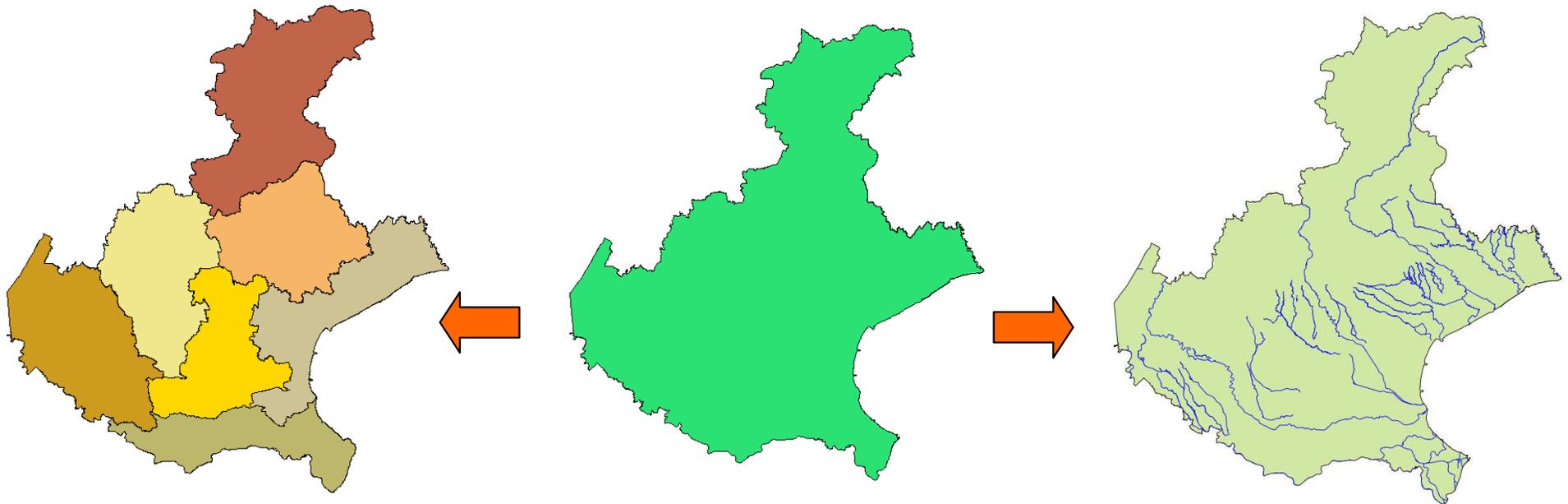


- ▶ **Le fonti dell'informazione geografica**
- ▶ **Rilievi topografici (GPS)**
- ▶ **Aerofotogrammetria, LiDAR e TLS**
- ▶ **Sistemi di rilevamento dinamico (MMS)**
- ▶ **Telerilevamento**
- ▶ **Cartografia di base e tematica**

Introduzione

Un GIS viene impiegato per **molteplici finalità**, ognuna delle quali richiede delle scelte a vari livelli.

Ad esempio il medesimo contesto geografico può essere analizzato con lo **stesso modello di dati** ma secondo **punti di vista differenti**.

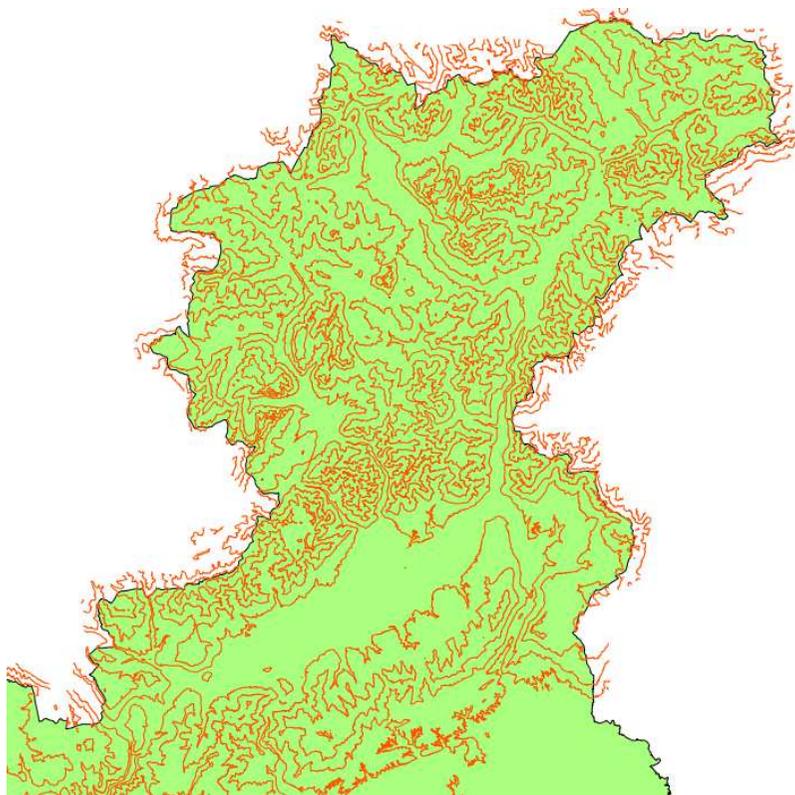


Limiti amministrativi provinciali

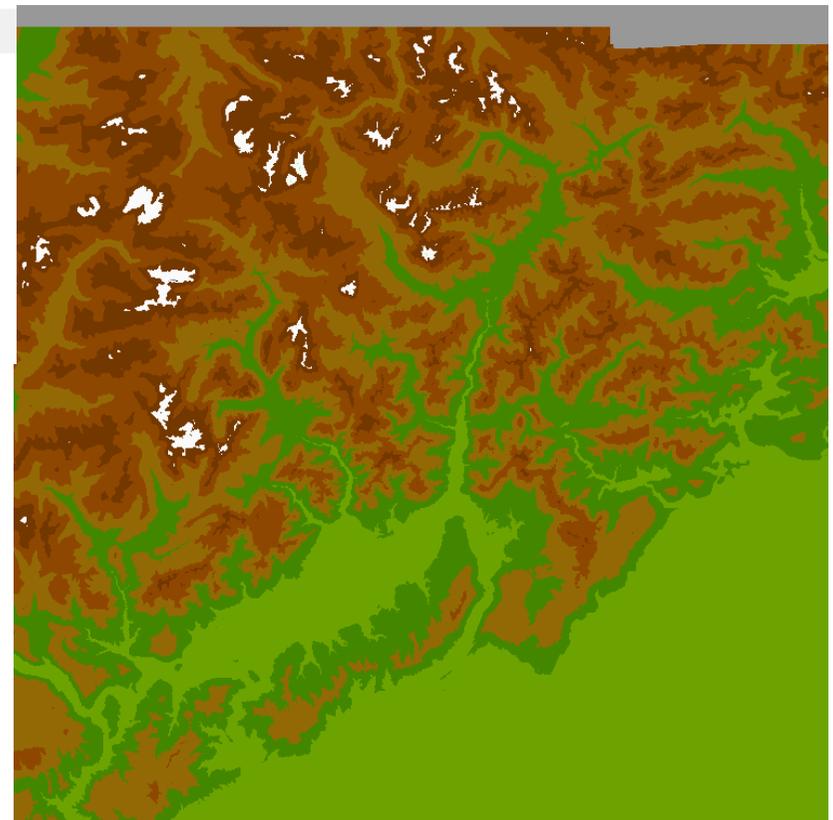
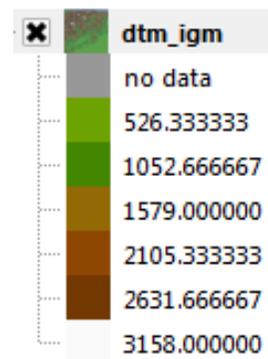
Rete idrografica principale

In altri casi può accadere il viceversa, cioè lo **stesso oggetto/fenomeno** può essere rappresentato con un **differente modello dei dati** .

Esempio: rappresentazione elevazione del terreno (provincia di Belluno)



Curve di livello (passo 500 m)



DTM (raster GRID)

La **scelta del modello** dei dati **più adatto** dipende principalmente dal tipo di elaborazione ed analisi che si vuole condurre in ambiente GIS.

Nel caso in cui i dati non siano già disponibili ma debbano essere acquisiti ex-novo, la tipologia di modello adottato può condizionare la metodologia di acquisizione (rilievi topografici sul campo oppure acquisizione da database, da cartografia, immagini aeree, ecc.).

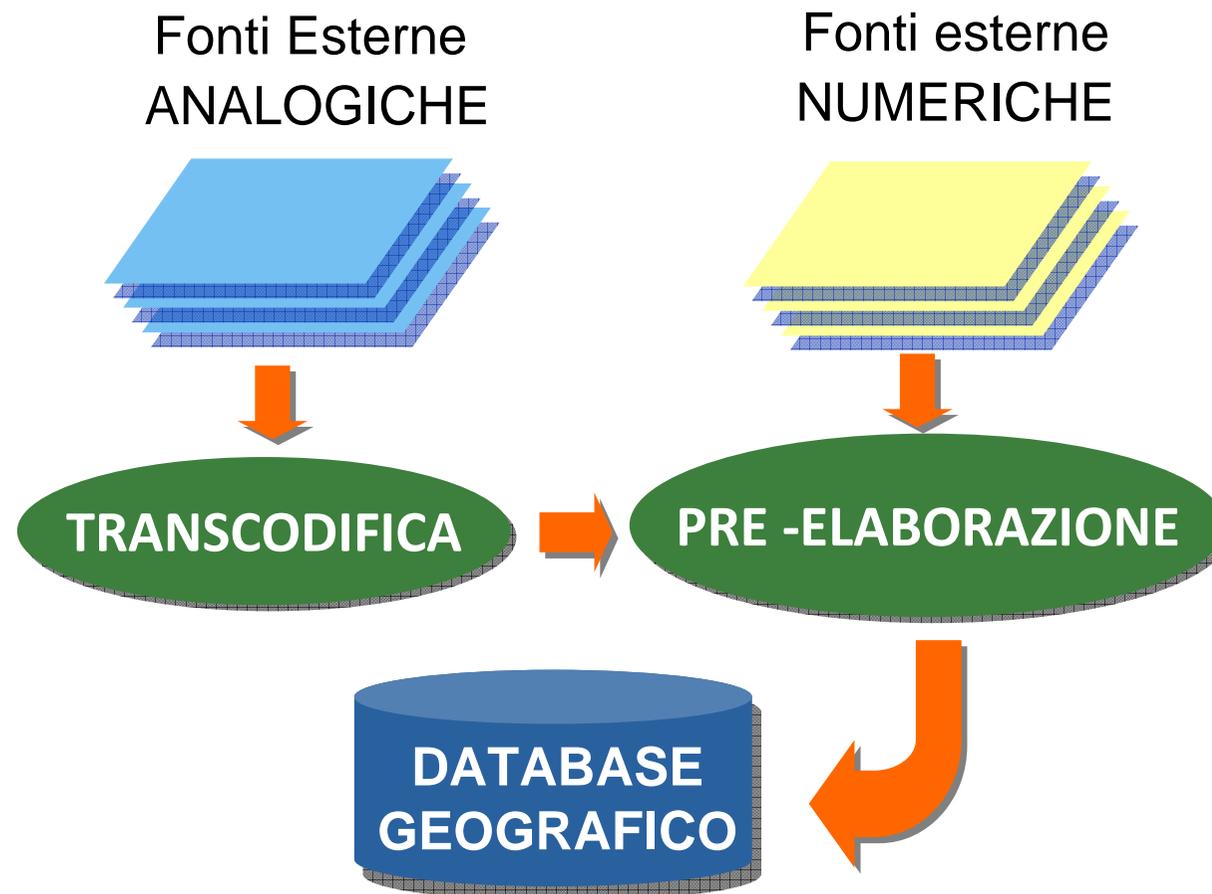
A seconda dei metodi di acquisizione utilizzati e degli scopi dell'analisi GIS, diverso potrà essere anche

- il grado di **accuratezza** della componente spaziale;
- il grado di **dettaglio** del modello dati impiegato;
- la **quantità** stessa dei dati richiesti.

Le fonti dell'informazione geografica

Le fonti di informazione di dati territoriali (spaziali e aspatiali) possono essere suddivise in due categorie:

- fonti **analogiche**
- fonti **numeriche**



Fonti analogiche: il dato non è in un formato tale da poter essere usato direttamente dal PC (es. mappe in formato cartaceo).

Fonti numeriche: il dato è già in formato numerico e quindi direttamente utilizzabile dal software GIS (es. ortofoto, misure GPS, tabelle di attributi, ecc.).

Transcodifica: generalmente le fonti analogiche devono essere sottoposte ad una prima operazione di transcodifica (es. scannerizzazione), attraverso la quale esse vengono riportate in formato numerico.

Pre-elaborazione: al dato in formato numerico viene applicata una serie di processi per renderlo adatto ad essere inserito in un database geografico, secondo le regole con cui questo è strutturato (es. organizzazione/ proprietà degli attributi, sistema di riferimento, ecc.).

Una peculiarità dei GIS è quella di essere in grado di utilizzare dati spaziali e aspatiali provenienti da **fonti diverse**.

Le principali sorgenti di dati geografici per un GIS sono le seguenti:

- Banche dati già esistenti
- Rilievi topografici (*GPS*)
- Aerofotogrammetria
- Laser scanning aereo (*LiDAR*) e terrestre (*TLS*)
- Sistemi di rilevamento dinamico (*MMS, Mobile Mapping Systems*)
- Immagini telerilevate (*Remote Sensing*)
- Cartografia (*in formato cartaceo e numerico*)

Acquisizione da basi informative già esistenti

- Tecnica di acquisizione più immediata ed apparentemente più semplice.
- Non sempre i dati sono disponibili nel formato e/o nel modello adatto alle nostre elaborazioni.
- E' quindi opportuno considerare sempre i seguenti aspetti:
 - sistema di coordinate di riferimento (per dati spaziali);
 - formato dei dati (analogico o numerico);
 - copertura geografica (estensione e grado di omogeneità);
 - modello fisico dei dati (vector o raster per dati numerici);
 - prezzi e limitazioni d'uso;
 - presenza di **metadati** (informazioni descrittive dei dati stessi).

Acquisizione da rilievi topografici

Il rilevamento topografico viene utilizzato non solo per la produzione di cartografia, ma anche e soprattutto per il rilevamento di dati territoriali specifici.

Il **GPS** è lo strumento topografico più frequentemente utilizzato per applicazioni GIS.

Sul mercato sono disponibili ricevitori GPS professionali creati specificatamente per applicazioni GIS, che per ogni oggetto rilevato consentono di registrare

- le coordinate di posizione (componente spaziale);
- gli **attributi**, inseriti in appositi database interni.

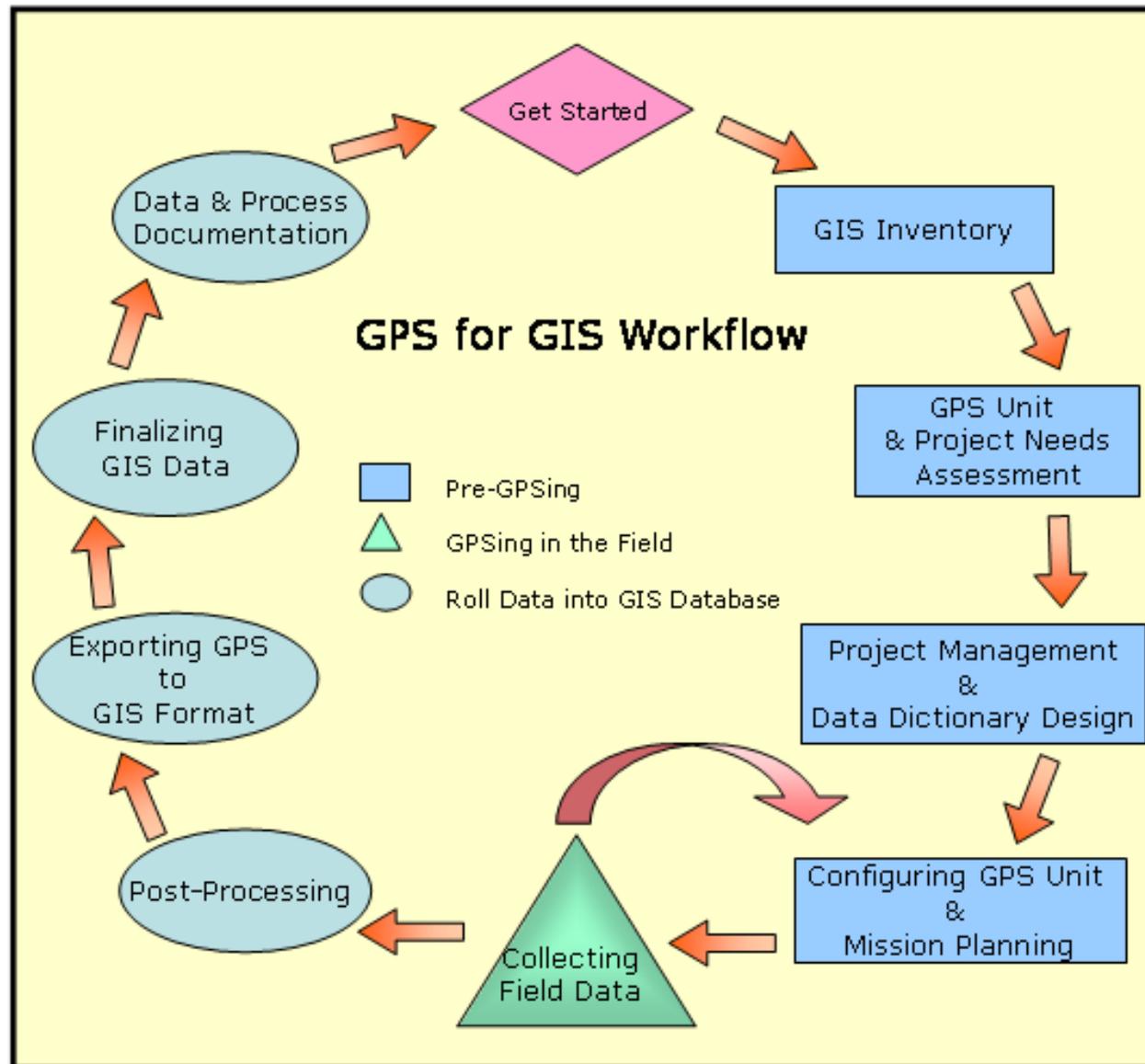
I dati acquisiti possono poi essere esportati in formati leggibili direttamente dai software GIS.

Generalmente le funzionalità GIS sono rese disponibili sui ricevitori GPS tramite software aggiuntivi di terze parti (es. ArcPad di ESRI).

Esempio di ricevitori GPS per applicazioni GIS



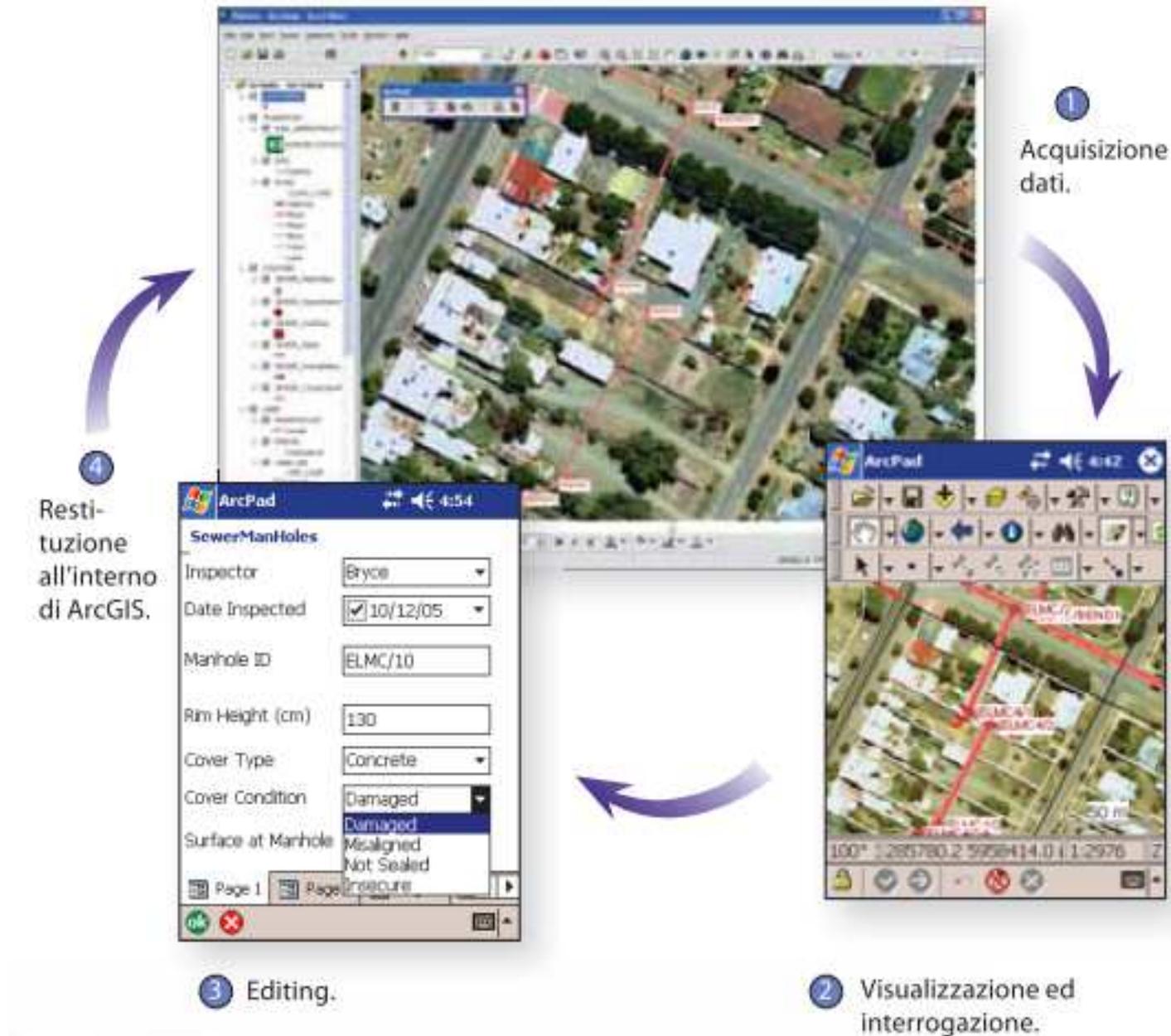
Procedura di acquisizione di dati GPS per GIS



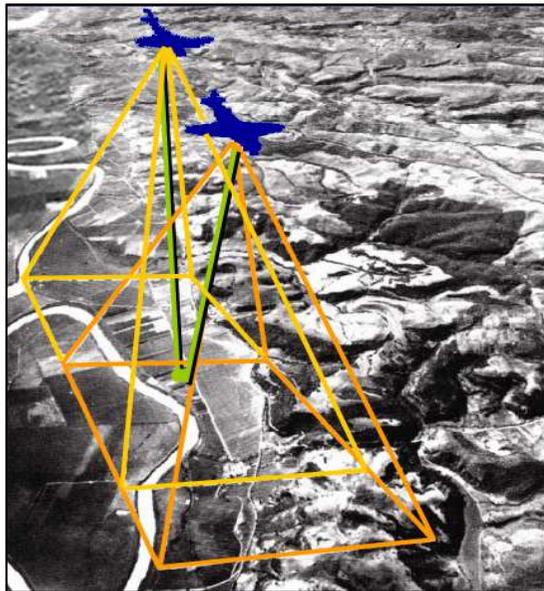
Esempio di rilievi GPS per applicazioni GIS



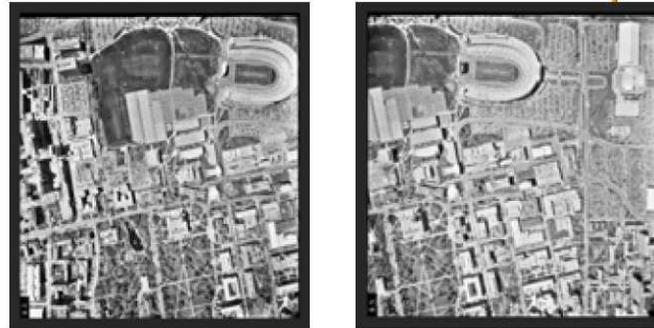
Esempio di acquisizione dati GPS/GIS in ArcPad



Acquisizione da aerofotogrammetria



Volo
aerofotogrammetrico



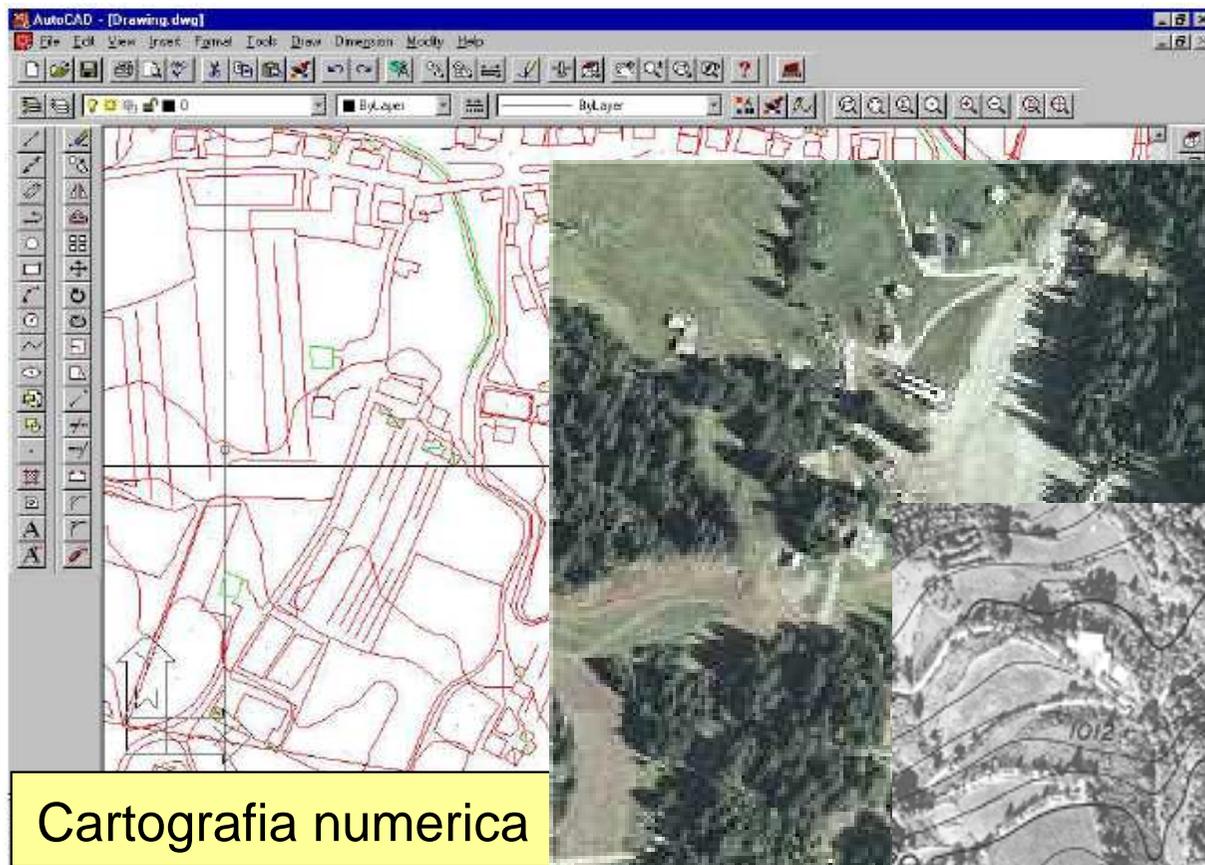
Elaborazione di
coppie di fotogrammi



Stereorestitutore
digitale

- PRODOTTI**
- Cartografie
 - DTM
 - Ortofoto
 - Ortofotocarte
 - Carte tematiche

Esempi di prodotti aerofotogrammetrici



Acquisizione da rilievi LiDAR e TLS

La tecnica della scansione laser (*Laser scanning*) permette di rilevare **forme**, **dimensioni** e **posizione** di un oggetto mediante la misura di un elevato numero di **punti** della sua superficie attraverso una sequenza di impulsi laser variamente orientati.

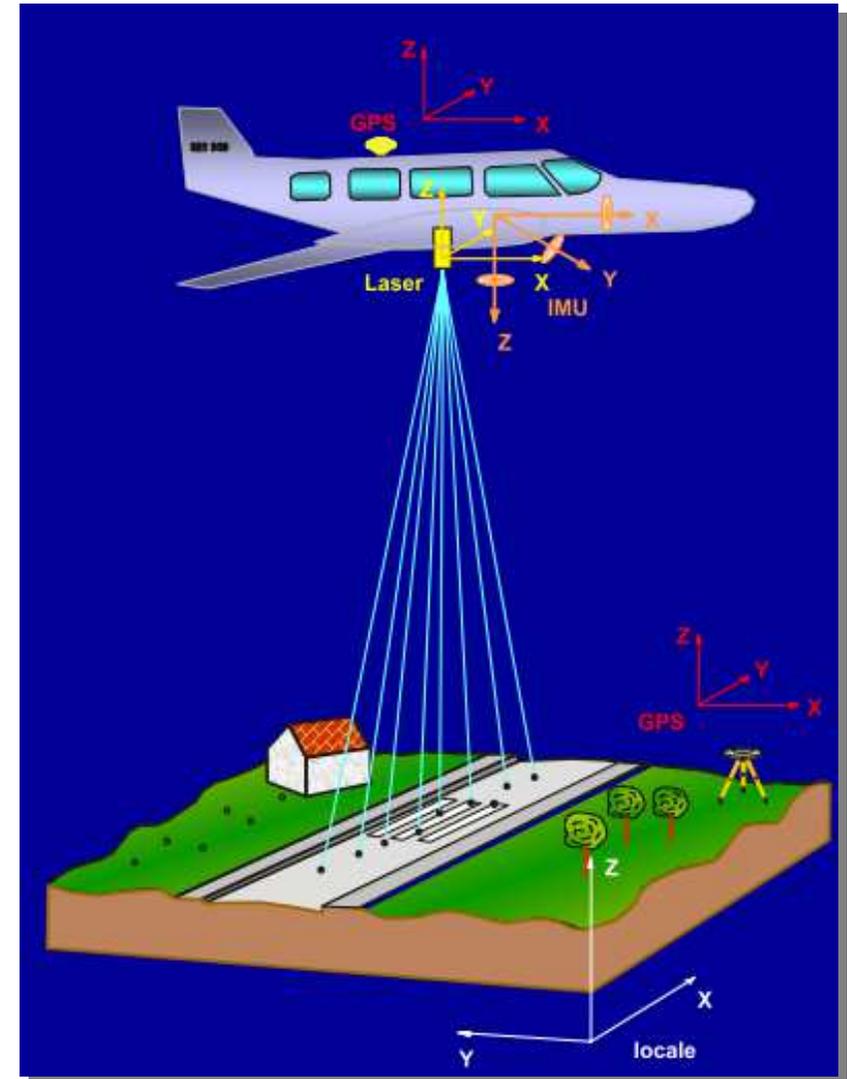
Questa tecnologia è impiegata in svariate applicazioni: dal rilievo architettonico mediante apparecchiature a terra, alle tecniche per la generazione di DSM e DTM dettagliati grazie all'uso di apparecchiature montate su aeromobili.

In particolare si parla di:

- **LiDAR** (*Light Detection And Ranging*)
 - **ALS** (*Airborne Laser Scanner*)
 - **TLS** (*Terrestrial Laser Scanner*) → per sistemi terrestri
- } per sistemi aerei

Funzionamento del LiDAR

- Il **raggio laser** viene generato e ricevuto mediante una particolare emettitore montato sul velivolo (aereo o elicottero).
- Con tale raggio si misura la **distanza** tra il velivolo ed il punto illuminato.
- La direzione dell'impulso luminoso varia costantemente grazie ad uno **specchio** (rotante o oscillante), "spazzolando" il terreno secondo un percorso a zig-zag.
- La conoscenza di **posizione** e **assetto** del velivolo in ogni istante è assicurata da un sistema integrato GPS-INS che permette di determinare la posizione nello spazio dei punti che hanno riflesso il raggio laser.





Saab TopEye

Unità di controllo e
registrazione dati



Sensore
laser

Optech ALTM Gemini

Sensore laser



Riegl LMS-Q560

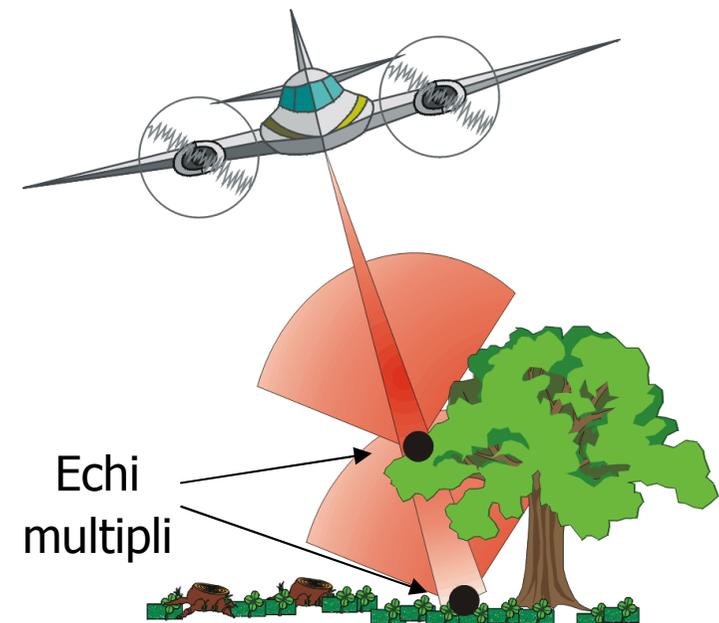
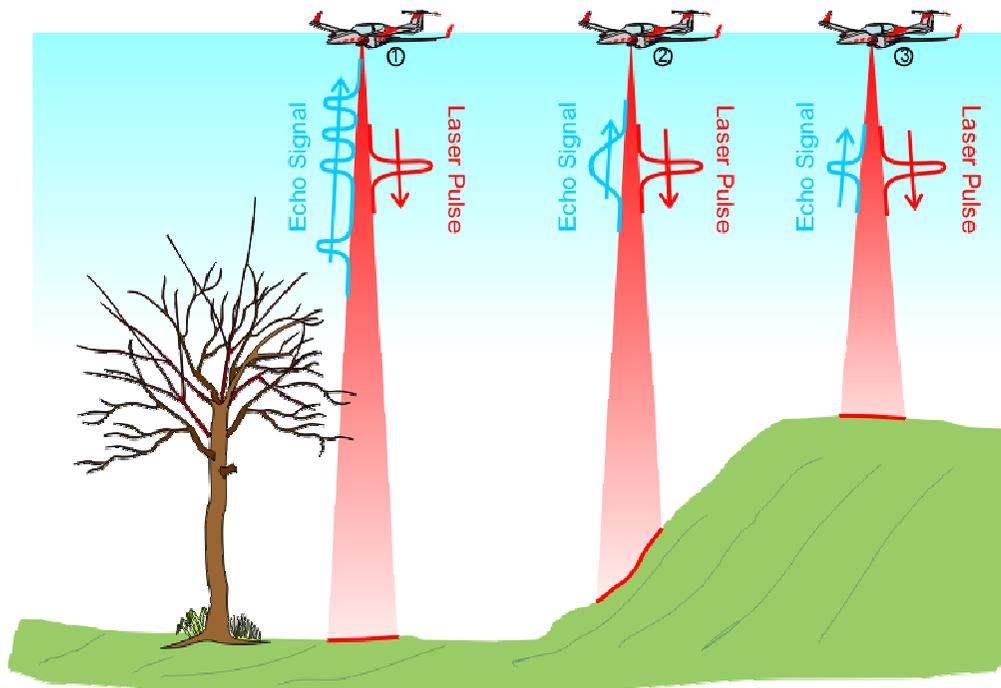
Unità di
registrazione dati



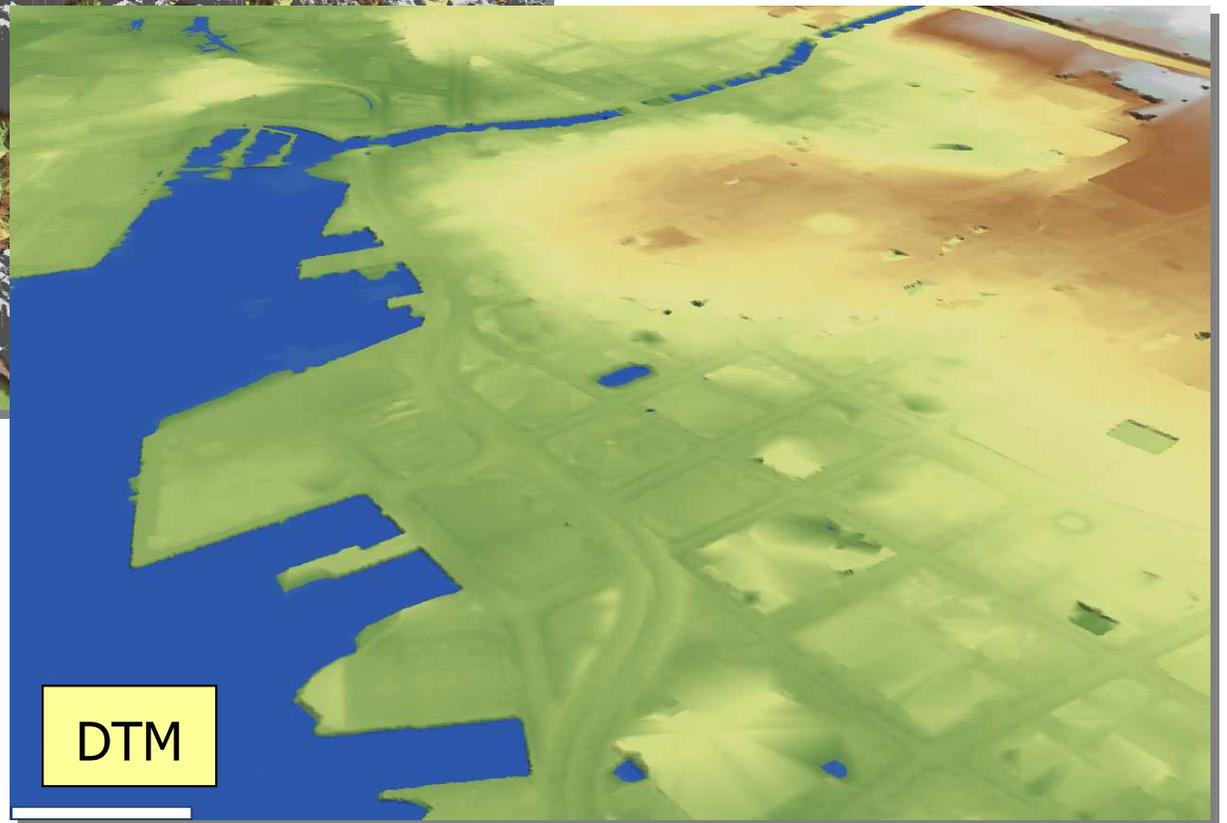
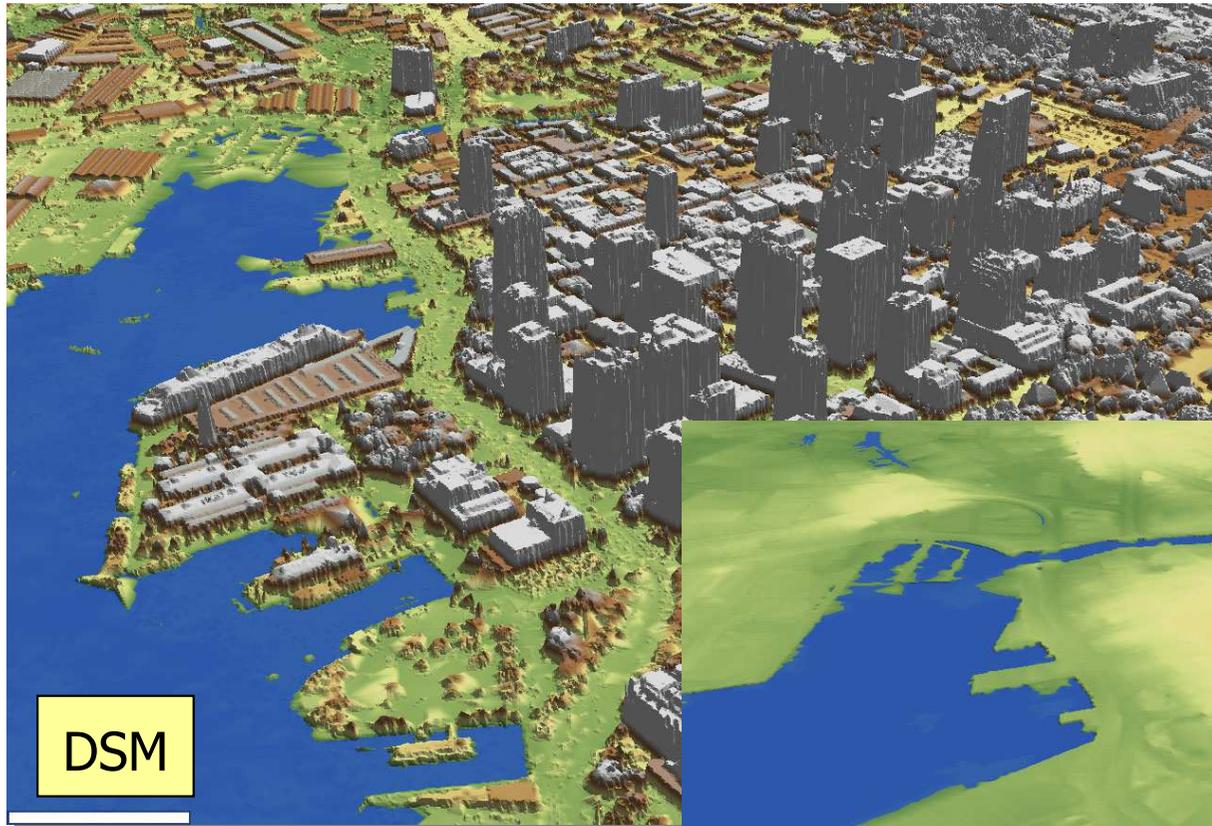
A causa della **divergenza**, il raggio laser aumenta il suo diametro man mano che si propaga nell'ambiente → area di impatto, non singolo punto.

Quando l'area di impatto dell'impulso laser incontra un ostacolo (foglie, fili sospesi, cornicioni) questo viene riflesso in tempi differenti: si producono più segnali di ritorno (**echi multipli**).

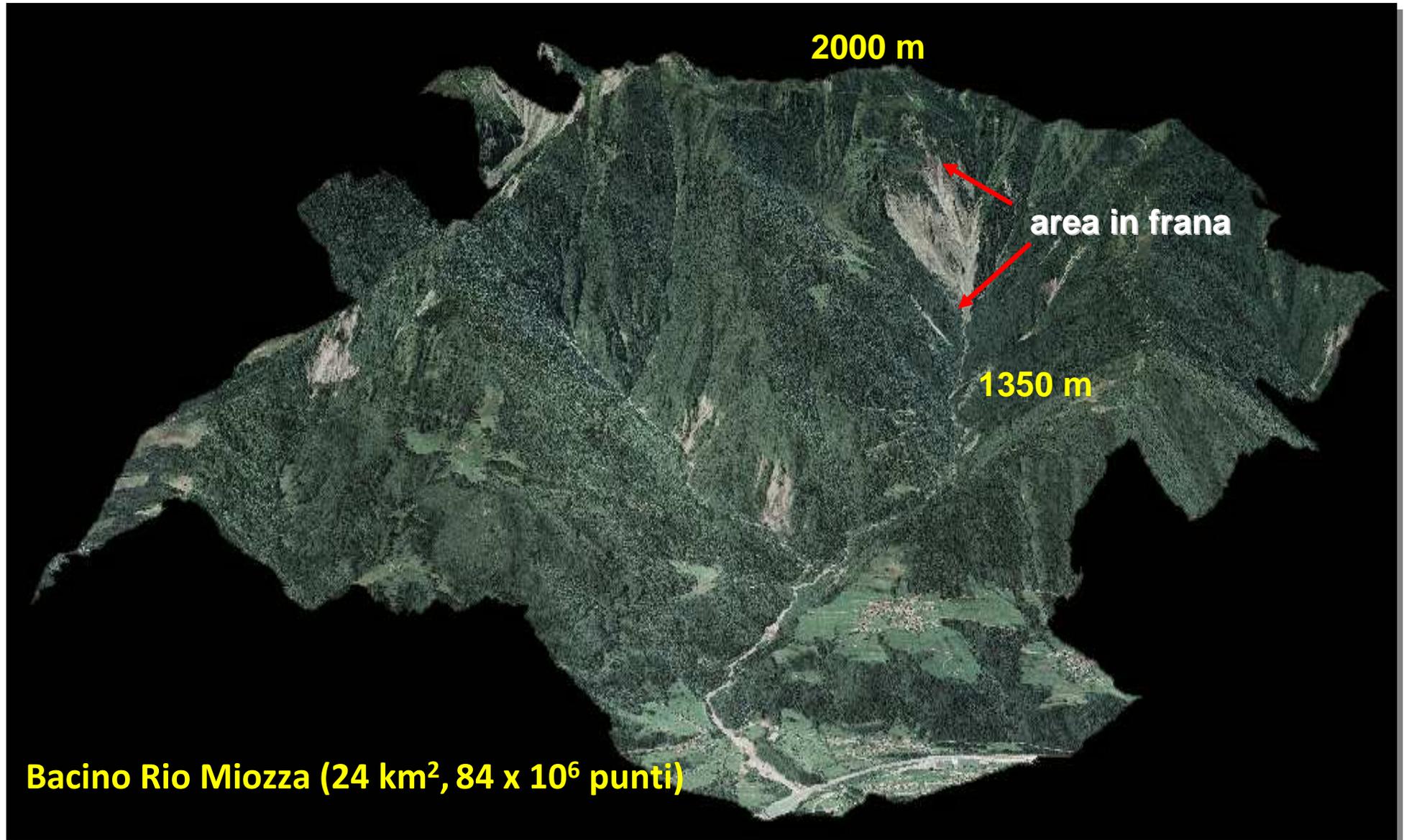
Sfruttando tali echi è possibile **classificare** il tipo di superficie colpita dal raggio laser, discriminando tra punti terreno e NON-terreno.



Prodotti di rilievi LiDAR: DSM e DTM



Rilievo LiDAR del bacino del Rio Miozza



Modello TIN LiDAR del bacino del Rio Miozza (Ovaro, UD) con ortofoto sovrapposta.

Funzionamento del TLS

- Il principio di funzionamento di un laser scanner terrestre è analogo a quello del LiDAR: si misurano le **distanze laser-oggetto** e da queste si ricavano le coordinate 3D del punto colpito dal raggio laser.
- I TLS si differenziano tra loro principalmente per i seguenti fattori:
 - **distanza massima** di misura ($\sim 100 \text{ m} \div 2 \text{ km}$), funzione anche della riflettività del materiale,
 - **velocità di acquisizione** ($1000 \text{ pti/sec} \div 600\text{k pti/sec}$),
 - **precisione** nel posizionamento dei punti ($\sim 6 \text{ mm} \div 20 \text{ mm}$),
 - **lunghezza d'onda** del segnale laser emesso (infrarosso \div visibile).
- Grazie all'adozione di specchi girevoli o oscillanti e a meccanismi di rotazione della struttura attorno al proprio asse verticale, la maggior parte dei TLS è dotata di un ampio campo di vista, quasi sferico.

I TLS trovano ampio utilizzo in tutti i settori applicativi nei quali è necessario poter disporre rapidamente di un **modello tridimensionale** della scena o oggetto di interesse.

In particolare i TLS sono impiegati in architettura, ingegneria civile, geofisica, ingegneria ambientale, in ambito forestale, ecc.

Esempi di strumenti TLS



Riegl
LMS-Z620



Riegl
VZ1000



Optech
iLRIS 3D



Leica C10

Esempio: rilievo della frana del Rio Miozza (UD)

Caso di studio:

Calcolo in ambiente GIS del volume di materiale detritico movimentato a seguito di due eventi franosi.



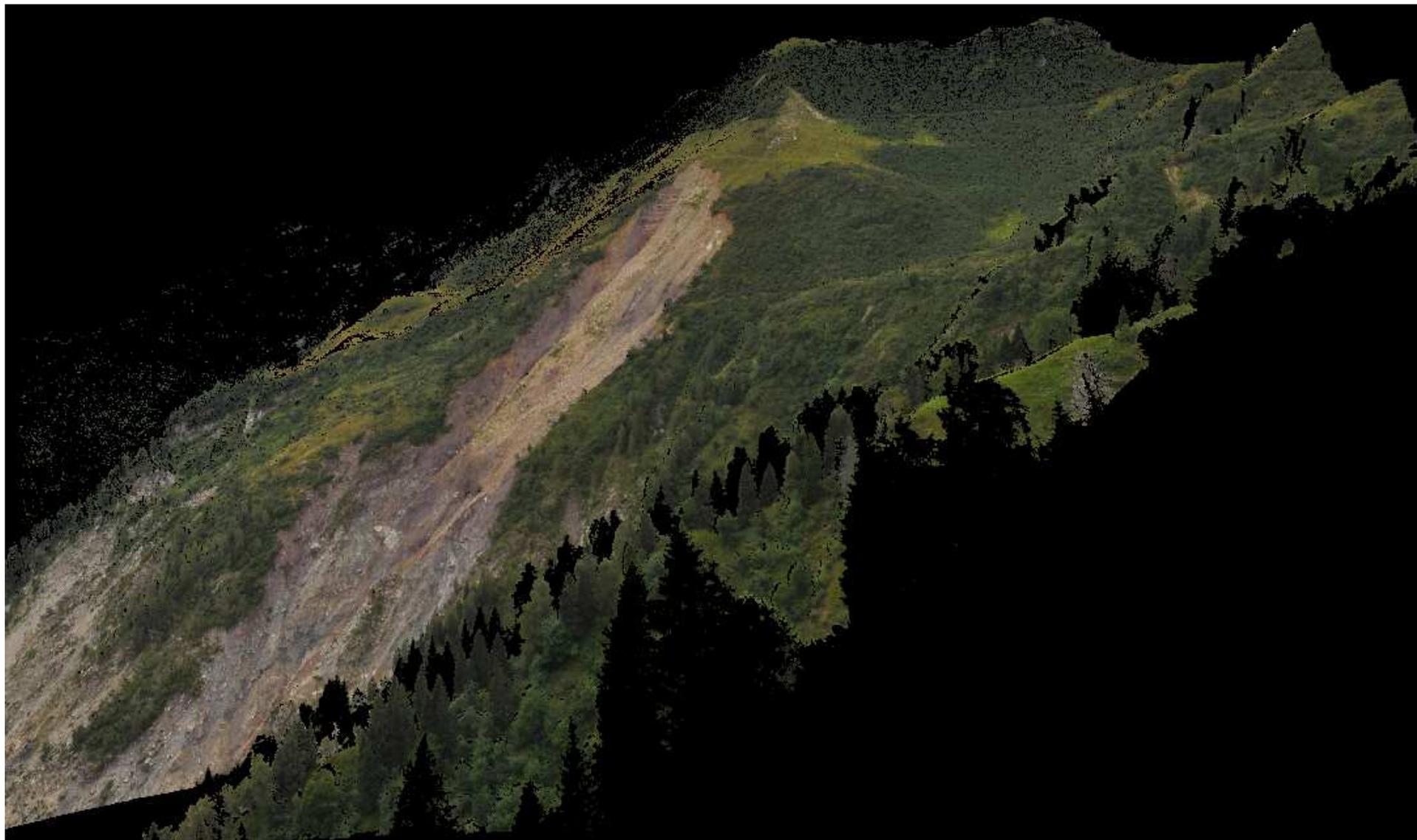
Dati tecnici

Strumentazione impiegata: Riegl LMS-Z620 + GPS L1-L2 Topcon

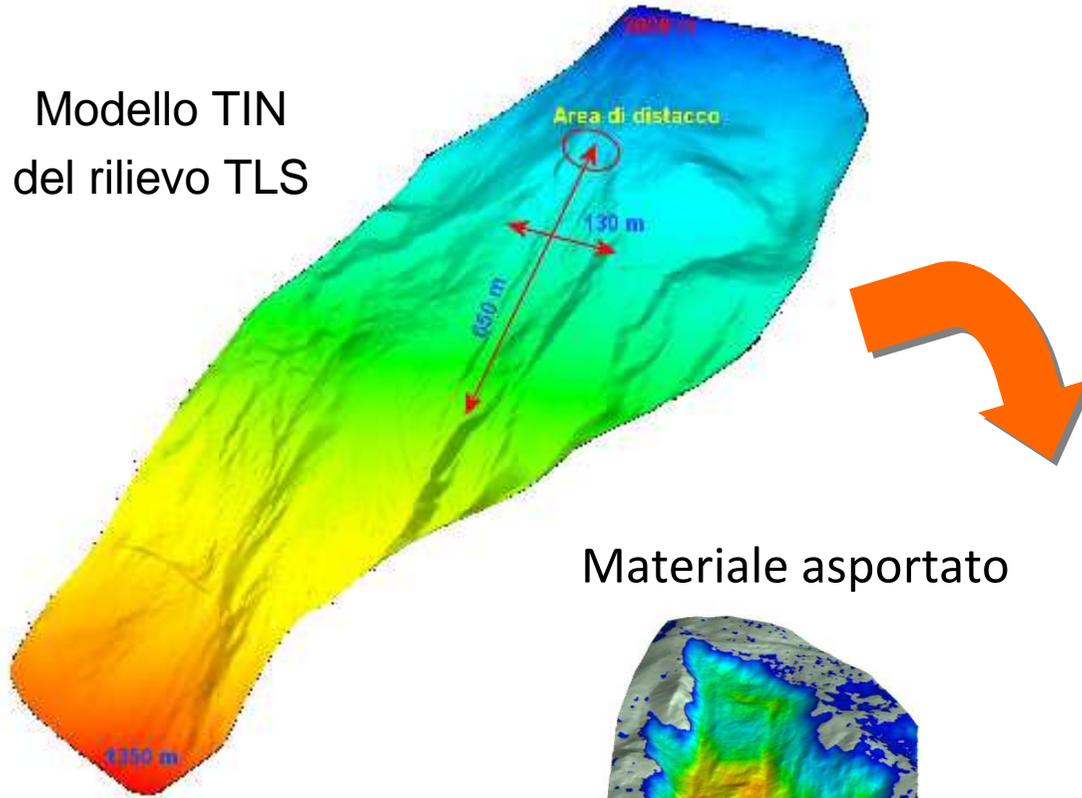
Distanza operativa: 1100 m

Altitudine: \approx 1900 m

Nuvola di punti 3D acquisita con TLS

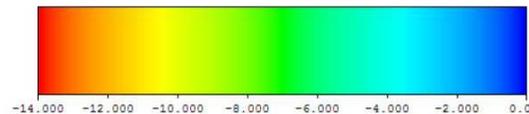
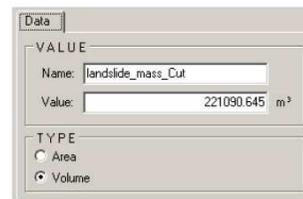
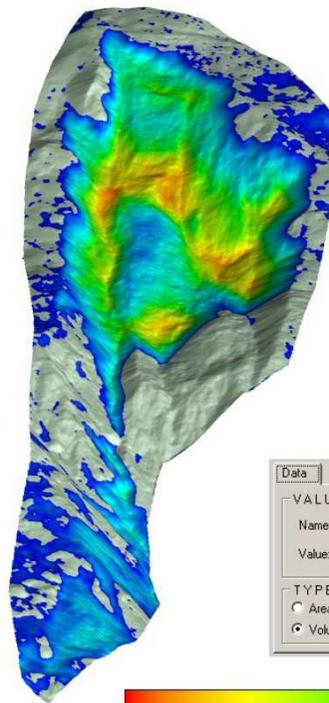


Modello TIN
del rilievo TLS

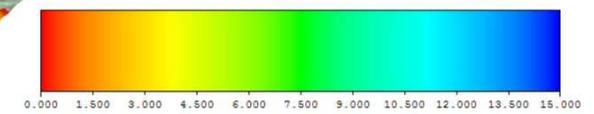
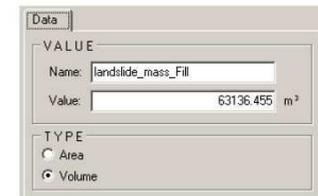
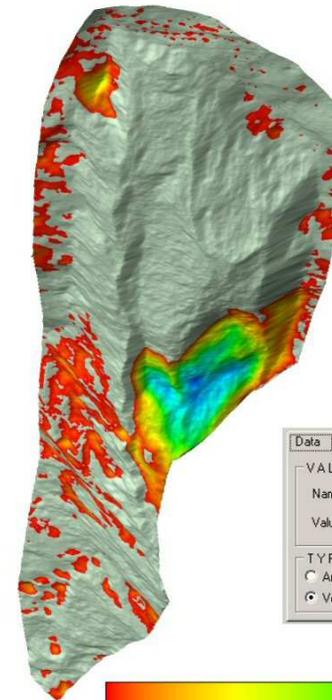


Calcolo del volume di materiale
detrítico movimentato tramite
raster GRID ottenuto per
interpolazione dalla nuvola di
punti laser.

Materiale asportato



Materiale depositato



Esempio 2: rilievo del ghiacciaio del Montasio (UD)

Obiettivo:

Calcolo del bilancio di massa nevosa e delle velocità superficiali di un ghiacciaio di bassa quota (1910 m).



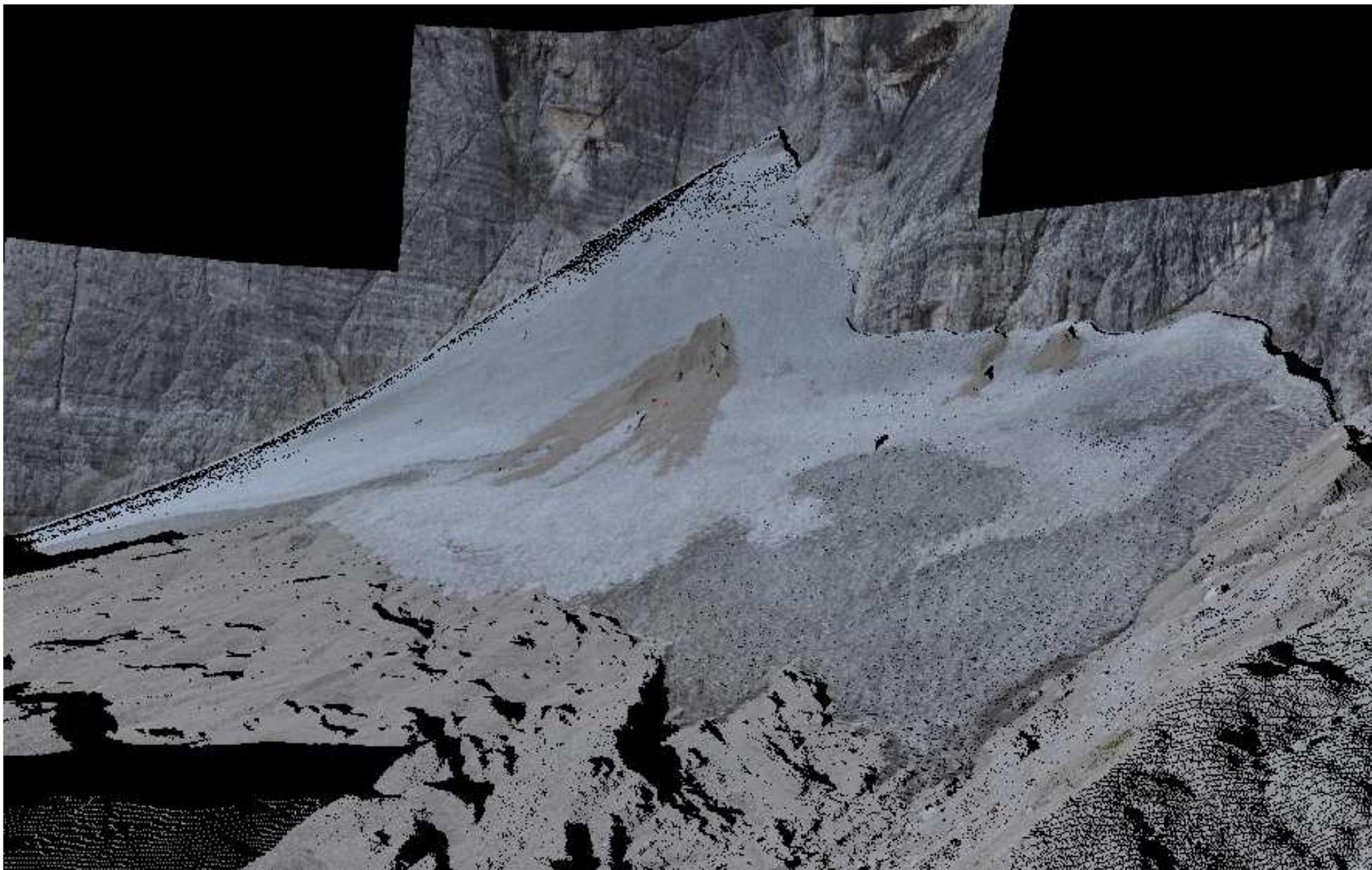
Dati tecnici

Strumentazione impiegata: Riegl LMS-Z620 + GPS L1-L2 Topcon

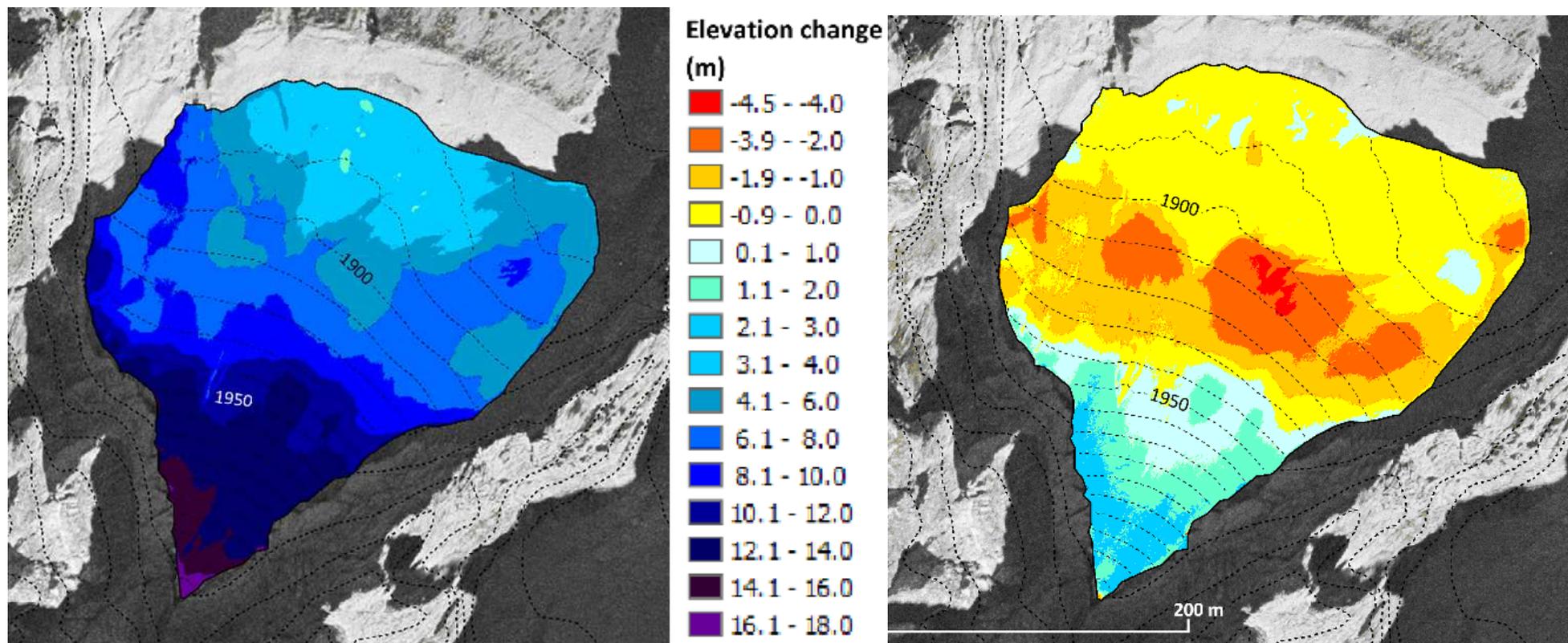
Distanza operativa: ~ 300 m

Altitudine: 1900 m

Nuvola di punti 3D acquisita con TLS



Dalle nuvole di punti acquisite con il TLS Riegl Z620 in epoche successive (Settembre 2010, Maggio 2011 e Settembre 2011), prima sono stati creati i corrispondenti raster GRID delle quote e poi questi sono stati confrontati tra loro, cella per cella, per determinare le **variazioni di quota** intervenute.



Settembre 2010 - Maggio 2011

Settembre 2010 - Settembre 2011

Acquisizione da Mobile Mapping System

- Un **MMS** è un sistema di rilevamento **dinamico** che integra sulla stessa piattaforma mobile (furgone) strumenti per il posizionamento di precisione (GPS, INS, odometri) con fotocamere e/o videocamere per l'acquisizione di immagini digitali.
- Lo sviluppo di tali sistemi è stato alimentato dalla necessità di acquisire velocemente e a basso costo dati geografici accurati e aggiornati sia per **applicazioni GIS** sia per la formazione ed il mantenimento del **catasto strade**.
- Il **limite applicativo** degli MMS è dato dal fatto che essi possono rilevare solo ciò che risulta visibile dalla sede stradale.



Transmap On-Sight (USA)

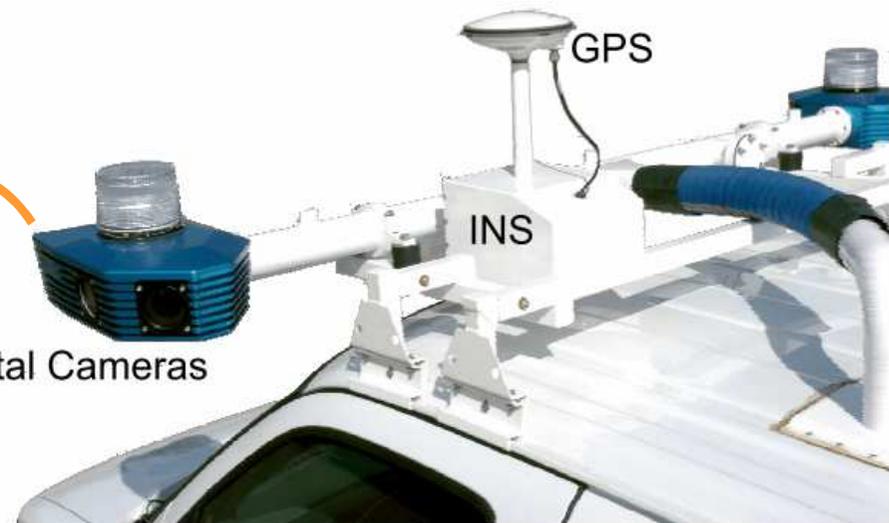


TeleAtlas

VISAT (*Video Inertial Satellite*)
sviluppato in Canada nei primi
anni '90. Costo: ~ 500.000 €



Digital Cameras



Giove srl



DAVS

(Data Acquisition Vehicle System)

Univ. Trieste



GigIONE

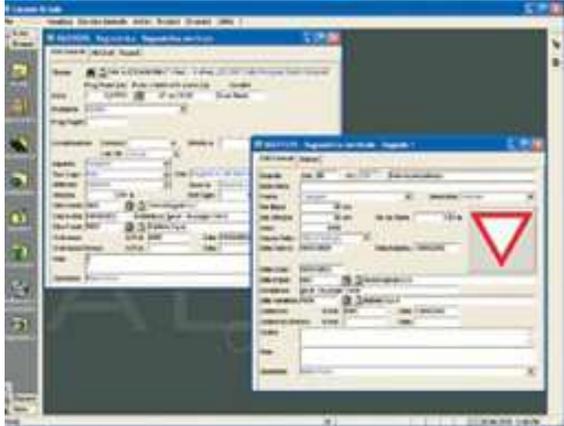
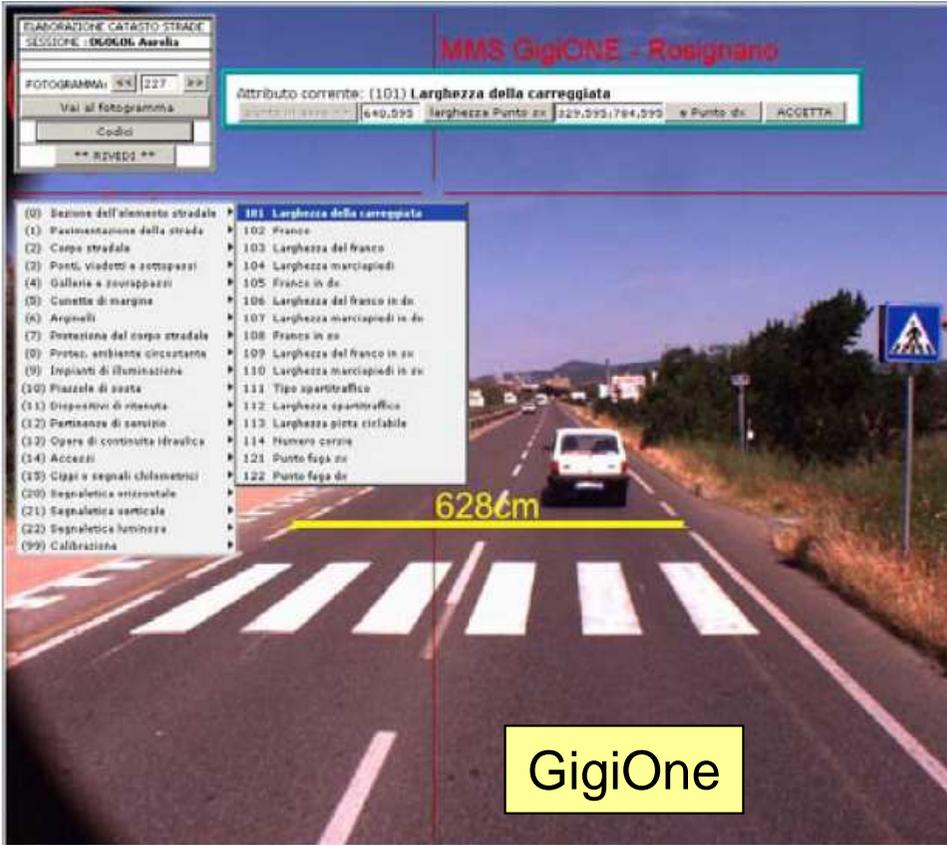
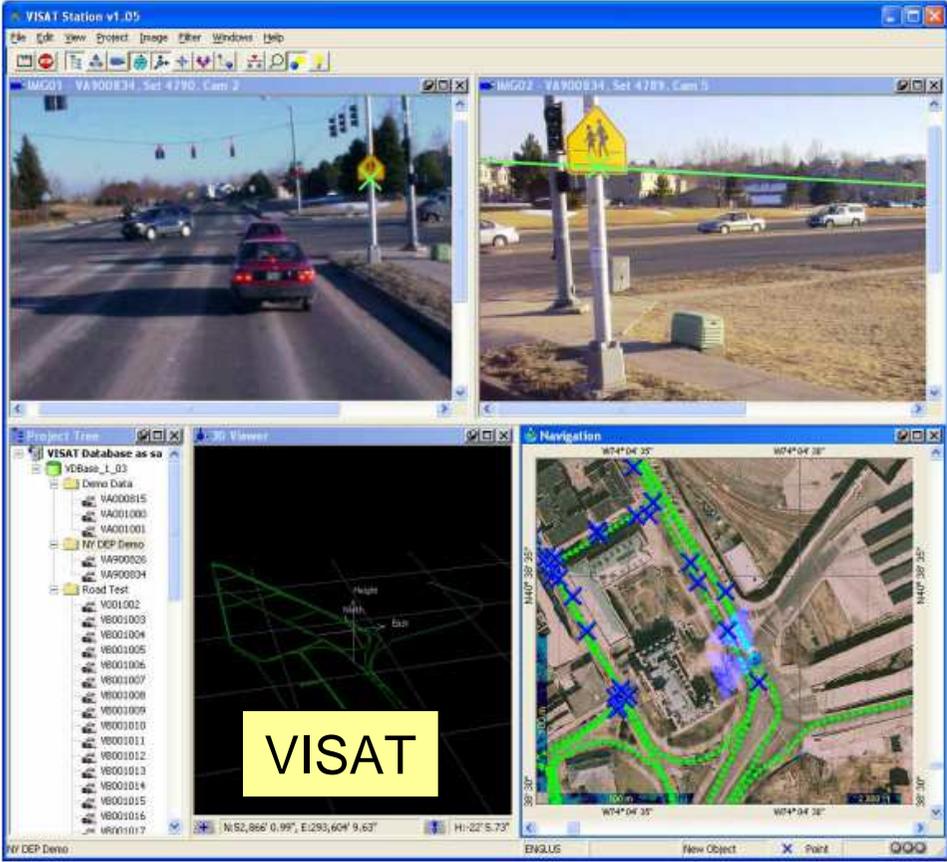
(Gps Inertial Glonass Integrated ONE)



Interno del DAVS



Esempi di acquisizione dati per GIS



DAVS

Evoluzione MMS: Mobile Laser Scanning



Optech LYNX Mobile Mapper

- Rispetto agli MMS tradizionali il sottosistema di visione viene sostituito da un **set di TLS**.
- Consentono di acquisire direttamente dati tridimensionali georeferenziati.
- Costi molto elevati.



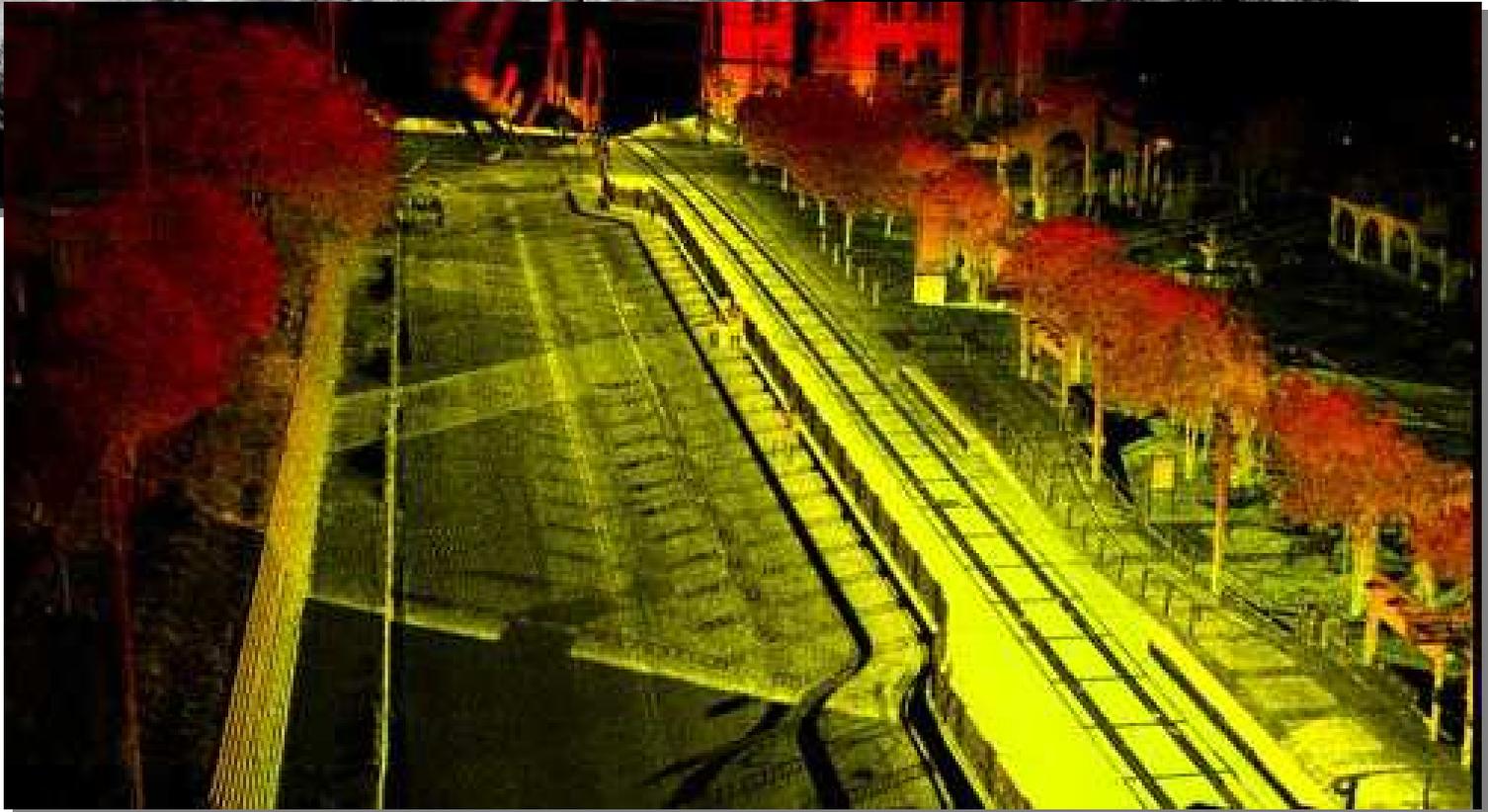
Street Mapper

Topcon IP-S2



Esempi di rilievi MLS



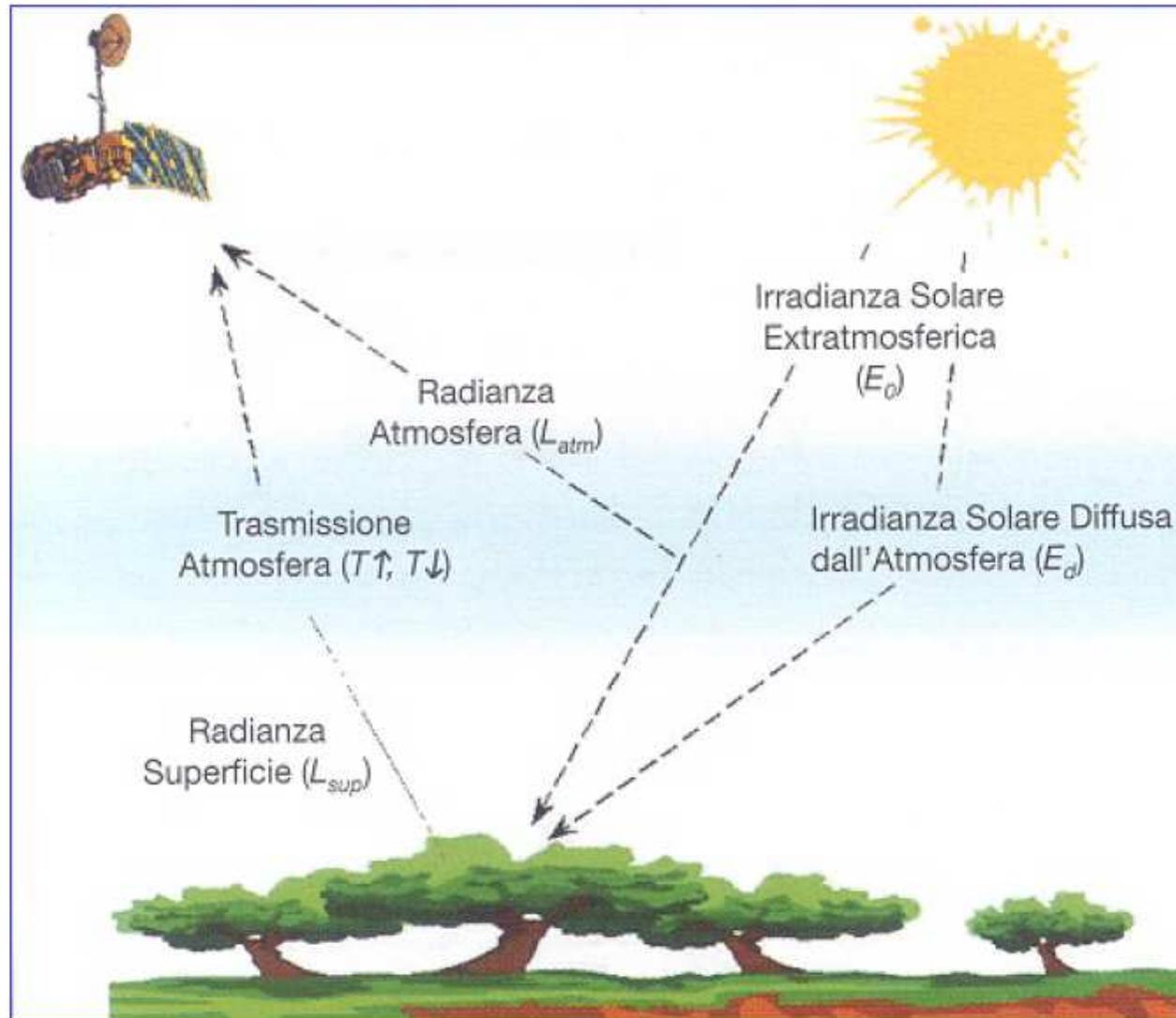


Acquisizione dati tramite Telerilevamento

Telerilevamento (*Remote Sensing*): insieme delle tecniche usate per l'acquisizione e l'elaborazione di informazioni relative a oggetti distanti, attraverso la **misura della radiazione solare** riflessa o emessa dagli oggetti stessi.

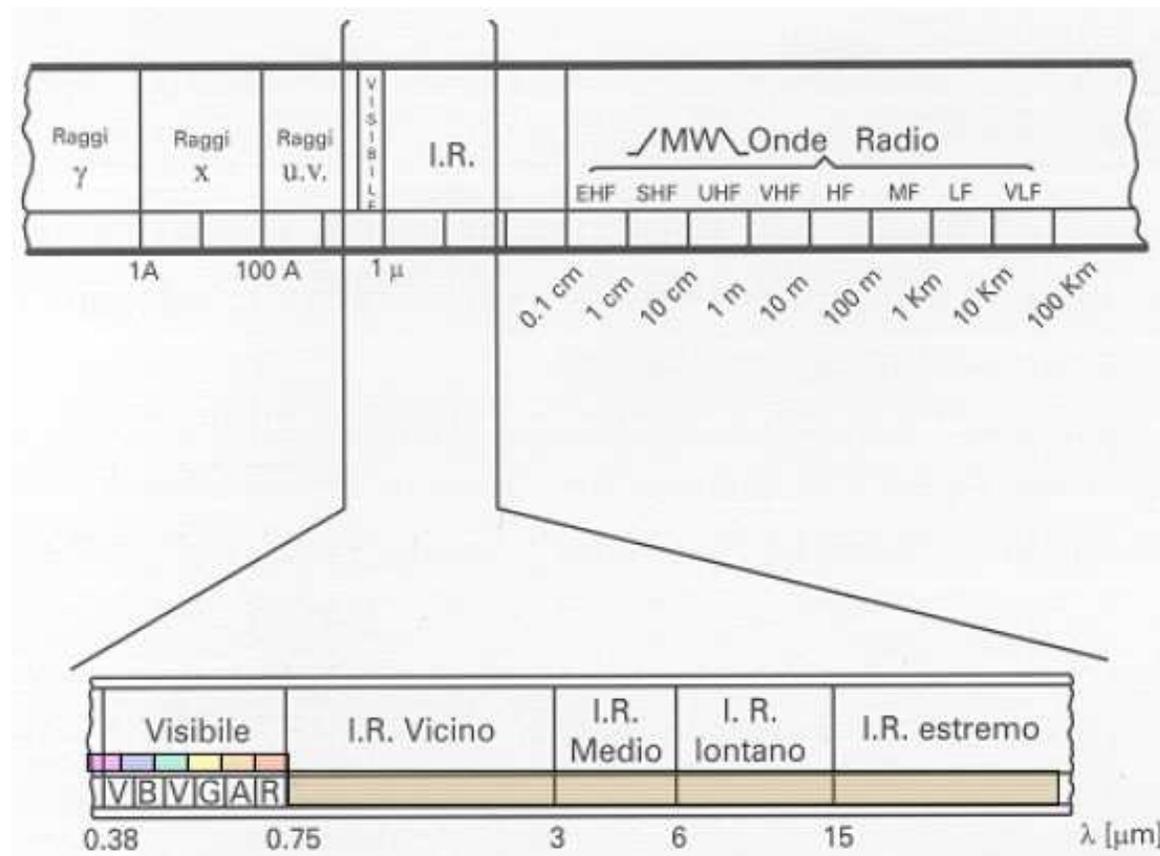
Poichè tale radiazione è correlata con la sua composizione chimica e strutturale, nonché con la sua forma e posizione, è possibile **caratterizzare** e **riconoscere** l'oggetto interpretando i valori della radiazione.

Tali valori possono essere usati per esempio per identificare la natura della copertura del suolo: vegetazione, terreno nudo, roccia, acqua, strutture artificiali, ecc.



Bande dello spettro e.m.

Gli strumenti per telerilevamento sono costituiti da un sensore, sensibile all'energia elettromagnetica corrispondente ad una determinata **banda** (intervallo di frequenze o di lunghezze d'onda) dello spettro e.m.

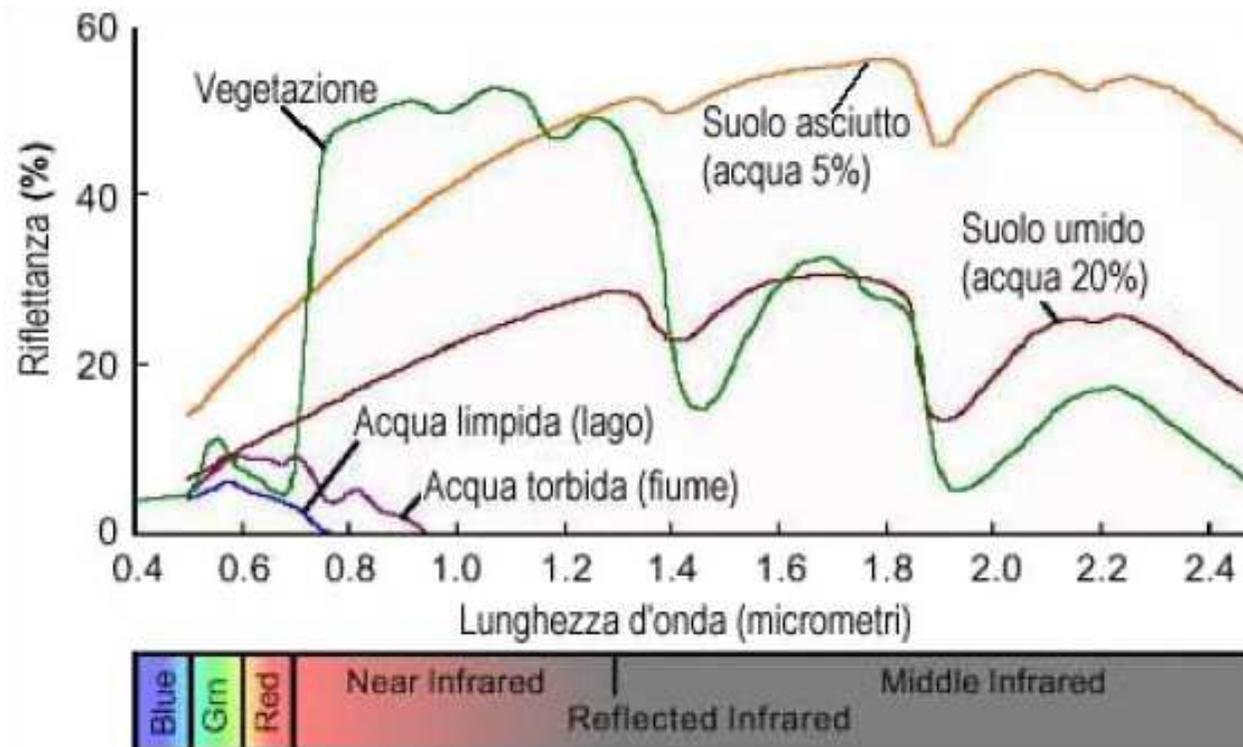


Porzione dello spettro elettromagnetico in cui opera il telerilevamento

La firma spettrale

Grafico caratteristico di ogni superficie che esprime la **capacità di riflessione** in funzione della lunghezza d'onda della radiazione incidente.

La firma spettrale **caratterizza** quindi i diversi oggetti in base alla loro capacità di riflessione dell'energia nelle diverse regioni o bande dello spettro elettromagnetico.



Immagini telerilevate

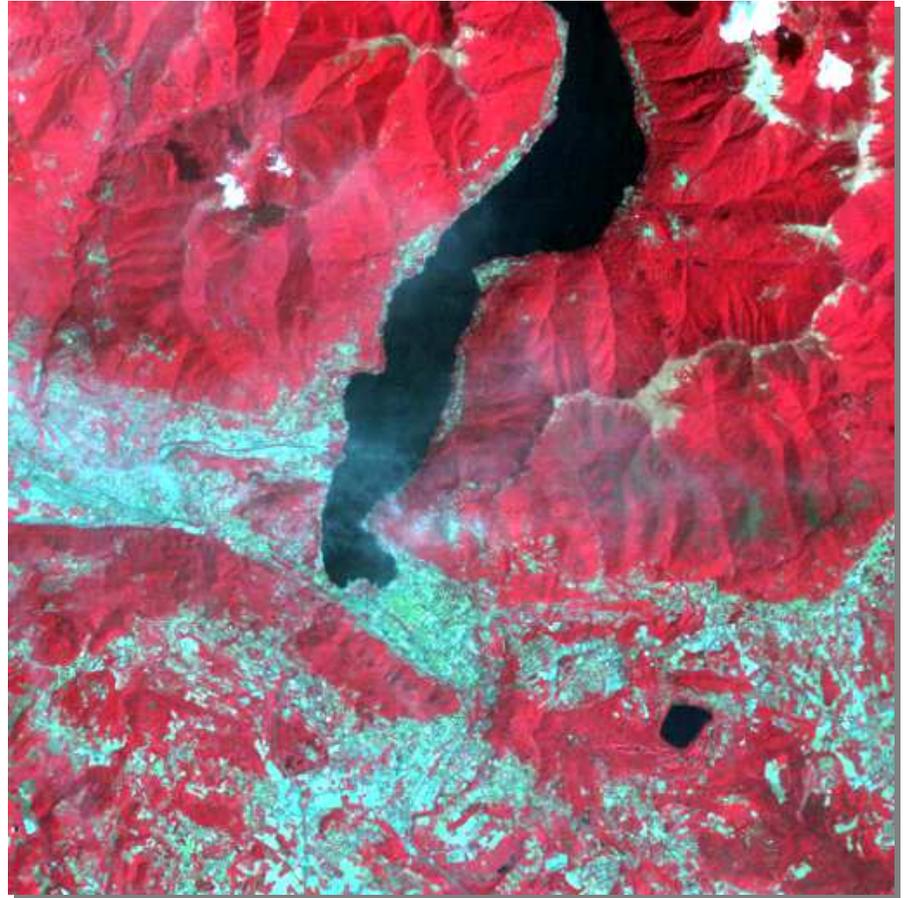
Il risultato del processo di telerilevamento è generalmente costituito da un'**immagine** simile ad una fotografia, ma in **gradazione di grigio**, nella quale il valore di ogni pixel è funzione dell'energia e.m. riflessa o emessa dalla superficie terrestre.

Gli strumenti di *Remote Sensing* operano in **varie bande** dello spettro e.m., dal "visibile" all'infrarosso, dall'ultravioletto alle microonde; pertanto generalmente si ha un'immagine telerilevata per ogni intervallo dello spettro elettromagnetico.

Combinando opportunamente tra di loro le **immagini di bande diverse** è possibile ottenere una **nuova immagine a falsi colori** che permette di riconoscere più facilmente e classificare alcuni aspetti del territorio.



Esempio:
Landsat Thematic Mapper (7 bande)



Vantaggi del telerilevamento da satellite

Mentre il telerilevamento da aereo permette soltanto analisi di dettaglio su aree definite ed in tempi definiti, il telerilevamento dallo spazio offre numerosi **vantaggi** quali:

- il satellite attraversa vaste aree geografiche in breve tempo
⇒ dati su **regioni** considerevolmente **grandi**;
- **risoluzioni** al suolo **sotto il metro** per pixel;
- i satelliti per telerilevamento tornano ripetutamente sulle stesse aree
⇒ **controllo periodico** di vaste regioni.
- caratteristiche di **precisione** compatibili con quelle della cartografia a media scala ($1:25.000 \div 1:10.000 \Rightarrow 2 \div 5 \text{ m}$);
- rilevamento di **territori critici** per i voli fotogrammetrici.

Le immagini da satellite possono essere adoperate in ambito GIS

- come base di riferimento,
- come base per aggiornamenti speditivi,
- per generare carte tematiche per usi specifici.



Altitudine dell'orbita (km)		681	480	450	832
-----------------------------	--	-----	-----	-----	-----

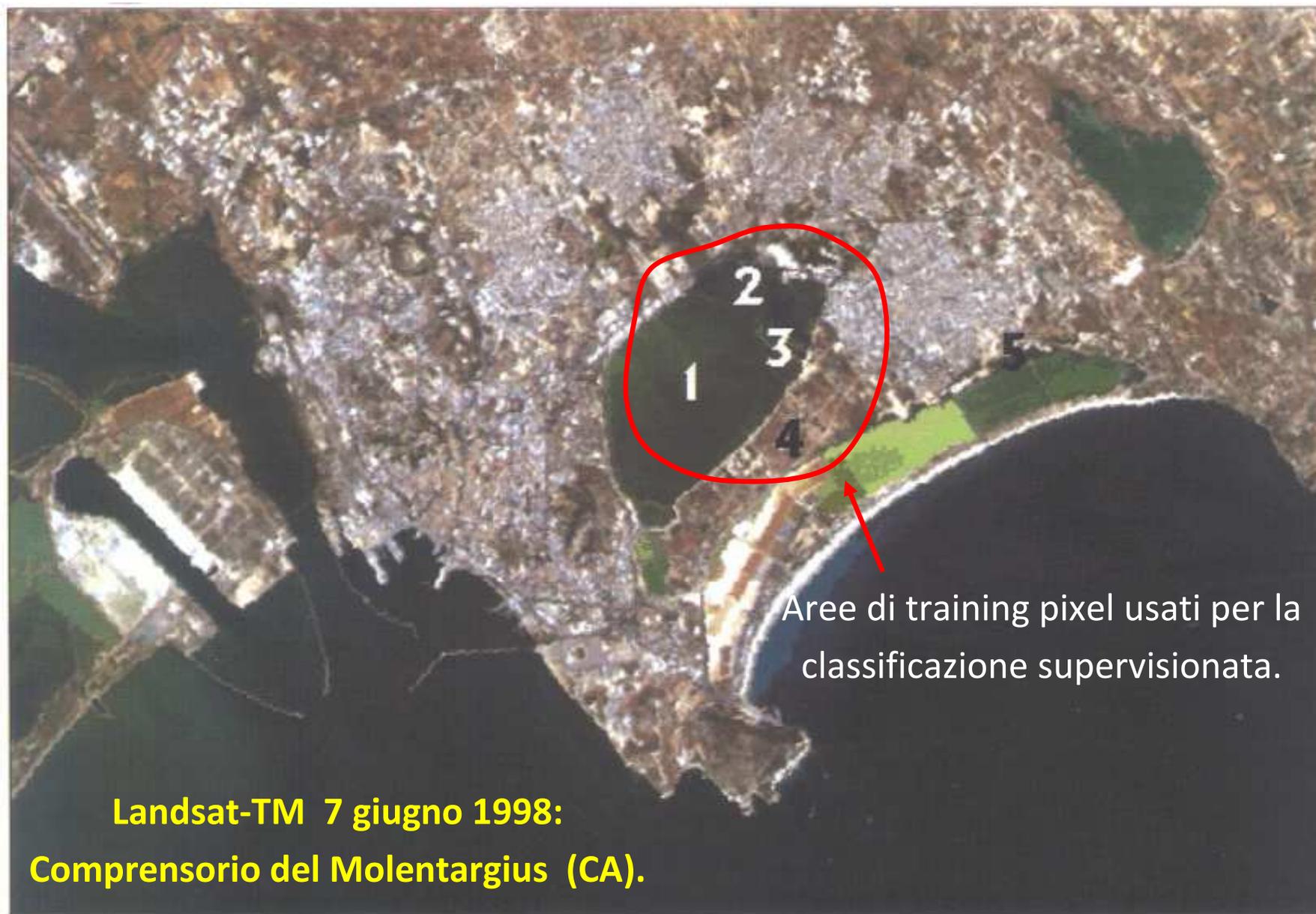
Risoluzione nominale del pixel (m)	PAN	1.0	1.8	0.61	5.0
	MS	3.2	-	2.44	10

IKONOS – Lerici

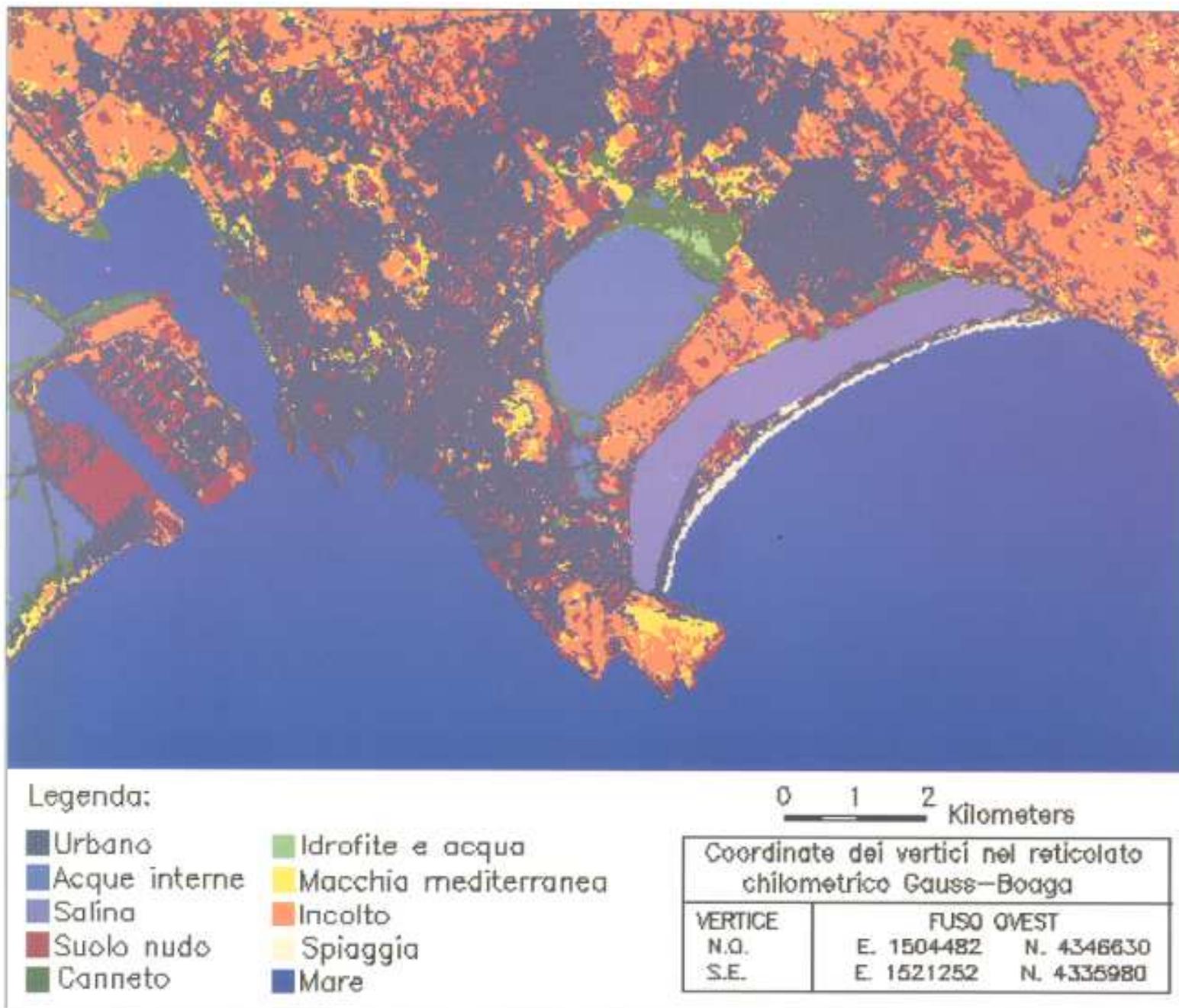




Esempio di creazione di carta tematica da immagine satellitare



Carta tematica di uso del suolo



Acquisizione da Cartografia

Rispetto ad un'immagine aerea, una cartografia presenta i seguenti vantaggi:

- non richiede alcun **lavoro di interpretazione** per individuare gli elementi (strade, fiumi, città, ecc.), in quanto questi oggetti sono stati già isolati e rappresentati con simboli facilmente distinguibili, da operatori esperti.
- contiene **informazioni non direttamente rilevabili dall'immagine**, desunte effettuando sopralluoghi sul campo o elaborando dati di primo livello (curve di livello, limiti amministrativi, toponomastica, ecc.).

⇒ una cartografia rappresenta già un **modello del territorio validato**.

Pertanto utilizzando una cartografia come fonte di dati per il GIS si risparmia l'attività di rilievo e di sintesi, riducendo molto il costo di acquisizione dei dati stessi.

Le carte possono essere suddivise in due macro-classi:

- 1. Carte generali o di base:** contengono gli elementi **planimetrici** (idrografia, strade, urbanizzato, ecc.), e **altimetrici** (punti quotati e curve di livello).

In questo tipo di cartografie è preponderante l'importanza delle informazioni di tipo **metrico**, rappresentate da **coordinate** di punti in un **sistema di riferimento** prescelto.

Si considerano carte di base anche le ortofotocarte (fotografie aeree proiettate su un piano orizzontale, completate a volte con curve di livello e restituite su carta).

2. Carte tematiche: assume importanza preponderante la **distribuzione geografica** di uno o più fenomeni di interesse rispetto alle informazioni di tipo metrico. Rappresentazione della distribuzione di **attributi**.

Le carte tematiche riportano informazioni relative a particolari settori applicativi, quali demografia, geologia, pedologia, vegetazione, clima, pianificazione territoriale, ecc.

Hanno come base la cartografia generale: a questa sono sovrapposte le informazioni particolari desiderate dall'utente.

Nel caso delle carte tematiche, comunque, le informazioni geometriche possono essere del tutto secondarie, risultando prevalenti le finalità specifiche della carta.

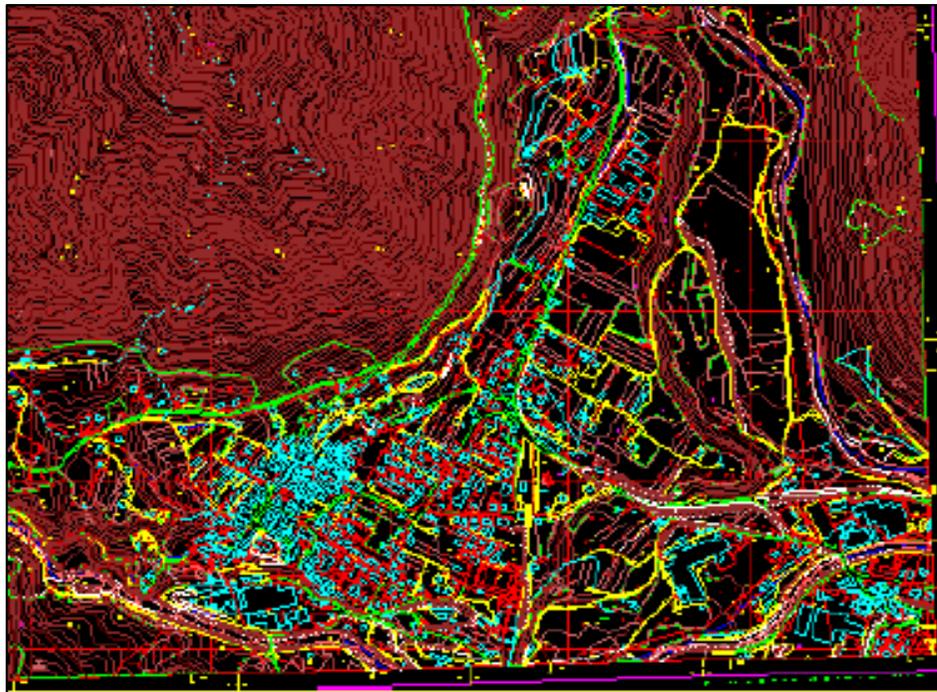
E' importante che ci sia stretta **correlazione temporale** fra informazioni proprie del tema e base cartografica che si utilizza: ciò significa che si deve utilizzare una **cartografia aggiornata**.

Carte Tecniche Regionali e Catastali

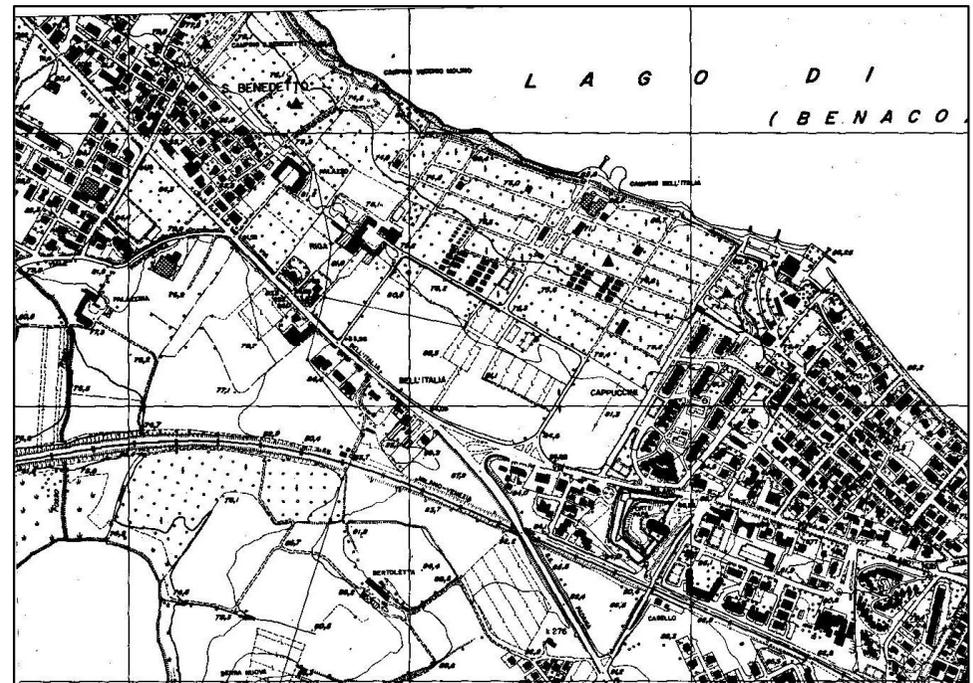
Fanno parte delle carte di base, consentono di evidenziare a media (1:10000) e grande scala (1:2000, 1:5000) i vari elementi del territorio.

Possono essere fornite sottoforma **cartacea** o digitale (**numerica**).

Cartografia Numerica



Cartografia Raster



Carte geomorfologiche

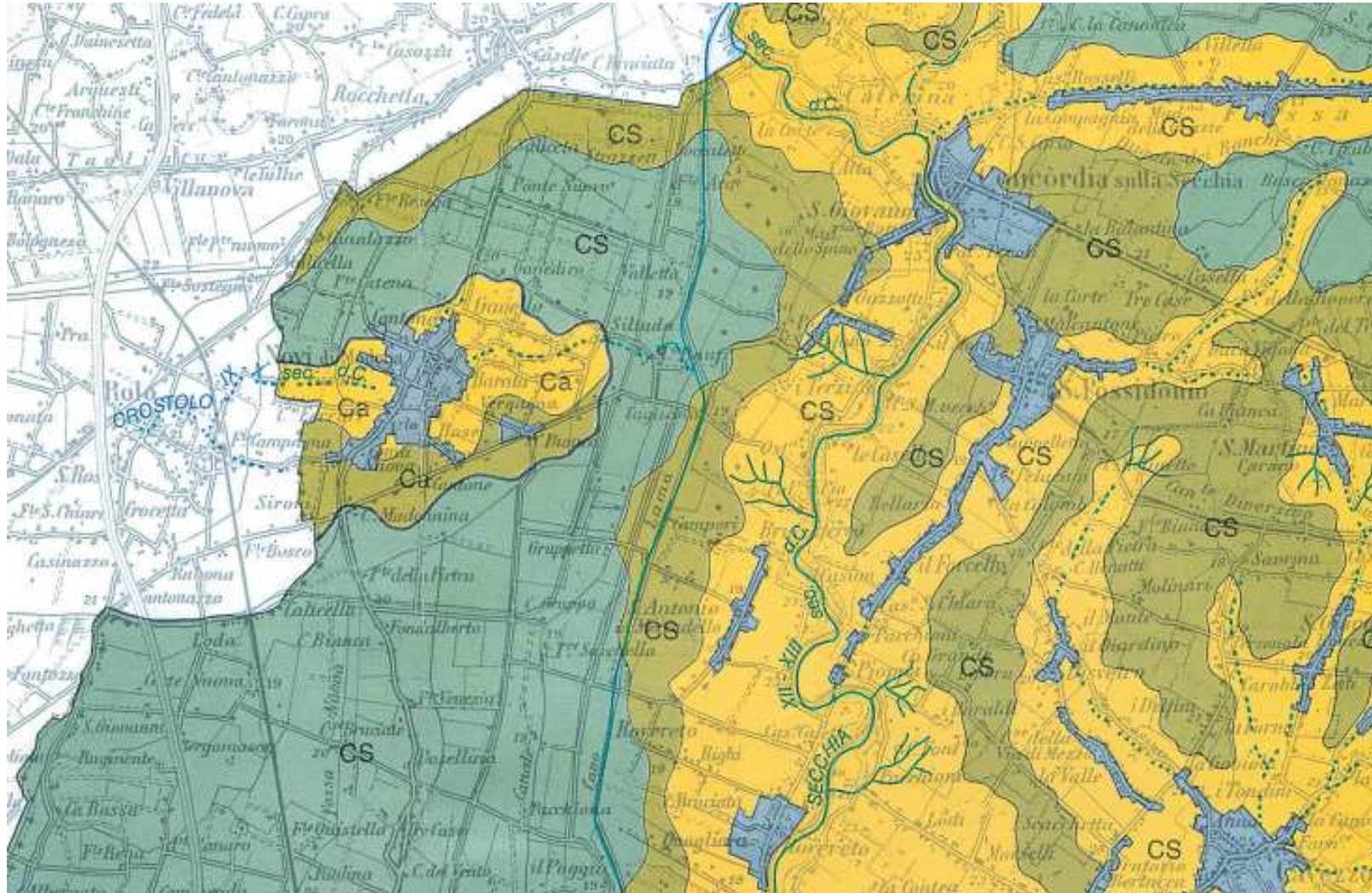
Carte tematiche che consentono di pianificare l'utilizzo del territorio in armonia con la sua configurazione paesaggistica.

Nelle carte geomorfologiche vengono rappresentate

- le **forme** che caratterizzano il paesaggio,
- i **processi di erosione e accumulo** che regolano la trasformazione della superficie terrestre.

Nella redazione delle carte geomorfologiche sono molto utilizzati i rilievi **aerofotogrammetrici**, che consentono di cogliere in modo più soddisfacente la metamorfosi del paesaggio e di identificare quindi le aree a rischio geologico o idrogeologico.

Carta geomorfologica dei suoli della pianura modenese in scala 1:100 000



PIANA A COPERTURA ALLUVIONALE

 Unità degli Argini Naturali del Reticolo Idrografico Principale
CS - Case Secchia; Ca - Carpi

 Unità delle Coperture Alluvionali
CS - Case Secchia; Ca - Carpi

 Unità degli Argini Naturali del Reticolo Idrografico Minore
CS - Case Secchia; Ca - Carpi

 Unità delle Valli
CS - Case Secchia; Ca - Carpi

Carte idrogeologiche

Sono carte tematiche che evidenziano

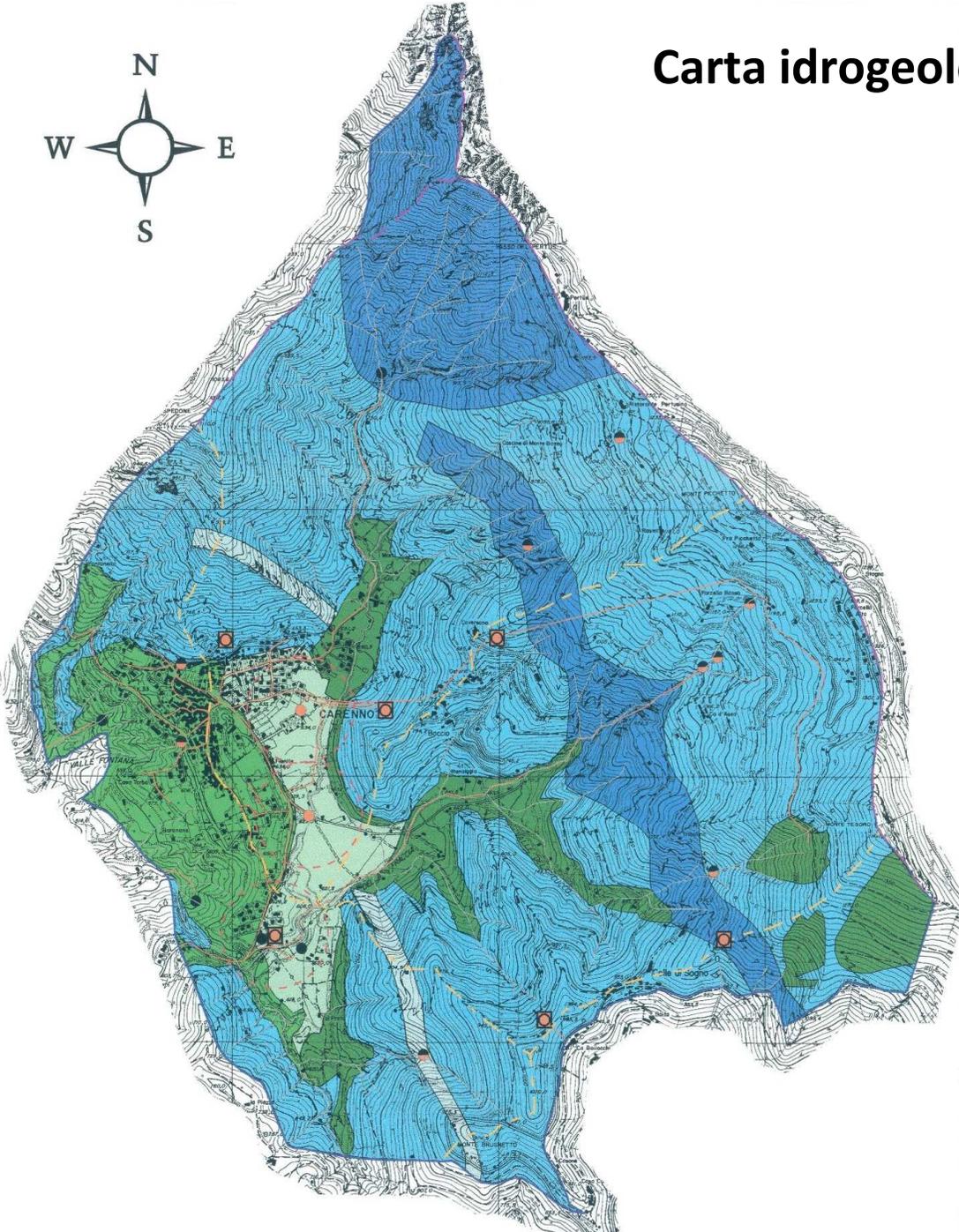
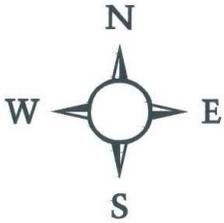
- la **permeabilità dei suoli**
- la posizione e il movimento delle **falde acquifere sotterranee**.

Vi si rappresentano le potenziali risorse idriche del sottosuolo.

Sono redatte differenziando le falde freatiche da quelle artesiane, e rappresentando le rocce in base ai valori della loro permeabilità.

Vi sono riportati i bacini idrici, le sorgenti, le direzioni di flusso sotterraneo e tutte le altre informazioni di carattere idrogeologico.

Carta idrogeologica del Comune di Carenno (LC) in scala 1:10 000



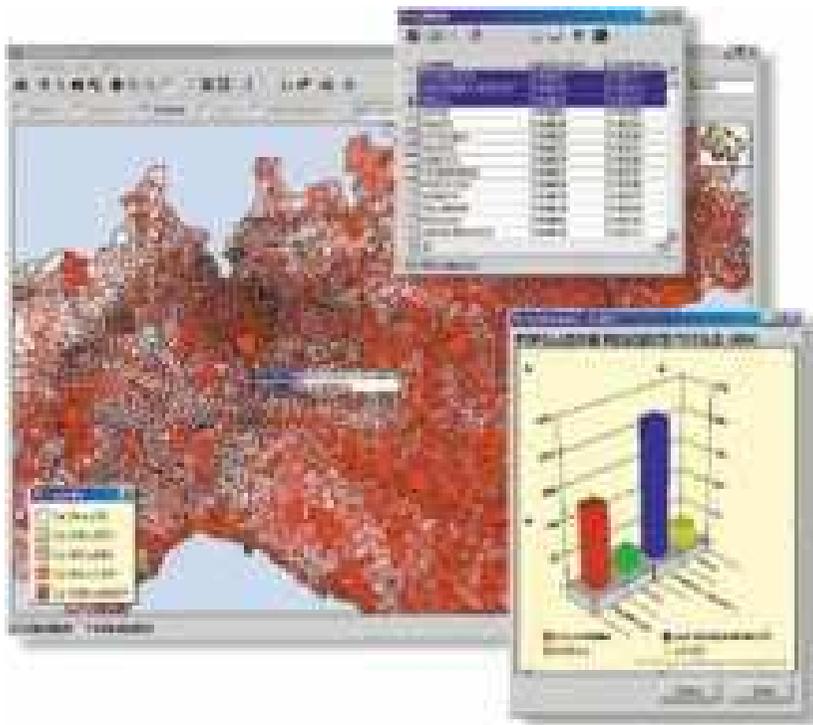
LEGENDA

- | | |
|--|--|
| <p>Permeabilità delle rocce coerenti :
(substrato lapideo)</p> <ul style="list-style-type: none"> da elevata a media da media a ridotta da ridotta a molto ridotta <p>Permeabilità delle rocce incoerenti :
(depositi superficiali)</p> <ul style="list-style-type: none"> da elevata a media da media a ridotta variabile | <p>Limiti bacino idrografico :</p> <ul style="list-style-type: none"> bacino idrografico principale bacino idrografico secondario Aste fluviali Acquedotto Serbatoio di accumulo dell'acquedotto Sorgente nota non sfruttata Sorgente captata Pozzo acquedotto Fascia di rispetto pozzo |
|--|--|

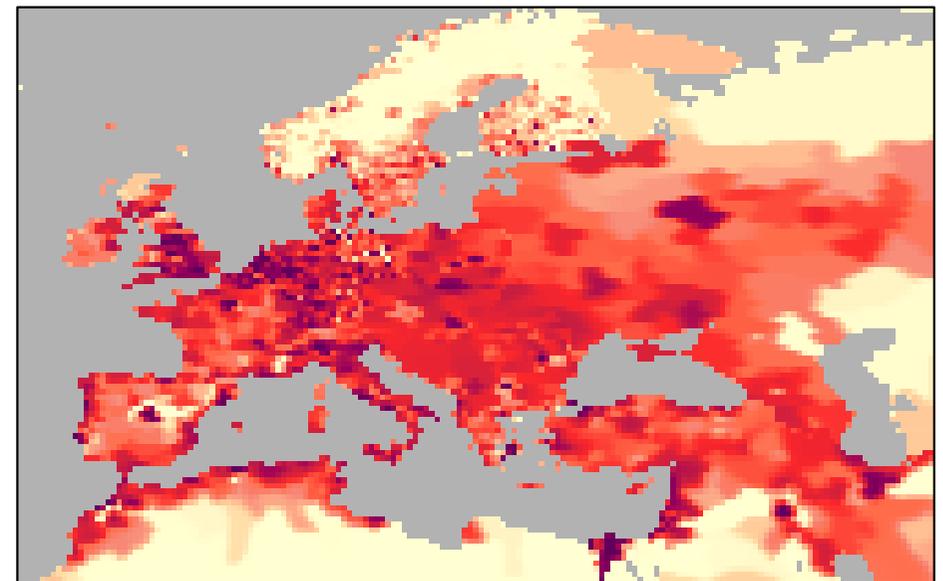
Carte e dati sulle imprese

Includono dati censuari e demografici, prodotti di consumo, servizi finanziari, sanità, beni immobili, telecomunicazioni, strutture di soccorso, crimini, pubblicità, aziende e trasporti.

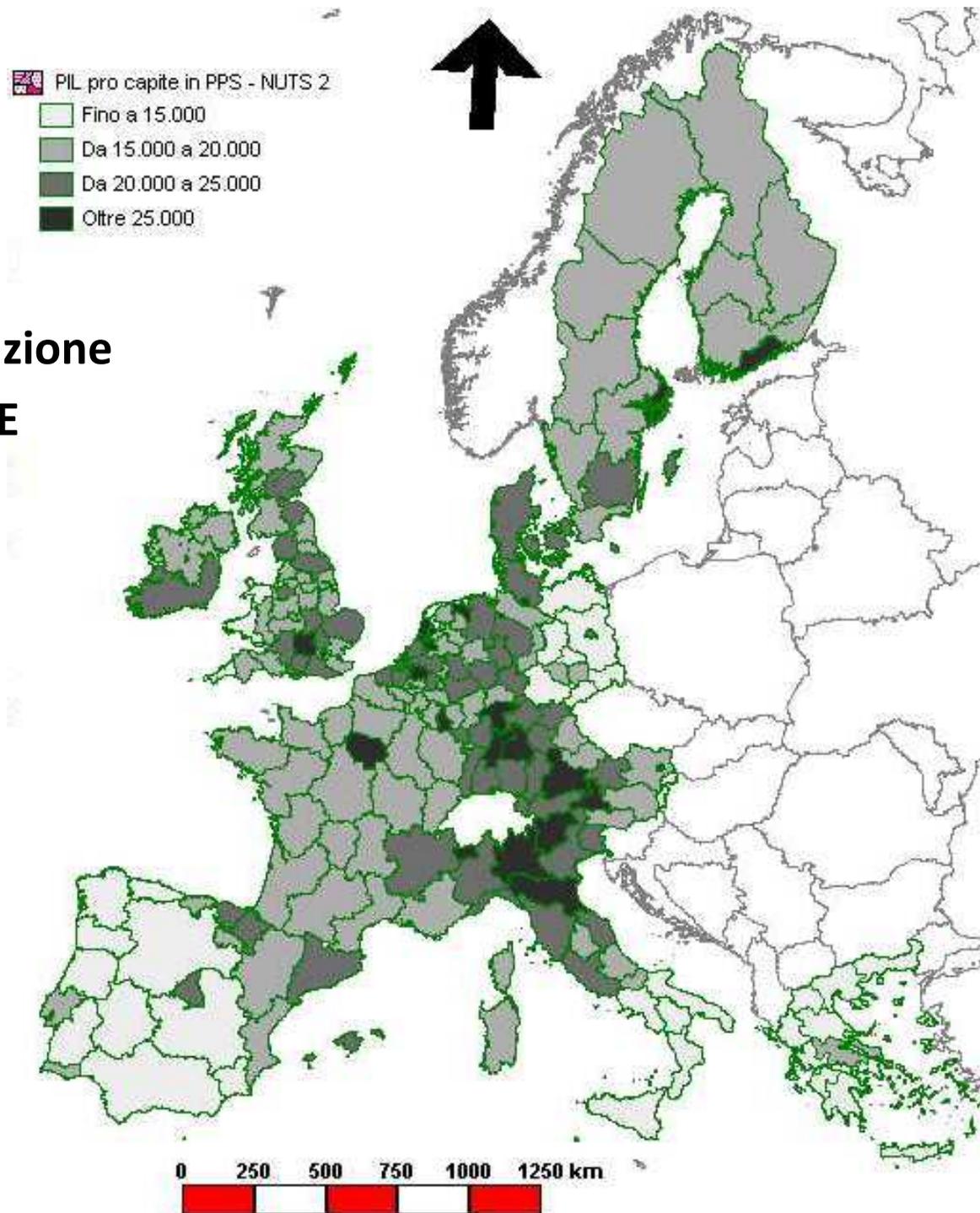
Mappa dati sulle imprese



Mappa demografica



Carta della distribuzione del PIL nella UE

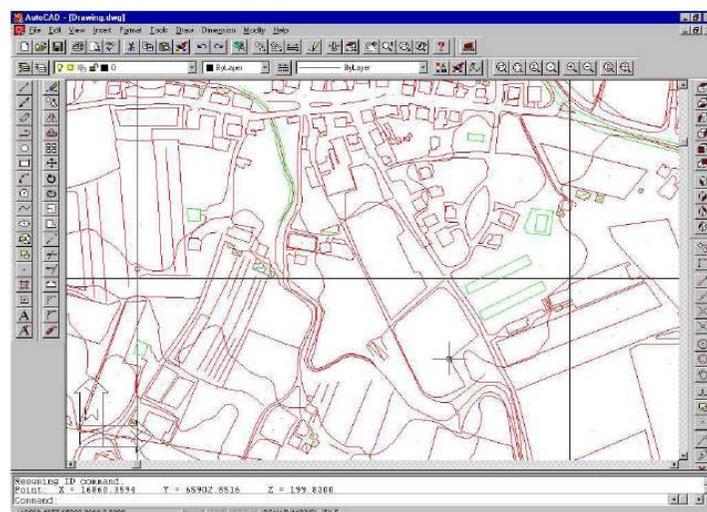
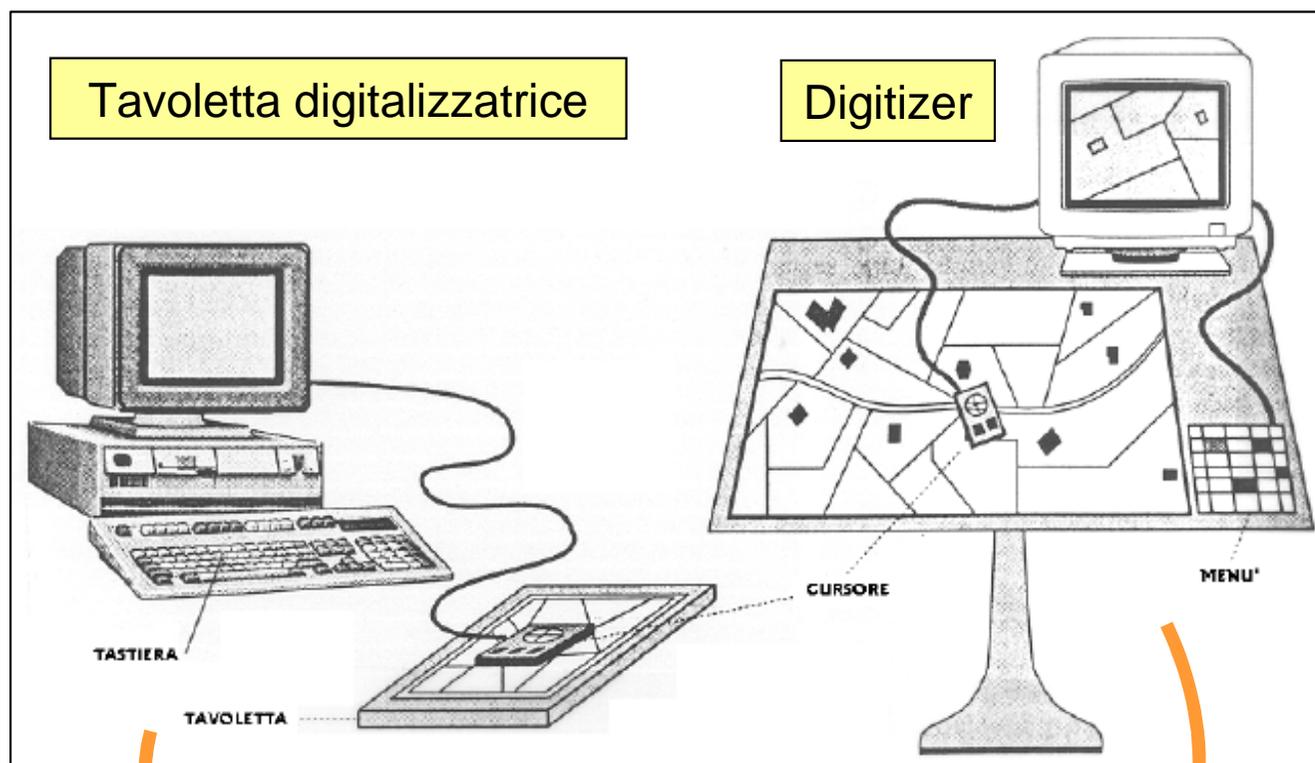


Metodi di acquisizione

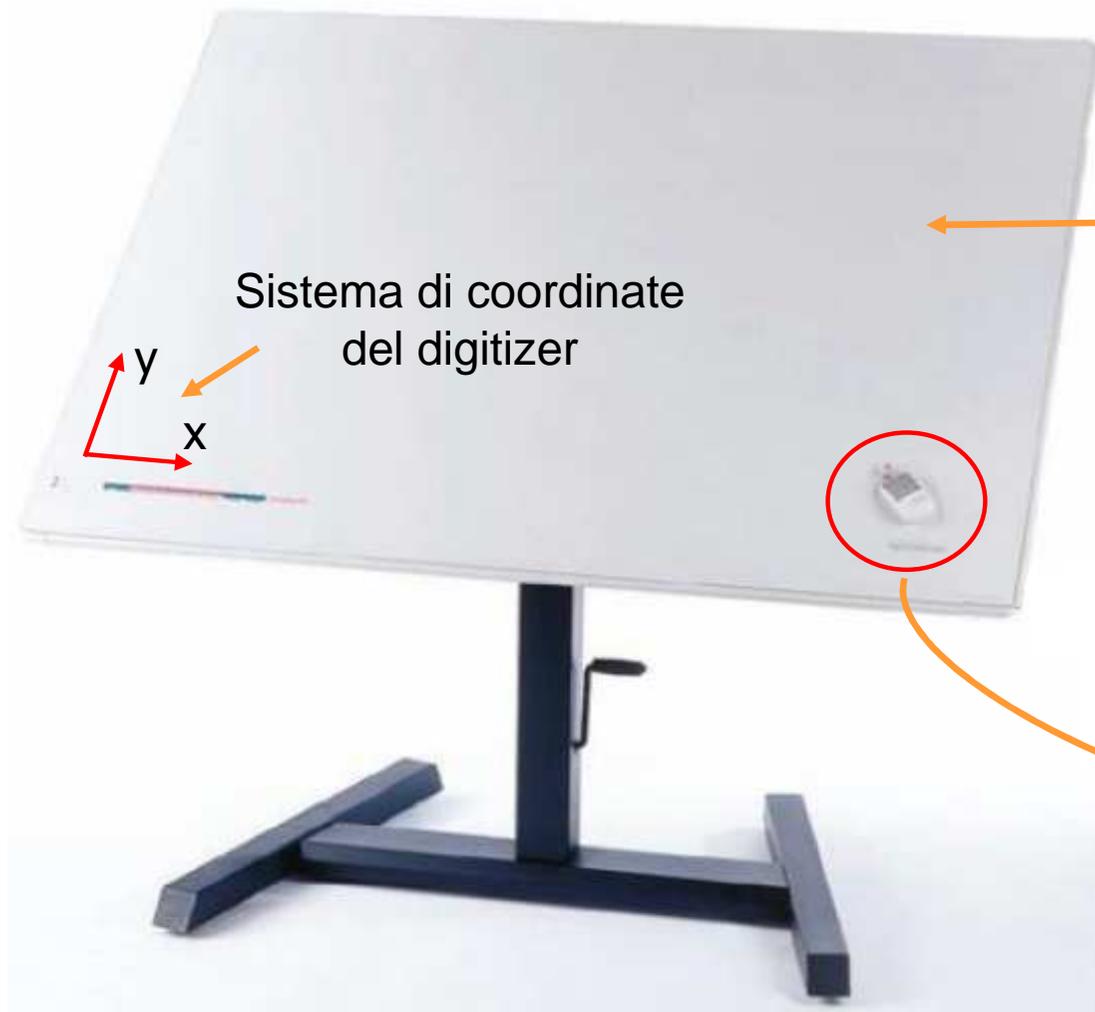
Si possono distinguere tre modalità di acquisizione dati da una cartografia di base tradizionale:

- **digitalizzazione manuale da supporto cartaceo** con digitizer; la qualità del prodotto acquisito non dipende tanto dall'hardware ma essenzialmente dalle capacità dell'operatore.
- **digitalizzazione manuale a video**; tale metodo non richiede software specifici, in quanto qualsiasi software GIS con funzioni di editing permette questo tipo di operazioni.
- **digitalizzazione automatica da cartografia raster** tramite software molto sofisticati che riconoscono le simbologie e gli oggetti e li trasformano in linee e punti. La procedura richiede comunque la supervisione dell'operatore per ridurre gli errori del software.

Digitalizzazione manuale da cartografia cartacea



Carta numerica



Sistema di coordinate
del digitizer

y
x

All'interno del tavolo è
annegata una maglia
regolare di sensori
(risoluzione: 0.025mm) che
registrano la posizione del
cursore e la convertono
nelle coordinate di
posizione (x,y).

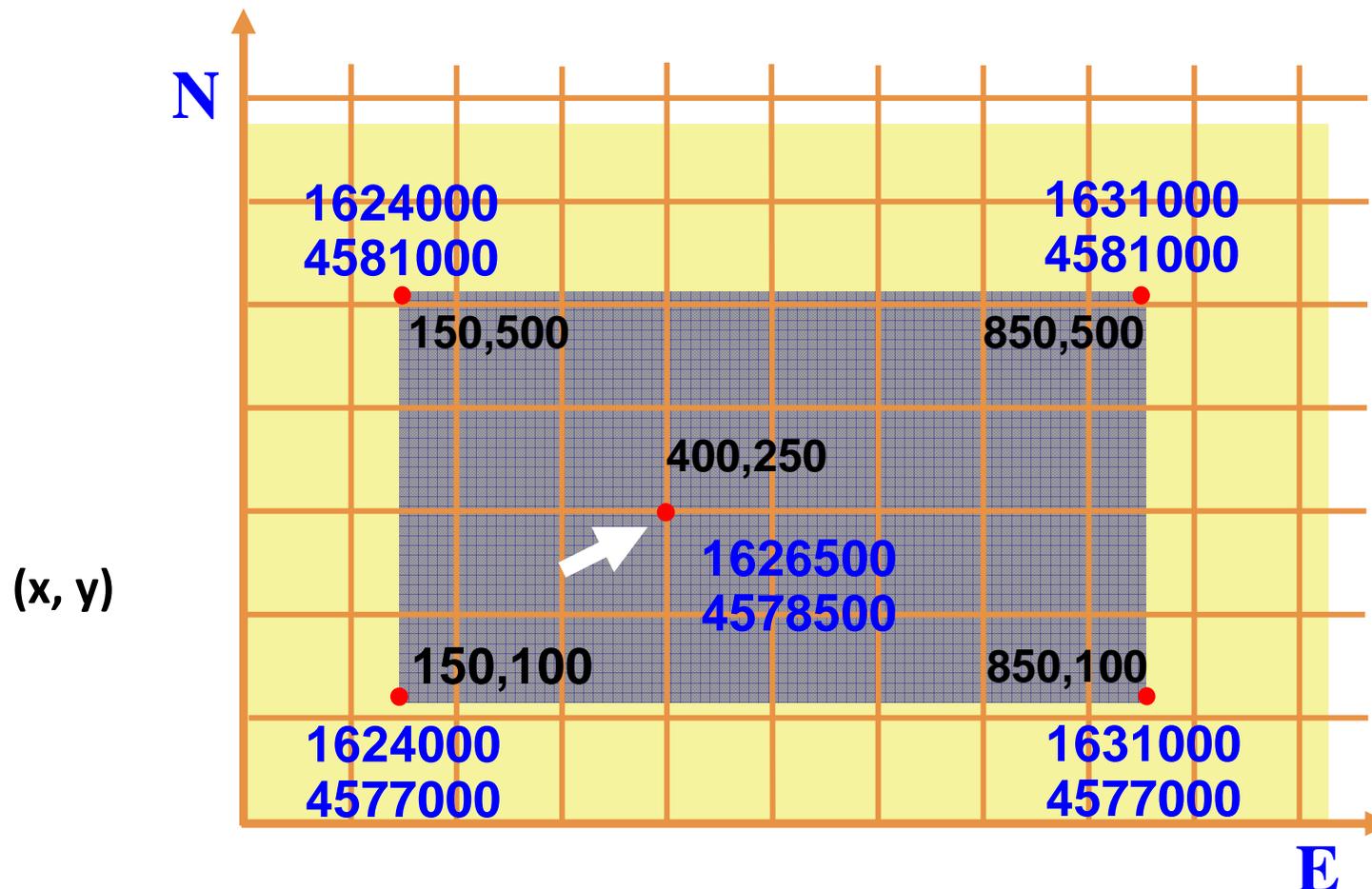
Puntatore di precisione
per aiutare l'operatore
nel tracciamento delle
geometrie.



Coordinate strumentali e coordinate reali

Il tavolo digitalizzatore restituisce coppie di coordinate in un **sistema di riferimento proprio** del tavolo stesso (es. coordinate x, y).

I dati geografici vanno invece inseriti nel DataBase geografico associati alle coordinate calcolate in un **sistema di riferimento geografico** (es. Nord, Est).



La trasformazione da coordinate strumentali a coordinate reali (geografiche) si basa sulla seguente **rototraslazione** nel piano (**trasformazione affine**):

$$E_p = a x_p + b y_p + c$$

$$N_p = d x_p + e y_p + f$$

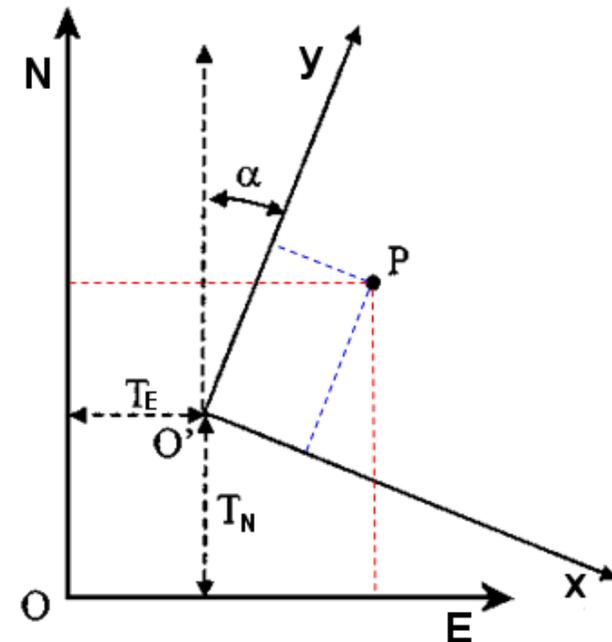
dove

E_p, N_p = coordinate **reali** di un generico punto P

x_p, y_p = coordinate **strumentali** di P

a, b, d, e = parametri di **rotazione**

c, f = parametri di **traslazione**



Per conoscere i 6 coefficienti della trasformazione è necessario collimare con il mouse **almeno 4 punti** di coordinate reali note (desumibili dalla cartografia).

Procedura di digitalizzazione manuale

1. Si stende e si fissa la carta da digitalizzare sul tavolo.
2. Si acquisiscono le coordinate strumentali di un vertice o di un altro punto di controllo operando col cursore del digitalizzatore e immediatamente dopo si scrivono, a tastiera, le coordinate reali dello stesso punto leggendole dalla carta.
3. Si ripetono queste azioni per tutti i punti di controllo che si intende usare (≥ 4); queste operazioni sono guidate da un software che memorizza coppie di coordinate.

Matematicamente ciò equivale a scrivere le seguenti 8 equazioni:

$$\begin{array}{ll} E_1 = a x_1 + b y_1 + c & N_1 = d x_1 + e y_1 + f \\ E_2 = a x_2 + b y_2 + c & N_2 = d x_2 + e y_2 + f \\ E_3 = a x_3 + b y_3 + c & N_3 = d x_3 + e y_3 + f \\ E_4 = a x_4 + b y_4 + c & N_4 = d x_4 + e y_4 + f \end{array} \quad (1)$$

4. A causa degli errori di collimazione dei punti di controllo e degli errori di lettura dalla carta delle relative coordinate geografiche, non è possibile individuare un set di coefficienti (a , b , c , d , e , f) che soddisfino **contemporaneamente tutte** le equazioni (1).

Dal punto di vista matematico ciò corrisponde a sostituire tali relazioni con le seguenti equazioni:

$$\begin{array}{ll} E_1 - ax_1 - by_1 - c = v_{x1} & N_1 - dx_1 - ey_1 - f = v_{y1} \\ E_2 - ax_2 - by_2 - c = v_{x2} & N_2 - dx_2 - ey_2 - f = v_{y2} \\ E_3 - ax_3 - by_3 - c = v_{x3} & N_3 - dx_3 - ey_3 - f = v_{y3} \\ E_4 - ax_4 - by_4 - c = v_{x4} & N_4 - dx_4 - ey_4 - f = v_{y4} \end{array} \quad (2)$$

I termini v_{xi} e v_{yi} rappresentano i **residui**, cioè le differenze tra i valori **noti** delle coordinate dei punti di controllo e quelli **calcolati** con la rototraslazione.

5. A questo punto il software calcola i coefficienti della trasformazione col metodo dei **minimi quadrati**, cercando cioè di minimizzare la somma dei quadrati dei residui.

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^n \left[(v_{xi})^2 + (v_{yi})^2 \right] \quad \text{Funzione da minimizzare}$$

essendo

$$\left. \begin{aligned} v_{xi} &= E_i - E_i^C \\ v_{yi} &= N_i - N_i^C \end{aligned} \right\} \text{Residui dell'i-esimo punto di controllo}$$

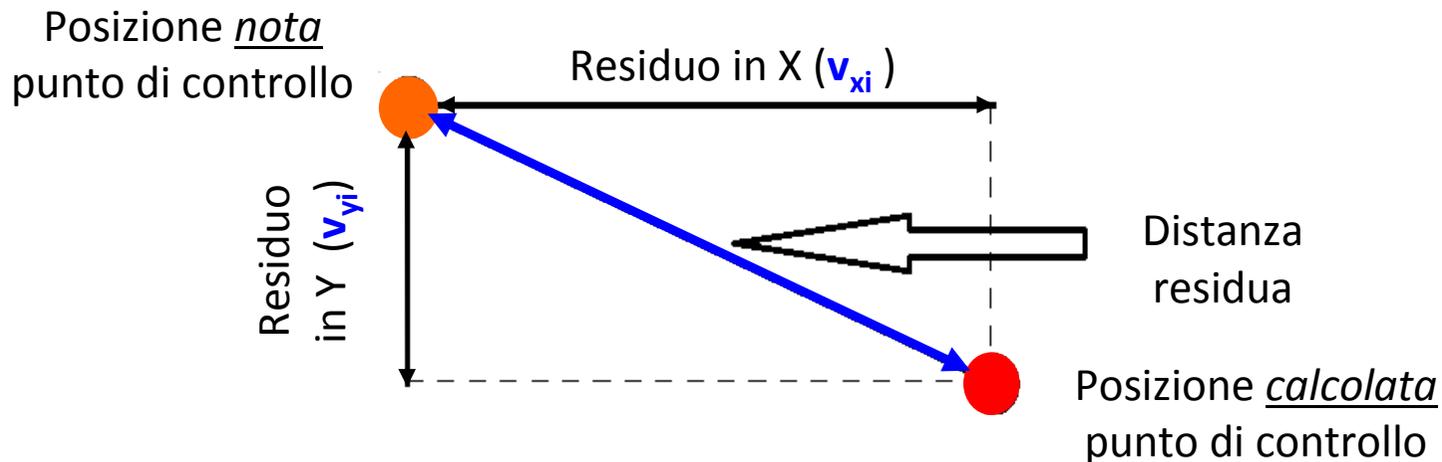
$$\left. \begin{aligned} E_i^C &= ax_i + by_i + c \\ N_i^C &= dx_i + ey_i + f \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Valori delle coordinate geografiche} \\ \text{dell'i-esimo punto di controllo} \\ \text{calcolate dalla trasformazione} \end{array}$$

n = numero di punti di controllo

6. Per ciascun punto di controllo vengono quindi calcolati i residui (scarti) e l'errore RMS (*Root Mean Square error*) relativi al set dei parametri di trasformazione determinati.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N v_{xi}^2 + v_{yi}^2 \right)}$$

Geometricamente l'errore RMS rappresenta la radice quadratica media delle distanze residue tra le coordinate geografiche note dei punti di controllo quelle calcolate secondo la trasformazione.



7. Errore RMS **piccolo** \Rightarrow la trasformazione viene accettata,
Errore RMS **grande** \Rightarrow si ripetono alcuni passi (es. si scartano alcuni punti di controllo).

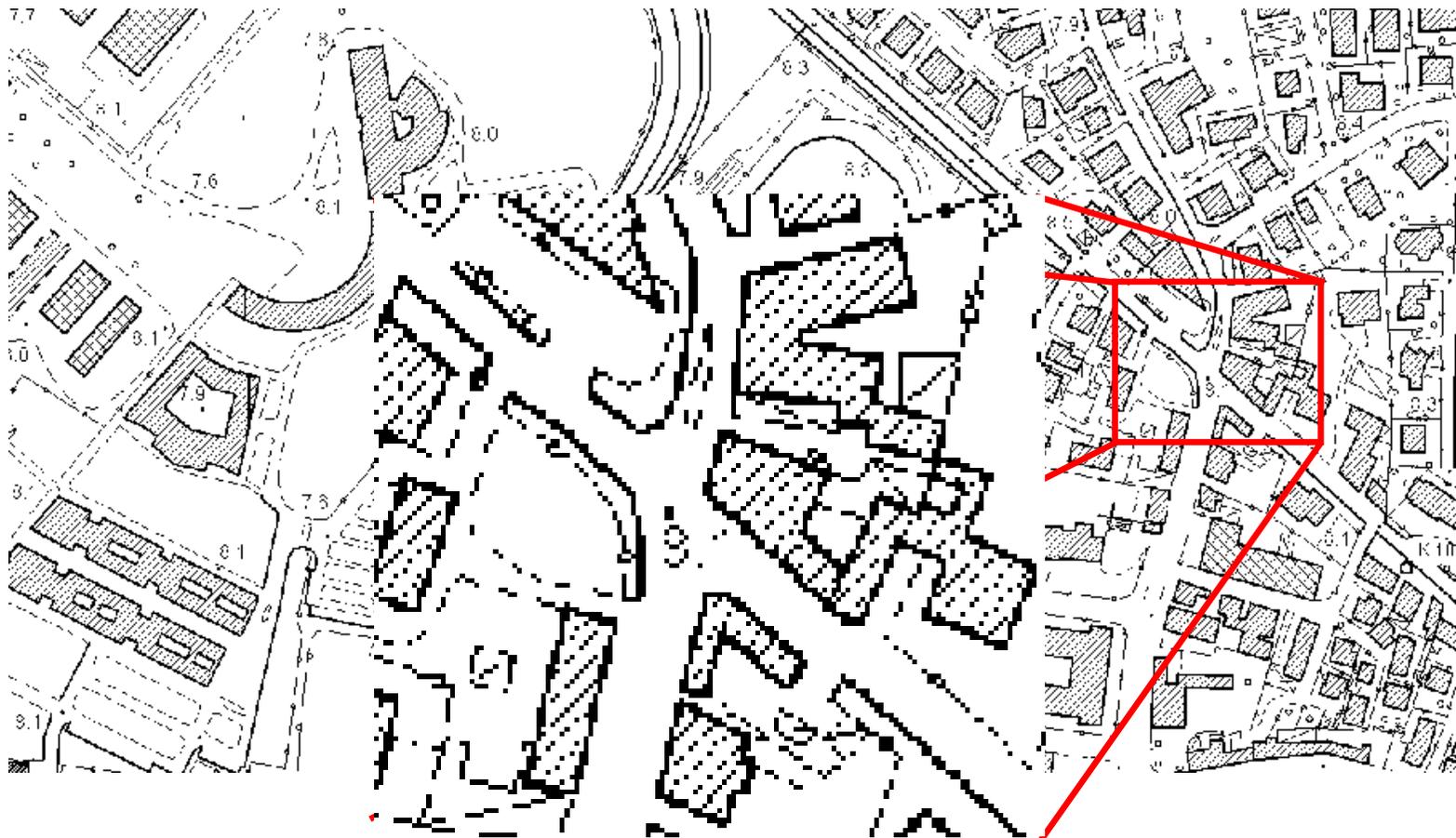
I termini “piccolo” e “grande” vanno intesi in riferimento alla dimensione al suolo del pixel dell’immagine cartografica. Tale dimensione si calcola nel modo seguente:

$$\text{dim. pixel a terra (m)} = \text{ris. immagine (2.54 cm/dpi)} * \text{scala della carta}$$

8. Una volta che la trasformazione è accettata e i sei coefficienti sono definiti, il software è in grado di trasformare, secondo le equazioni descritte, qualsiasi coppia di coordinate strumentali in una coppia di coordinate reali.
9. Si procede quindi alla digitalizzazione delle geometrie di interesse.

Interpretazione della cartografia

Nell'esempio seguente l'incrocio e le strade che su di esso insistono non sono esplicitamente disegnate sulla cartografia. Tali elementi occupano lo spazio "vuoto" della mappa (pixel bianchi).



D'altra parte noi percepiamo la presenza di queste entità grazie alla **capacità di aggregazione** che la nostra mente esercita sulla base degli elementi disegnati (pixel neri).

In un GIS ogni oggetto

- è definito in maniera univoca
- è **completamente autonomo** rispetto al contesto
- non ha bisogno dell'esistenza di altri oggetti per essere esaminato e disegnato.



In un GIS ogni elemento della carta va **esplicitamente disegnato** !

Digitalizzazione manuale a video

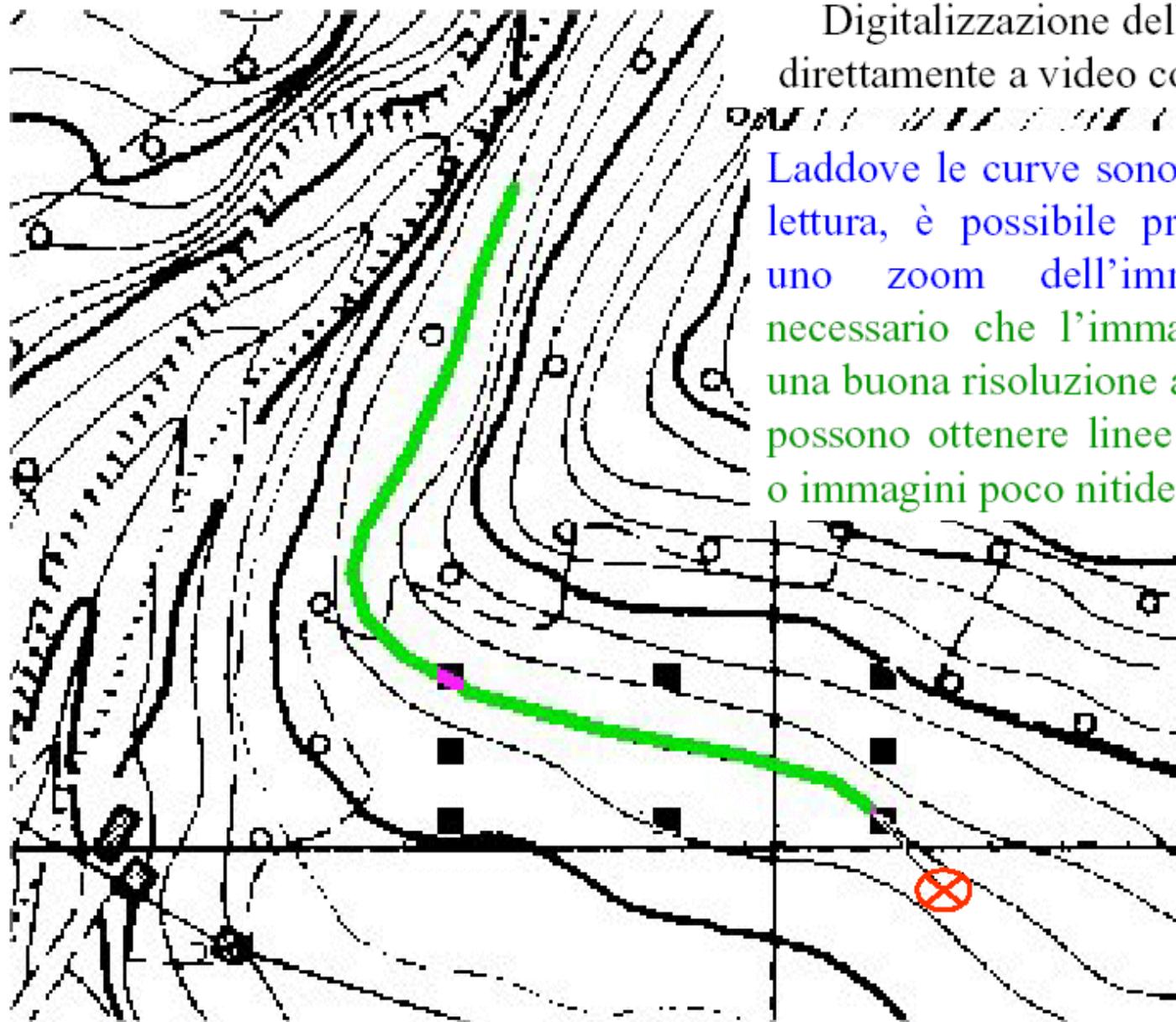
Dati di Input: foto aeree, immagini telerilevate da satellite e immagini cartografiche.

Nel caso di foto aeree e cartografia in formato cartaceo i dati vanno prima convertiti in immagini digitali mediante scannerizzazione (**rasterizzazione**).

In ogni caso le immagini devono essere **georeferenziate**.

L'operazione di digitalizzazione consiste nel visualizzare su monitor l'immagine raster e nel tracciare, con l'aiuto del mouse, i bordi di aree, linee o punti in corrispondenza degli oggetti che si intende acquisire.

Poiché l'immagine è georeferenziata, ai dati vettoriali acquisiti saranno associate coordinate nello stesso sistema di riferimento dell'immagine.



Digitalizzazione delle isoipse
direttamente a video con ArcView



Laddove le curve sono di difficile
lettura, è possibile procedere ad
uno zoom dell'immagine: è
necessario che l'immagine abbia
una buona risoluzione altrimenti si
possono ottenere linee smarginate
o immagini poco nitide.

Digitalizzazione automatica da raster cartografico

Input: cartografia disegnata su supporto cartaceo passata allo scanner.

Esempio di rasterizzazione di un tratto lineare molto sottile (es. bordo di strada o di edificio).

A causa del processo di scansione i pixel hanno valori compresi tra 0 (bianco) e 100 (nero), anziché tra 0 e 1.

Questo comporta che alcuni tratti del disegno cartografico non siano perfettamente neri bensì siano resi con sfumature di grigio.

6	2	3	5	0	5	3	3	16	39	89	95
6	2	3	5	0	5	3	14	42	92	98	95
5	0	9	18	2	5	14	38	92	99	89	41
6	2	2	5	5	12	38	93	99	92	40	3
0	6	0	5	16	39	96	98	89	39	12	0
0	2	3	16	40	94	97	90	41	14	3	0
8	2	15	38	89	99	91	39	8	6	2	1
6	18	41	91	98	93	43	3	3	2	6	2
18	42	90	98	90	41	3	3	12	2	2	3
43	93	99	89	40	5	2	3	31	6	8	2
94	98	88	39	0	0	3	4	4	3	9	2
96	94	38	5	0	12	2	4	8	6	8	6

Conversione da raster a vector

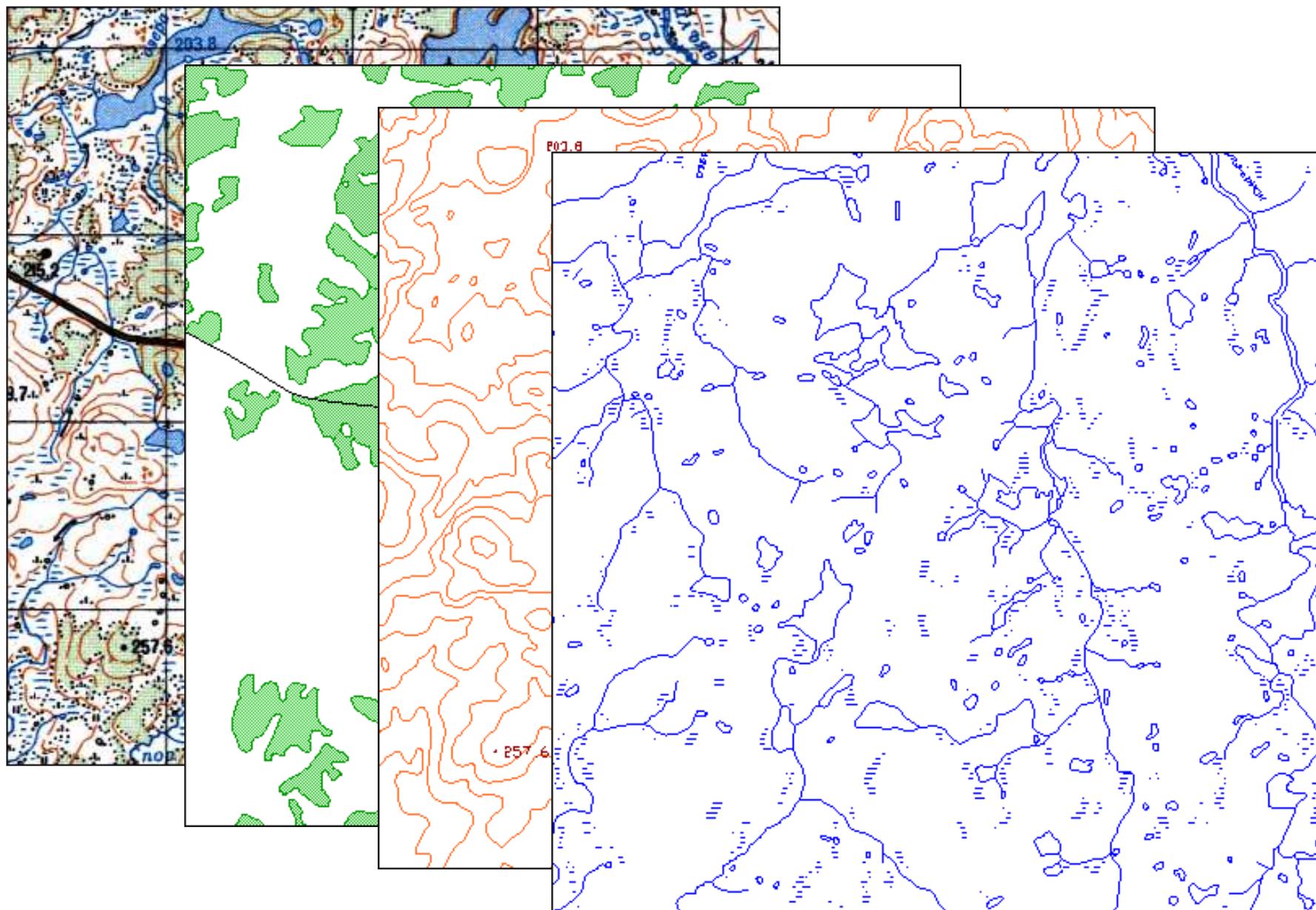
L'obiettivo è quello di estrarre dall'immagine cartografica il tratto nero del disegno sottoforma di elemento lineare di tipo vettoriale.

6	2	3	5	0	5	3	3	16	39	89	95
6	2	3	5	0	5	3	14	42	92	98	95
5	0	9	18	2	5	14	38	92	99	89	41
6	2	2	5	5	12	38	93	99	92	40	3
0	6	0	5	16	39	96	98	89	39	12	0
0	2	3	16	40	94	97	90	41	14	3	0
8	2	15	38	89	99	91	39	8	6	2	1
6	18	41	91	98	93	43	3	3	2	6	2
18	42	90	98	90	41	3	3	12	2	2	3
43	93	99	89	40	5	2	3	31	6	8	2
94	98	88	39	0	0	3	4	4	3	9	2
96	94	38	5	0	12	2	4	8	6	8	6

Questa operazione richiede l'esecuzione di una sequenza di passi:

- 1) trasformazione dei valori dei pixel dell'immagine da un intervallo ampio (0÷100 nel nostro caso) ad un intervallo binario (0÷1) (ad es. imponendo un valore di soglia: $0 \div 90 \Rightarrow 0$ e $90 \div 100 \Rightarrow 1$);
- 2) elaborazione dell'insieme dei pixel con valore "1" in modo da trasformare il "fiume" di pixel che descrive la linea disegnata in un insieme di pixel allineati, ma con spessore minimo; questo si può ottenere con algoritmi di "erosione" che assottigliano la linea spessa fino a portarla ad uno spessore minimo;
- 3) vettorizzazione del risultato così ottenuto, per esempio creando un insieme di microvettori che colleghino i centri dei pixel contigui;
- 4) sfoltimento delle linee così ottenute, mantenendone però il significato geometrico.

Digitalizzazione automatica da raster cartografico



Enti fornitori di Cartografia

- **Istituto Geografico Militare (IGMI);**
- **Istituto Idrografico della Marina:** esegue rilievi batimetrici e oceanici, rilievi geodetici lungo le coste, produce carte nautiche
- **Servizio Geologico:** non esegue rilievi topografici, ma utilizza carte dell'IGMI riportando su queste solo le informazioni relative al rilievo geologico e gravimetrico (o alla navigazione aerea);
- **Regioni:** cartografia alle scale 1:5 000 o 1:10 000 (CTR e CTRN)
- **Comuni:** cartografia alle scale 1:500 - 1:2 000
- **Catasto** (Agenzia del Territorio), rileva mappe alle scale da 1:5000 a 1:500 partendo dalla rete trigonometrica dell'IGMI, per scopi fiscali (dipende dal Ministero delle Finanze).

Altre fonti cartografiche...

- ISTAT
- Touring Club Italiano
- Istituto Geografico DeAgostini
- Automobil Club d'Italia

Per quanto riguarda altre fonti di cartografia digitale

- TeleAtlas (<http://www.teleatlas.com>)
- Navtech (<http://www.navtech.com>)

Confronto tra i metodi di acquisizione dati

<i>Tipologia della rappresentazione</i>		<i>Accuratezza della rappresentazione</i>	<i>Copertura</i>	<i>Interpretazione</i>	<i>Modalità di rappresentazione</i>
<i>Cartografia</i>	Aerofotogrammetrica	Elevata (fino a valori di 5 cm. secondo la scala)	Ampia (Elevata nei casi di centri urbani)	Necessaria	Vettoriale
	Satellitare	Media	Elevata	Necessaria	Vettoriale
	Topografica	Elevata	Scarsa	No	Vettoriale
<i>Rilevamento Radar - Laser</i>	Laser scanner	Elevata	Scarsa	Necessaria	Vettoriale*
<i>Rappresentazione fotografica</i>	Ortofoto	Elevata	Media (Ampia nei casi di centri urbani)	No	Raster
	Satellitare	Media	Molto Elevata	No	Raster