

## Le tecnologie 3S (GIS, GPS, Remote Sensing) per il rilievo e la gestione del territorio nell'era della geomatica

- Nel contesto del I° Salone Hydrogeo tenutosi dal 9 all'11 maggio scorso a Rimini, è stato organizzato dalla nostra rivista il convegno "Informazioni Geografiche e Territoriali - progetti, normativa e tecnologie", tra le relazioni presentate, uno dei temi preminenti è stato quello dell'evoluzione delle tecniche per lo studio e la gestione del territorio nell'era della geomatica.
- Tale tema, di grande attualità, poneva l'attenzione sull'evoluzione delle tre tecniche più all'avanguardia in tale settore, ovvero quelle tecnologie di rilievo e gestione degli aspetti territoriali e ambientali di natura avanzata. Scopo della relazione era quindi la presentazione della panoramica sulle più moderne tecnologie di rilevamento e di rappresentazione cartografica delle informazioni per la protezione ed il controllo delle risorse umane ed ambientali, una disamina dei temi in cui si accenna solo brevemente ai principi di funzionamento di queste moderne tecnologie, denominate 3S (principalmente GIS, GPS e Remote Sensing), dedicando invece più attenzione alle loro applicazioni.

### La geomatica

Con il termine geomatica si denota la disciplina scientifica che comprende:

- il rilevamento geodetico/topografico utilizzando tecnologia tradizionale, satellitare e da sensori,
- la modellistica matematica per le osservazioni e il trattamento statistico dei dati,
- l'uso di strumenti informatici per l'archiviazione, la gestione ed elaborazione dei dati e per la rappresentazione dei risultati.

I due fattori di impulso che hanno concorso allo sviluppo della geomatica a partire dagli ultimi 10 anni sono:

- l'evoluzione delle tecnologie dedite al rilevamento, che ha reso possibile l'acquisizione di osservazioni puntuali ed areali di elevata precisione su scala globale (GPS, Remote Sensing, SAR).
- lo sviluppo hardware e software per la gestione dell'informazione (GIS).

Alla luce di questa grande quantità di dati, assume particolare importanza la georeferenziazione delle informazioni sia a livello nazionale che globale, oggi giorno possibile con precisione centimetrica e in maniera economica e veloce, grazie allo sviluppo del sistema di posizionamento satellitare GPS.

Ma alla geomatica concorrono non solo le tecniche di rilievo e analisi dei dati, bensì la loro integrazione e il loro impiego, così come le tecniche proprie dell'Information Technology come la computer grafica e molte altre tecniche che a titolo di esempio sono raccolte nel box in pag.5.

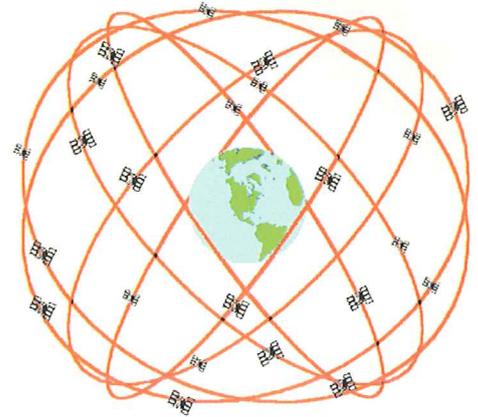
### Le tecnologie Specifiche

#### Il GPS

Il GPS, Global Positioning System (Figura 1) è un sistema di posizionamento spaziale e temporale progettato nel 1974 a cura del Ministero della Difesa statunitense, costituito essenzialmente da tre segmenti:

- segmento spaziale (satelliti),
- segmento di controllo (stazioni di controllo a terra),
- segmento utenti (ricevitori GPS impiegati dagli utenti finali).

Il sistema GPS è basato sulla misura del tempo impiegato da un opportuno segnale elettromagnetico (onde radio in banda L) a percorrere la distanza compresa tra un satellite della costellazione GPS e una stazione ricevente. Note, ad un dato istante di tempo, le posizioni di almeno 4 satelliti (Figura 2), condizione garantita dalla geometria della costellazione



**Figura 1:** la costellazione dei satelliti GPS: è composta da almeno 24 satelliti in orbita ad una altezza media di circa 20000 km, con periodo orbitale di circa 12 ore e distribuiti su 6 piani orbitali inclinati di 55° sull'equatore terrestre, i cui nodi ascendenti sono equispaziati di 120° in ascensione retta.

ne, e misurata la distanza satellite-ricevitore è possibile determinare in tempo reale la posizione assoluta del ricevitore secondo la relazione:

$$R_i^S = \sqrt{(X_i^S - X_r)^2 + (Y_i^S - Y_r)^2 + (Z_i^S - Z_r)^2} - c \cdot T_r \quad (1)$$

dove:  $(X, Y, Z)_i^S \equiv$  coordinate dell'i-esimo satellite nel sistema di riferimento geocentrico WGS84 ( $i=1, \dots, 4$ )

$(X, Y, Z)_r \equiv$  coordinate del ricevitore nel sistema di riferimento geocentrico WGS84

$T_r \equiv$  correzione per la sincronizzazione dell'orologio del ricevitore alla scala temporale dei satelliti.

$R_i^S \equiv$  osservazione del range satellite-ricevitore ottenuta attraverso misure di tempo su un segnale pseudo stocastico.



**Figura 2:** posizionamento assoluto in tempo reale.

La precisione del posizionamento assoluto in tempo reale è circa 3 m o anche meno (~1 m) quando il segnale GPS non viene perturbato per motivi di sicurezza militare (si ricorda che il GPS è stato creato dal Dipartimento della Difesa statunitense).

Lo stesso ricevitore può misurare di solito anche la fase dell'onda portante, ovvero, una volta agganciata inizialmente la fase  $\Phi_0$ , ne misura le variazioni nel tempo, integrando il numero intero di cicli tra il tempo iniziale dell'osservazione  $t_0$  ed il generico tempo  $t$ , così che per ogni istante  $t$  di osservazione si può scrivere

$$\Lambda \cdot \Phi_t = R_i^S(t) + \delta L_t + \delta L_I - N_i^S \Lambda \quad (2)$$

dove:  $\Phi_t \equiv$  fase al tempo  $t$  espressa in cicli

$\Lambda \equiv$  lunghezza d'onda della portante

$R_i^S(t) \equiv$  range come in (1)

$\delta L_t \equiv$  correzione troposferica

$\delta L_I \equiv$  correzione ionosferica

$N_i^S \equiv$  numero intero di lunghezze d'onda contenute in  $R_i^S(t_0)$ , detto ambiguità di fase

I ricevitori di migliore qualità permettono, in fase di elaborazione dati, di combinare la misura contemporanea di due fasi, relative a due diverse frequenze, in modo tale che la correzione ionosferica sia eliminata con un alto grado di precisione.

Per poter ridurre gli errori di cui sono affette le osservazioni GPS (errori orbitali, disturbi atmosferici, errori di orologio, ecc...), si ricorre al posizionamento relativo (Figura 3), nel quale due ricevitori osservano contemporaneamente la medesima costellazione di satelliti. Differenziando le osservazioni è possibile eliminare parte dei bias presenti nei dati, ottenendo precisioni elevate in funzione del tempo di ricezione (Figura 4). Si è visto che la migliore combinazione per la stima del vettore di base  $\underline{r}_{AB}$  è data dalla cosiddetta differenza seconda, ovvero

$$\Phi_{AB}^{SP}(t) = [\Phi_A^S(t) - \Phi_B^S(t)] - [\Phi_A^P(t) - \Phi_B^P(t)] \quad (3)$$

in cui quasi tutte le correzioni vengono automaticamente cancellate.

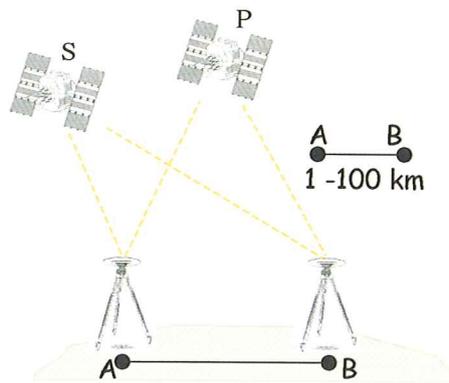


Figura 3: posizionamento relativo.

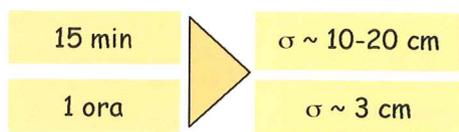


Figura 4: precisioni del posizionamento relativo con ricevitori a doppia frequenza.

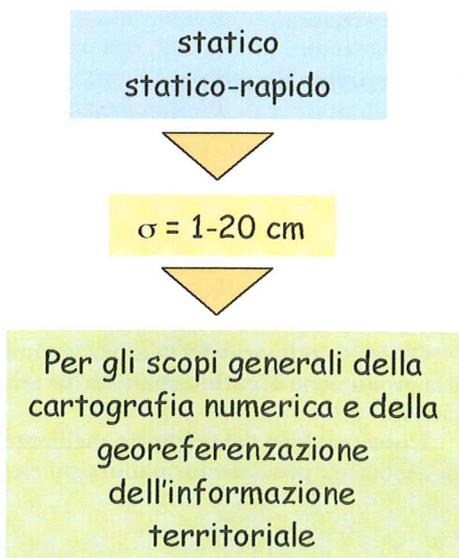


Figura 5: applicazioni e precisioni del rilevamento GPS in modalità statica statico-rapida.

### L'evoluzione tecnologica 3S

La convergenza tra soluzioni IT e le scienze della terra ha posto le premesse per l'affermarsi delle scienze geomatiche (geo=terra, matica da informatica), quindi l'adeguamento delle metodologie operative in conseguenza della ricerca specialistica e di quella applicata. Nel quadro dell'evoluzione delle scienze della terra verso la geomatica, le tecnologie definite come 3S basano la loro esistenza sui settori scientifici e operativi come:

La geodesia spaziale e terrestre - La cartografia - Il rilevamento territoriale e topografico - La fotogrammetria aerea e terrestre - Il trattamento e analisi di immagini digitali - la computer grafica - i sistemi GIS - i sistemi di posizionamento satellitari e non (TRANSIT, VLBI, GPS, GLO-NASS, GALILEO) - il Remote Sensing (osservazione della terra da satellite e da aereo), le soluzioni IT e ICT, l'intelligenza artificiale e i sistemi esperti - i data base *object oriented*.

In funzione delle applicazioni e delle precisioni richieste, il rilevamento GPS può essere effettuato secondo le seguenti modalità:

- statica e statico-rapida: durante l'acquisizione del segnale il ricevitore è fermo per un tempo che varia da qualche minuto ad alcune ore, a seconda della precisione che si vuole raggiungere (Figura 5).
- cinematica: durante l'acquisizione del segnale il ricevitore è in movimento o si ferma per qualche decina di secondi (Figura 6).

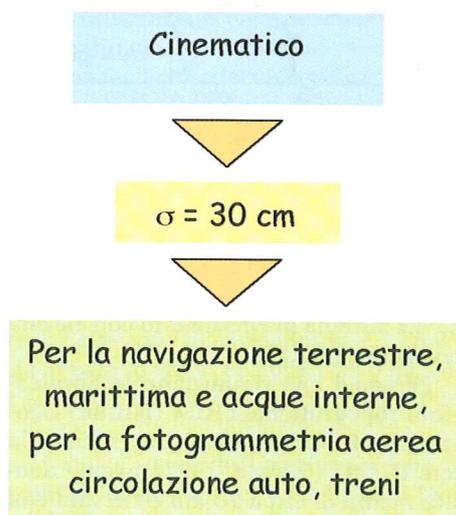
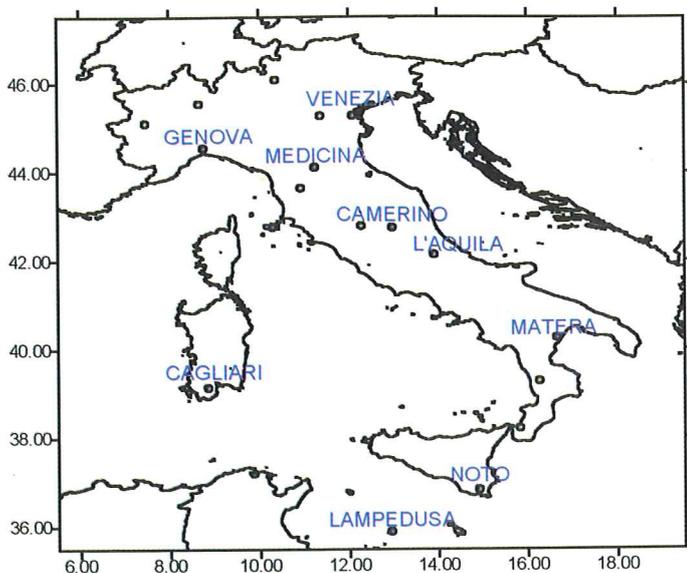


Figura 6: applicazioni e precisioni del rilevamento GPS in modalità cinematica.

Una importante applicazione del rilevamento statico è fornito dalle stazioni "permanenti", ovvero ricevitori GPS che osservano in continua 24 ore su 24.

In Italia, esiste una rete di stazioni permanenti gestita dal gruppo Geodaf (Figura 7), i cui dati grezzi e le soluzioni delle elaborazioni sono disponibili gratuitamente ([www.geodaf.mt.asi.it](http://www.geodaf.mt.asi.it)). Parte di queste stazioni appartengono anche alla



**Figura 7:** la rete GEODAF. In blu sono indicate le stazioni dell'ASI (Agenzia Spaziale Italiana), in verde le stazioni gestite da altri enti (CNR, Università, Regioni ...).

rete europea EUREF e a quella mondiale IGS (<http://igs.cb.jpl.nasa.gov>) (Figura 8), il cui scopo principale è la determinazione del sistema di riferimento con elevata precisione (ITRF).

Per quel che riguardano le applicazioni topografiche, l'IGM (Istituto Geografico Militare Italiano) ha istituito la rete IGM95 (Surace, 1997), avente densità media di circa 20 km e rilevata con il GPS (Figura 9). Per ogni punto della rete sono stati calcolati i parametri di trasformazione tra il sistema WGS84 (EUREF 89) e il sistema UTM. I vertici IGM95 offrono quindi un importante servizio, in quanto permettono di effettuare misure con il GPS, tecnica di rilevamento più veloce ed economica di quelle tradizionali, e di inquadrare i ri-

sultati nella cartografia ufficiale italiana.

Qualora fosse disponibile sul territorio italiano una più fitta rete di stazioni permanenti, potrebbe svilupparsi un'altra importante applicazione, ovvero il posizionamento relativo (statico o cinematico) con l'utilizzo di un solo ricevitore (Figura 10). Se si disponesse di due o più ricevitori permanenti di posizione nota e vicini al vertice da rilevare, si potrebbe posizionare con grande precisione il singolo ricevitore

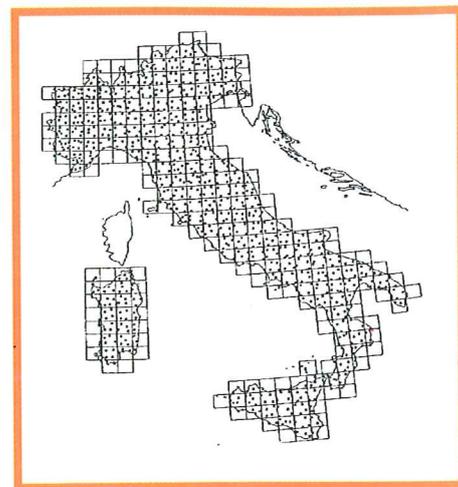
posto sul vertice di interesse, risparmiando così nel numero di ricevitori che l'utilizzatore deve impiegare.

### Remote Sensing

Le tecniche del telerilevamento (Remote Sensing) si sono sviluppate attorno al 1970. IL Remote Sensing è uno dei settori del rilevamento del territorio che ha registrato il maggiore impulso dagli sviluppi dei calcolatori elettronici, sotto il duplice aspetto della velocità dei processi e della capacità di memoria.

Obiettivo primario del telerilevamento è la produzione di carte tematiche del territorio.

L'osservazione del territorio mediante tale tecnica è possibile in quanto ogni ele-



**Figura 9:** La rete italiana IGM95.

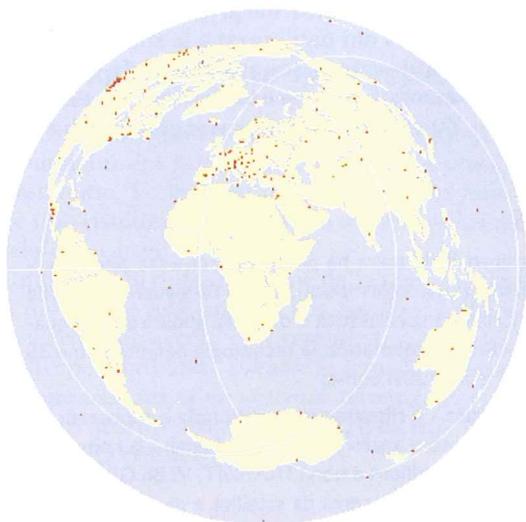
mento della superficie del terreno invia nello spazio, sia per emissione diretta che per riflessione, radiazioni caratteristiche del suo stato fisico.

L'immagine del Remote Sensing è rilevata da vari tipi di sensori installati su piattaforme satellitari in orbita intorno al nostro pianeta o su aereo. Essa è costituita da un insieme di immagini della medesima scena, ciascuna di esse relativa a una specifica banda nello spettro della radiazione.

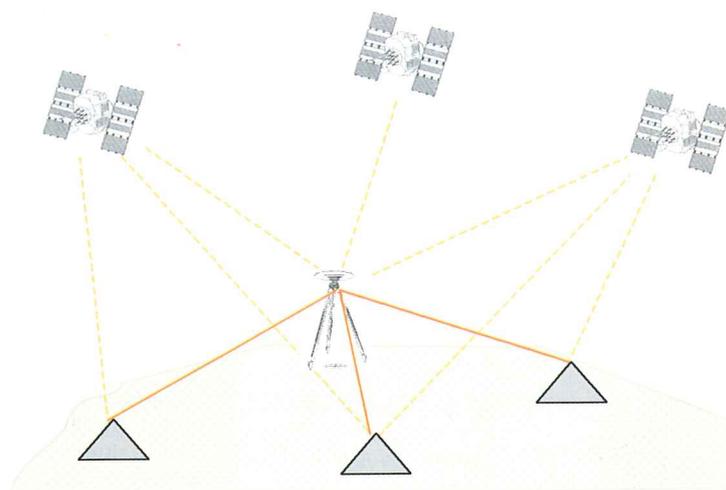
L'immagine viene sezionata in pixels, la cui risoluzione varia da 20x20 m a 1x1 m, e può essere esaminata in termini di:

- intensità
- frequenza

Uno dei metodi più usati per l'interpretazione delle immagini è basato sulla classificazione multispettrale, che può essere attuata mediante un confronto fra le caratteristiche spettrali note del cam-



**Figura 8:** la rete mondiale IGS.



**Figura 10:** posizionamento relativo con un solo ricevitore.

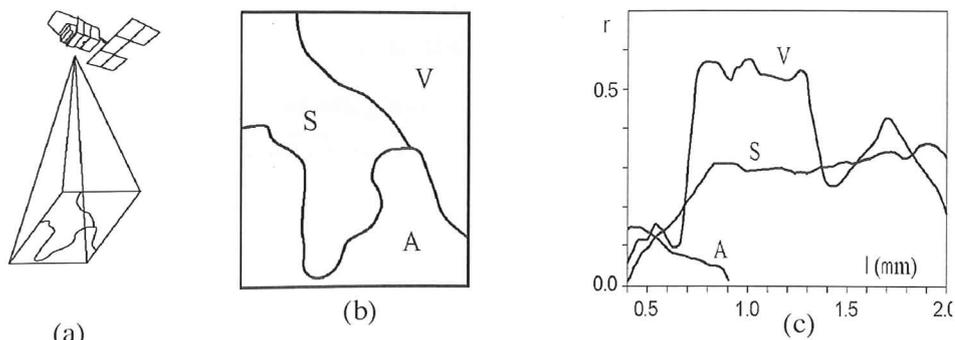


Figura 11: (a) immagine telerilevata da classificare, (b) pixel, (c) spettro della radiazione.

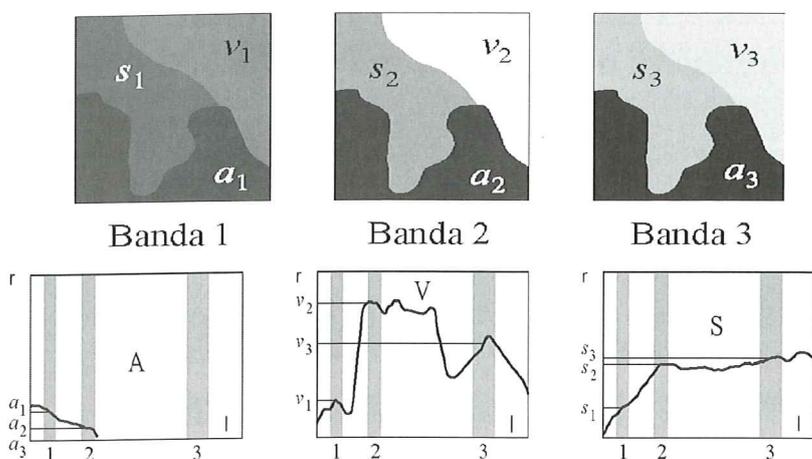


Figura 12: firma spettrale.

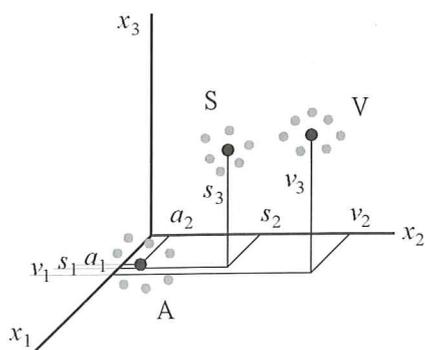


Figura 13: suddivisione in cluster.

pione dell'oggetto e quelle dell'oggetto da classificare oppure, se non sono note le caratteristiche spettrali di campioni, attraverso il raggruppamento dei pixels in differenti classi spettrali utilizzando criteri essenzialmente statistici. Infatti, dato un pixel nel quale sono rappresentate ad esempio tre diverse zone, A (acqua), V (vegetazione) e S (sabbia), come nella Figura 11 (b), per poter classificare l'immagine, si sfrutta il fatto che ogni zona presenta una differente firma spettrale Figura 11 (c), ovvero per ognuna delle tre zo-

ne cambia il rapporto fra le varie bande in rapporto alla loro natura fisica. Ciò permette di individuare nel pixel cluster, che rappresentano ciascuno una diversa zona (Figura 13).

Esistono algoritmi più complessi di quello precedentemente illustrato, che permettono di rendere automatica la classificazione, ovvero di estrarre informazioni atte a produrre elaborati finali, che molto spesso sono costituiti da mappe tematiche del territorio. Essendo questo l'obiettivo primario del telerilevamento, è evidente che il parametro che più interessa è la correttezza dell'interpretazione delle immagini e delle classificazioni che ne derivano, chiamata accuratezza globale.

I tematismi, se studiati adeguatamente su casi emblematici, possono essere molto raffinati, e permettono ad esempio:

- di distinguere i tipi di vegetazione (ad esempio un uliveto da un bosco di altro genere) (Figura 14);
- la ricerca di materiali inquinanti nelle città (Figura 15);
- la ricerca nelle acque di specifici inquinanti eutrofizzanti.

## SAR

Fra i sensori usati nel Remote Sensing che forniscono immagini ad alta risoluzione, il SAR (Synthetic Aperture Radar) gioca un ruolo rilevante nell'osservazione della Terra. La tecnica SAR consiste nella scansione del territorio attraverso impulsi elettromagnetici (microonde) emessi da antenne radio poste su piattaforma satellitare o su aereo (ad es. SIR-A/B/C, ERS-1/2, J-ERS e RADARSAT). Tali impulsi sono riflessi dalla superficie terrestre creando echi di ritorno registrati in ampiezza e fase dall'antenna. Utilizzando due immagini SAR si calcola la fase interferometrica che è legata alla distanza radar-terreno, ed è quindi possibile ottenere accurate mappe plano-altimetriche. Una recente missione satellitare dello Shuttle ha permesso così l'acquisizione in un unico sistema di riferimento coerente dal punto di vista geodetico, di un terreno digitale per le terre emerse di tutto il globo.

Combinando immagini SAR satellitari ricoprenti la medesima porzione di territorio è possibile ottenere i seguenti prodotti:

- Modelli digitali di elevazione (DEM), una delle principali applicazioni del SAR (Figura 16). Con immagini SAR

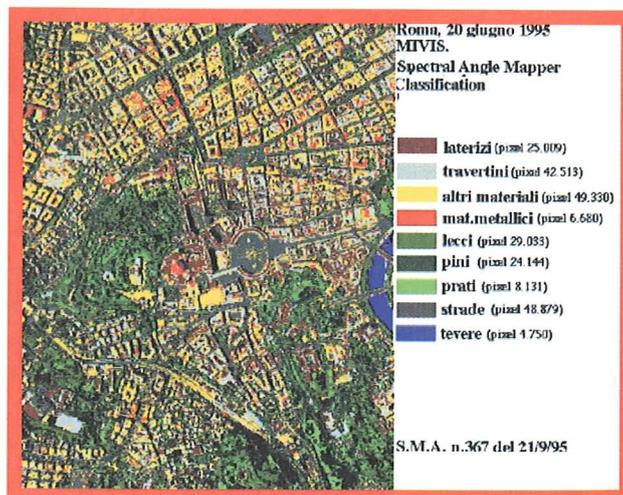


Figura 14: esempio di una carta tematica della città di Roma.

# Invia oggi stesso la cartolina di abbonamento alle pubblicazioni di Geo-IT Communications!

Approfitta della nostra offerta globale che ti consente di risparmiare fino al 25% sul costo di un abbonamento, oppure aderisci ad una delle tre offerte cumulative che ti consentono di abbonarti a due riviste con un risparmio del 15%

Spedire la cartolina in busta chiusa a: **Geo-IT Srl - Salita Poggio Laurentino, 18 00144 Roma** oppure inviarti via Fax al numero **06.54229385**

## Singole Riviste



Un anno (6 numeri) €41 (L. 78.000)



Un anno (12 numeri) €84 (L. 165.000)



Un anno (4 numeri) €26 (L. 50.000)

## Offerta Globale

Comprende l'abbonamento per un anno a tutte le pubblicazioni €114 (L. 220.000)

## Offerta A

Comprende l'abbonamento per un anno a GIM International + GEOmedia €108 (L. 205.000)

## Offerta B

Comprende l'abbonamento per un anno a GIM International + Documenti del Territorio €94 (L. 182.000)

## Offerta C

Comprende l'abbonamento per un anno a GEOmedia + Documenti del Territorio €57 (L. 110.000)

Ragione Sociale \_\_\_\_\_  
 P.I./C.F. \_\_\_\_\_  
 Cognome \_\_\_\_\_ Nome \_\_\_\_\_  
 Indirizzo \_\_\_\_\_ N° \_\_\_\_\_  
 Cap \_\_\_\_\_ Comune \_\_\_\_\_  
 Tel. \_\_\_\_\_ Fax \_\_\_\_\_  
 E-mail \_\_\_\_\_

### Tipo di organizzazione

- Società di ingegneria
- Consulenza
- Formazione
- Università
- Produttore
- Assoc. Categoria
- PAC
- PAL
- Ente parco
- Comunità montana
- Uff. Tecnico
- Altro \_\_\_\_\_

### Attività primaria

- Cartografia
- Rilievi GPS
- Topografia, Geodesia
- Catasto
- GIS/SIT
- Ingegneria del territorio
- Protezione ambientale
- Banche dati territoriali
- Formazione
- Editoria
- Consulenza
- Altro \_\_\_\_\_

Desidero sottoscrivere l'abbonamento annuale a:

- GEOmedia  GIM International  Documenti del territorio

Oppure desidero sottoscrivere la seguente offerta cumulativa:

- Offerta Globale  Offerta A  Offerta B  Offerta C

Scelgo di pagare secondo quanto appresso indicato:

- Bonifico bancario sul c/c n. 6188 - ABI 3556 - CAB 03214 presso la Rolo Banca Ag. 15 - Roma, intestato a Geo-IT S.r.l.

- Conto corrente postale n. 27187038 intestato a : Geo-IT S.r.l.

- Pagamento con carta di credito

- VISA  Carta si  Amex  Diners Club

N° carta \_\_\_\_\_

Data Scadenza \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_



I dati forniti saranno utilizzati in conformità alle norme L. 675/96



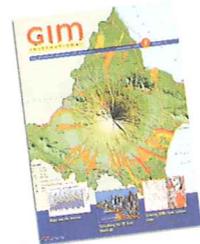
## Già presenti nella tecnologia del futuro

GEOmedia la newsletter italiana di geomatica. Si occupa di cultura, tecnologie e strumenti operativi nel campo della cartografia, geodesia, fotogrammetria, topografia, catasto, GIS e telerilevamento, GPS e tecnologie correlate, attraverso un approccio tecnico e divulgativo.

È lo strumento informativo di base per chi opera nel settore delle scienze della terra e delle tecnologie avanzate del Geo-IT.

## GIM International

Il magazine internazionale di geomatica distribuito in 103 paesi nel mondo.



## La rivista ufficiale delle regioni italiane per le informazioni geografiche e territoriali



CENTRO INTERREGIONALE DI COORDINAMENTO E DOCUMENTAZIONE PER LE INFORMAZIONI TERRITORIALI

### NUOVA EDIZIONE

Rinnovata nella veste grafica, nelle rubriche, nella gestione redazionale. Ed ora anche aperta alle inserzioni pubblicitarie degli operatori del settore e della pubblica amministrazione locale.

Ragione Sociale \_\_\_\_\_  
 P.I./C.F. \_\_\_\_\_  
 Cognome \_\_\_\_\_ Nome \_\_\_\_\_  
 Indirizzo \_\_\_\_\_ N° \_\_\_\_\_  
 Cap \_\_\_\_\_ Comune \_\_\_\_\_  
 Tel. \_\_\_\_\_ Fax \_\_\_\_\_  
 E-mail \_\_\_\_\_

### Tipo di organizzazione

- Società di ingegneria
- Consulenza
- Formazione
- Università
- Produttore
- Assoc. Categoria
- PAC
- PAL
- Ente parco
- Comunità montana
- Uff. Tecnico
- Altro \_\_\_\_\_

### Attività primaria

- Cartografia
- Rilievi GPS
- Topografia, Geodesia
- Catasto
- GIS/SIT
- Ingegneria del territorio
- Protezione ambientale
- Banche dati territoriali
- Formazione
- Editoria
- Consulenza
- Altro \_\_\_\_\_

Desidero sottoscrivere l'abbonamento annuale a:

- GEOmedia  GIM International  Documenti del territorio

Oppure desidero sottoscrivere la seguente offerta cumulativa:

- Offerta Globale  Offerta A  Offerta B  Offerta C

Scelgo di pagare secondo quanto appresso indicato:

- Bonifico bancario sul c/c n. 6188 - ABI 3556 - CAB 03214 presso la Rolo Banca Ag. 15 - Roma, intestato a Geo-IT S.r.l.

- Conto corrente postale n. 27187038 intestato a : Geo-IT S.r.l.

- Pagamento con carta di credito

- VISA  Carta si  Amex  Diners Club

N° carta \_\_\_\_\_

Data Scadenza \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_



I dati forniti saranno utilizzati in conformità alle norme L. 675/96



Figura 15: il telerilevamento applicato alla individuazione di amianto.

aventi pixel di 10-20 m, si ottengono DTM con precisione di circa 10 m.

- Serie temporali di spostamento di bersagli radar (*permanent scatters*). Tali bersagli sono oggetti già esistenti sul territorio (ad es. manufatti), che hanno la caratteristica di riflettere sempre allo stesso modo il segnale radar se le condizioni ambientali sono le stesse. Grazie ad un nuovo algoritmo denominato Tecnica ps (Tre Telerilevamento Europa, [www.tre.polimi.it](http://www.tre.polimi.it)) e brevettato a livello nazionale ed internazionale dal Politecnico di Milano è quindi possibile individuare con esattezza:
  - le deformazioni del territorio (aree in subsidenza, frane, faglie sismiche attive, bradisismi) oppure di edifici, impianti industriali, strutture architettoniche, ponti (mm/anno).

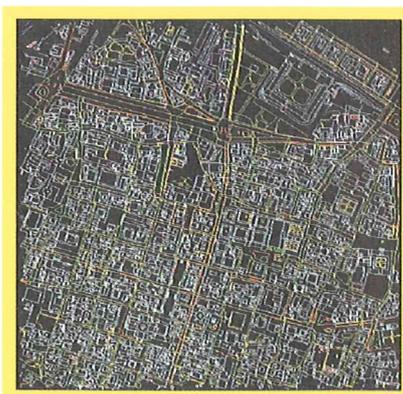
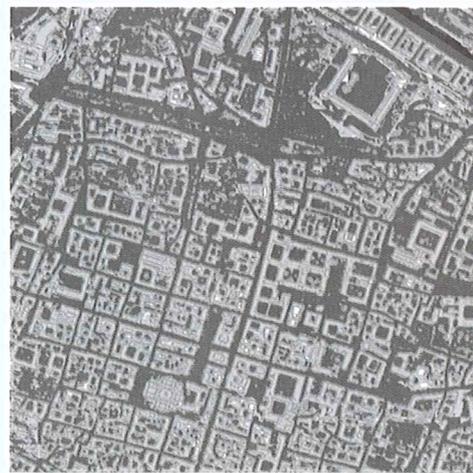


Figura 17: a sinistra la carta tecnica di Pavia, a destra la carta tecnica restituita.



- i campi di velocità (accuratezza tra 0.1 e 1 mm/anno).
- l'altimetria corretta (m).

## Laser scanning

Il laser scanning consente la scansione del territorio per mezzo di un telemetro laser posto su aereo. Con questa tecnica viene determinata la distanza dal terreno in funzione del tempo impiegato da un raggio laser a percorrere il tragitto di andata e ritorno. La risoluzione orizzontale delle immagini è molto elevata (1 m) e consente di restituire DTM con preci-

sioni anch'esse molto elevate (s ~ 10 cm). Di fatto il laser scanning si pone oggi per le elevate precisioni raggiungibili come la migliore tecnica per la determinazione di modelli di superficie, seppure per l'impiego cartografico a grandissima scala resta aperto il problema di distinguere la forma naturale del terreno dagli oggetti che vi insistono (vegetazione, manufatti ...).

Nell'ambito di un progetto cofinanziato dal MURST, sono state approfondite le conoscenze sul laser scanning utilizzando come area di studio la città di Pavia.

Fra i prodotti ottenuti vi è l'aggiornamento della carta tecnica della città (Figura 17). Inoltre, sono stati messi appunto con successo particolari algoritmi in grado di riconoscere e restituire in maniera semiautomatica strutture complesse da questo punto di vista, come la sommità della vegetazione e gli edifici. In Figura 18 l'esempio di un edificio dal tetto ondulato.

## GIS

Le informazioni geografiche raccolte con le tecniche di posizionamento precedentemente descritte dopo essere state georeferenziate, utilizzando ad esempio il GPS, e inquadrare nella cartografia ufficiale, possono essere corredate da informazioni testuali e statistiche, trovando la loro naturale collocazione nei GIS (Geographical Information System).

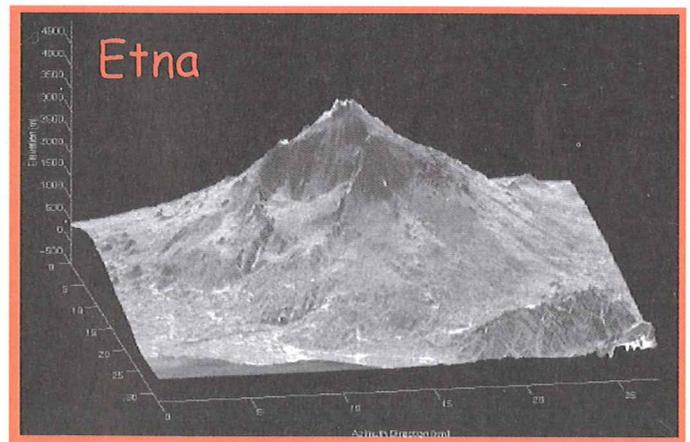


Figura 16: DTM dell'Etna (immagine fornita da Tre Telerilevamento Europa).

Un GIS è un insieme organizzato di:

- procedure (componenti software - motori del GIS),
- risorse umane (strutture organizzative, metodi di lavoro),
- risorse materiali (dati, componenti hardware).

Impiegate per:

- la raccolta,
- l'archiviazione,
- l'elaborazione,
- la comunicazione, di informazioni necessarie ad una organizzazione per gestire le proprie attività operative e di governo.

Un GIS non è quindi solo l'insieme dei motori software che si occupano di acquisire e aggiornare, pretrattare, archi-

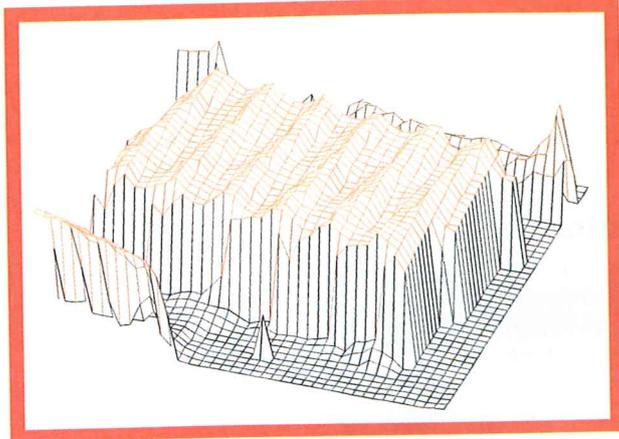


Figura 18: restituzione di un edificio con tetto ondulato.

viare, analizzare e rappresentare in forma grafica con carte e diagrammi un certo fenomeno georeferenziabile, ma è un modello del mondo reale.

L'elemento caratterizzante un GIS rispetto ai sistemi informativi tradizionali è l'aspetto geografico che funge da supporto a tutte le informazioni in esso raccolte.

I dati georeferenziati possono essere ripartiti a un primo esame nelle categorie principali di entità o di campi.

Alla prima categoria appartengono gli oggetti discontinui, delimitati spazialmente da confini ben precisi ed, eventualmente, caratterizzati da specifici attributi: un esempio di modello a entità è la ripartizione del territorio in aree normative piuttosto che il grafo descrittivo di una rete di infrastrutture di trasporto; in ambito GIS le entità vengono usualmente rappresentate mediante modelli vettoriali, eventualmente topologici, cui vengono associate opportune tabelle di attributi.

I campi sono viceversa rappresentativi di fenomeni continui quasi ovunque nel dominio di definizione (ad esempio il rumore ambientale o l'altimetria del territorio); i campi vengono usualmente discretizzati, e rappresentati mediante matrici regolari di attributi (modello *matrix* o *raster* georeferenziato), oppure mediante reti irregolari di triangoli (modelli TIN).

Il modello vettoriale appare più funzionale ai GIS usati per pianificazione, gestione di reti e in ambito amministrativo. Il modello raster trova la sua applicazione principale in ambiti connessi all'analisi di fenomeni naturali, quali la geofisica, la modellazione atmosferica e ambientale. Spesso in un GIS complesso si ha la coesistenza di entità e campi e quindi si deve prevedere la possibilità di entrambi i tipi di modellazione. Oltre a ciò, ci sono elaborazioni che risultano più semplici o ve-

loci se eseguite su dati raster o su dati vettoriali.

La suddivisione in fenomeni modellabili con modello vettoriale o modello raster non va quindi intesa in senso rigido (un modello dati vettoriale può essere sempre approssimato con un modello raster di adeguata risoluzione e viceversa) ed allo stato attuale, la tendenza è verso il modello ibrido dei dati (raster/vettoriale in funzione delle necessità e del tipo di analisi da effettuare).

I dati geografici, indipendentemente dalla categoria di appartenenza, sono caratterizzati da un aspetto spaziale (geometria e/o topologia), un aspetto semantico (attributo/i associato/i al dato) e un aspetto di qualità (dato dalle categorie di accuratezza, completezza ed aggiornamento).

La geometria di un fenomeno, descritta per mezzo di coordinate di punti e funzioni matematiche, ha come elementi standard di base le primitive geometriche (ad esempio: punto, curva, superficie, griglia, pixel, ecc. ...) e dipende dal sistema geodetico di riferimento adottato e dalla scala di rappresentazione. La topologia permette la descrizione delle relazioni topologiche tra le entità (ad esempio: l'adiacenza, la connessione ed il contenimento), è invariante per deformazioni elastiche e continue (ad esempio trasformazioni di datum o di sistema di coordinate) ed è descritta a partire da primitive topologiche (ad esempio: nodo, arco, faccia, ecc. ...).

In una visione ad alto livello di un motore GIS (componenti software del GIS), descritta in figura 19, possiamo individuare innanzitutto delle funzioni di preprocessing che operano su dati grezzi (derivati da rilevamento diretto o indiretto sul terreno, da digitalizzazione di cartografia esistente e da documenti) e portano a dati strutturati che risiedono nell'archivio geometrico-statistico del GIS. Tali dati possono essere visualizzati a video o riprodotti su supporto cartaceo per riprodurre cartografia analoga a quella tradizionale. Nel GIS sono però previste anche funzioni di base di elaborazione dei dati quali:

- ricerca degli elementi contenuti in una certa regione;
- ricerca degli elementi contenuti entro una certa distanza; la zona che interessa la ricerca è detta *buffer* e può essere

riferita a un punto, una linea o un'area;

- ricerca degli elementi connessi ad un certo oggetto: la topologia nella modellazione dei dati geografici è stata introdotta proprio per facilitare queste ricerche;
- ricerca delle regioni dello spazio che sono più vicine a ogni elemento di un insieme di dati irregolarmente distribuiti (creazione dei poligoni di Thiessen/ diagrammi di Voronoi);
- ricerca di tutti gli elementi caratterizzati da un certo tipo di fenomeno (è una ricerca basata sull'analisi degli attributi);
- ricerca di tutti gli elementi caratterizzati da una certa combinazione di fenomeni (ad esempio le regioni dello spazio che sono adatte per un certo tipo di infrastruttura in quanto presentano determinate caratteristiche dal punto di vista della vegetazione, tipologia del suolo, urbanizzazione, ecc....).

Il risultato dell'interrogazione semplice o complessa della base geometrica/statistica dei dati può ovviamente essere visualizzata in un output cartografico (eventualmente con report associati) ed il risultato è una carta derivata costruita a partire dalle cartografie di base archiviate nel GIS.

Poiché i GIS archiviano i dati secondo un modello a strati (ogni tematismo corrisponde ad un particolare strato informativo) è possibile eseguire interrogazioni complesse, come l'ultima citata, mediante un'operazione, detta analisi di sovrapposizione (*overlay*).

Le prestazioni delle tecniche di sovrapposizione sono generalmente migliori nel caso in cui si considerino degli strati informativi raster perché in questo caso i confronti sono eseguiti avendo come unità di base il pixel.

Nel caso invece si considerino superfici/facce o altre entità vettoriali, il calcolo è complicato dal fatto che, prima che venga eseguito il confronto tra gli elementi dei diversi strati, tutti i dati devono essere ridotti ad un singolo insieme di superfici/facce che risultino dall'intersezione di strati differenti.

Ciò richiede una combinazione di operazioni geometriche e topologiche: dapprima il software che gestisce la sovrapposizione trova le intersezioni delle linee che appartengono a superfici/facce sovrapposte e spezza le linee che ne definiscono i contorni nei punti di intersezione; successivamente le nuove linee sono combinate per definire i contorni di tutte le superfici/facce risultanti dalla sovrapposizione. Infine le nuove superfici/facce vengono classificate in base alla combi-

nazione delle proprietà dei dati originali.

Funzioni presenti nei GIS possono essere quelle che prevedono l'analisi spaziale (ad esempio diversi metodi di interpolazione più o meno raffinati a seconda del GIS per la creazione di modelli digitali di superfici e/o mappe tematiche), analisi di reti, analisi di percorsi (ad esempio: l'elaborazione/visualizzazione di dati GPS rilevati in modalità cinematica).

Accanto a queste funzioni "di base", in alcuni GIS possono esserne implementate altre, sempre a carattere generale, ma più raffinate: ad esempio funzioni di sovrapposizione che pesino in modo differenziato strati informativi ai quali si voglia attribuire diversa importanza, funzioni basate sulla programmazione lineare, su sistemi a regole o che utilizzino approcci di logica fuzzy o bayesiani per la combinazione dei dati.

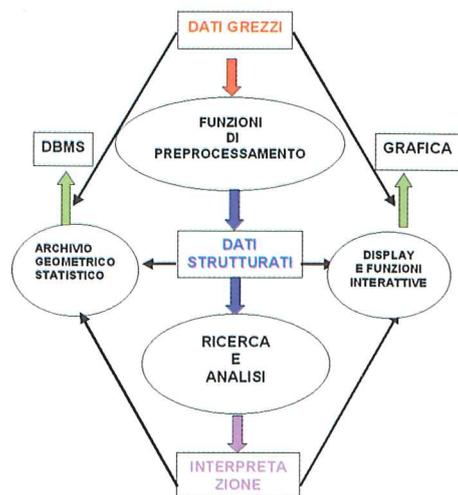


Figura 19: schema di un motore GIS

Lo sviluppo di queste nuove funzionalità nei GIS trae origine da settori separati dall'ambito della cartografia tradizionale, quali ad esempio la statistica spaziale, l'intelligenza artificiale e la ricerca operativa.

Oltre alle funzionalità a carattere generale implementate nei motori GIS standard, ci possono essere delle funzioni specifiche legate alla tipologia del GIS. Ovviamente gli applicativi e le scale spaziali di applicazione dei GIS possono essere molteplici. A titolo d'esempio citiamo quindi solo in conclusione di questo paragrafo il caso del GIS relativo al pro-

getto europeo ISOLA, di cui è capofila il Comune di Modena (<http://www.comune.modena.it/isola> - fig. 20). Il progetto si propone di utilizzare, contemporaneamente e interattivamente, le informazioni relative allo stato del territorio (Ecobilancio), alla pianificazione urbanistica (Ecopiano) e alle azioni locali per l'ambiente (Ecogestione) per l'attuazione dell'Agenda 21 locale in un'ottica di sviluppo sostenibile (Fig. 21).

Il Sistema Informativo di ISOLA deve supportare quindi:

- analisi delle condizioni ambientali e dell'esposizione al rischio di degrado del territorio;
- analisi dei livelli di pressione esercitata dalle attività antropiche sull'ambiente naturale;
- calcolo di indicatori e parametri di controllo per la valutazione di politiche ambientali;
- definizione di indicatori e parametri di controllo per la valutazione dei piani di sviluppo;
- diffusione al pubblico, mediante server Web, di parte dei dati e degli elaborati.

Ognuno di questi punti richiede l'implementazione di funzionalità specifiche all'interno o a lato di motori GIS standard esistenti. In particolare per quanto concerne l'analisi delle condizioni ambientali, presso il Politecnico di Milano - Polo di Como, si sta sviluppando all'interno del motore GIS GRASS, un modello di calcolo della sofferenza acustica in funzione di diversi scenari di traffico veicolare (Figura 22).



Figura 22: particolare della carta della sofferenza acustica rilevata per la città di Modena: in nero sono visualizzati gli edifici, in rosso le zone, adiacenti alle strade, corrispondenti a sofferenza acustica, in verde le zone corrispondenti a condizione di non sofferenza acustica.

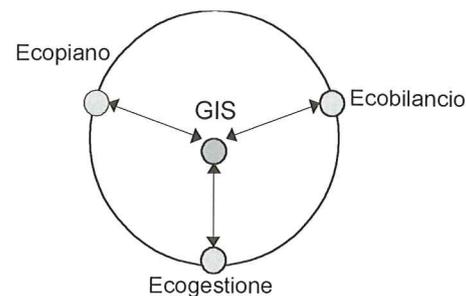


Figura 21: il GIS ISOLA

## Conclusioni

Lo sviluppo tecnologico delle tecniche di rilevamento e lo sviluppo hardware e software per la gestione dell'informazione ha reso possibile l'acquisizione e la gestione di una rilevante quantità di dati. Alla luce della sempre crescente quantità di informazione, rimane da sviluppare ulteriormente la sua qualità, determinata dalla:

- accuratezza del posizionamento. L'informazione deve essere georeferenziata correttamente, per cui occorre migliorare la precisione delle tecniche di posizionamento (ad es. GPS).
- accuratezza semantica. Per poter distinguere le varie informazioni e quindi per avere accesso ai dati necessari ai propri scopi è necessario attribuire ai dati stessi un significato che deve essere inequivocabile.
- accuratezza temporale. I dati, oltre ad essere georeferenziati, ovvero inquadrati in un sistema di riferimento spaziale, devono avere come attributo l'informazione temporale di quando sono stati rilevati, fondamentale ad esempio in tutte le analisi geofisiche ed ambientali.
- completezza e consistenza.

La geomatica non può prescindere quindi dalla definizione di standard di qualità dei dati e di accuratezza di metodi implementati. Gli automatismi di produzione di analisi georeferenziate, che possono fungere da supporto anche a decisori, non possono quindi prescindere da valutazioni di qualità dell'informazione.

## Bibliografia

Surace L. (1997), "La nuova rete geodetica nazionale IGM95: risultati e prospettive di utilizzazione", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, 3: 357-378.

A. BORGHI, M.A. BROVELLI, F. SANSÒ  
DIIAR-RILEVAMENTO, POLITECNICO DI MILANO,  
P.ZZA L. DA VINCI 32, MILANO,  
ale@geo.polimi.it - maria@geo.polimi.it - fsanso@geo.polimi.it

**ISOLA**  
Information System for the Orientation of Local Actions

Figura 20: logo del progetto ISOLA