
CAPITOLO 3 - INTERPRETAZIONE DEL TERRITORIO

3.1 - Cartografia tematica: generalità

Per molteplici motivi, le infrastrutture di trasporto sono le opere d'ingegneria civile più strettamente legate al territorio; il loro progetto richiede quindi analisi e documentazioni preventive approfondite sulle caratteristiche e l'assetto dell'area vasta in cui l'opera s'inserisce e della zona più limitata con cui interferisce direttamente; i campi d'interesse sono diversi in ciascuna fase dello sviluppo progettuale, come pure i livelli di dettaglio richiesti ad alcune analisi, a misura che si procede dalla programmazione alla progettazione di dettaglio. In linea generale:

- la funzione delle strade è strumentale all'esercizio delle attività antropiche: il progetto non può prescindere, quindi, da conoscenza ed analisi delle esigenze della mobilità, tanto di quella indotta dalla distribuzione delle origini/destinazioni all'interno dell'area d'influenza, quanto di quella in attraversamento,
- il legame delle opere stradali con la loro area d'impianto è intimo, talchè

la geometria del solido e la stabilità dei manufatti che lo compongono, dipendono dai caratteri morfologici ed evolutivi del sedime; d'altra parte le trasformazioni indotte dall'opera nell'assetto del territorio sono talvolta di tale rilievo da sconvolgere profondamente l'ambiente fisico (stabilità dei versanti, sistema idrogeologico superficiale e profondo, ecc.) e socio-culturale (memoria storica del paesaggio, ecc.)

- il rapporto con l'edificato è non meno rilevante, sia a causa delle possibili interferenze dirette del corpo stradale in progetto con manufatti preesistenti (potenzialmente numerosi per l'ampia estensione dell'area d'impronta), sia per il danno alle costruzioni a margine, riferibile tanto al traffico (immissioni di gas, rumori e polveri nell'atmosfera e di vibrazioni nel suolo) quanto all'esercizio dei cantieri di costruzione (per la non comune massività delle lavorazioni necessarie per realizzare le opere);
- l'impatto sulla continuità territoriale e sull'accessibilità dei suoli serviti direttamente ed indirettamente (che determina forti conseguenze, tanto positive che negative, sui valori immobiliari e sulla capacità dell'area servita di recepire investimenti produttivi) è consistente, Generalmente induce forti reazioni nei soggetti individuali e/o collettivi, che contano di beneficiare degli elementi positivi o temono di subirne le negative conseguenze.

Ai fini della completa e simultanea considerazione delle diverse materie afferenti alle suddette problematiche eterogenee, la prestazione del progettista infrastrutturale richiede informazioni sul territorio sintetiche ed immediate, in relazione alle quali sia in condizioni di assumere oculate e documentate decisioni.

A questo scopo è di enorme ausilio la "cartografia tematica": serie di elaborati nei quali, sullo sfondo di una base topografica (alla scala adeguata al problema sotto osservazione) si evidenzia uno specifico tema o più temi fra loro correlati.

Nella scelta dei campi d'interesse e nella compilazione degli elaborati tematici si esercita la prima funzione di coordinamento del "Responsabile del Progetto": inoltre è affidata alla sua discrezione l'assegnazione dei compiti operativi agli specialisti, competenti per l'analisi e la rappresentazione dei temi selezionati. Successivamente (fasi definitiva ed esecutiva), le carte tematiche vengono utilizzate dagli specialisti (allorchè il tracciato deciso vi sia stato trasferito), per le valutazioni ed i calcoli che a ciascuno di loro competono.

E' frequente il caso in cui, nell'evolversi graduale del processo progettuale, lo stesso tema sia fatto oggetto di cartografia tematica a scala progressivamente più dettagliata: nelle successive puntualizzazioni l'estensione territoriale della carta è più limitata e nel suo ambito vengono registrate tutte le informazioni specifiche acquisite con studi, sopralluoghi ed indagini dirette.

Le carte tematiche vengono solitamente distinte in:

- di base, che riportano informazioni estratte dalla cartografia d'appoggio tramite:
 - sottolineatura simbolica degli elementi relativi al tema sotto

- osservazione;
- eliminazione o oscuramento di altre informazioni fuorvianti (estraneae al tema specifico che s'intende isolare);
 - derivate, che si ottengono per aggiunta, sulla cartografia d'appoggio, di ulteriori informazioni tratte da studi settoriali.

Per ottenere un prodotto di grande espressività, recentemente si va affermando, grazie alla facilità di gestione informatica delle immagini, la pratica di adoperare come base di molte cartografie tematiche il mosaico di foto zenitali o l'ortofotopiano: tali basi sono agevolmente reperibili in commercio (ad esempio presso l'IGM, se è sufficiente adottare piccolo rapporto di scala) o possono essere ricavate dall'aerofotografia eseguita *ad hoc*.

La selezione dei temi oggetto di rappresentazione grafica nella cartografia tematica è, in generale, legata agli scopi che si vogliono conseguire ed alla natura dei principali vincoli del progetto che si desidera evidenziare. I tipi, la varietà, l'accuratezza e la completezza delle informazioni acquisite e trasferite negli elaborati tematici sono indice sintetico probante dell'impegno profuso dal Progettista nello svolgimento della sua prestazione.

Si descrivono nel seguito i temi più frequentemente considerati nella progettazione delle infrastrutture stradali.

3.2 Cartografia di analisi territoriale.

3.2.1 Carta della rete infrastrutturale

L'infrastruttura in progetto si colloca nella rete esistente (articolata in rami interconnessi nei nodi e schematicamente rappresentabile con un grafo), in qualche modo modificandola.

Nei primi gradi del processo di programmazione e progettazione corre l'obbligo di esaminare la rete sotto il profilo funzionale, prima e dopo l'inserimento dell'opera: a questo scopo i diversi elementi costituenti (rami e nodi) debbono essere qualificati per caratteristiche geometriche (plano-altimetriche) e per modi d'uso (flussi di traffico, congestione ecc.)

In una o più carte tematiche (estese ad un ambito territoriale sufficientemente ampio da comprendere tutti i rami che siano presumibilmente influenzati dai mutamenti indotti dall'intervento di progetto) sono evidenziate la rete attuale e quella modificata; la rappresentazione dei rami può essere differenziata (con l'uso colori e/o diversi spessori), in funzione di:

- capacità offerta;
- caratteristiche geometriche e funzionali;
- entità del traffico su intervalli temporali significativi per le esigenze del problema allo studio, eventualmente differenziata (in una serie di carte) per mesi dell'anno, giorni della settimana, ore di punta e di morbida, motivazioni degli spostamenti, ecc.;
- velocità praticate in media, nelle diverse condizioni di esercizio, e sicurezza delle percorrenze.

Le rappresentazioni traducono materiale già disponibile in letteratura e/o in archivi di Enti con diverse competenze territoriali e settoriali, ovvero, in mancanza, i risultati di rilievi campionari diretti.

La consistenza e le caratteristiche geometriche dei rami e dei nodi della rete esistente si desumono in gran parte dal Catasto degli Enti che li gestiscono; qualora si debbano integrare le informazioni disponibili con rilevamenti diretti, è opportuno che questi siano eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nel documento "Modalità di istituzione ed aggiornamento del Catasto delle strade" (D. M. Infrastrutture e Trasporti del 01.06.01). Parimenti si consiglia di programmare le eventuali indagini di traffico in conformità, per modalità e strumenti, alle indicazioni del documento "Sistemi di monitoraggio del traffico-Linee guida per la progettazione" (approvato dal CNR nel 2001).

Una serie di carte derivate di questo gruppo può evidenziare:

- lo stato dell'inquinamento atmosferico indotto nel territorio, all'attualità, dalle emissioni dei veicoli, nelle eventuali condizioni di congestione riscontrate sulla rete;
- il censimento locale dei "punti neri" per la sicurezza della circolazione: sullo schema di rete questa carta indica gli incidenti registratisi in un congruo arco temporale pregresso ed archiviati dalle autorità di vigilanza della circolazione; per ogni collocazione la rappresentazione tematica ne differenzia (con simboli, riferiti ad apposita legenda) tipologia (scontro

frontale, fuoriuscita, ecc.), severità e causa prevalente.

3.2.2 Carte delle emergenze urbanistiche e produttive.

Alcune carte tematiche possono essere dedicate alle preesistenze principali sul territorio, affinché la relazione positiva (vicinanza, connessione ecc.) o negativa (esigenza di conservarne integro il sedime o di tenerne convenientemente discosti) possa agevolmente essere tenuta in considerazione dal progettista.

Un'apposita simbologia (assistita da legenda) qualifica le emergenze censite, secondo le diverse tipologie.

Di norma si costruisce una serie di carte tematiche per rappresentare (a titolo esemplificativo e non esaustivo):

- La distribuzione della popolazione nei diversi agglomerati urbani interessati all'uso dell'infrastruttura di progetto ed eventualmente la sua articolazione per classi di attività (occupati e non, addetti all'agricoltura, all'industria, al terziario, studenti, pensionati, ecc.), per classi di età, per reddito, per indice di motorizzazione, ecc. Oltre il valore attuale dei dati sopra riportati, si ritiene opportuno registrare, in qualche caso, anche le tendenze evolutive (nella stessa o in diversa serie cartografica).
- La collocazione delle residenze e dei servizi urbani ad esse connesse (scuole, ospedali, luoghi di ritrovo e spettacolo, attrezzature di interesse comune, impianti sportivi, ecc.).
- Le attrezzature turistiche (alberghi, ristoranti, ecc.) e le emergenze storico-archeologiche, nonché le zone di particolare interesse paesaggistico e naturalistico (boschi d'alto fusto, zone umide o sorgive o comunque meritevoli di protezione ecologica, paesaggi incontaminati e/o di speciale pregio, ecc.).
- Gli insediamenti industriali, sia isolati che raggruppati in comprensori, e le altre attrezzature produttive.
- L'utilizzazione agricola, con l'eventuale differenziazione delle tipologie di colture, nonché con l'individuazione di aziende unitarie e/o dedite a produzioni pregiate, di aree irrigue e/o attrezzate con serre. Nella stessa rappresentazione possono essere individuate e perimetrare zone di minore rilievo economico (incolte e/o a rocce affioranti, non vegetate o devegetate ecc.).

Un gruppo di elaborati, riferibili alla serie delle emergenze urbanistiche, è normalmente dedicato all'assetto programmatico; comprende:

- le zonizzazioni di piano regolatore, eventualmente composte in mosaico (se l'intervento ha scala sovracomunale);
- le cartografie dei vigenti piani degli Enti istituzionali territoriali e/o con competenza settoriale (regioni, province, comunità montane, consorzi industriali, di bonifica, ecc.);
- la cartografia dei vincoli (parchi protetti, aree a rischio di ritrovamenti archeologici, piani paesaggistici, ecc.);
- la zonizzazione della sensibilità ai rumori.

3.2.3 Carte dei sottoservizi e degli impianti a rete.

Il territorio è sede di una molteplicità di impianti, aerei e sotterranei, che fatalmente interferiscono con le infrastrutture lineari.

La densità di siffatti impianti è strettamente correlata al grado di antropizzazione: è massima nelle aree urbane, più rarefatta nelle aree rurali lontane dai centri abitati.

Essenzialmente le reti di servizi possono essere ricondotte alle seguenti tipologie:

- Cavi per trasporto di energia elettrica ad A.T., M.T., B.T., aerei (appoggiati a piloni di varia altezza e conformazione) o sotterranei (isolati, raffreddati, in bagno d'olio, ecc.).
- Cavi per comunicazioni semplici, multipolari, coassiali o a fibre ottiche, raramente sospesi, ma di norma interrati (talvolta in cavidotti polifori).
- Acquedotti interrati (talvolta in cunicolo di c.a.), costituiti di tubazioni in vari materiali.
- Gasdotti, di norma in tubi d'acciaio interrati.
- Fognature bianche, nere o miste.
- Cunicoli di sottoservizi multifunzionali.

Ove esistenti, prima o poi, la progettazione delle infrastrutture di trasporto deve considerarli: talvolta la loro importanza (strutturale e/o funzionale) è tale da renderli un vincolo non rimovibile per gli stessi tracciati, di cui è indispensabile tenere conto fin dalla fase di progettazione preliminare; quasi sempre le soluzioni progettuali delle infrastrutture urbane, specie sotterranee, vengono governate dalle interferenze con i sottoservizi.

Altre volte la modesta importanza relativa delle reti esistenti rispetto alla nuova infrastruttura induce a non farsi condizionare dall'interferenza ed a preferire l'inserimento nel progetto di una modifica strutturale dei rami incompatibili; nondimeno è necessario, in questo caso, includere le varianti fra le opere fuori sede, al fine anche di tenere conto del relativo onere nelle stime economiche del programma costruttivo.

La cartografia tematica di questa serie deve fornire per ciascun impianto, oltre che indicazioni planimetriche, precisazioni altimetriche (con la registrazione delle quote dei sostegni o nei pozzetti, ovvero con l'inserimento, a margine della carta, dei profili longitudinali delle linee).

L'andamento (almeno quello planimetrico) degli impianti a rete fuori terra esistenti generalmente emerge dai rilievi; per gli interrati l'andamento planimetrico spesso può essere desunto indirettamente, sul rilievo di superficie, dalla collocazione dei pozzetti; almeno nei principali punti d'interferenza e per i rami più condizionanti, s'impone la necessità di procedere ad integrazioni topografiche in campagna o alla consultazione della documentazione in possesso degli Enti proprietari: si completano in tal modo le informazioni cartografiche con elementi sulla consistenza (diametro e materiale costituente le tubazioni, ecc.) e sull'altimetria dei rami.

3.3 Carte dell'idrografia e della stabilità

3.3.1 Il problema idrologico.

La progettazione delle infrastrutture lineari è pesantemente condizionata dall'assetto della rete idrografica superficiale, non solo per l'interferenza diretta dei rami di questa con il solido stradale, ma anche per l'utilizzazione dei corpi idrici quali recapiti dei reflui meteorici, nonché soprattutto per la dipendenza della configurazione del reticolo dalle proprietà geologico-geotecniche dei suoli e per il ruolo che la circolazione superficiale assume nell'evoluzione geomorfologica del territorio.

La distribuzione nel tempo e l'intensità degli eventi meteorici (misurata, di norma in mm/unità di tempo), sono casuali intorno a valori medi, sistematicamente correlati al microclima locale dell'area. L'Idrologia consente, con l'elaborazione statistica dei dati rilevati, di prevedere le caratteristiche degli episodi piovosi che si possono verificare in un determinato bacino, con data probabilità: si perviene, come già illustrato nel paragrafo 2.5, ad una legge matematica (legge di pioggia), che fornisce l'intensità dell'evento più gravoso prevedibile, ad ogni livello di probabilità.

Le portate meteoriche pervenute al suolo in ogni episodio piovoso si suddividono in tre aliquote principali:

- in parte stazionano in superficie o nel soprasuolo (prevalentemente sulla vegetazione e negli strati bassi dell'atmosfera, sotto forma di nebulizzazione): questa aliquota è destinata ad essere restituita per evaporazione;
- in parte s'infiltrano nel sottosuolo, prima umidificando gli strati superficiali, fino a portarli a saturazione, poi defluendo verso le falde sottostanti, attraverso uno spessore trifasico detto di frangia;
- per la parte residua alimentano la circolazione superficiale (fig. 3.3.1).

Quantitativamente la ripartizione fra le suddette tre aliquote è governata dalla natura degli strati superficiali (essenzialmente dalla loro permeabilità), dall'uso del suolo e dalla copertura vegetale, nonché dalle caratteristiche stesse (intensità e durata) dell'evento di pioggia, per la sua capacità di determinare la saturazione della coltre e quindi il rifiuto di ulteriori infiltrazioni

Nel diagramma indicativo di fig 3.3.2 (dovuto a Linsey ed altri-1986) la ripartizione nel corso di un evento, supposto di intensità costante, sono relazionate al decorso del tempo. Nel grafico si distinguono più specificamente i seguenti diversi ricettori:

- soprasuolo: nebulizzazione nell'atmosfera ed invasi sulla vegetazione;
- microaccumuli superficiali;
- umidificazione della coltre, fino alla sua saturazione;
- frangia superficiale: accumulo nella zona trifasica fino al livello freatico;
- falde profonde, freatiche ed in pressione;
- scorrimento superficiale;
- apporto diretto alle vie d'acqua.

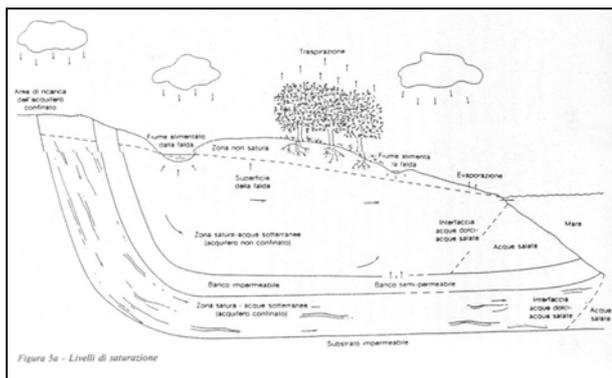


Fig. 3.3.1 Sezione schematica dell'idrologia

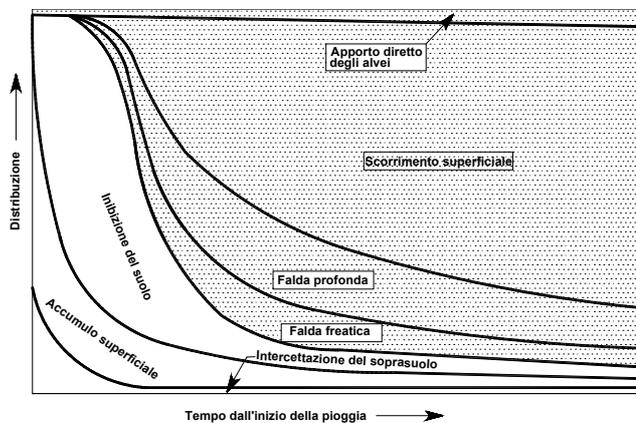


Fig. 3.3.2 Diagramma di Linsley

Nel tempo si determinano interscambi fra alcune delle suddette aliquote:

- in parte, gli accumuli superficiali ed i corpi idrici defluenti alimentano l'infiltrazione e l'evaporazione;
- le acque di falda possono emergere in episodi sorgivi, defluendo poi a pelo libero nella rete idrografica, ovvero sono emunte dagli apparati radicali della vegetazione e consegnate all'atmosfera, sotto forma di umidità (evapotraspirazione);
- l'umidità atmosferica condensa al suolo ed incrementa gli invasi superficiali ed (in parte trascurabile) la circolazione libera.

Complessivamente l'acqua fluente (in superficie ed in profondità) è la causa efficiente principale, nei climi temperati umidi, delle mutazioni morfologiche dei suoli, che si esplicano in tempi tecnicamente significativi:

- a) le acque superficiali producono i loro effetti geomorfici direttamente,

attraverso i fenomeni di erosione e deposizione, ed indirettamente, per i movimenti di masse (frane) che possono attivare attraverso lo sconvolgimento dell'assetto dei pendii;

- b) le acque profonde esercitano azioni fisico-chimiche sui suoli ed effetti geotecnici sui terreni plastici, che parimenti hanno la capacità di turbare gli equilibri di masse.

La conoscenza approfondita del sistema idrografico di un'area è, quindi, premessa indispensabile per scelte progettuali affidabili: i temi coinvolti, che possono essere rappresentati in apposita cartografia, sono molteplici e variabili in funzione delle peculiarità del sedime e del grado di progettazione.

Nel seguito si tratteranno i casi maggiormente ricorrenti nella progettazione delle infrastrutture stradali.

3.3.2 Carte dell'uso del suolo e della copertura vegetale

La copertura del suolo (vegetazione ed *humus*) assume straordinario rilievo nella tendenza geomorfica del territorio.

I versanti naturali sono soggetti, in direzione perpendicolare alla loro superficie, a fenomeni di degrado fisico-chimico originati da:

- variazioni di temperatura dipendenti dallo scambio di calore del suolo con l'atmosfera e dall'assorbimento di radiazioni solari;
- reazioni chimiche di idratazione, ossidazione, carbonatazione, idrolisi, scambio ionico con sali disciolti nell'acqua di infiltrazione, attacco biologico;
- mutamenti delle qualità geotecniche dei terreni per assorbimento di umidità;
- applicazione di spinte idrostatiche e/o di pressioni esercitate da lenti di ghiaccio (quando la temperatura esterna le generi), negli interstizi fra i granuli del terreno o nelle discontinuità delle formazioni rocciose.

In generale il fenomeno di degrado superficiale delle formazioni lapidee presenta la seguente dinamica:

- le escursioni termiche danno luogo ad un gradiente di temperatura nel senso della profondità, che induce coazioni nell'ammasso tanto più intense quanto più esso è elevato; ulteriori coazioni si generano per differenze nel coefficiente puntuale di dilatazione termica delle rocce disomogenee (intrusivo-cristalline, metamorfiche, conglomeratiche ecc.). L'effetto termico è limitato alla coltre di spessore 1÷1,5 mt, suscettibile alle variazioni su base stagionale, ed è rafforzato nella parte esterna, per 20÷30 cm, per l'assorbimento ed il rilascio giornaliero di energia;
- se il materiale di cui è costituito l'ammasso ha comportamento fragile, la coazione può produrre crisi puntuali e fessurazioni. La frequenza delle fratture nel suddetto processo "termoplastico" (quindi la dimensione delle parti che si distaccano) dipende dalla struttura della roccia: si va dalla dissoluzione delle arenarie in sabbie, alla separazione in grossi blocchi delle formazioni di roccia omogenea e compatta;
- nelle microfessure prodottesi per termoclasia penetra l'acqua meteorica, che

vi induce spinte idrostatiche e azioni divaricanti, soprattutto in occasione di cadute di temperatura fino alla glaciazione (processo “crioclastico”); si insinuano inoltre soluzioni aggressive, pulviscolo e radici, che agevolano il procedere della disgregazione, con effetti meccanici, chimici e biochimici (umificazione); al contatto con l’aria, si attivano ulteriori processi chimici sulle superfici neoesposte, a carico dei composti della roccia.

Le formazioni sciolte superficiali ricevono dagli eventi di pioggia, per filtrazione, un contributo di umidità tanto più significativo quanto più prolungata è la permanenza del velo idrico (fluente o stagnante) e quanto più elevata è la loro permeabilità; questa, a sua volta, è legata alla natura geotecnica dei terreni costituenti, al loro stato di addensamento, nonché al grado di saturazione (aliquota dei vuoti intergranulari occupati dalla fase liquida) a cui pervengono.

Ai fenomeni dinamici in direzione normale alle superfici del versante si accompagnano effetti geomorfici paralleli ad esse: nei climi temperati ed umidi gli agenti più influenti su questi ultimi sono la gravità e l’acqua meteorica; nei climi secchi e desertici assume rilievo prevalente il trascinarsi delle correnti eoliche.

I volumi idrici infiltrati in profondità danno luogo ad una circolazione sotterranea, le cui portate risultano decrescenti con la dimensione media dei granuli e con la compattezza del mezzo poroso. Inoltre l’incremento dell’umidità incamerata dagli strati inizialmente non saturi comporta un loro appesantimento (quindi l’incremento delle pressioni litostatiche sugli strati inferiori) e la plasticizzazione dei materiali sensibili contenuti, con caduta della resistenza a taglio; quando poi le vie d’acqua non sono omogeneamente distribuite nell’ammasso, ma seguono percorsi preferenziali, all’interno di strati di maggiore permeabilità confinati, le pressioni idrostatiche sulle pareti impermeabili abbattano le pressioni effettive nei livelli filtranti; ne risulta ridotta ulteriormente la resistenza a taglio e si generano talvolta superfici di distacco di neoformazione.

La pioggia esplica un’azione erosiva superficiale attraverso due meccanismi fra loro concatenati:

a) Le gocce che costituiscono la precipitazione hanno diametri variabili (0,25÷6.00 mm) mediamente crescenti con l’intensità dell’evento; la velocità di caduta, contrastata dall’attrito dell’aria, registra al suolo valori di 2÷9 m/sec (più elevati per le gocce di maggiori dimensioni); ne risulta uno scarico di energia cinetica sulle superfici colpite fortemente crescente in funzione dell’intensità di pioggia (con variabilità nel rapporto da 1 a 10.000).

L’energia scaricata al suolo provoca rottura delle aggregazioni e distacco di particelle (splash).

b) Le portate di pioggia eccedenti la capacità di accumulo nei microbacini e di assorbimento per filtrazione, generano un velo idrico sul terreno, in movimento per effetto delle pendenze; le direzioni e le velocità del deflusso dipendono rispettivamente dalla morfologia e dalla scabrezza della superficie: l’assetto laminare iniziale, con piccoli battenti e basse velocità, conferisce alla corrente scarsa capacità di trascinarsi di

particelle (*interill erosion*); tuttavia, si registra di norma una tendenza alla concentrazione del flusso laminare in direzione di solchi effimeri, nei quali i battenti divengono più consistenti (*rill erosion*); le portate di questi pervengono, infine, ad incisioni permanenti, progressivamente più segnate (*gully erosion*).

- c) La capacità di trascinamento della corrente fluida in ogni sezione idraulica è determinata dallo scarico di pressione sulle superfici esposte delle singole particelle ed è contrastata dall'interazione di queste con i granuli adiacenti (fortemente compromessa per quelle che sono state dislocate dall'azione impulsiva delle gocce): risulta in definitiva funzione dell'entità delle forze intergranulari e della velocità del flusso al contatto, esaurendosi quando tale velocità scali sotto un valore di soglia, proporzionale alla dimensione ed al peso specifico dei granuli.

La vegetazione esercita un ruolo fondamentale nella maggior parte dei meccanismi erosivi sopra descritti:

- 1) Protegge la superficie del suolo dell'irraggiamento solare, nonché dall'assorbimento di energia termica dall'atmosfera (grazie al grado di umidità indotto nella coltre): in definitiva è uno scudo per gli effetti termoclastici.
- 2) Assorbe su di sé l'energia delle gocce, riducendo drasticamente l'impulso diretto di queste: a tale scopo sono particolarmente efficaci le essenze a basso fusto (erbacee ed arbustive), mentre quelle arboree (specialmente se a larga foglia non caduca ed a chioma ampia) prima raccolgono le gocce, ma poi, con il successivo rilascio da considerevole altezza dell'esuberato della loro capacità di invaso, generano esse stesse danni al terreno sottostante.

Anche il materiale vegetale rilasciato nel ciclo biologico (parti morte) costituisce un cuscinetto protettivo per il suolo nei confronti dell'azione dinamica delle gocce ed accresce il contenuto organico dell'*humus*, che è un collante benefico per la resistenza all'energia scaricata.

- 3) Cede all'atmosfera l'umidità drenata dall'apparato radicale, attraverso il meccanismo biologico denominato evapo-traspirazione: l'acqua emunta dalle radici per pressione osmotica, che risulti esuberante per le esigenze della sintesi clorofilliana, evapora nelle correnti d'aria che attraversano il fogliame; la sua sottrazione all'umidità del terreno rende disponibili capacità per successivi assorbimenti.

Le quantità in gioco in tale processo possono essere molto elevate, in ragione della natura e della densità delle essenze (per alcune coltivazioni intensive, fino a 1000 mm di altezza di pioggia nel ciclo annuale); lo spessore di terreno coinvolto dipende dalle caratteristiche dell'apparato radicale, ma può raggiungere nei casi limite anche 30 m di profondità.

Anche la porosità, generata dalla dissoluzione delle radici morte, esercita un concomitante beneficio, per l'incremento indotto nella capacità di assorbimento idrico del suolo.

- 4) Irrobustisce meccanicamente gli strati superficiali con l'infiltrazione delle radici, che giungono talvolta (per alcune essenze) a formare una tessitura, con funzione di armatura del suolo.

- 5) Costituisce un ostacolo al deflusso del velo idrico, riducendone la velocità (quindi la capacità erosiva); determina inoltre irregolarità morfologiche della superficie, benefiche sia per l'incremento della capacità di microinvaso (che accresce l'aliquota delle portate di pioggia destinata all'evaporazione o all'infiltrazione) sia per il contenimento delle velocità del flusso.

Per tutti i motivi esposti il rilevamento della potenza dello strato di *humus* e dell'estensione del ricoprimento vegetale, nonché la definizione della sua tipologia e stato vegetativo, sono elementi essenziali per la previsione delle tendenze morfoevolutive del territorio

Nelle zone in cui affiorino strati di roccia lapidea, la copertura (anche parziale) con terreni sciolti o (meglio) con coltri umificate e la presenza di vegetazione di qualsivoglia natura, agiscono da protezione anti-termoclastica della formazione sottostante, ma concorrono di contro all'azione di disaggregazione fisica e biochimica

Per altro verso l'attecchimento fra i blocchi rocciosi di specie vegetali d'alto fusto ed il loro florido stato vegetativo denunciano la presenza di fenditure dimensionalmente rilevanti (nelle quali siano riusciti ad insinuarsi gli apparati radicali) e/o l'accumulo di acqua, in misura sufficiente per la loro irrorazione: il rilievo delle ricorrenze geometriche nella collocazione dei soggetti arborei, della tipologia botanica e della floridezza del ricoprimento vegetale, spontaneo o agricolo, consentono frequentemente di valutare in modo attendibile i seguenti indizi (a titolo esemplificativo, non esaustivo):

- Individuazione e collocazione, nel corpo di affioramenti rocciosi, di fratture, fenditure, faglie, zone frammentate ed accumuli idrici.
- Classificazione geologico-geotecnica dei terreni; le informazioni valgono almeno in senso comparativo, per la delimitazione dei diversi affioramenti.
- "Coefficiente di deflusso", corrispondente alla frazione di portata meteorica defluente in superficie e rappresentativo della capacità d'invaso nel soprasuolo, nonché della permeabilità e porosità delle coltri affioranti.
- Entità dello scorrimento e tendenza all'erosione superficiale: questa infatti dà luogo alla devegetazione e sconsiglia lo sfruttamento agricolo dei fondi.
- Distribuzione dei flussi idrogeologici, attraverso la localizzazione dei fenomeni sorgivi (che in generale si accompagnano alla presenza di specie spontanee palustri), sia naturali (con correlativa individuazione dell'emergenza di strati permeabili), sia guidati (ad esempio all'interno del volume decompresso dei piani di scorrimento delle frane).

Le carte tematiche dell'uso del suolo e della copertura vegetale sono rappresentazioni dell'esito di siffatta indagine, commisurate, per scala ed estensione, al problema in esame ed al grado di progettazione che supportano: offrono una visione sintetica per l'interpretazione geologica e geomorfologica.

- 1) Una particolare carta dell'uso del suolo, utilissima per alcune applicazioni, registra la microtessitura superficiale, particolarmente del "coltivo" su pendici acclivi, consente la stima dell'entità dei microbacini nei quali sono trattenute notevoli quantità di pioggia, sottratte alla circolazione superficiale e successivamente destinate all'evaporazione o

all'infiltrazione: la capacità di accumulo è massima per solcature con andamento corrispondente alle curve di livello, minima per pettinatura secondo le massime pendenze.

- 2) Per altri scopi è utile la carta del grado di urbanizzazione, in cui si registra l'estensione del territorio impermeabilizzato da interventi antropici, le cui acque reflue sono destinate al sistema idraulico superficiale di raccolta e smaltimento: il massimo contributo quantitativo all'urbanizzazione (spregiativamente indicata talvolta come "cementificazione del territorio"), è fornito dalle infrastrutture di trasporto, urbane ed extraurbane.
- 3) In territori extraurbani caratterizzati da un elevato grado di naturalità e da pregio ecologico, l'area vasta e meritevole di un approfondimento in questo settore, da riassumersi in carte dell'assetto biologico-naturalistico. Si citano esemplificativamente i seguenti campi d'indagine:
 - Censimento dei tipi vegetazionali presenti nell'area (particolarmente quelli autoctoni);
 - Accertamento della distanza intercorrente fra vegetazione reale e potenziale;
 - Valutazione dell'influenza dei fattori pedologici e geomorfici (es. acclività ed esposizione dei versanti) limitanti il recupero spontaneo della naturalità;
 - Rilievo dell'ubicazione di eventuali biotipi protetti e/o di pregio;
 - Qualità e popolamento degli ecosistemi acquatici;
 - Ricerca ed ubicazione di eventuali barriere, naturali o antropiche, per la libera circolazione della fauna terrestre ed acquatica;
 - Individuazione e perimetrazione delle aree occupate dalle unità ecosistemiche;
 - Stima dell'eterogeneità e/o della complessità ed integrazione delle unità ecosistemiche;
 - Valutazione dell'influenza di incendiabilità, erodibilità superficiale e stabilità geologica sugli esiti pedologici;
 - Determinazione di parametri di complessità dell'ecotessuto.

Tabella 3.1 Scala di naturalità di Ubaldi

Grado di naturalità		Caratteristiche
1	Nulla o bassa	Colture agrarie di ampia estensione. Aree urbanizzate o prevalentemente impegnate da edilizia sparsa o estensiva
2	Debole	Colture agrarie di estensione ridottanel complesso di. - pascoli e prati da fieno permanenti; - castagneti regolarmente curati; - estesi rimboschimenti e fustaie colturali di specie alloctone; - colture agrarie di recente abbandono.
3	Media	Praterie cespugliate e cespuglietti derivanti da regressioni di vegetazione forestale (con copertura residua < 30 %, ovvero da stadi di ripresa (anche in seguito a precorsi incendi, di cui si sia persa la traccia evidente)
4	Medio-alta	Boschi, cespuglietti e praterie
5	Massima o indisturbata	

Lo studio di area vasta può essere sintetizzato in una carta generale di sintesi in cui le aree sono distinte secondo la scala di naturalità di Ubaldi, riportata nella tabella 3.1

3.3.3 Carte della rete idrografica.

Come già esposto al paragrafo precedente, le portate defluenti sul suolo (*overland flow*) assumono inizialmente la forma di velo continuo in moto laminare; per altezze d'acqua crescenti e pendenze elevate, il regime idraulico nei veli diviene ben presto turbolento ed esercita sulle particelle di terreno con cui viene a contatto un'azione di trascinamento molto più energica: il flusso tende ad una progressiva concentrazione in vie d'acqua, inizialmente effimere ed altamente mobili, poi segnate con maggiore profondità e stabilità sulla morfologia superficiale; infine converge nella rete idrografica.

Ulteriori portate, già appartenenti alla circolazione profonda, affiorano laddove la superficie piezometrica intersechi la topografia del terreno (sorgenti); queste alimentano la circolazione superficiale, anche in assenza di eventi meteorici e/o in ritardo rispetto ad essi di un periodo dipendente dalla lunghezza dei percorsi sotterranei e dalla permeabilità dei suoli attraversati.

Le portate (volumi nell'unità di tempo) che attraversano le sezioni del reticolo idrografico sono ampiamente variabili nel tempo, fra:

- un valore di magra, che nelle aste a carattere torrentizio è nullo, in quelle a regime permanente è corrispondente agli apporti delle sorgenti e/o della liquefazione di neve e ghiacci;
- uno di piena, temporalmente relazionato all'evento di pioggia più consistente che investe il bacino stesso ed al suo coefficiente medio di deflusso.

Inoltre, all'entità delle portate ed alla loro distribuzione temporale concorrono i tempi di corrivazione (intervalli temporali intercorrenti fra l'impatto della goccia al suolo ed il suo arrivo nella sezione considerata).

La stima di coefficienti di deflusso e tempi di corrivazione, ai fini dei calcoli idrologico-idraulici, può essere ragionatamente ricavata dalla cartografia tematica di cui al paragrafo precedente; le previsioni quantitative delle portate, indispensabili per la risoluzione di molte problematiche del progetto delle infrastrutture di trasporto, valicano i confini della presente trattazione e sono, di norma, oggetto di consulenza specialistica.

Il deflusso nella rete idraulica superficiale è il principale responsabile delle maggiori modificazioni morfologiche del territorio, sia per il contributo diretto che il trasporto solido fornisce all'erosione delle creste ed al riempimento delle valli, sia per l'instabilizzazione dei pendii ed i conseguenti movimenti di masse che l'escavazione degli alvei produce.

Le particelle di terreno rimosse dalle pareti e dal fondo degli alvei ad opera delle correnti idriche o apportate dal flusso che le alimenta si muovono o in sospensione o in trascinamento lungo il fondo: per effetto dei moti vorticosi e della tendenza a cadere di ciascun elemento (dal peso specifico di norma maggiore di quello dell'acqua) si verifica un continuo interscambio fra le due suddette aliquote; nondimeno nei settori delle aste ove, per riduzione

della pendenza di fondo e/o per allargamento della sezione idraulica, la velocità del flusso si riduce (con essa l'energia di trasporto) le particelle tendono a depositarsi progressivamente sul fondo, a partire dalle più grossolane e/o più pesanti.

Erosione e deposizione si possono alternare nello stesso settore delle aste in tempi diversi, in dipendenza del regime idraulico (quindi della portata istantanea); in linea di massima l'alternanza, su periodi sufficientemente lunghi:

- nei corsi medi delle aste determina un sostanziale equilibrio;
- nel settore montano residua una prevalenza dell'erosione, a causa delle maggiori pendenze in gioco e nonostante le minori portate e la maggiore resistenza media delle formazioni attraversate;
- nel settore vallivo registra la prevalenza del deposito, poiché l'effetto delle minori pendenze di fondo e della maggiore ampiezza dell'alveo sulla velocità della corrente risulta dominante su quello della maggiore portata e della più debole resistenza alle erosioni (di norma offerta dalle formazioni attraversate).

La tendenza morfoevolutiva globale del territorio è di abbassamento delle cime e riempimento delle valli (fig. 3.3.3): in effetti le aree geologiche di più antica formazione, che non siano soggette ad importanti fenomeni tettonici di sollevamento, si presentano pianeggianti; parimenti le zone caratterizzate da affioramenti sensibili all'azione erosiva (quale in larga parte è l'Appennino) si mostrano con profili morbidi, talvolta punteggiati di emergenze di consistenza lapidea (denudati dall'erosione circostante), su cui si arroccano gli antichi borghi che ne sfruttano la stabilità.

Invero, nelle zone in cui prevalgano in superficie formazioni sciolte a matrice limosa, al fenomeno di modellamento concorrono anche altri movimenti lenti di diversa origine: *creep* superficiale e soliflusso (denominati complessivamente "del regolite", poiché non sempre è possibile discernerne il contributo al modellamento dei versanti). Trattasi di moti gravitativi lenti, legati il primo ai cicli di imbibizione/essiccazione delle coltri, il secondo al movimento viscoso lento dei materiali saturati dello strato superficiale.



fig. 3.3.3 Evoluzione del profilo dei versanti per erosione diffusa e regolite: a) con deposizione al piede; b) con asportazione del cumulo.

La prevalenza degli effetti del *creep* superficiale e del soliflusso è denunciata, particolarmente per i versanti denudati e/o scarsamente vegetati ed incolti, dalle conformazioni tipiche di fig. 3.3.4.

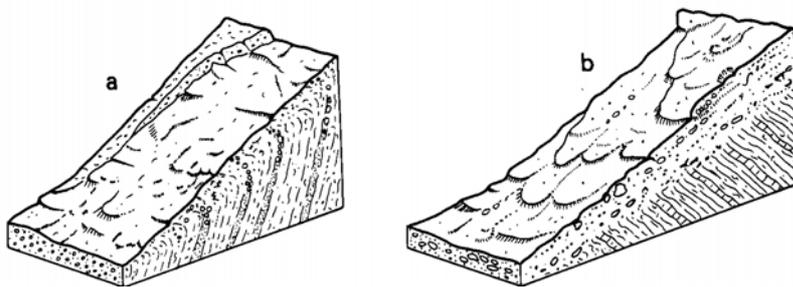


Fig. 3.3.4 Movimenti del regolite: a) *soil creep*, b) soliflusso a lobi.

Le esigenze tecniche della progettazione infrastrutturale, che si deve confrontare con l'orizzonte temporale della vita economica dell'opera, consentono di focalizzare ai soli fenomeni in atto l'interesse per l'analisi delle capacità geomorfiche di un'asta nel suo bacino.

Un bacino, quindi, si classifica giovanile, maturo o senescente in funzione della instabilità prevedibilmente indotta dalle aste che lo percorrono nella prospettiva di qualche decennio; in condizioni giovanili, allorchè la resistenza meccanica dei terreni attraversati lasci prevedere che l'azione erosiva della corrente modificherà rapidamente e sensibilmente il profilo del fondo e l'assetto delle sponde, anche gli equilibri delle pendici risulteranno facilmente compromissibili: incombe quindi il rischio che si attivino movimenti di masse nella coltre superficiale, in grado di ampliare la valle in senso trasversale. Inoltre la dinamica del fondo del corso principale, abbassando la quota della soglia di sbocco degli affluenti, attiva progressivamente la capacità erosiva di questi, estendendo l'instabilizzazione del pendio alle valli secondarie tributarie.

Lo studio del reticolo idrografico, agevolato da specifiche carte tematiche e relazionato all'analisi geologica ed all'individuazione dei fenomeni di frana in atto, fornisce al progettista infrastrutturale informazioni preziose per la scelta del tracciato. Esso si concretizza nella carta dell'idrografia superficiale, nella quale, dopo aver delimitato il bacino con gli spartiacque, si evidenziano i vari rami della rete di drenaggio.

Talvolta è utile distinguere le aste per livelli gerarchici, con tratti o colori diversi: la gerarchizzazione prevede che si assegni un numero d'ordine a ciascun tronco fra due successive confluenze: si parte da 1, per i rami originari di monte, e si scala di un'unità alla convergenza di due rami dello stesso ordine. Non è infrequente il caso in cui un ramo di un certo ordine (che si definisce anomalo) confluisca in un altro di ordine non immediatamente superiore: l'alta numerosità di rami anomali in un bacino, è indice di caratteristiche giovanili dello stesso: l'insieme dei rapporti fra il numero totale di aste di due ordini successivi presenti (denominato "rapporto di biforcazione") ne fornisce una misura.

Dalla carta della rete idrografica si ricava, per l'intero bacino o per sue

parti omogenee, la “densità di drenaggio”, come rapporto fra la somma delle lunghezze delle aste presenti e l’estensione del bacino. La densità di drenaggio (che può essere classificata alta, media o bassa, in senso relativo nel territorio osservato) per un determinato microclima (piovosità) e per una data intensità della copertura vegetale, è essenzialmente funzione di tre parametri:

- pendenza dei versanti;
- resistenza all’erosione delle rocce affioranti
- permeabilità degli strati superficiali.

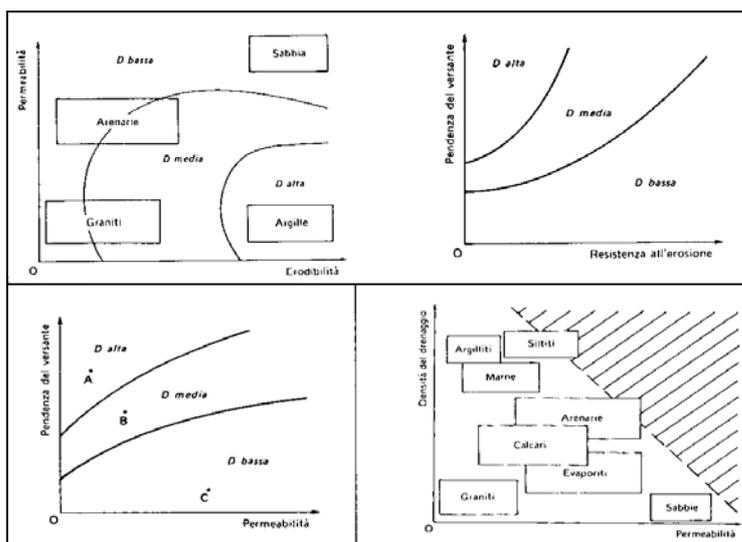


Fig. 3.3.5 Rapporti fra alcuni parametri costitutivi della densità di drenaggio.

In fig. 3.3.5 si sono riportate in grafico interessanti relazioni fra la densità di drenaggio ed alcuni parametri caratteristici del territorio; in successione i grafici indicano schematicamente:

- a) Densità di drenaggio in funzione della permeabilità e della resistenza all’erosione.
- b) Densità di drenaggio in funzione della pendenza del versante e della resistenza all’erosione.
- c) Densità di drenaggio in funzione della pendenza del versante e della permeabilità.
- d) Densità di drenaggio in funzione di tipo di roccia affiorante e della relativa permeabilità superficiale.

Si definisce “rapporto di circolarità” il quoziente fra l’area totale del bacino e quella di un cerchio dal perimetro coincidente con lo sviluppo lineare dei suoi spartiacque: un basso valore di questo rapporto, che è sempre compreso fra 0 e 1, è indice di immaturità del bacino.

L'assetto morfologico della rete idrografica (frequentemente indicato con la locuzione *pattern*), è chiaramente evidenziato dalla carta dell'idrografia, e risulta molto istruttivo per il progettista infrastrutturale, soprattutto per informazioni su larga scala di carattere geologico (prevalentemente alla ricerca di anomalie e disomogeneità) e per le previsioni sulla stabilità generale di un territorio.

In fig 3.3.6.a è stato schematicamente disegnato un “*pattern* dendritico o arborescente”: trattasi di una conformazione caratteristica di un regime erosivo in materiali omogenei ed impermeabili; è tipico di aree a debole pendenza, a prevalenza di affioramenti di argille e marne, talvolta alternate a sabbie o arenarie argillose o silteose. Non mancano casi di *pattern* di questa conformazione su rocce plutoniche o metamorfiche, ma la diffusione delle ramificazioni è in questi casi di gran lunga inferiore: la disuniformità della densità di drenaggio in particolari subaree di un siffatto *pattern* (si osservi la discrepanza fra i versanti A e B della figura 3.3.6.a) è indizio certo di differenze consistenti nella permeabilità delle formazioni superficiali.

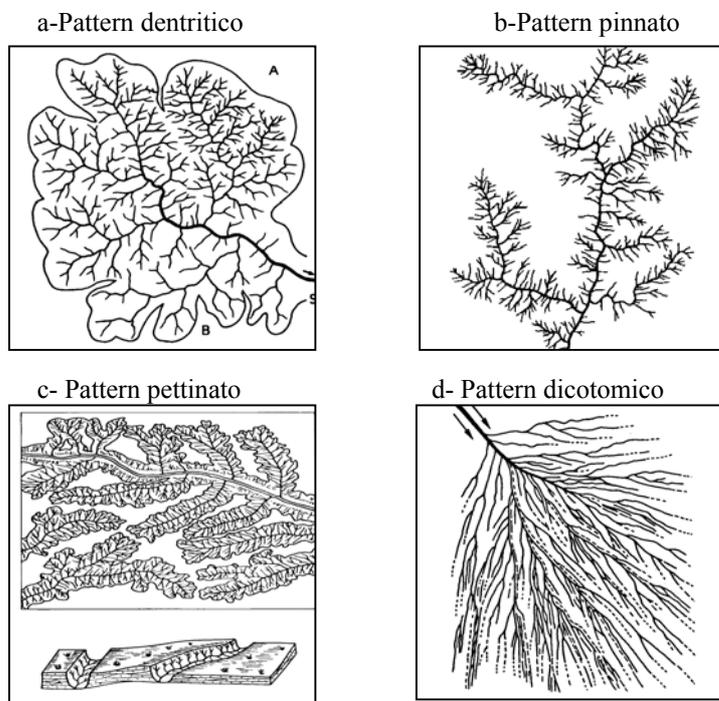


Fig. 3.3.6 Tipologie schematiche di *pattern* dendritico

Varianti del dendritico sono rappresentate in fig 3.3.6.b, “*pattern* pinnato”, e 3.3.6.c, “*pattern* pettinato”, (caratteristico dei grandi e piatti altopiani silteoso-argillosi di origine glaciale e dei *loess*).

Tipico dei delta fluviali e delle conoidi di deiezione è il dendritico inverso di fig. 3.3.6.d, denominato “*pattern* dicotomico”.

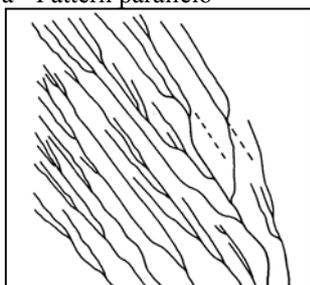
A spiccati assetti morfologici del pendio ovvero a controllo strutturale

da parte di fenditure, faglie e/o stratificazioni disomogenee affioranti sono riferibili di norma le tipologie schematicamente indicate in fig. 3.3.7.

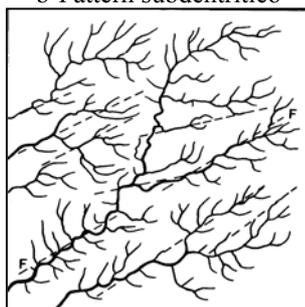
Il “*pattern* parallelo” di fig. 3.3.7.a è caratteristico dei pendii molto acclivi, in formazioni omogenee di natura tanto sedimentaria quanto metamorfica, sia in terreni sciolti (anche argillosi) sia lapidei a basso grado di cementazione.

Il “*pattern* subdentritico” rappresentato in fig 3.3.7.b, è intermedio fra questa tipologia ed i pattern dendritici; deriva il suo assetto da un debole e non generalizzato controllo strutturale da parte di stratificazioni affioranti o, più spesso, di sistemi di faglie e fratture

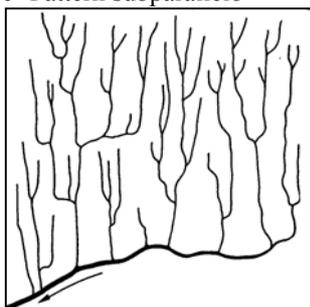
a- Pattern parallelo



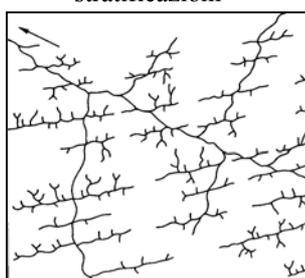
b-Pattern subdentritico



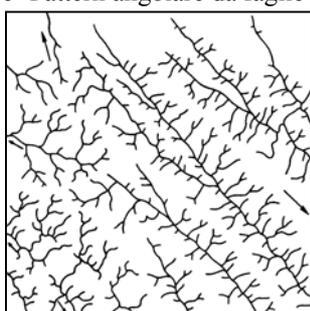
c- Pattern subparallelo



d- Pattern angolare da stratificazioni



e- Pattern angolare da faglie



f- Pattern contorto

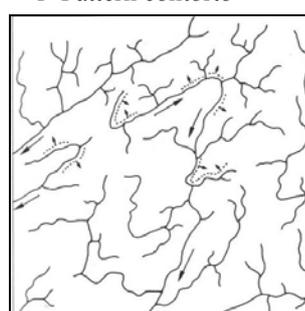


Fig. 3.3.7 Tipologie schematiche di pattern controllato.

Il *pattern subparallelo* di fig. 3.3.7.c è caratteristico delle pendici regolari, di pendenza non eccessivamente elevata, in materiali relativamente omogenei, in presenza di circoscritte singolarità strutturali. In Italia si rinviene in molte pianure costiere sopraelevate al livello marino, costituite di materiali sciolti fini (sabbie fini argillose e/o siltose) poco o niente consolidati. E' presente anche su formazioni laviche, dove il corso principale segue il bordo inferiore delle colate ed i rami tributari sono controllati nell'andamento dalle linee di sovrapposizione delle lingue effusive, ovvero dalle spaccature prodotte dal raffreddamento.

Il "*pattern* angolare da stratificazioni" (fig 3.3.7.d) si presenta con corsi principali fra loro paralleli e di sviluppo longitudinale nettamente prevalente su quello dei rami secondari, che vi confluiscono sotto angolazioni prossime alla perpendicolarità. E' di norma governato dall'affioramento di formazioni stratificate (composte di litotipi pronunciatamente disomogenei per erodibilità) non tettonizzate né piegate, ma dalla immersione regolare (monocliniche); di solito, in funzione dell'angolo d'immersione degli strati, l'estensione longitudinale dei rami tributari e la loro pendenza è sensibilmente diversa sui due lati contrapposti di uno stesso corso principale, ma è ripetitiva per le valli adiacenti.

Il "*pattern* angolare da faglie" (fig. 3.3.7.e), di norma, si inserisce in zone circoscritte di altre conformazioni, laddove si concentrino singolarità strutturali (sistemi di faglie) di estensione subregionale; è caratterizzato da corsi principali, di sviluppo prevalente sui rami secondari, frequentemente divaricati sotto angoli acuti. Generalmente l'andamento planimetrico delle singole aste, specialmente le principali, presenta anse pronunciate, corrispondenti alle tracce delle fratture strutturali che le controllano. In presenza di sistemi di fratture fra loro parallele si rileva generalmente una notevole sistematicità nella direzione delle aste.

In differenti condizioni, quando il controllo strutturale del reticolo è predominante ed il sistema di fratture è irregolare, si determina un "*pattern* contorto" (fig. 3.3.7.f), caratterizzato dai corsi di aste di ogni ordine particolarmente sinuosi; in questo assetto, se il territorio è pianeggiante, talvolta i tratti di ordine inferiore corrono in direzione controversa a quelli in cui affluiscono. Il *pattern* contorto è tipico di formazioni calcaree o metamorfiche a struttura scistosa (più raramente arenarie o breccie ben cementate), tettonicamente tormentate e scompagnate da faglie che abbiano prodotto dislocazione e rotazione reciproca di grossi blocchi. Non di rado gli andamenti dei rami consentono la lettura di pieghe, nonché individuano zone di chiusura tanto delle anticlinali quanto delle sinclinali.

Alla presenza nella morfologia del territorio di rilievi isolati è connessa un'altra famiglia di patterns (fig.3.3.8)

Il "*pattern* radiale" (fig.3.3.8 a) è caratteristico di formazioni a cono, ad esempio di natura vulcanica, e di domi di dimensioni principali subuguali (detti anche cupole): nei casi più frequenti è facilmente individuabile l'andamento centrifugo delle aste principali che, su pendici molto acclivi, rappresentano anche la maggior parte del reticolo. Non mancano esempi di pattern radiale centripeto, ad esempio all'interno dei coni vulcanici e nelle caldere, ovvero nelle depressioni carsiche.

In domi di origine sedimentaria o comunque suddivisi in strati di differente erodibilità (specie se la pendenza media dei versanti non è elevata) è diffuso il “*pattern anulare*” (fig.3.3.8.b). In molti casi la conformazione anulare del pattern si combina, verso valle, con un andamento radiale (fig.3.3.8.c) del settore terminale delle aste effluenti.

Alla presenza di formazioni carsiche, ovvero altamente permeabili, di natura calcarea o gessosa (specie se caratterizzate da superficie morfologicamente piatta) si collega il “*pattern a doline*” (fig. 3.3.8.d). In alcune zone a questa conformazione possono essere associati pattern radiali centripeti variamente estesi.

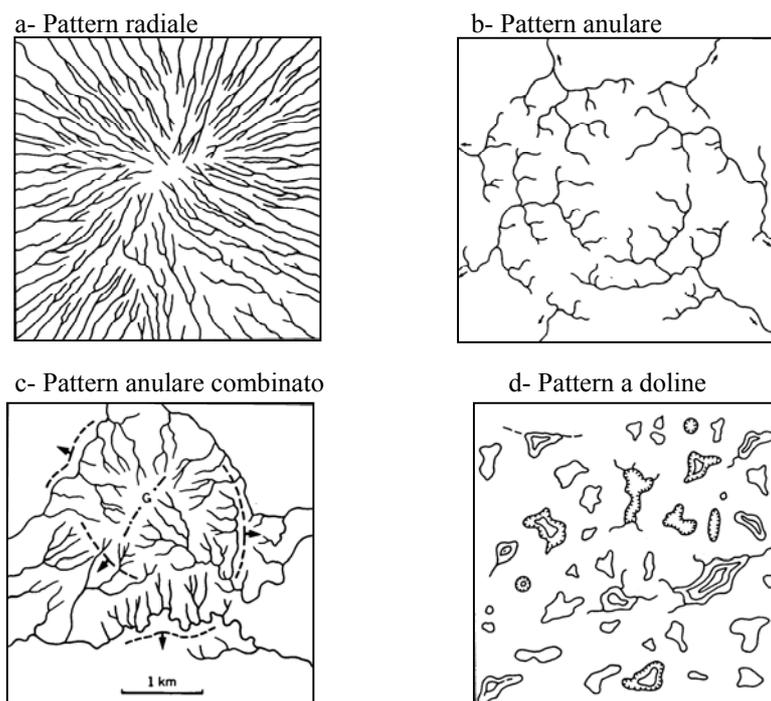


Fig. 3.3.8 Tipologie schematiche di pattern radiale

L’assetto morfologico della rete idrografica non è da solo dirimente delle problematiche d’interesse del progettista nella definizione delle relazioni fra le infrastrutture di trasporto e la natura del territorio. Tuttavia, data la sua dipendenza dalla geologia e dallo stato fisico delle formazioni affioranti, può essere rapportato ad ulteriori elementi, emergenti da altre cartografie tematiche, per individuare:

- omogeneità spaziali e disomogeneità;
- gradi di stabilità geologica nelle diverse zone dell’area vasta considerata;
- tendenza alla modificazione geomorfica;

- rilevanza delle interferenze del corpo stradale con la rete drenante superficiale;
- rischi ambientali del progetto.

Nell'interpretazione è indispensabile associare alle informazioni di carattere planimetrico, deducibili dalla cartografia della rete idrografica, quelle derivanti dagli studi altimetrico e geologico-geotecnico del territorio, la cui cartografia tematica sarà illustrata nel paragrafo che segue.

3.3.4 Carte della morfologia superficiale e della geologia

La scelta progettuale dell'asse stradale è influenzata in maniera determinante dalla morfologia del territorio, data l'esigenza di aderire al terreno più possibile, per motivi tecnici, economici ed ambientali. L'analisi tridimensionale, agevolata da rappresentazioni plastiche della superficie topografica, risulta indispensabile per le decisioni ragionate del progettista.

La carta dell'altimetria viene ricavata da una base topografica a curve di livello, mediante colorazione selettiva delle diverse fasce altimetriche, con varie sfumature: è in grado di fornire una rappresentazione sinottica delle forme del paesaggio, del rilievo naturale e della morfologia globale del territorio rappresentato.

La carta delle acclività mostra con maggiore evidenza le caratteristiche morfologiche dei versanti, fornendo un quadro delle pendenze medie (suddivise per classi) nelle varie aree. Ai fini della progettazione delle infrastrutture viarie si scelgono in generale le seguenti classi di pendenza (espresse in %): 0÷6, 6÷10, 10÷20, 20÷35, 35÷50, 50÷100, oltre 100. La costruzione si esegue, a partire da una base topografica a curve di livello, rapportando la distanza planimetrica minima fra successive curve di livello all'equidistanza. L'acclività rappresentata in questa carta può essere associata alle caratteristiche geologico-geotecniche delle stratificazioni superficiali, per le considerazioni che attengono alla stabilità.

La carta della litologia rappresenta le caratteristiche geolitologiche dalle formazioni affioranti, raggruppate in categorie: generalmente fa uso di retinature e/o colorazioni, richiamate in una legenda a margine.

L'Istituto Geologico Italiano (IGI) ha approntato una Carta Geologica d'Italia in scala 1/100.000 e la aggiorna periodicamente con i risultati di studi eseguiti sul territorio per finalità scientifiche o tecniche (connesse alla realizzazione di ogni genere di opere civili per cui vengano pubblicati i dati di rilievo). La carta geologica è un tipico esempio, non l'unico, di cartografia tematica ufficiale; risulta utile in tutti i problemi della progettazione infrastrutturale (quando la scala della rappresentazione è adeguata). Nei casi o nei gradi del processo progettuale in cui il dettaglio di questa cartografia ufficiale risulti insufficiente, si richiedono approfondimenti specialistici, che vengono trasferiti in una carta tematica *ad hoc*, resa a scala utile per le contingenti necessità, che assume simbologie conformi (o almeno analoghe) a quelle della carta geologica.

L'indicazione simbolica (mediante retinature e colorazioni) si riferisce in genere alla formazione presente in superficie, sotto la coltre di *humus*. Ai fini tecnici, tuttavia, la conoscenza delle caratteristiche geolitologiche deve

essere spinta a profondità maggiori, soprattutto quando il manufatto in progetto interferisca direttamente con gli strati sottostanti (gallerie, trincee, fondazioni profonde delle opere d'arte, ecc.), ovvero quando sia prevedibile che il comportamento degli strati superficiali, in ordine a stabilità e cedimenti, sia influenzato significativamente dalla natura e dallo stato di quelli sottostanti. I geologi, la cui competenza specialistica deve essere coinvolta (anche in forza di legge) in ogni grado della progettazione, ben conoscono i metodi interpretativi delle successioni stratigrafiche: alcuni elementi possono essere rilevati dalle stesse carte geologiche dell'IGI (che riportano anche sezioni significative).

Nonostante la messe di informazioni disponibili in letteratura, per i progetti stradali di qualche rilievo è costante la necessità di eseguire rilevamenti diretti. Si programma ed esegue allora una campagna geognostica, calibrata sulle problematiche individuate e sulle risposte attese; i risultati sono trasferiti sulla cartografia tematica di cui si sta trattando, aggiungendovi anche le sezioni rappresentative che si sono ricostruite. Per i tronchi infrastrutturali si perviene (anche perché richiesto dalle norme di compilazione dei progetti) alla rappresentazione del profilo geologico lungo l'asse longitudinale ed in corrispondenza delle più significative sezioni trasversali.

Di solito il programma dei sondaggi e delle prove in sito comprende un capitolo dedicato all'esistenza, distribuzione e dinamica delle falde acquifere, freatiche e artesiane. I risultati dei saggi e dei rilievi piezometrici vengono trasferiti nella carta dell'idrogeologia, che registra anche la collocazione ed eventualmente la portata delle sorgenti esistenti nell'area.

L'esito finale delle valutazioni geologiche effettuate, a cui concorrono anche le conoscenze acquisite nello studio morfologico ed idrografico del territorio, viene trasferito nelle carte della stabilità e del rischio a franare.

L'insieme dei fenomeni geologici e dei loro effetti su un'area, che hanno la capacità di mutarne la fisionomia in tempi commensurabili alla vita di un intervento tecnico, si definisce "pericolosità geologica"; la "vulnerabilità antropica" dipende, invece, dalla diffusione e dal peso degli insediamenti umani presenti, che possano essere colpiti dai fenomeni naturali di questo tipo; il "rischio geologico" è la combinazione diretta dell'una e dell'altra, nel senso che è funzione di entrambe e cresce proporzionalmente ad esse.

Nel corso della progettazione preliminare la ricerca delle aree più affidabili è fondamentale per le scelte di tracciato planoaltimetrico; per la progettazione definitiva il grado di stabilità dei pendii è determinante sia per la scelta tipologica delle opere costituenti il corpo stradale sia per l'inserimento di lavorazioni, anche fuori sede, finalizzate alla stabilizzazione e/o alla protezione della costruenda infrastruttura; per la progettazione esecutiva è necessario disporre altresì di attendibili stime dei parametri geotecnici, per il calcolo di dettaglio delle singole opere.

L'assetto strutturale e la resistenza globale di un pendio sono strettamente connessi alla genesi geologica dell'ammasso che lo costituisce ed alle vicissitudini che esso ha subito nel corso delle ere. Per gli aspetti specifici si rinvia ai testi di geologia applicata, riservando tuttavia a questa

esposizione alcune considerazioni tecniche di particolare rilievo per il progetto.

Occorre anzitutto distinguere fra formazioni di rocce lapidee (che non possono essere disgregate con semplici operazioni manuali o sotto l'effetto dell'acqua) e terreno o materiale sciolto (che offre questa possibilità).

La distinzione è tecnicamente rilevante: una formazione di roccia sciolta, nonostante la sua intrinseca natura di mezzo discontinuo (aggregato di particelle di ridotte dimensioni, interagenti nei punti di contatto ed intervallate da spazi occupati da fasi liquide e gassose), alla scala del problema applicativo, può essere schematizzata come corpo continuo. Viceversa le formazioni di roccia lapidea, a dispetto della continuità dei banchi anche di spessore rilevante (fino ad alcuni metri), si comportano tecnicamente come mezzo discontinuo, nel quale risultano determinanti le condizioni delle superfici di contatto fra gli strati.

Non sempre, tuttavia, la differenziazione è netta e riconoscibile immediatamente, come sembra a prima vista; si rinviene una vasta gamma di ammassi dalle caratteristiche intermedie fra quelle delle formazioni sciolte e lapidee. Si menzionano a titolo esemplificativo: rocce compatte finemente fratturate da eventi tettonici o da agenti fisici e chimici (detriti di faglia, graniti e gneiss alterati da aggressivi chimici e da effetti termoclastici e crioclastici ecc.); rocce in corso più o meno avanzato di cementazione o di disgregazione (arenarie e breccie, tufi piroclastici o sedimentari ecc.); argille sovraconsolidate asciutte.

Per definire il contributo che i fattori geologici apportano alla stabilità di un pendio in formazioni stratificate, qualunque sia la consistenza dei materiali che costituiscono i livelli, risulta fondamentale risalire all'esistenza, natura e giacitura delle discontinuità: i piani di scistosità delle rocce metamorfiche e quelli di contatto fra strati sovrapposti di rocce sedimentarie possono costituire elementi pregiudizievoli per la stabilità (in concomitanza con altri fattori naturali o antropici), se hanno inclinazione concorde con il pendio o sono disposti in maniera caotica. Il rischio è esaltato dalla mancanza di reciproci ammorsamenti o, peggio, dalla interposizione di materiali terrigeni, particolarmente di quelli di natura argillosa. Parimenti, la presenza di zone fratturate e di piani di faglia (con o senza interposizione di detrito di frizione) localizza punti di debolezza nell'assetto del versante.

Anche negli ammassi sciolti (particolarmente in quelli di natura fliosoide) l'alternanza di strati a diversa competenza e permeabilità (spesso non nettamente distinti, ma sfumati uno nell'altro) rappresenta di per sé un fattore di rischio.

Le discontinuità possono, inoltre, rappresentare elemento di concentrazione o rarefazione di onde elastiche in occasione di eventi sismici, determinando effetti non indifferenti sulle opere; sono infine responsabili, in condizioni ordinarie, delle irregolarità morfologiche superficiali.

Invero, quando queste irregolarità morfologiche non trovano giustificazioni di carattere geologico, denunciano fenomeni pregressi di instabilità superficiale, talvolta nel campo delle paleofrane, e forniscono informazioni preziose per l'interpretazione dell'evoluzione del pendio.

Al fine di individuare i fenomeni di dissesto in atto, valutandone

l'evoluzione possibile, o di prevedere instabilità potenziali, prevenendone l'insorgenza, è opportuno per il progettista stradale conoscere i meccanismi dei movimenti di massa tipologicamente più frequenti.

Ricondurre ad una classificazione i tipi di frane è stato un impegno di molti studiosi, a partire dalla fine del secolo scorso; gli esiti quasi sempre non sono felici, attesa l'ampia varietà delle cause e delle manifestazioni, che fanno di ogni episodio un caso singolare. Tuttavia non è inutile rifarsi alla classifica di Varnes [1978], nella quale i casi semplici sono ricondotti a sole cinque categorie.

Si dicono rispettivamente:

- ⇒ “zona di distacco”, la porzione di territorio da cui proviene il materiale dislocato dal movimento di masse;
- ⇒ “alveo di frana”, l’area di transito del materiale distaccatosi verso la posizione in cui trova un nuovo equilibrio;
- ⇒ “cumulo”, l’approdo delle masse movimentate, che di solito si dispone in condizioni di equilibrio limite; salvo miglioramenti della stabilità nel tempo, grazie all’inglobamento di agenti cementanti, l’apporto caotico al cumulo è foriero di ulteriori e successivi movimenti di masse, a carico del materiale che lo compone.

La nomenclatura correntemente adoperata per le manifestazioni più comuni in un movimento di massa è evidenziata in figura 3.3.9, con riferimento ad un particolare tipo (che consente una completa esposizione).

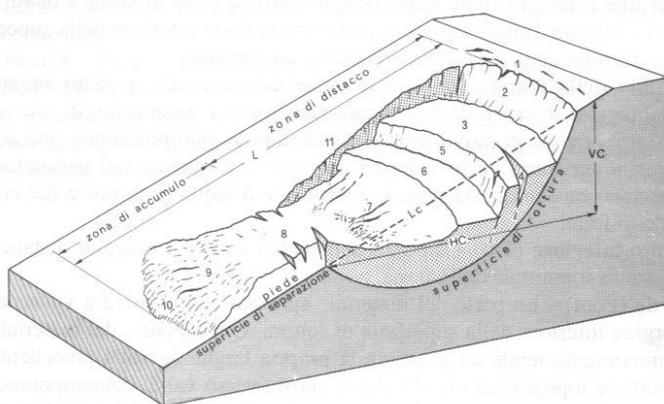


Fig. 3.3.9 Schema di movimento franoso

Nella figura si distinguono:

- 1 - **Coronamento**: è la zona di terreno pressoché indisturbato adiacente alla parte sommitale della frana. E' spesso sede di fessure trasversali, dovute al rilascio del terreno.
- 2 - **Scarpata principale**: è il settore superiore della zona di distacco, che si presenta come una rottura di pendenza nella morfologia del pendio. In

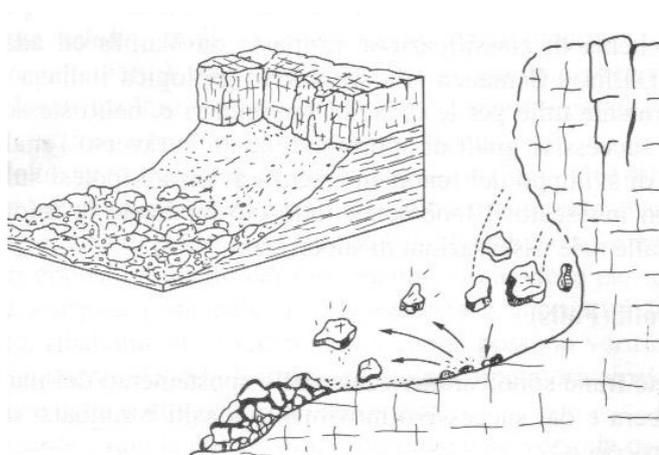
proiezione planimetrica è spesso arcuata e raccordata ai fianchi. Generalmente è povera di vegetazione, finché il terreno emerso non abbia subito una completa umificazione; il più delle volte questa risulta tardiva, giacché la pendenza elevata agevola l'erosione superficiale e contrasta l'attecchimento delle specie spontanee.

- 3 - Terrazzo di testa frana: presenta spesso una superficie in minore pendenza rispetto alla morfologia circostante o perfino in contropendenza; può essere sede di ristagni, o anche di accumuli d'acqua, detti laghetti di testa frana: questi, ove presenti, alimentano una falda acquifera artesianiana, che filtra nella zona di scorrimento e si manifesta come sorgente nel cumulo di frana.
- 4 - Fessure trasversali: si collocano nei terrazzi e nel coronamento (il riferimento per la trasversalità è alla direzione prevalente del movimento); sono originate da trazioni, dovute al rilascio del materiale per perdita di contrasto.
- 5 - Scarpata secondaria: può anche mancare come può essere multipla; è originata da movimenti differenziali nella massa franata.
- 6 - Terrazzi secondari: sono associati ad ogni scarpata secondaria ed hanno caratteristiche non dissimili da quello di testa.
- 7 - Zona delle fessure longitudinali: è presente quando l'alveo di frana si restringe; le fessure sono originate da compressioni, che producono scorrimenti reciproci di strati.
- 8 - Fessure trasversali: nella posizione rappresentata in figura sono originate da trazioni nella parte superiore del cumulo di frana, in una zona in cui l'alveo scavalca ostacoli altimetrici o quando le velocità di traslazione all'interno del corpo di frana sono differenziate.
- 9 - Fessure radiali: sono originate da rilasci, conseguenti all'ampliamento a ventaglio del cumulo di frana verso valle; sono spesso luogo di sorgenti d'acqua, che rendono rigogliosa la vegetazione spontanea, particolarmente per le specie palustri e lacustri (canne ecc.).
- 10 - Unghia del cumulo di frana: è la parte inferiore e più ampia del cumulo; presenta generalmente morfologia superficiale convessa, riconoscibile come rottura di pendenza nel pendio; assai frequentemente è sede di sorgenti e di manifestazioni vegetative ad esse collegate; sul cumulo si possono presentare anche più unghie, che testimoniano accavallamento di materiali in varie fasi dello spostamento.
- 11 - Fianchi destro e sinistro (il riferimento è all'osservatore della frana dal coronamento): di solito, in continuità con la scarpata principale hanno una pendenza ripida, originata da fratture da scorrimento.
- 12 - L_C , H_C , V_C : rispettivamente distanza fra il ciglio superiore ed il margine inferiore della superficie originaria del versante e sue proiezioni orizzontale e verticale.

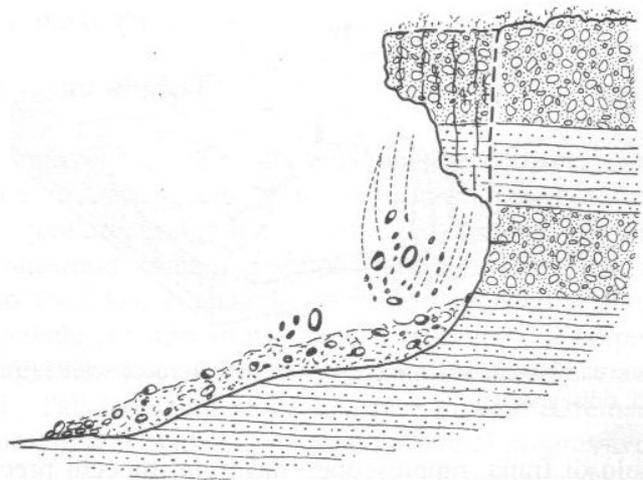
Tutto ciò premesso si esamina la classificazione proposta da Varnes

I **crolli** sono fenomeni caratterizzati da cadute libere, o a balzi, di blocchi che si distaccano dai versanti, pervenendo al piede il più delle volte ridotti in minuti frammenti; nel corso della caduta possono mobilizzare volumi di terra o parti del cumulo precedentemente formatosi (fig. 3.3.10).

Si possono produrre tanto nei materiali lapidei quanto nei terreni sciolti, purchè compatti e dotati di elevata resistenza coesiva.



a) in roccia fratturata



b) in terreno sciolto coesivo

Fig. 3.3.10 Frane da crollo

I presupposti dei movimenti della tipologia dei crolli sono:

- a) elevata acclività della pendice, fino alla verticalità o allo strapiombo;
- b) presenza di fratture diffuse nella zona di distacco, derivanti da:
 - faglie e/o altri agenti tettonici, nonché da fenomeni termoclastici e crioclastici, nelle formazioni lapidee compatte o stratificate;
 - degrado fisico-chimico e/o ritiro, nei terreni sciolti.

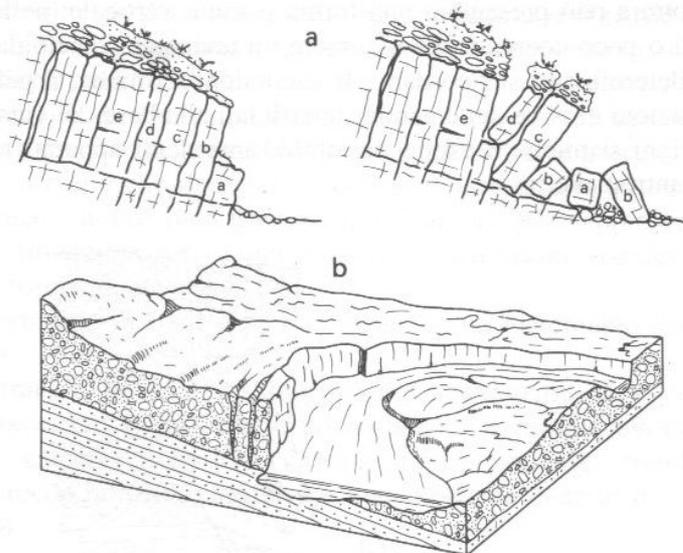
Le cause efficienti immediate più comuni della loro attivazione sono:

- la spinta idrostatica nelle fenditure;
- l'effetto cuneo degli apparati radicali;
- le azioni eoliche (anche sulle specie arboree che vi hanno attecchito);
- le scosse sismiche e le vibrazioni di altra origine;
- l'appesantimento per imbibizione e (nei materiali sciolti coesivi) le plasticizzazioni delle frazioni limo-argillose.

I **ribaltamenti** sono determinati da squilibri di zolle di roccia lapidea o di terreno sciolto fortemente coesivo, isolate da fratture sub verticali; la loro cinematica consiste in una rotazione intorno ad un fulcro, coincidente con il piede esterno della zolla. Le fratture possono essere giunti di stratificazione (fig. 3.3.11.a) o lesioni di neoformazione (fig. 3.3.11.b).

I blocchi o le zolle distaccati possono ulteriormente frammentarsi alla caduta,, in seguito all'impatto al suolo, dando luogo a cumuli o ad uno spargimento caotico nella campagna sottostante.

I ribaltamenti vengono attivati dalle stesse cause delle frane di crollo; possono anche essere prodotti e/o agevolati da plasticizzazione ed erosione dell'incastro al piede del banco; frequente è il caso in cui costituiscono una evoluzione secondaria di altro tipo di frana (primaria), in corrispondenza del coronamento (o dei terrazzi), ovvero di scarpate principali (o secondarie); spesso, in tale fattispecie, esse si verificano in seguito al procedere del movimento nella frana primaria e, ad evento avvenuto, sono in grado di accelerarlo con il sovraccarico del cumulo sul terrazzo di accumulo.



a) In roccia stratificata

b) In terreni sciolti coesivi

Fig. 3.3.11 Frane da ribaltamento

Gli **scorrimenti** consistono nella mobilitazione di una porzione di suolo rispetto ad un'altra, con grandi spostamenti reciproci lungo una superficie di rottura; in realtà quella che generalmente viene denominata "superficie di rottura" è una zona di spessore finito, ma limitato, nell'ambito della quale il materiale raggiunge uno stato critico rispetto alla sollecitazione di taglio e dà luogo a deformazioni nel campo della plasticità o della viscosità irreversibile; nel corso dello spostamento si verificano decopressioni e sconvolgimenti dell'assetto strutturale della formazione impegnata. Di norma la superficie di rottura è di neoformazione, anche se in molti casi segue l'andamento di strati di minore resistenza ovvero il contatto fra materiali eterogenei; quando ciò non si verifica, nelle formazioni relativamente omogenee, la sua traccia è assimilabile ad un arco di circonferenza: gli spostamenti complessivi della massa mobilizzata possono essere ricondotti a rotazioni intorno ad un centro C, collocato all'esterno della massa in movimento. Un fenomeno di movimento di masse con queste caratteristiche viene denominato "scorrimento rotazionale" o "scoscendimento"; gli scoscendimenti possono interessare sia formazioni rocciose fratturate sia terreni sciolti (fig. 3.3.12 a, b) ed impegnano volumi molto variabili, in ragione delle profondità a cui pervengono le superfici di rottura.

L'azione motrice di uno scoscendimento è il momento del peso della massa mobilizzata rispetto al centro C; l'azione resistente è il momento rispetto allo stesso centro delle interazioni tangenziali lungo la superficie di scorrimento, il cui valore unitario massimo è la resistenza a taglio del materiale nelle condizioni di sollecitazione, di densità ed umidità in cui esso si trova.

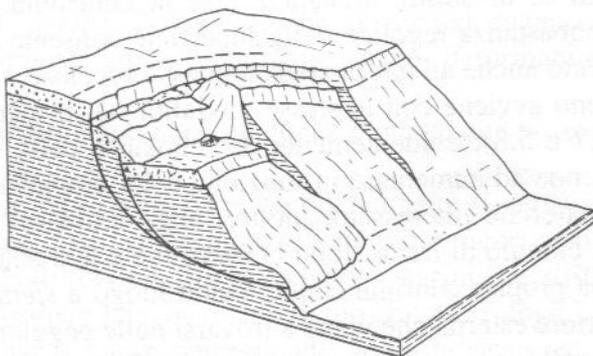


Fig. 3.3.12 Scorrimenti rotazionali o scoscendimenti

In seguito allo scoscendimento primario, il sovraccarico del cumulo può produrre condizioni critiche nella zona di valle, con rischio di avanzamento della instabilità in quella direzione; contemporaneamente lo sviluppo può procedere anche in senso retrogrado, verso la parte di monte del pendio, dal momento che le condizioni di stabilità della zolla di coronamento sono aggravate dalla perdita del contrasto. Quando la propagazione descritta si verifica, la frana progressivamente s'estende all'intera scarpata: ne deriva

una morfologia sconvolta, estesa ad una fascia del pendio; inoltre l'intero volume mobilizzatosi, geotecnicamente indebolito e reso suscettibile all'imbibizione (per l'incremento di porosità connesso alle decompressioni) ed al conseguente notevole appesantimento, diviene preda di un'altra tipologia di movimento di massa (scivolamento, colamento).

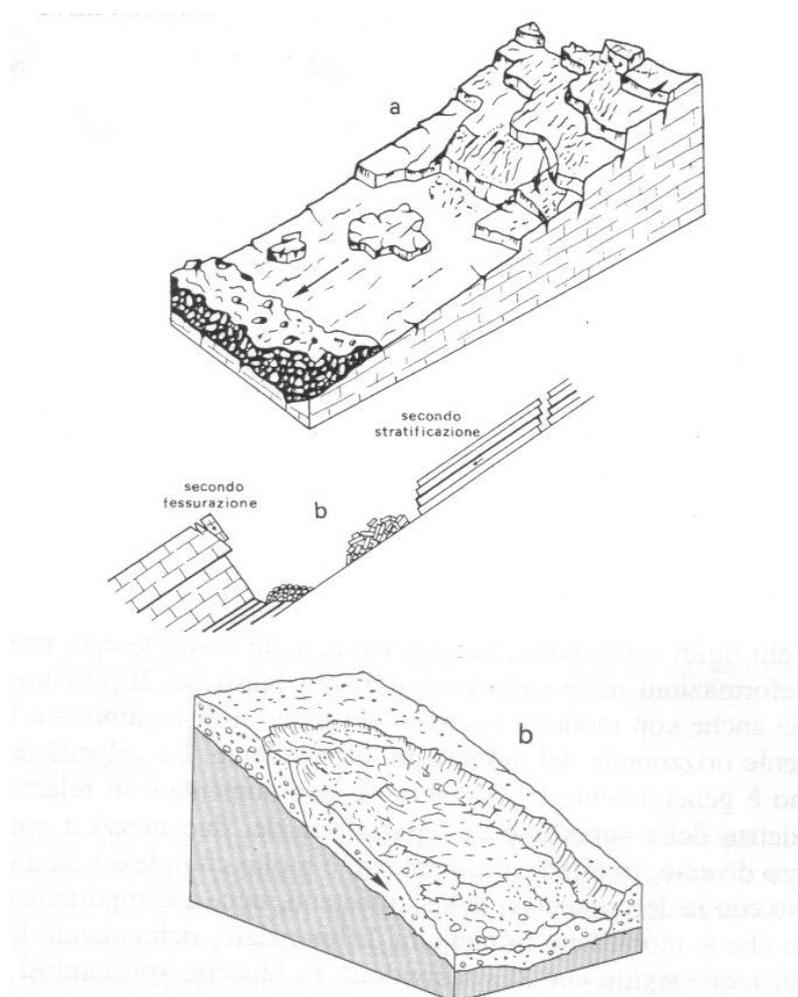


fig. 3.3.13 Scorrimenti traslativi o scivolamenti.

Quando il distacco dello scorrimento (sia in rocce sciolte che lapidee) si verifica lungo una superficie che possa essere assimilata prevalentemente ad un piano inclinato, il fenomeno si denomina più propriamente "scorrimento traslativo" o "scivolamento". In genere, anche quando risulti di neoformazione, il piano di scivolamento corrisponde ad una preesistente

discontinuità, quale:

- un giunto di stratificazione con o senza interposizione di materiale sciolto;
- un piano di scistosità o una frattura o una faglia;
- un contatto fra rocce a caratteristiche eterogenee (ovvero fra una porzione alterata o degradata ed il substrato integro della stessa formazione rocciosa);
- uno straterello di maggiore permeabilità, in terreni sede di falda;
- una superficie di separazione fra terreni consolidati ed una copertura detritica ovvero un cumulo di frana, ecc;
- l'inviluppo di superfici circolari di distacco di scoscendimenti multipli.

Nella figura 3.3.13 sono state rappresentate situazioni caratteristiche di questa tipologia, rispettivamente in roccia lapidea stratificata (a) e sciolta (b).

Le **espansioni laterali** sono fenomeni, dal meccanismo complesso, caratteristici delle sovrapposizioni di formazioni lapidee o granulari più o meno cementate a strati di scadente portanza (fig. 3.3.14). Si verificano anche in morfologie poco acclivi o pianeggianti e sono collegate alla plasticizzazione del substrato, per l'infiltrazione delle acque meteoriche che attraversano la formazione sovrastante, ovvero alla sua liquefazione sismica.

Nelle zone in pendenza (fig.3.3.14.b) la plasticizzazione del materiale basale provoca la separazione in blocchi degli strati superficiali ed il deflusso lento di questi verso valle, con o senza espulsione di materiale plastico; in questo caso la superficie del suolo assume una caratteristica conformazione a gradoni.

Nelle zone pianeggianti (fig.3.3.14.a) la plasticizzazione del substrato può provocare espulsione lenta di materiale verso l'esterno e frammentazione del banco sovrastante, per difetto di sostentamento: gli sprofondamenti danno luogo a morfologie depresse che, a causa dei ristagni idrici superficiali (talvolta effimeri), alimentano l'infiltrazione e il progresso ulteriore del movimento.

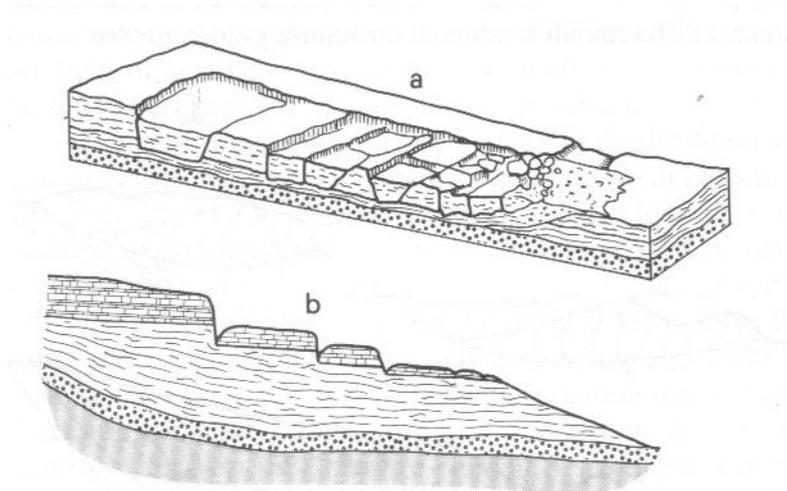


fig. 3.14 Espansioni laterali

I colamenti o colate comprendono fenomeni alquanto eterogenei nelle

manifestazioni, ma sempre legati agli effetti dell'acqua sugli strati superficiali: possono interessare sia formazioni lapidee che rocce sciolte, e danno luogo a movimenti con velocità variabili (da molto basse a rapidissime) in relazione alle qualità geotecniche (soprattutto alla plasticità) dei terreni coinvolti ed al loro grado di consistenza:

- a) in rocce lapidee, generalmente i colamenti hanno velocità ridotte e vi producono spostamenti differenziali, decrescenti con la profondità, e fratturazioni con rigonfiamenti e piegamenti; le formazioni rocciose interessate hanno tipicamente sequenze stratificate e giacitura originariamente subverticale, con morfologie superficiali a medio-alta acclività. L'interesse tecnico dei colamenti in formazioni lapidee è più legato alla lettura generale dell'assetto geomorfologico del territorio che non a speciali conseguenze progettuali per le infrastrutture: infatti i tempi dell'evoluzione del pendio sono incomparabili con la vita economica delle opere d'ingegneria.
- b) In contesti geologici diversi, particolarmente in presenza nelle stratificazioni superficiali di terreni sciolti di natura plastica, i colamenti possono assumere ben diverso rilievo tecnico per la progettazione di opere civili, a causa della consistenza delle masse in gioco e della rapidità dell'evoluzione. La varietà delle manifestazioni attribuibili a questa tipologia di movimenti di massa è ampia e non consente una tipizzazione.
 - In formazioni granulari o eterogenee prossime alla saturazione (zone alterate di ammassi rocciosi, coperture eluviali, coltri sconvolte da precedenti movimenti, cumuli, ecc.) i colamenti vengono denominati propriamente "colate": sono di norma relazionabili ad eventi di pioggia intensa e/o prolungata ed assumono elevata velocità, seguendo tendenzialmente alvei esistenti; non di rado, tuttavia, ne correggono i tracciati (per esondazione in qualche punto di pronunciata curvatura), a causa delle notevoli energie cinetiche in gioco. Anche per l'imprevedibilità, sono le forme di movimenti di massa a maggior rischio per le popolazioni.
 - In altri casi (colate che impegnano materiali plastici o granulari, imbibiti fino ad un'umidità prossima, o perfino superiore al limite di liquidità) il corpo di frana è indefinito nella direzione della profondità, non potendosi localizzare un vero piano di scorrimento: la frana si presenta allora come un ammasso terroso caotico, in movimento intermittente verso valle (con accelerazioni concomitanti o susseguenti ad eventi di pioggia intensa), alimentato dalla sommità, dove si configurano depressioni e scarpate a conca. Poiché la geometria dell'alveo di frana può essere variabile, si rinvengono sul suolo fessure da compressione longitudinale (quando la sezione si restringa) o da trazione trasversale (dove il profilo longitudinale presenti convessità) o radiali (quando l'ingombro planimetrico subisca brusche espansioni). Fratture da taglio si generano sui fianchi e si distribuiscono variamente nel corpo della frana, in relazione a velocità differenziali all'interno della massa.

Il cumulo dei colamenti presenta morfologie convesse, sia verso l'unghia che verso i fianchi, configurandosi come una zolla, morfologicamente emergente rispetto alle zone circostanti, che si espande a ventaglio ed è variamente interessata da fessure radiali. Quasi sempre al piede sgorga una sorgente ed anche al suo interno si individuano zone di concentrazione dell'umidità, distribuite irregolarmente (evidenziate talvolta da vegetazione spontanea di tipo palustre): queste evidenze denunciano locali azioni compressive, che producono espulsione d'acqua.

La carta della stabilità e del rischio a franare di cui si sta trattando riassume, in un elaborato planimetrico, esteso all'area in cui si sviluppano le diverse soluzioni di tracciato prese in considerazione:

- l'ubicazione dei fenomeni di movimento di masse verificatisi in passato: di norma questi vengono distinti (con diversa simbologia, assistita da legenda) per tipologia e stato attuale di evoluzione;
- con l'ausilio degli studi geologico-geotecnico e morfologico (affidati agli specialisti, geologo e geotecnico), si delimitano anche le zone in cui sussistano seri rischi di attivazione di nuove frane, per la similitudine degli assetti generali con le condizioni che si sono evolute negativamente in passato o per conclamate condizioni di precario equilibrio.

Di norma, gli esiti delle valutazioni sulla stabilità del territorio e sulla sua tendenza evolutiva sono accorpate in un elaborato di sintesi dei vincoli negativi per il tracciato in materia geologico-geotecnica.

La perimetrazione differenziata delle aree pericolose, individuate attraverso colorazioni e/o retinature, offre una graduazione del rischio connesso alla naturale instabilità, ai fini dei provvedimenti da adottare nel progetto.

Si richiamano, senza la pretesa di esaurirne la casistica, alcune condizioni tipiche che possono essere localizzate nella suddetta cartografia:

- Zone di coronamento ovvero adiacenti ai fianchi di frane (attuali o potenziali) da crollo, ribaltamento, scorrimento;
- Corpo delle frane (attuali o potenziali) da scorrimento o colamento lento;
- Ammassi a rischio di fratturazione per espansioni laterali, o già fratturati ed in procinto di ulteriore mobilitazione;
- Alveo delle colate già franate ovvero (situazione di massimo rischio) temibili; aree sottostanti a possibili crolli o ribaltamenti;
- Conoidi e cumuli di frane precorse, con la distinzione fra i casi di paleofrane (per cui può essere subentrata una stabilizzazione) e di eventi recenti;
- Zona sottostante ad un'area di possibile instabilità di qualsiasi tipologia, che lasci temere l'invasione del cumulo di frana;
- Fascia di pendice a rischio di mobilitazione, a seguito del possibile diffondersi, verso monte e verso valle, di precorsi scoscienti;
- Formazioni stratificate o disomogenee, con inclinazione dei piani di contatto superiore all'angolo di attrito (che comportano grave rischio di scorrimenti, qualora sottoposti a scavo e conseguente eliminazione dei contrasti interni);

- Pendici in materiali coesivi non impermeabili (ovvero sede di falde relativamente superficiali), con inclinazione della superficie molto maggiore dell'angolo d'attrito: in queste condizioni è forte il rischio di scorrimenti, specialmente a seguito di interventi di scavo o per sovraccarico con rilevati;
- Zone geotecnicamente problematiche, in quanto sede di formazioni sciolte (a titolo esemplificativo): soffici, torbose, plastiche ed umide (fino alla saturazione), ovvero a rischio di liquefazione, in presenza di vibrazioni e/o di sifonamento.

3.3.5 Monografie dei principali corsi d'acqua interferenti.

La conformazione di un alveo fluviale è l'esito di vicende (di scala temporale geologica) legate all'azione erosiva delle acque fluenti: essa dipende, cioè, dagli effetti geomorfico-erosivi:

- dei dislivelli in gioco nel bacino;
- della resistenza alla disgregazione delle formazioni impegnate e dalla loro successione, in grado di configurare il profilo di fondo;
- delle portate che si sono verificate storicamente, funzione delle caratteristiche microclimatiche dell'area e dei coefficienti idrometrici del bacino imbrifero di ciascuna sezione;
- della qualità e granulometria del trasporto solido che ne discende (quindi dalla resistenza al trascinarsi ed alla deposizione che lo caratterizza).

In generale, nella parte più alta del corso d'acqua la consistenza lapidea delle formazioni investite è in grado di opporsi efficacemente all'erosione; in ogni caso il flusso tende a seguire le vie di minore resistenza e s'incanala nelle disomogeneità stratigrafiche e/o nelle fratture e disgregazioni tettoniche (che vengono così esaltate); in definitiva l'erosione è vigorosa poiché di norma prevale la capacità di dislocazione e trasporto della corrente, a causa della forte energia che le deriva dall'elevata pendenza media del fondo degli alvei e dalla minore temperatura dell'acqua (che ne accresce la densità e quindi l'energia scaricata sulle pareti).

L'attitudine di una corrente in regime laminare di dislocare particelle e frammenti dall'alveo e di trasportarli (in sospensione o per trascinarsi e/o rotolamento sul fondo) dipende da densità e viscosità del fluido, nonché da densità e dimensione delle particelle (secondo le leggi di Stokes e di Einstein, rispettivamente). Tuttavia il massimo contributo viene offerto dalle turbolenze, dominanti in regime di corrente veloce, ma presenti localmente anche nelle correnti lente, per effetto delle irregolarità superficiali delle pareti dell'alveo e delle variazioni di tracciato plano-altimetrico e di sezione; la modellizzazione matematica di tale fenomeno è assai complessa e generalmente fa ricorso a forme empiriche.

Nella figura 3.3.15 è schematicamente rappresentato l'andamento dei moti trasversali turbolenti, indotti (tipicamente) da una deviazione planimetrica del letto: la rappresentazione giustifica la costante prevalenza degli effetti erosivi sulle pareti esterne degli alvei, a fronte del deposito di materiale sul versante interno, che produce la ben nota tendenza all'accentuazione delle irregolarità planimetriche delle aste; l'incremento

della pendenza delle sponde esterne ne esalta l'instabilità per smottamento, classificabile come scoscendimento (classifica di Varnes).

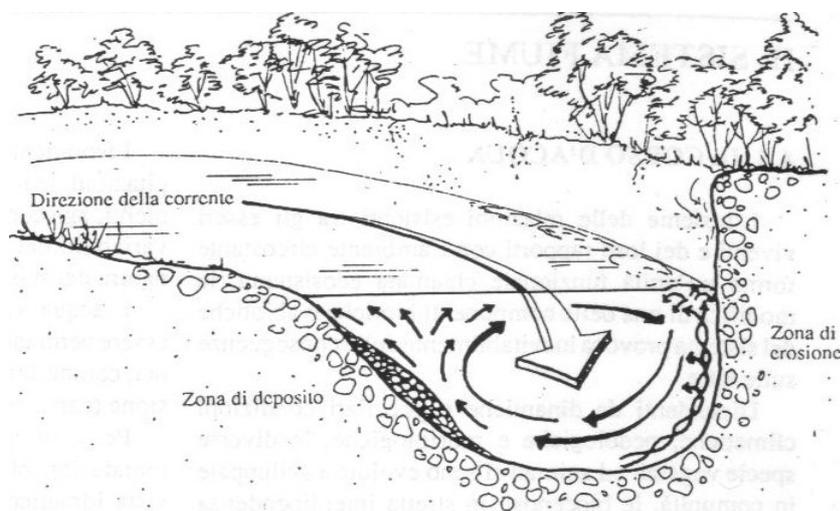


Fig 3.3.15 Dinamica della corrente fluida in un meandro.

Un decisivo contributo agli effetti erosivi è dovuto all'abrasione esercitata dal trasporto solido in trascinamento longitudinale: la parte di sezione più esposta all'escavazione è il fondo, che tende ad calare di quota, producendo un ulteriore aggravio alle condizioni di stabilità delle sponde (questa volta accentuato sul versante interno delle anse, per la minore qualità geotecnica del materiale ivi depositato).

La differenziata resistenza geotecnica delle formazioni investite, da un lato determina precisi indirizzi planimetrici ai corsi (lungo le vie di minore resistenza), dall'altro genera irregolarità nel profilo del fondo (per l'interposizione di soglie), che lo articolano nella successione di tronchi a pendenza grossolanamente costante al loro interno, ma ampiamente variabile dall'uno all'altro.

Il fenomeno di erosione di fondo è caratteristica costante dei corsi superiori (montani) e degli altri settori acclivi delle aste nei corsi medi, nonchè dei regimi idraulici di piena; le erosioni delle sponde sono più proprie dei tronchi vallivi e di quelli intermedi a modesta pendenza.

E' agevole comprendere come l'analisi planimetrica delle aste, lo studio del loro profilo altimetrico e dell'assetto delle sezioni trasversali sia estremamente istruttivo nell'indagine territoriale che precede la progettazione stradale. I risultati sono trasferiti in cartografia tematica a varie scale (in funzione del grado di dettaglio dello studio e del fine che si prefigge, nonchè del grado di progettazione che esso intende supportare).

Quindi l'assetto generale del bacino, rappresentato a scala territoriale,

può essere completato con il rilievo e la costruzione del profilo longitudinale del fondo e/o delle “curve isometriche” (sia generali dell’intera asta di ordine maggiore, sia di dettaglio, relative ai suoi tronchi successivi a diversa pendenza media, sia infine dei sottobacini di ordine inferiore). Dette curve ipsometriche (o di Strahler) consistono in diagrammi recanti in ascissa il rapporto h/H ed in ordinata il rapporto a/A , ove:

- $h = h(s)$ è la quota relativa del fondo nelle diverse sezioni correnti rispetto a quella terminale; H il dislivello totale nel bacino;
- $a = a(s)$ è l’estensione del bacino imbrifero della sezione di riferimento; A è l’area totale del bacino.

La conformazione concava della curva di Strahler in un certo settore evidenzia la maturità ed il sostanziale equilibrio della morfologia del territorio nella zona di competenza; la forma convessa indica l’immaturità dell’assetto locale e la tendenza verso un nuovo stato di equilibrio: questo potrà essere conseguito in tempi più o meno rapidi, a seconda della resistenza geotecnica dei terreni presenti nell’area ristretta dell’alveo in quel settore.

L’elaborazione e l’analisi tecnica delle monografie dei corsi d’acqua è di straordinario ausilio all’indagine geologica e geomorfologica, nonché è foriera di indicazioni attendibili per il progettista, nell’esame comparativo fra direttrici alternative. La planimetria di dettaglio dell’alveo consente di individuare anomalie, tanto nella geometria d’asse del filone (ad esempio: settori direzionati secondo gli allineamenti di particolarità geologiche e/o tettoniche, zone di tortuosità ed anse, indicative di ristagni a monte di soglie, ecc.) quanto nell’assetto trasversale della corrente (ad esempio: convogliamento in gole ristrette, espansione in più filoni fino alla formazione di *patterns* intrecciati, ecc.).

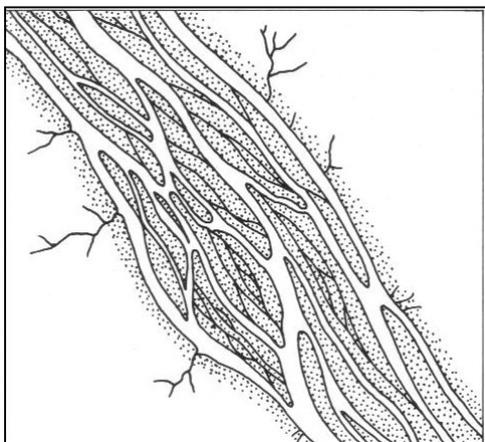


Fig. 3.16 Caratteristico pattern intrecciato

La carta tematica in parola, a scala commisurata al grado di progettazione cui afferisce, aggiunge alle indicazioni di carattere geologico e geotecnico un prezioso sussidio alla selezione di vincoli positivi per il tracciato del corpo stradale nei fondi valle (particolarmente per la scelta delle migliori condizioni di attraversamento o di collocazione in parallelismo all'alveo).

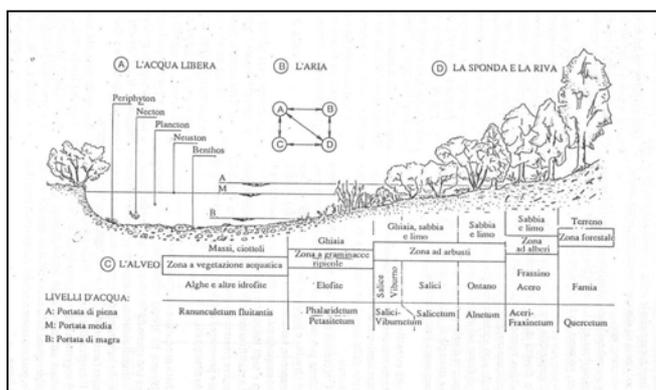


Fig. 3.3.18 Sezione trasversale tipica di corso d'acqua.

Il rilievo e la rappresentazione di particolari sezioni trasversali (fig.3.3.17), con l'indicazione della natura delle stratificazioni di depositi alluvionali presenti e del loro spessore (desunta da indagini geotecniche sulle alluvioni), nonché dello stato vegetativo delle sponde, forniscono indicazioni precise sulle prestazioni geotecniche dei terreni basali attraversati (evidenziandone l'eventuale difformità sui due versanti contrapposti), sulla stabilità delle pendici rispetto a possibili fenomeni di richiamo, del regime delle turbolenze della corrente e della storia idraulica dell'asta, in ordine alla successione di eventi di piena (erosivi) e di magra (depositivi), nonché ai livelli raggiunti nella storia recente dal pelo libero.

La descritta elaborazione, propria delle fasi avanzate della progettazione (quindi resa in scala dettagliata) è supporto indispensabile per le scelte strutturali per gli attraversamenti e per le protezioni del corpo stradale, nonché per la definizione di eventuali opere di mitigazione degli impatti e/o di stabilizzazione idraulica locale dei corsi d'acqua interferiti.

3.4 Fotointerpretazione.

L'osservazione di immagini fotografiche consente al progettista di acquisire una mole di informazioni utili sul territorio, da trasferire sulla cartografia tematica di cui si è trattato nel presente capitolo. Il punto di ripresa può essere terrestre o aereo, più frequente perchè di maggiore utilità; il materiale fotografico impiegato è (secondo le finalità della fotointerpretazione) pancromatico, all'infrarosso, a colori naturali o in falsocolore.

La osservazione può essere effettuata, secondo gli scopi che si prefiggono, in forma ordinaria o stereoscopica: ovviamente, per quest'ultima si ricorre ad un'ideale apparecchiatura ottica a specchi e/o prismi e si opera nella zona di sovrapposizione di una coppia; la visuale tridimensionale offre di norma una accentuazione della morfologia del modello, a causa di un ben noto fenomeno (geometricamente dimostrabile) denominato "errore di parallasse"; lungi dal rappresentare un limite, il suddetto errore (gestibile matematicamente attraverso il procedimento di Goodale per la determinazione del fattore di esagerazione verticale) giova agli scopi della fotointerpretazione qualitativa di cui ci occupiamo.

La quantità e la qualità delle informazioni estraibili dal procedimento di fotointerpretazione dipende da ragioni obiettive, prevalentemente legate all'affidabilità del materiale impiegato, e da capacità soggettive ed esperienza specifica dell'operatore.

Premesso che il massimo utilizzatore del metodo è il geologo (la cui prestazione specialistica travalica i limiti della presente trattazione), si indicano di seguito alcune applicazioni di speciale interesse per la costruzione delle carte tematiche e direttamente per la progettazione infrastrutturale, lungi dalla pretesa di esaurirne la casistica; molte volte la lettura presenta incertezze e suscita dubbi, che vanno risolti con indagini dirette nel corso di sopralluoghi.

- Per la costruzione delle carte delle emergenze urbanistico-territoriali e delle urbanizzazioni, l'esame di foto aeree non stereoscopiche, pancromatiche o (meglio) a colori, consente di localizzare le costruzioni interferenti con le ipotesi di tracciato e di valutarne anche la consistenza, lo stato di conservazione e l'estensione delle aree di pertinenza asservite. Queste ultime sono particolarmente importanti per gli impianti industriali o terziari (scolastici, alberghieri, sportivi, di rifornimento carburanti e ristoro, nodi di trasporto intermodali ecc.): sono infatti indispensabili per il loro funzionamento, essendo impiegate per lo stoccaggio di materie prime e prodotti (fase integrante del processo produttivo) e/o per parcheggi, carico e scarico. E' parimenti agevole distinguere le zone omogenee, agricole e naturalistiche, da salvaguardare nella loro unitarietà.
- L'osservazione della superficie esposta del suolo e della vegetazione, permette di discernere le zone ricoperte da *humus* da quelle a roccia affiorante, ove è più efficace la degradazione termoclastica e crioclastica.
 - La densità e le caratteristiche biologiche (rigogliosità) delle specie vegetali spontanee presenti, unitamente alla collocazione ed allo stato

vegetativo degli alberi di alto fusto, forniscono preziosi indizi sulla permeabilità delle coltri e sull'esistenza di affioramenti idrici, fratture e faglie; risulta rilevante per questi scopi la fase del ciclo vegetativo in cui è stata eseguita la ripresa: le informazioni più complete ed affidabili si ottengono dalle levate primaverili.

- ❑ Per la localizzazione di concentrazioni di umidità nella coltre e per l'individuazione delle falde superficiali e delle sorgenti è altresì prezioso l'impiego di materiale fotografico sensibile all'infrarosso.
- ❑ La stereoscopia delle zone pianeggianti o morfologicamente regolari è il mezzo più affidabile per l'osservazione di anomalie riferibili all'esistenza di manufatti sommersi a piccola profondità, anche d'interesse archeologico. Applicata a materiale fotografico all'infrarosso o a falsocolore, si giova anche della diversa capacità di assorbimento dell'irraggiamento termico (quindi della riflettanza), nella gamma di lunghezze d'onda dell'infrarosso vicino: denuncia, cioè, anomalie locali nella dislocazione delle masse a piccola profondità e nella loro proprietà di assorbire più lentamente e conservare più a lungo l'umidità; dette anomalie, inequivocabili se di forma regolare, sono associate spesso alla presenza nel sottosuolo di murature o di cavità.
- ❑ La visione stereoscopica è anche prezioso sussidio per la compilazione di tutte le carte tematiche della morfologia superficiale e dell'idrografia: essa fornisce un quadro d'insieme che è più utile della stessa osservazione diretta per cogliere anomalie e conformazioni morfologiche caratteristiche, che consentano l'individuazione, il riconoscimento e la perimetrazione delle zone di frana (anche di paleofrane, persino nel caso che queste siano state sottoposte successivamente ad erosioni superficiali e/o ad interventi antropici di ripristino), di cumuli e conoidi, di aree di intensa erosione.
- ❑ Per le carte della rete idrografica la visione stereoscopica non solo agevola l'individuazione del reticolo, ma evidenzia anche la profondità delle incisioni e lo stato delle sponde dei singoli tronchi. Il rilevamento delle anomalie planimetriche dei corsi d'acqua, anche di lieve entità, e delle ricorrenze negli orientamenti sono l'indizio principale di assetti sistematici d'ordine geologico, che talvolta distinguono versanti di diverse proprietà tecniche ed affidabilità.
- ❑ Il riscontro comparativo di foto aeree o (meglio) di coppie stereoscopiche eseguite a distanza di anni e/o in occasione di eventi di piena e di magra dei corsi d'acqua fornisce ulteriori informazioni sulle capacità geomorfiche dell'idrografia e sul regime dei trasporti solidi e dei depositi, significative per il *pattern* degli alvei.

