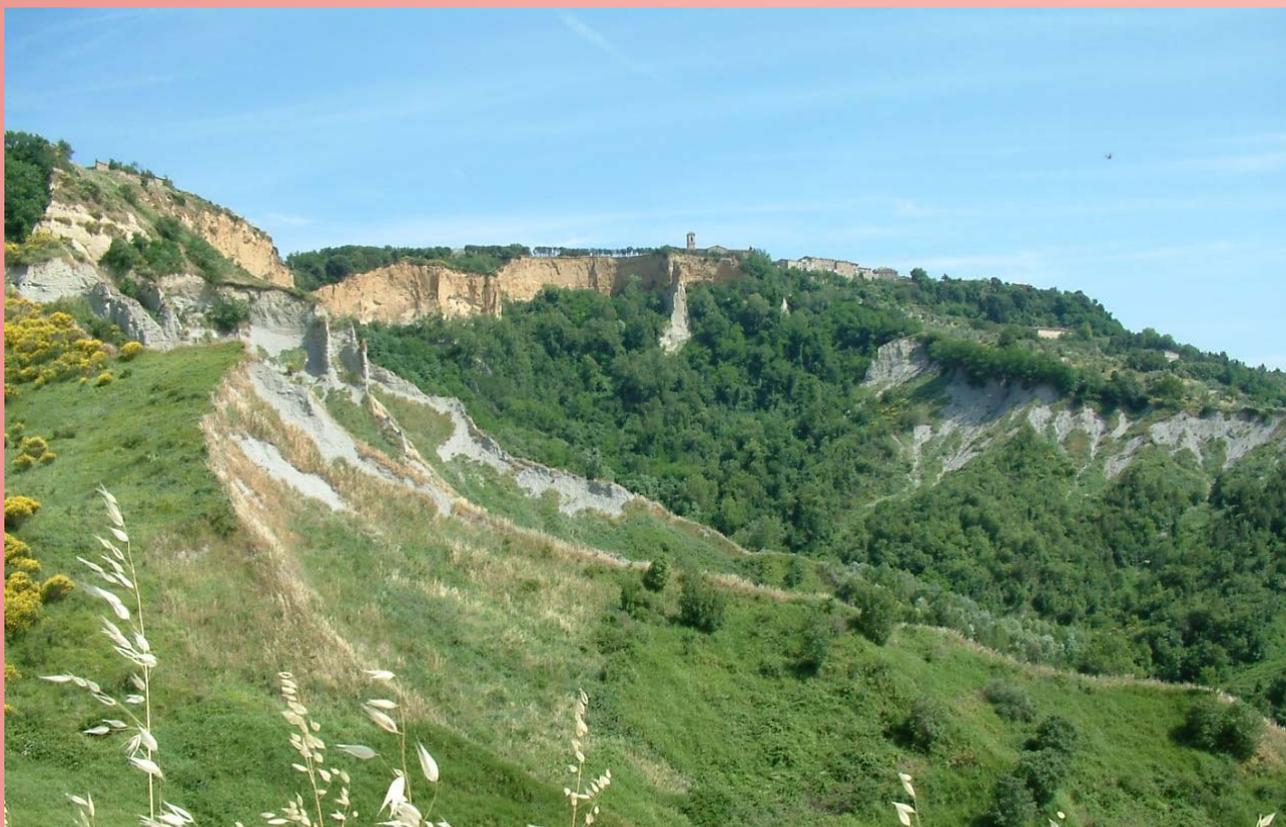




**Protocollo d'intesa per l'aggiornamento ad indirizzo geomorfologico dei geologi, per la raccolta, la condivisione dei dati e delle informazioni relative ai fenomeni morfologici di versante**

## **GUIDA PRATICA PER L'INDIVIDUAZIONE, LA CLASSIFICAZIONE, LA RAPPRESENTAZIONE E LA GESTIONE DEGLI ELEMENTI GEOMORFOLOGICI APPLICATI ALLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE**

Alessandro Ercoli, Giovanni Montini, Lorenzo Sulli





**Protocollo d'intesa per l'aggiornamento ad indirizzo geomorfologico dei geologi, per la raccolta, la  
condivisione dei dati e delle informazioni relative ai fenomeni morfologici di versante**

**GUIDA PRATICA PER L'INDIVIDUAZIONE, LA  
CLASSIFICAZIONE, LA RAPPRESENTAZIONE E LA GESTIONE  
DEGLI ELEMENTI GEOMORFOLOGICI APPLICATI ALLA  
PIANIFICAZIONE TERRITORIALE**

Alessandro Ercoli, Giovanni Montini, Lorenzo Sulli

## INDICE

Prefazione	I
<b>1. PREMESSA</b>	<b>1</b>
<b>2. LA CARTOGRAFIA TEMATICA IN GENERE</b>	<b>1</b>
<b>3. I METODI DI REALIZZAZIONE</b>	<b>2</b>
3.1. Metodo diretto	2
3.2. Metodo di elaborazione automatica	3
3.3. Metodo di derivazione	3
3.4. Metodo indiretto	3
3.5. Metodo misto	4
<b>4. LA DOCUMENTAZIONE DI BASE</b>	<b>4</b>
4.1. Carte topografiche	4
4.2. Dati bibliografici	5
4.3. Fotografie aeree	5
4.4. Fotografie terrestri	7
4.5. Immagini da satellite	8
<b>5. LA CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA</b>	<b>9</b>
5.1. Generalità	9
5.2. Cartografia geomorfologica	9
5.3. Legende	10
<b>6. I PRINCIPI DELLA FOTOINTERPRETAZIONE</b>	<b>10</b>
<b>7. LA FOTOINTERPRETAZIONE GEOMORFOLOGICA</b>	<b>11</b>
7.1. Operazioni preliminari	11
7.2. Analisi e annotazione	12
7.3. Restituzione dei dati	12
7.4. Controllo e stesura finale della cartografia	13
7.5. Relazione illustrativa	14
<b>8. LE APPLICAZIONI PRATICHE</b>	<b>15</b>
8.1. Stabilità dei versanti	15
8.2. Erosione del suolo	16
8.3. Caratterizzazione di alvei ed aree inondabili	16
8.4. Reticolo idrografico	17
<b>9. LA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DA FRANA A SCALA DI BACINO</b>	<b>18</b>
9.1. Carte inventario	19
9.2. Metodi euristici	19
9.3. Metodi deterministici	19
9.4. Analisi statistiche	20
<b>10. LA PERICOLOSITÀ DA PROCESSI GEOMORFOLOGICI DI VERSANTE NEL PIANO DI BACINO DEL FIUME ARNO</b>	<b>21</b>
10.1. Stato attuale	21
10.2. Sviluppi futuri	27
<b>11. NOZIONI GENERALI SUI GIS</b>	<b>29</b>
11.1. Cos'è un GIS	29
11.2. Tipi di dati nei GIS	36
11.3. Sistemi di coordinate e Base topografica di riferimento	44
<b>12. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>52</b>
12.1. Metodologie fotointerpretative	52
12.2. Valutazione della pericolosità	53
12.3. Manuali e testi	56
12.4. Vocabolari e glossari	57
<b>13. APPENDICI</b>	<b>58</b>
13.1. Legenda geomorfologica	58
13.2. Glossario	65
13.3. Indirizzi utili per il reperimento di documentazione varia	80

## Prefazione

La geomorfologia è forse la disciplina che più di ogni altra caratterizza il sapere del geologo e del geologo impegnato nella professione in particolare. Questo perché in essa si sintetizzano molte delle conoscenze di base della geologia: litologia, sedimentologia, stratigrafia, tettonica, idrogeologia, idrologia tanto per citare le prime che mi vengono in mente. Essa è così caratterizzante del nostro bagaglio culturale che ci è impossibile “andare in giro” e osservare un paesaggio senza che automaticamente non si elaborino osservazioni di carattere geomorfologico.

Una buona fetta del nostro lavoro e, perché no, della bellezza della nostra professione credo che spetti proprio alla geomorfologia.

L'Ordine dei Geologi della Toscana, in collaborazione con l'Autorità di Bacino dell'Arno, finalmente riesce a dare alle stampe la *“guida pratica per l'individuazione, la classificazione, la rappresentazione e la gestione degli elementi geomorfologici applicati alla pianificazione territoriale”* grazie anche al contributo della GEA S.p.A, Grosseto Energia e Ambiente, che qui voglio ringraziare.

Conoscere a fondo la geomorfologia, ovvero causa e tipi dei processi morfogenetici, dai più semplici ai più complessi, è certamente compito di ciascun geologo che vuol far bene il proprio lavoro.

Come dicono gli autori nella premessa, l'esigenza di questa guida nasce a seguito del Protocollo di intesa tra l'Ordine e Autorità di bacino dell'Arno ed è preceduta dalla pubblicazione della *“Legenda Geomorfologica a supporto della pianificazione territoriale”* e del 9° Corso di aggiornamento professionale dal titolo *“Geomorfologia applicata alla pianificazione”*. In qualche modo, questa pubblicazione, completa il percorso allora iniziato.

E' un contributo scritto da colleghi, variamente impegnati, comunque esperti della materia che la geomorfologia la “vivono” quotidianamente. Sono certo che tutti i colleghi, anche i più “navigati”, troveranno utile consultarlo per la chiarezza dei contenuti ed i frequenti riferimenti pratici, così indispensabili nell'attività quotidiana.

E' un contributo che va ad aggiungersi agli altri che in questi anni sono stati pubblicati dall'Ordine e di cui possiamo andare orgogliosi.

E' l'ulteriore dimostrazione della vitalità della categoria.

Vittorio d'Oriano

Presidente dell'Ordine dei Geologi della Toscana

La geomorfologia è forse la più importante chiave interpretativa per comprendere i processi gravitativi, idrologici e idraulici, a scala di bacino. E non è un caso che la legge 183/89, affidi proprio ad essa, nell'individuazione dei bacini idrografici, la definizione della scala spaziale alla quale l'Autorità di bacino svolge la sua pianificazione. Una sorta di innovativa rivoluzione che sancisce la preminenza, degli aspetti fisici, nei confronti dei limiti amministrativi che prima della emanazione della legge, in una sorta di singolare esclusiva, avevano specificato l'azione di governo del territorio dei diversi Enti.

Questa Guida costituisce uno dei frutti della collaborazione tra i Geologi e la nostra Amministrazione. È un prodotto del quale andiamo fieri e che traduce una collaborazione che soprattutto negli ultimi anni, con la firma del protocollo di intesa tra l'Ordine dei Geologi della Toscana e l'Autorità di bacino del fiume Arno, ha trovato nuovo impulso. Il PAI, che da pochi giorni è stato definitivamente approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, porta nel suo DNA anche questa collaborazione. E voglio qui ringraziare le decine di geologi, professionisti e funzionari della Pubblica Amministrazione che, con serietà e competenza, hanno partecipato alla appassionata discussione che, in centinaia di incontri, riunioni, sessioni tecniche, ha portato alla emanazione di questo importante atto di pianificazione.

Questa guida, prodotto concreto, pratico e operativo, rispecchia il carattere della nostra attività comune. Si tratta adesso di andare avanti verso nuove sfide tecniche e culturali. La più immediata, l'attuazione degli interventi prioritari del PAI che, l'accordo di programma quadro siglato a Firenze lo scorso 18 febbraio dal Ministro Matteoli, dal Presidente Martini e dal Segretario dell'Autorità di bacino, ha recentemente finanziato. Si tratta di una grande opera pubblica, unica nel suo genere, cui i geologi sono chiamati a dare il loro significativo contributo.

Giovanni Menduni  
Segretario Generale  
Autorità di bacino del fiume Arno

# **GUIDA PRATICA PER L'INDIVIDUAZIONE, LA CLASSIFICAZIONE, LA RAPPRESENTAZIONE E LA GESTIONE DEGLI ELEMENTI GEOMORFOLOGICI APPLICATI ALLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE**

## **1. PREMESSA**

Questa guida ha lo scopo di fornire informazioni riguardanti la realizzazione e la gestione della cartografia tematica, in particolar modo di quella geomorfologica finalizzata alla rappresentazione dei fenomeni di versante e all'individuazione delle zone a rischio idrogeologico.

L'esigenza di un documento sintetico, che sviluppasse in maniera organica l'approccio metodologico dell'analisi geomorfologica, è sorta a seguito delle due attività svolte nell'ambito del *Protocollo d'intesa* tra l'Ordine dei Geologi della Toscana e l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

La prima attività ha riguardato la *Legenda geomorfologica a supporto della pianificazione territoriale*, il cui testo di presentazione espone i motivi che hanno determinato la necessità della sua stesura ed alcuni concetti e definizioni sulle voci adottate, senza affrontare le metodologie relative all'acquisizione dei dati e alla realizzazione e gestione della cartografia tematica.

La seconda attività ha riguardato il 9° Corso di Aggiornamento Professionale dedicato alla *Geomorfologia applicata alla pianificazione*, svoltosi a Firenze nel giugno 2004, durante il quale gli aspetti sopra detti sono stati ampiamente trattati dai relatori, compatibilmente con il tempo disponibile, ma per i quali non fu contemplata la preparazione di appunti, ad eccezione di una nota informativa riguardante i GIS, qui riproposta, perché il corso era stato impostato prevalentemente su esercitazioni pratiche.

La guida vuole quindi sopperire a queste mancanze, con l'intento di essere utile a tutti i geologi che operano nel campo della pianificazione territoriale, per metterli nella condizione di usare una metodologia collaudata e di uniformare gli standard dei lavori svolti nel corso della loro attività professionale, di proporre il metodo nei casi ritenuti necessari e di valutare correttamente eventuali proposte che gli fossero sottoposte da altri.

In appendice, oltre alla legenda redatta nell'ambito del predetto protocollo, sono stati inseriti un glossario dei termini più comunemente utilizzati nei campi della geomorfologia, del telerilevamento e dell'elaborazione dei dati, ed una lista di indirizzi degli enti e delle amministrazioni presso le quali possono essere reperite informazioni e, in varia forma, basi topografiche, cartografia tematica e prodotti fotografici, che sono fondamentali per lo svolgimento di qualsiasi attività nell'ambito del territorio toscano.

## **2. LA CARTOGRAFIA TEMATICA IN GENERE**

La cartografia tematica, intesa in senso generale, comprende tutti i documenti contenenti informazioni attinenti ad un tema specifico, rappresentate su un supporto costituito da una base topografica o comunque riferite ad un sistema di coordinate geografiche.

Nel campo delle Scienze della Terra la produzione di carte tematiche è molto comune, poiché i vari tipi di rappresentazioni cartografiche, che costituiscono il prodotto finale della maggioranza degli studi, trattano in genere aspetti ambientali particolari, come le carte geomorfologiche, geologiche, litologiche, strutturali e tettoniche, ed idrogeologiche.

Rientrano in questo tipo di cartografia anche altri prodotti che hanno una certa attinenza alle predette scienze, come le carte pedologiche, dell'uso e copertura del suolo e varie altre, che possono essere prodotte da geologi che hanno ampliato il loro campo di specializzazione, o che rientrano nelle attività correnti pur essendo svolte da altri specialisti.

Fornire un'elencazione completa dei tipi di cartografia tematica è in pratica impossibile, poiché nell'ambito di un tema principale possono essere trattati solo alcuni aspetti particolari, quali, ad esempio, le forme morfologiche dovute all'azione della gravità, o quelle di origine fluviale o carsica, oppure la distribuzione di una o più formazioni geologiche o di alcuni litotipi, i lineamenti legati ad una particolare fase tettonica distensiva, i soli complessi idrogeologici permeabili per fratturazione o la distribuzione di sorgenti e pozzi, la distribuzione di alcune classi di uso del suolo, e così via.

Le scale di rappresentazione della cartografia tematica, come sarà meglio esposto in seguito, dipendono essenzialmente dall'estensione dell'area di studio e dal dettaglio richiesto; pertanto possono essere variabili e molto diverse se lo studio riguarda un'indagine ambientale a carattere regionale o serve per documentare e risolvere problematiche specifiche concentrate su un'area molto ristretta. In taluni casi, se la scala adottata fosse insufficiente per rappresentare importanti situazioni particolari, possono essere realizzati stralci cartografici a maggior dettaglio per ovviare a questo tipo di esigenza.

Nell'utilizzazione di qualsiasi documento cartografico e tematico deve essere comunque tenuto sempre presente la scala originale, specialmente quando si tratta di cartografie in formato numerico, che possono essere consultate e riprodotte automaticamente in scale molto diverse da quelle utilizzate nella costruzione del prodotto, poiché, nel caso specifico di ingrandimenti, esistono dei limiti di applicazione per non incorrere in evidenti imprecisioni geometriche e di dettaglio.

Nei Sistemi Informativi Territoriali (*SIT*) i temi s'integrano fra loro, ed è importante che la struttura dei sistemi stessi e delle banche dati tematiche siano ben progettate per ottenere il massimo di informazioni con il minimo di temi utilizzati.

### **3. I METODI DI REALIZZAZIONE**

Esistono diversi metodi per la realizzazione della cartografia tematica. Di seguito sono descritte le caratteristiche specifiche di ciascuno di loro, senza entrare in dettagli particolari, ma evidenziandone pregi e difetti.

#### **3.1. Metodo diretto**

Il metodo diretto si basa sulla raccolta delle informazioni mediante rilievi sul campo. Esso, indubbiamente, presenta numerosi pregi ed è insostituibile per il fatto di mettere il rilevatore in contatto con l'ambiente, di documentare la situazione esistente al momento, di offrire la possibilità di eseguire interviste nel caso della ricostruzione evolutiva di fenomeni verificatisi nel recente passato e, all'occorrenza, di compilare schede monografiche dettagliate.

Il metodo ha tuttavia alcuni limiti applicativi, come il tempo necessario alla sua esecuzione e il conseguente costo elevato, e quello relativo all'accessibilità dei luoghi, sia per logistica sia per condizioni meteorologiche avverse. Inoltre, per certi temi, il rilevamento diretto, che è necessariamente analitico, può risultare non applicabile nell'analisi di aree molto estese.

Questo metodo si applica ovviamente ai controlli sul terreno, eseguiti nell'ambito di qualsiasi altro metodo adottato.

### **3.2. Metodo di elaborazione automatica**

Il metodo si basa sull'estrazione e l'elaborazione automatica di dati già in forma digitale presenti in documenti preesistenti, o in carte e banche dati tematiche originali preparate nell'ambito delle indagini svolte per gli studi specifici in corso di esecuzione.

Questo metodo è applicato utilizzando tal quali i dati numerici riferiti alla geometria del terreno, come quelli contenuti nelle basi topografiche, che servono per la costruzione di carte del reticolo idrografico, dell'acclività, delle fasce altimetriche, dell'esposizione e orientamento dei versanti, e per la costruzione di modelli digitali del terreno (DTM), oppure, rielaborando i dati estraibili da altri documenti tematici, mediante un semplice processo di selezione, semplificazione e accorpamento delle voci presenti nelle loro legende.

Alcuni dei prodotti precedentemente menzionati, come quelli trattati nel seguente paragrafo, sono ottenibili solo utilizzando questo metodo, purché i dati di partenza siano corretti ed elaborati con programmi specifici.

### **3.3. Metodo di derivazione**

Il metodo di derivazione nei casi più semplici è simile a quello precedentemente descritto, ma in genere la sua applicazione è molto più complessa, poiché la costruzione della cartografia non è attuabile automaticamente, ma attraverso una rielaborazione che necessita di un contributo intellettuale, talora notevole, per selezionare e discriminare i dati caratteristici contenuti nei documenti di base e per introdurre elementi derivati da altre fonti, che devono essere trattati in maniera molto diversa.

Sono generalmente costruite con questo metodo le carte idrogeologiche, litologiche e quelle relative ad alcuni tipi di rischio, ma teoricamente possono essere ottenute anche carte della franosità o della stabilità dei versanti, combinando vari elementi estratti da cartografie topografiche, geologiche e strutturali, morfologiche e dell'uso del suolo, opportunamente trattati. Tuttavia, i tentativi effettuati ad oggi utilizzando questo metodo per ottenere cartografie tematiche, relative alla valutazione della stabilità a livello di dettaglio medio, hanno prodotto risultati piuttosto insoddisfacenti, poiché, in genere, gran parte delle informazioni contenute nei documenti di partenza è incompleta e raramente finalizzata per questo specifico scopo, e le tecniche di incrocio dei dati sono spesso troppo rigide. Le metodologie attualmente più utilizzate per la valutazione della propensione al dissesto a scala regionale sono illustrate nel capitolo 9.

### **3.4. Metodo indiretto**

Questo metodo, che utilizza le tecniche di telerilevamento, o *remote sensing*, si basa sulla registrazione a distanza d'informazioni riguardanti l'ambiente mediante sistemi di acquisizione, osservazione e interpretazione d'immagini della superficie terrestre ottenute da sensori, analogici o digitali, posizionati a terra o trasportati da mezzi aerei o satellitari. Ambedue i tipi di prodotti offrono notevoli vantaggi, poiché una volta acquisiti la loro analisi può essere eseguita indipendentemente dall'accessibilità dei luoghi e dalle condizioni meteorologiche, ma tra loro esistono tuttavia alcune sostanziali differenze.

Le fotografie aeree hanno come caratteristiche particolari la visione stereoscopica e la possibilità di riprese a grande scala, che permettono di osservare in dettaglio, ma in maniera panoramica e sintetica, tutte le componenti del paesaggio, sia morfologiche che geostrutturali ed inerenti l'uso e copertura del suolo, di riconoscere i dissesti in atto e le eventuali forme anomale rispetto al contesto circostante, tramite le quali è possibile individuare i fenomeni avvenuti in tempi passati e le condizioni potenzialmente favorevoli al verificarsi di eventi futuri. Inoltre, permettono di effettuare confronti immediati tra situazioni anche distanti tra loro, sia da un punto di vista fisico che temporale, quest'ultimo caso applicabile utilizzando *voli storici*, in genere facilmente reperibili.

L'analisi d'immagini multispettrali riprese da satelliti ed elaborate in forma digitale, con tecniche simili alla fotointerpretazione, trova applicazioni di grande interesse in molti campi, ma nella caratterizzazione morfologica è molto limitata dalla scarsa risoluzione e dalla generale mancanza di visione tridimensionale, poiché le immagini ad alta risoluzione e quelle stereoscopiche sono difficilmente disponibili e molto costose.

Le immagini multispettrali, inoltre, devono essere sottoposte a trattamenti particolari per sfruttare al meglio le loro caratteristiche intrinseche, ma il vantaggio importante risiede proprio nella multispettralità, che permette di effettuare analisi al di fuori dello spettro visibile e di combinare tra loro le varie bande. Inoltre, anche questi prodotti sono utilizzabili per confronti multitemporali ma, data la loro recente realizzazione, coprono periodi meno ampi di quelli documentati dalle foto aeree.

### **3.5. Metodo misto**

Il metodo misto si applica sfruttando le caratteristiche di ciascuno dei metodi precedentemente descritti, in misura variabile secondo le esigenze e le finalità dello studio, scelta che talvolta è condizionata dalla preparazione e dalle capacità dell'operatore.

La combinazione di tutti i metodi disponibili evidentemente offre la possibilità di ottenere un maggior numero di elementi e di dati, caratterizzati da un'elevata attendibilità qualitativa e da una buona precisione geometrica, e inoltre permette di incrociare e confrontare i risultati provenienti da fonti diverse, fatto che talvolta può evidenziare eventuali contraddizioni d'interpretazione.

In conclusione, indipendentemente dal contributo fornito dalle informazioni bibliografiche, il metodo più conveniente per effettuare indagini di carattere geomorfologico rimane quello basato sull'interpretazione di fotografie aeree in visione stereoscopica associata a rilievi e controlli sul campo. Questa considerazione deriva dai motivi pratici precedentemente descritti ma, soprattutto, dal fatto che gli studi analitici così eseguiti spesso forniscono informazioni imprevedibili e di grande interesse pratico, ottenibili solamente con questo metodo.

## **4. LA DOCUMENTAZIONE DI BASE**

La costruzione della cartografia tematica, indipendentemente dal metodo adottato, è condizionata dalla disponibilità di alcuni documenti e prodotti fondamentali, quali le basi topografiche, che servono di supporto ai vari temi, le coperture fotografiche aeree e di immagini satellitari, che costituiscono una delle fonti principali di dati, e le informazioni reperibili in bibliografia, che molto spesso sono di notevole aiuto.

### **4.1. Carte topografiche**

Secondo le finalità di ciascuno studio possono essere richieste basi topografiche in scala molto diversa, ma che in genere rientrano nelle carte *a grande scala*, ossia maggiori di 1:100.000.

La cartografia in scala 1.000/2.000, di competenza del catasto o dei comuni, è necessaria nell'esecuzione di studi di limitata estensione e con scopi molto particolari; quella al 5.000/10.000, di competenza delle regioni e denominata Carta Tecnica Regionale (*CTR*), è comunemente utilizzata per gran parte degli studi tematici e nella progettazione di interventi urbanistici e di tracciati stradali e ferroviari; la scala al 25.000, di competenza dell'Istituto

Geografico Militare (*IGMI*), è utile per analisi finalizzate ad ottenere una buona rappresentazione delle problematiche presenti in un territorio relativamente ampio e i cui dati possono essere sfruttati per altre applicazioni pratiche; infine, la cartografia al 50.000 o a scala inferiore, anch'essa prodotta dall'IGMI, è utilizzata per indagini conoscitive e di programmazione a carattere regionale, ossia finalizzate all'individuazione delle aree interessate da particolari problematiche che potranno essere oggetto di successivi approfondimenti.

Le basi topografiche dovrebbero essere preferibilmente aggiornate, condizione che purtroppo non sempre si verifica rispetto all'attualità delle foto aeree disponibili, ma relativamente a particolari studi lo devono essere necessariamente, e in tali casi è oltremodo opportuno che nell'esecuzione dell'analisi fotointerpretativa sia utilizzata la stessa copertura fotografica che è servita per la loro costruzione. Infatti, la disponibilità di cartografia e coperture fotografiche aggiornate è molto importante, perché rende più facile la restituzione della maggior parte dei dati rilevati sulle foto e lo stesso controllo sul terreno, e limita le difficoltà nell'aggiornamento degli elementi fisici, naturali e antropici, che possono essere variati nel frattempo. Talora, in casi di cartografie particolarmente obsolete sorgono vari problemi pratici, che possono essere tali da richiedere la realizzazione di una nuova base topografica adatta allo scopo.

Tuttavia, la possibilità di poter disporre di carte vecchie o storiche, come le mappe catastali e la cartografia topografica preunitaria e postunitaria dell'IGMI, è un fatto particolarmente importante per la ricostruzione di alcune situazioni ambientali avvenute in periodi non documentati dalle fotografie aeree storiche disponibili, come nei casi di espansioni urbanistiche, di variazioni di linee di costa o di corsi fluviali e delle relative aree di golena.

#### **4.2. Dati bibliografici**

La ricerca bibliografica costituisce un importante impegno nella fase iniziale di ciascuno studio e, in alcuni casi, deve essere svolta preliminarmente per aiutare il professionista nel proporre la metodologia da applicare nel suo svolgimento e definirne il relativo costo.

I dati bibliografici possono essere di tipo descrittivo e/o cartografico, e, com'è ben noto, essi sono reperibili in testi, manuali, articoli di riviste e bollettini editi da istituti di ricerca, università e da enti e associazioni culturali e scientifiche.

Nell'analisi geomorfologica, oltre alla documentazione relativa al tema specifico, è interessante poter disporre di tutte le informazioni inerenti le discipline delle Scienze della Terra che, nell'ambito dell'area interessata, possono talvolta risultare molto numerose mentre in altri casi quasi o assolutamente inesistenti.

Le informazioni bibliografiche, in particolare quelle di tipo cartografico, costituiscono senz'altro un notevole ausilio, ma dovranno essere controllate e valutate criticamente in funzione di quanto osservato e rilevato direttamente o indirettamente, poiché spesso esse sono rappresentate per scopi generici, o con criteri di classificazione diversi, e con un dettaglio inferiore a quello richiesto dallo studio in oggetto.

Tra i vari dati bibliografici sono da considerare utili anche quelli idrografici, pluviometrici e sismici, che in alcuni casi sono oltremodo necessari per comprendere i motivi dell'occorrenza di fenomeni da loro dipendenti.

#### **4.3. Fotografie aeree**

La ripresa aerofotografica classica consiste in una copertura stereoscopica a singoli fotogrammi, realizzata in verticale utilizzando apparecchiature fotografiche dotate di particolari accorgimenti meccanici ed elevate prestazioni ottiche.

La visione stereoscopica, che è la percezione tridimensionale degli oggetti dovuta alla visione binoculare ottenibile con opportuni strumenti, è resa possibile dal fatto che ciascun fotogramma ha una sovrapposizione con quello seguente della stessa strisciata variabile dal 55% al 90%, mentre la copertura di un'area è ottenuta da un insieme di strisciate parallele aventi una sovrapposizione tra loro variabile dal 5% al 55%. L'esagerazione del rilievo rispetto alle distanze, effetto che immediatamente è avvertito dall'osservatore, è in funzione inversa alla percentuale di ricoprimento.

La precisione metrica e la visione stereoscopica sono caratteristiche essenziali perché i fotogrammi possano essere utilizzati con strumenti di restituzione per la realizzazione di carte topografiche ma, nell'analisi fotointerpretativa, la prima delle due caratteristiche può avere tolleranze superiori.

Il numero approssimativo delle foto stereoscopiche necessarie per la copertura di un'area di studio è ottenibile applicando la seguente formula

$$Nf = Sa / Sf \times 4$$

nella quale  $Sa$  rappresenta l'estensione in  $\text{km}^2$  dell'area da rilevare e  $Sf$  la superficie in  $\text{km}^2$  coperta da ogni singola immagine nel formato e nella scala richiesta, oppure è determinabile utilizzando *nomogrammi* appositamente costruiti per questo scopo, che in genere sono riportati nei manuali specifici.

Le fotografie aeree sono realizzate con pellicole in b/n, pancromatiche e sensibili all'infrarosso (IR), e a colori e IR falso colore, queste ultime d'uso abbastanza limitato per vari motivi, tra cui quello del loro sviluppo che può essere fatto solo in laboratori particolarmente attrezzati.

L'uso dei vari tipi di prodotti dipende dagli scopi che si vogliono raggiungere, così come il periodo di ripresa. Nell'analisi geomorfologica si possono usare tutti i tipi di fotografie disponibili, sebbene quelle in b/n o colore siano le più polivalenti, ma sono preferibili le riprese eseguite in periodo invernale perché il terreno è meno mascherato dalla vegetazione arborea a foglia caduca.

Su ciascun fotogramma sono indicate varie informazioni, quali l'esecutore e il committente del volo, la quota relativa e l'assetto dell'aereo, la data e l'ora di ripresa, il tipo e la focale dell'apparecchio fotografico utilizzato, oltre, naturalmente, il numero progressivo della foto e quello della strisciata di appartenenza.

La scala media di una ripresa aerea può essere determinata, in prima approssimazione, mediante la seguente formula

$$Sf = Qr \times 1.000 / f$$

ossia moltiplicando per 1.000 la quota relativa e dividendo il risultato per la focale dell'apparecchio utilizzato nella ripresa, tenendo presente che spesso la misura dell'altezza è definita in piedi e non in metri, mentre la focale è espressa in millimetri e molto raramente in pollici.

Esistono sul mercato numerose coperture fotografiche aeree stereoscopiche, totali o parziali, che sono facilmente reperibili presso uffici cartografici regionali, altri enti locali (province, comuni e comunità montane) e l'IGMI. Inoltre, sono disponibili ortofoto, sia in b/n (AIMA) che a colori (serie IT2000), relative a vari anni, ma che non offrono la visione stereoscopica.

Tuttavia, in taluni particolari casi, è necessario disporre di un volo specifico, che può essere eseguito da ditte private specializzate, le quali possono essere anche consultate per verificare se nei loro archivi esistono altri voli disponibili. Nel caso di una nuova ripresa aerea su un'area di modesta estensione, particolarmente necessaria se il lavoro richiede anche la restituzione di una base topografica aggiornata, va tenuto conto che il costo d'esecuzione è rappresentato soprattutto dallo spostamento dell'aeromobile e che il tempo necessario alla ripresa dipende soprattutto dalle condizioni meteorologiche, che devono essere ottimali.

La necessità di una ripresa aerea specifica può essere talora soddisfatta anche dall'esecuzione di fotografie non metriche, stereoscopiche e non, eseguibili con camere fotografiche normali telecomandate o meno, montate su pallone sonda, deltaplano o aereo leggero, che possono essere veramente utili in indagini specialistiche su aree ristrette, come nel campo archeologico, dove è utile poter disporre anche di riprese oblique.

Esiste inoltre la possibilità di utilizzare voli eseguiti in epoche relativamente lontane, definibili in alcuni casi veri e propri voli storici, che sono molto utili per confrontare il comportamento di certi fenomeni in periodi diversi. In particolare sono reperibili voli parziali del 1935/37 e del 1947/48 (su lastra), il volo GAI del 1954, e tutta la numerosa serie di voli successivi eseguiti dall'IGMI, le coperture fotografiche riprese durante il secondo conflitto mondiale dalle aviazioni militari alleate e tedesche, reperibili presso l'Aerofototeca del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, e i vari voli eseguiti per conto delle amministrazioni pubbliche locali.

#### **4.4. Fotografie terrestri**

Le fotografie terrestri, già utilizzate per scopi topografici prima ancora di quelle aeree, hanno le stesse caratteristiche metriche di queste e sono particolarmente indicate per documentare e restituire cartografie di pareti e versanti molto acclivi, non rappresentabili diversamente.

Contrariamente a quelle aeree non esistono coperture fotografiche terrestri reperibili sul mercato, perché quelle di interesse geologico sono sempre state eseguite per scopi molto precisi e in genere restano confinate nell'ambito del progetto per il quale sono state realizzate.

Esse sono ottenute mediante apparecchi speciali che combinano le caratteristiche delle camere fotografiche, a lastre o pellicole di grande formato, con quelle degli strumenti topografici, tipo teodoliti, poiché per l'esecuzione delle riprese è necessario determinare la posizione geografica dei punti di presa e di quelli di controllo, che vanno individuati e misurati rispettivamente sul terreno e sulla parete. Altra esigenza del metodo è che l'angolo di presa verticale sia mantenuto entro valori prestabiliti, in modo che possa essere corretto strumentalmente in fase di restituzione; di conseguenza spesso si deve ricorrere all'uso di piattaforme mobili per elevare la quota del punto di ripresa.

L'uso di questo tipo di prodotti è particolarmente indicato, come detto precedentemente, nel caso di rilievi di pareti sub-verticali, perché il metodo permette di fornire fotografie osservabili in visione stereoscopica, di produrre ortofotopiani geometricamente corretti, e di ottenere restituzioni topografiche di tipo tradizionale, ossia con curve di livello e quote proiettate sul piano "x-y" e riferite all'asse "z", o prospettiche, ossia a curve di livello e quote proiettate su un piano di riferimento "x-z" e riferite all'asse "y". Infine, strumentalmente è possibile ricostruire in continuo i profili del versante con una rappresentazione reale, mentre quella basata sull'equidistanza delle isoipse evidenzia un profilo falsato a linee spezzate.

In alcune applicazioni particolari le fotografie terrestri sono utilizzabili in combinazione con quelle aeree, come nei casi dove occorre determinare lo stato di fratturazione di una parete rocciosa e definire l'orientamento dei vari sistemi che la interessano.

Nei casi in cui non occorre una particolare precisione metrica ciascuno può eseguire fotografie stereoscopiche utilizzando camere tradizionali nei formati correnti (6x6, 24x36) e digitali, che oltre ad essere anch'esse particolarmente indicate per analisi di fratture, sono molto utili per rilevare la presenza di ammassi litoidi in posizioni instabili, per determinare le percentuali dei vari litotipi o quelle granulometriche degli inerti, rispettivamente nelle rocce stratificate e nei depositi clastici esposti su tagli artificiali. La visione stereoscopica si ottiene fotografando ripetutamente l'oggetto da punti di presa leggermente diversi, in modo da ottenere una serie di fotogrammi con un'ampia sovrapposizione dell'immagine. Questa

semplice operazione può essere facilmente eseguita anche da imbarcazioni o da elicotteri senza particolari problemi.

#### **4.5. Immagini da satellite**

Consistono in immagini rilevate e trasmesse da piattaforme satellitari che orbitano ad altezze costanti, generalmente tra 600 e 800 km, con risoluzioni sul terreno di 6-15 m per le bande pancromatiche, e di 20-30 m per quelle multispettrali, ma il continuo sviluppo tecnologico ha già creato sensori che ottengono risoluzioni molto elevate, comparabili a quelle delle fotografie aeree.

I satelliti più comunemente usati per applicazioni nel campo delle Scienze della Terra sono riassunti nel seguente elenco, ciascuno dei quali è attrezzato con uno o più sensori.

*Landsat 5 TM (Thematic Mapper)* - Sviluppato dalla NASA (USA), lanciato nel marzo 1984 e tuttora funzionante, multispettrale in 6 bande con risoluzione di 30 m, più una banda (6) nell'IR termico con risoluzione 120 m, ampiezza della scena 185 km, 16 giorni di intervallo tra passaggi successivi, altezza dell'orbita 705 km. Tra l'aprile 1999 e il maggio 2003 è stato attivo il *Landsat 7 ETM (Enhanced Thematic Mapper)*, che rispetto al precedente ha una banda (8), pancromatico con risoluzione di 15 m, e una maggior risoluzione nella 6 (60 m).

*SPOT* - Sviluppato da CNES (Francia), pancromatico e multispettrale in 4 bande, risoluzioni di 10 m nel pancromatico e 20 m nelle altre, ampiezza della scena 117 km, 26 giorni di intervallo tra passaggi successivi, altezza dell'orbita 822 km. Lo *SPOT 4* ha cinque bande, di cui una nell'infrarosso vicino. Dal maggio 2002 è attivo lo *SPOT 5*, con due bande pancromatiche, tre multispettrali ed una nell'infrarosso vicino, con risoluzione rispettivamente di 5, 10 e 20 m.

*IRS-1D* - Sviluppato da NRSA (India), pancromatico e multispettrale in 4 bande, risoluzione di 6 m nel pancromatico, 70 m nella banda 4 (infrarosso medio) e 23 m nelle altre, ampiezza della scena 70/141/148 km, 24 giorni di intervallo tra passaggi successivi, altezza dell'orbita 817 km.

*JERS-1* - Sviluppato da NASDA (Giappone), multispettrale e SAR in 8 bande, risoluzione 18x24 m, ampiezza della scena 75 km, 44 giorni di intervallo tra passaggi successivi, altezza dell'orbita 570 km.

*ERS-1&2* - Sviluppato da ESA (Europa), SAR, con risoluzioni di 30/500/1000 m, di 0,1 m in verticale con l'altimetro radar, ampiezza della scena 100/500 km, 35 giorni d'intervallo tra passaggi successivi, altezza dell'orbita 782 km.

*QuickBird* - Sviluppato da DigitalGlobe (USA), pancromatico e multispettrale in 4 bande, risoluzione 60-70 cm nel pancromatico e 2,4-2,8 m nelle bande multispettrali, ampiezza della scena 16,5 km, altezza dell'orbita 450 km.

Esistono in commercio anche prodotti ottenuti da altri sensori che, rispetto ai precedenti, sono meno disponibili ed hanno coperture discontinue nel tempo e nello spazio, come il russo *Resurs-01*, lanciato nel 1994, che trasporta il sensore MSU-SK.

Sempre di produzione russa sono le fotografie riprese da camere applicate su piattaforme ex militari, le quali hanno un'ottima risoluzione. Il satellite *Cosmos*, noto come SPIN-2, è equipaggiato con due fotocamere pancromatiche, la TK-350 e la KVR-1000, rispettivamente con risoluzione di 10 e 2 m, i cui prodotti sono disponibili dal 1988.

## 5. LA CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA

La caratterizzazione geomorfologica, ossia l'individuazione, la rappresentazione e la descrizione di tutti i molteplici aspetti delle forme del terreno, è riservata ad operatori particolarmente preparati nel campo specifico; tuttavia, allo scopo di rendere comprensibile la complessità del tema trattato anche ad un pubblico più ampio, nel presente capitolo sono esposti alcuni concetti fondamentali.

### 5.1. Generalità

La geomorfologia, o morfologia terrestre, è la disciplina che si prefigge lo scopo di definire e interpretare le varie forme della superficie terrestre. Esse dipendono dalla natura geologica dei terreni, dagli eventi tettonici cui essi sono stati soggetti, e dai processi di modellamento dovuti all'azione di vari agenti esogeni ed endogeni, tra i quali assumono particolare importanza nell'ambito della nostra regione quelli dipendenti dalle azioni della gravità e delle acque.

Gli effetti prodotti da questi fattori primari possono essere stati successivamente modificati, attenuati od esaltati dagli interventi eseguiti dall'uomo per adattare l'ambiente ai propri scopi. In epoche storiche, infatti, taluni ambienti hanno subito varie vicissitudini a causa della colonizzazione agraria, dello sviluppo demografico e dell'industrializzazione, e per mutamenti sostanziali quali rettifiche di corsi d'acqua, modificazioni delle linee di costa ed escavazioni minerarie.

Il risultato finale dell'azione di tutti questi processi, in cui il tempo ha un'importanza determinante, è un *paesaggio* che esprime con le sue forme la loro influenza relativa, e, in alcuni casi, può addirittura verificarsi che le modificazioni di carattere antropico abbiano trasformato un paesaggio *naturale* in uno *costruito*.

Pertanto, la conoscenza approfondita dei molteplici aspetti di un territorio e della loro storia, sia dal punto di vista naturale che antropico, è essenziale per programmare qualsiasi forma d'investimento nello sfruttamento e nella conservazione delle risorse, e in particolare lo è nella prevenzione e nella difesa dalle calamità naturali.

### 5.2. Cartografia geomorfologica

Il documento mediante il quale si esprimono le caratteristiche morfologiche di un territorio è la Carta Geomorfologica, nella quale i vari elementi sono rappresentati con aree e simboli, lineari o puntuali, in funzione delle loro dimensioni, la quale può essere variamente adattata, sia nei contenuti che nella scala di rappresentazione, per finalizzarla alle esigenze di ciascun caso.

Le forme morfologiche sono classificate in gruppi che individuano l'agente dominante che le ha determinate. Pertanto esistono forme dovute all'azione della gravità, fluviali e di dilavamento dei versanti, carsiche, glaciali, eoliche, di ambiente marino, lagunare e lacustre, vulcaniche ed antropiche.

Le forme del paesaggio possono essere definite mediante specifiche analisi di carattere geomorfologico, le quali, agli effetti pratici, non hanno solo il compito di rappresentare le situazioni dello stato attuale, ma di individuare i processi che le hanno determinate, l'eventuale esistenza di qualsiasi tipo di vecchi fenomeni, attivi o meno, di prevedere la loro probabile evoluzione nel prossimo futuro, e di localizzare le aree potenzialmente instabili, indipendentemente dalla presenza o meno di manifestazioni in atto.

Questi ultimi compiti trovano naturalmente più facile attuazione se esistono le condizioni che permettono di ricostruire almeno alcune delle fasi avvenute nel passato. Nella valutazione

dei fenomeni più antichi dovrebbero essere pertanto conosciute o ricostruite anche le vicissitudini geografiche dell'area, che in genere sono quelle che hanno determinato l'evento, mentre nell'analisi di quelli recenti dovrebbero essere confrontati i loro eventuali comportamenti trascorsi.

Deve essere inoltre considerato anche il fatto che in zone climatiche particolari possono verificarsi effetti molto diversi, sebbene tutte le altre caratteristiche ambientali siano identiche.

### 5.3. Legende

Esistono vari tipi di legende geomorfologiche, come nel caso di tutti gli altri tipi di carte tematiche, ma nella pratica professionale molto spesso queste sono utilizzate come base di partenza, poiché in corso d'opera sono soggette all'introduzione di nuove voci, o di loro attributi, oltre a quelle già previste, o addirittura vengono in gran parte rivoluzionate, dato che le problematiche insite nel lavoro possono richiedere particolari specifiche e/o presentare situazioni non prevedibili a priori. Di conseguenza la struttura della legenda geomorfologica deve essere caratterizzata da *dinamicità* e *flessibilità*, specialmente quando essa è impiegata per scopi applicativi. Il carattere dinamico è dato dal fatto che la legenda preliminare, basata soprattutto sulle caratteristiche dell'ambiente da indagare, possa essere modificata, migliorata ed adattata nel corso dell'interpretazione, fino alla sua stesura finale che sarà definita selezionando gli elementi effettivamente utili e significativi. La flessibilità è importante per permettere di dare maggior enfasi a quelle classificazioni e ai fenomeni che, secondo i casi, sono più importanti ai fini dell'indagine.

La legenda stilata nell'ambito del Protocollo d'intesa tra OGT e AdBA, la cui struttura è di tipo gerarchico aperto, con le varie forme distinte in gruppi, sottogruppi, tipi e sottotipi individuati da codici numerici, rappresenta un esempio di legenda creata per una particolare esigenza, poiché il suo scopo principale è quello di uniformare la stesura metodologica e formale degli studi eseguiti dai vari autori che operano sul territorio regionale, specialmente nella produzione di cartografie commissionate da enti pubblici.

## 6. I PRINCIPI DELLA FOTOINTERPRETAZIONE

La fotointerpretazione è il processo mediante il quale i dati telerilevati sono trasformati in informazioni tematiche. Per attuare il processo è necessario eseguire una fase analitica da parte di un interprete capace di riconoscere il significato dei dati in funzione delle finalità dello studio in oggetto. Questa fase può consistere nell'interpretazione di fotografie aeree, e di altri tipi d'immagini in forma fotografica, o nell'analisi di elaborazioni digitali, ottenute con processi di trattamento molto raffinate, eseguibili direttamente al video, ma in ogni caso essa rappresenta un importante contributo intellettuale.

Il processo di fotointerpretazione si svolge in due stadi: il primo, di *identificazione*, consiste nell'esame, nel riconoscimento e talvolta nella misura di oggetti sull'immagine; il secondo, di *interpretazione*, implica un'analisi mentale degli elementi osservati, sia deduttiva che induttiva, riguardo al loro significato in rapporto al tema della ricerca. Il riconoscimento e la scelta degli elementi più significativi, e la loro corretta correlazione, sono compito dell'interprete e, al tempo stesso, costituiscono la prova della sua capacità, per la quale sono fattori importanti l'esperienza e la specifica preparazione nelle discipline del tema investigato. Di conseguenza, nel campo della geologia, dove la componente interpretativa è preminente, il fotointerprete deve essere necessariamente un geologo.

I criteri per l'identificazione e/o l'interpretazione del significato degli oggetti osservati si basano sulle caratteristiche proprie di ciascuno di loro, e sono raggruppabili in due categorie di parametri: *caratteri distintivi dell'oggetto* e *rapporti tra oggetto e ambiente circostante*. Nella prima rientrano i caratteri geometrici (forma, dimensione, struttura, tessitura o trama, e ombra, che può essere un rilevatore di forma e dimensione) e quelli spettrali (toni di grigio, colore, firma spettrale). Nella seconda categoria sono da considerare ubicazione, associazione e variabilità nel tempo, quest'ultima particolarmente importante per certi oggetti e fenomeni legati alla dinamica geomorfologica e all'attività antropica.

## 7. LA FOTOINTERPRETAZIONE GEOMORFOLOGICA

L'analisi interpretativa dei documenti fotografici consiste nel processo di riconoscimento delle forme morfologiche, dipendente in gran parte dall'esperienza dell'operatore, anche sul terreno, e soprattutto dalla sua *sensibilità*. Sulle foto aeree sono documentati, nei loro particolari, tutti gli elementi che concorrono alla creazione del paesaggio, e l'analisi consiste quindi nel cercare di individuarli. Alcuni sono relativamente facili, perché costituiti da forme oggettive ben definite ed univoche, mentre altri devono essere interpretati desumendoli dalla combinazione di più elementi meno appariscenti o da labili tracce, specialmente se si deve valutare il comportamento che l'oggetto potrà assumere in un prossimo futuro.

Tutto ciò dipende quindi anche da un elevato contributo soggettivo, e conseguentemente l'analisi deve essere affrontata dedicando il tempo necessario perché l'operatore possa *entrare fisicamente* nell'ambiente e comprenderne le caratteristiche essenziali. Solo dopo l'approccio preliminare può essere iniziata la fase analitica vera e propria, la quale deve essere svolta sistematicamente procedendo per gradi ed evitando di accavallare troppe informazioni di facile individuazione, fatto che potrebbe portare alla perdita di altre meno appariscenti ma in taluni casi più importanti.

Nell'esecuzione dell'analisi fotointerpretativa sarebbe opportuno utilizzare fotografie in scala adatta agli scopi del lavoro e alla sua rappresentazione grafica. Il rapporto ideale tra le due scale è identico a quello utilizzato nella produzione della cartografia aerofotogrammetrica (scala foto 1:4/6.000 per cartografia in scala 1:1/2.000, 1:8/10.000 per 1:5.000, 1:14/18.000 per 1:10.000, 1:33/42.000 per 1:25.000). Ma in pratica, specialmente nell'analisi dettagliata di aree molto ristrette, si è spesso costretti ad utilizzare qualsiasi tipo di scala fotografica disponibile, ricorrendo ad ingranditori che servono a superare certe limitatezze, fatto che risulta molto faticoso se applicato per lungo tempo. Comunque, anche nelle applicazioni con elevato dettaglio, risulta molto utile la disponibilità di un volo eseguito a quota relativamente più elevata, tramite il quale possono essere individuati elementi e fenomeni di grandi proporzioni che spesso sfuggono al campo di osservazione più ristretto.

Il metodo fotointerpretativo in genere, e in particolare modo nella sua applicazione negli studi di carattere geomorfologico, è costituito da varie fasi che sono descritte nei seguenti paragrafi.

### 7.1. Operazioni preliminari

Questa fase prevede l'analisi delle varie problematiche connesse all'esecuzione dello studio, e serve per valutare la metodologia da applicare al fine di raggiungere gli scopi che esso si prefigge.

Le attività preliminari riguardano soprattutto la ricerca e l'acquisizione della documentazione ritenuta necessaria per svolgere l'incarico nel migliore dei modi. La documentazione è costituita in particolare dai dati bibliografici, di superficie e sottosuolo, compresi quelli inediti

eventualmente in possesso del committente, dalla cartografia topografica di base o di quanto disponibile per la sua costruzione, e dalle coperture fotografiche aeree esistenti, che dovranno essere valutate per epoca e scala d'esecuzione per definire quali acquisire ed utilizzare.

Inoltre, in alcuni casi è possibile che sia necessario un sopralluogo sull'area oggetto d'indagine per una migliore valutazione delle problematiche realmente esistenti.

Le attività sopra descritte, talora abbastanza impegnative, spesso devono essere svolte per gran parte durante la fase di preparazione dell'offerta, poiché esse sono fondamentali per la valutazione tecnica ed economica della stessa.

## **7.2. Analisi e annotazione**

La fase analitica vera e propria delle foto aeree è normalmente preceduta da una fase di preparazione del materiale fotografico, consistente nella costruzione del fotoindice, qualora non esista, nel taglio dei lucidi trasparenti nel formato delle foto (*templetti*), nella loro applicazione mediante nastro adesivo su fotogrammi alternati della stessa strisciata, nel riportare su ciascun lucido le marche e i numeri di riferimento, utili qualora fosse necessario separarli temporaneamente dalle foto prima della conclusione del lavoro.

L'analisi fotointerpretativa è attuata su coppie mediante stereoscopi a specchi, di cui esistono vari modelli da tavolo, sia per uso individuale (Topcon, Wild, Zeiss, Galileo, ecc.) che per addestramento (Condor, Old Delft), quest'ultimi utilizzabili contemporaneamente da due osservatori. Tutti gli strumenti sono attrezzati con attacchi che permettono di montare come accessori ingranditori binoculari 3X e 6X, prodotti dallo stesso costruttore, ma alcuni di loro li hanno addirittura incorporati. Esistono anche altri due tipi di stereoscopi, cosiddetti da campagna e tascabili, che sono adatti alla consultazione delle foto ma non alla loro annotazione.

Le forme morfologiche, o qualsiasi altro tipo d'informazione, sono annotate direttamente sul lucido applicato alla foto, utilizzando pennarelli indelebili con punta fine e in colori diversi, i quali possono essere molto utili per rendere meglio visibili certe distinzioni.

Nel caso di dover utilizzare immagini da satellite o ortofoto in formato cartaceo l'annotazione deve essere effettuata direttamente sui documenti, evidenziando anche in questo caso le informazioni su un supporto trasparente, mentre se gli stessi sono disponibili in formato raster l'operazione può essere effettuata direttamente al video. La mancanza della visione stereoscopica in ambedue i predetti prodotti costituisce una limitazione nell'individuare certe forme particolari, e di conseguenza essi sono poco frequentemente utilizzati da soli, mentre è molto comune la loro combinazione con altri più consoni allo scopo.

L'uso delle fotografie aeree su supporto cartaceo e dello stereoscopio come mezzo d'osservazione è ancora oggi molto diffuso, ma esistono apparecchiature molto costose, perché derivate da strumenti cartografici, che permettono di osservare in visione stereoscopica coppie di fotografie digitali, e quindi di annotare direttamente al video e di registrare contemporaneamente le informazioni così ottenute.

## **7.3. Restituzione dei dati**

Le informazioni, annotate sulle fotografie aeree durante la fase analitica, sono successivamente trasferite sulla base topografica prescelta, in modo da costruire un documento geometricamente corretto, che costituirà una prima stesura della cartografia tematica, in forma riproducibile e utilizzabile anche da altri.

L'operazione di trasferimento può essere effettuata con vari metodi, la cui scelta è funzione della cartografia disponibile e del grado di precisione che è necessario ottenere. In gran parte dei casi, può essere eseguita disegnando direttamente su un poliestere indeformabile, referenziato alla base, facendo riferimento ai particolari topografici rappresentativi. Spesso, tuttavia, per mancanza di detti elementi e per ottenere un livello di precisione accettabile, è necessario ricorrere ad ingrandimenti o riduzioni calcolati su punti di controllo prescelti, o ad attrezzature reflex a focale fissa, camere lucide o altri apparecchi specifici (WILD, ZEISS, OMI). In alcuni casi, in realtà abbastanza rari, per ottenere un'elevata precisione può essere necessario dover ricorrere alla restituzione strumentale mediante gli stessi apparecchi utilizzati per la costruzione delle carte topografiche.

Una semplice formula che permette di calcolare facilmente la scala effettiva di ciascun fotogramma è la seguente

$$Sf = Sc \times Dc / Df$$

ossia, la scala fotografica è uguale al denominatore della scala della carta moltiplicato per la distanza misurata tra due oggetti sulla carta stessa, diviso la distanza risultante tra gli stessi oggetti misurata sulla foto. Questo valore è attendibile solo se calcolato tra punti situati a quote simili e qualora non esista una distorsione dell'angolo di presa.

Durante la restituzione dei dati, ma spesso anche al termine dell'operazione, di solito sorge la necessità di adattare e/o aggiornare gli elementi morfologici rilevati con quelli rappresentati sulla base topografica stessa, di dover effettuare eventuali integrazioni o correzioni per rendere i dati morfologici omogenei e coerenti con quelli geologici, o viceversa, oltre che eliminare limiti incongrui o aggiungerne altri mancanti. Inoltre, in questa fase devono essere nuovamente confrontate le informazioni desunte dalle foto con quelle bibliografiche. Di conseguenza, per risolvere tutti i vari tipi di questioni appena dette è necessario analizzare di nuovo, ma puntualmente, le fotografie aeree.

A conclusione della compilazione della carta tematica sarà stabilita la legenda definitiva in funzione della sua utilizzazione.

#### **7.4. Controlli e stesura finale della cartografia**

Gli originali di disegno o i plottaggi di prova, ottenuti rispettivamente trasferendo le annotazioni direttamente sulla base topografica o utilizzando i raster della loro scansione, devono essere sottoposti ad un duplice controllo. Il primo, eseguibile in sede, è necessario per verificare la presenza di eventuali errori materiali, quali la chiusura perimetrale delle aree o l'esatta attribuzione alle classi di appartenenza; il secondo, da eseguirsi sul campo, è necessario per verificare l'attendibilità dei contenuti e per l'introduzione di tutti quegli elementi che possono essere sfuggiti all'osservazione o rilevabili solo direttamente.

La ricognizione sul terreno è sempre opportuna, se non indispensabile, e potrà essere più o meno accurata ed estesa in funzione della disponibilità di dati bibliografici, del tipo di indagine e del grado di dettaglio richiesto, della difficoltà delle situazioni geologiche e dell'entità della copertura vegetale. I suoi scopi sono essenzialmente di risolvere i punti dubbi della fotointerpretazione, integrare e completare i dati nelle zone coperte o mal visibili, raccogliere quelli di tipo analitico e puntuale, verificare la correttezza nella definizione delle forme e degli elementi. In ogni caso, si tratterà di effettuare controlli in punti e zone ben definite e limitate, scelte preventivamente in modo da ottimizzare la raccolta dei dati anche in funzione dell'accessibilità dei luoghi. È opportuno che i predetti controlli siano eseguiti dallo stesso geologo che ha effettuato la fotointerpretazione, eventualmente in squadra con altri specialisti nelle discipline connesse al tema della ricerca.

Nel corso dei sopralluoghi è possibile che siano riscontrati errori d'interpretazione, anche se l'analisi è stata eseguita da parte di tecnici esperti, ma in genere essi sono di tipo sistematico e conseguentemente di facile riconoscimento ed eliminabili con controlli parziali. D'altra parte

può accadere che alcuni elementi dedotti dalle foto non siano riscontrati in loco, e in questi casi essi vanno valutati molto attentamente, poiché spesso evidenziano situazioni particolari le cui tracce sono individuabili solo con la visione sinottica offerta dalle foto.

Una volta ultimati tutti i necessari controlli sulla versione provvisoria della cartografia tematica, controlli che spesso obbligano a riconsiderare sulle fotografie aeree alcune situazioni in base ai risultati rilevati sul campo, si può procedere alla sua edizione definitiva. Essa è generalmente eseguita mediante varie operazioni, quali la scansione dell'originale di disegno, la georeferenziazione e la digitalizzazione di tutti i suoi contenuti, secondo la struttura della banca dati predisposta in funzione del progetto specifico.

L'edizione finale in forma cartacea è ottenuta mediante appositi programmi, utilizzando librerie di simboli che permettono la vestizione grafica delle informazioni presenti nella banca dei dati numerici.

### **7.5. Relazione illustrativa**

La relazione tecnica illustrativa, che è parte integrante di qualsiasi tipo di studio, nella caratterizzazione geomorfologica è un documento di rilevante importanza, perché rappresenta l'unico mezzo mediante il quale l'autore può fornire notizie e informazioni non rappresentabili graficamente nella cartografia tematica.

Il testo della relazione deve essere organizzato in modo da esporre in maniera esaustiva tutti gli aspetti dello studio. In particolare, deve contenere una descrizione dei motivi che hanno determinato la necessità della sua esecuzione e dichiarare gli scopi che si vogliono raggiungere, fornire un inquadramento geografico e geologico dell'area indagata, elencare ed esporre i documenti bibliografici e i materiali utilizzati, descrivere la metodologia applicata, e fornire una descrizione esauriente, anche da un punto di vista concettuale, delle voci presenti nella legenda e della loro distribuzione.

Nella relazione può essere talvolta necessario inserire anche ulteriore materiale esplicativo, tipo tabelle statistiche ottenute mediante l'elaborazione dei dati, eventuali disegni e sezioni, e la documentazione fotografica relativa alle varie tipologie di fenomeni geomorfologici presenti nell'area di studio.

Infine, essa deve riportare i risultati ottenuti, evidenziare gli eventuali dubbi e proporre gli approfondimenti conoscitivi per eliminarli, suggerendo quindi le eventuali indagini geognostiche, sia dirette che indirette. A questo proposito, va ricordato ancora una volta, che talune analisi, molto specialistiche e inerenti particolari problematiche, sono talvolta commissionate dal progettista in base ad un criterio basato sull'attendibilità del metodo, ma più spesso ciò avviene perché altri sistemi d'indagine non sono stati in grado di comprendere la natura dei problemi esistenti. Di conseguenza, può verificarsi che un'analisi fotointerpretativa eseguita per ottenere degli scopi preposti evidenzia altri aspetti più importanti e dimostri l'inesistenza di quelli attesi.

## 8. LE APPLICAZIONI PRATICHE

Le applicazioni dell'analisi geomorfologica sono numerose, ma in pratica sono distinguibili in un numero relativamente modesto di tipologie. Ogni studio, infatti, può essere catalogato secondo il settore d'indagine, e quindi gli studi possono essere definiti di tipo ambientale in genere, o di tipo urbanistico, ingegneristico, geotecnico, idraulico, ecc. Tuttavia, studi apparentemente simili spesso risultano tra loro notevolmente diversi per condizioni geologiche e problematiche particolari, talora impreviste e che emergono solo nel corso dell'analisi.

D'altra parte, se si considerano le applicazioni della geomorfologia in base al tema specifico, gli studi possono essere classificati secondo varie categorie, delle quali elenchiamo le principali:

- individuazione di dissesti in atto e potenziali;
- analisi comparate di singoli fenomeni gravitativi;
- definizione della stabilità dei versanti;
- classificazione del tipo e determinazione del grado d'erosione del suolo;
- individuazione dei terrazzamenti agricoli e del loro stato di conservazione;
- caratterizzazione degli alvei fluviali, attivi e abbandonati, e delle aree di golena;
- individuazione di probabili giacimenti minerali secondari;
- costruzione del reticolo idrografico e sua caratterizzazione;
- individuazione delle aree potenzialmente inondabili;
- valutazioni delle variazioni di coste marine e lacustri;
- indagini relative alla realizzazione di grandi opere, tracciati ferroviari e stradali, condotte ed elettrodotti;
- valutazioni di impatto ambientale;
- difesa dal rischio idrogeologico di opere, centri abitati e siti archeologici;
- definizione delle unità di paesaggio;
- individuazione di discariche ed aree inquinate;
- ricostruzioni evolutive d'insediamenti industriali ed attività estrattive.

Di seguito, per mostrare in quale misura la fotointerpretazione può contribuire in questi tipi di studi, sono descritti sinteticamente alcuni esempi di applicazioni più attinenti alle finalità del tema trattato nella guida.

### 8.1. Stabilità dei versanti

L'analisi di un paesaggio mediante le foto aeree permette d'individuare due differenti ordini di fenomeni. Il primo, di carattere oggettivo, riguarda le alterazioni esistenti sulla superficie del terreno, come le nicchie di distacco e gli accumuli di frana, le zone caratterizzate da contropendenze o depressioni e quelle soggette a vari tipi di erosione, il grado di competenza dei terreni, ed altre informazioni inerenti il tipo di copertura vegetale, l'acclività e l'idrografia, oltre che l'eventuale presenza di interventi umani. Il secondo ordine di fenomeni, di carattere più soggettivo, riguarda la litologia, l'inclinazione degli strati e le loro relazioni con l'orientamento del versante, la struttura plicativa e disgiuntiva, tra cui lo stato di fratturazione delle rocce.

Alcuni di questi elementi costituiscono i principali fattori, o parametri, della franosità. Di conseguenza, se invece di considerarli per gruppi separati, come se si dovessero realizzare varie carte tematiche, essi sono valutati sinteticamente secondo l'effetto combinato che producono sul paesaggio, è possibile suddividere l'intero territorio analizzato in aree caratterizzate da diversi gradi di stabilità relativa, in funzione della possibilità che si verifichino o meno movimenti gravitativi, sia per evoluzione naturale che per motivi antropici.

La cartografia tematica ottenibile applicando questo metodo, che in pratica consiste in una *Carta della stabilità dei versanti* o *Carta della franosità in atto e potenziale*, è caratterizzata

da una legenda che definisce sia i processi di degradazione dei versanti che le classi di stabilità, ma è evidente che per la sua realizzazione occorre un maggior numero di controlli sistematici sul campo, necessari per verificare l'attendibilità dei suoi contenuti, gran parte dei quali è di natura interpretativa.

A ciascuna classe di stabilità è inoltre possibile associare la sigla dei relativi fattori deficitari ( $d$  = drenaggio,  $t$  = gradiente topografico,  $s$  = assetto della stratificazione,  $l$  = litologia e  $v$  = vegetazione), che servono ad evidenziare le eventuali differenze esistenti tra aree classificate nello stesso modo, oppure esprimere per ciascun fenomeno gravitativo in atto o potenziale la grandezza del rischio derivante dalla sua presenza, valutando la probabilità che l'evento possa verificarsi (basso, medio o alto), l'effetto risultante (piccolo, grande o disastroso), il tipo di frana (crollo o ribaltamento, scorrimento, colamento o complesso) e il volume della massa coinvolta (espresso in metri cubi e definito in classi d'ampiezza dipendenti dalle casistiche esistenti nell'area analizzata).

## 8.2. Erosione del suolo

L'erosione è il fenomeno per il quale la superficie terrestre, attaccata da vari agenti (chimici, fisici, biologici e antropici), subisce una continua demolizione, e a questo processo d'asportazione è associato quello di trasporto e di deposizione dei detriti così originati.

L'erosione, condizionata essenzialmente dagli stessi fattori che determinano la stabilità dei versanti, usualmente è distinta in tre tipi.

- *Erosione normale* o *geologica*, in genere non apprezzabile perché la velocità di degradazione è abbastanza lenta esistendo un sostanziale equilibrio tra l'asportazione del suolo e la formazione di quello nuovo per alterazione del substrato.
- *Erosione idrometrica*, ossia quella naturale dovuta alle acque dilavanti, le quali prima svolgono la loro azione uniformemente su tutta la superficie e successivamente tendono ad incanalarsi. Sono definite acque *selvagge*, *ruscellanti* o *di dilavamento* quelle che scorrono disordinatamente, mentre acque *incanale* sono quelle che percorrono alvei incisi. Questo tipo di erosione si sviluppa attraverso vari stadi progressivi, denominati erosione *diffusa* o *laminare* (*sheet erosion*), erosione *per rigagnoli* (*rill erosion*), ed erosione *per fossi* o *vallecole* (*gully erosion*), di cui quella *a calanchi* è un caso estremo e molto particolare.
- *Erosione accelerata*, comprendente i fenomeni erosivi instauratisi a seguito di interventi antropici che hanno alterato le condizioni naturali preesistenti.

Secondo questi concetti, distinguendo sulle foto aeree le forme mediante le quali si esprime l'azione erosiva, si possono costruire carte tematiche specifiche, nelle quali i vari fenomeni sono distinti anche in base al loro grado d'intensità. Naturalmente, i documenti ottenuti con questo metodo rappresentano l'aspetto qualitativo dell'erosione in atto e non quello quantitativo, per la valutazione del quale sono necessari dei parametri sperimentali, ma questi documenti potranno essere utili per individuare la migliore posizione dove situare le eventuali stazioni di misura. Tuttavia, mediante la combinazione di vari temi, quali i processi di versante, le classi di pendenza, l'utilizzo del suolo e la presenza di terrazzamenti agricoli, sono state ottenute carte sperimentali per la valutazione del rischio potenziale dell'erosione del suolo.

## 8.3. Caratterizzazione di alvei ed aree inondabili

L'analisi fotointerpretativa di una pianura alluvionale, sulla quale insiste un corso fluviale inciso nelle aeree di golena adiacenti, è in grado di fornire numerose informazioni atte alla caratterizzazione di tutti gli aspetti morfologici connessi a questo tipo d'ambiente, sia naturali che antropici, ma solo relativamente al momento corrispondente alla ripresa aerea. Invece, se lo studio è eseguito mediante il confronto analitico tra gli elementi desumibili dalle varie coperture fotografiche storiche disponibili, ed i risultati vengono a loro volta confrontati con i contenuti delle basi topografiche e di eventuali carte tematiche aggiornate ad epoche

precedenti, è possibile ricostruire l'evoluzione di gran parte dei fenomeni verificatisi e fornire importanti dati, sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo. Va inoltre tenuto presente che alcune delle forme geomorfologiche individuate possono essere attribuite ad una specifica data o ad un periodo relativamente ristretto.

Tra gli aspetti naturali esistenti nell'ambito dell'alveo si possono distinguere l'*alveo di magra* da quello *a piene rive*, classificare il tipo di *sponda (bassa o alta)* e calcolare il *tasso medio in metri/anno di arretramento o avanzamento* rispetto al periodo considerato, individuare le *frane di sponda* e le *variazioni di confluenze*, classificare le *barre* secondo la loro tipologia e la copertura del suolo e valutarne l'eventuale evoluzione. Mentre, in ambito golenale possono essere individuate le aree che precedentemente erano situate in alveo o viceversa, gli *alvei abbandonati* e le loro tipologie definite in base alla posizione rispetto al piano di campagna (con valutazione della profondità nel caso di *alvei incassati*) e all'utilizzazione del suolo, gli *orli di terrazzo* distinti in classi di altezza, le *forme dovute alla presenza o all'azione delle acque (rotte, ventagli e depositi di esondazione, linee di avanzamento o ritiro delle acque, vecchie sponde, aree occupate da acque di falda o stagnanti, solchi erosivi)*.

Esiste inoltre la possibilità di raccogliere informazioni relative ad interventi antropici, come gli *argini*, classificabili in *maestri* e *golenali* e in base alla loro tipologia costruttiva, le opere di difesa, la presenza di cave, riporti e vari tipi di opere di comunicazione e tecnologiche che possono interferire o meno con l'ambiente fluviale.

Di conseguenza, mediante indagini di questo tipo possono essere individuate le interazioni tra alvei abbandonati e il sistema arginale esistente, le caratteristiche dei predetti alvei in funzione della possibilità di riconnettersi all'ambiente fluviale o di essere sede di deflusso durante le piene, l'intensità dei fenomeni erosivi che hanno interessato i tratti di sponda o arginali, le aree che sono state alluvionate o sono potenzialmente soggette a tale fenomeno, le zone estrattive e le depressioni sfruttabili come *casce di esondazione*, e i terrazzi fluviali che possono ostacolare l'espansione delle acque, le quali informazioni, nel loro complesso, sono fondamentali per sviluppare qualsiasi progetto di miglioramento del sistema di sicurezza idraulica.

#### **8.4. Reticolo idrografico**

Il reticolo idrografico, o drenaggio naturale, è costituito dalle linee di scorrimento delle acque permanenti e da quelle meno incise percorse stagionalmente dalle acque meteoriche. Di conseguenza, le sue forme, dipendenti da vari fattori di carattere geologico, devono essere rappresentate con un dettaglio nettamente superiore a quello ottenibile sfruttando le sole informazioni estraibili dalle basi topografiche, in modo che i contenuti della carta tematica siano in grado di fornire elementi utili alla sua completa caratterizzazione.

Le informazioni di tipo qualitativo, desumibili esclusivamente dalla rappresentazione del reticolo integrato mediante l'analisi delle foto aeree, comprendono la classificazione dei vari ordini delle aste, la definizione dei modelli di drenaggio in base alle loro forme (dendritico, parallelo, a traliccio, rettangolare, radiale, anulare, e i modelli da loro derivati), e l'esatta delimitazione dei limiti dei bacini (regionali, principali, secondari o d'interesse particolare). Quelle di carattere quantitativo, che possono essere ottenute mediante l'elaborazione dei predetti dati, riguardano il numero dei tratti di ciascun ordine, la lunghezza assoluta e media dei tratti stessi, il perimetro e l'area dei bacini, i rapporti di biforcazione e di lunghezza, il fattore di forma, la densità della rete idrografica, la pendenza del corso, il rapporto tra deflussi e aree dei bacini, ecc.

L'analisi delle forme del reticolo è inoltre molto utile in studi regionali di carattere tettonico, poiché in gran parte esse sono determinate dalla presenza di sistemi di fratturazione e di alti strutturali, anche sepolti.

## 9. LA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DA FRANA A SCALA DI BACINO

Le frane rappresentano uno dei fenomeni naturali tra i più calamitosi che insistono sul territorio, essendo ogni anno causa di danni a persone e beni. Secondo quanto riportato nel Catalogo AVI (censimento delle Aree Vulnerate Italiane a cura del CNR-GNDCI), sono almeno 17.000 gli eventi franosi che hanno interessato il territorio nazionale nel periodo intercorrente fra il 1918 e il 1998 (Cipolla et alii, 1999). Di questi, 2.620 hanno prodotto la compromissione totale del bene oggetto del danno, mentre 1.352 hanno provocato vittime o feriti.

Per questo motivo durante gli anni si è accresciuto sempre più l'interesse da parte degli organi dello Stato verso lo sviluppo di metodologie che potessero dare indicazioni sull'evoluzione dei fenomeni franosi esistenti e sulle aree di possibile coinvolgimento da parte dei fenomeni di neoformazione.

Il termine pericolosità da frana si riferisce alla probabilità che un fenomeno franoso potenzialmente distruttivo, di determinata intensità, si verifichi in un dato periodo di tempo in una data area (Varnes & laeg, 1984). I fattori da considerare per la definizione della pericolosità riguardano pertanto sia la previsione spazio-temporale del fenomeno franoso che la sua potenzialità distruttiva.

Un'esauriente analisi delle tecniche di valutazione della pericolosità da frana si ritrova nei lavori di Hartlèn & Viberg (1988), Carrara et alii (1990; 1991), Canuti & Casagli (1996), Canuti et alii (1999), Guzzetti et alii (1999), Regione Lombardia (2000).

La corretta valutazione della pericolosità da frana, in generale, non può prescindere da un'analisi probabilistica, sulla base della combinazione di più elementi (Canuti & Casagli, 1996), tra i quali risultano prioritari la previsione spaziale, temporale e tipologica della frana, nonché la definizione dell'intensità e della possibile evoluzione del fenomeno considerato.

Vista l'oggettiva difficoltà nel valutare i diversi termini del problema, per i cui dettaglio si rimanda a Canuti & Casagli (1996), a livello regionale l'argomento viene generalmente affrontato in termini di definizione della propensione al dissesto di un versante piuttosto che di probabilità di occorrenza di un determinato fenomeno franoso.

In quest'ottica il problema della pericolosità viene quindi ricondotto, oltre che alla delimitazione delle zone di possibile evoluzione dei dissesti esistenti, all'individuazione delle aree maggiormente predisposte al verificarsi di fenomeni franosi di neoformazione (susceptibilità alla franosità). Si tratta pertanto di una previsione di tipo unicamente spaziale, che ci permette di stimare il grado di pericolosità di un versante rispetto ad un altro (pericolosità relativa), senza però dare alcuna indicazione sulle caratteristiche e probabilità di occorrenza del fenomeno esaminato.

Le molteplici metodologie utilizzate per la valutazione della propensione al dissesto a livello regionale, come ad esempio nel caso di un intero bacino idrografico, prevedono in ogni caso la realizzazione di una carta inventario delle frane alla quale riferire le successive elaborazioni. Il prodotto finale, infatti, oltre ad individuare le aree potenzialmente interessabili da fenomeni di prima generazione, dovrà anche rispecchiare al meglio la reale distribuzione dei dissesti esistenti.

Le diverse metodologie sviluppate negli anni per la definizione della propensione al dissesto di un territorio possono essere raggruppate in quattro categorie principali (Soeters & Van Western, 1996; Van Western et alii, 1997; Aleotti & Chowdhury, 1999), che vengono di seguito brevemente descritte: inventari di fenomeni franosi, metodi euristici, metodi deterministici e analisi statistiche.

### **9.1. Carte inventario**

Lo studio del territorio mediante fotografie aeree, l'analisi dei dati storici e il rilevamento di campagna sono gli strumenti tradizionalmente impiegati per la realizzazione di questo tipo di cartografia.

La carta inventario dei fenomeni franosi, classificati per tipologia e grado di attività, fornisce già di per se la base per la previsione spaziale e tipologica dei fenomeni franosi di riattivazione. Inoltre, se integrata con informazioni riguardanti le caratteristiche geologiche e i diversi processi morfogenetici in atto, questo tipo di carta può anche fornire un valido supporto per individuare le aree maggiormente predisposte a fenomeni di prima generazione.

Il principale limite di queste carte, redatte unicamente su base geologico-geomorfologica, è quello di essere fortemente soggettive e pertanto, oltre a non essere tra loro confrontabili, hanno un grado di affidabilità che risulta strettamente dipendente dall'esperienza di chi le produce. Numerosi sono gli esempi di carte di pericolosità da frana realizzate unicamente su base geomorfologia (Bosi, 1978; Varnes & laeg, 1984; Brabb, 1984; Hansen, 1984), e tuttora tale metodologia risulta quella più diffusa nella predisposizione degli strumenti di governo del territorio (PAI, Piani Strutturali ex LR 5/95 e LR 1/05).

### **9.2. Metodi euristici**

Un procedimento di tipo euristico permette, in generale, di prevedere in modo non rigoroso un risultato che solo successivamente potrà essere controllato, convalidato e dimostrato. L'applicazione di questo procedimento alla valutazione della suscettibilità per frana non ha subito, nel tempo, modifiche sostanziali (Amadesi & Vianello, 1978; Amadesi et alii, 1977).

La propensione al dissesto di una certa area è definita in base alla distribuzione di una serie di fattori predisponenti l'innescò di fenomeni franosi, generalmente riconducibili alle condizioni litologiche, morfometriche, geomorfologiche e di uso del suolo dell'area considerata. Per ogni fattore predisponente viene prodotta una carta o banca dati tematica indicizzata, per poi procedere ad una stima della pericolosità relativa dell'area attraverso la sovrapposizione delle varie carte prodotte. Permane però il problema della soggettività nella scelta dei parametri, della loro suddivisione in classi e dell'attribuzione di un peso, nonché della difficoltà ad estrapolare il modello sviluppato per una particolare area ad altri siti d'interesse.

Alcune varianti rispetto a questa impostazione prevedono per ciascuna classe dei fattori considerati, o per ciascuna loro possibile combinazione, l'attribuzione del peso in funzione della percentuale di area interessata da fenomeni franosi (indice di franosità), in modo da superare in parte la soggettività del metodo e garantire una procedura più facilmente riproducibile. Uno dei primi esempi di tale metodologia è stato proposto da Brabb et alii (1972), per la redazione della carta della suscettibilità ai fenomeni franosi nella San Mateo County (California). La percentuale di area in frana è impiegata anche da Radbruch-Hall et alii (1982) per la carta della franosità degli Stati Uniti alla scala 1:7.500.000.

Generalmente però gli elaborati prodotti con una metodologia di tipo euristico non rispecchiano al meglio la distribuzione delle frane esistenti ed è pertanto necessario prevedere comunque una fase finale di confronto ed integrazione con la carta inventario.

### **9.3. Metodi deterministici**

La valutazione delle condizioni di stabilità di un pendio può essere effettuata utilizzando formule matematiche in grado di descrivere i processi che regolano i diversi fattori in gioco.

A livello locale l'approccio più comune è quello di utilizzare la teoria dell'equilibrio limite per arrivare ad esprimere le condizioni di stabilità di un pendio in termini di coefficiente di

sicurezza. Un'analisi puramente deterministica della pericolosità può però essere effettuata solamente per singoli versanti o per zone di limitata estensione, laddove si disponga di una conoscenza geotecnica del sottosuolo sufficientemente approfondita. Metodi di zonazione della pericolosità, che prevedono criteri di estrapolazione del fattore di sicurezza determinato su singoli pendii, sono stati proposti, ad esempio, da Klugman & Chung (1976) e da Mulder (1991).

Tra i modelli deterministici applicabili a scala di bacino si può invece ricordare il modello Shalstab di Montgomery & Dietrich (1994) e il modello Sinmap di Pack et alii (1998). Entrambi i modelli individuano le condizioni di stabilità di un certo territorio sulla base del confronto tra un modello idrologico di tipo stazionario, finalizzato alla definizione delle pressioni neutre, e un modello di rottura di un pendio infinitamente esteso (pendio indefinito). L'applicazione di questi modelli avviene tramite un software GIS e necessita, come dato di input, di un modello digitale del terreno da cui derivare i necessari parametri topografici. Gli ulteriori parametri di natura idrologica e geotecnica, necessari al modello, dovranno essere definiti dall'operatore, eventualmente individuando una soglia minima e una soglia massima per esprimerne la variabilità all'interno dell'area esaminata. Questi metodi permettono tra l'altro la valutazione della stabilità dei versanti in funzione delle precipitazioni, con la possibilità di valutare la pericolosità non solo spazialmente, ma anche in funzione del tempo di ritorno degli eventi meteorici. Tuttavia, la natura stessa del modello utilizzato limita la sua applicazione solo a frane di tipo superficiale.

#### **9.4. Analisi statistiche**

Nei metodi statistici si confrontano direttamente i parametri predisponenti la franosità, la cui distribuzione e suddivisione in classi sono rappresentate in apposite carte tematiche, con la distribuzione delle frane censite nella carta inventario.

L'analisi statistica può essere bivariata, nel caso in cui ogni fattore sia confrontato direttamente con le frane esistenti in modo indipendente, oppure multivariata, dove invece si assume che sia la combinazione dei diversi fattori ad essere maggiormente significativa per la definizione della propensione al dissesto di una determinata area.

Esistono numerosi esempi di analisi statistica dei fattori della stabilità dei versanti, spesso associati all'utilizzo di sistemi informativi territoriali (Jones et alii, 1961; Neuland, 1976; Newman et alii, 1978; Carrara et alii, 1978, 1985, 1990, 1991; Carrara 1983, 1984; Brabb, 1984; Bernknopf et alii, 1988; Yin & Yan, 1988; Siddle et alii, 1991; Chung et alii, 1995). Tali metodologie sono anche raccomandate dal Servizio Geologico Nazionale per la realizzazione delle carte di pericolosità alla scala 1:50.000 (Amanti et alii, 1992).

L'analisi statistica multivariata è risultata indubbiamente la più indicata per la zonazione della suscettibilità a scala di bacino. Il territorio analizzato viene generalmente suddiviso in domini omogenei per fattori di franosità, in modo da individuare delle Unità Territoriali Omogenee (UTO), ognuna caratterizzata da una specifica combinazione di fattori, per poi confrontarne le caratteristiche con quelle delle aree direttamente interessate dai dissesti censiti. Il peso attribuito ad ogni possibile combinazione di fattori è assegnato tramite elaborazioni di tipo statistico mirate ad esprimere il grado di probabilità di presenza/assenza di una frana all'interno di ogni UTO.

Un altro approccio alla definizione della suscettibilità per frana, che ha forti correlazioni con il metodo statistico multivariato, è quello basato sul concetto di Rete Neurale Artificiale (RNA). Una RNA è un sistema discreto in grado di acquisire, immagazzinare e utilizzare conoscenza basandosi sull'esperienza (Sarle, 1997). Le RNA sono costituite, nella maggior parte dei casi, da un certo numero di neuroni, semplici elementi di calcolo a funzione di trasferimento non necessariamente lineare interconnessi tra loro tramite pesi sinaptici. La procedura consiste, inizialmente, nell'attribuire in maniera casuale dei pesi alle connessioni tra i neuroni

e nello scegliere i parametri di input. L'output calcolato è confrontato con il valore atteso ed è determinato l'errore. Il sistema procede in modo iterativo finché non è raggiunta la convergenza fra il valore calcolato e quello atteso. Durante questa fase, chiamata di *learning* ("addestramento"), è creata la funzione della rete neurale che sarà poi utilizzata nella fase di verifica e validazione.

## 10. LA PERICOLOSITÀ DA PROCESSI GEOMORFOLOGICI DI VERSANTE NEL PIANO DI BACINO DEL FIUME ARNO

### 10.1. Stato attuale

#### **Premessa**

Allo stato attuale degli strumenti di pianificazione territoriali vigenti in Toscana e nel bacino dell'Arno, la valutazione della pericolosità legata ai fenomeni geomorfologici e alle caratteristiche geologiche del territorio è affrontata con processi logici lievemente diversi. La normativa regionale definisce un'unica carta di pericolosità legata a fattori territoriali geologici, geomorfologici e morfometrici (si parla infatti talvolta di *pericolosità geologica o geomorfologica*) e dipende dalla lettura del quadro conoscitivo geologico e geomorfologico discriminare i fattori che concorrono alla pericolosità.

L'Autorità di Bacino definisce due carte della pericolosità legate ai processi geomorfologici, una di dettaglio, strettamente correlata alle indicazioni del quadro normativo nazionale, definita *perimetrazione delle aree a pericolosità da frana*, e una di sintesi, definita *perimetrazione delle aree a pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante*.

La valutazione della pericolosità da frana (classe di pericolosità e area a pericolosità) è legata principalmente alla presenza o dall'assenza di aree in dissesto da frana, attuali o passate, e dalla loro interazione con altri processi geomorfologici di versante. La lettura della carta della pericolosità da frana, o meglio della banca dati della pericolosità da frana, esplicita il fattore principale che determina la classe di pericolosità, ovvero la tipologia e l'attività dell'area in dissesto che concorre alla definizione del livello di pericolosità.

Il livello di sintesi, ovvero la pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante, principalmente descrive lo stato di pericolosità connesso alla generalità dei processi geomorfologici non strettamente correlabili ai fenomeni franosi e la pericolosità connessa a frane di cui, in prima approssimazione, non è nota nel dettaglio la tipologia e l'attività. In seconda battuta, generalmente per le classi di pericolosità più basse, viene valutata la propensione del territorio ai fenomeni franosi in base ad altre caratteristiche territoriali (caratteri litotecnici e secondariamente morfometrici).

In queste pagine affronteremo la valutazione della *pericolosità da frana* e, solo quando necessario per completezza, faremo cenno all'applicazione della *pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante*, considerando il quadro formale del Piano di Bacino stralcio "Assetto Idrogeologico" (PAI), nella forma adottata con delibera di Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Arno n. 185 dell'11 novembre 2004<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Si ricorda che con l'adozione del PAI è stato recepito anche il parere della Conferenza Programmatica ex L. 365/00, il quale costituisce variante al PIT (cfr DGRT 948/01). Fare riferimento al PAI per la valutazione di pericolosità è quindi una scelta formalmente corretta sia in quanto strumento sovraordinato ai sensi della L. 183/89 sia perché fatto proprio dalla Regione Toscana anche nella forma di variante al PIT.

### ***Determinazione della classe di pericolosità***

Prima di indicare i criteri per la definizione delle classi di pericolosità da frana, per comprendere correttamente quanto qui esposto in funzione degli strumenti vigenti, è necessario considerare la complessa procedura che ha portato all'adozione del PAI.

La normativa nazionale indicava la necessità di definire 4 classi di rischio per le aree connesse ai fenomeni franosi; tale indicazione fu applicata per la classe più elevata nella redazione dei Piani Straordinari ex L. 226/99 (ottobre 1999). Contestualmente, per sopperire alla mancanza di un quadro degli elementi a rischio accettabile, furono determinate anche le relative aree a pericolosità, applicandovi, di fatto, le medesime misure di salvaguardia. Questa scelta permise di gestire correttamente anche quelle aree con elementi di rischio, non riconosciute in origine come tali, ma comunque rilevate come pericolose.

L'esperienza nell'applicazione del Piano Straordinario ha confermato ancora una volta che, data la continua evoluzione del quadro degli elementi a rischio e delle previsioni urbanistiche, considerata la mancanza di dati oggettivamente attendibili sulla vulnerabilità dei manufatti, era operativamente conveniente, in particolare considerando il possibile impatto sulla pianificazione a livello locale, costruire una cartografia delle aree a pericolosità, inglobando la valutazione del livello di rischio nella determinazione della classe a pericolosità. Esplicitando: la pericolosità elevata è stata definita come "pericolosità indotta da fenomeni franosi attivi o inattivi che presentano segni di potenziale instabilità (frane quiescenti) *che siano anche causa di rischio elevato*"<sup>2</sup>. Tale scelta fu applicata nella redazione del progetto di PAI (marzo–settembre 2001) e fu formalizzata con l'adozione del progetto stesso (agosto 2002).

In sede di osservazione al progetto di PAI (gennaio 2003–luglio 2004), pur applicando il medesimo criterio nella redazione delle modifiche cartografiche, è maturata la convinzione che fosse necessario superare l'applicazione di un criterio di rischio nella valutazione della classe di pericolosità. Tale indicazione è stata formalizzata dalla Regione Toscana nell'approvazione del parere della Conferenza Programmatica (ottobre 2004). Con l'adozione definitiva del PAI (11 novembre 2004) è quindi maturata la situazione attuale in cui, fatta salva la valutazione sintetica pericolosità-rischio sino ad ora applicata, ogni aggiornamento e modifica alla cartografia deve seguire un criterio esclusivamente incentrato sulla pericolosità in cui non vi è valutazione a priori del livello di rischio. Sono le norme di attuazione al PAI che dettano i criteri per non aggravare, mitigare o abbattere il livello di rischio rilevabile nelle aree a pericolosità<sup>3</sup>. La fase di adozione del PAI e la fase di aggiornamento ed integrazione seguono dunque criteri strettamente connessi tra loro ma lievemente diversi nei contenuti e quindi nei risvolti operativi.

Tenendo presente quanto sopra premesso la valutazione della classe di pericolosità da frana, ovvero la probabilità che un evento franoso si realizzi, è, allo stato attuale, un processo che scaturisce dalle informazioni registrate utilizzando la legenda geomorfologica qui proposta, ovvero utilizzando legende ed informazioni comunque rilevate con metodi principalmente qualitativi ed empirici (cfr. par. 9.1 "carte inventario"). Tuttavia la valutazione della classe di pericolosità che viene illustrata, pur derivando da dati qualitativi, è in sé di tipo analitico dato che i criteri generali che devono guidare il valutatore sono esplicitati in una forma il più possibile oggettiva.

---

<sup>2</sup> In un certo senso potrebbe essere vista come una sintesi di pericolosità di classe 4 e di una fattibilità limitata ai sensi della DCRT 94/85.

<sup>3</sup> L'art. 9 della norme di attuazione del PAI descrive il criterio generale per la definizione delle classi di pericolosità così come risulta nel piano adottato. Il punto B-2-4 dell'allegato 2 al PAI descrive il criterio generale per la definizione delle classi di pericolosità così come deve essere applicato nella fase di aggiornamento ed integrazione. Dalla loro lettura si può notare come vi sia un problema di interpretazione per la sola classe PF3; è infatti possibile un passaggio da PF3 a PF4 per situazioni prive di elementi di rischio (nel caso di frane attive), mentre non vi sono problemi di interpretazione per le attuali PF2 e PF4.

Operativamente quindi il valutatore, partendo da dati di tipo qualitativo, applicherà, nel definire la classe di pericolosità, un processo analitico<sup>4</sup>.

Nella redazione degli strumenti di pianificazione territoriale che interessano il bacino dell'Arno e la Toscana, in particolare dopo l'adozione in via definitiva del Piano di Bacino stralcio "Assetto Idrogeologico" (PAI), le classi di pericolosità connesse ai dissesti franosi sono due per la regione toscana e tre per l'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Regione Toscana DCRT n. 94/85		Autorità di Bacino del Fiume Arno PAI - delibera n. 185/04	
Classe 3	Pericolosità media	PF2	Pericolosità media
Classe 4	Pericolosità elevata	PF3	Pericolosità elevata
		PF4	Pericolosità molto elevata

Nella classe PF4 del PAI alcuni interventi sono impediti in assoluto, solo la diversa classificazione dell'area ne consente l'esecuzione, di fatto nella normativa regionale non c'è una classe analoga e alla classe 4 possono essere associate sia la classe PF3 che la classe PF4.

A livello operativo è conveniente considerare quanto d'interesse per la sola fase di aggiornamento ed integrazione della cartografia del PAI, dato che i criteri definiti in fase di adozione non sono soggetti ad ulteriori applicazioni operative.

Le norme di applicazione (in particolare l'art. 2) e l'allegato 2 del PAI (*Indicazioni per l'adeguamento degli strumenti urbanistici al PAI e Criteri per la redazione di proposte di integrazioni e modifiche*) forniscono i criteri principali che devono essere seguiti per la definizione delle classi di pericolosità e delle relative aree.

Viene formalmente indicato come strumento di riferimento per il riconoscimento delle forme geomorfologiche la *Legenda geomorfologica a supporto della pianificazione territoriale* redatta dall'Autorità di Bacino e dall'Ordine dei Geologi della Toscana e viene quindi ribadito che lo stato di attività delle frane deve essere individuato secondo i criteri lì richiamati. Il riconoscimento dello stato di attività concorre alla definizione della classe di pericolosità secondo lo schema riportato a pagina seguente.

Classe PF	Criteri (allegato 2, punto B.2.4)	Definizione (art. 2)
PF4	Comprende le aree in <i>frana attiva</i> e il loro intorno.	<i>Frana attiva</i> : frana con evidenze morfologiche di movimento o instabilità in atto.
PF3	Comprende le aree in <i>frana quiescente</i> e il loro intorno.	<i>Frana quiescente</i> : frana inattiva priva di evidenze morfologiche di movimento o instabilità in atto, per la quale esistono indizi morfologici di potenziale instabilità e conseguente riattivazione.
PF2	Comprende le aree in <i>frana stabilizzata</i> .	<i>Frana stabilizzata</i> : frana inattiva priva di evidenze morfologiche di movimento o instabilità in atto, per la quale non vi sono indizi morfologici di potenziale instabilità e possibile riattivazione.

<sup>4</sup>Ad esempio viene applicata l'equazione: *Frana Attiva = Pericolosità Molto Elevata*.

Come si può notare per la *frana quiescente* è esplicitato che si tratta di una *frana inattiva* con elementi di *potenziale instabilità*. Il mantenimento della dizione “frana quiescente” è reso necessario e conveniente per la coerenza tra il PAI adottato e i successivi aggiornamenti ed integrazioni.

Criteri e definizioni sopra riportate indicano con chiarezza che alla definizione delle classe di pericolosità, e come vedremo anche del perimetro delle aree a pericolosità, concorrono elementi che possono essere anche esterni alle aree in frana; sono gli elementi morfologici che inducono condizioni di instabilità, potenziale instabilità e conseguente riattivazione.

Facendo riferimento alle specifiche della *Legenda geomorfologica a supporto della pianificazione territoriale* (versione 2.1) è possibile delineare una matrice per la determinazione operativa della classe di pericolosità secondo lo schema seguente, schema che è ovviamente integrabile con ulteriori evidenze di campagna che indicano condizioni di maggiore o minore pericolosità legate a fattori geologici o morfometrici.

<b>Classe di pericolosità</b>	<b>Elementi principali che concorrono alla determinazione</b>	<b>Combinazione di forme secondo la “Legenda geomorfologica a supporto della pianificazione territoriale”</b>
PF4	Frane attive	<i>Frana attiva (1a.4.1; 1a.5.1; 1a.6.1)</i>
		<i>Frana di crollo (1a.3) + area potenzialmente instabile (1a.11)</i>
		<i>Frana inattiva (1a.4.2; 1a.5.2; 1a.6.2) + deformazioni plastiche (1a.9) diffuse per più del 50% della forma</i>
		<i>Area a franosità diffusa (1a.8)</i>
PF3	Frane inattive con elementi di potenziale instabilità	<i>Frana inattiva + alveo in approfondimento (2a.2)</i>
		<i>Frana inattiva + area potenzialmente instabile (1a.11)</i>
		<i>Frana inattiva + erosione profonda (2a.7)</i>
		<i>Frana inattiva + solchi da ruscellamento concentrato (2a.3)</i>
		<i>Frana inattiva + deformazioni plastiche (1a.9) localizzate</i>
		<i>Area interessata da deformazioni plastiche o instabilità da processi gravitativi superficiali (1a.9)</i>
		<i>Singola frana attiva puntuale + altre forme di denudazione ed erosione</i>
PF2	Frane inattive prive di elementi di potenziale instabilità ovvero stabilizzate naturalmente o artificialmente	<i>Frane inattive stabilizzate</i>

All'interno di ogni classe la combinazione di più forme in linea generale non determina un aggravamento della classe stessa.

Per completezza si riportano le forme che concorrono alla determinazione dell'area PF3 della *Pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante (cartografia di sintesi)*.

<b>PF3 - sintesi</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Note</b>
	<i>Alveo in approfondimento (2a.2)</i>	
	<i>Forra (2a.1)</i>	
	<i>Detrito di versante + area potenzialmente instabile</i>	
	<i>Area potenziale instabile</i>	
	<i>Orlo di scarpata di degradazione senza deposito</i>	
	<i>Calanco</i>	
	<i>Area in erosione profonda</i>	
	<i>Area con terrazzamento a muretti o gradoni degradati (8.3.2)</i>	
	<i>Cava o miniera abbandonata</i>	<i>Per le frane di crollo nelle aree in cava abbandonate valgono le indicazioni precedenti</i>

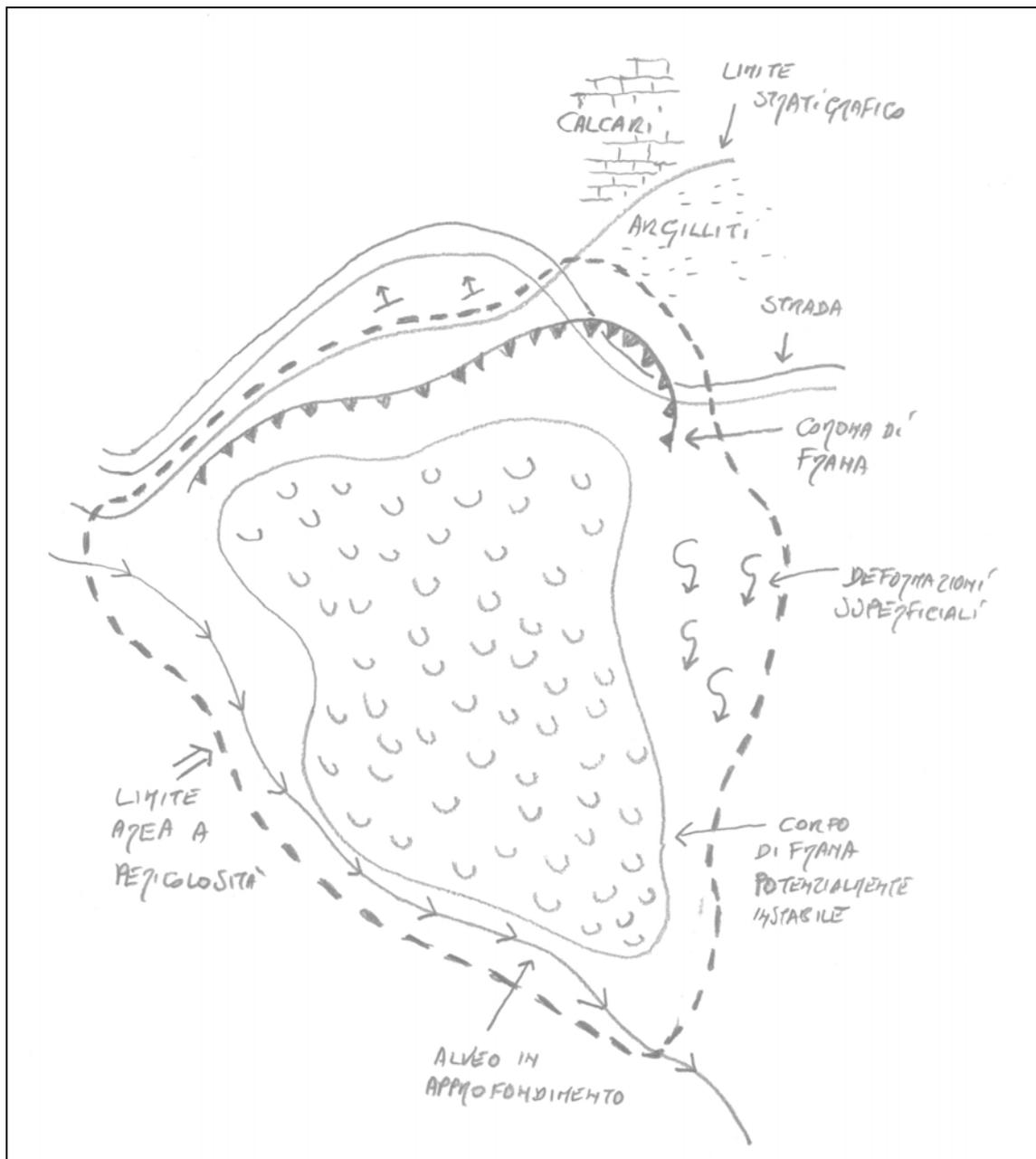
### **Definizione del perimetro dell'area a pericolosità**

Più complesso, anche se frutto di una sintesi dell'applicazione di regole esplicite, è il processo di determinazione del perimetro dell'area a pericolosità. Si assume che la perimetrazione deve tener conto della pericolosità legata all'evoluzione del dissesto a cui è riferita.

Come regole generali si consideri che:

- 1) l'area in frana è sempre definita dalla superficie compresa tra la corona e il piede della frana, solo in casi particolari è ammessa una diversa pericolosità per il corpo di frana e per l'area d'intorno alla corona;
- 2) per classi PF4 e PF3 l'area a pericolosità NON coincide con l'area in dissesto ed è sempre più ampia di essa, salvo particolari condizioni geologiche o antropiche che determinano il confinamento fisico del dissesto;
- 3) l'area a pericolosità PF3 e PF4 deve ricomprendere anche l'area eventualmente interessata, direttamente o indirettamente, dall'evoluzione del dissesto, pertanto l'area a pericolosità deve considerare anche la distanza di propagazione, i limiti di retrogressione e la possibile espansione areale del fenomeno franoso in funzione delle altre forme geomorfologiche, delle condizioni geologico-strutturali e idrogeologiche e della morfometria;
- 4) operativamente il criterio di cui al punto precedente si concretizza in una fascia di rispetto, di larghezza variabile, intorno all'area in frana; in generale la classe di questa fascia di rispetto deve essere uguale a quella dell'area in frana;
- 5) la determinazione della fascia di rispetto e della relativa classe è funzione del dettaglio con cui sono conosciuti il fenomeno e gli elementi che concorrono alla definizione della pericolosità della stessa;
- 6) l'area a pericolosità deve ricomprendere tutte le porzioni delle forme geomorfologiche che concorrono alla definizione della classe di pericolosità (ad esempio un tratto di alveo in approfondimento che determina condizioni di instabilità);
- 7) nella definizione dell'area a pericolosità deve essere valutato anche l'impatto antropico (uso del suolo, presenza di infrastrutture, previsioni urbanistiche) se questo può comportare un aumento dei fattori di potenziale instabilità;
- 8) la presenza di interventi di consolidamento non determina necessariamente la stabilizzazione dell'intera area in frana;

9) il passaggio tra aree di diverse classi può essere anche abrupto (es. da PF4 A PF2).



Esempio schematico di delimitazione area a pericolosità connessa a fenomeni franosi

## 10.2. Sviluppi futuri

Al fine di predisporre una carta della pericolosità che oltre a comprendere le aree in frana censite dia anche delle indicazioni sulla propensione al dissesto dei versanti in aree non ancora interessate da fenomeni franosi, l'Autorità di Bacino del fiume Arno ha avviato un programma di ricerca comune con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze.

Tale programma, tra le altre cose, ha permesso di realizzare un dettagliato censimento dei fenomeni franosi presenti nel Bacino del fiume Arno che, allo stato attuale, ha portato ad individuare circa 27.000 aree in dissesto. La definizione dei limiti e dello stato di attività di tali aree è stata valutata principalmente tramite fotointerpretazione appoggiandosi alla cartografia geomorfologica di supporto agli strumenti urbanistici comunali. Il dato risultante è stato infine perfezionato inserendovi anche le evidenze di movimento rilevate da satellite con la tecnica dei Permanente Scatterers (PS), elaborate su tutto il territorio del bacino nell'ambito del progetto SLAM II dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) al quale l'Autorità di Bacino del fiume Arno ha partecipato come utente finale.

Dalla statistica sulla carta inventario emerge che la maggior parte dei movimenti presenti nel bacino sono movimenti a cinematismo lento, cioè scivolamenti, colate e soliflussi, i quali nel totale rappresentano circa il 98% dei fenomeni mappati. Sebbene i crolli e le colate rapide ricoprono una percentuale molto bassa del territorio del bacino (circa il 2%) l'impatto che hanno sull'ambiente e sugli elementi a rischio è notevole. Pertanto in una corretta ottica previsionale sarà necessario sviluppare tre diverse metodologie per la valutazione della pericolosità da frana, rispettivamente per gli scivolamenti e colate lente, le colate rapide e i crolli, in modo da prevedere il grado di propensione al dissesto in funzione della tipologia del fenomeno.

Per quanto riguarda i fenomeni di colata rapida, che generalmente interessano le coltri superficiali, sono in corso specifici studi mirati all'applicazione di una metodologia per l'individuazione delle soglie pluviometriche di innesco e la messa a punto di sistemi di allarme.

In particolare, la previsione delle condizioni di allerta per frane superficiali sarà effettuata sviluppando un modello di tipo misto (statistico-deterministico), costituito dalla combinazione di un modello idrologico e di analisi statistiche, allo scopo di individuare le condizioni di piovosità critiche per l'innesco dei movimenti. La procedura prevede la ricostruzione del volume specifico di acqua infiltrato nelle aree interessate da frane sia durante eventi pluviometrici associati a franamento che durante eventi, di simile magnitudo, non connessi all'attivazione dei fenomeni franosi. Dall'analisi statistica dei valori stimati d'infiltrazione per le due serie (eventi con presenza e assenza di frane), unita a quella dei corrispondenti valori di precipitazione antecedente, si potrà infine arrivare all'individuazione di valori soglia per l'attivazione dei fenomeni.

All'interno del territorio collinare e montano del bacino idrografico del fiume Arno sono stati individuati alcuni bacini pilota sui quali applicare la procedura per l'individuazione delle soglie pluviometriche. Tali bacini sono stati scelti in base alla frequenza dei fenomeni franosi, alle caratteristiche litologiche delle formazioni affioranti, alla presenza di un adeguato numero di stazioni pluviometriche con una consistente serie storica, e di una stazione idrometrica per la valutazione delle portate alla sezione di chiusura. Ogni bacino pilota verrà suddiviso in Unità Territoriali Omogenee (UTO), in base al tipo di litologia e di uso del suolo, per poi effettuare una modellazione idrologica con il metodo del Curve Number allo scopo di ricostruire la relazione tra precipitazione totale e infiltrazione all'interno di ogni UTO. Il parametro base per la ricerca delle soglie sarà quindi costituito dall'acqua di infiltrazione, confrontando i valori ricavati per gli eventi con frane e quelli ottenuti per eventi senza frane.

Per l'estensione del modello di previsione temporale dei fenomeni franosi nell'intero bacino dell'Arno, questo sarà suddiviso in UTO, secondo i medesimi criteri adottati per i bacini pilota, per poi assegnare a ciascuna UTO le soglie ottenute nei bacini pilota stessi.

Per quanto riguarda invece i fenomeni a cinematiso lento, quali gli scivolamenti e i colamenti, per la valutazione della propensione al dissesto è stato impostato un procedimento basato sull'analisi statistica multivariata che, come visto nel capitolo 9, risulta sicuramente quella più affidabile nella zonazione della pericolosità a scala di bacino. In particolare, le funzioni di regressione che determinano la combinazione dei vari parametri ed i relativi pesi verranno generate tramite una Rete Neurale Artificiale (RNA, cfr. par. 9.4). Ovviamente, una sola rete neurale non può essere sufficiente per descrivere tutto il bacino dell'Arno e pertanto dovranno essere generate più reti in funzione delle diverse caratteristiche fisiografiche e geomorfologiche.

Come visto nel capitolo 9, la valutazione della pericolosità a scala di bacino presenta delle limitazioni legate alla difficoltà di acquisire a tale scala tutti i dati relativi ai fattori predisponenti. Considerando tali limitazioni, verranno utilizzati soltanto i fattori di franosità che in bibliografia sono ritenuti più importanti (Suzen & Doyuran, 2004a; Suzen & Doyuran, 2004b; Zezere, 2002; Ermini et alii, 2003), quali pendenza e curvatura del versante, area drenata, litologia e copertura del territorio.

I primi tre sono parametri morfometrici e possono essere ricavati a partire dal DTM del bacino dell'Arno con maglia a 10 m. Per la definizione della litologia si farà riferimento alla carta litotecnica del bacino dell'Arno alla scala 1:100.000, mentre per la carta di copertura del territorio all'aggiornamento del Corine Land Cover alla scala 1:25.000 effettuato nell'ambito del progetto di ricerca.

Inizialmente sarà analizzata la distribuzione dei fattori di franosità all'interno delle aree in frana, così come risultano dall'inventario sopra descritto, in modo da evidenziare le relazioni esistenti fra fenomeni franosi e fattori di franosità ed individuare l'esistenza, nell'ambito dei parametri morfometrici (pendenza, curvatura, area drenata), di soglie fisiche che influenzano la pericolosità. Saranno quindi definite le Unità Territoriali Omogenee (UTO) in funzione dei fattori predisponenti prescelti, previa loro opportuna riclassificazione in base a quanto emerso dall'analisi statistica descrittiva. Si procederà poi alla suddivisione del bacino dell'Arno in zone con caratteristiche fisiografiche e geomorfologiche omogenee all'interno delle quali scegliere delle aree campione su cui generare, addestrare e validare le RNA che verranno poi applicate a tutta la zona fisiografica omogenea di competenza. Infine verrà effettuata la riclassificazione dei risultati di uscita delle RNA secondo classi di pericolosità in base a criteri di soglia.

In previsione del continuo aggiornamento della carta inventario dei fenomeni franosi del bacino dell'Arno, nonché degli altri fattori predisponenti (in particolare la geologia), la metodologia sarà impostata in modo tale da poter calibrare le RNA in funzione dei nuovi dati censiti, in modo da ottenere una valutazione della pericolosità sempre più accurata.

In prima approssimazione tale metodologia fornirà la perimetrazione delle classi di suscettibilità/pericolosità di livello inferiore (PF1 e PF2), calibrando le norme d'uso in funzione di una conoscenza dei fenomeni indiretta e basata su assunti statistici, a differenza delle classi di livello più alto (PF3 e PF4) legate invece alla presenza/assenza di fenomeni direttamente riconoscibili.

## 11. NOZIONI GENERALI SUI GIS

Questi appunti vogliono fornire alcune nozioni di carattere generale sui GIS, senza alcuna pretesa di completezza e di rispetto delle definizioni formali (i termini in corsivo servono solo per attenuare il torpore della lettura). Il primo paragrafo è dedicato a tentare di far intuire, con un esempio al limite del banale, *cos'è un GIS*; chi ritiene di avere le idee chiare in materia può leggerlo per avere conferma delle sue convinzioni, per confrontare una diversa impostazione dell'argomento o per trarre soddisfazione nel constatare la sua migliore conoscenza in materia. Il secondo paragrafo è più tecnico e approfondisce dei *tipi di dati geografici* utilizzati GIS, argomento importante per chiunque utilizzi questo strumento in una fase "post-iniziazione". L'ultimo paragrafo, basandosi su indicazioni di carattere operativo più che formale, tratta del *sistema di coordinate di riferimento*, problema particolarmente sottovalutato sino al momento in cui non si è costretti ad affrontarlo.

### 11.1. Cos'è un GIS

#### **Definizione**

Un GIS (Geographic Information System), termine generalmente tradotto in italiano in "Sistema Informativo Territoriale", può essere definito (dal sito ufficiale della ESRI<sup>5</sup>) come:

"Un insieme costituito da computer, software e dati geografici con cui l'operatore può interagire per integrare, analizzare e visualizzare dati, identificarne le relazioni, modelli di distribuzione e tendenze; trovare soluzioni a problemi. Il sistema è strutturato per catturare, archiviare, aggiornare, manipolare, analizzare e visualizzare informazioni geografiche".

Altre definizioni sono possibili, alcune più eleganti o logicamente corrette, ma tutte vertono sull'oggetto "dato geografico" e sulle azioni che sono possibili relativamente ad esso (quelle che vengono chiamate "funzionalità GIS"):

- acquisizione e archiviazione del dato geografico;
- integrazione dei dati geografici con i dati non geografici;
- aggiornamento e manipolazione dei dati;
- analisi dei dati e risoluzioni di problemi (compresa la visualizzazione, identificazione delle relazioni, riconoscimento di modelli di distribuzione e tendenze, etc.).

Azioni funzionali e oggetti di queste azioni vivono in un "Sistema" il cui cardine è il personale che lo utilizza e lo gestisce.

#### **Il dato geografico**

Nel tentativo di materializzare la definizione proposta sopra e dimostrare cosa realmente è e può fare un sistema GIS è importante capire quale è l'oggetto su cui opera il GIS, ovvero il *dato geografico* (o spaziale). Per farlo consideriamo un dato *non* geografico (o non spaziale), come ad esempio la foto di Figura 1. Questa ci fornisce una serie di informazioni (probabilmente è primavera, siamo in campagna, è giorno, il cane è un border collie, siamo in un campo di fiori che sembrano essere di colza), alcune sensazioni relative a ciò che è rappresentato (il cane ha l'aria intelligente, c'è un buon profumo nell'aria, siamo in un bel paesaggio collinare, mi piacerebbe vivere in un posto così) e anche delle considerazioni sulle capacità del fotografo (bella foto ma non si vede un occhio) e la simpatia del cane (ma morde?), ma non vi è nessuna informazione sulla sua collocazione geografica in un sistema di riferimento noto.

---

<sup>5</sup> La ESRI (Environmental Systems Research Institute) è la nota compagnia privata statunitense che detiene il primato di diffusione dei software GIS. Ciò non implica necessariamente che i suoi prodotti e i suoi standard siano i migliori, ma a causa della loro ampia utilizzazione in questi appunti si fa generalmente riferimento ad essi.



Figura 1 - Informazione visiva priva di collocazione geografica.

Il fotografo ci viene in aiuto avendo annotato alcune informazioni relative alla sua foto (singolarmente simili alle nostre impressioni), tra queste alcune annotazioni di carattere geografico e in particolare una preziosa indicazione toponomastica (Figura 2), nonché una fondamentale indicazione di carattere pratico.

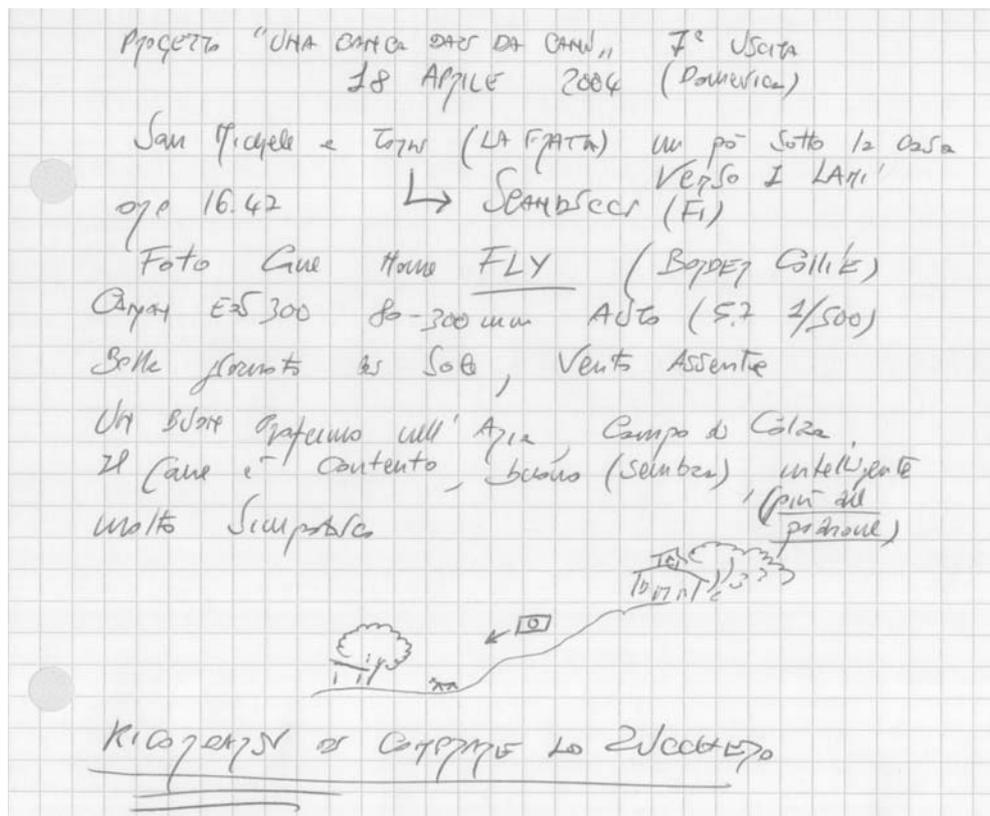


Figura 2 - Informazioni relative alla foto di Figura 1.

La Figura 3 riporta lo stralcio di una carta topografica ai cui margini è specificato un sistema di coordinate di riferimento, abbiamo delle informazioni visive collocate geograficamente con un dato errore e secondo specifiche di rappresentazione note. Dall'annotazione del fotografo sappiamo che la foto di Figura 1 è stata scattata nei pressi della località La Fratta. Ricavando

la coppia di coordinate relative il tipico software GIS ci permette di creare un file in cui registrare un oggetto geometrico collocato in un sistema cartesiano: un punto con delle coordinate che rappresenta il luogo in cui è stata scattata l'immagine.

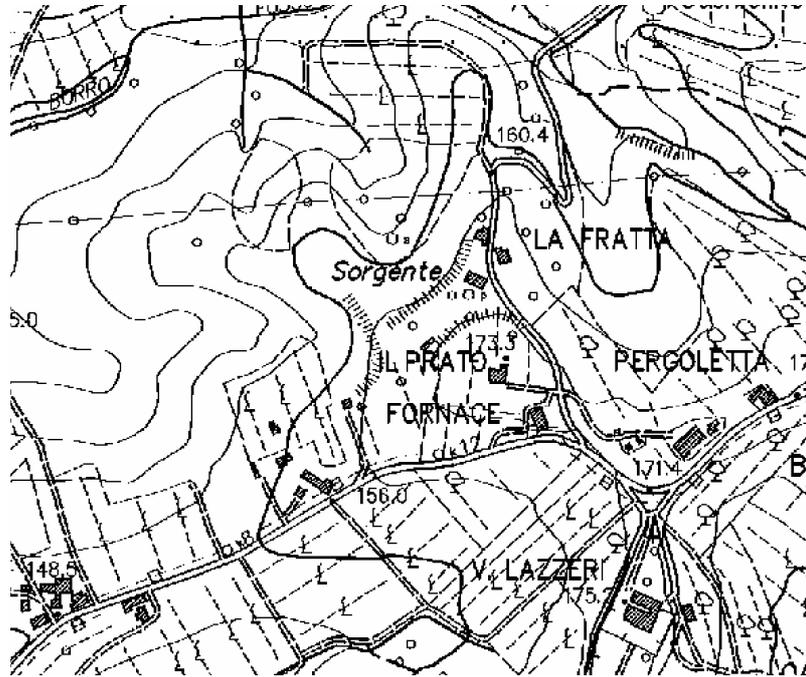


Figura 3 - Stralcio di carta topografica, ovvero informazioni collocate geograficamente.

L'immagine del cane, associata al punto geometrico con coppia di coordinate in un sistema di riferimento noto, è diventata un vero e proprio "dato geografico".

Si può generalizzare dicendo che *ogni dato (immagine, suono, vettore, numero, testo, etc.) che abbia una collocazione geografica in un sistema di riferimento noto è un dato geografico*, in questo senso i dati riportati in Figura 2 sono di per se un dato geografico, anche se lo standard di georeferenziazione è un po' carente<sup>6</sup>.

### **Funzionalità GIS**

Se acquisiamo la carta di Figura 3 in formato digitale, sfruttando un software GIS e i riferimenti delle coordinate proprie della carta topografica, possiamo georeferenziare la carta e avere un significativo sfondo visivo al dato geografico (Figura 4).

Nel passaggio da Figura 1 a Figura 4 abbiamo sfruttato due funzionalità di base dei sistemi GIS: *acquisizione dei dati* (digitalizzazione di un punto, acquisizione della base cartografica) ed *integrazione* degli stessi (relazione tra immagine e punto, relazione tra punto e base cartografica).

Nell'acquisizione informatizzata di un dato è implicita la sua *archiviazione*, operazione finalizzata in primo luogo ad efficiente ed efficace<sup>7</sup> recupero del dato stesso. Senza dilungarsi in particolari, si consideri le implicite differenze di archiviazione e recupero dei dati che intercorrono tra un dato geografico registrato su file archiviato in un floppy (magari privo di etichetta) e un file archiviato in una struttura di directory opportunamente documentata

<sup>6</sup> Tecnicamente questo tipo di georeferenziazione è detta *indiretta* per distinguerla da quella *diretta* costituita dalla collocazione spaziale secondo coordinate in un sistema di riferimento noto. Un esempio più rigoroso di georeferenziazione indiretta è l'indirizzo postale.

<sup>7</sup> I termini *efficacia* (capacità di ottenere il prodotto desiderato) ed *efficienza* (capacità di ottenere maggiore/migliore prodotto a parità di risorse impegnate) rappresentano dei concetti di base in ogni sistema finalizzato alla produzione di qualcosa.

residente su un pc. Si valuti quindi quest'ultima soluzione confrontandola con un dato geografico registrato in alcuni record di un database costituito da miliardi di record residente su una struttura di decine di server. In tutti questi casi lo strumento che permette di recuperare con efficacia ed efficienza il dato geografico archiviato è una variante più o meno complessa di GIS<sup>8</sup>. La modalità di acquisizione, archiviazione ed integrazione dei dati è alla base delle funzionalità di analisi che un GIS offre.

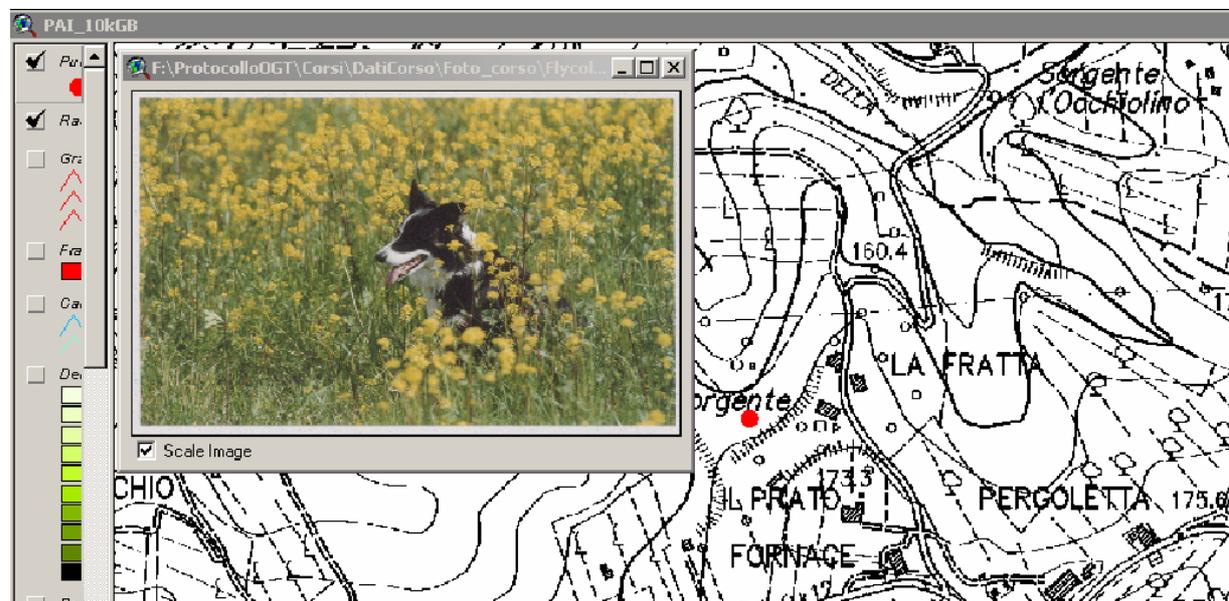


Figura 4 - Integrazione di informazione visiva con un punto georiferito e visualizzato su base topografica.

Prendendo a riferimento una tecnologia software molto diffusa in cartografia, in prima approssimazione ciò che distingue un sistema GIS da un sistema CAD<sup>9</sup>, a prescindere dalla tecnologia su cui sono basati, è proprio la diversa logica di archiviazione del dato geografico. Il CAD prevede l'acquisizione e l'archiviazione di dati geografici (principalmente vettoriali) con limitate funzionalità di archiviazione delle informazioni alfanumeriche legate ad essi (che di fatto sono registrabili solo nelle annotazioni e nel nome dei layer); nei sistemi GIS le informazioni alfanumeriche associate al dato geografico sono archiviate in tabelle di un database relazionale e, a differenza del CAD, virtualmente non vi è limite alla quantità di dati alfanumerici registrabili. In un GIS, ad un elemento grafico georiferito è tipicamente associata una tabella con almeno un campo codice imposto dall'utente (*tabella degli attributi*).

Per valutare quanto le modalità di archiviazione del dato siano importanti ai fini dell'integrazione dei dati, e più in generale per le funzionalità GIS, si consideri ancora quanto annotato in Figura 2. Si tratta di informazioni alfanumeriche relative ad un dato geografico, informazioni utili (o quasi) ma dal formato poco sfruttabile per la gran parte delle funzionalità di un GIS. La registrazione dei dati alfanumerici in un record di una tabella (Tabella 1) permette al GIS di creare una relazione tra il codice del punto georiferito di Figura 4 e i dati annotati dal fotografo.

CodPunto	CodFoto	Località	Data	Ora	Fotocamera	NomeCane	TipoCane	Carattere
P001	F001	La Fratta	18.04.05	16.47	Canon Eos 300; Ottica	Fly	Border Collie	Buono; intelligente;

<sup>8</sup> Per capire l'importanza pratica dell'argomento si tenga presente che l'attuale strutturazione dei prezzi dei sistemi GIS di fascia alta è in buona parte determinata dalle funzionalità di archiviazione e recupero dei dati geografici.

<sup>9</sup> Computer-Aided Design, tecnologia software dedicata al disegno tecnico in generale ed efficacemente sfruttata in topografia.

CodPunto	CodFoto	Località	Data	Ora	Fotocamera	NomeCane	TipoCane	Carattere
					80-300			simpatico
P002	F002	Fornace	18.04.05	18.15	Canon Eos 30 D; Ottica 28	Maia	Misto	Simpatico; un po' mordace;
P003	F003	Scandicci – via Dei Ciliegi	12.04.05	16.12	Canon Eos 300; Ottica 35-70	Kira	Labrador	Lecca le mani; giocoso; simpatico
P004	F004	Ruzzolapaiolo	19.02.05	11.02	Fuji zoom 602s	Ernesto	Misto	Idiota; lecca le mani; un po' mordace

Tabella 1 - Le informazioni di Figura 2 sono registrate in una riga (record) di una tabella di un database relazionale.

Nella stessa forma avremmo potuto registrare le informazioni dedotte dall'analisi diretta della foto di Figura 1.

CodPunto	CodFoto	Soggetto	Colori	Sensazione	GiudizioFoto	DifettiFoto	PregiFoto
P001	F001	Cane in un campo di Colza	giallo, verde, nero, bianco	Rilassante, buon profumo, cane attento	Buona	non si vede un occhio del cane	Buona esposizione, buona composizione
P002	F002	Cane per strada di campagna	Bianco, marrone, grigio	Simpatia del cane,	Media	Sovraesposta	buona composizione
P003	F003	Cane in un cortile di città	Nero, bianco, rosso	Allegria	Rifare	Soggetto tagliato	Nessuno
P004	F004	Cane con galline	Grigio, verde, bianco	Galline simpatiche, cane idiota.	Buona	Nessuno	Buona ripresa azione

Tabella 2 - Le informazioni direttamente dedotte dalla foto di Figura 1 sono registrate in una riga (record) di una tabella di un database relazionale.

La foto priva di riferimenti geografici è ora relazionata ad un punto georiferito, ad una base cartografica e alle informazioni annotate dal fotografo archiviate in forma alfanumerica in una tabella (Figura 5), ma anche alle altre informazioni registrate dall'analisi diretta della foto.

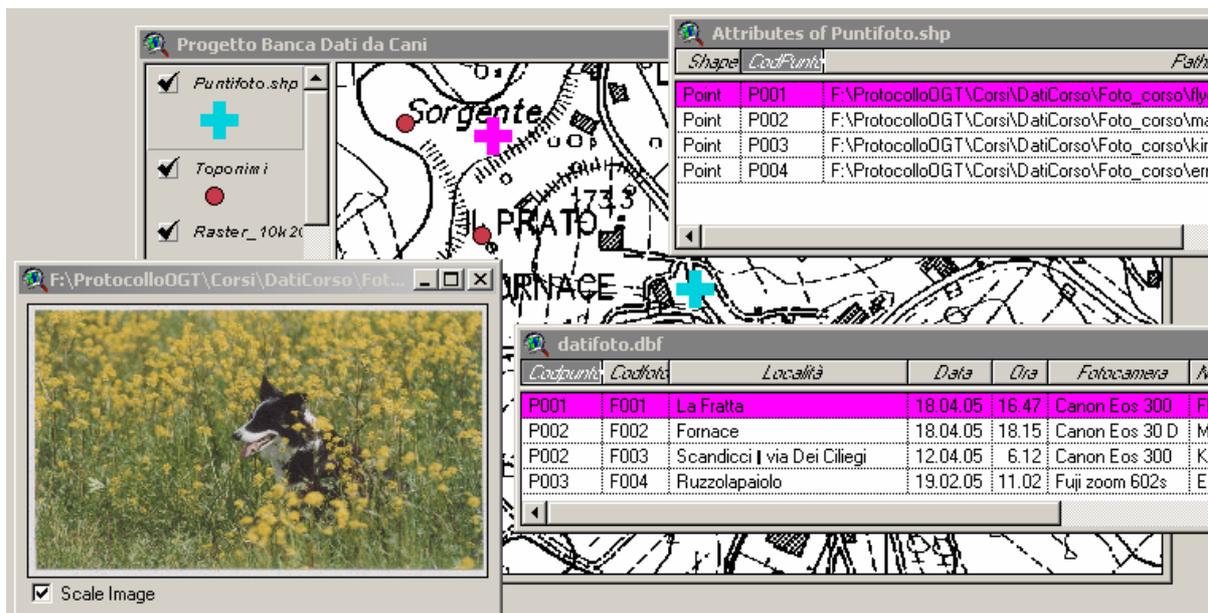


Figura 5 - Integrazione tra dati in ambiente GIS.

La modalità di archiviazione del dato ha permesso l'integrazione completa tra i diversi dati, tanto che è possibile risalire ad uno degli elementi della relazione partendo da qualsiasi altro. Sarà quindi possibile recuperare il punto in cui è stata scattata la foto conoscendone la data e l'ora di scatto, o sapendo che il cane ha la caratteristica di leccare la gente ed è un po' mordace, o magari ricordandosi una sensazione rilassante e un piacevole profumo.

Generalmente, quando i dati geografici sono relazionati a dati alfanumerici e costituiscono un insieme che ha più o meno lo stesso significato funzionale (i punti in cui sono state scattate le foto dei cani e informazioni relative alle foto, o anche i punti che rappresentano il luogo di residenza dei cani e informazioni relative ai cani), si parla di *Strato Informativo* o *Banca Dati Geografica*.

L'utilizzo di più banche dati geografiche (che condividono lo stesso sistema di coordinate) è alla base delle più tipiche funzioni GIS di *aggiornamento*, *manipolazione*<sup>10</sup> e *analisi* dei dati.

Considerando la banca dati geografica dei toponimi è possibile aggiornare il valore del campo *Località* di Tabella 1 sostituendo quanto annotato dal fotografo in campagna con il risultato di una qualche funzione di prossimità che ricava il toponimo più vicino al punto di riferimento (Figura 6). Si noti che questo tipo di funzione può essere del tutto trasparente all'utente ed essere applicata ad un numero *n* di record, al tempo stesso si valuti come la correttezza del risultato sia intimamente legata alle caratteristiche della banca dati geografica e meno alle caratteristiche della funzionalità GIS.

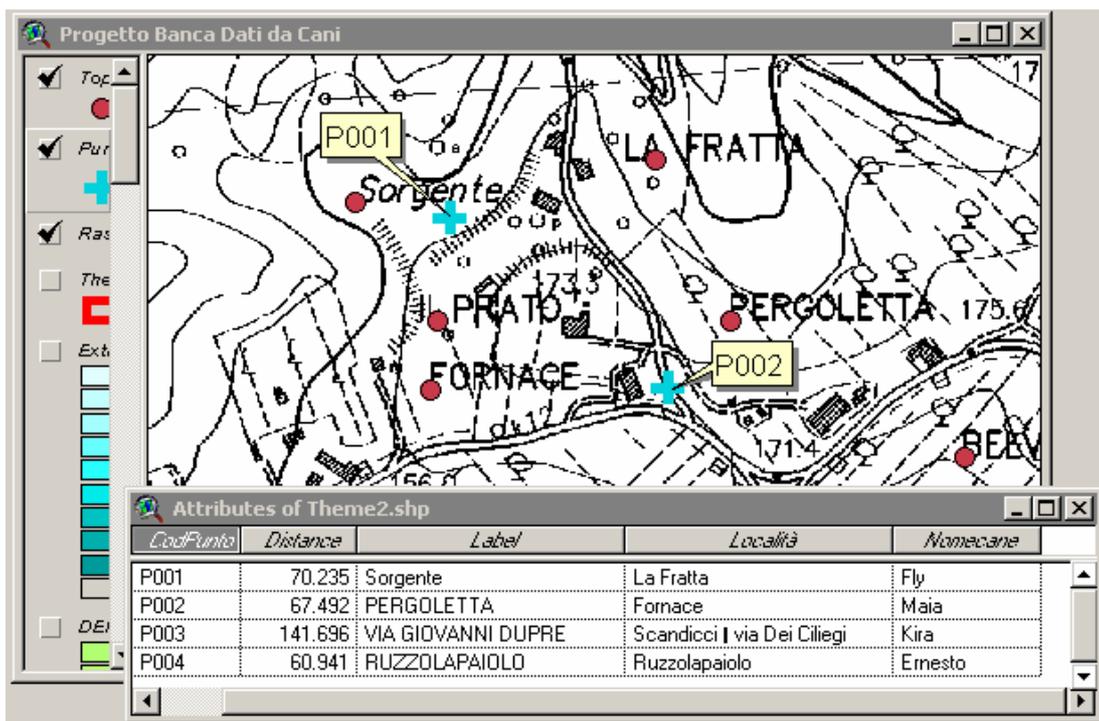


Figura 6 - Aggiornamento del dato; è possibile cambiare il valore del campo *Località* con il valore del campo *Label* recuperando il dato con una funzione GIS di prossimità.

Avendo a disposizione banche dati geografiche quali quella vettoriale poligonale dei limiti amministrativi o il Grid<sup>11</sup> del modello altimetrico del terreno (DEM) è possibile intuire le potenzialità di manipolazione e analisi GIS.

<sup>10</sup> Il termine manipolazione non ha nessuna accezione negativa e va inteso come la creazione di un dato partendo da ingredienti già esistenti; in termini tecnici coincide più o meno con il concetto di *geoprocessing*.

<sup>11</sup> Si veda più avanti la definizione del tipo di dati.

Una tipica manipolazione del dato è il taglio (clip) di una banca dati geografica utilizzando un'altra, come ad esempio l'operazione che porta a creare il DEM coincidente con i limiti del comune di Capraia e Limite, oppure la creazione di un nuovo strato poligonale che ci indichi l'area di pericolosità intorno ai cani un po' mordaci (Figura 7).

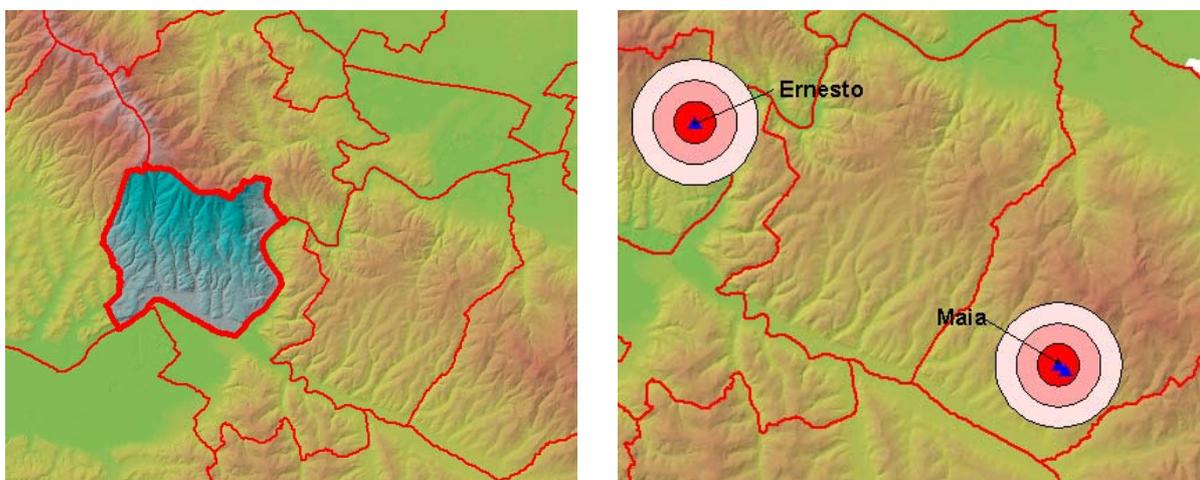


Figura 7 - Manipolazione dei dati: (sinistra) creazione del DEM di un comune con una funzione GIS di taglio (clip); (destra) creazione di aree di pericolosità intorno ai cani mordaci (buffer).

Le procedure di analisi GIS (come le procedure di manipolazione) agiscono sfruttando simultaneamente le informazioni spaziali e non spaziali presenti nelle banche dati geografiche; è possibile recuperare nome del comune e codice ISTAT dei punti in cui sono state effettuate le foto sfruttando la geografia e le informazioni alfanumeriche della banca dati geografica dei comuni. Se si crede che sia di qualche utilità possiamo applicare vari algoritmi al DEM per poi recuperare i dati morfometrici quali quota, esposizione e pendenza (Figura 8).

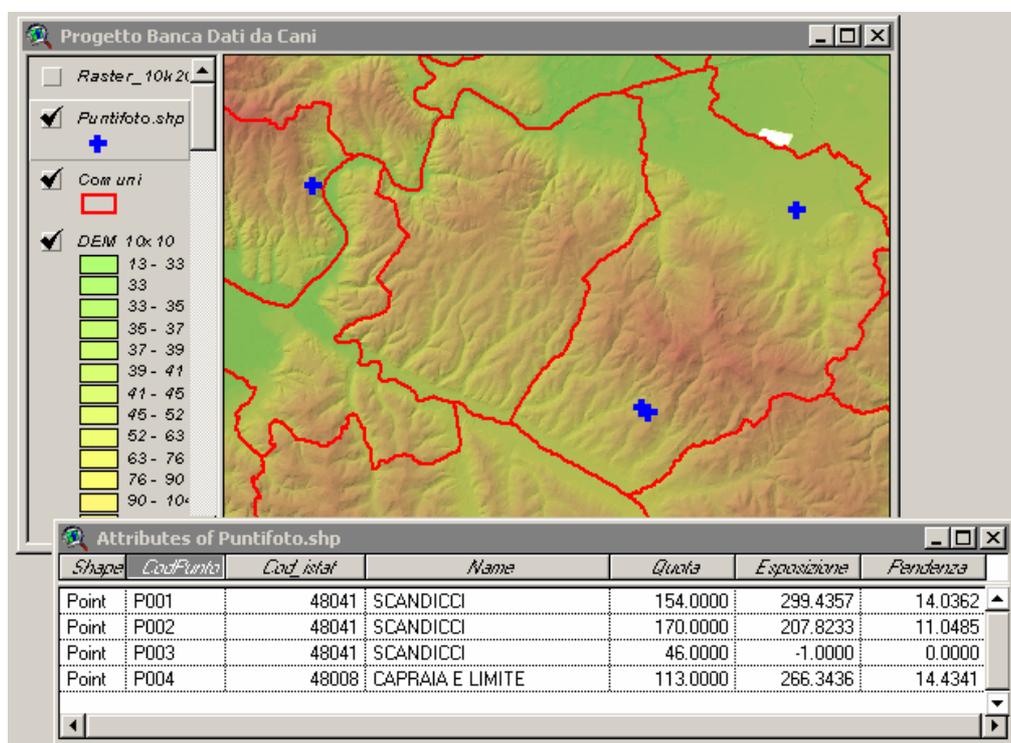


Figura 8 - Analisi e acquisizione di dati tramite funzionalità GIS.

In termini pratici le funzionalità GIS sono ciò che generalmente fa la differenza nell'uso di questi sistemi, sistemi che sono stati creati e si sono evoluti per rispondere ad un numero

sempre maggiore di quesiti e quindi per risolvere problemi di analisi territoriale vari e complessi.

L'estrema facilità di analisi su più strati geografici, che possono essere anche molto diversi nel loro significato tematico, deve essere gestita con la dovuta coerenza logica senza farsi prendere la mano, nel nostro significativo campione di cani (Tabella 1) abbiamo potuto stabilire che i cani con il vizio di leccare le mani vivono a quote inferiori a 150 metri, tuttavia sono rari i padroni di cani che scommetterebbero su una correlazione tra comportamento del proprio animale e caratteri morfometrici del luogo di residenza.

## 11.2. Tipi di dati nei GIS

### Dati vettoriali

Tipo di dati che rappresenta oggetti discreti come punti, linee e poligoni (primitive geometriche) basandosi su coordinate di un sistema cartesiano. Ogni punto è rappresentato da una singola coppia di coordinate, mentre poligoni e linee sono rappresentati come liste ordinate di vertici. In un GIS gli attributi sono associati ad ogni oggetto (vi è cioè un record in una tabella per ogni oggetto grafico).

Una netta differenziazione all'interno del tipo dati vettoriale è data dalle regole che gestiscono i rapporti tra gli oggetti (regole che in generale costituiscono la *topologia*), in questo senso è possibile riconoscere grosso modo tre livelli di modellazione dei dati vettoriali (Figura 9).

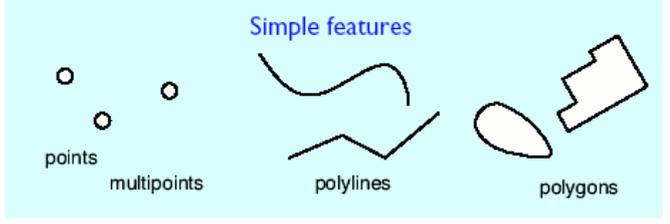
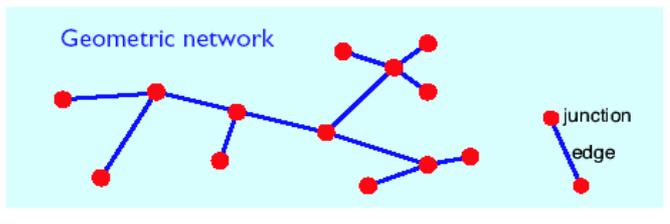
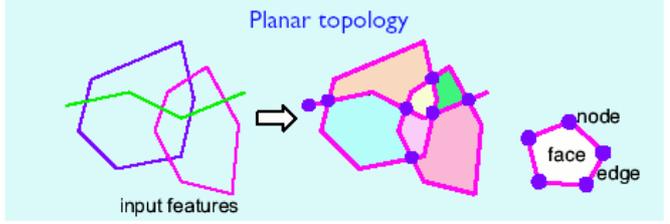
Esempio	Descrizione
 <p>Simple features</p> <p>points multipoints polylines polygons</p>	<p><b>Oggetti semplici</b></p> <p>Oggetti (punti, linee ed aree) senza esplicite regole di relazione o connessione con altri oggetti</p>
 <p>Geometric network</p> <p>junction edge</p>	<p><b>Topologia lineare (o rete geometrica)</b></p> <p>Oggetti (punti e linee) che rispettano (in forma esplicita) definite regole di relazione e connessione con altri oggetti finalizzate alla descrizione di linee (regole di coerenza topologica per le linee)</p>
 <p>Planar topology</p> <p>input features node face edge</p>	<p><b>Topologia planare</b></p> <p>Oggetti (punti, linee e aree) che rispettano (in forma esplicita) definite regole di relazione e connessione con altri oggetti finalizzate alla descrizione di aree (regole di coerenza topologica per le aree)</p>

Figura 9 - Principali modelli di dati vettoriali.

Per avere un'idea di quale sia la corrispondenza con i formati GIS della ESRI si consideri che gli *Shapefile* sono oggetti semplici, ma questi possono essere presenti anche nel formato *Geodatabase* introdotto con ArcGIS, la topologia lineare e planare è propria del formato *Coverage* e *Geodatabase* con diverse regole e modalità di implementazione, in

particolare il formato *Geodatabase* implementa uno specifico modello topologico lineare detto *Geometric network*.

Nel modello vettoriale topologico le regole topologiche oltre ad essere applicate nella costruzione dello strato informativo sono esplicitate e rese persistenti creando una *sovrastuttura topologica*, in tal caso si dice comunemente che quel dato *ha la topologia*.

In generale i dati CAD non hanno sovrastutture topologiche, quindi rientrano nel modello dati degli oggetti semplici; i software CAD tuttavia possono imporre implicitamente tutta una serie di regole topologiche nella fase di editazione del dato. Queste funzionalità sono applicate anche agli Shapefile in ambiente ArcGis e tramite alcuni accorgimenti anche in ArcView 3x. In questi casi vengono creati strati informativi geometricamente corretti secondo le regole topologiche ma privi di topologia.

Basandosi sulla topologia è possibile una rapida e sicura applicazione di funzioni GIS tra oggetti di uno stesso strato informativo o tra oggetti di diversi strati informativi; si noti che molte delle stesse funzioni possono essere applicate sfruttando direttamente la geometria degli oggetti (come ad esempio viene fatto con gli Shapefile), ma questo comporta generalmente una scarsa efficienza del processo e una notevole incertezza del risultato finale, dato che in questo caso è difficile garantire l'applicazione delle regole di coerenza topologica<sup>12</sup>.

Nel tipo dati vettoriale generalmente si ha una netta distinzione nel formato dei file tra contenitore della parte grafica e contenitore della parte alfanumerica degli attributi. Ad esempio gli *Shapefile* sono tipicamente costituiti da almeno tre file, uno che registra la parte geometrica (.shp), uno che registra l'indice degli oggetti (.shx) e uno che registra gli attributi alfanumerici (.dbf). Nuovi modelli di dati GIS hanno superato questa netta distinzione, ad esempio il già citato *Geodatabase*, sviluppato dalla ESRI, registra in un database relazionale sia i dati relativi alla parte grafica che a quella alfanumerica; il tipo di database relazionale utilizzato determina anche i tipi di dati che possono essere registrati in esso, nelle versioni più potenti praticamente tutti i tipi di dati GIS (Vettoriali, Raster, Tin) possono risiedere in un unico DBMS (DataBase Management System).

### ***Dati Raster***

Tipo di dati che rappresenta lo spazio come una matrice bidimensionale di celle uniformi (pixel) organizzate in righe e colonne, ad ogni cella è associato un valore numerico e una coppia di coordinate (Figura 10). Il valore della coppia di coordinate è data dalla combinazione tra il valore delle coordinate origine della matrice, la posizione della cella nella matrice e la dimensione della cella stessa.

Si consideri le seguenti proprietà dei Raster:

- descrivono nello spazio un continuo differenziandosi dai dati vettoriali che descrivono elementi discreti;
- ad ogni cella può essere associato qualsiasi valore numerico intero o decimale;
- possono essere applicate tutte le regole matematiche delle matrici;
- possono essere applicate tutte le regole dell'algebra booleana<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> La mancanza di una garanzia formale che il dato trattato rispetti determinate regole è argomento ampiamente sottovalutato dall'utente medio; il fatto può determinare alcuni fastidi nel caso di banche dati di poche decine di oggetti ma si dimostra catastrofico quando si tratta strati informativi complessi.

<sup>13</sup> George Boole, nel 1854, ha fatto un mezzo miracolo definendo semplici regole logiche codificate in forma matematica (basandosi sul concetto binario di vero/falso) per risolvere problemi complessi.

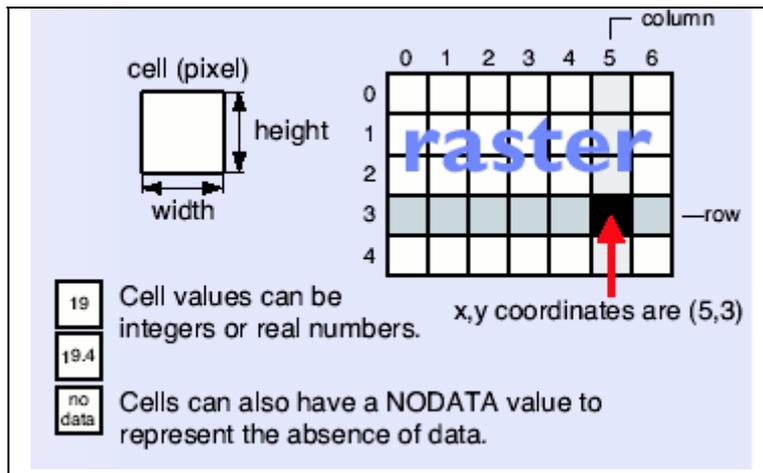


Figura 10 - Caratteristiche fondamentali dei raster.

Ogni pixel può registrare un valore numerico le cui dimensioni sono legate alla *profondità* in bit del raster, ovvero alla memoria fisica di ogni pixel<sup>14</sup>.

Nel tipo dati raster rientrano molti formati frequentemente usati nei GIS. La loro differenziazione è più legata alle funzionalità GIS che sono rese disponibili, piuttosto che a differenze sostanziali nel tipo di dato, tanto che sono possibili ampie variazioni alle definizioni proposte sotto.

### Grid

Raster con celle che hanno valori con un determinato significato geografico, generalmente frutto di qualche tipo di interpretazione. Ad essi possono essere associati degli attributi alfanumerici, i quali, a differenza dei dati vettoriali, generalmente sono rappresentati come una sommatoria dei valori presenti nella matrice e non hanno un'associazione univoca con ogni cella del Grid. Se il valore della cella è un decimale, data la sua variabilità in un continuo all'interno di un intervallo, in linea di principio non è possibile eseguire operazioni di sommatoria di valori uguali e quindi non vi è associato nessun attributo oltre al valore della cella stessa.

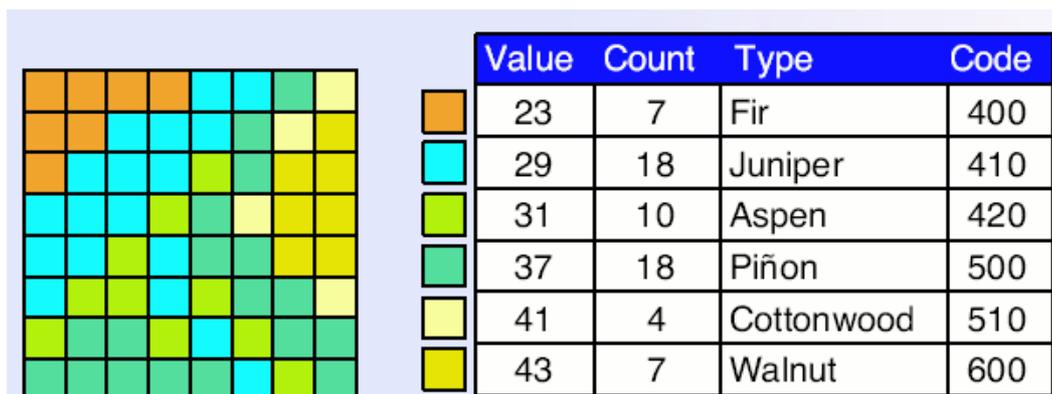


Figura 11 - Grid che descrive un dato tematico; si noti gli attributi associati alla sommatoria delle celle e non ad ogni singola cella.

<sup>14</sup> Un cenno ai concetti informatici di base. Il bit è l'unità di misura fondamentale; i possibili valori di un bit sono 0 e 1 (sistema binario), il software può decidere di associarci qualsiasi coppia di valori, generalmente opposti: bello/brutto, alto/basso, vero/falso o bianco/nero. Il mondo del singolo bit è generalmente noioso ed irrealista, ma la combinazione di più bit permette di avere più possibilità e più combinazioni di valori binari e quindi descrivere meglio la realtà; 8 bit possono registrare 2 combinazioni di valori all'ottava potenza, ovvero 256 combinazioni; 8 bit equivalgono ad 1 byte; 32 bit sono quindi 4 byte e, ad esempio, possono registrare un qualsiasi valore numerico intero compreso tra -2147483648 e +2147483647.

Tipico esempio di un Grid è un dato tematico come l'uso del suolo (Figura 11) o come il modello altimetrico de terreno (in inglese Digitale Elevation Model, DEM) in cui ad ogni cella è associato un valore di quota<sup>15</sup>.

L'importanza dei Grid nei GIS è data dall'imponente mole di funzionalità applicabili ai dati territoriali rese disponibili sfruttando la matematica delle matrici e quella booleana, funzionalità che permettono analisi più efficienti ed efficaci di quelle possibili con la matematica dei vettori.

Generalmente non esiste un formato commerciale standard per i Grid, ma ciò non comporta particolari problemi poiché la trasformazione tra diversi formati di matrici riflette la loro semplicità concettuale. Il formato Grid utilizzato da ESRI permette di registrare in ogni cella un valore numerico sino a 32 bit.

### **Immagini**

Raster le cui celle hanno valori numerici derivati direttamente dall'acquisizione (tramite strumenti ottici o elettronici) di dati fisici, quali intensità della banda del visibile (tipicamente una foto aerea) o altre bande dello spettro elettromagnetico (dati radar, immagini da satellite, laser, etc.). Un'immagine può contenere una o più bande.

Come si può intuire dalla definizione le immagini possono essere trattate come Grid e viceversa. In genere alle immagini si richiede delle dimensioni dei pixel molto più piccole che ai Grid (ovvero si vuole un'alta definizione delle stesse) e ciò ha comportato un aumento esponenziale delle dimensioni fisiche delle immagini parallelo al miglioramento delle tecnologie di acquisizione e archiviazione.

Per motivi non facilmente spiegabili l'applicazione di funzionalità GIS alle immagini è relativamente limitata nei software GIS standard, esiste quindi un modo parallelo di strumenti informatici dedicati, quali Ermapper, Erdas Imagine, Idrisi, etc., ma questi non sono generalmente considerati GIS a tutti gli effetti in quanto hanno una limitatissima capacità di gestione dei dati vettoriali e degli attributi alfanumerici.

Come detto le immagini sono supportate da un imponente sviluppo delle tecnologie informatiche ad esse dedicate, che sono cresciute in modo direttamente proporzionale all'aumento delle dimensioni delle immagini stesse. È quindi arduo contare i formati e le modalità di gestione e compressione (Bmp, Jpeg, Tiff, Bil, Erdas, ECW, Mrsid, etc.); tuttavia qualunque modalità di gestione dell'immagine deve tenere presente alcune regole comuni di struttura e da queste partire per la costruzione del formato finale del file immagine. Alcuni formati sono la fedele applicazione dello schema proposto nei box che seguono, tra questi i formati *bitmap* (come BMP e TIFF non compresso) che riproducono fedelmente il dato acquisito registrandolo in una vera e propria "mappa di bit" creando file di dimensioni pari alla grandezza dell'immagine e alla profondità in bit della stessa. Altri formati, chiamati *compressi* (*jpeg, ecw, tiff compress, etc.*), applicano degli algoritmi che campionano l'immagine e riconoscono distribuzioni di pixel caratteristiche assegnandogli valori che meglio approssimano il campione originale (in forma non dissimile delle immagini a pseudo-colore, vedi oltre). I file compressi portano ad una drastica diminuzione della dimensione del file spesso con limitata perdita di informazioni visive, tuttavia si ha sempre una degradazione dell'immagine originale<sup>16</sup> e nella generalità dei casi non è possibile applicare l'inverso della compressione. Nei software GIS l'uso dei file compressi non di rado è legato ad algoritmi proprietari e quindi a specifici prodotti software (es. formato ECW della Ermapper), che tuttavia sono gratuiti per la gestione corrente dei file.

---

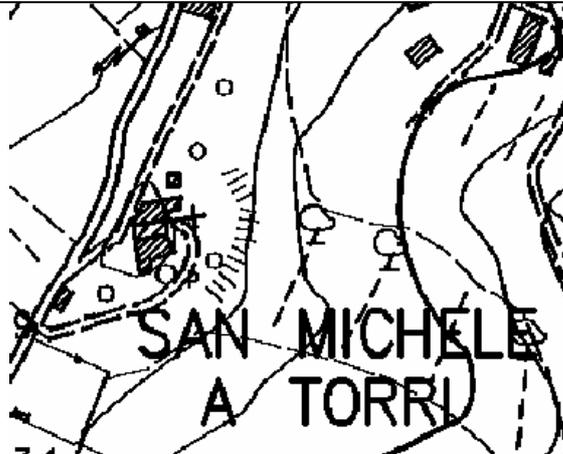
<sup>15</sup> Parleremo più avanti delle caratteristiche del DEM in confronto con il TIN; per ora si tenga presente che il termine DTM (Digital Terrain Model) formalmente comprende entrambe le tipologie di dato.

<sup>16</sup> Questo si nota quando si esegue ingrandimenti molto spinti, fatto abbastanza frequente nelle operazioni GIS.

### Immagine monocromatica

Detta anche bianco\nero, ad ogni cella è associato 1 bit ovvero un valore binario (1\0) corrispondente ai due colori. Le CTR rasterizzate sono tipicamente in questa forma.

0	0	0	0	1	1
1	0	0	1	1	0
1	0	1	1	0	0
0	0	0	1	1	0
1	1	0	0	0	1
0	1	1	1	0	0
0	1				



### Immagine scala di grigi

Ad ogni cella sono associati 8 bit ovvero un valore compreso tra 0 e 255 corrispondente ad una determinata tonalità di grigio. Le Ortofoto AIMA sono tipicamente in questa forma.

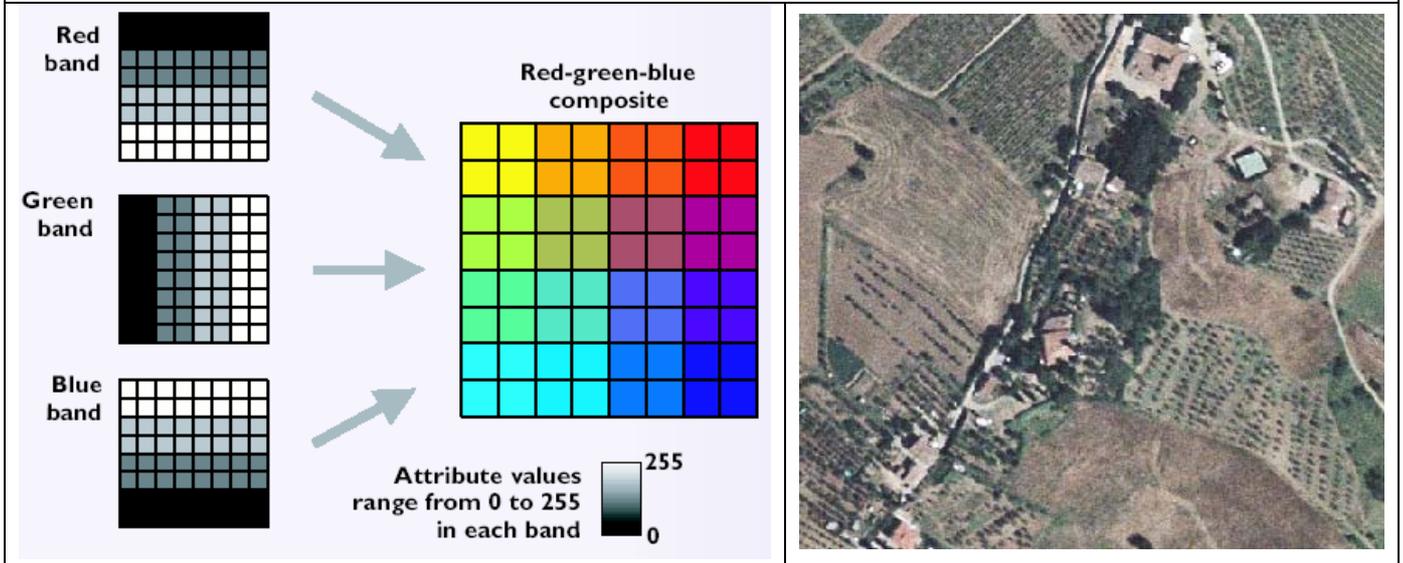
68	124	0	170	86	0	
234	187	68	251	10	236	
76	124	218	132	201	66	
124	16	118	183	32	255	
126	191	198	251	141	56	
41	255	243	162	212	152	
0						255



### Immagine multi banda

Nel caso di immagini nel visibile generalmente ad ogni cella sono associati 24 bit, in questo caso vi sono 3 bande con celle da 8 bit (8+8+8), ogni cella di ogni banda ha valore compreso tra 0 e 255 corrispondente a una tonalità di una banda di colore nel visibile (Red, Green e Blu – RGB), la combinazione delle tre bande crea immagini composite a 16 milioni di colori (le combinazioni possibili dal prodotto  $256 \times 256 \times 256$ ) dette anche in vero colore.

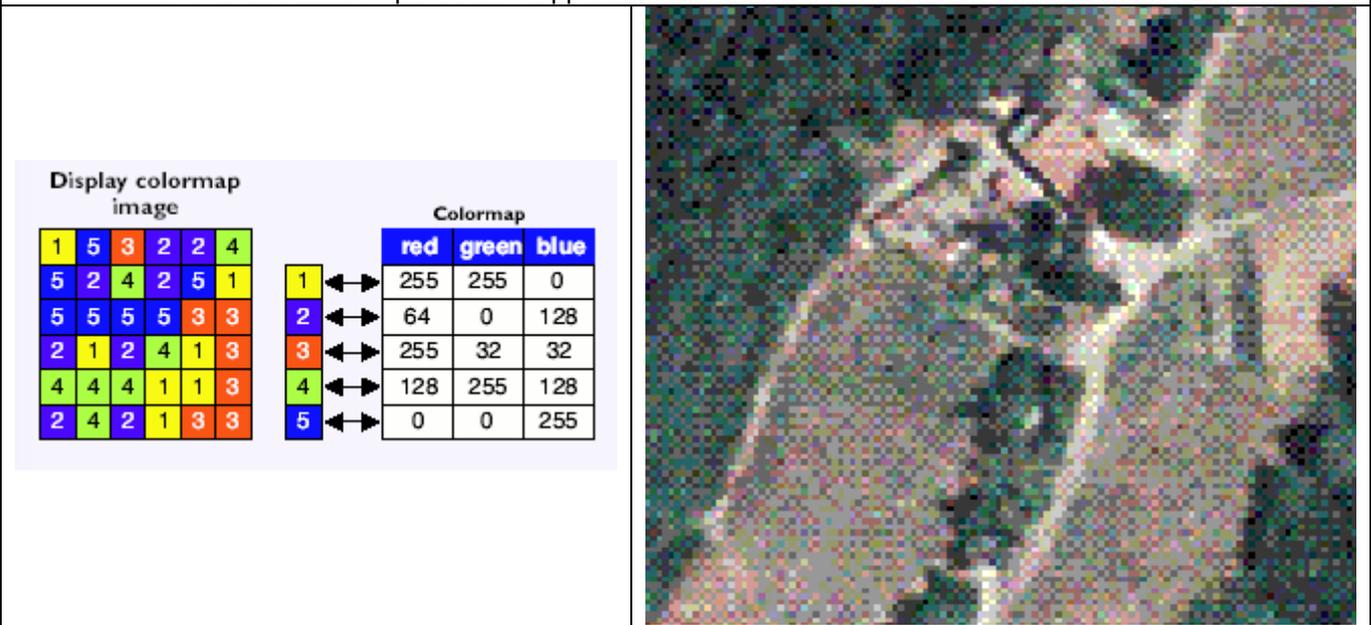
Nel campo delle immagini satellitari le cose sono più complesse, vi sono formati di immagini che registrano i dati di ogni banda di acquisizione del satellite (il Landsat 7 acquisisce 7 bande diverse dello spettro elettromagnetico), in alcuni casi i dati possono essere archiviati in celle con capacità di 128 bit. Tuttavia nella generalità dei casi anche le immagini da satellite sono visualizzate con formati RGB.



### Immagine a pseudo-colori

Detta anche a 256 colori o a tavolozza di colori.

Come nelle immagini a scala di grigi ad ogni cella sono associati 8 bit ovvero un valore compreso tra 0 e 255 a cui viene fatto corrispondere un'approssimazione di una determinata combinazione RGB.



## TIN

TIN (Triangulated Irregular Network). Struttura particolare di dato vettoriale, in cui lo spazio è descritto da una superficie continua di triangoli irregolari contigui e non sovrapposti, ai cui vertici vi sono punti definiti da una terna di coordinate (x, y e z) di un sistema cartesiano tridimensionale. Tipicamente, un TIN descrive tridimensionalmente la superficie del terreno.

Dalla definizione s'intuisce che un TIN deve rispettare alcune regole topologiche nelle relazioni tra le primitive geometriche che la compongono (punti, triangoli e linee). Queste regole sono sfruttate per l'implementazione di opportuni algoritmi che ottimizzano la costruzione dei triangoli<sup>17</sup>. Ad ogni triangolo del TIN sono associati degli attributi, generalmente predefiniti dal software GIS in uso, che descrivono dati morfometrici relativi alla modellazione del terreno.

Per capire l'utilità del TIN è importante confrontarne le caratteristiche fondamentali con un raster DEM, tipo di dati generalmente di maggior diffusione per la descrizione e l'analisi della morfologia del terreno. Nella lettura del seguente schema, si tenga presente che ogni considerazione sulla precisione e fedeltà del DEM e del TIN non può prescindere dalla qualità del dato da cui derivano.

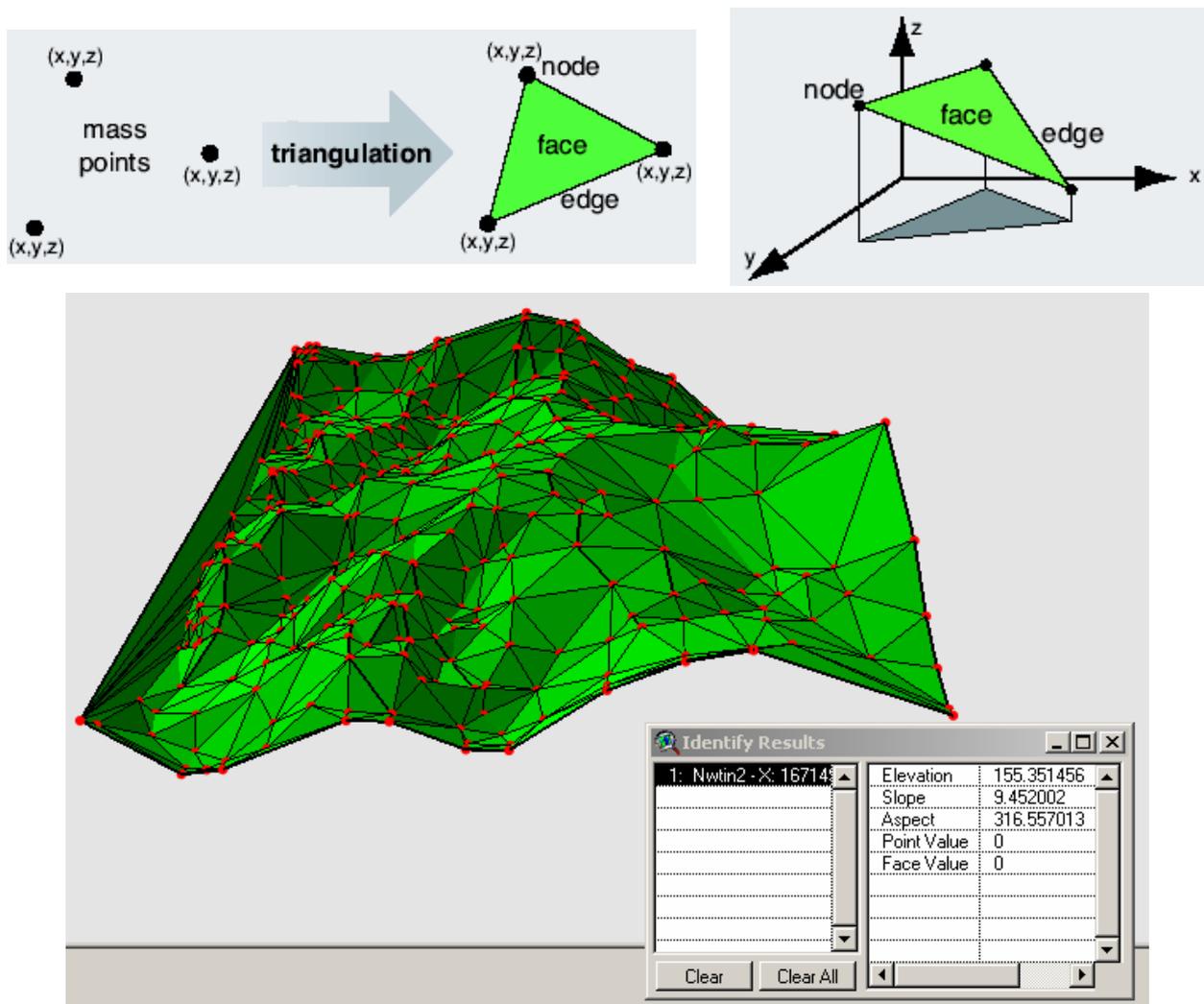


Figura 12 - Caratteristiche fondamentali del TIN ed esempio di attributi associati.

<sup>17</sup>Da quattro punti sono possibili due combinazioni di triangoli, non vi è quindi una soluzione univoca.

	DEM	TIN																									
	<table border="1"> <tr><td>451</td><td>454</td><td>457</td><td>459</td><td>458</td></tr> <tr><td>453</td><td>455</td><td>456</td><td>461</td><td>461</td></tr> <tr><td>454</td><td>459</td><td>458</td><td>465</td><td>467</td></tr> <tr><td>456</td><td>460</td><td>462</td><td>473</td><td>469</td></tr> <tr><td>458</td><td>462</td><td>464</td><td>469</td><td>465</td></tr> </table>	451	454	457	459	458	453	455	456	461	461	454	459	458	465	467	456	460	462	473	469	458	462	464	469	465	
451	454	457	459	458																							
453	455	456	461	461																							
454	459	458	465	467																							
456	460	462	473	469																							
458	462	464	469	465																							
<b>Precisione del modello della superficie del terreno</b>	La precisione del DEM è determinata dalle dimensioni della cella. Per aumentare la precisione è necessario ricreare l'interio raster con celle di dimensioni più piccole.	Un Tin ha una densità variabile dei punti in funzione del valore di pendenza e dei cambiamenti di quota, la precisione dipende dal range di errore di quota imposto. Per aumentare la precisione è possibile aggiungere informazioni puntuali (punti quotati), lineari (scarpate, creste o impluvi) e poligonali (un lago) in un TIN esistente																									
<b>Fedeltà alle caratteristiche della superficie del terreno</b>	Il DEM registra i valori di quota come centroide di una matrice regolare. Oggetti geografici come picchi o creste non possono essere georiferiti con precisione migliore di quella che permette la dimensione della cella (un dem con pixel 10*10 metri avrà una precisione planimetrica di +/- 5 metri)	Gli algoritmi di creazione dei TIN registrano oggetti geografici con caratteristiche morfometriche nette come impluvi, creste e picchi con la precisione propria delle coordinate degli oggetti. Discontinuità nelle pendenze come le scarpate vengono modellate con linee che approssimano la rottura di pendenza (breaklines).																									
<b>Principali Analisi sulla superficie del terreno</b>	Creazione di isoipse, applicazioni di funzioni di prossimità, dispersione e percorso ottimale. Calcolo di pendenza, esposizione, curvatura, direzioni e accumulo di flusso e aree di visibilità da un punto. Calcolo di profili.	Creazione di isoipse. I valori di pendenza ed esposizione sono impliciti nel dato. Calcolo dei volumi, calcolo di profili, linee di visibilità e direzioni di flusso. Generalmente il calcolo con i TIN è molto più efficiente.																									
<b>Vantaggi</b>	Rappresentazione ed analisi di superfici a piccola scala o di superfici regolari, analisi di dispersione e prossimità, modellazione idrologiche ed idrauliche. Analisi di visibilità a piccola scala	Calcolo dei volumi relativi ad escavazioni o invasi. Rappresentazione ed analisi morfometriche di dettaglio o di superficie particolarmente irregolari. Generazione di isoipse di alto dettaglio. Analisi di drenaggio e visibilità di dettaglio.																									

### **Altri tipi di dati**

#### *Dati alfanumerici a georeferenziazione diretta*

Quando un dato alfanumerico è associato ad una coppia di coordinate, i sistemi GIS sono in grado di visualizzarlo e gestirlo "al volo" anche in assenza di una parte grafica; questo tipo di dato è di grande importanza per la sua semplicità di condivisione tra sistemi diversi.

Si consideri le seguenti righe (o stringhe):

CodPunto,Xcoord,Ycoord, Nomecane  
P001, 1671454.321780, 4841484.538552, FLY  
P002, 1671616.066491, 4841357.283642, MAIA

P003, 1675509.881032, 4846671.046237, KIRA

P004, 1662842.401306, 4847279.719692, ERNESTO

Ogni sistema GIS è in grado di creare uno strato vettoriale georiferito con coordinate Xcoord e Ycoord con gli attributi CodPunto e Nome Cane.

#### *Dati alfanumerici a georeferenziazione indiretta*

Quando un dato alfanumerico è associato ad un'informazione di localizzazione geografica univoca diversa da coppia di coordinate si parla di georeferenziazione indiretta, come è il caso dell'elenco del telefono con indirizzi postali o di alcune banche di servizi in rete. Per una loro gestione geografica tramite GIS, è necessario uno strumento di decodifica che trasformi l'informazione di localizzazione in coordinate geografiche. Si tenga presente che questo strumento può essere anche un indicatore spaziale riferito ad un sistema di riferimento noto, con origine di coordinate note (ad esempio la progressiva lungo una rete elettrica).

#### *Dati non spaziali*

Tutti i dati che non hanno una collocazione geografica sono definibili come dati non spaziali (l'esempio di Figura 1). Anche se può suonare strano il loro uso nei GIS è molto diffuso, come nel caso di informazioni tabellari non georiferite riguardanti tabelle di decodifica relazionate a strati geografici o ai grafici generati dai risultati di analisi spaziali. Con gli strumenti software attuali di fatto tutti i tipi di dati informatici possono essere gestiti tramite GIS: dalle pagine web agli mp3.

### **11.3. Sistema di coordinate e base topografica di riferimento**

#### **Introduzione**

Come l'esperienza quotidiana insegna, lo schermo del computer è piatto (o lievemente convesso) e di forma rettangolare (per chi ha un 19" è approssimabile ad un foglio A3 orientato orizzontalmente) ciò facilita la rappresentazione di forme geometriche in un sistema di assi cartesiani. Quasi il 100 % degli utenti sfrutta questo principio ogni volta che accende il computer, almeno che non utilizzi un sistema operativo esclusivamente testuale (ovvero privo di interfaccia a finestre).



I software GIS, come molti altri software che gestiscono elementi grafici, hanno le necessarie funzionalità per ricavare le coordinate dello schermo nella sua unità di misura (pixel) e conoscendone la risoluzione (ovvero i pixel per pollice) sono in grado di gestire lo spazio dello schermo in scala rispetto alla realtà basandosi sull'unità di misura che l'utente gli impone. L'assegnazione dell'unità di misura è alla base di buona parte delle operazioni che possono essere fatte in un sistema GIS e il buon utente dovrebbe eseguirlo, o farlo eseguire dal sistema, ad ogni avvio del software.

In Figura 13, tramite un software GIS, dopo avere imposto l'unità di misura in metri, sono stati inseriti i valori di una coppia di coordinate x, y qualsiasi.

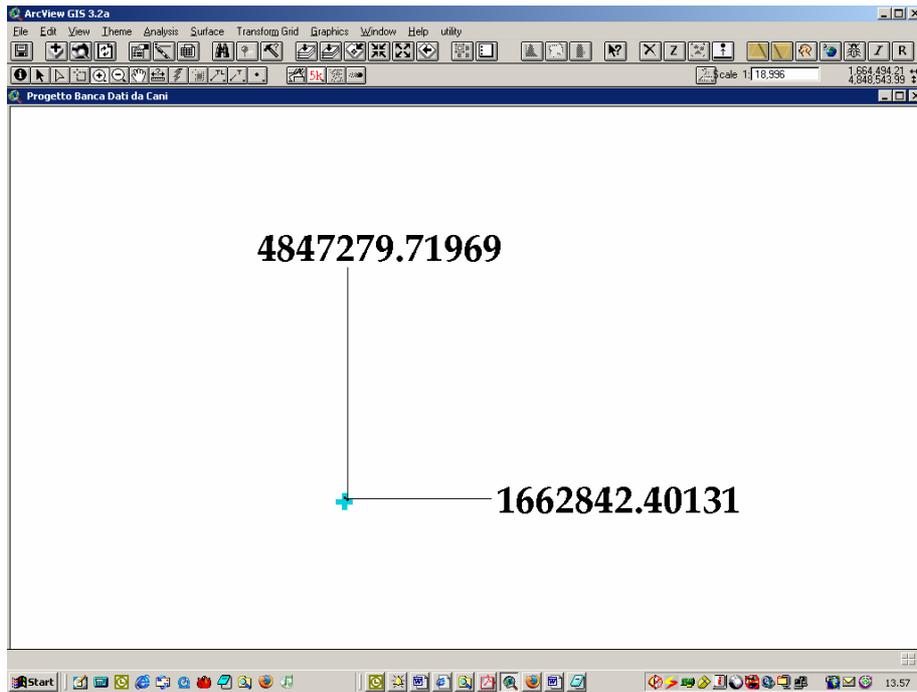


Figura 13 - Una generica coppia di coordinate su uno schermo di un computer.

Questa rappresentazione geometrica non avrebbe niente di particolarmente interessante se non fosse per i particolari valori numerici delle coordinate; un utente ignaro potrebbe supporre che il disegno è particolarmente grande o comunque domandarsi perché l'origine delle coordinate è così lontana. Il significato dei valori inseriti acquista un senso quando scopriamo che coincidono con un punto su una carta topografica, punto univocamente determinato dalla coppia di valori dati e dai riferimenti che definiscono il sistema cartesiano della carta topografica, che, come lo schermo del computer, è generalmente piana e rettangolare (Figura 14).

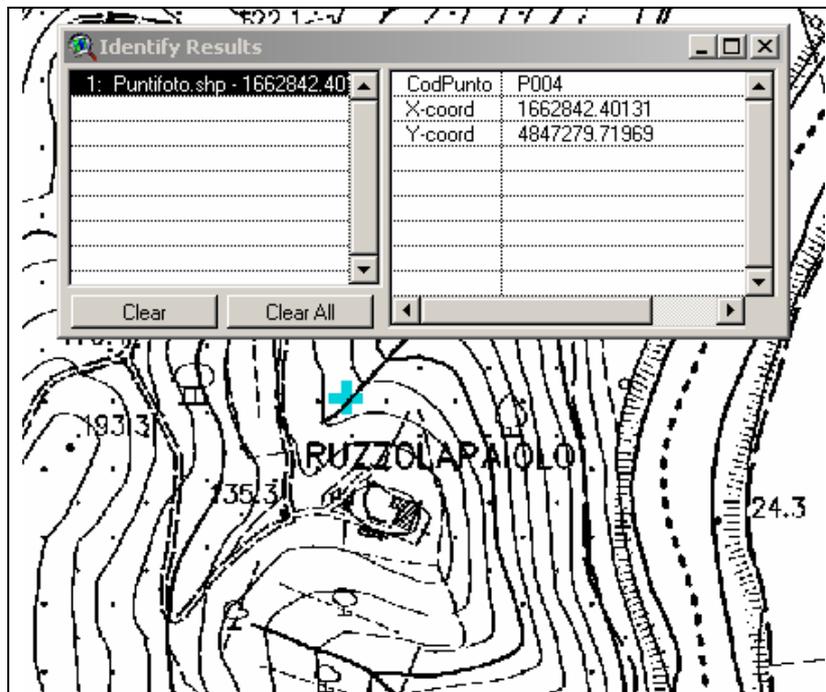


Figura 14 - Punto univocamente determinato in un sistema di coordinate definito per una data base topografica.

La carta topografica ha fatto da tramite visivo per fornirci un riferimento univoco e geograficamente significativo alla nostra coppia di coordinate; leggendo le specifiche della carta possiamo quindi definire *un sistema di coordinate di riferimento*.

### **Base topografica di riferimento**

Se decidessi di continuare ad elaborare le mie rappresentazioni geografiche sulla base cartografica di Figura 14, farei *implicitamente* riferimento al sistema di coordinate di riferimento utilizzato dalla mia *base cartografica (o topografica) di riferimento* alla quale invece riferisco *esplicitamente* i miei oggetti geografici: operativamente non vengono ricavate coordinate in un sistema di riferimento ma tracciati grafi su riferimenti topografici.

Nell'acquisizione dati classica (ovvero rilevamenti di campagna, analisi di foto aeree, etc.) è la base topografica di riferimento a determinare scala di rappresentazione, precisione e accuratezza del dato rappresentato rispetto alla realtà geografica.

La precisione di rappresentazione è legata all'errore di graficismo, ovvero alla dimensione di tracciamento di un grafo sulla carta topografica (0,2 mm, ovvero 2 m alla scala 1.10.000), tale dimensione sullo schermo coincide con la visualizzazione del grafo correttamente percepibile ad una data scala. La determinazione della scala di riferimento definisce quindi la precisione di rappresentazione. Non deve ingannare la capacità del software GIS di impostare una scala di rappresentazione 1:1 indipendentemente dalla scala di riferimento della carta topografica. Ogni buon operatore GIS nel costruire qualsiasi strato informativo geografico dovrebbe sempre esplicitare la base topografica di riferimento (che può anche essere differente da quella utilizzata per la rappresentazione del dato), fatto che tra le altre cose permette di definire modalità di digitalizzazione e aree minime cartografabili.

### **Rappresentazione (proiezione) cartografica**

Appoggiandoci sempre alla stessa base topografica di riferimento, si potrebbe pensare di aver risolto il problema del sistema di coordinate di riferimento; infatti, ogni nuovo punto od oggetto creato da noi verrà collocato correttamente sulla nostra base e quindi implicitamente nel sistema di coordinate dato.

Ciò è concettualmente vero e lo sarebbe in assoluto se la terra fosse piatta, ma il fatto che la terra sia più o meno tonda<sup>18</sup> porta ad avere a che fare con il principio geometrico che una superficie sferica non può essere applicata ad un piano, e ciò comporta che quanto rappresentato sul sistema cartesiano della nostra carta topografica ha una collocazione matematicamente approssimata sulla superficie terrestre.

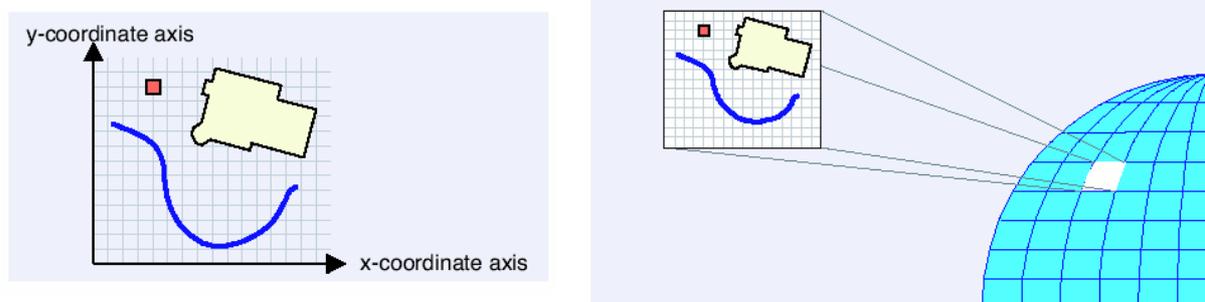


Figura 15 - La rappresentazione di oggetti geografici su un asse cartesiano ha una sua collocazione matematicamente approssimata sulla superficie della terra.

<sup>18</sup> Viene matematicamente assimilata ad un ellissoide di rotazione.

La constatazione che l'uomo può avere avuto delle difficoltà ad accettare che la terra sia tonda è dovuto al fatto (a noi oggi ovvio) che alla scala di un territorio non troppo esteso la curvatura terrestre è quasi impercettibile e la superficie può essere riferita ad un piano<sup>19</sup>. A questo principio ci si riferisce quando si risolve il problema della sfericità della superficie terrestre con la sua proiezione su una superficie piana (*proiezione cartografica*).

I vari sistemi di proiezione cartografica, che sono alla base dei sistemi di coordinate di riferimento comunemente in uso in Toscana e in Italia, sono finalizzati a determinare delle superfici piane nel cui sistema cartesiano di coordinate vi sia un errore, dovuto alla deformazione che la proiezione cartografica introduce rispetto alla superficie terrestre, accettabile per una data scala di rappresentazione.

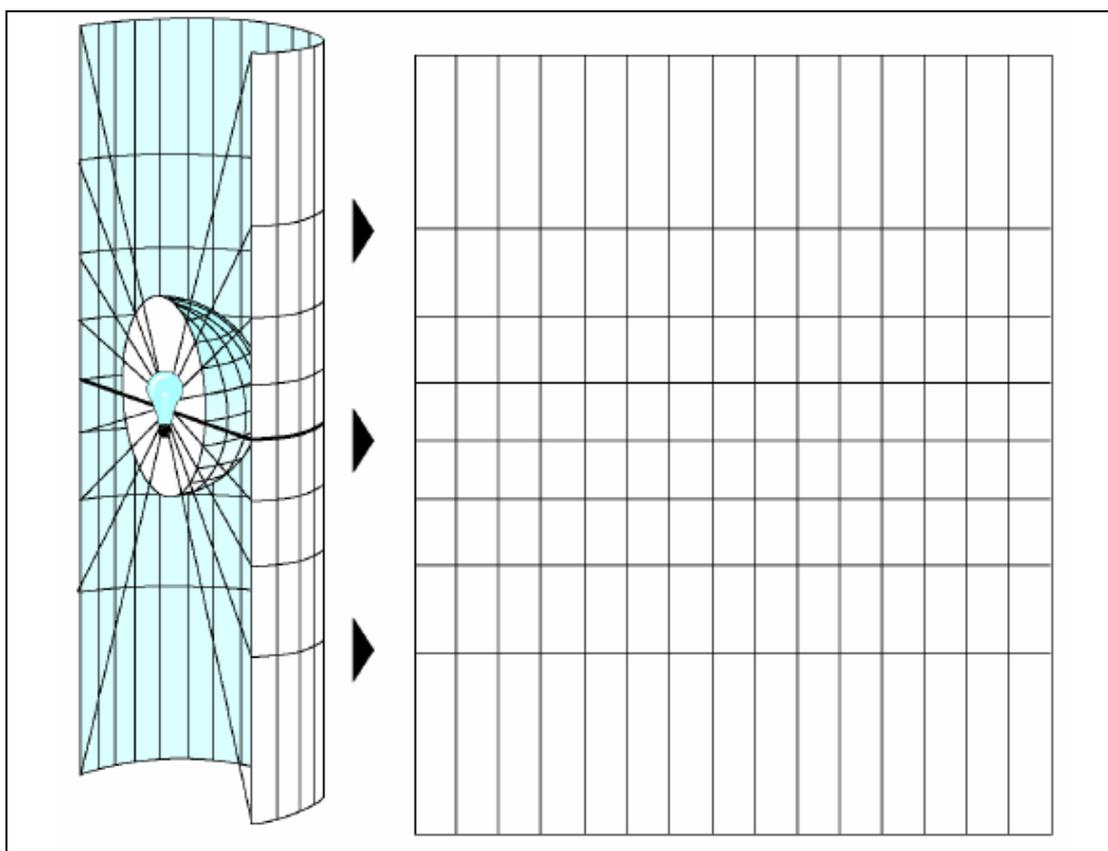


Figura 16 - Proiezione della superficie di una sfera su un piano.

In Toscana generalmente si può avere a che fare con tre sistemi di coordinate di riferimento differenti:

- GAUSS BOAGA (Roma 40)
- UTM (ED50)
- UTM (WGS84)

Tutti questi sistemi di coordinate fanno riferimento ad un comune *sistema di rappresentazione* (o di *proiezione*) cartografica<sup>20</sup> in cui le coordinate geografiche sono trasformate in coordinate piane su uno o più cilindri lievemente secanti la superficie terrestre in corrispondenza di meridiani (rappresentazione di Gauss-Kruger o Trasversa di Mercatore).

<sup>19</sup> Per la precisione per aree sino a 15 km di lato questo è anche matematicamente vero (campo topografico).

<sup>20</sup> Dato che non si tratta di una vera e propria proiezione secondo le regole della matematica proiettiva, si parla propriamente di rappresentazione e non di proiezione, anche se la forma del reticolato piano che si ottiene è molto simile al risultato di una proiezione cilindrica inversa.

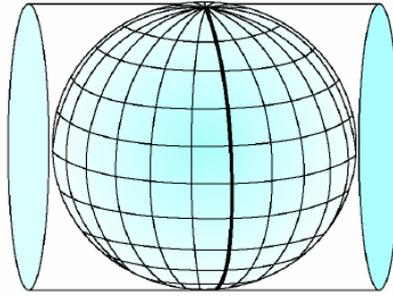


Figura 17 - Rappresentazione trasversa di Mercatore.

Per rappresentare superfici piane con errore accettabile è necessario cambiare il meridiano centrale di tangenza ad intervalli definiti in modo da suddividere il globo in zone o *fusi* di ampiezza massima coerente con l'errore imposto.

La prima differenza tra il sistema Gauss-Boaga e l'UTM (Universal Transverse Mercator) è data dai meridiani di tangenza. Nel caso del Gauss-Boaga sono stati individuati solo due meridiani opportunamente riferiti all'Italia ( $9^\circ$  e  $15^\circ$  gradi di longitudine est) e tali da determinare due fusi di 6 gradi di ampiezza in longitudine ciascuno (fuso Ovest e fuso Est) estesi di  $30'$  per avere leggera sovrapposizione. Nel caso dell'UTM il sistema è riferito all'intero globo per cui sono stati definiti 60 fusi distinti, anch'essi di 6 gradi di ampiezza in longitudine. Il territorio italiano è interessato da 3 fusi, che da occidente ad oriente sono il fuso 32, 33 e 34 (quest'ultimo interessa una parte limitata della Puglia); per pura coincidenza i fusi 32 e 33 hanno i meridiani centrali di  $9^\circ$  e  $15^\circ$  longitudine est.

Per ogni fuso è definito un sistema di assi cartesiani. La seconda differenza tra Gauss-Boaga e UTM è data proprio dall'origine degli assi; mentre l'origine delle coordinate nord è per entrambi sull'equatore<sup>21</sup>, i due sistemi hanno un valore differente di falso est, parametro utilizzato per non avere valori di coordinate negativi. Per UTM il falso est è pari a 500.000 m per ogni fuso, mentre per Gauss-Boaga è 1.500.000 m per il fuso ovest e 2.520.000 m nel fuso est<sup>22</sup>.

I due sistemi hanno in comune il valore del rapporto di riduzione o *fattore di scala*. Questo parametro risulta pari ad 1 nel caso in cui il fuso sia perfettamente tangente all'ellissoide nel suo meridiano centrale<sup>23</sup>, facendo in modo che lungo la tangente non vi siano distorsioni. Per ottenere una migliore distribuzione degli errori su tutto il fuso, il cilindro di proiezione è costruito in maniera tale da risultare lievemente secante l'ellissoide, in modo che sul meridiano centrale il fattore di scala assuma un valore di 0,9996, mentre sui due meridiani d'intersezione esso assuma il valore 1 e agli estremi del fuso il valore 1,0004.

Se la superficie terrestre fosse perfettamente assimilabile ad un ellissoide di rotazione, oltre che una probabile notevole monotonia del paesaggio, non ci sarebbero ulteriori particolari complicazioni nelle rappresentazioni cartografiche planimetriche. Tuttavia, la presenza di notevoli irregolarità sulla superficie terrestre rende necessario definire un modello matematico della terra che approssimi al meglio la superficie terrestre, e decidere per quale parte della terra l'approssimazione è migliore e quindi determinarne localizzazione ed orientamento per ottenere un sistema di coordinate geografiche il più possibile corretto. L'*ellissoide* descrive un'approssimazione matematica della superficie della terra, mentre il

<sup>21</sup> Dalla semplice lettura delle coordinate del sistema Gauss-Boaga Roma 40, si può dedurre che il duomo di Firenze si trova a 4.849 km e 150 metri circa dall'equatore.

<sup>22</sup> Il particolare valore del falso est è riconducibile alla necessità di distinguere i valori di coordinate est del fuso ovest da quelli del fuso est (nel primo caso nelle coordinate est la prima cifra è sempre 1, nel secondo caso è 2)

<sup>23</sup> L'ipotesi di una perfetta tangenza del fuso all'ellissoide è una raffigurazione intuitiva in quanto si sta trattando di una rappresentazione analitica e non di una proiezione vera e propria.

*datum* descrive la collocazione dello stesso ellissoide rispetto al centro della terra e l'orientamento delle coordinate geografiche (ovvero l'orientamento dei meridiani e dei paralleli). Il datum descrive un vero e proprio sistema di coordinate geografiche, che può essere *locale* se collocato ed orientato per ottimizzare una determinata area della terra, o *mondiale* se collocato ed orientato per approssimare al meglio l'intero globo.

Definito il datum (e quindi l'ellissoide), la localizzazione planimetrica può essere affrontata con errori gestibili ed accettabili con le proiezioni cartografiche, diversamente accade per i valori di quota sul livello del mare. In questo caso non è sufficiente approssimare matematicamente la superficie terrestre ma si deve fare un ulteriore passo avanti nella rappresentazione della realtà fisica, ovvero determinare un *geoide*, definito come la superficie equipotenziale della gravità terrestre che meglio approssima il livello medio del mare. Un geode è facilmente definibile fisicamente ma deve basarsi necessariamente su misure gravimetriche locali e non è risolvibile matematicamente a livello globale. La differenza tra superficie del geode e dell'ellissoide è detta *ondulazione geoidica* o separazione geode-ellissoide (Figura 18).

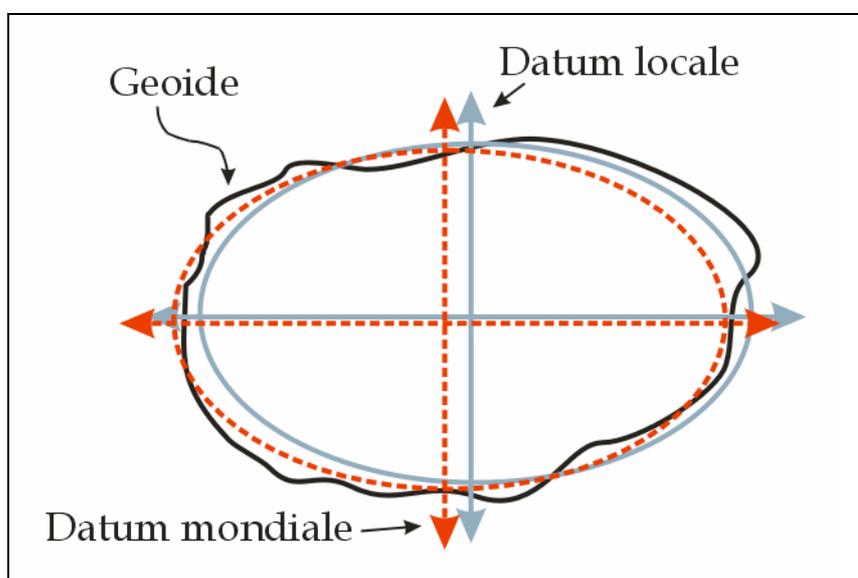


Figura 18 - Rapporti tra geode e datum (e relativo ellissoide).

Il datum utilizzato nei sistemi di coordinate di riferimento determina ulteriori importanti differenze tra UTM e Gauss-Boaga e tra i due sistemi UTM; in quest'ultimo caso, le differenze operative sono tali che l'uso della medesima rappresentazione cartografica non deve indurre a facili similitudini tra i due.

Sistema	Datum	Utilizzo
Gauss-Boaga Roma 40	Datum locale <b>Roma 40</b> punto emanazione a Monte Mario, ellissoide Hayfort	Cartografia nazionale a grande e media scala
UTM ED50	Datum locale <b>European Datum 1950</b> punto emanazione a Postdam, ellissoide Hayfort	Cartografia nazionale ed europea a grande e media scala
UTM WGS84	Datum mondiale <b>World Geodetic System 1984</b> centrato sul centro di massa della terra, ellissoide WGS84	Cartografia internazionale a grande e media scala, sistemi di posizionamento globale satellitare GPS

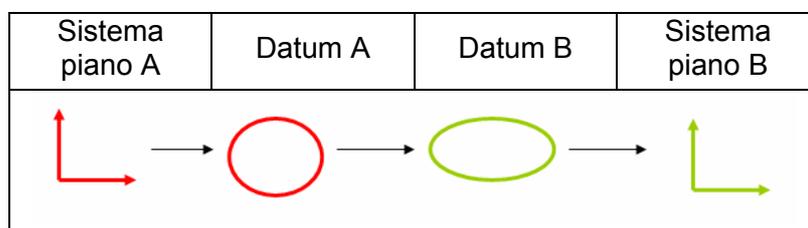
Il sistema WGS84 presenta una fondamentale caratteristica legata al suo utilizzo come sistema globale di posizionamento satellitare, infatti, questo fornisce anche dati altimetrici oltre che planimetrici, dati altimetrici riferiti all'ellissoide WGS84. Le ondulazioni geoidiche tra

l'ellissoide WGS84 e il geoide locale per l'Italia sono sempre positive per valori compresi tra +37 e +54 m; la mancanza di una compensazione con il geoide locale determina quindi errori nelle quote inaccettabili in valori assoluti e al limite della validità in valori relativi.

Si noti inoltre che le differenze tra UTM WGS84 e UTM ED50 è di fatto più importante di quella che intercorre tra UTM ED50 e Gauss-Boaga, infatti nel primo caso si ha un cambiamento sia nella forma che nell'orientamento dell'ellissoide (questo determina la necessità di una trasformazione geografica a 7 parametri), nel secondo caso cambia solo l'orientamento di quest'ultimo (trasformazione geografica a 6 parametri)<sup>24</sup>.

### **Gestione delle differenze tra diversi sistemi di coordinate**

Teoricamente per poter traslare strati informativi geografici tra diversi sistemi di coordinate piane è necessario passare da coordinate piane a coordinate geografiche, effettuare i necessari calcoli per le conversioni di datum e quindi passare nuovamente a sistemi di coordinate piane.



Ovviamente per fare ciò dovranno essere puntualmente definiti tutti i parametri di entrambi i sistemi proiezione cartografica<sup>25</sup> (datum, falso est, fattore di scala, etc.).

Anche se i sistemi software attuali permettono l'applicazione "al volo" di una tale procedura, la necessaria approssimazione di alcuni parametri determina sempre un certo errore. Quando, come nel caso della Toscana, i sistemi di rappresentazione (o proiezione) cartografica in uso hanno in comune un solo sistema di assi cartesiani che copre quasi tutta la regione, e differiscono per costanti nell'origine degli assi cartesiani, è possibile e conveniente risolvere le differenze introdotte dai differenti datum tramite l'applicazione di una matrice di valori che rappresentano la differenza nei valori delle coordinate x, y nei due differenti sistemi in punti di coordinate note (Figura 19). Ovviamente per questi punti l'errore tra i due diversi sistemi di riferimento piani è assunto pari a zero, mentre la trasformazione tra gli altri punti dello strato informativo è eseguita con opportune interpolazioni che, in funzione della densità dei punti della matrice di riferimento, possono arrivare ad errori decimetrici o inferiori.

Per fare un esempio pratico una coppia di costanti valida per la trasformazione da UTM ED50 a Gauss-Boaga Roma 40 per un punto nel comune di Firenze è +999948 (si ricordi il valore del falso est) per le coordinate est e -183 per le coordinate nord, in valore assoluto 52 metri sulle coordinate est e 183 metri sulle coordinate nord. Tra UTM ED50 e UTM WGS84 i valori differenziali assoluti sono leggermente superiori (rispettivamente 79 e 202 metri). Visto che le caratteristiche delle rappresentazioni di Gauss-Boaga e UTM differiscono essenzialmente solo per valori costanti sull'origine degli assi cartesiani, si può dedurre che questi valori possono rappresentare, al netto dell'errore legato alla materializzazione a terra della rete trigonometrica, la distorsione planimetrica introdotta dall'uso di differenti datum.

<sup>24</sup> Nella pratica devono essere considerati anche i parametri per gestire le distorsioni proprie delle reti geodetiche.

<sup>25</sup> Questo semplice assunto non sempre è rispettato nelle pratiche GIS anche a livelli altamente professionali; ciò ha senso quando tutti gli strati geografici fanno riferimento ad un unico sistema di rappresentazione, fatto generalmente accettato per ambiti territoriali locali.

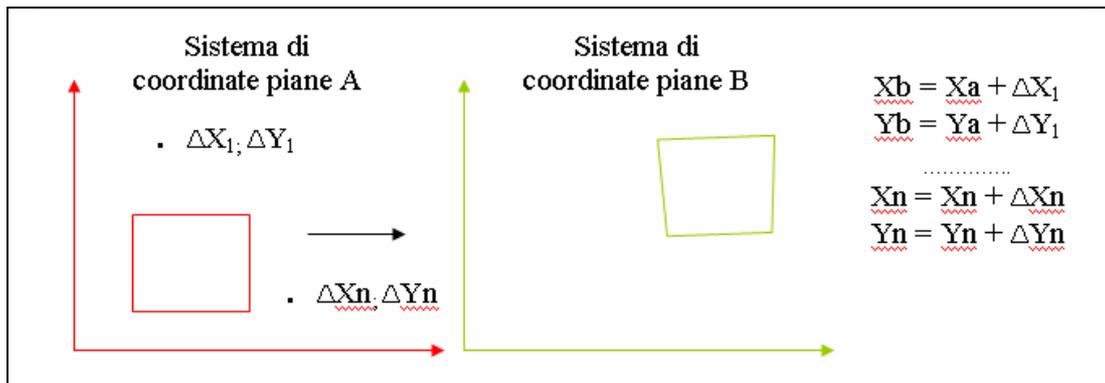


Figura 19 - Esempio schematico di conversione tra sistemi di coordinate piane conoscendo una matrice di punti di coordinate note nei due sistemi.

### Problema del cambiamento di fuso

Qualsiasi rappresentazione piana è valida nell'ambito di validità dello spazio cartesiano del sistema di rappresentazione cartografica. Tenendo presente quanto descritto per la rappresentazione Gauss-Boaga e UTM si consideri la schematizzazione di Figura 20, il punto A, anche se esiste una base topografica su cui è collocato, non ha una rappresentazione geografica valida, formalmente è nel nulla. Se vuole esistere geograficamente deve passare al sistema di assi cartesiani del fuso est (A'). La tecnica di estendere la dimensione del fuso, adottata anche nel sistema Gauss-Boaga, è accettabile per quegli ambiti territoriali che per una loro limitata parte interessano un fuso diverso e quando l'errore è tollerabile per la scala di rappresentazione voluta (come nel caso della Toscana per la cartografia 1:10.000), il suo abuso è consentito solo per rappresentazioni a piccola scala prive di precisi significati geografici.

La rappresentazione di oggetti geografici su un sistema cartesiano è funzionalmente utile ma non tutto può far riferimento ad una sola coppia di assi; la curvatura della terra ci impone di cambiare riferimenti se vogliamo rappresentare qualcosa che abbia una realtà geografica.

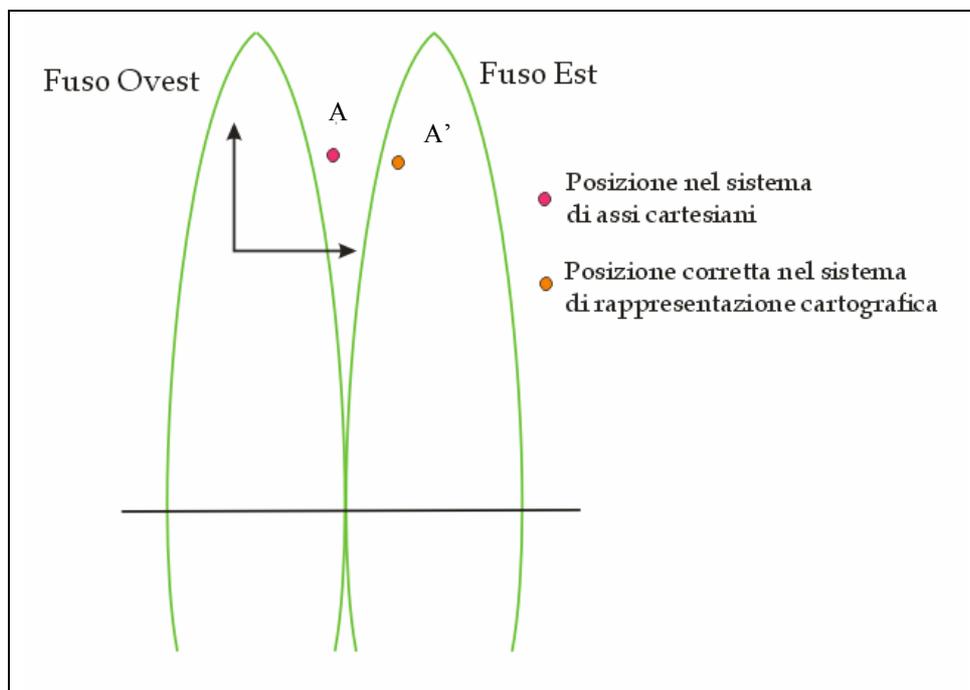


Figura 20 - Nei sistemi di rappresentazione cartografica piani ad un certo punto è necessario uscire dalla solita coppia di assi cartesiani.

## 12. BIBLIOGRAFIA

La bibliografia è stata suddivisa in varie sezioni per semplificarne la consultazione. La prima elenca le pubblicazioni che hanno maggiore attinenza con la geomorfologia applicata utilizzando metodi fotointerpretativi, alle quali si è ricorso per la stesura del testo relativo a questo tema; la seconda i lavori inerenti la valutazione della pericolosità da processi geomorfologici di versante, esposta nei capitoli 9 e 10; la terza contiene i manuali e i trattati che possono essere consultati per eventuali approfondimenti di carattere generale e particolare; la quarta, infine, è dedicata ai vocabolari e glossari, che possono essere utili per comprendere terminologie poco note non comprese nell'Appendice 13.2.

### 12.1. Metodologie fotointerpretative

**Aiello E., Ercoli A., Fagioli M.T., Montini G., Sulli L.** (2003). *Legenda geomorfologica a supporto della pianificazione territoriale*. Il Geologo, periodico trimestrale dell'Ordine dei Geologi della Toscana, n° 53, Firenze.

**Amadesi E., Vianello G., Bonfatti G., Pignone R., Preti D.** (1977). *Guida alla realizzazione di una carta della stabilità dei versanti*. Regione Emilia-Romagna, Collana di orientamenti geomorfologici ed agro-forestali, Pitagora Editrice, Bologna.

**Bartolini C., Conedera C., Pranzini E.** (1979). *Studi di geomorfologia costiera: V – Le variazioni della linea di riva fra Rosignano e Marina di Castagneto*. Mem. Soc. Geol. It., 19, Roma.

**Bemporad S., Ercoli A.** (1978). *La fotointerpretazione applicata allo studio del territorio*. Convegno regionale: La geologia ambientale nella programmazione territoriale, Bologna.

**Conedera C., Ercoli A.** (1969). *Il rilievo della stabilità dei versanti dalle foto aeree*. L'Universo, anno XLIX, n° 2, Firenze.

**Conedera C., Ercoli A.** (1973). *Methodologies photointerprétatives pour l'analyse de la stabilité des versants*. Symposium sol et sous-sol et sécurité des constructions. BRGM, Cannes.

**Conedera C., Ercoli A.** (1973). *Elementi geomorfologici della piana di Firenze dedotti da fotointerpretazione*. L'Universo, anno LIII, n° 2, Firenze.

**Conedera C., Ercoli A.** (1977). *Il drenaggio fossile*. L'Universo, anno LVII, n° 6, Firenze.

**Cruden D.M., Varnes D.J.** (1996). *Landslides Types and Processes*. In: Turner A.K., Schuster R.L. (Eds) "Landslides Investigation and Mitigation", Special Report 247 T.R.B.-N.R.C. National Academy Press, Washington D.C.

**Dainelli P.** (1995). *Fotointerpretazione geologica*. Corso avanzato in telerilevamento delle risorse terrestri, AIT/CSEA, Chieri (TO).

**Ercoli A., Ferri W.** (1979). *La Rocca di Cefalù: un esempio di studio sulla stabilità dei versanti subverticali*. L'Universo, anno LIX, n° 3, Firenze.

**Ercoli A., Fondelli M.** (1980). *Applicazione della fotogrammetria e della fotointerpretazione nello studio delle spalle della diga di Ridracoli*. Bollettino degli Ingegneri n. 7-8, Firenze.

**Ercoli A.** (1984). *La fotointerpretazione applicata allo studio dell'evoluzione dell'alveo del Po*. Ministero dei Lavori Pubblici – Magistrato per il Po. 2° Convegno di Idraulica Padana, Parma.

**Ercoli A., Hegg U., Pazzagli G.** (1986). *Metodologia di previsione e catalogazione di dissesti gravitativi adottata per le opere connesse alla costruzione di una diga nelle Ande Colombiane*. Atti del XVI Convegno Nazionale di Geotecnica, Bologna.

**Ercoli A.** (2005). *Metodologie fotointerpretative applicate all'individuazione delle aree a rischio idrogeologico*. Regione Emilia-Romagna, Secondo Forum Nazionale, 23 giugno, Rimini, dossier monografico della collana *Ambiente & Territorio*, Maggioli Editore (in stampa).

**Facibeni P., Francalanci F.** (1986). *La fotogrammetria terrestre e la fotogeologia applicate allo studio di pareti verticali rocciose*. Atti del XVI Convegno Nazionale di Geotecnica, Bologna.

**Pellegrini G.B. e altri** (1993). *Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo*. Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia, Geogr. Fis. Dinam. Quat., vol. 16.

**Pranzini E.** (a cura di) (1985). *La gestione delle aree costiere*. Collana Amministrare l'Urbanistica, n° 25, Edizioni delle Autonomie, Roma.

**Rossi R., Bellucci R., Conedera C., Nafissi P.** (1992). *Le carte dell'erosione del suolo e della capacità d'uso agricolo-forestale: strumenti di base per la pianificazione di bacino*. Congresso Nazionale Società Geologica Italiana, 21-23 Settembre, Firenze

**Servizio Geologico Nazionale** (1994). *Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000 – Guida al rilevamento*. A cura del Gruppo di Lavoro per la Cartografia Geomorfologica, Quaderni serie III, vol. 4, Roma.

## 12.2. Valutazione della pericolosità

**Aleotti P., Canuti P., Falorni G., Fanti G., Grimaldi G., Guida D., Lombardi G., Pappalardo G., Polloni G.** (2003). *Assessment of potential debris flow inundation areas on a small alluvial fan in southern Italy*. In: Picarelli Ed., *Fast Slope Movements Prediction and Prevention for Risk Mitigation*, Proc. IC-FSM 2003, Napoli, 11-13 May 2003, 1, 9-15.

**Aleotti P., Chowdhury R.** (1999). *Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 58: 21-44.

**Amadesi E., Vinello G.** (1978). *Nuova guida alla realizzazione di una carta della stabilità dei versanti*. Mem. Soc. Geol. It., 19, 53-60.

**Amanti M., Carrara A., Castaldo G., Colosimo P., Gisotti G., Govi M., Marchionna G., Nardi R., Panizza M., Pecci M., Vianello G.** (1992). *Linee guida per la realizzazione di una cartografia della pericolosità geologica connessa ai fenomeni di instabilità dei versanti alla scala 1:50.000. Versione Preliminare*. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Servizio Geologico, Progetto CARG, 53p.

**Amadesi E., Vianello G., Bonfatti G., Pignone R., Preti D.** (1977). *Guida alla realizzazione di una carta della stabilità dei versanti*. Regione Emilia Romagna. MB T6. Ed. Pitagora, Bologna, 72 p.

**Bernknopf R.L., Campbell R.H., Brookshire D.S., Shapiro C.D.** (1988). *A probabilistic approach to landslide hazard mapping in Cincinnati, Ohio, with applications for economic evaluation*. AEG Bull., 24 (1), 39-56.

**Bertocci R. e altri** (2000). *Atlante dei Centri Abitati Instabili della Toscana*. Pubbl. n°2143 del CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche, Regione Toscana, Firenze.

**Bianchi F., Catani F.** (2002). *Landscape dynamics risk management in Northern Apennines (Italy)*. In: Brebbia C.A. & Zanetti P. (Editors), *Development and Application of Computer Techniques to Environmental Studies*. WIT PRESS, Southampton, chap. 1, 319-328.

**Bosi C.** (1978). *Considerazioni e proposte metodologiche sulla elaborazione di carte della stabilità*. Geol. Appl. & Idrogeol., 13, 245-281.

**Brabb E.E., Pampeyan E.H., Bonilla M.G.** (1972). *Landslide susceptibility in San Mateo County, California*. USGS Misc. Field Investigation Map, MF-360.

**Brabb E.E.** (1984). *Innovative approaches to landslides hazard mapping*. Proc. IV Int. Symp. on Landslides, Toronto, 1, 307-324.

**Canuti P., Casagli N.** (1996). *Considerazioni sulla valutazione del rischio di frana*. Estratto da "Fenomeni Franosi e Centri Abitati". Atti del Convegno di Bologna del 27 Maggio 1994. CNR-GNDICI – Linea 2 "Previsione e Prevenzione di Eventi Franosi a Grande Rischio". Pubblicazione n° 846, 57p.

**Canuti P., Casagli N., Tarchiani U.** (1999). *Criteri generali per la valutazione dei livelli di pericolosità e di rischio da frana, con indicazione delle normative e delle tipologie di intervento per la mitigazione del rischio*. In: *La Protezione Civile verso gli Anni 2000*. P. Malesani (Editor). CISPRO e CNR, Firenze: 90-105.

**Carrara A.** (1983). *Multivariate Methods for landslide hazard evaluation*. Mathematical Geol., 15(3), 403-426.

**Carrara A.** (1984). *Landslide hazard mapping: aims and methods*. Association Francaise de Géographie Physique. Colloque de CAEN, 141-151.

- Carrara A., Cardinali M., Detti R., Guzzetti F., Pasqui V., Reinchenbach P.** (1990). *Geographical Information Systems and multivariate model in landslide hazard evaluation*. In: Alps 90. A.Cancelli (ed.) 6th Int. Conf. & Field. Workshop on Landslides. Milano., 17-28.
- Carrara A., Catalano E., Sorriso, Valvo M., Reali C., Osso I.** (1978). *Digital terrain analysis for land evaluation*. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 13, 69-127.
- Carrara A., Cardinali M., Detti R., Guzzetti F., Pasqui V., Reinchenbach P.** (1991). *GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 427-445.
- Carrara A., D'Elia B., Semenza E.** (1985). *Classificazione e nomenclatura dei fenomeni franosi*. *Geol. Appl. e Idrogeol.*, Vol. XX, 223-243.
- Chung Ch. F., Fabbri A. G., Van Western C.J.** (1995). *Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation*. In: *Geographical information System in Assessing Natural Hazards* Carrara A., Guzzetti F. (eds), Kluwer Pub., Dordrecht, The Netherlands, 107-142.
- Cipolla F., Guzzetti F., Lolli O., Pagliacci S., Sebastiani C., Siccardi F.** (1999). *Catalogo nazionale delle località colpite da frane e da inondazioni: verso un utilizzo più maturo dell'informazione*. Atti del convegno: Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo. Accademia dei Lincei, Roma, 1-2 Ottobre 1998, 285-290.
- Corominas J.** (2001). *Landslides and Climate*. Keynote Lectures from the 8th International Symposium on Landslides, No 4, pp. 1-33.
- Crosta G., Dal Negro P., Frattini P.** (2003). *Distributed modelling of shallow landsliding i volcanoclastic soil*. *Engineering Geology* (in stampa).
- Federici P.R., Baldacci F., Petresi A., Serani A.** (2001). *Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria: 1° Provincia della Spezia*. CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche, Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa - Regione Liguria, Genova.
- Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., Reichenbach P.** (1999). *Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy*. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Ermini L., Catani F., Casagli N.** (2003). *Artificial neural networks applied to landslide hazard assessment*. *Geomorphology* (in stampa).
- Fernandez-Steger T.M., Rohn J., Czurda K.** (2002). *Identification of landslide area with neural nets for hazard analysis*. In: Rybàr, J. Stemnerk, J. Wagner, P. Landslides, Proc. of the I ECL, Prague, CZ Rep., Giugno 2002, Balkema, Netherland, 163-168.
- Frattini P., Crosta G.B., Ceriani M., Fossati D.** (2003). *Inventario delle frane e dei dissesti della Regione Lombardia: analisi statistica e probabilistica per una valutazione preliminare della pericolosità*. AIGA 1° Convegno Nazionale.
- Guzzetti F., Malamud B.D., Turcotte D.L., Reichenbach P.** (2002). *Power-law correlations of landslide area in central Italy*. *Earth and planetary sciences letters*, 195, 169-183.
- Hansen A.** (1984). *Landslide Hazard Analysis*. In: Brunsen D., Prior D.B., *Slope Stability*. John Wiley & Sons. Chp.13, 523-602.
- Hartlèn J., Viberg L.** (1988). *General report: evaluation of landslide hazard*. Proc. 5th Int. Symp. on Landslides, Lausanne, 2, 1037-1058.
- Hung O., Evans S.G., Bovis M.J., Hutchinson J.N.** (2001). *A review of the classification of landslides of flow type*. *Environmental & Engineering Geosciences*, Vol. VII, n.3. August 2001, pp. 221-238.
- Jones F.O., Embody D.R., Peterson W.C.** (1961). *Landslides along the Columbia River Valley, Northeastern Washington*. US Geol. Surv. Prof. Paper, 367, 98 pp.
- Klugman M.A., Chung P.** (1976). *Slope stability study of the Regional Municipality of Ottawa-Carleton, Ontario*. Ont: Geol. Surv. Misc., Paper MP68.
- Montgomery D.R., Dietrich W. E.** (1994). *A physically based model for the topographic control on shallow landsliding*. *Water resources research*, 30 (4), 1153-1171.
- Mulder, H.F.H.M.** (1991). *Assessmen of landslide hazard*. *Nederlandse Geografische Studies*. PhD Thesis, University of Utrecht, 150 pp.
- Neuland H.** (1976). *A prediction model of landslips*. *Catena*, 3 , 215-230.
- Newman E.B., Paradis A.R., Brabb E.E.** (1978). *Feasibility and cost of using a computer to prepare landslide susceptibility maps of the San Francisco Bay Region, California*. US Geol. Survey Bull., No. 1443.

- Nora E., Pellegrini M., Puma F., Zanotti A.** (1993). *Atlante dei Centri Instabili della Provincia di Modena*. CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche, Regione Emilia-Romagna Assessorato Ambiente - Provincia di Modena, Roma.
- Pack R.T., Tarboton D.G., Goodwin C. N.** (1998). *Terrain stability mapping with SINMAP, technical description and users guide for version 1.00*. Report number v4114-0, Terratech Consulting Ltd., Salmon Arm, b.c., Canada ([www.tclbc.com](http://www.tclbc.com)).
- Prestininzi A. e altri** (2000). *La valutazione del rischio da frana: metodologie e applicazioni al territorio della Regione Lazio*. Dipartimento di Scienze della Terra, Università "La Sapienza", Roma.
- Radbruch-Hall D.H., Colton R.B., Davies W.E., Lucchetta I., Skipp B. A., Varnes D.J.** (1982). *Landslide overview map of the Conterminous United States*. USGS Prof. Papers 1183, US Gov. Printing Office, 25 pp.
- Redini M., Franceschini S., Puccioni M.C.** (2004). *Il Sistema Informativo Territoriale dell'Autorità di Bacino dell'Arno*. MondoGIS, n° 40, Gennaio/Febbraio, Roma.
- Regione Lombardia** (2000). *Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana in Regione Lombardia*. Unità Organizzativa Attività generali e di conoscenza del territorio. Struttura Rischi Idrologici. Bollettino Ufficiale Regione Lombardia n° 51, Milano. 63 pp.
- Sarle, W. S.** (1997). *Neural Network FAQ, part 1 of 7: Introduction*. Periodic posting to the Usenet newsgroup comp.ai.neural-nets (URL: <ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html>).
- Siddle H.J., Jones D.B., Payne H.R.** (1991). *Development of a methodology for landslip potential mapping in the Rhondda Valley*. In: Slope Stability Engineering, Chandler R.J. (ed.) Thomas Telford, London, 137-142.
- Soeters R., Van Western C.J.** (1996). *Slope stability: recognition, analysis and zonation*. In Turner AK, Shuster RL (eds) "Landslides: investigation and mitigation". Transportation research board- National Research Council, Special report 247, pp. 129-177.
- Suzen M. L., Doyuran V.** (2004b). *Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey*. Eng. Geol., 71, 303-321.
- Suzen M. L., Doyuran V.** (2004a). *A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate*. Environmental Geology, 45, 665-679.
- Van Western C.J., Rengers N., Terlien M.T.J., Soeters R.** (1997). *Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation*. Geologische Rundschau 86, 404-414.
- Varnes D.J. & IAEG Commission on Landslides** (1984). *Landslides hazard zonation – a review of principles and practice*. UNESCO Paris, 63 pp.
- WP/WLI – International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory** (1990). *A Suggested Method for Reporting Landslides*. IAEG Bull., 41, 5-12.
- WP/WLI – International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory** (1991). *A Suggested Method for a Landslide Summary*. IAEG Bull., 43, 101-110.
- WP/WLI – International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory** (1993a). *A Suggested Method for Describing the Activity of a Landslide*. IAEG Bull., 47, 53-57.
- Yin K.L., Yan T.Z.** (1988). *Statistical prediction models for slope instability of metamorphic rocks*. Proc. 5th Int. Symp. on Landslides, Lausanne, 2, 1269-1272.
- Zezeze J.L.** (2002). *Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the north of Lisbon (Portugal)*. Natural hazard and earth system sciences, 2, 78-82.

### 12.3. Manuali e testi

- Alvisi G.** (1989). *La fotografia aerea nell'indagine archeologica*. La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- Amadesi E.** (1993). *Manuale di fotointerpretazione con elementi di fotogrammetria*. Pitagora Editrice, Bologna.
- American Society of Photogrammetry** (1975). *Manual of Remote Sensing (first edition)*. Falls Church, Virginia.
- American Society of Photogrammetry** (1983). *Manual of Remote Sensing (second edition)*. Falls Church, Virginia.
- Aubouin J., Brousse R.** (1973). *Compendio di Geologia*. Edizione italiana a cura di Ippolito F., D'Argenio B., Pescatore T. S., Casa Editrice Ambrosiana, Milano.
- Autori Vari** (1994/95). *I paesaggi geologici italiani*. Supplementi della rivista Verde Ambiente, redatti a cura della SIGEA (Società Italiana di Geologia Ambientale), Roma.
- Avery T.E.** (1968). *Interpretation of aerial photographs (second edition)*. Burgess Publishing Company, Minneapolis, Minnesota.
- Barret E.C., Curtis L.F.** (1974). *Environmental remote sensing: applications and achievements*. Edward Arnold, London.
- Barret E.C., Curtis L.F.** (1977). *Environmental remote sensing 2*. Edward Arnold, London.
- Bartolini C.**, 1992. *I Fattori Geologici delle Forme del Rilievo*. Pitagora Editrice, Bologna.
- Brivio A., Lechi G.M., Zilioli E.** (1992). *Il Telerilevamento da Aereo e da Satellite*. Carlo Delfino Ed., Sassari.
- Castiglioni G.B.** (1979). *Geomorfologia*. UTET, Torino.
- Colosimo P.** (1982). *Manuale di Geologia Tecnica delle Frane*. Edizioni Nuove Ricerche, Ancona.
- Commissione Interministeriale per lo Studio della Sistemazione Idraulica e della Difesa del Suolo, III Sottocommissione** (1971). *Guida alla classificazione delle frane ed ai primi interventi*. Roma.
- Curran P.J.** (1985). *Principles of Remote Sensing*. Longman, Londra.
- Desio A.** (1973). *Geologia Applicata alla Ingegneria*. Hoepli, Milano.
- Drury S.A.** (1987). *Image Interpretation in Geology*. Allen & Unwin, Londra.
- Gisotti G., Benedini M.** (2000). *Il dissesto idrogeologico*. Carocci Editore, Roma.
- Gomasasca M.A.** (1997). *Introduzione al telerilevamento e GIS per la gestione delle risorse agricole e ambientali*. CNR, Istituto per la Ricerca sul Rischio Sismico, Reparto Telerilevamento, Milano.
- Gomasasca M.A.** (2004). *Elementi di Geomatica*. Ed. Associazione Italiana di Telerilevamento (AIT).
- Guidi F.** (1972). *La presa fotogrammetrica*. Istituto Geografico Militare, Firenze.
- Guidi F.** (1978). *Fotogrammetria, Fotointerpretazione, Telerilevamento*. Istituto Geografico Militare, Firenze.
- Gupta R.P.** (1991). *Remote Sensing Geology*. Springer Verlag, Berlin.
- Lillesand T.M., Kiefer R.V.** (1979). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Son, New York.
- Mantovani F., Marcolongo B.** (1992). *Fotogeologia – Il telerilevamento nelle Scienze della Terra*. La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- Money D.C.** (1973). *La superficie della Terra. Atlante iconografico di geografia fisica*. Zanichelli, Bologna.
- Panizza M.** (1973). *Elementi di Geomorfologia*. Pitagora Editrice, Bologna.
- Panizza M.** (1988). *Geomorfologia Applicata*. La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- Rossetti M., Doucouso M.** (Edit.) (1970). *Manuel de Photointerprétation*. Editions Technip, Paris.
- Sabins F.F.Jr.** (1978). *Remote Sensing, Principles and Interpretation*. W.H. Freeman & Co., San Francisco.
- Siegal B.S., Gillespie A.R.** (1980). *Remote Sensing in Geology*. John Wiley & Son, New York.
- Strahler A.N.** (1984). *Geografia Fisica*. Piccin, Padova.

- Toniolo A.R.** (1960). *Compendio di Geografia Generale*. Casa editrice G. Principato, Milano, Messina.
- Twidale C.R.** (1975). *Analysis of Landforms*. John Wiley & Son Australasia Pty Ltd, Sidney.
- Vallario A.** (1992). *Frane e territorio*. Liguori Editore, Napoli.
- Von Bandat H.F.** (1962). *Aerogeology*. Gulf Publishing Co., Houston, Texas.
- Way D.S.** (1973). *Terrain Analysis*. Dowden, Hutchinson & Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania.

#### **12.4. Vocabolari e glossari**

- American Geological Institute** (1962). *Glossary of Geology and related sciences*. National Academy of Sciences – National Research Council, Washington, D.C..
- Autori Vari** (1984). *Dizionario di Scienze della Terra*. Rizzoli Editore, Milano.
- Brivio A.P., Zani G.** (1995). *Glossario trilingue di telerilevamento*. AIT, Associazione Italiana di Telerilevamento, Milano.
- Fulvi F.** (1996). *Dizionario di geografia fisica*. Enciclopedia Tascabile Newton n°123, Newton & Compton editori Srl, Roma.
- George P.** (1974). *Dictionnaire de la Géographie*. Presses Universitaires de France, Paris.
- Manzoni M.** (1968). *Dizionario di geologia*. Zanichelli, Bologna.
- Moore W.G.** (1956). *Dizionario geografico*. Aldo Martello Editore, Milano.
- Whitten D.G.A., Brooks J.R.V.** (1978). *Dizionario di Geologia*. Edizione italiana a cura di Gaetani M., Oscar Studio 63, Arnoldo Mondadori Editore, Milano.
- WP/WLI – International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory** (1993b). Multilingual glossary for Landslides. Bi-Tech Publishers, Richmond, British Columbia, Canada. 59 pp.

## 13. APPENDICI

### 13.1. Legenda geomorfologica

La presente legenda, contenente alcune correzioni e modifiche rispetto alla precedente edizione pubblicata nel n° 53 della rivista *// Geologo*, classifica e codifica le varie forme geomorfologiche senza entrare nel merito della loro rappresentazione, lasciando all'operatore tale scelta in funzione degli strumenti software utilizzati e delle risorse economiche disponibili per l'esecuzione della cartografia tematica.

Si ritiene tuttavia essenziale che per ottenere delle rappresentazioni cartografiche accettabili sia necessario tener presenti i seguenti concetti di base.

- Ogni gruppo di forme dovrebbe essere rappresentato con una o al massimo due tonalità caratteristiche di colore.
- La base topografica dovrebbe essere rappresentata in una tonalità di grigio sufficientemente leggibile, per mettere in risalto i colori delle informazioni tematiche e permettere di utilizzare il nero e i colori pieni per la descrizione delle forme.
- La campitura di alcune forme ritenute significative dovrebbe essere riconoscibile indipendentemente dal cromatismo, in modo da favorire la leggibilità anche su copie in bianco e nero.
- La densità delle campiture deve essere opportunamente valutata per evitare di occultare le informazioni della base topografica.
- Le forme tematiche devono essere distinguibili da quelle eventualmente già rappresentate sulla base topografica adottata, in modo da poter discriminare le informazioni contenute nei due diversi documenti.
- Le forme non rappresentabili nelle loro dimensioni reali alla scala di riferimento devono essere segnalate con appropriata simbologia puntuale.
- La rappresentazione delle varie forme morfologiche lineari e puntuali dovrebbe essere attuata utilizzando simbologie standard, reperibili in bibliografia, ricorrendo a simboli di fantasia solo in casi di estrema necessità.

#### GRUPPO 1: FORME DI VERSANTE DOVUTE ALLA GRAVITÀ

##### SOTTOGRUPPO a: forme di denudazione e di accumulo

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
<b>1a.1</b> Orlo di distacco di frana, ciglio di svuotamento o arretramento <sup>26</sup>		✓	
1a.1.1 attivo		✓	
1a.1.2 inattivo		✓	
<b>1a.2</b> Scarpata interessata da caduta di detriti-Orlo di scarpata di degradazione <sup>27</sup>		✓	
<b>1a.3</b> Accumulo di frana di crollo o ribaltamento <sup>28</sup>	✓		✓
<b>1a.4</b> Accumulo di frana di scorrimento <sup>29</sup>			
1a.4.1 attiva	✓		

<sup>26</sup> Non viene attribuita a questa voce alcuna tipologia di frana, attributo proprio delle forme areali.

<sup>27</sup> Rientrano in questa categoria anche le scarpate "attive" per caduta di detriti. Questa voce deve essere utilizzata quando è assente o comunque non è rappresentabile in cartografia una forma di deposito gravitativo riconducibile ad un movimento franoso; vi possono essere quindi forme quali falde o coni di detrito (senza distinzioni granulometriche). Si ponga attenzione alle differenze tra questa forma e la voce "orlo di scarpata" che compare nel Gruppo 2: cambia l'agente geomorfologico dominante.

<sup>28</sup> Per definizione una frana di crollo o ribaltamento non può avere uno stato attivo, tuttavia sarà cura del rilevatore segnalare le aree potenzialmente instabili del versante interessato dal fenomeno o dell'accumulo di frana qualora non sia totalmente stabilizzato.

<sup>29</sup> I termini scivolamento e scorrimento sono da considerarsi sinonimi.

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
1a.4.2 inattiva	✓		
<b>1a.5</b> Accumulo di frana per colamento <sup>30</sup>			
1a.5.1 attiva	✓		
1a.5.2 inattiva	✓		
<b>1a.6</b> Accumulo di frana complessa <sup>31</sup>			
11a.6.1 attiva	✓		
1a.6.2 inattiva	✓		
<b>1a.7</b> Fenomeno gravitativo indifferenziato non cartografabile (possono essere adottate dimensioni del simbolo proporzionali a quelle dell'evento)			✓
1a.7.1 attivo			✓
1a.7.2 inattivo			✓
<b>1a.8</b> Area a franosità diffusa <sup>32</sup>	✓		
<b>1a.9</b> Area interessata da deformazioni plastiche o instabilità per processi gravitativi superficiali <sup>33</sup>	✓		
1a.9.1 soliflusso	✓		✓
1a.9.2 soil creep	✓		
<b>1a.10</b> Area depressa <sup>34</sup>	✓		✓
<b>1a.11</b> Area potenzialmente instabile <sup>35</sup>	✓		✓
<b>1a.12</b> Detrito di versante <sup>36</sup>	✓		
<b>1a.13</b> Ammasso, blocco o insieme di blocchi litoidi in posizione alloctona <sup>37</sup>	✓		✓

#### SOTTOGRUPPO b: elementi connessi alle opere umane

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
<b>1b.1</b> Opera di difesa attiva flessibile		✓	✓
1b.1.1 gabbionata		✓	✓
1b.1.2 rete		✓	✓
1b.1.3 .....			
<b>1b.2</b> Opera di difesa attiva rigida		✓	✓
1b.2.1 muro		✓	✓
1b.2.2 palificata		✓	✓
1b.2.3 .....			
<b>1b.3</b> Opera di drenaggio		✓	✓
1b.3.1 pozzo			✓
1b.3.2 trincea		✓	

<sup>30</sup> Comprende anche le colate per trasporto di massa (*debris-flow* e *mud-flow*). L'eventuale distinzione tra frane caratterizzate da movimenti rapidi o lenti è lasciata alla scelta del rilevatore.

<sup>31</sup> La tipologia "frane complesse" deve essere utilizzata solo nel caso in cui due o più tipologie hanno un'importanza analoga. In questo caso il rilevatore può indicarne le tipologie, mentre nel caso si abbia una tipologia nettamente prevalente è questa a determinarne la classificazione.

<sup>32</sup> Area caratterizzata da alta densità di frane prevalentemente attive e non cartografabili singolarmente.

<sup>33</sup> In un'unica tipologia sono indicate tutte quelle aree in cui vi sono segni evidenti di dissesti gravitativi superficiali sia di stile prettamente plastico sia combinati con altri stili geomeccanici (crolli, deformazione di taglio superficiali, liquefazione), che talora possono essere accompagnati da forme di erosione anche importanti.

<sup>34</sup> Sono incluse in questa tipologia le aree depresse a seguito di collasso gravitativo o le aree in contropendenza con difficoltà di deflusso idrico. Sono escluse le depressioni originate da cause antropiche (subsidenza per emungimenti, crolli di cavità artificiali).

<sup>35</sup> Rappresentano aree che mostrano condizioni ed evidenze morfologiche tali da indicare una possibile instabilità per cambiamenti anche limitati dei valori delle forze in gioco. Geograficamente possono esistere indipendenti o essere sovrapposte, in parte o totalmente, ad altre forme inattive.

<sup>36</sup> Il detrito non ha una definizione granulometria precisa; discriminante è solo l'agente che ne ha determinato l'accumulo, e pertanto il detrito di versante può essere costituito anche solo da argille o sabbie.

<sup>37</sup> Con questa voce si indicano anche porzioni rilevanti di formazioni rocciose coinvolte dal movimento che abbiano mantenuto un assetto unitario.

1b.3.3 .....			
<b>1b.4</b> Opera di difesa passiva		✓	✓
1b.4.1 rete paramassi		✓	✓
1b.4.2 .....			

## GRUPPO 2: FORME FLUVIALI E FORME DI VERSANTE DOVUTE AL DILAVAMENTO

### SOTTOGRUPPO a: forme di erosione

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
<b>2a.1</b> Forra		✓	
<b>2a.2</b> Alveo in approfondimento <sup>38</sup>		✓	
<b>2a.3</b> Incisione, solco da ruscellamento concentrato <sup>39</sup>		✓	
<b>2a.4</b> Vallecola a conca <sup>40</sup>		✓	✓
<b>2a.5</b> Vallecola a fondo piatto		✓	✓
<b>2a.6</b> Area in erosione superficiale per dilavamento prevalentemente diffuso <sup>41</sup>	✓		
2a.6.1 naturale (anomala)	✓		
2a.6.2 antropica (accelerata)	✓		
<b>2a.7</b> Area in erosione profonda per dilavamento prevalentemente concentrato <sup>42</sup>	✓		
2a.7.1 naturale (anomala)	✓		
2a.7.2 antropica (accelerata)	✓		
<b>2a.8</b> Calanco <sup>43</sup>	✓		
<b>2a.9</b> Fenomeno di erosione indifferenziata non cartografabile			✓
<b>2a.10</b> Orlo di scarpata <sup>44</sup>		✓	
<b>2a.11</b> Orlo di terrazzo di origine fluviale <sup>45</sup>		✓	
<b>2a.12</b> Zona golenale	✓		
<b>2a.13</b> Canale di magra	✓	✓	
<b>2a.14</b> Alveo abbandonato, paleoalveo	✓	✓	
2a.14.1 incassato rispetto al piano di campagna	✓	✓	
2a.14.2 traccia sul piano di campagna	✓	✓	
<b>2a.15</b> Area interessata da inondazione <sup>46</sup>	✓		
<b>2a.16</b> Rotta arginale		✓	✓
2a.16.1 localizzata			✓
2a.16.2 distribuita		✓	
<b>2a.17</b> Tracimazione		✓	✓
2a.17.1 localizzata			✓
2a.17.2 distribuita		✓	

<sup>38</sup> Segmento del reticolo di drenaggio permanente che mostra segni "freschi" di approfondimento, anche in depositi se questi sono temporanei.

<sup>39</sup> Incisione dovuta a ruscellamento concentrato che non può essere obliterata facilmente dalle normali lavorazioni o da limitati cambiamenti morfologici locali; interessa generalmente il substrato (*gully erosion*).

<sup>40</sup> Superficie caratterizzata da processi di deposizione e/o colluviamento tali da determinare una forma del fondo peculiare e ben definita, talora creatasi anche per azione antropica; non sono da evidenziare forme che descrivono le condizioni ordinarie nei nostri ambienti (come ad esempio le vallecicole con sezione a V).

<sup>41</sup> Si considerano solo le superfici in erosione in cui non vi sia più equilibrio tra pedogenesi o deposizione e asportazione di sedimento, ed è quindi esclusa l'erosione di base o "geologica"; a questa voce fanno riferimento i fenomeni di *sheet erosion* e *rill erosion*.

<sup>42</sup> A questa voce fanno riferimento i fenomeni di *gully erosion*.

<sup>43</sup> Area in erosione per dilavamento con concentrazione estrema dei fenomeni e degli effetti.

<sup>44</sup> La voce comprende tutte le scarpate legate a condizioni stratigrafico/litologiche, tettoniche e strutturali; dati gli scopi della legenda, questa tipologia di forma si considera legata in prevalenza ad un ambiente geomorfologico caratterizzato da processi di erosione per dilavamento.

<sup>45</sup> Forma legata all'azione fluviale esterna all'alveo attivo.

<sup>46</sup> Indicare l'anno dell'evento e, se noto, il battente d'acqua.

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
<b>2a.18</b> Limite di alveo		✓	
2a.18.1 piena ordinaria (Tempo di ritorno annuale)		✓	
2a.18.2 piena straordinaria (Tempo di ritorno decennale)		✓	
<b>2a.19</b> Tratto spondale soggetto ad erosione laterale <sup>47</sup>		✓	✓
<b>2a.20</b> Frana di sponda	✓	✓	✓
2a.20.1 attiva	✓	✓	✓
2a.20.2 inattiva	✓	✓	✓
<b>2a.21</b> Cascata o salto d'acqua		✓	✓

#### SOTTOGRUPPO b: forme di accumulo

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
<b>2b.1</b> Conoide alluvionale o di deiezione	✓		
2b.1.1 attivo	✓		
2b.1.2 stabilizzato	✓		
<b>2b.2</b> Tratto spondale in avanzamento per deposizione		✓	✓
<b>2b.3</b> Tratto fluviale pensile	✓	✓	
<b>2b.4</b> Barra in alveo	✓		
2b.4.1 attiva	✓		
2b.4.2 inattiva nuda	✓		
2b.4.3 inattiva vegetata	✓		
2b.4.4 inattiva arborata	✓		
<b>2b.5</b> Deposito di esondazione o di rotta	✓		
<b>2b.6</b> Argine naturale	✓	✓	
<b>2b.7</b> Traccia di dosso fluviale	✓	✓	
<b>2b.8</b> Area depressa in pianura alluvionale	✓		
<b>2b.9</b> Depositi di colmata	✓		

#### SOTTOGRUPPO c: elementi connessi alle opere umane

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
<b>2c.1</b> Argine	✓	✓	
2c.1.1 maestro	✓	✓	
2c.1.2 golenale	✓	✓	
<b>2c.2</b> Difesa di sponda		✓	✓
2c.2.1 muro		✓	✓
2c.2.2 muro con funzioni di argine		✓	✓
2c.2.3 gabbionata		✓	✓
2c.2.4 scogliera		✓	✓
2c.2.5 pennello		✓	✓
<b>2c.3</b> Briglia od opera trasversale		✓	✓
2c.3.1 a bocca tarata		✓	✓
2c.3.2 selettiva		✓	✓
<b>2c.4</b> Botte			✓
<b>2c.5</b> Diga		✓	✓
2c.5.1 in terra		✓	✓
2c.5.2 in muratura		✓	✓
2c.5.3 in calcestruzzo		✓	✓
2c.5.4 in scogliera			
<b>2c.6</b> Opera di presa per derivazione			✓
<b>2c.7</b> Opera di immissione o restituzione			✓
<b>2c.8</b> Cassa di esondazione o laminazione (superficie delimitata da argini e opere di presa e restituzione)	✓		
<b>2c.9</b> Ponte <sup>48</sup>		✓	
<b>2c.10</b> Rudere di opere in alveo			✓

<sup>47</sup> Alveo attivo o sponda di alveo attivo in cui l'erosione degli argini è evidente; talora il tratto può essere obliterato dalla simbologia lineare della corona di frana di sponda.

<sup>48</sup> Da indicarsi solo se interagisce con la dinamica fluviale.

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
2c.11 Canale		✓	

### GRUPPO 3: FORME CARSICHE E PSEUDOCARSICHE

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
3.1 Dolina o <i>uvala</i>	✓		✓
3.2 Campo di doline	✓		
3.3 Campi solcati ( <i>karren</i> )	✓		✓
3.4 Pietraia carsica ( <i>griza</i> )	✓		✓
3.5 Bordo di <i>polje</i>		✓	
3.6 Superficie spianata ( <i>ljut</i> )	✓		
3.7 Canyon fluvio-carsico		✓	
3.8 Valle cieca		✓	
3.9 Valle chiusa		✓	
3.10 Valle secca		✓	
3.11 Inghiottitoio			✓
3.12 Ingresso di cavità, grotta o abisso			✓
3.13 Pozzo prevalentemente di crollo	✓		✓
3.14 Bordo di voragine o area di sprofondamento d'origine complessa		✓	

### GRUPPO 4: FORME GLACIALI

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
4.1 Orlo di circo		✓	
4.2 Contropendenza di esarazione			✓
4.3 Laghetto	✓		✓
4.4 Cresta morenica		✓	

### GRUPPO 5: FORME EOLICHE

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
5.1 Cordone dunare	✓	✓	
5.1.1 stabile	✓	✓	
5.1.2 in avanzamento	✓	✓	
5.1.3 in erosione	✓	✓	
5.2 Cresta di duna		✓	
5.3 Depressione interdunale	✓	✓	

### GRUPPO 6: FORME ED ELEMENTI EMERSI DI ORIGINE MARINA, LAGUNARE E LACUSTRE

#### SOTTOGRUPPO a: forme di denudazione e di accumulo

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
6a.1 Costa bassa (spiaggia)		✓	
6a.1.1 in avanzamento		✓	
6a.1.2 in arretramento		✓	
6a.1.3 stabile		✓	
6a.2 Costa alta (falesia o ripa di erosione)		✓	
6a.2.1 alla battigia		✓	
6a.2.2 arretrata		✓	
6a.3 Antica linea di costa <sup>49</sup>		✓	
6a.4 Grotta			✓
6a.5 Faraglione, scoglio isolato			✓

<sup>49</sup> Indicare l'eventuale datazione.

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
<b>6a.6</b> Spianata di abrasione	✓		
6a.6.1 con deposito	✓		
6a.6.2 su roccia	✓		
<b>6a.7</b> Tombolo <sup>50</sup>	✓	✓	
<b>6a.8</b> Stagno, acquitrino, zona palustre, laguna costiera	✓		
6a.8.1 perenne	✓		
6a.8.2 stagionale	✓		
<b>6a.9</b> Deposito di torba	✓		✓
<b>6a.10</b> Bocca lagunare		✓	✓
<b>6a.11</b> Canale lagunare e canale di marea		✓	
<b>6a.12</b> Antico limite di bacino lagunare		✓	

#### SOTTOGRUPPO b: elementi connessi alle opere umane

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
<b>6b.1</b> Opere portuali	✓		✓
<b>6b.2</b> Pontile <sup>51</sup>		✓	✓
<b>6b.3</b> Foce fluviale con sponde banchinate o arginate	✓		✓
<b>6b.4</b> Opera di difesa costiera	✓	✓	✓
6b.4.1 sommersa	✓	✓	✓
6b.4.2 emersa	✓	✓	✓
<b>6b.5</b> Argini di con terminazione, o simili, arretrati rispetto alla linea di riva	✓	✓	
<b>6b.6</b> Aree d'immissione di materiali per ripascimento	✓		

#### GRUPPO 7: FORME VULCANICHE

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
<b>7.1</b> Orlo di cratere		✓	
<b>7.2</b> Cratere	✓		
7.2.1 magmatico	✓		
7.2.2 freatico	✓		
7.2.3 freatomagmatico	✓		
<b>7.3</b> Centro eruttivo			✓
<b>7.4</b> Fessura eruttiva o crepaccio		✓	
<b>7.5</b> Limite di depressione vulcano-tettonica		✓	
<b>7.6</b> Grotta			✓
<b>7.7</b> Cupola lavica	✓		✓
7.7.1 intera	✓		✓
7.7.2 sfondata	✓		✓
<b>7.8</b> Colata lavica	✓		
<b>7.9</b> Colata di lava a blocchi	✓		
<b>7.10</b> Orlo di grande parete		✓	
<b>7.11</b> Dicco o filone	✓		✓
7.11.1 rilevato	✓		✓
7.11.2 depresso	✓		✓
<b>7.12</b> Manifestazione gassosa			✓
7.12.1 ad alta temperatura			✓
7.12.2 a bassa temperatura			✓
<b>7.13</b> Soffione			✓
<b>7.14</b> Paleolagone <sup>52</sup>	✓		✓

<sup>50</sup> Si riferisce al senso più limitato del termine, ovvero ad un cordone litoraneo sormontato da dune che collega un'isola alla costa.

<sup>51</sup> Strutture isolate generalmente non adibite a funzioni portuali.

<sup>52</sup> Cratere freatico sede di un lago termale, prosciugato per abbattimento artificiale della piezometrica.

## GRUPPO 8: FORME ANTROPICHE<sup>53</sup>

Tipo e sottotipo	Poligono	Linea	Punto
<b>8.1</b> Area urbanizzata <sup>54</sup>	✓		
8.1.1 area industriale/commerciale	✓		
8.1.2 area prevalentemente residenziale	✓		
<b>8.2</b> Area in trasformazione <sup>55</sup>	✓		
<b>8.3</b> Area con terrazzamenti agricoli a muretti o gradoni <sup>56</sup>	✓		
8.3.1 integri	✓		
8.3.2 degradati	✓		
<b>8.4</b> Orlo di scarpata artificiale <sup>57</sup>		✓	
8.4.1 integro		✓	
8.4.2 degradato		✓	
<b>8.5</b> Cava o miniera	✓		✓
8.5.1 attiva	✓		✓
8.5.2 abbandonata	✓		✓
8.5.3 ripristinata o recuperata	✓		✓
<b>8.6</b> Discarica	✓		✓
8.6.1 controllata	✓		✓
8.6.2 abusiva o abbandonata	✓		✓
<b>8.7</b> Infrastrutture stradali o ferroviarie <sup>58</sup>	✓	✓	
8.7.1 tracciato in rilevato	✓	✓	
8.7.2 tracciato in trincea	✓	✓	
<b>8.8</b> Accumulo di materiale di riporto	✓		✓
<b>8.9</b> Area in subsidenza	✓		

<sup>53</sup> Forme generate da attività antropiche che interferiscono con quelle tipiche dell'ambiente naturale.

<sup>54</sup> L'area minima per le aree urbanizzate non deve essere inferiore a tre volte l'unità cartografabile minima (~100 mm<sup>2</sup> sulla carta alla scala 1:10.000, pari ad un ettaro sul terreno).

<sup>55</sup> Aree interessate da trasformazioni antropiche temporanee o permanenti, come ad esempio aree di cantiere, movimenti di terra per opere viarie, costruzioni o altro; è possibile specificare dei sottotipi.

<sup>56</sup> Aree ad alta densità di forme singolarmente non cartografabili.

<sup>57</sup> Rientrano in questa voce i tagli stradali, i singoli muretti a secco e ciglioni, o qualsiasi altra scarpata di origine artificiale non diversamente classificabile.

<sup>58</sup> Infrastrutture rilevate o incassate sul piano di campagna in misura tale da costituire barriera o via preferenziale per il deflusso delle acque.

## 13.2. GLOSSARIO

Le parole evidenziate in carattere **normale** si riferiscono a termini geografici o geomorfologici, quelle in carattere **corsivo** a termini o espressioni utilizzate in telerilevamento o in campo informatico.

### A

**Abisso.** Profondo pozzo naturale d'origine carsica.

**Accumulo.** Insieme di materiali o detriti, di pezzatura variabile in funzione delle rocce coinvolte, che costituiscono il corpo di una frana accumulatosi dopo aver percorso un tragitto, più o meno lungo.

**Acquitrino.** Sottile strato d'acqua che ristagna sul terreno, spesso coperto da erbe palustri.

**Agenti endogeni.** Agenti che agiscono dall'interno della terra producendo modificazioni sull'aspetto e sulla struttura della litosfera, dipendenti soprattutto dall'attività vulcanica e sismica.

**Agenti esogeni.** Agenti che agiscono dall'esterno sulla superficie terrestre modificandola attraverso fenomeni chimici, meccanici e termici; i principali sono l'aria atmosferica, la temperatura dell'ambiente, il vento, l'acqua piovana, il gelo, i fiumi, i ghiacciai, il mare e gli organismi viventi.

**Alloctono.** Materiale o unità tettonica proveniente da altri luoghi rispetto al substrato su cui poggia; contrario di *autoctono*.

**Alluvione.** Termine generico usato con diversi significati il più frequente dei quali è sinonimo di *esondazione*; deposito sedimentario depositato per mezzo delle acque continentali.

**Altitudine.** Termine utilizzato per definire l'altezza di un qualsiasi oggetto rispetto al livello del mare; normalmente si riferisce ad oggetti staccati dalla superficie terrestre, come la quota di volo di un aereo o dell'orbita di un satellite.

**Alveo.** Solco, naturale o artificiale, costituito dal letto e definito dagli argini, lungo il quale fluisce un corso d'acqua; nel caso di un corso importante, impostato in pianura alluvionale, è generalmente distinguibile l'*alveo di magra* da quello *a piene rive*, che possono molto differire tra loro per ampiezza.

**Alveo abbandonato.** Corso d'acqua inattivo le cui forme sono relativamente facili da riconoscere per la presenza di elementi morfologici caratteristici (rotture di pendio, reticolo idrografico relitto) e antropici (disposizione della rete viaria, del drenaggio e della tessitura degli appezzamenti agricoli); sono classificabili in base alla loro posizione rispetto al terreno circostante (incassati o situati allo stesso livello del piano di campagna) e all'uso del suolo.

**Alveo in approfondimento.** Tratto di reticolo idrografico caratterizzato da manifestazioni di erosione lineare.

**Alveo o pendio di frana.** Solco sul quale si sono spostati i materiali di frana.

**Ammasso.** Sinonimo di *accumulo di frana*, ma più spesso usato come termine generico per definire un insieme di materiali di varia natura, come discariche, detriti, corpi litoidi disarticolati, ecc.

**Anaclinale.** Corso d'acqua che scorre in senso opposto all'immersione degli strati.

**Analogico.** Termine riferito alla rappresentazione di un fenomeno fisico fatta attraverso una funzione di tipo continuo; normalmente usato in contrapposizione di *discreto* o *digitale*.

**Angolare.** Aggettivo riferito ad un reticolo idrografico controllato da discontinuità strutturali non ortogonali.

**Anulare.** Reticolo idrografico sviluppatosi per erosione selettiva su domi o bacini; è costituito da corsi d'acqua *ortoclinali*, *cataclinali* e *anaclinali*.

**Area in trasformazione.** Superfici interessate da modificazioni antropiche, temporanee o permanenti, che possono essere attribuite a specifiche attività (cantieri e movimenti di terra per edilizia urbana, impianti industriali, reti viarie e tecnologiche, ecc.), o che al momento della loro identificazione non presentano caratteristiche tali che possono definirne le finalità.

**Area urbanizzata.** Superfici edificate o comunque alterate da opere antropiche; possono essere distinte per densità e tipologia di utilizzo (*residenziale, sportivo, industriale, commerciale, ecc.*).

**Argine.** Sponda naturale di un fiume, formatasi per deposito di materiale trasportato durante le alluvioni o per erosione di depositi preesistenti; per contenere le acque di piena e limitare la loro esondazione nei terreni circostanti talora è necessario costruire *argini artificiali*, che in funzione della loro importanza e posizione sono denominati *golenali* o *maestri*.

**Assetto di volo.** Per una piattaforma di osservazione (aereo o satellite) indica l'orientamento angolare rispetto ad un sistema di coordinate di riferimento costituito da una terna di assi cartesiani, con origine nella piattaforma, dove l'asse X è la tangente alla linea di volo o traiettoria, l'asse Z è la verticale, e l'asse Y è la perpendicolare agli altri due.

## B

**Bacino.** Il termine in genere è usato per definire la regione nell'ambito della quale le acque meteoriche e di altra natura affluiscono ad un unico corso d'acqua (*bacino idrografico* o *imbrifero*), ma anche per definire una conca occupata da un lago (*bacino lacustre*), la parte superiore di un bacino idrografico (*bacino montano*), una depressione di origine tettonica (*bacino intramontano*) o carsica, ecc.

**Banda.** Riferito a *banda spettrale*, individua una regione dello spettro elettromagnetico definita da un intervallo continuo di lunghezza d'onda con simile comportamento. *Banda termica*, particolare banda spettrale che si riferisce all'intervallo di lunghezza d'onda compreso tra 7 e 15 micron, detta anche *banda dell'infrarosso termico*.

**Barra.** Accumulo di materiale depositato per trasporto idrico in ambiente continentale e marino; nell'alveo di un corso d'acqua possono formarsi quattro tipi di *barre fluviali*, classificati in base alla loro posizione (*longitudinale, laterale, di flesso* e *di meandro*), caratterizzabili per granulometria e copertura vegetale; la *barra di foce* è costituita da un cordone sabbioso sottomarino che si forma nell'estuario per azione contrapposta della corrente fluviale e delle onde e correnti marine; la *barra litorale* è un cordone sabbioso, talora emergente, che si può formare lungo coste piatte soggette frequentemente alla violenza delle onde.

**Barra di flesso.** Barra fluviale identica a quella longitudinale ma disposta nella zona di flesso tra due meandri contigui.

**Barra di meandro.** Barra fluviale disposta in corrispondenza del lobo di un meandro, la quale può presentare uno o più canali di taglio.

**Barra laterale.** Barra fluviale simile a quella longitudinale ma aderente ad una sponda.

**Barra longitudinale.** Barra fluviale disposta nella parte centrale dell'alveo e con la dimensione maggiore parallela alla direzione del flusso della corrente.

**Barrancos.** Solchi d'erosione stretti e profondi in materiale vulcanico piroclastico.

**Base di ripresa.** Distanza tra i punti, situati sul terreno o nello spazio, dai quali sono eseguite due fotografie per ottenere una ripresa stereoscopica.

**Blocco.** Elemento litoide, isolato e di dimensioni variabili da medie a grandi, derivante dal crollo di una parete rocciosa o inglobato in un accumulo di frana di altro tipo; porzione di crosta terrestre limitata da faglie.

**Bocca.** Foce di fiume o di laguna.

**Briglia.** Opera idraulica costituita da un muro disposto normalmente all'alveo e rinforzato sui fianchi in modo da spingere la corrente verso il centro.

## C

**Calanco.** Particolare forma di erosione che si sviluppa in terreni argillosi, caratterizzata da un'elevata densità di *vallecole* con versanti molto ripidi e separate da creste sottili.

**Caldera.** Depressione vulcanica a geometria circolare formatasi per collasso di una porzione del vulcano a seguito dello svuotamento di camere magmatiche superficiali.

**Camera chiara.** Dispositivo che permette all'occhio di ricevere due immagini sovrapposte, tramite uno specchio semiriflettente, come nel caso della sovrapposizione di una fotografia ad una mappa.

**Camera metrica.** Camera fotografica caratterizzata da un alto grado di correzione delle distorsioni, utilizzata nelle riprese fotogrammetriche poiché le sue caratteristiche sono invariabili e conosciute con una precisione dell'ordine dei centesimi di millimetro.

**Campo di doline.** Superficie caratterizzata dalla presenza di un'elevata densità di *doline*, generalmente di piccole dimensioni.

**Campo solcato o carreggiato.** Tipo di terreno carsico caratterizzato dalla presenza di solchi e crepe, più o meno profondi e paralleli, formati su superfici calcaree inclinate per dissoluzione chimica da parte delle acque meteoriche.

**Canale.** Corso d'acqua creato artificialmente a scopo d'irrigazione, di derivazione, di bonifica, ecc.

**Canale di marea.** Apertura, più o meno stretta, che permette la comunicazione tra una laguna costiera e il mare; attraverso questo canale può fluire l'acqua, verso l'interno della laguna durante l'alta e verso l'esterno durante la bassa marea.

**Canyon.** Valle incassata tra pareti rocciose, più o meno ripide, costituite da litotipi prevalentemente calcarei e con struttura tabulare, di origine fluvio-carsica.

**Carsismo.** Fenomeno di dissoluzione del carbonato di calcio delle rocce ad opera di acque superficiali e sotterranee.

**Carta tematica.** Mappa che rappresenta su una carta topografica di base, qualitativamente e quantitativamente, i fenomeni specifici che costituiscono il tema di una determinata indagine.

**Carta topografica.** Carta sulla quale sono rappresentate in posizione orizzontale e verticale gli elementi caratteristici dell'ambiente, inquadrati in un sistema di riferimento geografico. Le carte topografiche normalmente contengono le curve di livello per rappresentare la morfologia dei rilievi e delle depressioni, e sono classificate a *grande scala* se la rappresentazione è di 1:100.000 o maggiore, a *media scala* se la rappresentazione è compresa tra di 1:100.000 ed 1:1.000.000, e a *piccola scala* se minore di 1:1.000.000.

**Cassa di esondazione o laminazione.** Depressione naturale o artificiale, situata in prossimità di un corso fluviale, attrezzata con opere di presa e restituzione che in caso di piena può essere utilizzata per convogliarvi parte delle acque in modo da ridurre la portata.

**Cataclinale.** Aggettivo riferito ad un corso d'acqua che scorre secondo l'immersione degli strati.

**Cattura.** Fenomeno di diversione del corso di un fiume in un altro.

**Cava.** Area destinata all'attività estrattiva di materiali naturali utili per varie applicazioni; le cave sono distinte in base alla loro attività (*attiva*, *inattiva* o *recuperata*), al metodo di estrazione (*a cielo aperto* o *in galleria*); nelle zone di pianura le cave sono generalmente del tipo *a fossa*, mentre nelle zone collinari e montane il metodo più comunemente adottato è quello *ad anfiteatro*; spesso all'interno o in prossimità dell'area di escavazione di materiali inerti esistono impianti di trattamento, che possono essere discriminati o meno rispetto all'attività principale.

**Cavità.** Vuoto che si può formare a causa del repentino liberarsi dei gas racchiusi nelle lave, o per erosione meccanica o chimica in una roccia sedimentaria.

**Centripeto.** Aggettivo riferito ad un reticolo idrografico caratteristico dei bacini, costituito in prevalenza da corsi d'acqua *cataclinali*.

**Centro eruttivo.** Sinonimo di apparato vulcanico, rappresentabile solo puntualmente per le sue dimensioni non cartografabili.

**Ciglio di svuotamento o arretramento.** Forma lineare originatasi per erosione retrograda alla testata di una valle, molto simile per morfologia ad un orlo di distacco di frana, talvolta difficilmente discriminabili tra loro.

**Circo glaciale.** Forma rotondeggiante e depressa, delimitata da pareti scoscese, situata alla testa di una valle e formata per l'erosione operata da un ghiacciaio.

**Colata.** Massa di lava allo stato fluido emessa da una bocca vulcanica durante un'eruzione, che in genere ha una forma più estesa in lunghezza che in larghezza; lo stesso termine è utilizzato per definire anche la massa lavica nello stato consolidato.

**Colata di detrito.** Forma di trasporto di materiali detritici grossolani, prodotta dall'imbibizione di materiali caratterizzati da basso grado di coesione; definita anche con il termine anglosassone *debris flow*.

**Colata di fango.** Forma localizzata di soliflusso, che si verifica in materiali argillosi qualora siano impregnati di una quantità d'acqua sufficiente a fargli perdere la coesione, conferendogli uno stato plastico; definita anche con il termine anglosassone *mud flow*.

**Colmata.** Processo prodotto artificialmente per bonificare zone depresse soggette a ristagno di acque, in particolare lungo i delta o nei bassopiani costieri.

**Cono di deiezione.** Vedi *conoide alluvionale*.

**Conoide alluvionale.** Accumulo di materiali alluvionali a forma di ventaglio, più o meno inclinato e regolare, con il vertice disposto verso l'alto, che i corsi d'acqua a corrente rapida costruiscono quando sfociano in una pianura o in una vallata aperta; distinguibile in *attivo* o *stabilizzato*.

**Contropendenza.** Zona caratterizzata da pendenza orientata in senso contrario a quello normale; fenomeno che può verificarsi a seguito di erosione, collassi gravitativi, movimenti tettonici, e in corrispondenza della soglia di un circo glaciale per sovraescavazione prodotta dal ghiacciaio.

**Copertura fotografica.** Insieme di fotografie aeree che permette di realizzare un mosaico della zona interessata.

**Copertura stereoscopica.** Insieme di fotografie aeree con un grado di sovrapposizione tale da permettere l'esame stereoscopico di tutta la zona interessata.

**Cordone dunare.** Vedi *duna*.

**Cordone litorale o lido.** Forma di deposito costituita da un banco sabbioso costruito dalla deriva litorale; talvolta i cordoni litorali isolano la parte interna di un golfo creando una laguna (vedi anche *tombolo*).

**Costa.** Zona di contatto tra la terraferma e il mare, che si estende dalla linea di bassa marea fino al limite di influenza delle onde e dell'alta marea verso l'entroterra; le forme litorali si distinguono in *coste alte* o *falesie* e *coste basse* o *spiagge*.

**Cratere.** Forma negativa circolare, dalla quale fuoriescono materie solide, plastiche e gassose di natura vulcanica; in base al tipo di eruzione e ai prodotti generati possono essere distinti crateri *magmatici*, *freatomagmatici* (nel caso d'interazione tra magma ed acque freatiche) o *freatici* (nel caso di esplosioni di vapore senza intervento diretto del magma).

**Crepaccio.** Spaccatura beante che si apre sulla superficie dei ghiacciai, ma il termine è utilizzato anche per definire crepe situate su accumuli di frana.

**Cresta.** Linea congiungente tutti i punti più alti di un rilievo; il termine è quindi comunemente usato per definire la linea che separa due versanti, così come la *cresta di morena* o *di duna*.

**Cresta morenica.** Vedi *cresta* e *morena*.

**Cuesta.** Dorsale asimmetrica sviluppata in corrispondenza di una struttura monoclinale con debole pendenza degli strati.

**Cupola.** Sinonimo di *domo*, il termine ha vari significati; *anticlinale* con asse longitudinale corto, in modo che una sua sezione orizzontale appare quasi circolare; *ammasso di rocce saline* risalite e incuneatesi tra gli strati sovrastanti per fenomeni di diapirismo; *cupola lavica* o *di ristagno* è una massa lavica rimasta ad occupare il cratere vulcanico senza che il magma sia fuoriuscito.

## D

**Deformazione.** Spostamento sull'immagine della posizione relativa di punti rappresentativi del terreno causato dalle variazioni di rilievo dei punti rispetto ad un piano di riferimento misurato lungo una direzione passante per il *nadir*.

**Deformazione plastica.** Deformazione gravitativa più o meno superficiale, tipica di rocce plastiche; contrario di *deformazione rigida*, tipica di rocce competenti.

**Dendritico.** Aggettivo riferito ad un reticolo idrografico organizzato a forma di chioma di albero.

**Densità del reticolo.** Lunghezza cumulativa dei segmenti fluviali per unità di superficie.

**Deposito.** Accumulo di materiali prodotti per sedimentazione da fenomeni naturali.

**Deposito di esondazione.** Vedi *esondazione*.

**Deposito terrigeno.** Accumulo in ambiente marino o lacustre di materiale clastico (ghiaioso, sabbioso e/o argilloso) proveniente dal disfacimento delle terre emerse.

**Depressione.** In generale il termine definisce qualsiasi superficie che si trova ad un livello inferiore a quello delle zone circostanti; è comunemente utilizzato per definire le forme circoscritte e concave, in corrispondenza delle quali esiste una più o meno marcata difficoltà di deflusso delle acque meteoriche, che in genere sono localizzate all'interno d'accumuli di grandi frane e che nel caso specifico rappresentano fenomeni di collasso avvenuti durante o successivamente all'evento per assestamento della massa mobilizzata; il termine è usato anche per definire una depressione tra cordoni di dune (*interdunale*).

**Detrito.** Accumulo di frammenti di diverse dimensioni risultante dalla disgregazione delle rocce ad opera degli agenti esogeni.

**Detrito di versante.** Massa incoerente di frammenti di roccia accumulatisi al piede o sui versanti dei rilievi collinari o montuosi.

**Dicco.** Corpo intrusivo con giacitura discordante e modesto spessore rispetto al suo sviluppo lineare, e distinguibile in *rilevato* o *depresso* rispetto ai terreni circostanti.

**Diedro.** Figura geometrica solida; il termine, per associazione con la sua forma, è spesso utilizzato per indicare un blocco litoide disarticolato e definito da piani di frattura o faglia.

**Diga.** Opera idraulica costruita allo scopo di sbarrare corsi d'acqua per creare verso monte riserve idriche utilizzabili per varie applicazioni o per attenuare la violenza delle piene immagazzinando la parte dell'acqua eccedente le portate ammissibili; possono essere costruite in *calcestruzzo*, *muratura*, *scogliera* o *terra*.

**Digitale.** Aggettivo riferito alla rappresentazione di un fenomeno fisico fatta attraverso una funzione di tipo discreto, cioè mediante numeri; normalmente usato come opposto di *continuo* o *analogico*.

**Discarica.** Aree destinate a deposito ed accumulo di materiali di scarto e rifiuti di varia provenienza; sono classificabili in *controllate* ed *abusive*, per stato d'attività (*attiva*, *inattiva* o *abbandonata*, *temporanea* o *recuperata* per altri scopi), e per tipologia dei materiali conferiti (*urbana*, *industriale*, *mineraria*, ecc.).

**Disfacimento meteorico.** Effetto macroscopico derivante dall'azione combinata della disgregazione meccanica e dell'alterazione chimica.

**Distanza focale.** Distanza misurata lungo l'asse ottico tra il piano focale di un sistema ottico e il centro dello stesso.

**Distorsione.** Modificazione sull'immagine della posizione relativa di punti rappresentativi della scena dovuta al modo di funzionamento dello strumento di ripresa.

**Dolina.** Depressione chiusa di origine carsica di forma più o meno circolare e con dimensioni che possono variare da alcuni decimetri di diametro fino a parecchie centinaia di metri; sono distinguibili in *doline di dissoluzione* e *di crollo*.

**Domo.** Struttura lavica a forma di cupola formatasi per raffreddamento del magma al di sopra del punto di emissione.

**Dosso.** Ammasso di materiali detritici, di origine morenica, alluvionale o marina, che formano un rilievo; il *dosso fluviale* è costituito dal deposito di sedimenti di un corso d'acqua che per vari motivi ha cambiato tracciato o addirittura è scomparso.

**DTM.** Vedi *modello digitale del terreno*.

**Duna.** Deposito di forma collinare costituito da sabbia, che trae origine dall'erosione e dal successivo trasporto e accumulo per opera del vento; sono distinguibili varie forme di dune, dipendenti in gran parte da mutamenti della direzione del vento, e dall'unione di dune isolate si può originare un *cordone dunare*; possono essere classificate in *stabili*, in *avanzamento* o in *erosione*.

## E

**Elaborazione.** Trattamento d'informazioni o dati per mezzo di computer ed altri sistemi.

**Elaborazione di dati.** Applicazione di procedimenti meccanici, elettrici, mediante computer, o altri, per mezzo dei quali i dati vengono trasformati da una forma all'altra.

**Elaborazione di immagini.** Insieme di operazioni effettuate su immagini al fine di evidenziare degli elementi specifici; le operazioni sono basate su metodi di trattamento dell'informazione in campo ottico, statistico e informatico.

**Elemento antropico.** Forma o elemento del paesaggio dovuto all'intervento dell'uomo, rappresentabile con un'area, una linea o un punto alla scala cartografica adottata.

**Elemento areale.** Forma morfologica rappresentabile nelle sue dimensioni reali alla scala cartografica adottata.

**Elemento lineare.** Forma morfologica rappresentabile solo linearmente per le sue ridotte dimensioni trasversali alla scala cartografica adottata.

**Elemento puntuale.** Forma morfologica rappresentabile solo mediante un simbolo per le sue ridotte dimensioni alla scala cartografica adottata.

**Erosione.** Insieme delle azioni esterne che portano alla disgregazione e alla riduzione di un rilievo; riferendosi agli agenti naturali che ne sono responsabili si parla di *erosione eolica* o *corrasione*, di *erosione marina* o *abrasione*, di *erosione glaciale* o *esarazione*, e di *erosione fluviale*; riferendosi all'ambiente dove essa avviene si parla di *erosione continentale* o *litorale*. Per approfondimenti sull'erosione del suolo vedi il testo al paragrafo 8.2.

**Erosione laterale o di sponda.** Attività erosiva svolta dalle acque fluviali lungo una sponda, la quale provoca un arretramento della stessa e talvolta favorisce il verificarsi di frane.

**Esondazione.** Termine utilizzato per indicare lo straripamento delle acque da un alveo fluviale e la superficie coinvolta dalla loro azione; al fenomeno è spesso associata una forma di accumulo dei materiali trasportati (*deposito di esondazione*).

## F

**Faglia.** Frattura della crosta terrestre accompagnata da spostamento di uno dei blocchi; una faglia è definita *verticale* od *obliqua* secondo la posizione del piano di faglia e *orizzontale* quando lo spostamento è avvenuto in tale senso, *normale* quando il piano s'immerge sotto la parte ribassata e *inversa* nel caso contrario.

**Falesia.** Scarpata rocciosa formatasi per azione del mare sulla linea di costa.

**Falso colore.** Rappresentazione di un colore mediante un altro; l'esempio classico è quello di un'immagine multispettrale ottenuta con sensori satellitari nella quale le varie bande vengono codificate con colori diversi da quelli reali.

**Faraglione.** Isoletta o pilastro roccioso isolato, situato in prossimità di una costa alta, prodotto dall'azione erosiva delle onde.

**Fenomeno attivo.** Forma geomorfologica di varia origine che denota la possibilità di evolversi ulteriormente non avendo ancora raggiunto uno stato definitivo o di equilibrio.

**Fenomeno erosivo.** Qualsiasi tipo di forma morfologica dipendente dall'azione di un agente esogeno.

**Fenomeno gravitativo.** Qualsiasi tipo di fenomeno dipendente dall'azione della gravità, in genere corrispondente ad un tipo di frana e come tali rappresentabili e classificabili; nei casi in cui le loro dimensioni obbligano una rappresentazione puntuale, essi possono essere considerati in maniera indifferenziata o distinti con simboli diversi per tipologia e proporzionati alle dimensioni dell'evento.

**Fenomeno inattivo.** Forma geomorfologica di varia origine che ha raggiunto uno stato definitivo, non soggetto ad ulteriore evoluzione o comunque non prevedibile.

**Fessura.** Forma lineare beante che nelle rocce vulcaniche può originarsi per contrazione durante la fase di raffreddamento e consolidamento, e nelle rocce sedimentarie per contrazione dovuta ad essiccamento (*sinclasi*); termine utilizzato anche per indicare fessure eruttive.

**Filone.** Corpo a facce più o meno parallele, costituito da uno o più minerali o da una roccia, incassato in rocce preesistenti e di diversa natura, spesso situato in corrispondenza di fratture o faglie, e distinguibile in *rilevato* o *depresso* rispetto ai terreni circostanti.

**Firma spettrale.** Insieme di misurazioni quantitative, in una o più bande spettrali, necessarie e sufficienti a identificare una superficie o un oggetto; le più comuni caratteristiche misurate per determinare la firma spettrale dei soggetti presenti in una scena sono l'*emissione*, la *riflessione* e la *polarizzazione*.

**Forme carsiche.** Forme di modellamento derivanti da processi di corrosione chimica prodotta dalle acque meteoriche su rocce solubili, quali calcari e dolomie, gessi e depositi salini; sono distinguibili in forme *superficiali* e *sotterranee*.

**Forme convergenti.** Forme del rilievo analoghe per aspetto ma diverse per genesi.

**Forme pseudocarsiche.** Forme simili a quelle carsiche ma originatesi per altri motivi, come nel caso di sprofondamenti di depositi superficiali a seguito del crollo della volta di una cavità carsica verificatosi nei terreni sottostanti.

**Forme strutturali.** Forme del rilievo condizionate da discontinuità strutturali e/o litologiche.

**Forme tettoniche.** Forme del rilievo determinate dall'attività tettonica.

**Fotoarcheologia.** Fotointerpretazione applicata all'archeologia.

**Fotocarta.** *Fotopiano* con aggiunta di segni convenzionali, toponimi e dati altimetrici che lo rendono simile ad una carta topografica.

**Fotogeologia.** Fotointerpretazione applicata alla geologia.

**Fotografia aerea.** Immagine fotografica ottenuta mediante una ripresa nadirale eseguita da un mezzo aereo, e non zenitale come spesso definita erroneamente; vedi *nadir* e *zenit*.

**Fotogrammetria aerea.** Insieme di tecniche per ottenere, mediante l'uso della fotografia aerea, misurazioni attendibili riguardo forma, dimensione e posizione dei soggetti, rispetto ad un sistema di riferimento terrestre.

**Fotointerpretazione.** Tecnica consistente nell'esaminare immagini fotografiche con l'intento di identificare gli oggetti, e valutare il loro significato in rapporto agli altri elementi dell'ambiente circostante.

**Fotopedologia.** Fotointerpretazione applicata alla pedologia.

**Fotopiano.** Mosaico ottenuto dall'assemblaggio di fotografie aeree raddrizzate e portate alla stessa scala sulla base di un reticolo di riferimento.

**Forra.** Profonda incisione a pareti ripide scavata dall'azione erosiva delle acque.

**Frana.** Fenomeno morfologico determinato principalmente dall'azione della gravità, ma dipendente da vari fattori e cause; le frane sono classificate secondo le seguenti tipologie: *di crollo* o *ribaltamento*, *di scorrimento*, *per colamento* e *complessa*; la nomenclatura di una frana di tipo per scorrimento, che in genere presenta forme più complete e caratteristiche, definisce all'interno dell'accumulo di frana: il fronte, ed eventuali *crepe* trasversali, *gradini*, *contropendenze*, *aree depresse* con difficoltà di deflusso delle acque meteoriche; esternamente: *fianco destro* e *sinistro*, *scarpata principale* e *testata*; nella zona sottostante: *superficie di rottura* e *piede*.

**Frana complessa.** Fenomeno gravitativo formatosi a seguito della combinazione di due o più tipologie di frana; in cartografia può essere evidenziato il tipo di movimento prevalente, qualora non assumano pari importanza.

**Frana di crollo o ribaltamento.** Fenomeno gravitativo consistente nel distacco improvviso di ammassi rocciosi da pareti molto acclivi o in aggetto, con conseguente caduta libera e rotolamento dei singoli blocchi; le frane di questo tipo sono generalmente tipiche in rocce a comportamento rigido, ma possono verificarsi anche lungo orli di terrazzi o scarpate costituite da terreni più o meno coerenti per effetto dell'erosione al piede delle stesse.

**Frana di scorrimento o scivolamento.** Fenomeno gravitativo consistente nello scivolamento di materiali rocciosi secondo un piano inclinato; le frane di questo tipo sono distinte in *traslazionale*, se il movimento avviene secondo una superficie piana, generalmente coincidente con una superficie di strato, o *rotazionale*, se il movimento avviene lungo una superficie di taglio di forma concava.

**Frana di sponda.** Fenomeni gravitativi che si possono verificare lungo una ripa fluviale a causa dell'erosione laterale delle acque; generalmente appartengono al tipo di crollo e sono di modesta entità.

**Frana per colamento.** Fenomeno gravitativo caratterizzato da una colata di fango argilloso misto a detrito; questo tipo di frane si verifica su pendii ma più spesso s'impone in corrispondenza di alvei torrentizi, e talora il loro fronte si espande invadendo il fondovalle.

**Franapoggio, assetto a.** Immersione degli strati secondo l'inclinazione del versante; possono verificarsi tre casi a seconda che gli strati siano inclinati meno del pendio, coincidenti con lo stesso, o più inclinati.

**Frana quiescente.** Frana caratterizzata dall'assenza di manifestazioni di instabilità certe, ma che per la freschezza di alcune sue forme fa presumere che potrebbero verificarsi riattivazioni parziali; è preferibile evidenziare le aree ritenute *potenzialmente instabili* piuttosto che classificare erroneamente l'intero fenomeno come *attivo*.

**Franosità diffusa.** Termine utilizzato per indicare un'area interessata ad alta densità di frane, prevalentemente attive, non rappresentabili singolarmente in cartografia.

**Frattura.** Fessura formatasi in una massa rocciosa lungo un piano, senza movimento relativo tra i blocchi, detta anche *litoclasti*.

**Fumarola.** Punto di fuoriuscita di gas vulcanici.

## G

**Gabbionata.** Opera di difesa o di contenimento, costituita da pezzate di materiale litoide contenuto da una struttura esterna realizzata in rete metallica.

**Geomorfologia.** Parte della geografia fisica e della geologia che ha per oggetto lo studio del rilievo terrestre, delle sue forme e modificazioni, della loro evoluzione e delle cause che le determinano.

**Geomorfologia ambientale.** Applicazione della geomorfologia per acquisire informazioni per comprendere le strutture, i materiali ed i processi geologici, al fine di conservare le ricchezze naturali e risolvere problemi di carattere ambientale.

**Geomorfologia applicata.** Applicazione della geomorfologia per acquisire informazioni per comprendere le strutture, i materiali ed i processi geologici, e rispondere ad esigenze analitiche e progettuali dell'ingegneria e di altre scienze.

**Geomorfologia strutturale.** Ramo della geomorfologia nel quale predomina lo studio dell'influenza della costituzione geologica e della struttura tettonica sulle forme del rilievo.

**GIS.** Acronimo di *Geographic Information System*, vedi definizione al paragrafo 11.1.

**Golena.** Porzione di territorio compresa tra l'*alveo di magra* e l'*argine maestro*; si definisce *aperta* quando non ci sono difese tra il fiume e l'argine maestro, *chiusa* quando è difesa da un *argine golenale*.

**Graben.** Depressione strutturale delimitata da faglie dirette.

**Grotta.** Cavità naturale in una parete rocciosa, montana o costiera, o nel sottosuolo, che differisce dalla caverna per il suo maggior sviluppo; si possono formare per fenomeni erosivi d'origine marina, fluviale, glaciale e eolica, ma soprattutto per dissoluzione di origine carsica; con lo stesso termine sono definite cavità di origine vulcanica, più propriamente note come *tunnel lavici*.

## H

**Horst.** Alto strutturale determinato da faglie dirette.

## I

**Immagine.** Qualsiasi rappresentazione di un fenomeno, come una fotografia o le immagini digitali.

**Immagine digitale.** Consiste in un insieme di elementi discreti organizzati per righe e colonne in modo da formare una matrice bidimensionale; ognuno degli elementi (pixel), è descritto da un numero che rappresenta la cella elementare della scena, la cui dimensione influisce sulla riproduzione dei dettagli della stessa ed è determinata dall'altezza del sistema di ripresa e dalle sue caratteristiche costruttive.

**Incoerente.** Aggettivo riferito ad un materiale senza coesione, la cui resistenza è fornita dal solo attrito interno.

**Informazioni a terra.** Informazioni ricavate dai dati di riferimento a terra come supporto per l'interpretazione dei dati telerilevati.

**Infrarosso.** Regione dello spettro elettromagnetico posta oltre il rosso, la cui lunghezza d'onda è compresa tra 0,7 e 15 micron; nel telerilevamento si distingue un *infrarosso vicino*, compreso tra 0,7 e 1,3, *medio*, tra 1,3 e 6, e *lontano* (o *infrarosso termico*) tra 7 e 15 micron circa.

**Infrastruttura.** Qualsiasi opera tecnologica creata dall'uomo; in base alla loro posizione possono essere distinte in *aeree* o *sospese* (elettrorodotti, ponti, teleferiche, ecc.), in *superficiali* (strade, ferrovie, condotte forzate, ecc.), *sepolte* o *sommerse* (cisterne, metanodotti, ecc.); i tracciati stradali e ferroviari possono essere distinti in *rilevato*, *trincea* e *galleria*.

**Inghiottitoio.** Pozzo o voragine naturali che si formano in ambienti calcarei sia per dissoluzione delle rocce che per sprofondamento della volta di cavità carsiche, nei quali si smaltiscono le acque superficiali; i primi sono stretti e sinuosi e sono generalmente impostati su fratture, i secondi sono cilindrici e possono raggiungere dimensioni abbastanza grandi.

**Inondazione.** Piena che provoca lo straripamento delle acque dal letto di un corso fluviale, determinando danni più o meno notevoli nelle zone vicine; sono distinte in *periodiche* o *regolari*, prevedibili, e in *eccezionali*, di più difficile previsione per la concomitanza di un maggiore numero di fattori.

**Instabile.** Aggettivo riferito ad un'area caratterizzata da sintomi erosivi e gravitativi in atto, non ben individuabili e rappresentabili nelle loro singole forme; è definita *potenzialmente instabile* un'area che mostra nel suo insieme condizioni geomorfologiche tali da denotare la possibilità che si verifichino in un prossimo futuro, sia per motivi naturali che antropici, fenomeni di dissesto idrogeologico; nella definizione di questa classe devono essere valutate anche le situazioni esistenti in aree classificate instabili, situate al loro contorno, dove esistono identiche condizioni geostrutturali e ambientali.

## L

**Lacustre.** Aggettivo che si riferisce ai laghi; è utilizzato per definire formazioni geologiche di origine lacustre o più in generale tutto ciò che riguarda questo particolare ambiente.

**Lago.** Raccolta di acqua che occupa un'area depressa estesa e profonda; in base alla loro origine i laghi naturali possono essere classificati in *tettonici*, *di sbarramento* o *di frana*, *glaciali*, *carsici* e *di cratere*.

**Lagone.** Piccolo bacino a forma circolare, colmo di acque piovane o di condensazione, in corrispondenza delle quali si hanno emanazioni di vapori boriferi accompagnati da biossido di carbonio, ammoniaca e vapore acqueo; questi bacini, che prima dello sfruttamento industriale erano utilizzati per l'estrazione del boro, sono in gran parte scomparsi, ma le forme residue permettono di individuare la loro presenza e in tali casi sono definiti con il termine *paleolagone*.

**Laguna.** Distesa d'acqua salmastra separata dal mare per mezzo di un cordone litorale.

**Lahar.** Miscuglio d'acqua e materiale piroclastico, caratterizzato da notevole fluidità che lo rende capace di scorrere con forte velocità lungo le incisioni vallive dei fianchi dei vulcani.

**Linea di costa.** Vedi *costa*.

**Lineazione o lineamento.** Termine fotogeologico per definire forme lineari, di varia lunghezza, alle quali è attribuito un significato strutturale, e di conseguenza esse vengono associate alla presenza di faglie o fratture.

**Livello di base.** Livello sotto il quale non può esplicarsi l'erosione fluviale.

## M

**Meandro.** Sinuosità regolare descritta da un fiume, caratterizzata dall'azione erosiva della riva concava e dal deposito sulla riva convessa.

**Mesa.** Rilievo isolato a superficie sommitale piana, generalmente caratterizzato da strati con giacitura orizzontale.

**Miniera.** Complesso delle opere e delle attrezzature necessarie per lo sfruttamento di un giacimento minerario; possono essere distinte tra *a cielo aperto* e *in galleria*, per tipo di materiale estratto, e in base al loro stato di attività (*attiva* o *abbandonata*).

**Morena.** Insieme di materiali rocciosi, terrosi o limosi trasportati e depositati da un ghiacciaio; secondo la loro posizione sono distinguibili in *morene laterali*, *interne*, *di fondo*, *terminali* o *frontali*.

**Mosaico.** Assemblaggio d'immagini riprese da un aereo o da un satellite, portate alla stessa scala, fatte combaciare e tagliate in modo che le linee di raccordo permettano di ottenere una continuità di rappresentazione della superficie terrestre considerata.

**Multispettrale.** Termine che indica una delle caratteristiche specifiche delle tecniche di telerilevamento e che si riferisce alla capacità dei sistemi di elaborazione e di ripresa, fotografici o a scansione, di raccogliere le radiazioni provenienti dalla scena contemporaneamente in più bande.

**Multitemporale.** Termine che indica una delle caratteristiche specifiche delle tecniche di telerilevamento e che si riferisce alla possibilità dei satelliti di riprendere immagini della stessa zona a intervalli regolari di tempo e nelle stesse condizioni di illuminazione solare; il termine è utilizzato anche come attributo di studi effettuati analizzando coperture fotografiche effettuate in periodi diversi, in modo da confrontare le relative situazioni ambientali in un determinato lasso di tempo.

## N

**Nadir.** Intersezione con la sfera celeste della semiretta verticale condotta per un punto della terra e orientata verso il basso; è l'antipodo dello *zenit*.

**Neck.** Corpo lavico cilindrico emergente rispetto alla topografia circostante, derivato dal raffreddamento del magma nella porzione alta di in condotto e messo a nudo dall'erosione del materiale incassante.

**Nicchia di distacco.** Vedi *orlo di distacco*.

## O

**Opera di contenimento.** Qualsiasi tipo di manufatto realizzato allo scopo di sostenere il peso o contrastare la spinta esercitata da terra o roccia, distinguibili in *attive flessibili* (gabbionate, reti, ecc.), *attive rigide* (muri, palificate, ecc.), e *passive* (reti, paramassi, ecc.).

**Opera di difesa.** Qualsiasi tipo di manufatto realizzato allo scopo di difendere il terreno dall'azione erosiva delle acque fluviali o marine (gabbionate, pennelli scogliere, ecc.).

**Orbita.** Traiettoria descritta da un oggetto spaziale sottomesso alle sole forze gravitazionali e inerziali; nel telerilevamento sono particolarmente interessanti l'*orbita eliosincrona* e l'*orbita equatoriale*: nel primo caso il satellite sorvola un dato punto circa alla stessa ora locale, nel secondo il mezzo orbita con inclinazione nulla rispetto al piano equatoriale della terra.

**Orlo di circo glaciale.** Vedi *circo glaciale*.

**Orlo di cratere.** Vedi *cratere*.

**Orlo di distacco.** Intaccatura del pendio, dal contorno spesso arcuato, che contrassegna il limite della porzione di roccia rimasta in posto da quella franata; detta anche *corona*.

**Orlo di scarpata.** Forma lineare che individua un brusco cambiamento naturale di acclività tra due superfici attigue, che può essere determinato da cambiamenti litologici, da attività erosiva o dalla presenza di piani di faglia; secondo il suo stato di conservazione può essere

definito *integro* o *degradato*; il termine è utilizzato anche per indicare un *orlo di scarpata artificiale*.

**Orlo di terrazzo.** Vedi *terrazzo*.

**Ortoclinale.** Aggettivo riferito ad un corso d'acqua disposto ortogonalmente all'immersione degli strati.

**Ortofotocarta.** *Ortofotopiano* con l'aggiunta d'informazioni, quali toponimi, altimetria, legenda, ecc., che gli conferiscono le caratteristiche di una carta topografica.

**Ortofotografia.** Immagine fotografica con le stesse proprietà di una proiezione ortogonale e ottenuta da una camera metrica, sulla quale le deformazioni dovute all'inclinazione dell'asse di ripresa e/o del rilievo del terreno sono state corrette mediante raddrizzamento.

**Ortofotopiano.** *Fotopiano* ottenuto mediante assemblaggio di *ortofotografie*.

## P

**Paleoalveo.** Antico alveo fluviale la cui esistenza può essere fatta risalire ad epoche remote, spesso non documentate; queste forme presentano le stesse caratteristiche dell'*alveo abbandonato*, ma sono riconoscibili solo mediante l'individuazione e l'interpretazione di deboli tracce residue che in gran parte sono destinate ad essere ulteriormente obliterate o mascherate dagli agenti dinamici superficiali e dalle attività antropiche.

**Paleofrana.** Fenomeno dovuto all'azione della gravità, attribuibile ad epoche molto remote, e spesso originatosi in condizioni climatiche e geografiche molto diverse dalle attuali; caratteristiche comuni a questo tipo di fenomeni sono le grandi dimensioni e la presenza di un evidente controllo tettonico, sia disgiuntivo che plicativo; poiché talora comprendono porzioni di serie della formazione coinvolta che hanno mantenuto un assetto abbastanza regolare, nonostante la loro posizione decisamente alloctona, esse risultano spesso di difficile individuazione sul terreno.

**Paleolagone.** Vedi *lagone*.

**Pancromatico.** Aggettivo riferito ad una pellicola fotografica sensibile a tutti i colori dello spettro.

**Parallelo.** Aggettivo riferito ad un reticolo idrografico caratterizzato da segmenti prevalentemente paralleli.

**Pediment.** Superficie d'erosione debolmente inclinata situata ai piedi di un'area montuosa.

**Pellicola.** L'insieme del supporto, della o delle emulsioni, dello strato antialo, dello strato protettivo, e delle colle che fanno aderire i diversi strati tra loro; esistono vari tipi di pellicole: *bianco e nero* (ortocromatica e pancromatica), *colore*, *infrarosso*, *infrarosso falso colore*.

**Penepiano.** Estesa superficie di erosione sub-orizzontale, corrispondente alla fase finale di un ciclo erosivo.

**Pennato.** Aggettivo riferito ad un reticolo idrografico scarsamente gerarchizzato e caratterizzato da un orientamento preferenziale dei segmenti fluviali dipendente dal pendio regionale.

**Pennello.** Opera di difesa delle sponde fluviali o di spiagge marine, costituita da un argine o barriera che si protende nella corrente in senso obliquo alla stessa.

**Piena.** Fenomeno che si verifica quando il fiume raggiunge una portata notevolmente superiore alla portata ordinaria; esistono diversi gradi di eccezionalità che si misurano in base al *tempo di ritorno*, definibile come l'intervallo medio, computato in numero di anni, con cui un certo tipo di piena si ripresenta; il termine indica anche la massa d'acqua di un fiume nello stato di piena.

**Pietraia.** Zona ricoperta da una spessa coltre di frammenti rocciosi, dovuti al disfacimento delle rocce del substrato o del versante sovrastante; nella *pietraia carsica* (o *griza*) i frammenti rocciosi sono determinati da processi di dissoluzione.

**Plateau vulcanico.** Rilievo tabulare costituito da successioni di colate basaltiche o ignimbritiche.

**Polja.** Depressione chiusa di ambiente carsico più grande e irregolare di una dolina, generalmente impostata in zone fagliate o lungo assi di sinclinali; pare che la loro origine non

dipenda solo dalla dissoluzione di rocce calcaree, ma che siano il prodotto di una evoluzione complessa, determinata anche dalle oscillazioni climatiche.

**Potenzialmente instabile.** Vedi *instabile*.

**Precisione.** Caratteristica associata alla qualità di uno strumento, o di un insieme di misure, che indica il grado di uniformità o di identità di una serie di misurazioni; si esprime in percentuale rispetto al valore della scala.

**Processo gravitativo.** Successione o concomitanza di cause e fattori che hanno determinato il verificarsi di un fenomeno gravitativo.

**Proiezione.** Trasferimento totale o parziale del reticolato geografico dell'ellissoide terrestre su una superficie piana; una proiezione si costruisce mediante procedure analitiche di calcolo e costruzioni geometriche, ma tutti questi procedimenti implicano una deformazione e un errore, e pertanto il tipo di proiezione, e la conseguente deformazione, è scelto in base alle finalità della carta che si vuole realizzare.

## R

**Radar.** Acronimo di *RADIO DETECTION AND RANGING* (rilevamento e misura delle distanze per mezzo di radioelettricità), consistente in una tecnica o apparecchiatura composta da un trasmettitore, un'antenna e un ricevitore che invia impulsi di radiazione elettromagnetica di una determinata lunghezza d'onda, dell'ordine dei centimetri, e raccoglie quelli riflessi dal bersaglio; l'intervallo di tempo che intercorre tra l'emissione dell'impulso e la sua ricezione permette di misurare la distanza tra l'antenna e il bersaglio, e l'analisi dell'intensità della radiazione riflessa permette di ricavare informazioni circa la natura del bersaglio stesso.

**Radiale o centrifugo.** Aggettivo riferito ad un reticolo idrografico caratteristico dei *domi*, costituito in prevalenza da corsi d'acqua *cataclinali*.

**Reggipoggio, assetto a.** Immersione degli strati opposta rispetto all'inclinazione del versante.

**Remote sensing.** Metodo di osservazione e registrazione d'informazioni a distanza.

**Rift-valley.** *Graben* a grande sviluppo longitudinale.

**Rimodellamento di forme d'accumulo.** Evoluzione della forma successivamente alla sua completa realizzazione.

**Rimodellamento di forme d'erosione.** Evoluzione e modificazione di una forma a causa di processi diversi da quelli che la hanno inizialmente modellata.

**Riperto.** Materiale ottenuto mediante escavazione e trasportato dal luogo di origine ad un altro per riempire una depressione o per formare un rilevato; termine utilizzato comunemente anche per indicare un accumulo di materiale non definibile e senza motivo apparente.

**Risoluzione.** Capacità del sistema di ripresa o di misura di distinguere due punti vicini di un'immagine, oppure due livelli di un fenomeno.

**Rotta.** Termine utilizzato per definire l'effetto distruttivo prodotto dalla pressione delle acque di esondazione sugli argini naturali e su quelli artificiali.

## S

**SAR.** Acronimo di *Synthetic Aperture Radar* (radar ad apertura sintetica); radar che utilizza la tecnica dell'antenna sintetica integrando molteplici impulsi riflessi sulla stessa cella di risoluzione a terra e che sfrutta l'effetto Doppler per produrre un film o un nastro magnetico, elaborabili in forma ottica e utilizzabili per produrre un'immagine.

**Scala.** Rapporto tra la distanza su una carta, fotografia o immagine, e la distanza corrispondente sul terreno; si può esprimere graficamente mediante una striscia graduata posta su una mappa o fotografia nella quale sono rappresentate le distanze reali sul terreno, per unità rappresentativa (1 cm = 25.000 cm) o sotto forma di frazione o di rapporto (1/25.000 o 1:25.000).

**Scanner.** Dispositivo che permette di esplorare una scena striscia dopo striscia, combinando il moto d'avanzamento della piattaforma su cui è montato e il moto d'oscillazione o di

rotazione di uno specchio o prisma; l'energia elettromagnetica proveniente dalla scena arriva ai rilevatori che la convertono in un segnale elettrico per ogni striscia esplorata.

**Scarpata.** Ripido pendio lungo un versante, talora sub-verticale o in aggetto, determinato dalla presenza di rocce più competenti o da strutture tettoniche.

**Scarpata di faglia.** Forma tettonica determinata dall'attività di una faglia a rigetto verticale; può essere definita *degradata*, se è stata successivamente modellata dall'erosione, o *polifasica*, se corrispondente ad una successione verticale di scarpate.

**Scogliera.** Opera di difesa di sponde fluviali o coste marine, con funzione di contrastare l'azione erosiva delle acque o delle onde; metodo di costruzione di un tipo di diga.

**Sensore.** Qualsiasi dispositivo che raccoglie l'energia elettromagnetica proveniente dalla scena e la converte in un segnale elettrico che fornisce informazioni relative alla scena stessa.

**SIT.** Acronimo di *Sistema Informativo Territoriale*, vedi *GIS*.

**Soffione.** Getti naturali di vapore acqueo accompagnato da anidride carbonica, ammoniaca, acido solfidrico, acido borico e gas nobili che escono da fratture del terreno ad una temperatura di 120-210°C ed una pressione di 1-6 atmosfere; in corrispondenza dell'emissione si formano piccoli laghetti, localmente denominati *lagoni*.

**Soil creep.** Termine anglosassone comunemente usato per definire movimenti lenti e superficiali che interessano la coltre detritica, sinonimo di *creeping*.

**Solco.** Depressione originata dall'azione erosiva delle acque di *esondazione*; ha una forma simile ad un canale, spesso chiuso ad una o ambedue le estremità e con ristagno di acqua, ma quasi sempre è temporanea perché soggetta ad essere colmata dai depositi di un successivo evento alluvionale.

**Soliflusso.** Scivolamento lento di masse incoerenti di terreno superficiale lungo i versanti collinari e montuosi.

**Spartiacque.** Linea definita da una cresta più o meno elevata che separa versanti appartenenti a *bacini* diversi, detta anche *linea di displuvio*, che talora può essere incerta o indeterminata.

**Spaziocarta.** Raddrizzamento differenziale di immagini da satellite, analoga alla *ortofotocarta* che si ottiene da fotogrammi ripresi da aereo.

**Spiaggia.** *Costa bassa* costituita da sabbia, ghiaia o ciottoli.

**Stabilità.** La condizione di una struttura o di un ammasso di materiale quando sono capaci di sopportare gli sforzi applicati per un lungo periodo di tempo, senza subire alcuna deformazione significativa o movimenti che non siano reversibili con l'eliminazione dello sforzo.

**Stagno.** Specchio d'acqua di modesta estensione e profondità, spesso senza emissario, e occupato da vegetazione palustre affiorante.

**Stereoscopia.** L'arte o la scienza che tratta dell'uso della visione binoculare per ottenere effetti tridimensionali.

**Strisciata.** Zona di terreno rilevata da un sistema di ripresa normalmente parallela alla linea di volo.

**Subsidenza.** Movimento di abbassamento, continuo o per fasi, di una regione o del fondo di un bacino sedimentario a seguito di un accumulo progressivo di grandi spessori di sedimenti; il termine è utilizzato anche per definire movimenti negativi del suolo causati da emungimenti di fluidi liquidi e gassosi o da escavazioni minerarie.

**Superficie spianata.** Estesa superficie d'erosione sub-orizzontale.

**Superficie strutturale.** Superficie morfologica concordante con una discontinuità strutturale.

## T

**Telerilevamento.** Insieme di tecniche, strumenti e mezzi interpretativi che permettono l'acquisizione a distanza di informazioni qualitative e quantitative su fenomeni e oggetti, senza entrare in contatto con loro.

**Terrazzamento agricolo.** Sistemazione di versanti acclivi, talora rocciosi, in modo di creare superfici sub-parallele e livellate utilizzabili per scopi agricoli; i terrazzamenti possono essere

costruiti mediante *muri a secco* e *gradoni* o *ciglioni*, spesso modellati artificialmente sfruttando sistematicamente le eventuale rotture di pendio naturali, e sono classificabili in base alla tipologia costruttiva (opera incerta o filaretto) e al loro stato di conservazione; ai terrazzamenti sono associate numerose opere accessorie per renderli praticabili.

**Terrazzo.** Il termine può avere più significati se associato ad un aggettivo che ne definisce l'origine. Il *terrazzo fluviale* individua una superficie pianeggiante su roccia o su materiali detritici, situata lungo i versanti di una valle; nel primo caso il terrazzo è definito *orografico* e nel secondo *alluvionale*, dei quali possono esistere più ordini dipendenti da movimenti tettonici o da variazioni del livello del mare. I *terrazzi costieri* o *marini* si formano lungo la linea di costa per gli stessi motivi, mentre i *terrazzi glaciali* sono causati dall'incisione operata dai fiumi sui materiali morenici. con il termine *orlo di terrazzo* è definita la linea che separa la superficie pianeggiante da quella sottostante più acclive (vedi anche *orlo di scarpata*).

**Terreno.** Superficie topografica; formazione generica di suolo o di roccia di particolare interesse.

**Tombolo.** Banco sabbioso, costruito dalla deriva litorale, che unisce un'isola alla terraferma.

**Torbiera.** Depressione acquitrinosa o paludosa in cui si forma la torba, consistente in un carbone fossile di origine recente, leggero, spugnoso, ricco d'acqua e con basso potere calorico, formato da un intreccio di fibre e frammenti di vegetali palustri più o meno carbonizzati.

**Tracimazione.** Termine utilizzato per descrivere la fuoriuscita, *localizzata* o *distribuita*, delle acque di piena dall'alveo fluviale o il superamento di opere di difesa senza produrre la loro distruzione.

**Traliccio o graticcio.** Aggettivo riferito ad un reticolo idrografico sviluppato in corrispondenza di strutture monoclinali o a pieghe, costituito da corsi d'acqua *ortoclinali*, *cataclinali* e *anaclinali*.

**Traversapoggio, assetto a.** Immersione degli strati disposta trasversalmente all'inclinazione del pendio.

## U

**Uvala.** Depressione chiusa d'origine carsica formatasi dalla fusione di più doline vicine e quindi caratterizzata da contorni sinuosi.

## V

**Valle chiusa o cieca.** Valle prodotta da erosione fluviale, ma attualmente non percorsa da un corso per una deviazione dello stesso o perché le acque sono assorbite dalle rocce calcaree del fondo.

**Vallecola.** Piccola forma dovuta ad erosione idrica che presenta le stesse caratteristiche di una valle fluviale; in genere la sua sezione trasversale è a "V", ma talvolta sono riconoscibili vallecole *a conca* o *a fondo piatto*, dipendenti soprattutto da fattori litologici e climatici.

**Valle secca o morta.** Valle nella quale il fiume che le percorre in un determinato punto scompare nel sottosuolo attraverso un *inghiottitoio* o *pozzo*, forma tipica di ambiente carsico.

**Ventaglio di esondazione.** Fenomeno spesso associato ad una *rotta* di sponda o arginale, caratterizzato dalla tipica forma che i materiali assumono in fase di deposizione.

**Visione sinottica.** Possibilità di osservare nel medesimo tempo e nelle stesse condizioni oggetti e particolari lontani e distribuiti su aree molto estese.

**Visione stereoscopica.** Impresione della percezione tridimensionale della distanza e profondità, ottenuta osservando due fotografie aeree dello stesso oggetto riprese da punti di presa diversi mediante uno stereoscopio.

**Voragine.** Profonda e ampia cavità sotterranea presente nelle aree carsiche nella quale scompaiono le acque superficiali; vedi *inghiottitoio*.

## Z

**Zenit.** Relativamente ad un punto della terra è l'intersezione con la sfera celeste della verticale passante per il punto stesso; antipodo del *nadir*.

### 13.3. Indirizzi utili per il reperimento di documentazione varia

#### I. Enti cartografici

**Agenzia del Territorio – Direzione Centrale Cartografia, Catasto e Pubblicità Immobiliare**

Largo Leopardi 5, 00185 Roma, tel. 06.47775484/390

[www.agenziaterritorio.it](http://www.agenziaterritorio.it)

**Centro Informazioni Geotopografiche Aeronautiche - CIGA**

Aeroporto militare M. De Bernardi, Pratica di Mare, 00040 Pomezia (RM), tel. 06.91601304

[www.aeronautica.difesa.it/ciga](http://www.aeronautica.difesa.it/ciga)

**Istituto Geografico Militare Italiano - IGMI**

Archivio topocartografico e cartografia preunitaria: Via C. Battisti 10, 50122 Firenze, tel. 0552732239

Produzione cartografica e carte storiche postunitarie: Viale F. Strozzi 10, 50129 Firenze, tel. 055.2732760/64, fax 055.489743

[www.igmi.it](http://www.igmi.it)

[www.igmi.org](http://www.igmi.org)

**Istituto Idrografico della Marina - IIM**

Passo Osservatorio 4, 16134 Genova, tel. 010.2443, fax 010.261400

[www.marina.difesa.it/idro/idrograf.htm](http://www.marina.difesa.it/idro/idrograf.htm)

**Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi Tecnici – APAT (ex Servizio Geologico Nazionale – SGN)**

Via Curtatone 3, 00185 Roma, tel. 06.44442324/4466857, fax 06.4465159

[www.dstn.it/sqn](http://www.dstn.it/sqn)

#### II. Amministrazioni centrali

**Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi Tecnici - APAT**

Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma, tel. 06.50071

[www.apat.it](http://www.apat.it)

[www.sinanet.anpa.it](http://www.sinanet.anpa.it)

**Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura – AGEA (ex AIMA)**

Via Palestro 81, 00185 Roma, tel. 06.49499455/273, fax 06.4958557

Servizio Tecnico: Via Torino 45, 00184 Roma, tel. 06.49499675/49499738, fax 06.49499724

[www.agea.gov.it](http://www.agea.gov.it)

[www.politicheagricole.it](http://www.politicheagricole.it)

**Agenzia Spaziale Italiana - ASI**

Viale Liegi 26, 00198 Roma, tel. 06.85671

[www.asi.it](http://www.asi.it)

**Dipartimento per il Coordinamento della Protezione Civile**

Via Ulpiano 11, 00193 Roma, tel. 06.68201, fax 06.68202360

[www.protezionecivile.it](http://www.protezionecivile.it)

**Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT**

Via Ravà 150, 00142 Roma, tel. 06.59521, fax 06.5943011

[www.istat.it](http://www.istat.it)

**Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio**

Via Cristoforo Colombo 44, 00147 Roma, tel. 06.57221, fax 06.57288513

[www.minambiente.it](http://www.minambiente.it)

**Ministero dell’Economia e delle Finanze - Agenzia del Territorio**

Direzione Centrale Cartografia, Catasto e Pubblicità Immobiliare, Largo Leopardi 5, 00185 Roma, tel. 06 47775484/390

[www.agenziaterritorio.it](http://www.agenziaterritorio.it)

Via Sicilia 162D, 00187 Roma, tel.06. 47619731, fax 06.47611921

[www.dps.tesoro.it](http://www.dps.tesoro.it)

**Ministero delle Politiche Agricole e Forestali**

Via XX Settembre 20, 00187 Roma, tel. 06.46651, fax 06.4742314

[www.politicheagricole.it](http://www.politicheagricole.it)

**Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica**

Viale Trastevere 76/a, 00153 Roma, tel. 06.58491

[www.istruzione.it](http://www.istruzione.it)

**Ministero per i Beni e le Attività Culturali**

Via Baudana Vaccolini Costanza 6, 00153 Roma, tel. 06.5810846/2590/3277

[www.beniculturali.it](http://www.beniculturali.it)

Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione: Via di S. Michele 18, 00153 Roma, tel. 06.585521, fax 06.58332313

[www.iccd.beniculturali.it](http://www.iccd.beniculturali.it)

Ufficio Relazioni con il Pubblico:

[www.bap.beniculturali.it](http://www.bap.beniculturali.it)

**Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale - SIMN**

Via Curtatone 3, 00185 Roma, tel. 06.44442701, fax 06.4957947

[www.dstn.it/simn/index.htm](http://www.dstn.it/simn/index.htm)

**Servizio Sismico Nazionale - SSN**

Via Vitorchiano 4, 00189 Roma, tel. 06.68204307, fax 06.68202877

<http://ssn.protezionecivile.it>

### III. Uffici regionali

**Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana - ARPAT**

Via Porpora 22, 50144 Firenze, tel. 055.32061, fax 055.3206324, numero verde 800.800400

[www.arpato.toscana.it](http://www.arpato.toscana.it)

**Regione Toscana**

Area SIT e Cartografia: Via di Novoli 26, 50127 Firenze, tel. 055.4383873/008/969, fax 055.4383570

[www.regione.toscana.it](http://www.regione.toscana.it)

[www.geografia.toscana.it](http://www.geografia.toscana.it)

[www.rete.toscana.it/sett/sit](http://www.rete.toscana.it/sett/sit)

[www.rete.toscana.it/sett/territorio/carto](http://www.rete.toscana.it/sett/territorio/carto)

[www.rete.toscana.it/sett/sit/](http://www.rete.toscana.it/sett/sit/)

[www.regione.toscana.it/geologia](http://www.regione.toscana.it/geologia)

[www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica](http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica)

Servizio Idrologico Regionale (SIR): Lungarno Pacinotti 49, 56126 Pisa, tel. 050.915311

[www.centrofunzionale.toscana.it](http://www.centrofunzionale.toscana.it)

**Regione Emilia Romagna**

Servizio Sistemi Informativi Geografici: Viale Silvani 4/3, 40127 Bologna, tel. 051.284483/284793/284422/284795, fax 051.284208

[www.regione.emilia-romagna.it](http://www.regione.emilia-romagna.it)

Archivio cartografico: Via dello Scalo 3/2, 40127 Bologna, tel. 051.6493230, fax 051.5280042

<http://archiviocartografico.regione.emilia-romagna.it/>

**Regione Lazio**

Ufficio Cartografico: Via del Giorgione 163, 00147 Roma

Sezione di cartografia ambientale informatizzata: Via del Caravaggio 99, 00147 Roma, tel. 06.51688366

<http://sirio.regione.lazio.it/urbanistica/sit/sitindex.html>

**Regione Liguria**

Servizio Sistemi Informativi – Sportello Cartografico: Piazza Taralli 36, 16121 Genova, tel. 010.5484170, fax 010.5484184

[www.regione.liguria.it](http://www.regione.liguria.it)

<http://ecozero.liguriainrete.it/repertoriocartografico/MenuTot.asp?Pagina=Repertorio>

### **Regione Umbria**

Servizio Informativo Territoriale: Via Mario Angeloni 71, 06100 Perugia, tel. 075.5045909

<http://www.umbriaterritorio.org/umbria/home/>

### **Regione Marche**

Ufficio Cartografia e Informazioni Territoriali: Via Tiziano 44, 60125 Ancona, tel. 071.8063534

<http://cartografia.regione.marche.it/>

## **IV. Siti delle province toscane**

### **Provincia di Arezzo**

Piazza della Libertà 3, tel. 057.53921, fax 057.5392200

[www.provincia.arezzo.it](http://www.provincia.arezzo.it)

<http://geoserver.ar-tel.it/metadata/>

### **Provincia di Firenze**

Via Cavour 9, tel. 055.2760199, fax 055.2654683

[www.provincia.fi.it](http://www.provincia.fi.it)

[www.provincia.fi.it/sit.htm](http://www.provincia.fi.it/sit.htm)

### **Provincia di Grosseto**

Piazza Dante Alighieri 35, tel. 0564.484111, fax 0564.22385

[www.provincia.grosseto.it](http://www.provincia.grosseto.it)

### **Provincia di Livorno**

Via G. Galilei 54, tel. 0586.257111, fax 0586.6257572

[www.provincia.livorno.it](http://www.provincia.livorno.it)

### **Provincia di Lucca**

Palazzo Ducale, Cortile Carrara 1, tel. 0583.4171, fax 0583.417326

[www.provincia.lucca.it](http://www.provincia.lucca.it)

### **Provincia di Massa-Carrara**

Piazza Aranci, tel. 0585.816445, fax 0585.816446

[www.provincia.ms.it](http://www.provincia.ms.it)

[www.provincia.ms.it/Attivita/Cartografia/index.asp](http://www.provincia.ms.it/Attivita/Cartografia/index.asp)

### **Provincia di Pisa**

Piazza Vittorio Emanuele 14, tel. 050.929111, fax 050.502328

[www.provincia.pisa.it](http://www.provincia.pisa.it)

### **Provincia di Pistoia**

Corso Gramsci 110, tel. 057.3374400, fax 057.3374543

[www.provincia.pistoia.it/](http://www.provincia.pistoia.it/)

[http://www.provincia.pistoia.it/RISORSE\\_TERRITORIO/SIT/PTC/Cartografia\\_PTC/CarTE\\_PT\\_C.htm](http://www.provincia.pistoia.it/RISORSE_TERRITORIO/SIT/PTC/Cartografia_PTC/CarTE_PT_C.htm)

### **Provincia di Prato**

Palazzo di Via Pisano 12, tel. 0574.534287/534288, fax 0574.534281

[www.provincia.prato.it](http://www.provincia.prato.it)

[www.provincia.prato.it/servizi/htm/assettot.htm](http://www.provincia.prato.it/servizi/htm/assettot.htm)

### **Provincia di Siena**

Piazza Amendola, tel. 057.7241828, fax 057.7241265

[www.provincia.siena.it](http://www.provincia.siena.it)

[www.provincia.siena.it/default2.asp?cod=02-43-00&Tipo=Sit](http://www.provincia.siena.it/default2.asp?cod=02-43-00&Tipo=Sit)

## **V. Autorità di Bacino**

### **Autorità di Bacino del Fiume Arno**

Via dei Servi 15, 50122 Firenze, tel. 055.26743, fax 055.26743250

[www.arno.autoritadibacino.it](http://www.arno.autoritadibacino.it)

[www.arno.autoritadibacino.it/bacino.html](http://www.arno.autoritadibacino.it/bacino.html)

**Autorità di Bacino del Fiume Fiora**

c/o Genio Civile di Grosseto, Corso Carducci 57, 58100 Grosseto, tel. 0564.436111

<http://www.regione.toscana.it>

**Autorità di Bacino del Fiume Magra**

Via Agostino Paci 2, 19038 Sarzana (SP), tel. 0187.691135, fax 0187.622182

<http://www.autoritadibacino.it/lgv/index.html>

**Autorità di Bacino dei Fiumi Marecchia e Conca**

Via Petruzzi 13, 47100 Rimini, tel. 0541.791878-791894, fax 0541.791886

<http://www.regione.emilia-romagna.it/bacinomarecchiaconca>

**Autorità di Bacino del Fiume Ombrone**

Ufficio regionale tutela del territorio Grosseto-Siena

Corso Carducci 57, 58100 Grosseto, tel. 0564.423711

**Autorità di Bacino del Fiume Po**

Via Garibaldi 75, 43100 Parma, tel.0521.2761, fax 0521.273848

<http://www.adbpo.it/>

**Autorità di Bacino del Fiume Reno**

Viale Silvani 6, 40122 Bologna, tel. 051.284493, fax 051.284719

<http://www.regione.emilia-romagna.it/bacinoreno>

**Autorità di Bacino del Fiume Tevere**

Via Bachelet 12, 00185 Roma, tel. 06.49249255, fax 06.492493000

[www.abtevere.it](http://www.abtevere.it)

**Autorità di Bacino Pilota del Fiume Serchio**

Via Vittorio Veneto 1, 55100 Lucca, tel. 0583.462241, fax 0583.471441

<http://www.serchio-autoritadibacino.it>

**Autorità dei Bacini Regionali Marchigiani**

c/o Servizio LL.PP., Ufficio Difesa del Suolo, Via Palestro 19, 60122 Ancona,

tel. 071.50117328-5011711, fax 071.50117340

<http://www.regione.marche.it>

**Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli**

Piazza Morgagni 2, 47100 Forlì, tel. 0543.378511, fax 0543.378523

<http://www.regione.emilia-romagna.it/baciniromagnoli/>

**Autorità dei Bacini Regionali Toscani**

c/o Regione Toscana, Settore Tutela del Territorio, Via di Novoli 96, 50127 Firenze,

tel. 055.4383902, fax 055.4383063

<http://www.regione.toscana.it>

**Autorità di Bacino "Toscana Costa"**

c/o Genio Civile di Livorno, Via Nardini Despotti Mospignotti 31, 57125 Livorno,

tel. 0586.809560

**Autorità di Bacino "Toscana Nord"**

c/o Genio Civile di Lucca, Via della Quarquonia 5, 55100 Lucca, tel. 0583.430511

## VI. Associazioni e centri d'informazione

**Associazione Italiana di Geografia Fisica e Geomorfologia - AIGEO**

[www.aigeo.it](http://www.aigeo.it)

**Associazione Italiana di Telerilevamento – AIT**

Laboratorio di Fotogeologia e Telerilevamento c/o Scienze della Terra, Università di Cagliari,

Via Trentino 51, 09127 Cagliari, tel. 070.6757735/6757701, fax 070.282236

[www.asita.it/ait](http://www.asita.it/ait)

**Centro Interregionale di Coordinamento e Documentazione per le Informazioni Territoriali - CICDIT**

Via Lucrezio Caro 67, 00193 Roma, tel. 06.32650587/06.32650377, fax 06.32650724

[www.centrointerregionale.it/script/index.asp](http://www.centrointerregionale.it/script/index.asp)

**European Umbrella Organization for Geographic Information - EUROGI**

Apeldoorn, Olanda, tel. 0031.555285749, fax 0031.553557362

[www.eurogi.org](http://www.eurogi.org)

**Ordine dei Geologi della Toscana - OGT**

Via V. Fossombroni 11, 50136 Firenze, tel. 055.2340878, fax 055.2269589

[www.geologitoscana.it](http://www.geologitoscana.it)

**Rete Telematica delle Province Italiane - UPITEL**

[www.upitel.it](http://www.upitel.it)

**Società di Studi Geografici - SSG**

Via San Gallo 10, 50129 Firenze, tel./fax 055.2757956

[www.societastudigeografici.it](http://www.societastudigeografici.it)

**Società Geografica Italiana – SGI**

Via della Navicella 12, 00184 Roma, tel. 06.7008279, fax 06.77079518

[www.societageografica.it](http://www.societageografica.it)

**Società Geologica Italiana – SGI**

Dipartimento Scienze della Terra, Università degli Studi “La Sapienza”, Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma, tel. 06.49593990, fax 06.49914154

<http://www.socgeol.it>

**Società Italiana di Geologia Ambientale - SIGEA**

Casella postale 15244, 00143 Roma

[www.sigea.org](http://www.sigea.org)

**Unione delle Province Italiane - UPI**

Piazza Cardelli 4, 00186 Roma, tel. 06.6873675/6

[www.upinet.it](http://www.upinet.it)

## VII. Istituti universitari e di ricerca

**Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica - CNR-IRPI**

Sede centrale: Via Madonna Alta 126, 06128 Perugia, tel. 075.5014402, fax 075.5014420

<http://www.irpi.cnr.it>

Unità staccata “Pedologia Applicata”: Piazzale delle Cascine 15, 50144 Firenze, tel. 055.360517, fax 055.321148

<http://www.fi.cnr.it/irpi/>

**Area di Ricerca del CNR di Pisa - CNUCE**

Reperto Sistemi Informativi Gruppo Knowledge Engineering and Discovery, Via Moruzzi 1, località San.Cataldo, 56124 Pisa, tel. 050.3152111, fax 050.3138092

[www.cnuce.pi.cnr.it](http://www.cnuce.pi.cnr.it)

**Istituto Agronomico per l’Oltremare - IAO**

Via Valdesi 14, 50131 Firenze, tel. 055.5061560, fax 055.5061501

[www.iao.florence.it](http://www.iao.florence.it)

**Istituto per l’Agrometeorologia e l’Analisi Ambientale applicata all’Agricoltura - IATA**

Piazzale delle Cascine 18, 50144 Firenze tel. 055.354895-6/055.32881,

fax 055.350833/055.332472

[www.area.fi.cnr.it/news/1.98/iata.htm](http://www.area.fi.cnr.it/news/1.98/iata.htm)

**Istituto di Elaborazione dell’Informazione del CNR di Pisa - IEI**

Via Moruzzi 1, località S. Cataldo, 56124 Pisa, tel. 050.3152876/3152878, fax 050.3152810

[www.iei.pi.cnr.it](http://www.iei.pi.cnr.it)

**Laboratorio per la Meteorologia e la Modellistica Ambientale - LaMMA**

c/o CNR-IBIMET, Via Madonna del Piano, edificio D, 50019 Sesto Fiorentino (FI), tel. 055.448301, fax 055.444083

[www.lamma.rete.toscana.it](http://www.lamma.rete.toscana.it)

**Osservatorio Ximeniano – Osservatorio Sismologico e Meteorologico**

Piazza San Lorenzo 6, 50123 Firenze, tel. 055.210420

**Università di Bologna – Dipartimento di Scienze della Terra**

Via Zamboni 33, 40126 Bologna, tel. 051.2099917, fax 051.2099315

[www.unibo.it](http://www.unibo.it)

**Università di Camerino – Dipartimento di Scienze della Terra**

Via del Bastione 1, 62032 Camerino (Macerata), tel. 073.74011, fax 073.7402085  
[www.unicam.it](http://www.unicam.it)

**Università di Ferrara – Dipartimento di Scienze della Terra**

Via Savonarola 9, 44100 Ferrara, tel. 053.2293111, fax 053.2247545  
[www.unife.it](http://www.unife.it)

**Università di Firenze – Dipartimento di Ingegneria Civile**

Laboratorio Dati Territoriali e di Geofisica Applicata: Via Santa Marta 3, 50139 Firenze,  
tel. 055.4796323, fax 055.495333

**Università di Firenze - Dipartimento di Scienze della Terra**

Laboratorio di Geoinformatica e Cartografia Tematica: Via La Pira 4, 50121 Firenze,  
tel. 055.2757483, fax 055.2756242  
<http://steno.geo.unifi.it/index.php>

**Università di Firenze – Dipartimento di Studi Storici e Geografici**

Laboratorio di Geografia – Settore Informatico e Telematico: Palazzo Fenzi-Marucelli,  
Via San Gallo 10, 50129 Firenze, tel. 055.2757904, fax 055.219173  
[www.storia.unifi.it](http://www.storia.unifi.it)

**Università di Firenze – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali Forestali  
DISTAF**

Laboratorio di Geomatica: Via San Bonaventura 11-13, 50145 Firenze, tel. 055.30231200  
[www.geolab.unifi.it](http://www.geolab.unifi.it)

**Università di Pisa – Dipartimento di Scienze della Terra**

Laboratorio di elaborazione automatica di dati geologici di superficie e di sottosuolo:  
Via S. Maria 53, 56126 Pisa, tel. 050.847228/252, fax 050.500932  
[www.dst.unipi.it/penelope/labelabordatigeo.htm](http://www.dst.unipi.it/penelope/labelabordatigeo.htm)

**Università di Modena e Reggio Emilia – Dipartimento di Scienze della Terra**

Via Università 4, 41100 Modena, tel. 059.2056511, fax 059.218661  
[www.unimore.it](http://www.unimore.it)

**Università di Siena – Dipartimento di Scienze della Terra**

Via del Laterino 8, 53100 Siena, tel. 0577.238339, fax 0577.233938  
[www.dst.unisi.it](http://www.dst.unisi.it)

Progetto e-Geo: Via del Laterino 8, 53100 Siena, tel. 0577.233885, fax 0577.233880  
[www.e-geo.unisi.it](http://www.e-geo.unisi.it)

[www.geotecnologie.unisi.it](http://www.geotecnologie.unisi.it)

**Università di Urbino – Dipartimento di Scienze della Terra**

Campus Scientifico-Sogesta, Località Crocicchia, 61029 Urbino, tel. 0722.304272,  
fax 0722.304267  
[www.uniurb.it](http://www.uniurb.it)

## VIII. Dati telerilevati da aereo

**Aeronike - Servizi Aerei**

Via dei Trasvolatori, Aeroporto di Elmas, 09030 Elmas, Cagliari, tel. 070.240335,  
fax 070.240035  
[www.zonanet.com/aeronike/servizi.htm](http://www.zonanet.com/aeronike/servizi.htm)

**Compagnia Generale Ripreseeree SpA - CGR**

Via Cremonese 35/A, 43010 Parma, tel. 0521.994948, fax 0521.992803  
[www.terraitaly.it](http://www.terraitaly.it)

**Impresa Rossi Luigi Srl**

Via Atto Vannucci 7, 50134 Firenze, tel. 055486346/496133, fax 055496133

**Istituto Geografico Militare Italiano - IGMI**

Archivio fotografico delle riprese aerofotogrammetriche parziali dal 1927 al 1953:  
Via C. Battisti 10, 50122 Firenze, tel. 055.2732299  
Ufficio vendite foto aeree posteriori al 1953: Viale F. Strozzi 10, 50129 Firenze,  
tel. 0552732764  
[www.igmi.it](http://www.igmi.it)

[www.igmi.org](http://www.igmi.org)

**Ministero per i Beni e le Attività Culturali - Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione**

Via di S. Michele 18, 00153 Roma, tel. 06.585521, fax 06.58332313, archivio aerofototeca  
tel. 06.58552327

[www.iccd.beniculturali.it](http://www.iccd.beniculturali.it)

**Rossi Srl**

Via San Zeno 42, 25124 Brescia, tel. 030.220068/2479911, fax 030.2421201

<http://www.fotogrametria.it/>

## IX. Dati telerilevati da satellite

**EURIMAGE SpA**

Viale E. D'Onofrio 212, 00155 Roma, tel. 06.406941, fax 06.40694232

[www.eurimage.com](http://www.eurimage.com)

**I. P. T. Srl**

Via Sallustiana 23, 00187 Roma, tel. 06.42041714, fax 06.42041703

[www.iptsat.com](http://www.iptsat.com)

**PLANETEK Italia Srl**

Via Massaua 12, 70123 Bari, tel. 080.5343750, fax 080.5340280

[www.planetek.it](http://www.planetek.it)

**SPOT Image**

5 rue des Satellites, BP 14 359, 31030 Toulouse cedax 4, France, tel. +33(0)562194040, fax  
+33(0)562194011

[www.spotimage.fr/html/](http://www.spotimage.fr/html/)

**TELESPAZIO SpA**

Via Tiburtina 965, 00156 Roma, tel. 06.40791, fax 06.40796202

[www.telespazio.it](http://www.telespazio.it)

## X. Cartografia tematica e dati vari

**Archivio di Stato di Firenze – ASFI**

Viale Giovine Italia 6, 50122 Firenze, tel. 055.263201, fax 055.2341159

<http://www.archiviodistato.firenze.it/>

**Biblioteca Nazionale Centrale – BNCF**

Piazza Cavalleggeri 1, 50122 Firenze, tel. 055.243341/2638293, fax 055.2342482

[www.bncf.firenze.sbn.it](http://www.bncf.firenze.sbn.it)

**Litografica Artistica Cartografica – LAC**

Via del Romito 13r, 50134 Firenze, tel. 055.483557, fax 055.483690

[www.lac-cartografia.it](http://www.lac-cartografia.it)

**MondoGIS Srl**

Rivista sui Sistemi Informativi Geografici: Via E. D'Onofrio 166, 00155 Roma,  
tel. 06.40801106, fax 06.40801123

[www.mondogis.it](http://www.mondogis.it)

Annuario dell'informazione geografica

[www.geoguida.it](http://www.geoguida.it)

Vendita banche dati geografiche, software e applicativi

[www.geoshop.it](http://www.geoshop.it)

**Società Elaborazioni Cartografiche - SELCA**

Via Reginaldo Giuliani 153, 50141 Firenze, tel. 055.4379898, fax 055.431791

[www.selca-cartografie.it](http://www.selca-cartografie.it)