

# Telerilevamento e fotointerpretazione

## per la scoperta di discariche illegali

di Virgilio Bettini e Massimo Morigi

**N**umerosi sono gli studi che hanno permesso di monitorare il degrado ambientale generato dalle discariche controllate di rifiuti non pericolosi. Quello che segue è il primo nel suo genere in quanto ha permesso di scoprire e perimetrare le discariche illegali tombate (nascoste) i cui effetti non sono monitorabili *in quanto non visibili*.

La discarica di rifiuti è un luogo dove vengono depositati in modo non selezionato i *rifiuti solidi urbani* (RSU) e tutti i rifiuti provenienti dalle attività umane che non si è potuto o voluto riciclare.

I problemi legati allo smaltimento dei rifiuti in discarica sono regolati dal D.Lgs 36/2003, che recepisce la direttiva europea 99/31/CE e che prevede tre tipologie differenti di discarica: *discarica per rifiuti inerti*, *discarica per rifiuti non pericolosi*, *discarica per rifiuti pericolosi*.

Attualmente, lo smaltimento in discarica in Italia è il principale metodo di eliminazione dei rifiuti: nel 2004 il 51,9% dei rifiuti totali prodotti è stato smaltito infatti in discarica, attività che, però, non risolve il problema ma lo rimanda alle generazioni future.

I rifiuti depositati in discarica vengono decomposti da una combinazione di processi chimici, fisici e biologici. La decomposizione produce residui solidi, liquidi e gassosi. I residui di molti rifiuti, soprattutto di RSU organici, restano attivi per oltre 30 anni e, attraverso i naturali processi di decomposizione prima aerobica e poi anaerobica, producono biogas e numerosi liquami (*Percolato*) altamente contaminanti per il terreno, le falde acquifere e la salute pubblica. Secondo alcuni recenti studi è possibile rilevare tracce di queste sostanze dopo la chiusura di una discarica per un periodo che va fra i 300 e i 1000 anni.

Lo scopo del presente lavoro è quello di rappresentare, per la specificità dell'argomento, per l'arco temporale puro considerato (1986-2006) e per la pluralità della trattazione tecnico-scientifica, un punto di riferimento e di confronto per gli operatori dei vari settori dell'osservazione della Terra. La necessità sempre più pubblicizzata e sentita di monitorare il territorio attraverso un continuo e costante controllo comporta un notevole sforzo della comunità scientifica, dell'industria e delle forze di governo. Tale sforzo deve essere indirizzato verso l'integrazione, la ricerca e la sperimentazione anche di nuove tecniche di rilevamento. Tale integrazione, tuttavia, dovrebbe prevedere il libero uso dei dati telerilevati già prodotti e la disponibilità, per tutti gli operatori del settore, dei dati acquisiti dai sensori a terra in tempo reale

(stazioni meteo, pluviometri, idrometri, ecc).

Fermo restando che, per poter diffondere l'uso dei dati telerilevati e delle relative tecniche di analisi ad una sempre più ampia comunità di utenti, è necessario predisporre sistemi per l'estrazione dell'informazione geografica che siano in grado di fornire misure di qualità e veridicità sull'informazione stessa.

Tra gli sviluppi futuri che il presente studio si prefigge, trovano una particolare enfasi, c'è l'arricchimento dello strumento GIS, attraverso l'uso delle reti neurali, i piani adattativi (per la componente dinamica e la statistica multivariata) per le attività predittive.

### Area di studio, materiali e metodi

Lo studio è stato condotto tra il litorale e l'entroterra Domizio (Fig. 1), nel Comune di Giugliano in Campania, presso un'area di 20 Km<sup>2</sup> circa.

### Dati telerilevati

Per la pre-elaborazione dei dati digitali telerilevati è stato impiegato il software ENVI 4.0; le immagini acquisite hanno subito una correzione geometrica (*ground control point* o GCP - dedotti dall'ortofoto digitale) ed il relativo ricampionamento, nonché la correzione atmosferica, ove necessaria, attraverso il *tool Flash*. Le operazioni inerenti la correzione radiometrica sono state eseguite dal fornitore; essendo l'area di studio estremamente pianeggiante, si è scelto di non apportare nessuna correzione topografica.

### Metodi impiegati

La principale tecnica utilizzata nello svolgimento dei lavori ha trovato nella fotointerpretazione classica la sua chiave interpretativa e di lettura.

L'interpretazione delle immagini telerilevate si fonda sullo studio dei suoi parametri spettrali e geometrici (tono o colore, forma, dimensione, ombra, tessitura, struttura e particolari associati), sviluppata attraverso le fasi successive dell'individuazione, identificazione, classificazione e deduzione.

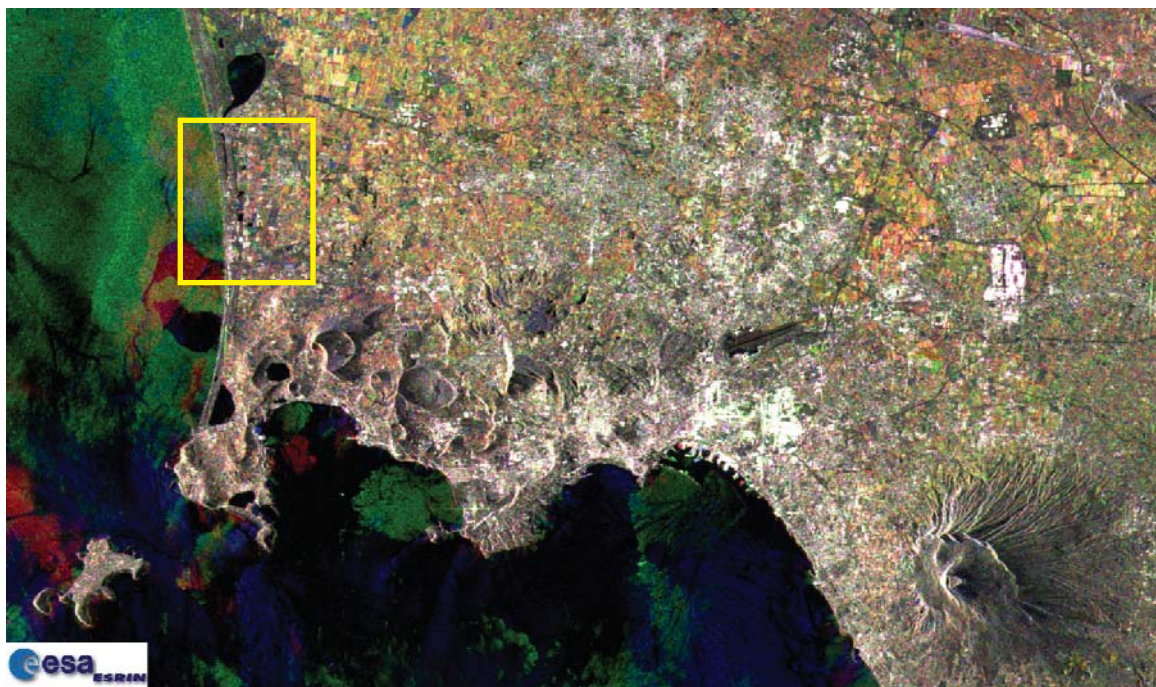


Figura 1 – La Baia Domizia (Immagine SAR)

Risulta importante ricordare la necessità di un confronto tra i dati tematici, estratti dalle immagini con il processo interpretativo (criterio diretto e indiretto), e quelli rilevati utilizzando tecniche e metodi direttamente a terra.

Tali attività consentono di definire una serie di chiavi interpretative valide per un processo identificativo; è indispensabile che il fotointerprete possieda un valido bagaglio culturale e una solida e reale esperienza di rilevamento in campagna. Le fonti informative devono quindi avere una caratteristica di pluralità, devono cioè risultare: riprese da più punti di vista - a scale diverse - con diversa inclinazione dell'asse ottico - riprese in epoche diverse - elaborate in modalità differente - pluribanda - riprese con sensori diversi - affiancate da altri documenti (pubblicazioni, cartoline, video, ecc..).

Di seguito sono state impiegate anche tecniche di analisi dei dati digitali, quali la classificazione *supervised* ed *unsupervised*; sono un valido supporto, allorché l'obiettivo da considerare/ricercare sia stato validato; per il *supervised*, solo attraverso *le verità a terra*.

Tematiche sempre vive, come quelle prodotte dall'*adiacenza*, rivestono un ruolo determinante per la classificazione delle immagini digitali; spesso sottostimate o non considerate in quanto i tempi di analisi e risposta ai decisori impongono che la ricerca produca maggiormente procedure automatiche di classificazione.

Da sottolineare e rammentare che tutte le classificazioni *unsupervised* riconoscono solo le variazioni della radianza ricevuta dal sensore, quindi non identificano i cambiamenti al suolo in modalità diretta. Per ottenere risultati più performanti, per quanto attiene alla risoluzione dell'immagine, sono state impiegate anche tecniche di *data fusion*.

La molteplicità dei dati impiegati (circa 110 immagini), dai sistemi attivi a quelli passivi, ha prodotto una quantità rilevante di informazioni eterogenee; il tempo di studio, integrazione ed omogeneizzazione dei dati è stato di circa ventidue mesi, anche se lo stesso ha iniziato a prendere vita già dal 1993.

### Le discariche nella storia

Una delle più antiche discariche della storia è ancora visibile ai nostri occhi: si tratta del colle Testaccio a Roma; qui gli artigiani gettavano quei cocci (*testae*) che non potevano essere più riutilizzati come *materia prima seconda* per la fabbricazione di altro vasellame. I Romani avevano ben chiaro, molto più delle popolazioni che ad essi seguirono, quanto fosse importante separare i rifiuti, specialmente i liquami, dalle acque potabili e, più in generale, dalla vita quotidiana degli abitanti dell'Urbe: a loro infatti si deve una delle più grandi invenzioni sanitarie di tutte le epoche, la *Cloaca Maxima*. Nell'antica Atene: vi erano spazzini, probabilmente schiavi, incaricati della pulizia della città sotto l'attenta sorveglianza, sancita nella "Costituzione degli Ateniesi" di dieci sorveglianti scelti tra i liberi cittadini.

Nel duecento, a Verona, il Podestà istituì i *guardatores*, funzionari con il compito di controllare gli scarichi delle manifatturiere lungo l'Adige ed a Genova troviamo i *salvatores*, che si occupano della manutenzione e della pulizia di tutta l'area portuale. A Firenze esistono i *cappellani* cittadini, eletti per sei mesi con il compito di vigilare sulla pulizia della città e di denunciare ai giudici eventuali abusi.

Troviamo anche notizie di proteste da parte degli abitanti contro lo scolo delle acque da parte di tintori e conciatori nella pubblica via, veri antesignani dei nostri odierni comitati di quartiere che protestano contro l'inquinamento: a Roma, nel 1238, e a Firenze, tra il 1280 ed il 1310.

### Le discariche oggi

Ai giorni nostri abbiamo solo emergenze rifiuti, e non troviamo più dirigenti e funzionari dello Stato che operano in regime di normalità ma solo attraverso l'uso delle nomine di Commissari Straordinari di Governo: alti dirigenti o illustri professori che hanno potere decisionale in deroga ad ogni legge e che attraverso gli strumenti della somma urgenza e della contabilità speciale, possono gestire innumerevoli fondi dei contribuenti. Fino a questo momento, intanto, l'emergenza rifiuti in Campania, decretata nel 1994 e continuamente reiterata, è costata più di 1.800.000.000 di Euro.



**Identificazione e perimetrazione delle discariche illegali**

Nel primo step sono state definite una serie di chiavi interpretative, ossia della determinazione precisa ed inequivocabile delle caratteristiche fotografiche del target, cioè di quei parametri (tono, tessitura, forma, ecc) che rendono possibile il riconoscimento del target su tutti i fotogrammi e sui dati digitali della zona di studio. Il secondo step ha visto la lettura/conferma dei dati cartografici storici (Fig. 2) e l'acquisizione delle informazioni a supporto.

Nel terzo step, dopo la fotointerpretazione delle immagini, è iniziata la fase di georeferenziazione e sovrapposizione delle zone identificate come possibili (e non probabili) siti adibiti illegalmente a discariche (Fig. 3).

Le fasi che compongono il quadro evolutivo di questi siti percorrono presumibilmente la strada di: apertura abusiva di una cava, sottrazione del materiale, allagamento dell'area (a discapito delle falde) (Fig. 4), sversamento dei rifiuti, compattazione e livellazione (Fig. 5).

Nel quarto step sono state inoltre utilizzate tecniche convenzionali di classificazione supervised e unsupervised quali: clustering, image differencing, change detection analysis e la Principal Component Analysis.

Nel quinto step sono state integrate allo studio le informazioni prodotte dall'interpretazione dei dati di ampiezza di sensori ERS 1&2 e Radarsat 1; valutazioni errate, che possono emergere da una classificazione automatica tradizionale, sono state evidenziate.

Nel sesto step sono state analizzate le infinite risposte di radianza registrate dal sensore iperspettrale MIVIS che, per ampia regione dello spettro elettromagnetico che riesce ad esplorare (dal visibile all'infrarosso termico) e per l'elevato numero di bande, è in grado di identificare oggetti o caratteristiche fenomenologiche di interesse applicativo per studi di carattere ambientale. In special modo, verificate alcune proprietà termiche insite nelle discariche, si è operato sulle dieci bande termiche del sensore. Si pensi che quando i rifiuti vengono depositati in discarica, durante la degradazione biologica le temperature possono raggiungere i 70° C.

L'analisi ha permesso di evidenziare, dopo circa 15 anni, ancora alcune impercettibili anomalie termiche (Fig. 6); sovrapponibili alle aree censite come discariche illegali di rifiuti, permettono di immaginare che i rifiuti sono ancora in una fase attiva.

Nel settimo ed ultimo step sono state integrate ed omogeneizzate tutte le informazioni; la carta di sintesi prodotta permette di perimetrare e censire le aree utilizzate come discariche illegali tombate (Fig.7).



Figura 2 (2a e 2b) - Attività di comparazione tra cartografia IGM 1:25.000; a sinistra aggiornamento del 1954, a destra aggiornamento 1977

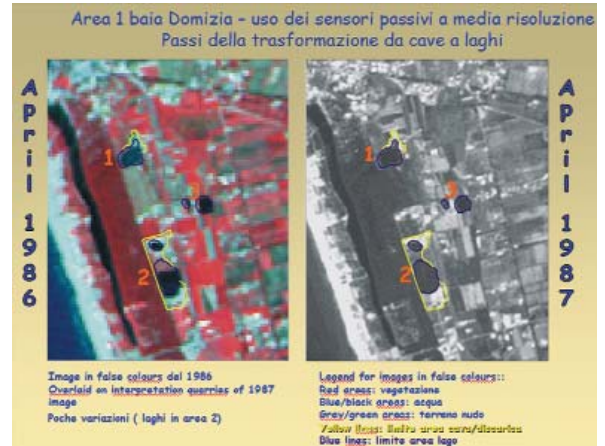


Figura 3 - Overlay delle informazioni rilevate

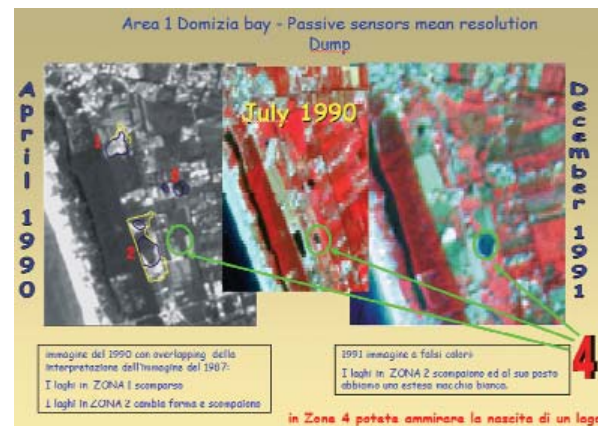


Figura 4 - Monitoraggio temporale: apertura abusiva di una cava e allagamento dell'area

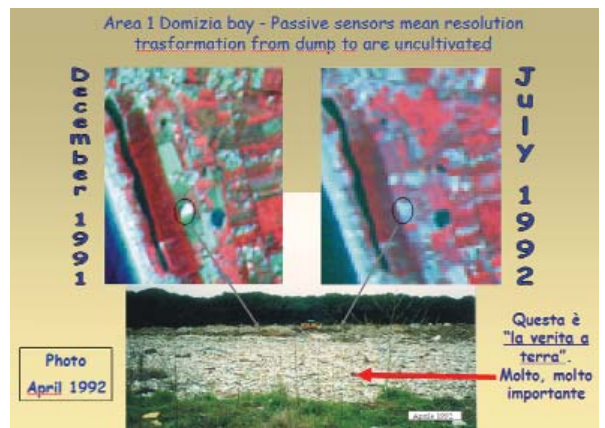


Figura 5 - Le trasformazioni del territorio: le verità a terra



Figura 6 - Rilevazione delle anomalie termiche registrate dal sensore MIVIS

## Conclusioni

I risultati prodotti, non facenti parte di una demo, dimostrano che il telerilevamento e la fotointerpretazione, qualora supportati dalle *verità a terra*, sono strumenti e metodi efficaci ed efficienti per il monitoraggio del territorio.

Nell'immagine che segue sono riportati i siti individuati, illegalmente adibiti a discariche da organizzazioni riconducibili presumibilmente all'ECO-MAFIA (Fig. 7). Dalla lettura di un recente studio commissionato dal Dipartimento della Protezione Civile dal titolo "Studio di correlazione tra rischio ambientale da rifiuti, mortalità e malformazioni congenite"

([http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?cms\\_pk=4043&dir\\_pk=395](http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?cms_pk=4043&dir_pk=395)), condotto per le sole province di Napoli e Caserta emerge che, su quest'area, il *trend* di mortalità legata al tumore delle vie respiratorie è in netta ascesa.

E' volontà degli autori continuare ad integrare, con dati telerilevati e non, il presente studio. Essi permetteranno di caratterizzare ancor meglio le fasi evolutive della tematica affrontata. Tra i molti si ricercheranno dati storici, voli precedenti al 2004 del sensore MIVIS (Progetto Lara - CNR) ed i dati registrati dai sensori Landsat 3, SPOT e quelli realizzati in seno al Progetto TELAER, nonché i dati provenienti dalle nuove generazioni di satelliti quali i sensori ALOS, TerraSar-X e Cosmo SkyMed.

La fase finale, molto ambiziosa ma necessaria, prevede di porre una spazializzazione, e quindi chiudere il cerchio con la correlazione tra rifiuti e mortalità, del dato mancante, ossia quel dato che nessuno studio ha prodotto e cercato: la distanza geometrica di chi ha ceduto la propria vita solo perché legato spazialmente ai siti mortali. Il lavoro sarà estenuante e non privo di insidie ma, come Hans Jonas (1990) scriveva: *"dalla natura provenga il dover essere dell'uomo, legato al pensiero dell'etica della responsabilità ed alla dignità ed il rispetto per la natura e per gli uomini che verranno"*.



Figura 7 (7a e 7b) - Sinistra: IKONOS-2 del 2005; Destra: azzurro = laghi presenti, giallo = perimetrazione delle aree adibite a discariche

## Considerazioni degli autori

L'area esaminata è stata oggetto di diversi studi, tra i principali si ricordano:

- lo studio condotto in seno al Progetto Regi Lagni, pubblicato nel 2002 e commissionato dal Ministero dell'Ambiente all'ENEA. Lo stesso doveva verificare lo stato di qualità ambientale delle acque nel bacino scolante dei Regi Lagni e dei sistemi afferenti l'area di Cuma. Le conclusioni a cui si è giunti sono che: la situazione è di estrema gravità ambientale e di rischio igienico sanitario in tutta l'area oggetto di studio, evidenziata nei criteri di sicurezza ambientale elaborati dal Ministero dell'Ambiente che hanno informato lo specifico Strumento di Programmazione del Commissario delegato, in quel periodo, il Presidente della Regione Campania. L'esame dei dati acquisiti ha rilevato un serio degrado della qualità delle acque a tutti i livelli considerati, in prima istanza classificabili come stato di qualità ambientale "pessimo" (D.Lgs. 152/99). Nel 2008, lo stato di qualità ambientale dovrebbe essere "buono" DL 152/99 art.5.

- nel 2004 viene pubblicato un primo studio epidemiologico sulla mortalità in tre Comuni segnalati con una elevata concentrazione di siti di smaltimento legale e illegale di rifiuti, che ha permesso di sottoporre agli amministratori pubblici una situazione di grave degrado sanitario. L'eccesso di rischio, rispetto al resto della Regione, per alcune patologie tumorali.

- nel 2004 un reportage di Lancet Oncology, aveva circoscritto il rischio per la salute pubblica in un "triangolo della morte".

## Si ringrazia per la collaborazione

la Società INTA SPACETURK ed FPquadro di Roma per aver gentilmente fornito, a solo scopo di studio, le immagini IKONOS-2.

Il Politecnico di Milano per aver concesso, a scopo di studio, il dato di ampiezza del sensore Radarsat1.

L'Istituto dell'Inquinamento Atmosferico - Consiglio Nazionale delle Ricerche, per aver concesso, a scopo di studio, i dati del sensore iperspettrale MIVIS (Progetto LARA).

Un particolare ringraziamento a Padre Alex Zanotelli per l'incoraggiamento trasmesso, ai professori L. Morselli, L. Surace, M. Fondelli, R. Carlucci, C. Rosnati ed i dott. B. Commini, R. Casacchia e la dott.ssa M.T. Dessena per le valutazioni positive espresse.

## Alcune definizioni

### Fotointerpretazione

La fotointerpretazione è una metodologia di indagine o scienza (Guidi, 1978) attraverso la quale è possibile ricavare informazioni dall'analisi di immagini telerilevate. Essa è generalmente divisa in due fasi: fotolettura (singolo fotogramma) e fotointerpretazione (modello stereoscopico).

### Tecniche convenzionali di classificazione

**Supervised:** il primo passo nella classificazione supervisionata è la creazione di *training set* (aree di esempio), ossia l'identificazione di gruppi di pixel direttamente sull'immagine, che possano essere considerati rappresentativi di una classe. Una volta che un gruppo di *signature* viene definito, si procede alla classificazione dell'immagine. Ogni pixel, in questa fase, viene analizzato singolarmente e di seguito confrontato con i *signature* definiti attraverso una modalità di giudizio o assegnazione (*decision rule*) costituito da un algoritmo matematico. I pixel che soddisfano tale algoritmo saranno solo allora classificati, ossia attribuiti ad una classe.

**Unsupervised:** la classificazione non supervisionata (*Unsupervised classification*) non utilizza *training set* per definire le categorie di appartenenza dei pixel; tramite l'esame spettrale dell'immagine, viene prodotta invece una aggregazione dei pixel sulla base dei *cluster*, predefiniti nel numero. L'assegnazione ad un *cluster* è regolata da una certa legge, diversa secondo l'algoritmo utilizzato, che sfrutta i valori di radianza DN (*digital number*) registrati nei vari pixel.

Tra gli algoritmi di *clustering* più utilizzati troviamo:

- K-means e delle medie mobili: il numero delle classi K viene fissato a priori e sequenzialmente si cerca di migliorare la clusterizzazione, assegnando ogni pixel alla classe j con la media  $\mu_j$  più vicina, ricalcolandone quindi la media stessa;
- ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*): condivide con il precedente il principio di assegnare ogni pixel al *cluster* con centro più vicino e quello di ricalcolare le posizioni dei centri dopo l'assegnazione.

L'algoritmo ISODATA è simile al K-means, con l'unica differenza che il numero di *cluster* può variare durante l'interazione, mentre il K-means prevede che il numero di classi sia definito a priori (Mather, 1987). Poiché le classi identificate tramite la classificazione non supervisionata sono *classi spettrali*, la loro identità sarà all'inizio sconosciuta.

### Change Detection Analysis (CDA)

L'Analisi di rilevazione dei cambiamenti (CDA) è un processo che permette di identificare le differenti variazioni d'uso del territorio, osservate in un arco temporale (Ridd and Liu, 1998), ed è uno tra i maggiori campi d'applicazione del telerilevamento.

Come chiaramente mostra la letteratura scientifica sul tema, la descrizione delle modificazioni ottenuta utilizzando algoritmi di interpretazione dei dati digitali è un obiettivo molto difficile da raggiungere tanto che, secondo alcuni autorevoli autori, la fotointerpretazione diretta darà sempre risultati più accurati, ed in relazione all'esperienza del tecnico si potranno ottenere risultati affidabili (Coppin et al., 2004). Per contro l'interpretazione di foto aeree è difficilmente replicabile, essendo fortemente dipendente dall'interprete, mentre i metodi digitali offrono procedure consistenti e ripetibili e inoltre possono usare dati registrati anche con lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico differenti dal visibile.

### Decomposizione aerobica

I processi aerobici richiedono ossigeno, quindi la decomposizione aerobica avviene all'inizio della deposizione dei rifiuti in superficie e comunque fino a quando c'è ossigeno disponibile (anche sotto la superficie). I microrganismi aerobici producono anidride carbonica in concentrazioni molto elevate (vol. 90%) e la temperatura si alza fino ai 70 °C.

### Decomposizione anaerobica

In questa fase, quando l'ossigeno si è consumato, divengono dominanti microrganismi anaerobi facoltativi che continuano il processo di degradazione. Vengono prodotti acidi organici, ammoniaca, idrogeno e anidride carbonica.

Il processo prevalente è la fermentazione acida, che produce CO<sub>2</sub> e composti organici parzialmente degradati (acidi organici), rilasciando energia termica (anche se in quantitativi inferiori al caso aerobico). Il tempo richiesto per la conclusione della fase metanigena può variare da sei mesi a molti anni dopo il deposito del rifiuto.

## Bibliografia

- F. Guidi, "Fotogrammetria fotointerpretazione telerilevamento", IGM Firenze 1978  
 ENVI User's Guide,(2001). Research System, Inc.  
 J.P. Howarth, and G.M. Wickware, (1981). "Procedure for change detection using Landsat digital data. *International Journal of Remote Sensing*", v. 2, p. 277-291.  
 Jain and A.Kak, "Fundamentals of digital image processing", Prentice-Hall, Englewood Clis, 1989,  
 J. A. Richards, "Remote sensing digital image analysis", Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1994.  
 A. Ghirelli, "Napoli Italiana. La storia della città dopo il 1860", Torino, Einaudi, 1977  
 G. Galati, A. Giardini, "Tecniche e strumenti per il telerilevamento ambientale" CNR Roma 2000.  
 V. Bettini, Larry W. Canter, L. Ortolano., "Ecologia dell'impatto ambientale" UTET 2000.  
 A. Dermanis, L. Biagi, "Telerilevamento", Casa Editrice Ambrosiana 2002.  
 P. Altavista et al., "Mortalità per causa in un'area della Campania con numerose discariche di rifiuti", 2004.

## Autori

VIRGILIO BETTINI  
 Università IUAV di Venezia - Dipartimento di Urbanistica

MASSIMO MORIGI  
 mmorigi@yahoo.it  
 Collaboratore - Università IUAV di Venezia - Pianificazione del Territorio