falso-colore: i castagni appaiono colorati in blu chiaro mentre le fagacee tendono con evidenza al magenta.

L'osservazione diretta da lontano (e quindi la fotografia tradizionale) non consentono di apprezzare queste distinzioni in quanto la colorazione del bosco è omogeneamente riferibile ad un verde giallastro.

Il differente grado di riflessione dell'infrarosso è quindi responsabile della diversa colorazione delle specie arboree riconosciute, che sembra essere maggiore per le fagacee (cfr. fig. 2).

Questo a sua volta può essere determinato o da qualità intrinseche alle specie vegetali — segnatamente la loro struttura foliare (H. W. GAUSMAN [1974]) o anche da condizioni di sviluppo diverse (es. grado di umidità del terreno), cui certamente non sono estranee le caratteristiche pedologiche dei suoli entro cui affondano le radici.

Falsi-colori del tutto differenziati rispetto a quelli pertinenti alla vegetazione presentano invece gli affioramenti di roccia come pure la componente inorganica dei suoli.

La relativa gamma cromatica è infatti imperniata attorno alla tinta cyan (colori 162 ÷ 164 e 171 ÷ 174 dei color chips allegati al manuale aerofotografico pubblicato dalla American Society of Photogrammetry [1968]). In termini di spettri di riflessione questo significherebbe che gran parte delle rocce riflette le tre luci primarie (blu-verde-rossa) all'incirca in uguali percentuali: i calcari e le argille della zona presa in esame risultano infatti « neutri » alla percezione. La caratterizzazione cromatica della litologia permette quindi in questo senso un'immediata discriminazione dalla componente organico-vegetale che, si è visto sopra, si colora prevalentemente in magenta durante la primavera e l'estate.

D'autunno invece, quando la vegetazione rossastra tende ad omogeneizzarsi — quanto a resa cromatica — con la circostante litologia, le distinzioni tra roccia ed elemento arboreo possono rivestire carattere di ambiguità, almeno all'osservazione da lontano. Parimenti la fotografia all'IR f.c. consente di separare tra loro queste componenti perché il falso-colore verdastro assunto dalla vegetazione ormai secca in questo periodo contrasta in qualche modo con quello cyan relativo alle rocce.

Da alcune immagini riprese nel tardo autunno si è anzi potuto accertare l'emergenza della roccia viva in zone completamente boscate e che si supponevano interessate da un substrato a ricca componente organica: ciò ha tra l'altro permesso di valutare appieno l'inefficacia dell'azione antierosiva dei boschi nella regione indagata. Ricordiamo che le tradizionali fotografie a colori delle stesse aree (tutte le immagini in falso-colore riprese nel corso del rilevamento furono confrontate con gli equivalenti in colori tradizionali ai fini di una loro più corretta valutazione funzionale) vietano tassativamente queste conclusioni essendo la roccia del tutto indistinguibile dalla copertura vegetale.

D'altra parte, a mezzo di filtri opportuni, è stato possibile discernere con un certo dettaglio i due litotipi principali. Si è constatato che l'evidenza delle differenze cromatiche in base alle quali distinguerli sembra aumentare col contrarsi del *range* spettrale trasmesso dal filtro, quasi che le differenze nel potere riflettente tra i calcari e le argille fossero sensibili solo alle lunghezze d'onda maggiori.

Il filtro Kodak Wratten n. 12 consente una generica distinzione litologia/vegetazione nel senso visto sopra, ma già il n. 16 arancio (che blocca le lunghezze d'onda fino a 520 nm), almeno per quanto concerne il caso preso in esame, traduce i calcari in una tonalità biancastra, mentre le argille risultano francamente cyan.

Si può quindi pensare che entrambi i tipi di roccia riflettano le tre luci primarie, ma che ai calcari competa una maggior percentuale di energia infrarossa riflessa rispetto alle argille. Con un filtro Wratten n. 70, rosso scuro, che blocca tutte le radiazioni sino a 660 nm (valore competente alla luce rossa), la distinzione tra i due litotipi diviene macroscopica in quanto i calcari associati alle argille nelle formazioni flyschoidi cretacee (« Argille a Palombini ») e di Monte Penice appaiono come macchie gialle in campo rosso. Verosimilmente il giallo dei calcari deriva da un forte potere riflettente di queste rocce nella regione del rosso e dell'infrarosso. Al contrario le argille sembrano riflettere scarsamente la luce rossa.

Anche gli affioramenti ofiolitici diffusi nella zona sotto forma di serpentine e diabasi in *pillows* vengono evidenziati con chiarezza dal filtro n. 70. Tali litotipi non riflettono né la radiazione rossa né quella infrarossa e si traducono in macchie nere sulle relative diapositive.

Tale peculiarità cromatica ha tra l'altro permesso di individuare un affioramento serpentinoso ignorato dalla cartografia geologica. La sua ubicazione precisa ottenuta con questo metodo è significativa in quanto ha consentito di avvallare alcune ipotesi formulate a proposito dell'esistenza di una scaglia tettonica nella porzione occidentale dell'area esaminata.

Dalle considerazioni di cui sopra può apparire che esista una univocità tra la casistica litologica e i falsi-colori.

Sottolineamo che eventuali corrispondenze in questo senso non sono generalizzabili e in ogni caso è assolutamente indispensabile, almeno nella fase iniziale del lavoro interpretativo dei fotogrammi di una zona omogenea dal punto di vista litologico, un riscontro diretto al suolo. Questo sia perché in ultima analisi ciò che si fotografa non è mai la roccia in sè quanto la patina di alterazione superficiale che la ricopre e che, per essere in stretta relazione con le caratteristiche climatiche, è ovviamente variabile nel tempo e nello spazio, sia perché altri fattori possono contribuire alla colorazione delle rocce. Fra questi ci sembra importante segnalare il grado di imbibizione, che tende a rendere la roccia più scura sia alla visione diretta che nelle fotografie in falso-colore.

Ricordiamo il caso di alcuni accumuli detritici a predominanza calcarea che, per essere fortemente porosi, quindi impregnati, assumono in falso-colore una tonalità blu scura, molto simile a quella relativa agli affioramenti ofiolitici ripresi con il filtro n. 16.

I concetti sopra esposti sono ribaditi dal fatto che la letteratura riporta per litotipi analoghi equivalenze cromatiche diverse. P. B. Bouché e P. Montadert [1963] fanno corrispondere agli affioramenti calcarei della catena del Maihl Arrouy (Pirenei) un colore blu scuro, alle dolomie un blu più chiaro. Queste ultime sono facilmente distinguibili dal manto erboso caratterizzato in rosa. Secondo il manuale Kodak [1972] la resa cromatica dei calcari dolomitici corrisponde ad un grigio/bruno.

Le osservazioni fatte a proposito della resa cromatica delle componenti organica (vegetazionale) ed inorganica (litologica) dei versanti fotografati all'IR f.c., convergono quando si tratta di valutare approssimativamente lo stato di degradazione dei pendii interessati da colture agrarie.

Le caratteristiche dell'erosione del suolo sono infatti manifeste nella distribuzione dei colori lungo l'estensione di un pendio (E. Bergsma [1974]). Ponendo il magenta come « indicatore erbaceo » e il cyan come « indicatore litologico », si può pensare di ottenere alcune indicazioni sull'entità del dilavamento dai loro reciproci rapporti, sia in termini di aree coperte, sia valutando le eventuali soluzioni di continuità esistenti tra i due colori.

Anche in questo caso risulta determinante ai fini dell'interpretazione delle immagini la stagione di ripresa, che ovviamente non deve corrispondere né alla totale assenza di vegetazione erbacea lungo il pendio, né alla totale copertura. In tempi intermedi infatti, si potrà osservare la contemporanea coesistenza delle componenti organica ed inorganica, e vi sarà la possibilità di valutarne i reciproci rapporti mettendo in relazione l'assenza di vegetazione lungo il periodo con una particolare situazione morfologica (acclività).

Il caso più comunemente riscontrato è quello illustrato in fig. 4. Si osservano orizzonti pedologici sostanzialmente inerosi nelle zone contrassegnate da (1), in genere ad acclività alquanto moderata o addirittura suborizzontali.

In tali aree, localizzate immediatamente a ridosso degli spartiacque, o di preferenza ai piedi del versante, si realizza la minima velocità di scorrimento delle acque dilavanti (zone di ristagno) e

il massimo volume di infiltrazione: presenza di un suolo agrario maggiormente sviluppato e ricoperto da una coltre erbosa (apporti colluviali).

Nelle zone (2) al contrario, il profilo pedologico è generalmente meno evoluto. Si tratta altresì di zone sostanzialmente più secche, proprio a causa della minore permanenza dell'acqua.

Il colore cyan si presenta uniformemente distribuito quando gli orizzonti pedologici superficiali sono stati asportati in maniera generalizzata e quando l'elevata velocità di scorrimento delle acque inibisce un rigoglio vegetativo ai ritmi consentiti nelle zone (1).

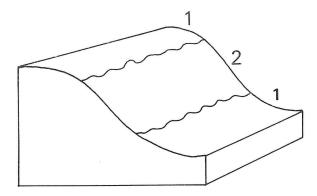


Fig. 4 - Distribuzione dei falsi-colori lungo un pendio. L'esempio si riferisce ad una scarpata a seminativo ripresa in autunno con Ektachrome IR.

1 = colore tendenzialmente magenta

2 = colore tendenzialmente cyan.

Lo schema proposto in Fig. 4 è, in ultima analisi, la traduzione in falso-colore del principio generale secondo cui la erosione di un versante, a parità di altre condizioni, aumenta con la distanza dalla linea di displuvio.

In realtà le linee di demarcazione tra le zone (1) e (2) non sono così nette quali risultano dalla Fig. 4. Il passaggio tra le due tonalità base cyan e magenta è spesso sfumato in conseguenza della moltitudine di fattori che regolano l'erosione e ne quantizzano l'effetto.

In tal senso soluzioni di continuità ben precisate si sono riscontrate esclusivamente in relazione a brusche rotture di pendenza.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (1968) Manual of color aerial photography. Falls Church, Virg., 550 pp.
- Anson A. (1970) Color aerial photos in the reconnaissance of soils and rocks. *Photogram. Eng.*, **36**, 343-354.
- Bergsma E. (1974) Soil erosion sequences on aerial photographs. ITC J., 3, 342-376.
- Berthiaux A., Touchard A. (1968) Horizon repère géologique décelable seulement en Ektachrome Infrarouge. *Photo Interprétation*, **5**, 10-20.
- BOUCHÉ P. M., MONTADERT P. (1968) Separation d'affleurements calcaires et dolomitiques en Ektachrome Infrarouge. *Photo Interprétation*, **5**, 1-9.
- Cassinis R. (1973) Applicazioni delle tecniche di rilevamento a distanza in Italia. *Le Scienze*, **54**, 73-78.
- COLWELL R. N. (1968) Remote sensing of natural resources. Sci. Am., 218, 54-69.
- COLWELL R. N., LENT J. D. (1969) The inventory of earth resources on enhanced multiband space photography. Proc. Int. Symp. Remote Sensing Environ., 6th, Ann Arbor, Mich., 1, 133-144.
- EASTMAN KODAK COMPANY (1970) Photointerpretation for land managers. *Rochester*, N.Y., 26 pp.
- EASTMAN KODAK COMPANY (1972) Applied Infrared Photography. Rochester, N.Y., 88 pp.
- Fritz N. L. (1967) Optimum methods for using infrared sensitive color films. *Photogram. Eng.*, **33**, 1128-1138.
- Galetto R. (1974) Fotografie aeree con la pellicola all'infrarosso falso-colore. *Giorn. Ing.*, **3**, 2-3.
- GAUSMAN H. W. (1974) Leaf reflectance of near infrared. Photogram. Eng., 40, 183-191.
- Holmes R. N., Thompson D. (1973) Infrared remote sensing Quaternary research. *Geoexpl.*, 11, 249-267.
- Howard J. A. (1973) Passive remote sensing of natural surfaces by reflective techniques. *Geoexpl.*, 11, 133-139.
- Hunter G. T., Glenn Bird S. J. (1970) Critical terrain analysis. *Photogram. Eng.*, **36**, 939-952.
- Kuhl A. D. (1970) Color and infrared photos for soils. *Photogram. Eng.*, **36**, 475-482.
- LATTMANN L. H. (1963) Geologic interpretation of airborn infrared imagery. Photogram Eng., 29, 83-87.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (1970) Remote sensing with special References to Agricolture and Forestry. *Washington D.C.*, 424 pp.
- Parry J. T., Turner H. (1971) Infrared photos for drainage analysis. *Photogram*. Eng., 37, 1031-1038.

- Poole D. H. (1969) Slope failure forms: their identification, characteristics and distribution as depicted by selected remote sensor returns. *Proc. Int. Symp. Remote Sensing Environ.*, 6th, Ann Arbor. Mich., 2, 927-965.
- RAINES G. L., LEE K. (1975) In situ rocks reflectance. Photogram. Eng., 41, 189-198.
- ROHNDE W. G., OLSON jr. C. H. (1970) Detecting tree moisture stress. *Photogram*. Eng., **36**, 561-566
- Sewell J. I., Allen W. H., Pile R. S. (1971) Visible and near infrared remote sensing of moisture levels. *Trans. of the ASAE*, 1163-1166.
- STRANDBERG C. H. (1966) Water quality analysis. Photogram. Eng., 32, 234-248.

(ms. pres. il 24 ottobre 1977; ult. bozze il 19 gennaio 1978).