

FELICE DI GREGORIO (*) & ALBERTO MARINI (*)

FACIES AMBIENTALI DA LANDSAT NEL CAMPIDANO DI ORISTANO (SARDEGNA CENTRO-OCCIDENTALE) (**)

ABSTRACT: DI GREGORIO F. & MARINI A., *Environmental facies derived from a Landsat image of the Campidano di Oristano (West-central Sardinia)* (IT ISSN 0084-8948, 1987).

Satellite data are experimentally employed in an integrated study of the environment in order to overcome the sectorial limits of specialized investigations and arrive at an overall view of the phenomena influencing it. This type of study, which has already been theoretically and methodologically carried out in various countries, is applied to the territory of the Campidano di Oristano (west-central Sardinia).

Based on the MSS bands of a Landsat image, the principal components of different basic elaborations, obtained by means of algorithms centering on the study of the vegetation mantle, are calculated. Subsequently, the territory is subdivided into 16 different classes through the application of a controlled classification program. Data are interpreted visually according to a predetermined taxonomy and lead to the distinguishing of geo-environmental units, sub-units and facies.

RIASSUNTO: DI GREGORIO F. & MARINI A., *Facies ambientali da Landsat nel Campidano di Oristano (Sardegna centro-occidentale)* (IT ISSN 0084-8948, 1987).

Viene sperimentato l'impiego di dati rilevati da satellite per una analisi integrata dell'ambiente, tesa a superare la settorialità delle indagini specializzate e a recuperare una visione unitaria dei fenomeni che lo interessano. Questo tipo di lettura, già sperimentato dal punto di vista teorico e metodologico in vari paesi, è stato applicato al territorio del Campidano di Oristano (Sardegna centro-occidentale).

Partendo dalle bande MSS di una immagine Landsat, sono stati calcolati i componenti principali di varie elaborazioni base, ottenute mediante l'impiego di algoritmi incentrati sullo studio delle coperture vegetali. Applicando successivamente un programma di classificazione controllata si è giunti ad una suddivisione del territorio in 16 classi. L'interpretazione visiva dei dati è stata distinta secondo una tassonomia predeterminata in unità geoambientali, sub-unità e facies.

TERMINI CHIAVE: analisi ambientale; telerilevamento; satellite Landsat; Sardegna.

Le tecniche di raccolta dati per lo studio e la distribuzione di parametri dell'ambiente, nei suoi elementi fisici, biologici e antropici, qualora si operi direttamente sul territorio, forniscono spesso dei risultati resi non omogenei dal tempo impiegato per la raccolta diretta; inoltre questa può risultare particolarmente ardua e costosa o addirittura impossibile.

Molte ricerche possono avvalersi dei dati dei satelliti territoriali come lo SPOT, che fornisce tre bande di informazioni con risoluzione di 20 x 20 metri nel visibile e nell'infrarosso, ed una ripresa contemporanea simile ad una foto pancromatica con risoluzione di 10 x 10 metri. Il satellite Landsat 5 fornisce invece ogni 16 giorni due serie di immagini: la prima costituita da 4 bande MSS con risoluzione di 56 x 79 metri, analoga per continuità ai dati dei satelliti precedenti operativi dal 1972, la seconda serie di dati offre 7 bande TM con risoluzione di 30 x 30 metri, delle quali quattro nel visibile, due nell'infrarosso ed una nel termico.

Le informazioni che si possono ricavare dalle riprese via satellite sono molteplici e così pure le applicazioni di questi dati alle più varie discipline. L'evoluzione della ricerca ha consentito di mettere a punto formule semplici o algoritmi sofisticati per estrarre questa o quella informazione relativa ai vari elementi dell'ambiente ed al loro stato (es. inquinamento delle acque), alla loro dinamica (moto ondoso, correnti, trasporto di sedimenti) o all'uso del territorio, per produrre carte tematiche di notevole interesse pratico (geologiche, forestali, agricole, urbane, industriali, ecc.).

Queste carte, spesso fortemente specializzate, consentono un elevato approfondimento delle tematiche specifiche, ma sono poco utili per una visione integrata dei fenomeni naturali ed antropici e incapaci pertanto di interpretarli compiutamente come elementi o processi del «sistema ambiente» nella sua globalità. Eppure le immagini da satellite, ancor più delle foto aeree, hanno alla base una massa formidabile di informazioni, superiore a qualunque altro metodo di rilevamento per grandi insiemi. Si tratta dunque di trovare il modo per poterle usare in maniera in-

(*) Dipartimento Scienze della Terra - Università di Cagliari.

(**) Lavoro eseguito con il contributo del CNR.

tegrata sfruttandone le potenzialità per cercare di ricomporre in una visione unitaria i fenomeni che interessano l'ambiente.

Le analisi specializzate evidentemente hanno sempre la loro validità e sono determinanti per la comprensione dei fenomeni. In questo campo, come si diceva, esistono metodi e prodotti sofisticati ricercabili nella ricca letteratura scientifica italiana e straniera.

Con la presente ricerca abbiamo voluto verificare una ipotesi di lettura globale del territorio situato nell'entroterra del Golfo di Oristano, nella Sardegna centro-occidentale.

L'area è stata scelta come campione in quanto la disponibilità di conoscenze precedenti (dirette, da aerofotografie, da bibliografia) ha consentito un immediato riscontro con dati telerilevati ed una taratura del metodo utilizzato.

Questo approccio, se relativamente nuovo utilizzando i dati rilevati da satellite, non lo è in linea generale. Esistono infatti già numerose applicazioni che assumono come base i dati ricavati dalle fotografie aeree e da rilevamenti di tipo tradizionale.

Si può ricordare infatti il metodo CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*). Si tratta di un tentativo di ricostruire il senso dell'unità naturale attraverso l'analisi diretta ed integrata del paesaggio anziché mediante il rilevamento delle sue componenti e determinanti. Il metodo, adottato dalla FAO, è centrato sull'analisi dei «tipi» di paesaggio. Come risultato si compone di una «carta delle unità naturali» e di un volume descrittivo corredato di diagrammi a blocchi che illustrano la configurazione essenziale delle unità di paesaggio e la loro concatenazione spaziale. La tassonomia va dalle grandi unità complesse del «land system» alle «land units» sino alle particelle territoriali che sono le unità minime.

Di analoga concezione è il metodo delle «unità di paesaggio» proposto da BERTRAND (1968; 1970). L'autore propone di individuare nell'unità di paesaggio una porzione di territorio caratterizzata da un tipo di combinazione dinamica di elementi geografici differenziati (fisici, biologici e antropici) i quali, reagendo dialetticamente, ovvero interagendo tra loro, fanno del paesaggio un insieme geografico indissolubile che evolve in blocco.

La tassonomia comprende il «geosistema», i cui caratteri sono costituiti dall'omogeneità e della stabilità dal punto di vista geologico-morfologico e climatico, la «geofacies» che è una sub-unità definita dal variare di alcuni elementi dell'ambiente e il «geotopo» ovvero l'unità corrispondente a particolari condizioni della geofacies.

Ancora basato sul concetto globale dell'ambiente e sul superamento della settorialità dell'analisi è il metodo dei «sistemi di paesaggio naturale» proposto da BARTELLI (1977).

Sugli sviluppi teorici e metodologici di questo tipo di lettura globale TRICART & KILIAN (1979) propongono addirittura una nuova disciplina, ovvero la «ecogeografia». Il metodo della ecogeografia si propone di cogliere in maniera globale l'insieme delle interazioni (processi) di origine naturale e antropica che sono alla base della dinamica di trasformazione dell'ambiente.

Partendo da queste premesse abbiamo analizzato le facies ambientali presenti nel Campidano di Oristano. Dal punto di vista tassonomico abbiamo distinto:

— le *unità geo-ambientali* caratterizzate dalla omogeneità dei caratteri geologici, morfologici, climatici e dei processi naturali e antropici in atto;

— le *sub-unità*, distinte all'interno delle precedenti dal variare di uno o più elementi naturali (es. Geologia, morfologia, ecc.);

— le *facies*, comprendenti le unità minime che differenziano le sub-unità in relazione alle utilizzazioni reali del suolo, alle formazioni vegetali o al variare di processi naturali e antropici.

Mentre le unità di livello superiore erano già ben evidenti in semplici sintesi additive delle immagini da satellite, proprio per la differenziazione delle unità minime si è resa necessaria la particolare elaborazione delle immagini che viene qui adottata.

L'obiettivo comune nel campo del telerilevamento è di ridurre ad un solo valore le informazioni a disposizione per ogni unità di superficie (nel nostro caso originariamente costituite dai dati base delle quattro bande MSS dell'immagine Landsat MSS del 27.10.1980), per indicare via via, a partire da elaborazioni tematiche, l'indice di biomassa, della produttività, del tipo di utilizzo del territorio, della percentuale di terreno coltivato, ecc.

La semplice combinazione dei dati originali di 7 bande TM Landsat, ancor prima di ogni trattamento di normalizzazione o di modifica nella distribuzione dei toni di grigio originali, offre più di 200 combinazioni di semplice composizione nei tre colori base blu, verde e rosso.

Dalla bibliografia specifica sul trattamento delle immagini da satellite, è possibile ricavare numerosi algoritmi studiati per estrapolare le informazioni, ma è però necessario utilizzare con discernimento metodologie non collaudate, che possono fornire ridondanza di informazione ed essere state studiate per territori con caratteristiche completamente differenti dalle aree in esame.

Nella fig. 1 è riportato il tipico spettro di riflettanza

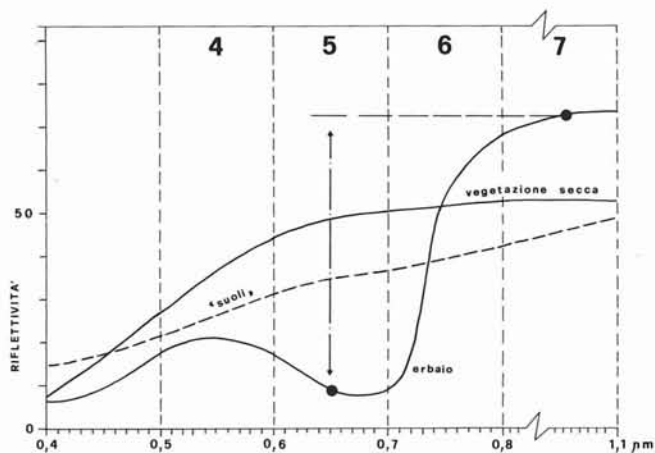


FIG. 1 - Confronto tra la riflettanza di un erbaio in buono stato vegetativo e quella del suolo e della vegetazione secca.

di un erbaio in buono stato vegetativo a confronto con la riflettanza del suolo e della vegetazione secca. La vegetazione in buone condizioni riflette oltre al 50% dell'energia nell'infrarosso mentre la clorofilla assorbe circa l'80% nel visibile. È anche evidente come il suolo mostri generalmente una maggiore riflettività nel visibile ed una risposta più bassa nel campo dell'infrarosso.

Gli studi di classificazione del territorio si basano sulla ricostruzione di queste curve e sull'analisi del loro andamento.

Prendendo in considerazione per ogni pixel i rapporti tra i valori di luminosità della banda 5 e della banda 7, sono stati spesso studiati dei criteri per valutare la percentuale di copertura vegetale e l'indice di biomassa. Questi sono tra i più semplici calcoli per valutare l'indice di vegetazione (I.V.).

Nel 1973 fu studiato (ROUSE & *alii*) un primo I.V., noto in letteratura come ND7, che considerava le differenze di luminosità della banda 5 rispetto alla banda 7. DEERING & *alii* (1975) modificarono tale indice confrontando valori di radice quadrata e ricavandone la trasformata nota come TV1.

Una normalizzazione (NDVI) correntemente utilizzata considera rapporti tra valori di differenza e somma delle due principali bande in uso. Su questa linea la N.O.A.A. fornisce settimanalmente mappe standard dell'indice di vegetazione per i due emisferi, su dati raccolti dal satellite AVHRR.

Una netta evoluzione nello studio degli I.V. si ebbe con un piano cartesiano. Lo studio della concentrazione di punti lungo una retta nel piano costituito dalle bande 2 e 4, ottenuta con programmi di classificazione automatica (fig. 2), oltre a permettere l'identificazione di una

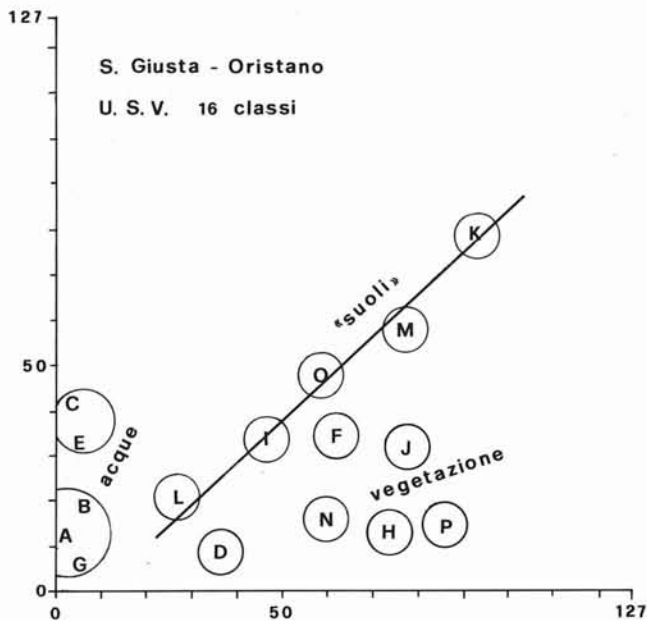


Fig. 2 - Identificazione dell'«asse dei suoli» mediante il rapporto tra le bande 2 e 4 su un piano cartesiano.

serie di terreni nudi con caratteristiche omogenee, permette un diverso approccio di discriminazione della vegetazione col PVI (*Perpendicular Vegetation Index*).

Per aumentare la discriminazione tra nuclei di coppie di punti a valore simile è possibile applicare la «rotazione degli assi» (fig. 3). Si procede pertanto al calcolo della migliore posizione per identificare un asse che minimizzi i valori di sovrapposizione delle varie classi, facilitando la lettura e la discriminazione tra le stesse. Questa semplificazione monodimensionale può essere applicata, con opportuni programmi di calcolo, anche per comparazione tra più matrici di dati (visuabilizzabile in tre dimensioni come la retta che media i dati presentati sui tre piani ortogonali). Normalmente si procede al calcolo anche di due ulteriori assi che raccolgono l'informazione residua. Ulteriori assi raccoglierebbero solo informazioni non correlabili con altre, costituenti solamente un disturbo di fondo. Spesso è sufficiente analizzare e presentare per gli elaborati difinitivi solamente i dati relativi al primo asse, che raccoglie mediamente oltre il 90 per cento dell'informazione originariamente distribuita nelle varie bande.

Per questo lavoro si è provveduto al calcolo dei componenti principali delle elaborazioni ottenute utilizzando le formule proposte per il calcolo del ND7, TVI, NDVI e PVI e quindi ad una suddivisione in sedici classi secondo una interpretazione visiva dei dati, applicando un programma di classificazione controllata.

Nell'area sono state riconosciute due unità geo-ambientali, contrassegnate in legenda rispettivamente con le lettere A e B.

La prima di queste (A), più estesa, comprende tutta la fascia della pianura in senso lato, dalla linea di costa che delimita la parte interna del Golfo di Oristano sino alle

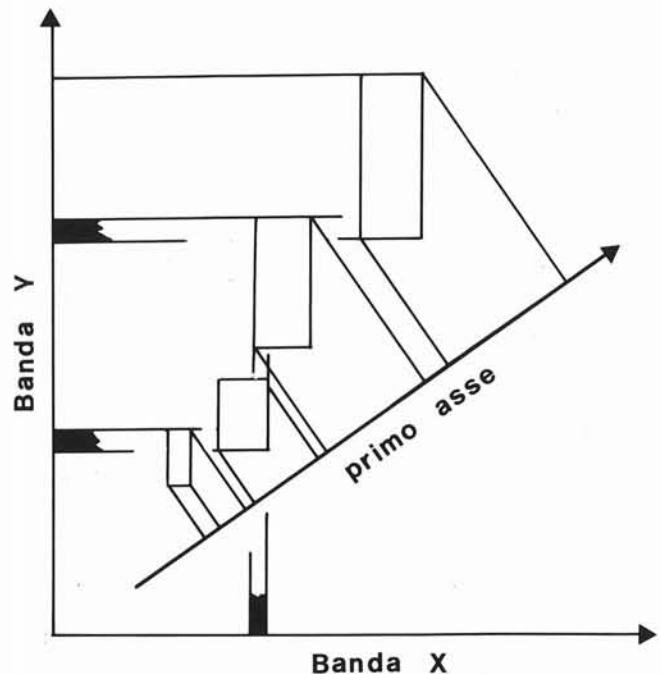


Fig. 3 - Procedimento di «rotazione degli assi» per aumentare la discriminazione tra nuclei di coppie di punti.

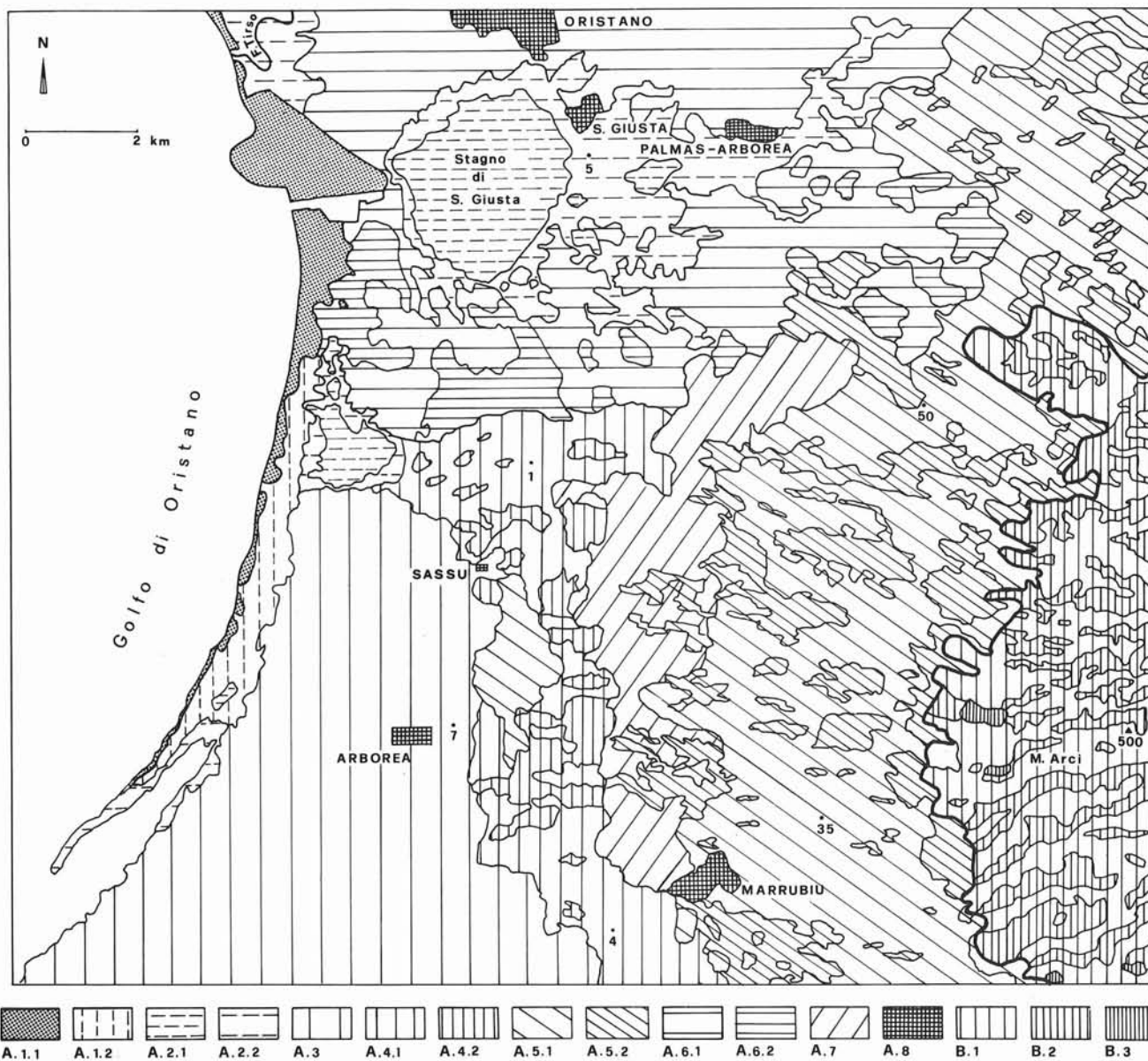


FIG. 4 - Carta geomorfologica del Campidano di Oristano da rilevamento Landsat (la linea spessa indica il limite del rilievo del M. Arci).

A) Pianura del Campidano di Oristano. Impostata su alluvioni plio-quaternarie con presenza di depositi di glaciai, dune litoranee, arenarie eoliche, aree palustri, stagni costieri, bonifiche. A.1) Cordone litoraneo inserito nella bonifica di Arborea. A.1.1) Ampia fascia sabbiosa. L'area circostante il porto industriale fornisce la medesima risposta per i recenti lavori di riporto. A.1.2) Rimboscimento a Pino marittimo passante a macchia mediterranea nel lembo meridionale. A.2) Lagune, stagni e zone umide. A.2.1) Specchi d'acqua, all'interno dei canneti, con linea di riva ben delimitata dalla lettura della banda dell'infrarosso. A.2.2) Aree palustri, con ampi settori a risposte omogenee, tali da permettere eventualmente delimitazioni più dettagliate (es. fragmiteto, canneto). A.3) Bonifica di Arborea su spianamento di dune con intercalate piccole aree idromorfe, con netta tessitura ortogonale della viabilità. Data la dimensione dei campi, compatibile con la risoluzione, e le nette differenze di risposta nelle varie elaborazioni, sarebbero possibili ulteriori distinzioni giungendo alla mappatura delle differenti colture. A.4) Bonifica del Sassu, realizzata all'inizio del secolo col prosciugamento dell'omonimo stagno. La rete di drenaggio è posta a quota inferiore del livello del mare. A.4.1) A titolo di esempio sono state delimitate le colture a maggior indice di biomassa. A.5) Falde detritiche e depositi di glaciai del versante occidentale del Monte Arci. Un lembo di questa sub-unità è stato identificato a contatto della bonifica di Arborea, isolato dall'incisione del Rio di Mogoro che attraversa la bonifica del Sassu. A.5.1) Pascolo privo di vegetazione arbustiva in seguito a pratiche di decespugliamento, localmente passante a seminativi e vigneti. A.5.2) Pascolo cespugliato a varia densità di ricoprimento, passante ad aree con vegetazione palustre. A.6) Paleo-alluvioni del Fiume Tirso. Sabbie e conglomerati con coperture di arenarie eoliche. A.6.1) Colture prevalentemente irrigue e risaie. A.6.2) Terreno nudo, cave di sabbia. A.7) Aree coltivate con tecniche irrigue, vigneti e frutteti, su sabbie e sabbie argillose. A.8) Aree urbane di Oristano, Santa Giusta, Palmas Arborea, Arborea, Marrubiu. B) Settore orientale del complesso vulcanico del Monte Arci. Unità caratterizzata da una risposta relativamente omogenea e nettamente diversa dal rimanente territorio preso in esame. B.1) Versanti su vulcaniti plioceniche. I caratteri delle risposte nelle elaborazioni sono tali da consentire l'individuazione di ulteriori geofacies e biofacies, la delimitazione delle quali è impedita dalla scala della carta. B.2) Profonde incisioni vallive con distribuzione radiale, dalla risposta spettrale nettamente marcata in dipendenza della morfologia e dei conseguenti caratteri vegetazionali. B.3) Aree di cava, nettamente differenziabili dal contorno di appartenenza.

prime propaggini del Monte Arci. Nelle risposte spettrali e nelle elaborazioni mostra evidenti e varie differenziazioni interne riconducibili ai caratteri geologici, morfologici, topografici, idrologici e vegetazionali mediante i quali sono state distinte le sub-unità. Al loro interno queste presentano locali variazioni, determinate dalla diversa incidenza dei vari elementi dell'ambiente (litologia, morfologia) o dei processi naturali (incisioni torrentizie, ristagni d'acqua paludi) o antropici (bonifiche, usi vari del suolo, spianamenti e riporti). Le facies sono state definite sulla base del riconoscimento e della definizione di queste variazioni. La loro delimitazione tuttavia non è sempre stata perfettamente definibile e riscontrabile anche dal controllo fotointerpretativo, in dipendenza della notevole frammentazione delle proprietà e quindi degli usi diversi del suolo, nonché del grado di risoluzione delle riprese utilizzate e della scala della carta.

La seconda unità (B), comprende il limite inferiore del versante, costituito prevalentemente da lave acide con livelli piroclastici e sovrapposte colate basaltiche poco potenti, incise da profondi canali. Quest'ultime lave sono riconoscibili nelle immagini solo dalla tessitura più omogenea, in assenza di una apposita elaborazione per evidenziare le variazioni litologiche.

Le sub-unità sono state differenziate principalmente da caratteri morfologici; non è stato invece facile il riconoscimento delle facies per i caratteri propri dell'unità (pendenze accentuate, incisioni torrentizie, discontinuità delle coperture vegetali, ecc.) che disturbano, nella ristrettezza dell'area, le risposte nelle varie bande.

Nel complesso l'analisi proposta sembra avere un indubbio valore metodologico, anche in vista di applicazioni future, per il fatto che i risultati acquisiti trovano

supporto e riscontro in una serie di dati precedenti. Questi ultimi, mediante i dati rilevati da satellite, vengono meglio definiti in senso spaziale, ampliati ed arricchiti, oltre che classificati in unità tassonomiche organizzate gerarchicamente le quali possono risultare di notevole utilità per la conoscenza e la pianificazione del territorio.

BIBLIOGRAFIA

- BARTELLI A. (1977) - *The natural landscape system*. Conv. Pedologia. Reg. Emilia-Romagna, Bologna.
- BERTRAND G. (1972) - *Les structures naturelles de l'espace géographique. L'exemple des montagnes cantabriques centrales Nord-Ouest de l'Espagne*. Rev. Geogr. Pyrenées et Sud-Ouest, 43.
- DEERING D.W. & alii. (1975) - *Measuring forage production of grazing units from Landsat MSS data*. Proc. 10th Int. Symp. Remote Sensing Environm., vol. 2.
- DI GREGORIO F.. (1977) - *Studio geomorfologico del Golfo di Oristano*. Boll. Soc. Sarda Sc. Nat. 10, 113-122.
- DI GREGORIO F. (in stampa) - *Criteri e metodi per la conoscenza e la conservazione attiva dell'ambiente*. Atti Incontro studio «Cultura paesaggio metodi territorio». Fac. Ing. Univ. Cagliari.
- FAO (1983) - *A framework for land evaluation*. Soil Bull. 32, Roma.
- MARINI A. (1983) - *La Sardegna vista dallo Spazio*. Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari, 53.
- PERRY C.R. & alii (1984) - *Functional equivalence of spectral vegetation indices*. Remote Sensing Environment, vol. 14.
- ROUSE J.W. & alii (1973) - *Monitoring Vegetation system in the Great Plains with ERTS*. Proc. 3rd ERT Symp., vol. 1.
- TRICART J. & KILLIAN J. (1979) *L'écogeographie et l'aménagement du milieu naturel*. François Maspero, Paris.
- ULZEGA A. (in stampa) *Carta geomorfologica della Sardegna marina e continentale*. CNR. Prog. Fin. «Oceanografia e fondi marini».
- VARDABASSO S. (1956) *Il Quaternario della Sardegna*. Act. 4^{me} Congr. Int. Quatern., Rome-Pise, 1953, 995-1018.