

# Dispense di studi geologici per i progetti di strade

A cura di V. Francani

[Vincenzo.francani@polimi.it](mailto:Vincenzo.francani@polimi.it)

## Indice

1	I PROBLEMI GEOAMBIENTALI DEI PROGETTI DI STRADE .....	2
2	FASE INIZIALE DI STUDIO .....	4
2.1	SUDDIVISIONE IN TRATTI.....	5
2.3	DINAMICA DEI VERSANTI .....	7
2.3.1	Frane .....	7
2.3.2	Processi evolutivi minori .....	9
2.4	PROSPEZIONI GEOGNOSTICHE .....	10
2.5	STUDI GEOFISICI .....	11
3	IL PROGETTO DELLA STRADA .....	12
3.1	SCELTA DEL PERCORSO.....	12
3.2	FATTIBILITÀ DEGLI SCAVI.....	13
3.2.1	Scelta del metodo di scavo.....	13
3.2.2	Scelta della sezione della carreggiata.....	14
3.2.3	Fondo strada e soprastruttura, raccolta e allontanamento delle acque .....	16
3.3	DRENAGGIO DELLE ACQUE SUPERFICIALI .....	17
3.3.1	Dreni superficiali .....	18
3.4	DRENAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	19
3.4.1	Muri .....	20
4	ALTERAZIONI AMBIENTALI.....	22

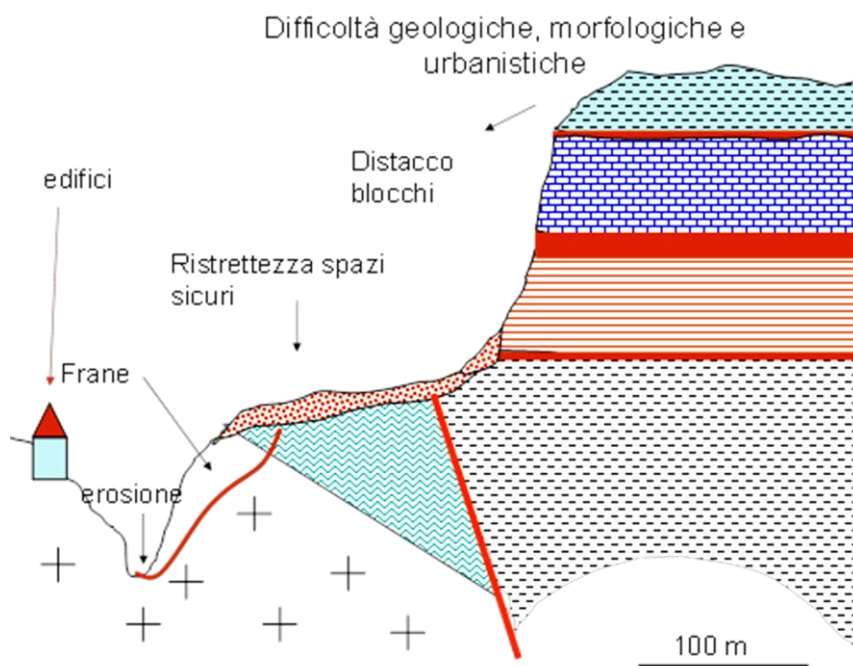
## **1 I PROBLEMI GEOAMBIENTALI DEI PROGETTI DI STRADE**

La progettazione delle vie di comunicazione ha un rilevante interesse nel campo dell'ingegneria ambientale, sia per l'impatto di queste opere sull'equilibrio dei versanti e sulla qualità dei suoli e delle acque, sia per i vantaggi che esse comportano per il territorio, se ben eseguite e progettate in funzione ambientalistica. La costruzione di nuove strade o l'ampliamento di quelle esistenti implica quindi molto spesso rilevanti problemi.

Questi sono connessi a numerosi vincoli, alcuni dei quali sono illustrati nella figura 1. La strada deve essere infatti costruita in modo da

- mantenere la stabilità dei versanti
- non produrre cambiamenti nella distribuzione delle acque piovane
- non determinare inconvenienti per la stabilità degli edifici costruiti
- potersi conservare a lungo senza eccessiva necessità di manutenzione.

Pertanto il progettista deve scegliere percorsi che evitino settori dei versanti nei quali la dinamica evolutiva delle forme del rilievo è eccessivamente rapida, e non garantisce ad esempio da fenomeni erosivi atti a scalzare il pendio sul quale si colloca la sede stradale. Sono inoltre da evitare i tratti nei quali la strada è esposta in modo eccessivo alla caduta di massi, o addirittura di frane.



**Figura 1 –Fattori influenzanti l' ubicazione della sede stradale**

Gli studi geologici risultano di particolare interesse per i progetti di strade, i quali comportano scavi, riporti e modifiche della rete idrografica. La progettazione di strade quindi presenta consistenti difficoltà di realizzazione in molti casi pratici. D'altra parte queste opere hanno un notevole impatto ambientale e sono, a loro volta, sottoposte a pericoli anche ingenti di frane o comunque di dissesti che sono in grado di ridurne la funzionalità. E' necessario che nel progetto si tenga conto in modo prioritario di tali aspetti; ci si limita qui ad elencarne alcuni che rivestono maggiore interesse:

- scelta del percorso planimetrico e della sezione altimetrica
- fattori limitanti le pendenze e le curvature
- fattori limitanti la dimensione degli scavi
- fattibilità degli scavi e dei riporti, anche in termini di costi
- opere di difesa dai dissesti
- drenaggi delle acque superficiali e sotterranee
- attraversamento dei corsi d'acqua
- opere di attenuazione dell'impatto ambientale
- opere di valorizzazione ambientale

Il progetto viene redatto da un gruppo di esperti delle diverse discipline (topografi, geologi, idraulici) coordinati da un progettista, al quale è demandata la scelta del tracciato e delle sue dimensioni e pendenze.

Il progettista deve compiere una analisi di rischio e una valutazione dell'impatto ambientale dell'opera.

Il direttore dei lavori dovrà provvedere all'organizzazione dei cantieri, alla sicurezza degli operatori, al rispetto della tempistica e al collegamento con gli altri cantieri per il rifornimento di materiale e di mezzi meccanici nei tempi dovuti. Il direttore dei lavori si raccorda sempre con il progettista e, dove necessario, ne richiede l'intervento per varianti del progetto quando gli eventi suggeriscano la necessità di correzioni.

Per questi motivi, al progetto di strade si accompagna sempre *un accurato studio geologico*, i cui contenuti possono così essere riassunti:

1. Rilevamento geologico-tecnico della strada (vengono dati in questa fase suggerimenti per l'infrastruttura e per la scelta del tracciato)
2. Identificazione dei rischi e segnalazione delle aree problematiche (scelta definitiva del tracciato)
3. Proposte di soluzione ( in collegamento con studio geotecnico) e indicazione delle cautele da adottare.
4. Eventuali varianti del progetto iniziale.
5. Valutazione d'impatto ambientale.

La fase iniziale comporta sempre l'esame della documentazione disponibile, quali carte geologiche scala 1:100.000 e sezioni geologiche pubblicate.

Successivamente, viene compiuta sul terreno una serie di sopralluoghi , in base ai quali vengono gettate le basi per la caratterizzazione tecnica dell'area in esame. Le fasi di lavoro sono riassunte nella seguente tabella.

**Tabella 1 – Sequenza di massima delle fasi di lavoro di un progetto stradale**

**SEQUENZA delle FASI di LAVORO**

**FASE INIZIALE**

- a. studi a tavolino sui dati disponibili
- b. sopralluoghi
- c. stesura di un rapporto preliminare e di un programma di lavoro sul terreno

**FASE ESECUTIVA PRELIMINARE**

- a. rilevamento geologico e geostrutturale, geomorfologia
- b. geofisica
- c. pozzetti, trincee e sondaggi
- d. prove di laboratorio
- e. rapporto finale

**FASE OPERATIVA**

- a. controlli e monitoraggi durante gli scavi e la costruzione

## **2 FASE INIZIALE DI STUDIO**

Oltre ai dati geomorfologici, climatici e idrologici, viene eseguito il rilevamento geologico, che dai geologi, ma viene impostato e seguito dai progettisti, che ne prendono diretta visione controllandone in loco i risultati o partecipandovi direttamente, di solito include:

1. **idoneità del sito** al progetto in esame (prima fase)
2. **caratteri tecnici** di suoli e rocce => valutazioni delle condizioni del suolo e della copertura (che generalmente comporta il prelievo di campioni e analisi geotecniche di laboratorio) e identificazione della superficie del substrato roccioso (la cui profondità è di particolare importanza) e dei suoi caratteri tecnici (seconda fase)
3. potenziali difficoltà per l'esecuzione del progetto e loro discussione in una **relazione geologica** (terza fase), che costituisce il documento progettuale di base.

I costi del rilevamento variano molto, ma si possono esprimere in percentuale rispetto al costo totale del progetto. In generale lo studio geologico e geotecnico comportano spese dell'ordine dello 0,5 % del costo dell'intero progetto.

Il principio fondamentale del rilevamento geologico è che le prove e gli studi devono essere continuati fino ad assicurare una conoscenza dei terreni sufficiente a garantire il successo e la sicurezza dell'opera progettata.

Si deve tenere presente che il rilevamento potrebbe anche costare il doppio del previsto, cosa che non porterebbe in generale ad un costo superiore all' 1% di quello dell'intero progetto; tuttavia una erronea valutazione delle caratteristiche del sottosuolo determinerebbe costi superiori al 10 % dell'intero progetto.

Le indagini geologiche entrano nella fase di progettazione e nella realizzazione.

## 2.1 SUDDIVISIONE IN TRATTI

Il primo approccio allo studio di un progetto, per quanto attiene gli aspetti geologici, è costituito dall'esame della documentazione esistente. La prima fase dello studio geologico consiste quindi nella raccolta di bibliografia geologica da Biblioteche e Istituti Universitari, fotografie aeree da Società specializzate e Uffici Cartografici Regionali, cartografia topografica a scala di dettaglio, stratigrafie di pozzi per acqua, prove penetrometriche (da Comuni, Regioni, Genio Civile, Perforatori), cronologia degli eventi franosi e alluvionali che hanno interessato l'area (informazioni presso Comuni, Regioni, Documento del Piano di Governo del Territorio).

Infine, parte fondamentale di questa prima fase è l'esame in sito del tracciato stradale da proporre, se non esistente, o da allargare e modificare, se già in essere.

Conseguenza di questa prima fase di indagine è un rapporto geologico, che viene redatto suddividendo il percorso in tratti che si differenziano per le problematiche di scavo, di sostegno e di messa in sicurezza della manodopera e dei versanti, che sono condizionate dalle caratteristiche idrogeologiche e geologico-tecniche riscontrate nel corso degli accertamenti.

Nella scheda successivamente riportata (Tab. 2), le prime operazioni da compiere sono quelle comprese nei primi tre punti.

Ad esempio nella figura 2 si osserva come il tratto di strada sia suddiviso in cinque tratti minori, ciascuno con problematiche geologico-tecniche e idrogeologiche diverse: compare un tratto in calcari, uno in morene e detriti, un altro in calcari, uno con attraversamento di una valle secca, uno con attraversamento di una valle percorsa da un corpo idrico.

Il tratto più pericoloso è quello nella valle con acqua, perché possiamo avere fenomeni di frana accompagnati da alluvionamento; quello più infido invece è quello con la valle secca, perché possiamo avere, inaspettatamente, gli stessi fenomeni della valle con il torrente.

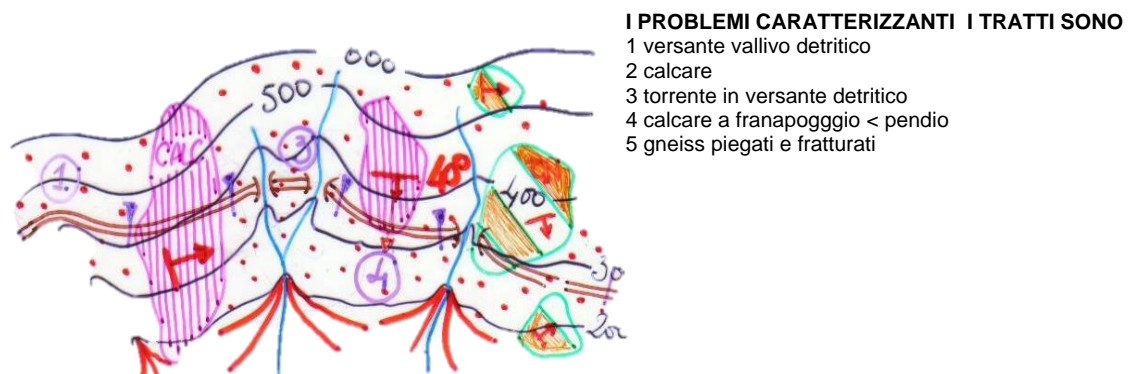


Figura 2 –Suddivisione di tratti omogenei dal punto di vista dei problemi geologico-tecnici

La suddivisione in tratti omogenei è fatta in base alla litologia e ai problemi che essa comporta. Per ogni tratto, si provvede ad eseguire lo studio della dinamica dei versanti, la caratterizzazione tecnica e le prospezioni geognostiche necessarie che fanno parte della seconda fase. Lo schema complessivo delle indagini risulta nella seguente tabella.

**Tabella 2 – Sequenza di massima della prima fase di progettazione**

<b>PRIMA FASE : FASE DI STUDIO</b>		
<b>OPERAZIONE</b>	<b>INDAGINI DA COMPIERE</b>	<b>SCOPI E MODALITA' DA SEGUIRE</b>
1. Rilevamenti geologici 2. Fotogeologia	Carta geologica	Identificazione di litologia, caratteristiche delle formazioni, localizzazione delle rocce deboli, depositi glaciali, detriti, corpi di frana e paleofrana, zone di frattura, ricostruzione della tettonica e delle faglie
	Campionamento	Prelievo di campioni per analisi di laboratorio, indicando lo stato di alterazione e il punto esatto di raccolta. Se il campionamento viene eseguito con sondaggi meccanici, deve essere indicata la profondità
3. Geomorfologia	Carta dei dissesti	posizionamento delle frane, predisposizione di schede per ogni frana, con delimitazione cartografica, identificandone tipologia, stadio evolutivo, cause e rimedi necessari
<b>INDAGINI PROGETTUALI SPECIFICHE PER OGNI TRATTO</b>		
3/bis . per ogni tratto studio della dinamica dei versanti		
4. Studio geostrutturale	Diagrammi strutturali, delimitazione zone di frattura e alterazione, stato di alterazione, qualità della roccia con correzioni Bieniawski o Romana	2.2 Test Markland, prove speditive (martello Schmidt, point load strenght test, pettine Barton ) tilt test, RQD, stato delle discontinuità
5. Studio copertura	Origine, spessore e granulometria dei depositi superficiali	
6. Idrogeologia	Esame venute d'acqua e delle sorgenti, loro posizionamento	- Ricostruzione del circuito delle acque sotterranee - Valutazione dell'entità delle riserve idriche - Rapporti con la rete di superficie
7. Analisi di laboratorio	Granulometria, coesione, res.taglio, attrito, limiti, res.compr.unisassiale	Caratterizzazione tecnica

8. Prospezioni geognostiche	Geofisica (Elettrica, Sismica, Radar)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Spessore copertura (Sism.)</li> <li>2. Andamento tetto e resistenza substrato (Sism.)</li> <li>3. Livelli argillosi (Elet.)</li> <li>4. Presenza acqua (Elet.)</li> <li>5. Cavità (se superficiali con GPR, altrimenti con geoelettrica e/o geosismica)</li> </ol>
	prove penetrometriche	Identificazione dello stato di addensamento
	Sondaggi e prelievo di campioni in profondità	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificazione strutture e livelli deboli profondi</li> <li>2. Venute d'acqua</li> </ol>
<b>FASE OPERATIVA: ASSISTENZA AL PROGETTO E AI LAVORI DI CANTIERE</b>		
Individuazione dei pericoli	Consolidamento e messa in sicurezza in fase di avanzamento	Protezione stabilità e operatori
Drenaggi superficiali e profondi	Indicazione delle aree da drenare	Proposta interventi (da richiedere a esperto idraulico e idrologo)
Scavi	Analisi di stabilità dei versanti, da demandare a geotecnici	Proposta dei rimedi (da richiedere a esperto geotecnico)

Terminata la fase di studio, come previsto dallo schema riportato in tabella, viene deciso un tracciato preliminare e si passa alla fase di progettazione vera e propria.

## 2.3 DINAMICA DEI VERSANTI

Vengono esaminati tutti i sintomi di processi evolutivi in atto dei versanti, che sono sintetizzati in apposite cartografie.

### 2.3.1 Frane

Nella figura 3 sono indicate le possibili evidenze morfologiche della presenza di dissesti.

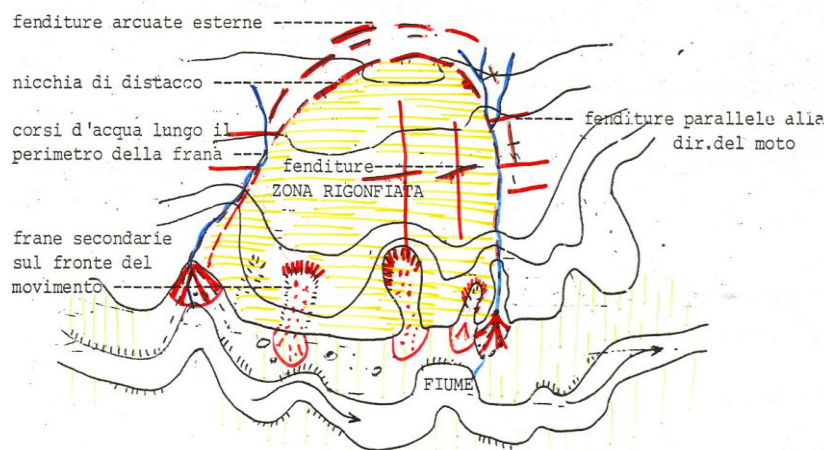


Figura 3 –Morfologia di un dissesto in fase di evoluzione avanzata

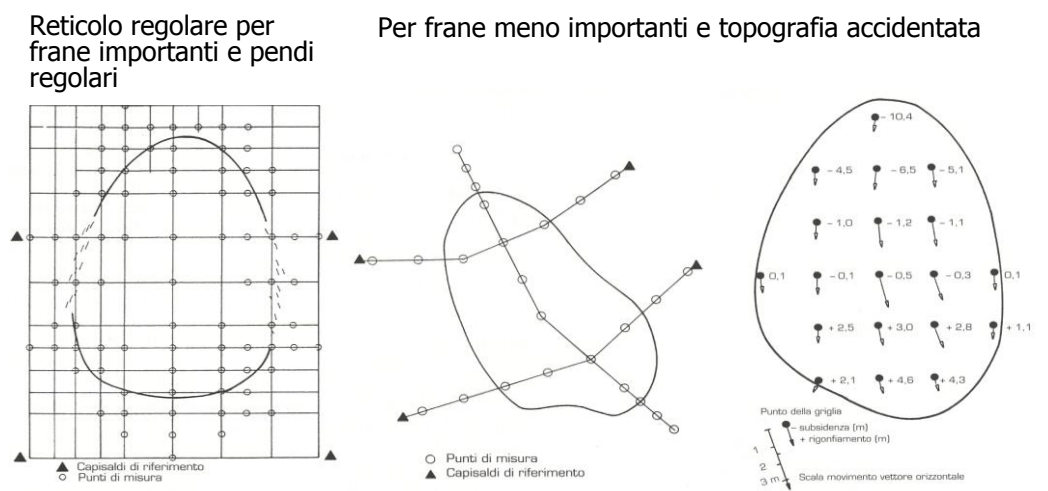
Delle frane individuate, è necessario definirne la dinamica.

Per ricostruire il cinematismo dei dissesti vengono effettuate indagini profonde che consentono di avere la misura dell'entità, direzione e verso dei movimenti superficiali nelle diverse porzioni dei corpi di frana e una stima dell'evoluzione di tali movimenti nel tempo, anche in relazione alle possibili cause scatenanti. Contemporaneamente, vanno eseguiti gli accertamenti geognostici di superficie: completamento dello studio geomorfologico tramite fotogeologia, rilevamento geologico, studio geo-strutturale

Vanno soprattutto identificati e cartografati con precisione:

- le nicchie di distacco principali e/o secondarie, gli eventuali indicatori cinematici che suggeriscono il senso di movimento (strie, gradini di calcite, ecc.);
- le fessure longitudinali e/o trasversali;
- le zone depresse;
- i segni di rigonfiamento, le aree di accumulo

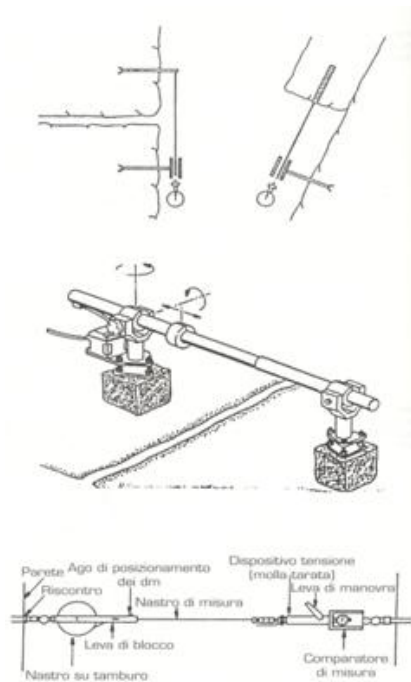
**Il rilevamento topografico dei movimenti è effettuato mediante il posizionamento di capisaldi topografici**, i cui spostamenti sono misurabili tramite rilevamenti eseguiti con GPS o con teodoliti, e permette di visualizzare le modificazioni plano-altimetriche dei versanti. (Figura 4)



**Figura 4 –Rappresentazione rilevamenti topografici**

Si prosegue con il posizionamento degli strumenti di misura dell'evoluzione delle discontinuità (estensimetri in particolare per valutare il progredire dell'apertura delle fessure nel terreno).

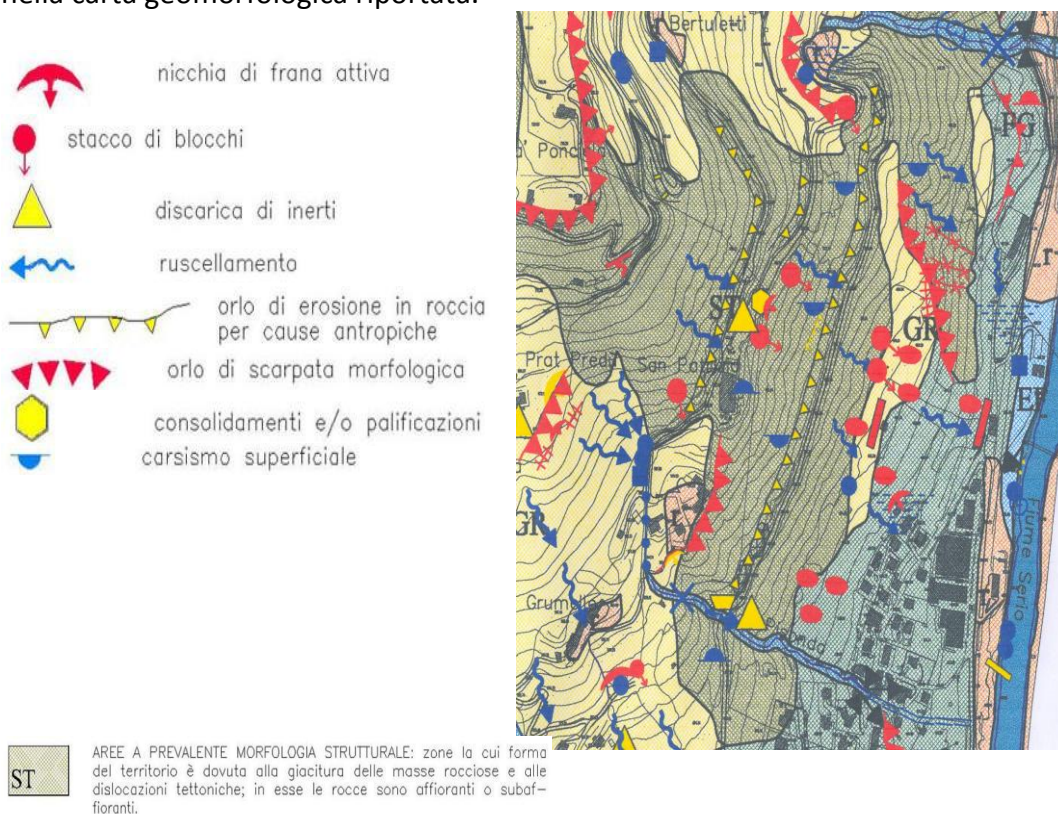




**Figura 5 Esempi di installazione di estensimetri per la misura di aperture e scorrimenti lungo una superficie di discontinuità (in alto); Estensimetri per la misura dello spostamento nelle tre direzioni; Distometro a nastro per misurare l'entità degli spostamenti nelle direzioni principali (in basso).**

### 2.3.2 Processi evolutivi minori

Oltre alle frane, i principali elementi oggetto di censimento e cartografia, sono quelli rappresentati nella carta geomorfologica riportata.



**Figura 6 –Carta geomorfologica**

Il tipo, il numero e l'ubicazione delle indagini necessarie allo studio di un dissesto devono essere decisi successivamente e in base ai dati emersi dai rilievi superficiali.

## 2.4 PROSPEZIONI GEOGNOSTICHE

Esse sono finalizzate al riconoscimento della natura e delle proprietà geomeccaniche dei materiali coinvolti nel movimento e alla stima del volume dei materiali stessi attraverso il riconoscimento della superficie di movimento.

Le indagini profonde consentono, inoltre, di misurare l'entità, la direzione e il verso dei movimenti dell'ammasso di frana alle varie profondità e nel tempo, nonché di determinare le pressioni interstiziali all'interno dell'ammasso. Vengono quindi eseguiti sondaggi, con eventuali prove penetrometriche, e nei fori di sonda possono essere installati piezometri per la misurazione dei livelli di falda. Il piezometro può essere munito di estensimetro, per valutare l'esistenza di spostamenti nel terreno. Il sondaggio è destinato soprattutto alla raccolta di campioni dei terreni attraversati da sottoporre a indagini geotecniche, ma si approfitta di queste perforazioni per eseguire ogni tipo di prova si renda utile: dall'RQD alle prove di permeabilità in foro. Sulle terre vengono eseguite prove :

- Granulometriche
- Edometriche
- Di resistenza al taglio
- Di permeabilità e di risalita capillare in diverse condizioni di umidità

Vengono anche studiati i più idonei materiali per i rilevati .Su asfalti , bitumi e calcestruzzi sono eseguite:

- Analisi chimiche
- Resistenza meccanica (duttilità, resistenza al taglio, alla flessione e alla rottura)

Le prove vengono certificate da Laboratori stradali autorizzati.

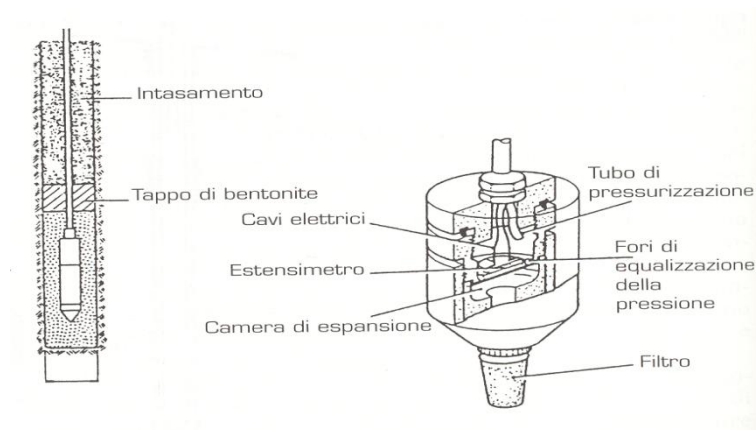


Figura 7 –Piezometro

Nei sondaggi la raccolta di carote consente spesso di identificare le superfici di rottura, che presentano marcati segni di movimento reciproco delle parti di roccia coinvolte. E' comunque consigliabile l'inserimento nei fori , di sonde inclinometriche.

**Gli inclinometri** rivelano infatti la profondità della superficie **di rottura** e lo **spostamento** del terreno.

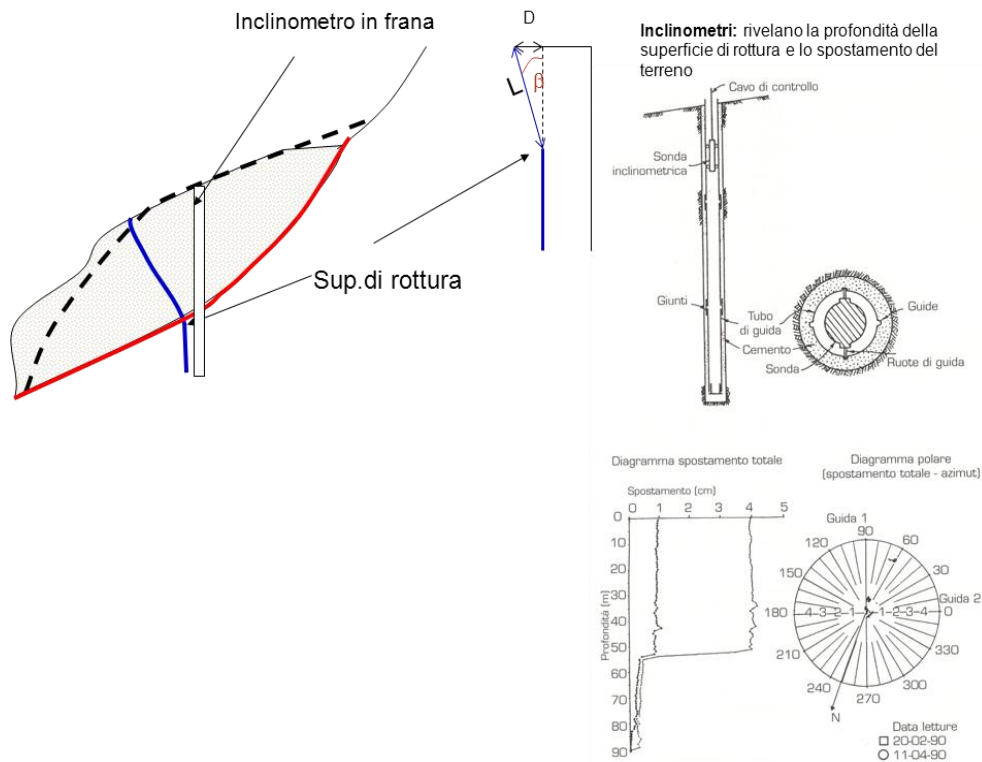


Figura 8 –Inclinometri

Gli inclinometri danno l'entità degli spostamenti sulla base della relazione

$$D = L \sin b$$

dove  $L$  è la lunghezza del tratto percorso dallo strumento con inclinazione  $b$ ; la loro funzione maggiore è quella di permettere di identificare la profondità della superficie di rottura principale, oltre la quale non vi sono altre superfici di movimento attuale della frana.

Nel foro di sonda viene inserito l'inclinometro, un tubo dotato di due scanalature che seguono due generatrici verticali del cilindro. La sonda inclinometrica, dotata di uno strumento registratore degli scostamenti dalla verticale (definite come un angolo  $\beta$ ), ha due coppie di rotelline laterali che entrano nelle scanalature.

La discesa della sonda lungo il tubo inclinometrico all'inizio non presenta scostamenti dalla verticale. Ogni volta che lo si ritiene opportuno (ad esempio ogni tre mesi) viene fatto discendere nuovamente lo strumento che annota su un grafico (curva inclinometrica) gli scostamenti dalla verticale.

Sul grafico, riportato nella figura 8, si nota che con il passare del tempo l'inclinazione aumenta: la si legge infatti sulle ascisse del grafico come spostamento in cm rispetto alla posizione iniziale.

La profondità della superficie di rottura corrisponde al punto di passaggio dalla massa in movimento (la cui deformazione generale gli scostamenti dalla verticale) alla massa ferma (scostamento zero) e si legge con immediatezza sul grafico in quanto corrisponde a un gradino molto marcato (in basso nel grafico).

## 2.5 STUDI GEOFISICI

Uno studio geofisico, in specie se condotto con l'ausilio della geosismica, darà luogo alla misurazione indiretta dei parametri elastici dei corpi rocciosi coinvolti nella frana, e di procedere a una prima delimitazione della profondità del movimento in base alla ripartizione delle velocità

sismiche dei diversi livelli; le rocce in frana corrispondono a quelle con velocità **anormalmente bassa** .

La geofisica consente senza costi eccessivi di visualizzare lungo i settori di interesse l'eventualità di condizioni critiche per la debolezza della roccia o la presenza di acqua (in questo caso è di particolare utilità la geoelettrica) integrando la visione solo puntuale che danno i sondaggi, e agevolando la stesura di sezioni geologiche soddisfacenti.

### **3 IL PROGETTO DELLA STRADA**

Sulla base delle indagini, alla luce dei risultati ottenuti , si provvede alla vera e propria progettazione .

#### **3.1 SCELTA DEL PERCORSO**

La scelta del tracciato deve rispondere a caratteristiche geometriche come pendenza, raggio di curvatura, larghezza della sede stradale in funzione al tipo di strada che si ha in progetto (strada comunale, provinciale, statale, etc.) ,deve inoltre inserirsi nel territorio e quindi dipende dalla natura geologica dell'area interessata.

Si distinguono tre tipologie di strade : strade di pianura, strade in aree montuose e strade in aree prealpine.

Il tracciato nelle aree montane può essere condizionato da vari fattori geologici e morfologici; sotto questo aspetto, i percorsi sono solitamente misti, dovendo congiungere punti che sono situati in condizioni morfologiche diverse. In questi casi, conviene scegliere tracciati con prevalenza di una condizione morfologica particolare, secondo gli obiettivi che si vogliono raggiungere e i pericoli che le diverse soluzioni presentano. Le possibili scelte sono tra:

- tracciato di cresta
- tracciato di mezza costa
- misto

Nel primo caso, si hanno i vantaggi di una maggiore stabilità nell'attraversamento di formazioni franose, ma vi sono alcuni inconvenienti che derivano dalla ventosità, dai continui saliscendi, dalla minore disponibilità di spazio per curve ad ampio raggio, dalla permanenza spesso prolungata di neve, e (per quanto riguarda gli aspetti geologici) lo stato di alterazione e fratturazione delle rocce, maggiormente soggette al gelo.

Nel secondo caso, si hanno notevoli svantaggi dal fatto di dover spesso ricorrere a scavi in formazioni poco stabili, che richiedono interventi di messa in sicurezza e drenaggio e rallentamento dei lavori, dall'esposizione alle frane, all'erosione delle acque superficiali, ai passaggi su corsi d'acqua, alla caduta di detriti. I vantaggi risiedono nella buona protezione dal ghiaccio e dalla neve e dal vento.

Le soluzioni miste sono quindi quelle preferibili, dove sia possibile operare la scelta.

La scelta del tracciato deve seguire, come si è detto, alcuni criteri di logica nel rispetto della sicurezza e dei costi, dei quali si espongono quelli che più dipendono dalla morfologia e dalla geologia.

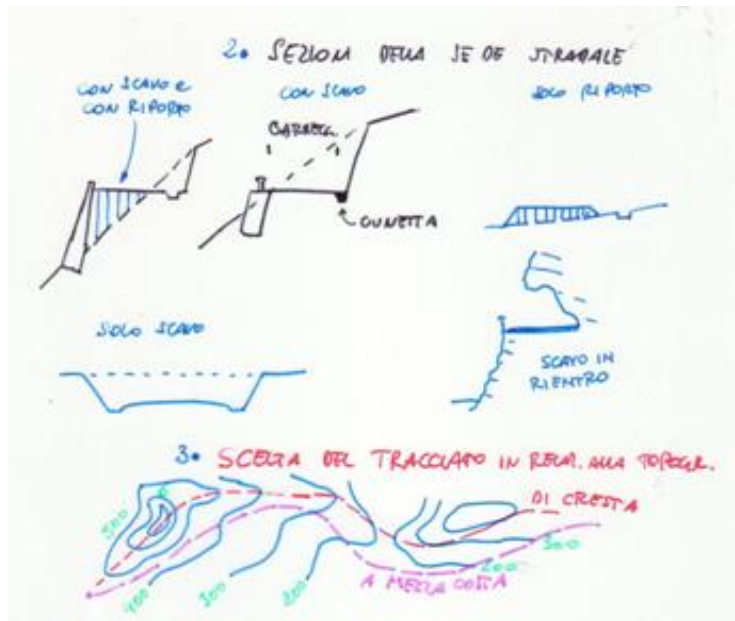


Figura 9 –Sezioni sede stradale e scelta del tracciato

1. Deve essere evitato ogni tracciato che sia impostato lungo dislocazioni importanti o zone di frattura e debolezza della roccia, specialmente se queste sono ravvicinate al pendio e questo è molto scosceso. In queste condizioni, infatti, il passaggio di automezzi promuove talora deformazioni della parte di valle che possono portare a franamenti. E' quindi conveniente attraversare ortogonalmente tali zone di debolezza della roccia, così da abbreviare nei limiti del possibile l'estensione del tratto a rischio, sistemando il versante e consolidando la roccia debole. Il tracciato deve essere condotto in modo da evitare duplicazioni dei pericoli (ad esempio "grappoli di tornanti") in questi tratti particolarmente impegnativi.
2. E' opportuno seguire analoghe cautele nell'attraversamento di falde di detrito, depositi glaciali di versante, terreni con caratteristiche geotecniche scadenti o saturi d'acqua a piccola profondità.
3. Conviene superare le zone franose, senza appoggi diretti sulla roccia instabile, oppure allontanandosene risalendo a monte quanto basta per trovare roccia stabile che non presenti sintomi di deformazione

## 3.2 FATTIBILITÀ DEGLI SCAVI

Si dovrà innanzitutto scegliere il metodo di scavo, e la forma della sezione della carreggiata, che spesso è condizionata da fattori geologici.

### 3.2.1 Scelta del metodo di scavo

Quando la roccia è scarsamente fratturata e non vi sono sintomi di possibili movimenti franosi, è possibile aprire lo scavo con esplosivi. Per la loro applicazione sussistono vincoli di costo: gli esplosivi hanno infatti costo elevato e necessitano di una sapiente indagine preliminare per poter abbattere nel migliore dei modi la roccia senza produrre danni al versante.

Tali metodi possono produrre effetti devastanti, quando la roccia è franosa: spesso grandi frane sono state innescate da un incauto avanzamento che ha aperto fronti di scavo alti e a elevata pendenza. E' pertanto indispensabile accertare con uno studio geologico che non vi siano movimenti franosi che possono essere innescati con il taglio del versante tramite esplosivi.

Quando la roccia non è integra, o è costituita da terreni poco coesivi, si impiegano metodi meno costosi, con l'utilizzo di scarificatori (rippers), bracci meccanici con uno o due denti che incidono fino a 80 cm-1 m la compagine del terreno e lo portano sulla traccia stradale già aperta, dove una



benna dalla capacità di 0,8 – 1,5 m<sup>3</sup> lo porta ai mezzi di trasferimento verso i luoghi di scarica o di utilizzo.

I rippers si adattano a molti tipi di terreno, purchè poco compatti (in questi terreni le prove geosismiche possono dimostrare che la velocità delle onde principali non supera 1.8 – 2 km/s) fra i quali flysch, arenarie argillose, scisti alterati, calcari fratturati, ardesie alterate, depositi glaciali, conglomerati poco cementati.

Queste attrezzature non sono in grado di asportare le argille e lavorano male anche con le marne che non siano in scaglie.

Le terre sciolte possono essere scavate anche a mano o con semplici benne.

Lo scavo in questi terreni deve essere preceduto da prove geotecniche e da un esame geologico del terreno. Le prove geotecniche si rendono necessarie in quanto le dimensioni e le pendenze degli scavi sono assoggettate ai vincoli derivanti dall'altezza critica propria dei terreni, e dalle pendenze limite proprie dei diversi tipi di terreno (es. indicativamente per le ghiaie 45°, per le sabbie 35°), che vengono attribuiti in base a speditive classificazioni o a prove di laboratorio (granulometrie, prove edometriche, prove di taglio). Le indagini geologiche sono invece fondamentali per verificare se l'area presenta sintomi di movimenti franosi, il cui collasso definitivo può dipendere dall'apertura dello scavo stesso.

Quando la realizzazione del progetto implica l'attraversamento di un'area franosa, descritta nello studio geologico, deve essere effettuato il consolidamento del versante prima di iniziare lo scavo. Precauzioni analoghe devono essere adottate in presenza di massi instabili.

### **3.2.2 Scelta della sezione della carreggiata**

Deve inoltre, volta per volta, essere scelta la sezione della strada, che potrà essere :

- totalmente in rilevato (solo riporto) con cunetta laterale
- parzialmente in scavo, senza riporto laterale
- in scavo da un lato e dall'altro con riporto
- in trincea
- scavo con rientro in roccia
- scavo con protezione artificiale
- gallerie

Le scelte devono essere fatte sia in funzione della geometria del tracciato, delle curvature e delle pendenze, sia delle difficoltà naturali incontrate.

Le sezioni totalmente in rilevato si adattano bene ai tracciati interessati da falda a piccola profondità e a possibilità di alluvionamento, in quanto il rilevato impedisce alle acque sotterranee e superficiali di interessare la struttura della strada per risalita capillare o di sorreggerla, provocando così gravi danni.

Le sezioni in trincea si adattano talora alle condizioni di cresta, e richiedono particolare attenzione a evitare il superamento delle altezze critiche, gli affioramenti della falda; talora, per la pendenza delle ripe e per la loro altezza, si preferisce gradonare il pendio escavato.

L'avanzamento avviene con diverse tecniche, ad esempio con attacco laterale, o a gradini, o avanzando con percorsi via via più approfonditi lungo tutto il tratto.

d) **ATTACCO A GRADONI**

Viene realizzato sia nel senso longitudinale che trasversale (fig. 531). In quest'ultimo caso, per ogni taglio la lama dell'apripista o dello skraiper viene spostata di quel tanto che occorre per dare alla scarpa della trincea la pendenza voluta (fig. 530 a, b, c, d).

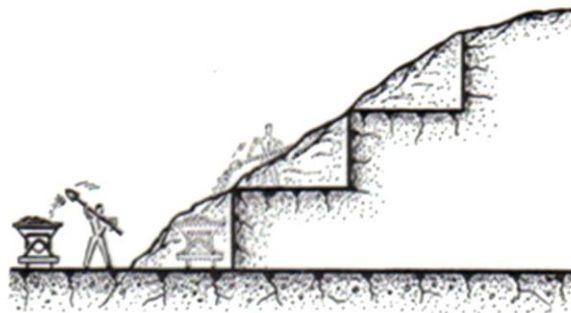


Fig. 531.

e) **ESECUZIONE A STRATI**

L'attacco del terreno avviene secondo strati inclinati variabili dalle possibilità di lavorabilità che ha la macchina anche in relazione alla natura delle terre (figg. 532 a e 532 b).

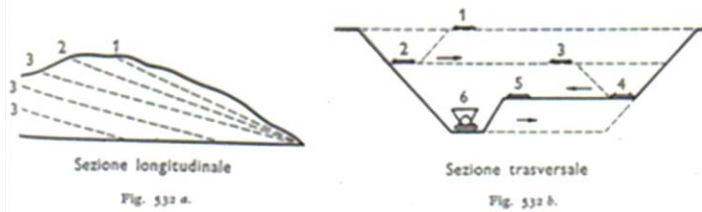


Figura 10 –Profilatura: a) a gradoni; b)a strati

Le soluzioni che prevedono lo scavo parziale sono tipiche delle aree montane, dove la ristrettezza dello spazio pianeggiante obbliga ad allargare la strada verso valle tramite la posa in opera di una copertura superficiale ottenuta per lo più dall'abbattimento o dall'escavazione del terreno in sito. I riporti si potranno fare solamente dove il terreno del versante si dimostri adatto a sopportare il sovraccarico, e nei siti in cui la pendenza dei versanti non sia eccessiva.

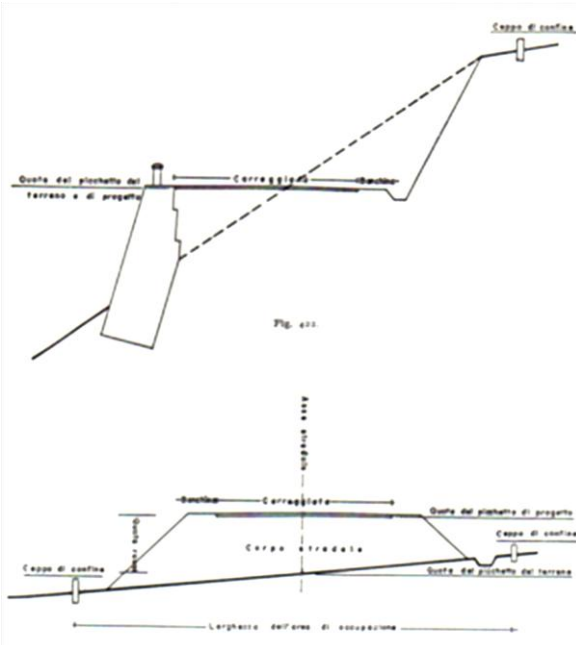


Figura 11 –Profilo a mezza costa o in rilievo

Gli scavi parziali con rientro, che comportano il fatto che la parete rocciosa viene a trovarsi in parte foggata ad arco (semi-galleria naturale) richiedono particolare attenzione, in quanto si possono facilmente generare crolli della roccia escavata lungo superfici di frattura messe allo scoperto dallo scavo.

Quando questo tipo di soluzione viene adottata per proteggere la via di comunicazione dalla caduta di massi quando le condizioni naturali, in particolare il buono stato della roccia, lo consentono; quando la roccia non dà garanzie, si deve costruire una semi-galleria artificiale, sulla quale viene disposta una copertura di ciottoli, terriccio, integrata da una piantumazione ai fini di ridurre il pericolo di crolli sulla carreggiata.

Quando la necessità di proteggere la sede stradale da frane e cadute massi non può essere soddisfatta altrimenti, si ricorre a gallerie in roccia o a gallerie artificiali, che verranno discusse in altra parte del testo.

E' buona norma attenersi al principio della prudenza nell'avanzamento in tratte in cui lo studio geologico abbia segnalato possibili dissesti; se le cautele vengono a mancare, i rischi diventano molto elevati .

### 3.2.3 Fondo strada e soprastruttura, raccolta e allontanamento delle acque

Il terreno naturale sul quale viene impostata la soprastruttura stradale, viene scavato, livellato e rullato, in modo da fargli assumere una buona compattezza e omogeneità. Si osserva, altrimenti, una tendenza alla deformazione di tutta la soprastruttura.

Su di esso si depongono successivamente:

- un livello granulare o misto sabbia-ghiaia di buona permeabilità, addensato in modo da presentare il minor numero possibile di discontinuità aperte,
- su di esso viene steso uno strato di collegamento in bitume o di cemento o di calcestruzzo (binder),
- un livello di usura in conglomerato bituminoso.

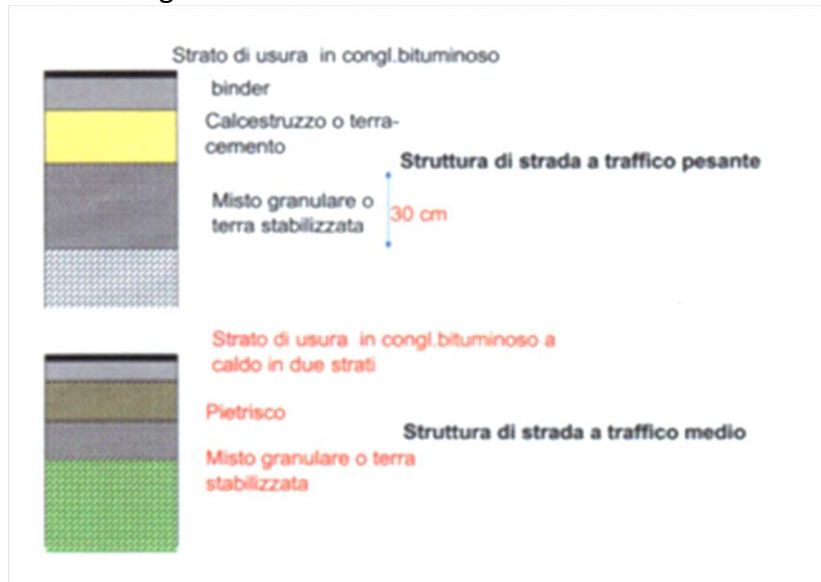


Figura 12 –Tipi di pavimentazioni stradali

Il livello di base deve essere il più possibile omogeneo per evitare che i carichi diano luogo a cedimenti differenziali della sovrastruttura. Al fine di ottenere i migliori risultati, questo livello subisce un trattamento di stabilizzazione con diversi composti, che vanno dal cloruro di calcio al bitume, a seconda delle esigenze.



Lo spessore dei diversi strati viene scelto in funzione delle finalità della strada e delle condizioni naturali; ad esempio il livello di base granulare avrà uno spessore tanto maggiore quanto maggiore è la possibilità che al contatto con il fondo naturale si formino veli d'acqua che, per risalita capillare e successivo ghiacciamento, possono fessurare o deformare i livelli soprastanti. Importanza fondamentale è rivestita dal sistema di drenaggio e allontanamento delle acque superficiali e sotterranee (figure 13, 14). Per le acque di pioggia, si utilizza il metodo di lasciarle defluire in canalette disposte parallelamente alla sede stradale e convogliarle in luoghi sicuri con tombinature passanti anche sotto la strada. Queste opere vanno accuratamente dimensionate, in funzione delle precipitazioni e dell'ampiezza del bacino di raccolta, come più oltre indicato, per non dare luogo ad allagamenti della sede stradale o a erosioni sul versante a valle.

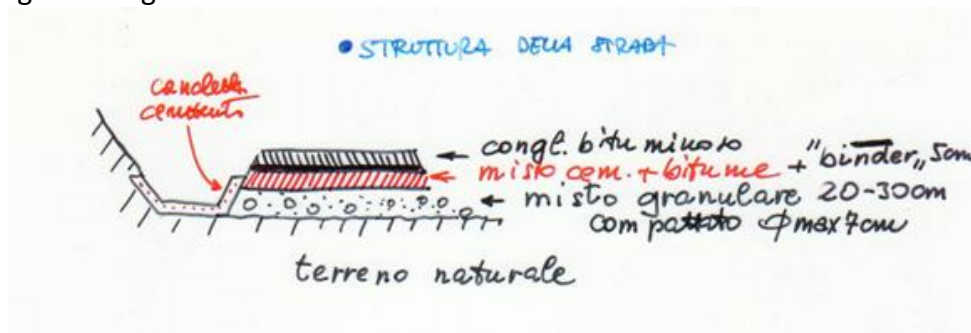


Figura 13 –Drenaggio delle acque della sede stradale con canaletta stradale

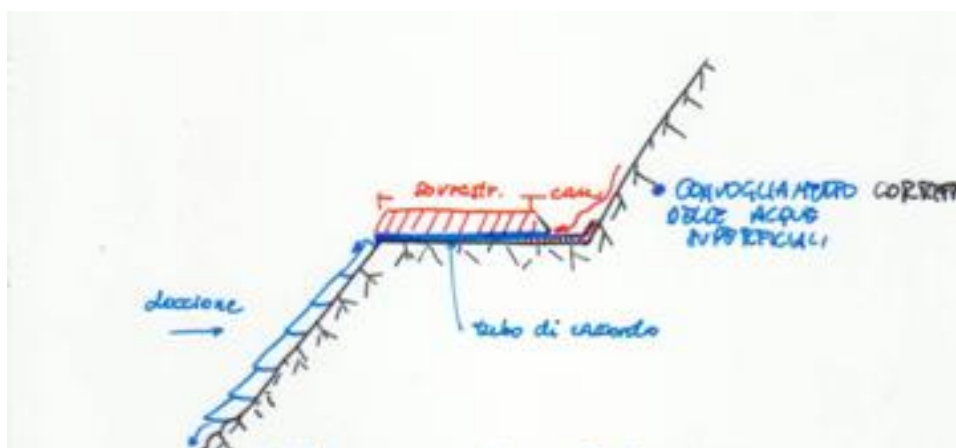


Figura 14 –Drenaggio delle acque della sede stradale

### 3.3 DRENAGGIO DELLE ACQUE SUPERFICIALI

Nel capitolo riguardante le acque sotterranee, verranno esposti gli aspetti che riguardano gli effetti della circolazione idrica in roccia sulle strade. In questi paragrafi si espongono brevemente i criteri – guida da seguire per le opere di drenaggio.

Il corpo stradale produce l'effetto di raccogliere e incanalare rilevanti volumi di acque superficiali che scorrono sul versante, finendo per convogliarle lungo le cunette laterali e le tombinature verso recapiti idonei. Se i punti di fuoriuscita delle acque dalle canalette non sono abbastanza frequenti, esse ne esondano e invadono la sede stradale e i versanti sottostanti, con rischi anche gravi.

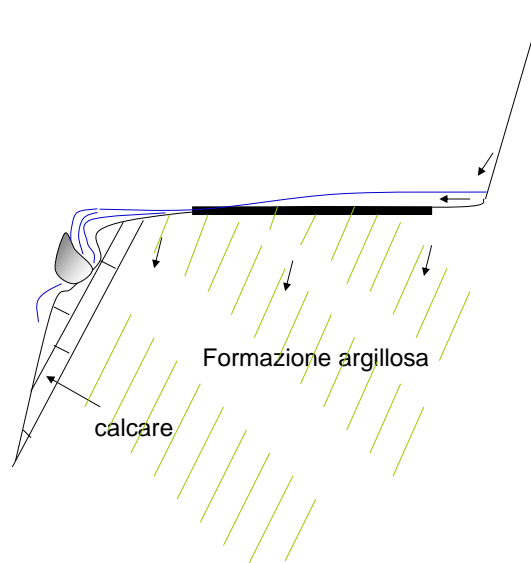
Si realizzano infatti solchi di erosione e frane che coinvolgono i terreni superficiali, in specie quando questi sono argillosi e limosi.

Tale scorrimento superficiale non si limita al trasporto di acqua, ma anche di limi e sabbie in sospensione, e durante le maggiori piogge anche di ciottoli e ghiaia.

I punti nei quali due strade a mezza costa si vengono a incontrare determinano, come le confluenze fra corsi d'acqua, rilevanti aumenti di portata nelle canalette, che devono essere previsti, in modo che siano evitati gli accumuli di detriti, le esondazioni dalle cunette laterali e i fenomeni di erosione accelerata e di frana che ne possono conseguire.

Si deve quindi eseguire uno studio idrologico che accerti l'entità delle acque che affluiscono alla sede stradale nel corso delle piogge, e gli si deve accompagnare un'indagine geologica che determini i punti ideali per lo smaltimento delle acque incanalate, che corrispondono ad avvallamenti in roccia non alterata.

Le acque sotterranee devono essere eliminate quando incidono sulla stabilità del pendio e della sede stradale con opportune opere dal momento che possono creare instabilità come evidente nella seguente Figura 15.



**Figura 15 –Possibile scalzamento dovuto alla mancanza di drenaggio**

In questo esempio il mancato drenaggio produce la saturazione dell'argilla e favorisce lo scivolamento del calcare. Inoltre aiuta lo scalzamento dei massi instabili

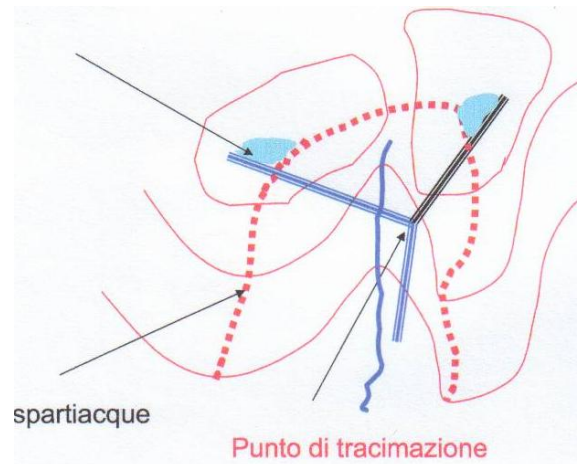
### **3.3.1 Dreni superficiali**

L'importanza dei dreni superficiali è molto grande. Infatti le strade tendono a unire bacini idrografici separati, producendo in alcuni punti la convergenza delle acque drenate da vaste aree, anche esterne al bacino.

Ad esempio, la strada in blu porta nel crocevia le acque drenate anche da un bacino esterno; l'incontro con la strada in nero (che porta altre acque da bacino esterno) determina un afflusso idrico notevole, calcolabile con la relazione

$$Q = 10 A^{1/2}$$

Che indica come un bacino di un ettaro dia luogo a un afflusso di 1 metro cubo/s circa in condizioni di piogge molto elevate



**Figura 16 –Confluenza di più strade e punto critico**

I dreni devono essere ben dimensionati per evitare queste tracimazioni. Sulle terre vengono eseguite prove granulometriche, edometriche, di resistenza al taglio, permeabilità e risalita capillare in diverse condizioni di umidità.

Su asfalti, bitumi e calcestruzzi vengono fatte analisi chimiche e prove di resistenza meccanica (tra queste la duttilità e la resistenza al taglio, alla flessione e alla rottura). Tutte le prove sono certificate da Laboratori stradali autorizzati.

### **3.4 DRENAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE**

La strada, dove viene eseguita in scavo, costituisce un dreno del suolo, che può avere effetti benefici, se il volume complessivo delle acque estratte dal terreno non è tale da pregiudicare le risorse idriche sotterranee.

Lo scavo del versante determina l'inaridimento del suolo non saturo, le cui acque devono essere raccolte dal filtro di ghiaietto e sabbia posto nell'intercapedine muro-terreno, o dalle semplici canalette che corrono lungo lo scavo.

Il drenaggio delle acque sotterranee viene compiuto con un misto granulare disposto alle spalle dei muri di contenimento, e talora con trincee drenanti, che saranno oggetto di un approfondimento successivo in un capitolo dedicato ai sistemi di estrazione delle acque sotterranee. Questo rivestimento porta le acque a una serie di tubi disposti a franappoggio, che attraversano il muro e la portano a una canaletta esterna. Un altro sistema prevede che le acque vengano raccolte da un tubo finestrato posto alla base del filtro all'interno di una canaletta di cemento, dal quale vengono portate a una tombinatura.

Altre opere di rinforzo per il mantenimento della stabilità dei versanti lungo le strade sono i muri e i sistemi di consolidamento e protezione (reti, ancoraggi con tiranti).

### 3.4.1 Muri

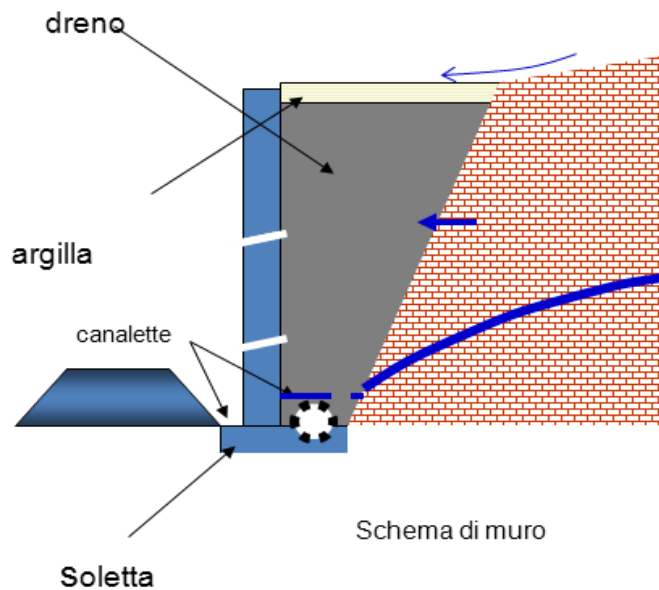


Figura 17–Schema di muro

Per quanto riguarda i muri, si avverte che ne è particolarmente importante il drenaggio, che deve essere progettato in modo da evitare che il filtro abbia permeabilità inferiore a quella del terreno e del tubo di convogliamento delle acque.

Pertanto si scelgono in modo che il valore del D85 ( diametro rispetto al quale l' 85 % in peso del materiale del filtro presenta diametro inferiore) sia da 3 a 5 volte quello del D15. Quest' ultimo deve avere un valore superiore a 4-5 volte il D15 del terreno naturale, e inferiore a 4-5 volte i D85 del terreno naturale stesso.

Per quanto riguarda il tubo filtro, ammesso che la larghezza delle sue finestrate sia  $a$  , si deve fare in modo che D 85 sia almeno da uno a 2,5 volte il valore di  $a$ .

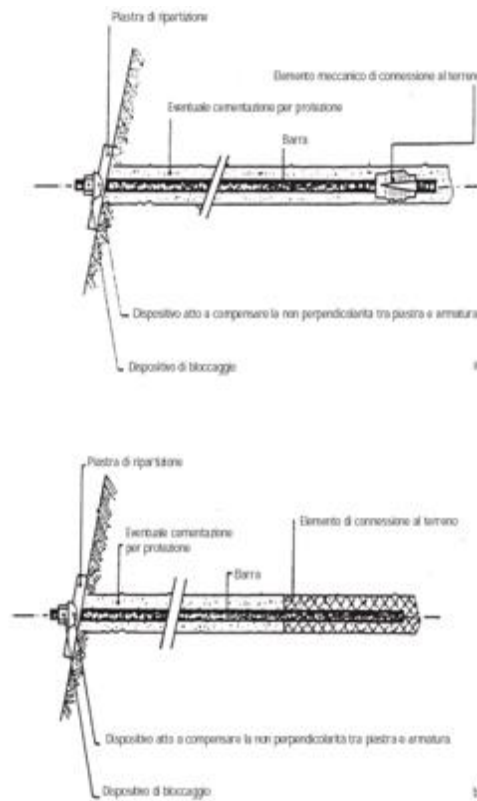
Un buon sistema di rinforzo e protezione è fornito dalle reti, che valgono per arrestare la caduta di frammenti di roccia, ma non di grossi blocchi. I tiranti sono invece utilizzati per contenere lo spostamento e la caduta di blocchi di grandi dimensioni.



**Reti** : sono ancorate con chiodi profondi e hanno la funzione di impedire la caduta di pietrisco

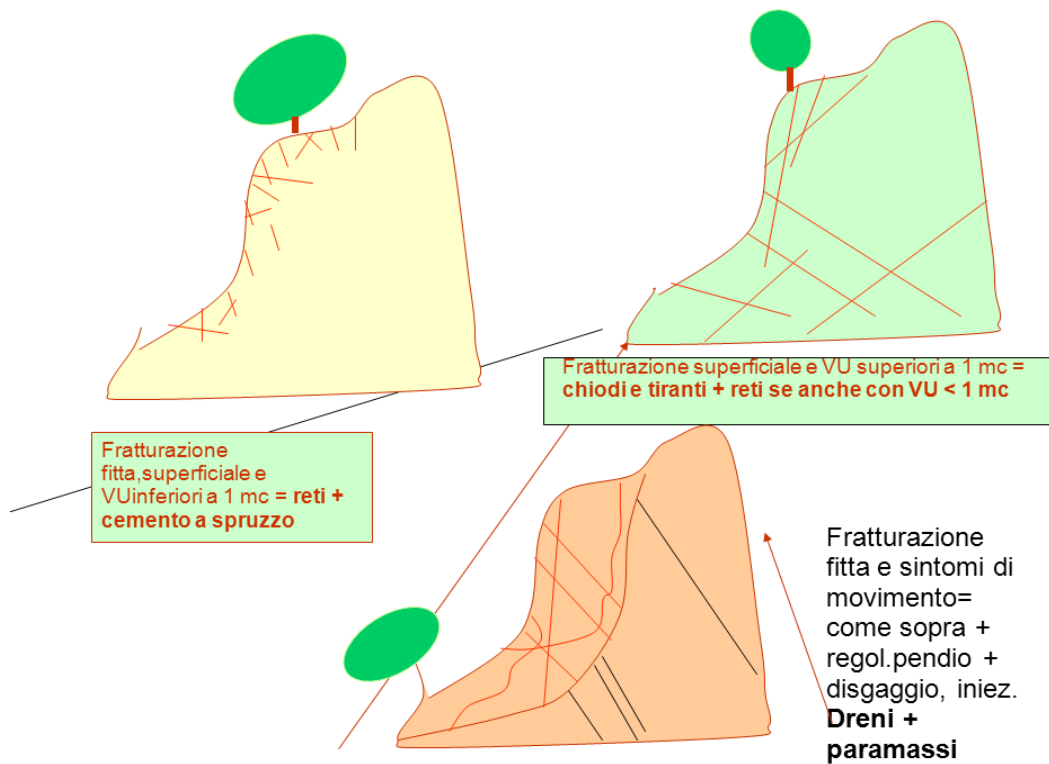


Figura 18–Reti paramassi



**Figura 19–Tiranti**

E' utile seguire, per la scelta dell'intervento, le indicazioni dello schema riportato nella figura seguente.



**Figura 20–Scelta di interventi**

## **4 ALTERAZIONI AMBIENTALI**

- Lo spargimento di sali sulla sede stradale per evitare la formazione di ghiaccio produce un grave inquinamento delle acque sotterranee per una fascia di qualche centinaio di metri intorno alla carreggiata, e analoga contaminazione si riscontra dove si utilizzano prodotti diserbanti. I rischi connessi con versamenti di prodotti tossici da autocisterne rovesciate per incidenti sono molto elevati.
- Nelle aree montuose i ponti sono sovente causa di ostruzione degli alvei fluviali, per il convergere contro i piloni delle ramaglie e dei detriti nel corso delle piene.
- Le strade producono il disordine della rete idrografica minore, con fenomeni erosivi e frane.
- Il traffico determina la contaminazione dell'aria con sostanze aggressive per i materiali da costruzione pregiati e l'aumento dei processi di alterazione delle rocce, aumentando le possibilità di cedimenti dei terreni più instabili.
- Non sono infrequenti, nelle aree con strade in rilevato, i fenomeni di impaludamento.
- L'accentuazione delle pendenze innesca fenomeni franosi nelle strade a mezza costa.
- Le discariche di inerti effettuate lungo le pendici montane in terreni instabili o in alvei, producono notevoli dissesti.

Di tutti questi inconvenienti deve tener conto la valutazione di impatto ambientale che è destinata a correggere i progetti che possano dar vita alle conseguenze indicate.