



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 437

DATA : 10/12/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Insana

MATERIA : Geologia

Prof. Vigna

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

Appunti di GEOLOGIA

L'INTERNO DELLA TERRA

Le misure della Terra:

- Raggio medio 6371 km
- Volume $1,083 \times 10^{12} \text{ km}^3$
- Massa $5,976 \times 10^{24} \text{ kg}$
- Densità media $5,52 \text{ g/cm}^3$ o kg/dm^3 o t/m^3

Il valore della densità è molto alto, infatti un piccolo blocco di pietra non pesa 5,52 kg ma meno, ed è dovuto alla particolare costituzione della Terra.

L'involucro più esterno della Terra è la rigida e solida **litosfera** (spessore medio 30 – 40 km) che include anche la crosta, sottile, fragile, di spessore variabile. La litosfera poggia sull'**astenosfera**, meno resistente e parzialmente fusa, allo stato fluido viscoso. La litosfera termina verso l'alto con uno strato di crosta, sottile in corrispondenza degli oceani, più potente e spesso al di sotto dei continenti: rispettivamente **crosta oceanica** e **crosta continentale**.

I vari strati sono stati scoperti in base ai percorsi seguiti da onde sismiche provocate da terremoti o esplosioni nucleari (vi sono delle zone d'ombra in cui le onde non si propagano).

Andamento della temperatura e della pressione

Gradiente geotermico: aumento medio di 3°C ogni 100m di profondità (può aumentare anche di 10 volte in aree geotermiche o essere minore, solo 1°C ogni 100m in aree di pianura).

Un bravo ingegnere civile sa prevenire in modo da limitare i costi, bisogna considerare prima i problemi. Esempio: ventilazione in un tunnel per evitare il rischio di incendi. Se si trova a 2000m e ha 2000m di roccia al di sopra, si calcola quale sarebbe la temperatura in assenza di ventilazione, tenendo conto del gradiente geotermico.

L'interno della Terra è rimescolato da lenti movimenti di materiale, detti *correnti convettive*, che servono a disperdere l'elevatissimo calore presente all'interno del pianeta. Tali correnti sono il motore che fa muovere le placche e determina tutta la dinamica della crosta terrestre: spostamenti di continenti, vulcani, terremoti, nascita delle catene montuose. Così la crosta terrestre si muove a velocità elevatissime, scoperte grazie ai satelliti GPS (se sono su un treno, non posso misurarne la velocità, ma posso farlo se sono a terra).

Le zolle si muovono a velocità diverse e formano una faglia originando terremoti.

Dalla dorsale medio-atlantica sale continuamente nuovo materiale. L'Atlantico si è originato a partire da mari che a loro volta di sono formati da zone di deformazione tra Africa e America.

Nelle nostre zone:

- epoca dei dinosauri → oceano
- 30 milioni di anni fa → l'oceano si è ristretto ed è diventato mare
- si sono sollevati dei sedimenti → catena alpina, che è ancora in movimento per fortuna altrimenti lo sforzo di compressione si accumulerebbe e invece di esserci tante piccole scosse ce ne sarebbe una molto forte

La collisione tra due blocchi continentali porta necessariamente alla formazione di una catena di montagne:

- la convergenza tra le due placche avviene a spese della subduzione di crosta oceanica. Adiacente alla zona di subduzione si forma una serie di vulcani che derivano dalla fusione della placca inghiottita all'interno della Terra.
- Il bacino oceanico intermedio è quasi chiuso: la crosta oceanica si rompe in cunei che tendono ad accavallarsi verso la placca in subduzione e i sedimenti marini cominciano a deformarsi sensibilmente
- I due continenti sono entrati in collisione: compressione e deformazione raggiungono la massima intensità

Fasi dell'orogenesi:

CALEDONICA	Nord Europa, Gran Bretagna
ERCINICA	Meseta spagnola, Urali, Australia orientale
ALPINO-HIMALAYANA	Alpi, Appennini

I TERREMOTI

Il terremoto è prodotto dalla brusca liberazione dell'energia accumulata da una roccia sottoposta a sforzo. Bisogna sapere dove si trovano queste zone per sapere come costruire.

Tipi di onde:

- *P, longitudinali o prime*, si propagano mediante oscillazioni delle particelle costituenti il mezzo attraversato in direzione della propagazione dell'onda. Il mezzo sarà soggetto a sforzi di compressione e dilatazione. Viaggiano velocissime, non danno vibrazioni forti, l'uomo non le sente, ma le sentono gli animali. Non danno problemi agli edifici.
- *S, trasversali o seconde*, si propagano mediante oscillazione delle particelle del mezzo perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda. Arrivano dopo.

Ipocentro → punto in cui ha origine il terremoto in profondità.

Epicentro → sulla verticale per l'ipocentro, in superficie.

Faglia → frattura lungo la quale c'è stato movimento. Può essere diretta, inversa o trascorrente. Le faglie che danno terremoti sono dette *sismogenetiche*, come quella di San Francisco che dà tutti i terremoti in quella zona.

Piano o specchio di faglia → parete levigata dove si vede che c'è stato un movimento. Devo capire quando c'è stato, se devo costruire.

Sismografo → pennino sospeso ad una molla che scrive su un rotolo di carta. Bisogna trovare luoghi dove non ci siano rumori di fondo (tram, bus), altrimenti non distinguo l'arrivo delle prime onde. Cosa registra? Rumore di fondo – prima scossa (il sistema blocca le strutture sensibili, treni, aeroporti) – onde S (dopo qualche minuto) – onde superficiali – scosse di assestamento.

Localizzazione dell'epicentro di un terremoto

Tempo S – tempo P = secondi di ritardo

Velocità nel mezzo roccioso = km/s = cost

Velocità per ritardo = raggio in km

3 stazioni registrano la scossa; > è la distanza, > è l'intervallo di tempo che intercorre tra l'arrivo delle onde P e l'arrivo delle onde S. Si sa a che distanza è avvenuta la scossa ma non il punto preciso. Allora si usa la TRIANGOLAZIONE per individuare l'epicentro: si tracciano le tre circonferenze che avranno un punto in comune, cioè l'epicentro.

Le dromocrone sono le curve che descrivono il tempo che le onde P e le onde S impiegano ad arrivare in funzione della distanza tra l'epicentro e il sismografo.

Calcolo della magnitudo: scala Richter

Calcolo:

- i secondi intercorsi tra l'arrivo delle onde P e delle onde S
- l'ampiezza maggiore che il sismografo ha registrato e che ha dato la scossa più forte
- le congiungo
- ottengo la magnitudo

Es. S-P=24s Ampiezza=23mm Magnitudo=5

Questo sistema funziona qualsiasi sia la stazione in cui si registra la scossa, perché per esempio per una stazione più lontana S-P sarà maggiore, ma l'ampiezza sarà minore e la magnitudo registrata sarà la stessa di una stazione vicina all'epicentro.

Scale di intensità

È una valutazione eseguita attraverso gli effetti prodotti dal sisma su persone, manufatti e terreno.

- Rossi & Forel, 1878
- Mercalli, 1902
- Mercalli, Cancani & Seaborg, 1931 → la più usata, con delle descrizioni per classificare eventi passati entro la scala di intensità
- Medvedev, Sponheuer & Karnik, 1963

Le zone interessate dai terremoti si ripetono.

L'acqua tende ad aumentare i terremoti penetrando nelle zone di frattura.

- Problemi risorse idriche → bisogna avere diverse fonti di approvvigionamento perché il sisma potrebbe ridurre le portate delle sorgenti idriche a causa di fratture dove si perde parte dell'acqua

Italia: zone colpite L'Aquila, Messina
zone tranquille Puglia, Sardegna, pianura Padana, certe zone del Lazio

Ogni comune è classificato in una delle 4 zone, alta, media, bassa o minima. Dipende dal limite comunale, quindi bisogna chiedere al comune qual è la situazione sismica e fare attenzione alla normativa vigente aggiornata. Bisogna leggere le classificazioni aggiornate. Molti comuni non hanno il piano antisismico.

L'ETA DELLE ROCCE

Se confrontiamo la storia della Terra con le 24 ore del giorno, vediamo che l'Homo Sapiens Sapiens è comparso da meno di un secondo.

Le caratteristiche tecniche delle rocce dipendono dall'età.

L'era più recente è il Quaternario. Una roccia di questo periodo avrà comportamenti diversi da quelle del primario, secondario o terziario.

Una roccia appena depositata avrà caratteristiche tecniche scadenti, ma dipende dalla roccia, per esempio vale per l'argilla, ma non per il magma che anche appena depositato diventa una roccia coerente e compatta.

Datazione delle rocce

I geologi datano le rocce basandosi su *fossili guida*, se ci sono, e sulla loro età. Se un'argilla ha fossili ed è vecchia avrà caratteristiche tecniche buone. I più usati sono i foraminiferi, di qualche mm; sono molto usati per le perforazioni: si estrae del fango, lo si data e si capisce se ci sarà petrolio. I fossili cambiano la loro geometria nel tempo, si evolvono.

Dal basso verso l'alto cambia l'età delle rocce:

- + giovani in superficie
- + vecchie in profondità

Relazioni età rocce/caratteristiche geologiche

DEPOSITI QUATERNARI:

- **rocce sciolte**, cioè senza forma propria (sabbia, ghiaia), **pseudocoerenti plastiche**, cioè sembrano coerenti ma non lo sono, come le argille che formano la parte superiore dei suoli e che con le piogge si saturano d'acqua e cambiano le caratteristiche tecniche (**lapidee**, come il magma che solidifica rapidamente e presenta un buon comportamento)

- **giacitura orizzontale**

- **deformazione nulla**, non piegate, non fagliate perché appena depositate, quindi se nei depositi quaternari ci sono forme strane significa che la zona è sismicamente attiva

DEPOSITI TERZIARI:

- **rocce pseudocoerenti consolidate**, come l'argilla che inizia ad avere migliori caratteristiche tecniche per il maggior consolidamento, **semicoerenti**, perché l'acqua ha cementato le rocce sciolte per il deposito di carbonato di calcio (arenarie)

- **giacitura blandamente inclinata**

- **deformazione blanda**, per movimenti, terremoti

ROCCE MESOZOICHE E PALEOZOICHE:

- **rocce lapidee**, non sono necessari rivestimenti a meno che non sia fratturata, allora bisognerà fare attenzione all'acqua e alla pressione che crea (10m di acqua = 1 bar)

- **giacitura molto variabile**

- **deformazione elevata**, perché sono rocce vecchie, soggette all'innalzamento delle catene montuose

Per il territorio italiano possiamo suddividere:

Zone alpine

ROCCE DEL BASAMENTO PRETERZIARIO (graniti, scisti, gneiss, vulcaniti e calcari)

Rocce deformate, fagliate, piegate, quindi avrà problemi ingegneristici. Queste rocce scendono in profondità.

DEFORMAZIONI DELLE ROCCE

Possono essere di due tipi:

- deformazioni plastiche piegano le rocce
- deformazioni fragili spaccano le rocce (ci sarà olio) e quindi creano gravi problemi ingegneristici

Deformazioni fragili o rigide

Interessano solo certe rocce, per esempio l'argilla non si spacca in genere perché ha un comportamento plastico, mentre rocce dure di una certa età si spaccano.

Le faglie sono fratture lungo le quali c'è stato movimento; il *rigetto* è lo spostamento relativo delle due zone interessate dalla faglia. Grossi rigetti danno problemi.

Associata alla faglia si trova una porzione di roccia fratturata. Se sto scavando una galleria in una montagna nella roccia e improvvisamente incontro una zona fratturata, avrò rocce con caratteristiche tecniche completamente diverse dalle precedenti. Questi problemi vanno previsti e affrontati prima (ditte ingegneristiche sono fallite), altrimenti i prezzi salgono tantissimo. Cosa bisogna fare una volta previsto il problema? Arrivato nella zona di faglia, devo fare piccole perforazioni e iniettare miscele cementizie per consolidare.

In genere:

Faglia inversa → di tipo compressivo → roccia fratturata

Faglia diretta → di tipo distensivo → roccia compatte

Generalmente nella zona di faglie ho delle deformazioni, quindi se vedo delle valli o delle scarpate devo chiedermi perché. Il sondaggio andrà fatto nel punto in cui ho l'anomalia, non in zone normali. La morfologia pur attenuando le forme strutturali conserva la depressione.

Horst → porzione di crosta terrestre relativamente rialzata a causa di un sistema di faglie dirette in regime tettonico distensivo.

Graben → zone in cui la crosta terrestre risulta sprofondata sempre a causa di un campo di stress di tipo distensivo.

Faglia sintetica → faglia secondaria con andamento simile a quello della faglia principale.

Faglia antitetica → faglia secondaria con andamento opposto a quella principale.

Immagini:

- faglia inversa, è una riga, non dà problemi se non per il tipo di roccia che cambia, quindi cambiano le caratteristiche tecniche, per esempio può essere prima impermeabile e dopo no
- faglia normale, il rigetto è grande e in corrispondenza della faglia ho una depressione
- sistema di faglie normali
- scarpata di faglia in rocce sciolte legata ad un terremoto
- piano o specchio di faglia
- faglia principale e discontinuità secondarie
- piano di faglia, cioè superficie lungo la quale si è verificata la frattura
- piano di faglia interessato da carsismo e circolazione d'acqua: in presenza di rocce solubili, l'acqua circolando in queste discontinuità di faglie le scioglie.
- Piano di faglia interessato da una frana da crollo: se ho una discontinuità predisponente all'instabilità del versante e quindi a frane non posso realizzare una strada senza un consolidamento.
- Faglie e discontinuità secondarie: la struttura è complicata da decine di faglie. L'ingegnere lavora in zone dove c'è il suolo e queste cose non si vedono quindi servono indagini.
- Fratturazioni dell'ammasso roccioso: l'ingegnere deve capire se cadranno solo dei blocchi o una vera e propria frana, cioè deve capire lo stato di fratturazione. Perché una frana viene ora e non prima? Per la stanchezza dei materiali, si alternano alta e bassa pressione. Se c'è una frattura aperta circola acqua, quindi cambia il peso dell'ammasso roccioso, aumenta l'instabilità. Per evitare di far aumentare il peso posso fare dei fori per far uscire l'acqua. Ma basta una piccola scossa per far crollare tutto. La circolazione di acqua tende a cambiare nel tempo, le fratture possono essere riempite o svuotate di materiale fine. Un ammasso roccioso che finora è stato in piedi non è detto che lo sia per sempre.
- *Fratture da detensionamento* dell'ammasso roccioso: si riconoscono in quanto *parallele al versante*. Sono fratture associate a stress dell'ammasso roccioso e sono le più pericolose. D'inverno l'acqua gela, aumenta di volume e crea dei collassi, ma non frane perché sono fratture superficiali. Una galleria realizzata vicino a queste fratture mi darà problemi di acqua e di instabilità, quindi la costruisco più all'interno.
- Prisma di roccia in precaria stabilità, sullo sfondo detriti e blocchi legati ai crolli

GIACITURE E CONTATTI DELLE ROCCE

Rocce massicce: non si vede la stratificazione delle rocce

Rocce ben stratificate: piani evidenti dove si può verificare che giacitura hanno

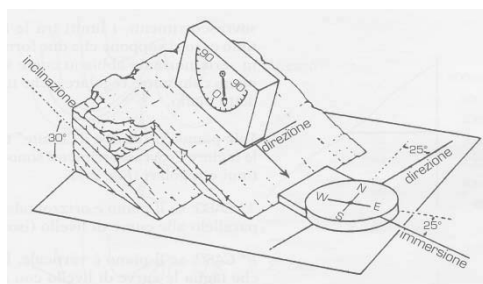
Osservazioni di:

- ❖ rocce affioranti
- ❖ carote → perforazioni nell'ammasso roccioso che permettono di riconoscere la giacitura (diametro di 10cm)
- ❖ in sotterraneo

Misura giacitura di una roccia

Si usa una bussola squadrata.

- ❖ immersione → giacitura rispetto al nord
- ❖ inclinazione → rispetto all'orizzontale, misurata con l'inclinometro presente nella bussola; vale 0° se orizzontale, 90° se verticale



Rapporti tra strati e topografia

STRATI ORIZZONTALI

- Il limite segue l'andamento delle isoipse

STRATI VERTICALI

- Il limite è una retta

STRATI INCLINATI

- andamento concorde col pendio
- angolo di inclinazione maggiore dell'angolo del pendio
- il limite ha un andamento contrario alle isoipse

STRATI INCLINATI A FRANAPOGGIO

- ◆ andamento concorde con il pendio
- ◆ angolo di inclinazione minore dell'angolo di pendio
- ◆ il limite ha un andamento concorde con le isoipse e tende ad aumentare la loro curvatura

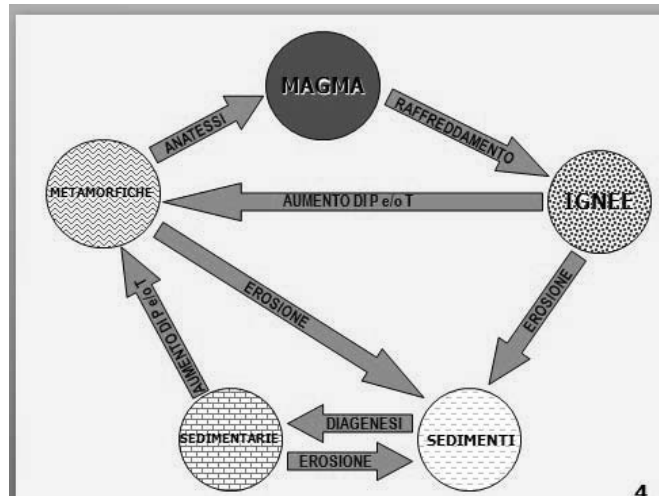
Nel caso di giacitura a franapoggio posso avere situazioni di frane anche laddove l'inclinazione si davvero blanda. Una frana in queste zone può far scivolare una casa di vari metri. Se piove l'acqua in pressione fa muovere porzioni di terreno.

STRATI INCLINATI A REGGIPOGGIO

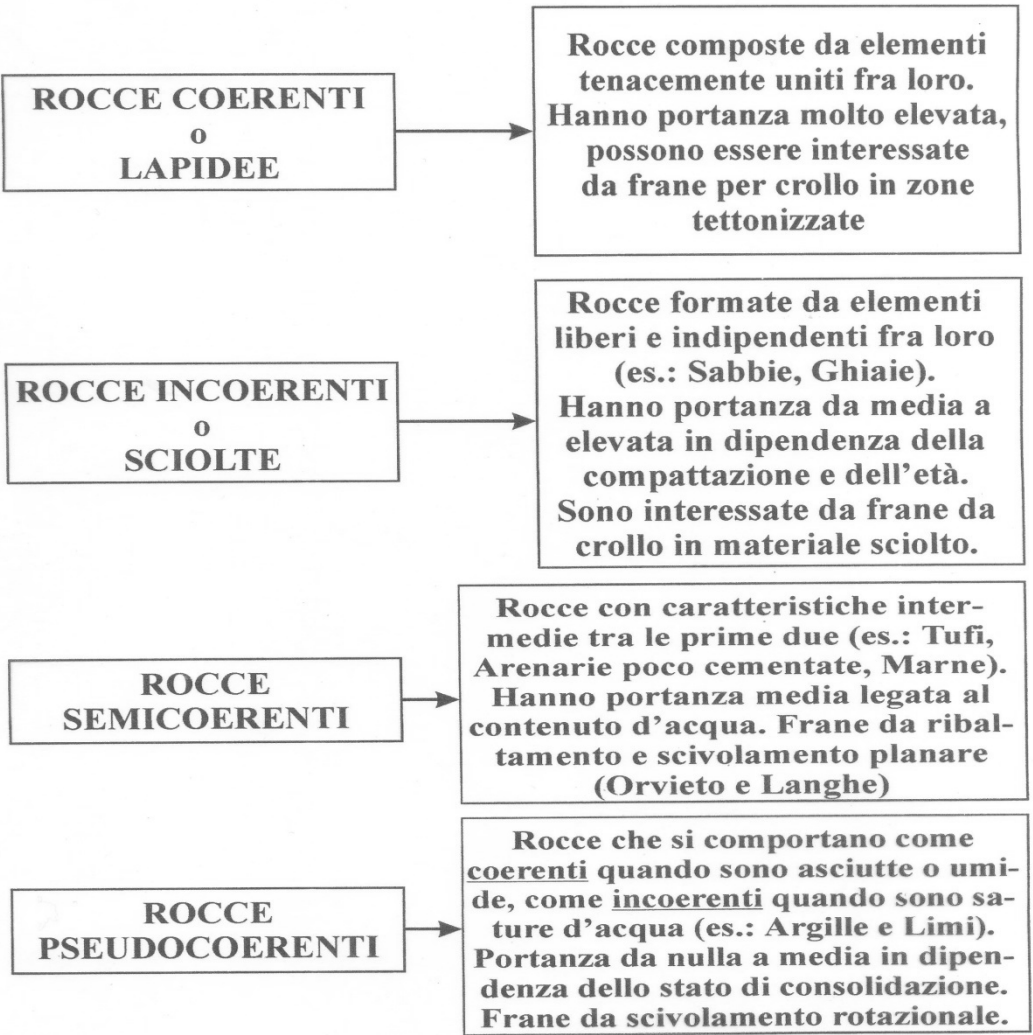
- ◆ andamento discorde col pendio
- ◆ il limite ha un andamento concorde con le isoipse e tende a diminuire la loro curvatura

Nel caso di giacitura a reggipoggio non ho problemi anche se la pendenza è elevata. Per capire la giacitura non basta osservare un affioramento di roccia frontalmente, ma bisogna vedere l'intersezione dello strato con la superficie topografica.

Attenzione: uno stesso strato può essere contemporaneamente a franapoggio o a reggipoggio, a seconda del punto da cui lo guardo.



CLASSIFICAZIONE TECNICA DELLE ROCCE
 La classificazione è fondata sul grado di coesione degli elementi che compongono la roccia



LE ROCCE VULCANICHE

Non è detto che le rocce vulcaniche siano solo vicino ai vulcani.

Le strutture magmatiche si avvicinano alla superficie e a volte riescono ad uscire formando i vulcani. I problemi ingegneristici legati ai vulcani sono quelli di tipo esplosivo.

Tipi di rocce

- LAVA

Roccia abbastanza leggera perché è porosa e caratterizzata da bolle. Posso costruirci sopra MA solidifica in tempi brevi → tende a fratturarsi e ad essere porosa → ci sarà acqua molto mineralizzata.

Possiamo avere lave viscose (guglie, domi) o fluide (colate laviche).

Si possono avere delle stratificazioni legate alle varie eruzioni. A volta il vulcano erutta materiale fine: eruzione esplosiva.

Nelle zone più dolci ci sono materiali fini con caratteristiche di roccia pseudo coerente → non posso costruirci perché se piove si comportano come fluidi → instabilità, frane.

- DEPOSITO PIROCLASTICO

Sono costituiti dai frammenti eiettati durante le eruzioni vulcaniche esplosive. Tali frammenti sono denominati piroclasti o tefra.

Li dividiamo in :

- piroclasti
 - *ceneri fini o polveri* $\Phi < 0,0625 \text{ mm}$
 - granulometria tipica di un'argilla → problemi di instabilità
 - *ceneri* $0,0625 \text{ mm} < \Phi < 2 \text{ mm}$
 - *lapilli* $2 \text{ mm} < \Phi < 64 \text{ mm}$
 - *blocchi o bombe* $\Phi > 64 \text{ mm}$
- piroclastici
 - *agglomerati e breccie piroclastiche* $\Phi > 64 \text{ mm}$
 - *tufi a lapilli* $2 \text{ mm} < \Phi < 64 \text{ mm}$
 - *tufi cineritici o cineriti* $\Phi < 2 \text{ mm}$

In base alla genesi si distinguono i seguenti tipi di depositi piroclastici:

- depositi piroclastici di caduta: i frammenti di varie dimensioni raggiungono il suolo dopo aver percorso una traiettoria balistica o sedimentano da nubi di gas e materiale solido in sospensione
- colate piroclastiche o ignimbrite (nubi ardenti): sono flussi di materiali piroclastici in sospensione entro gas molto densi e pesanti. Sono prodotte in eruzioni altamente esplosive
- surges piroclastici: flussi caratterizzati da una concentrazione molto ridotta di frammenti che fluiscono sia sotto la spinta dell'esplosione che per gravità. Sono il risultato delle esplosioni causate dal contatto dei magmi con acque sotterranee
- colate di detriti e colate di fango o lahar: vulcano con ceneri e nevai, la neve fonde rapidamente, satura il materiale che si comporta come un fluido e si muove a velocità altissime. Arriva fino a 50km. Quindi sono generate dal rimaneggiamento del materiale piroclastico ad opera delle acque meteoritiche
- ialoclastiti: depositi piroclastici formati da frammenti di vetro vulcanico. La loro origine è legata a magma basaltico emesso a contatto con l'acqua. Possono formare apparati vulcanici sottomarini.

Tufo vulcanico: roccia relativamente compatta, usata per costruire case nel centro Italia, molto lavorabile, si tagliano blocchi, si lascia asciugare e indurisce. Il tufo è preso dal sottosuolo, si costruisce sopra e le case sfondano questi buchi. Ci sono molti vuoti nei centri storici. I clasti di tufo possono essere fini o grossi.

eruzione → materiali fini → fino a 30-40km

Questi materiali possono formare nubi ad altissime temperature, roventi. Le ceneri vulcaniche si depositano anche su rocce non vulcaniche e quando piove si saturano d'acqua. Hanno un colore marrone o grigio.

Tipi di eruzione

- eruzioni *centrali*, tipiche delle nostre zone
- eruzioni *lineari*, in Islanda, molto difficili da prevedere

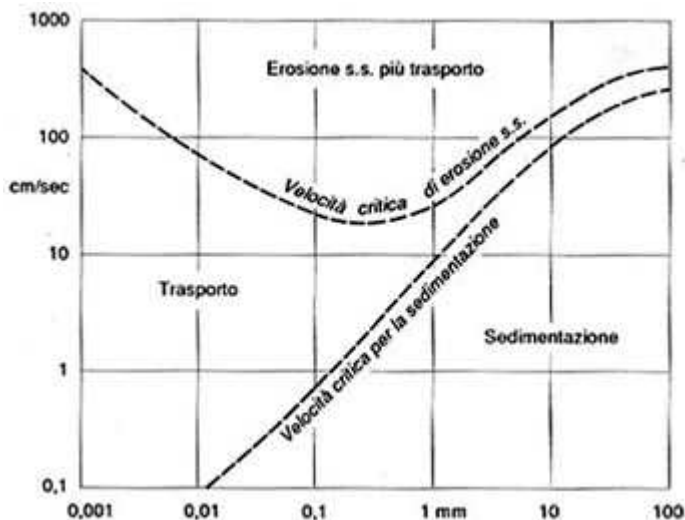
LE ROCCE SEDIMENTARIE DETRITICHE o CLASTICHE

- epiclastiche
 - conglomerati
 - areniti
 - siltiti
 - argille di trasporto
 - marne

- piroclastiche
 - bombe e blocchi
 - lapilli
 - ceneri

- cataclastiche
 - cataclasiti
 - miloniti

Diagramma di Hjulström



Questo diagramma riporta la velocità della corrente in cm/s in funzione della dimensione dei clasti in mm (scale log). Serve per definire le aree di erosione, di trasporto e di deposizione dei clasti nei corsi d'acqua in funzione delle loro dimensioni e della velocità della corrente. L'andamento della curva che separa l'area del trasporto da quella della sedimentazione mostra come il logaritmo della sedimentazione sia proporzionale alle dimensioni (e al peso) dei clasti. Gli elementi di diametro < 0,001 mm rimangono in sospensione. L'andamento della curva che separa l'area dell'erosione da quella del trasporto mostra che per trasportare gli elementi più piccoli, attorno a 0,001 mm, occorrono velocità di flusso molto elevate, verosimilmente a causa della maggiore coesione;

velocità molto minori permettono il trasporto degli elementi tra 0,01 e 0,1 mm; per elementi di diametro superiore a 0,1 mm l'andamento della curva diventa parallela a quella, vista sopra, che limitava le aree fra il trasporto e la sedimentazione, in quanto gli elementi più grossi possono essere trasportati con velocità di flusso maggiori.

Scala granulometrica

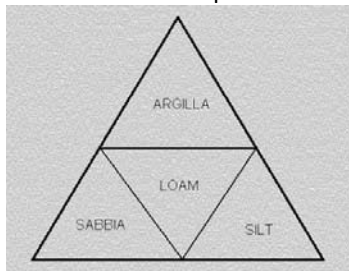
>256mm	blocchi
>2mm	ghiaia
>0.06mm	sabbia
>0.0039mm	limo o silt
al di sotto	argilla

Il riconoscimento avviene **visivamente**, empiricamente. Se per esempio nella sabbia c'è materiale fine (argille, limi) avremo caratteristiche tecniche scadenti. Per vederlo versiamo la sabbia in un secchiello e aggiungiamo acqua: se c'è materiale fine l'acqua diventa torbida, se c'è solo sabbia questa affonda. Attenzione: non fare scaricare il camion finché non si è verificato che il materiale è quello desiderato altrimenti poi bisogna pagare quella sabbia!!

Questo però non è un metodo ingegneristico. Allora si fa l'**analisi granulometrica** (200-300€): raccolgo il campione in quantità che dipende dalla granulometria (1kg sabbia, 5-10kg se è più grosso) e l'ingegnere civile utilizza dei setacci con maglie diverse. Metto da parte il materiale fine <0.06mm. Il campione è messo sul setaccio più alto e un apparecchio che fa vibrare il materiale seleziona le varie granulometrie. In genere è fatto a secco, ma a umido riesco a selezionare meglio. A questo punto peso i vari materiali, faccio una percentuale al peso e confronto i risultati con un diagramma. Così riesco a capire le caratteristiche del campione.

ordinate % di peso
 ascisse diametro dei granuli

Possiamo avere pareti di arenaria che in certi paesi non è molto cementata e può dare frane.



Caratteristiche tecniche delle argille

Argille plastiche o organiche: caratteristiche tecniche molto scadenti perché appena depositata (cioè nel Quaternario), sono molto porose (gli spazi intergranulari sono molto piccoli ma sono il 50%). Si riconoscono perché sono scure e puzzano dato che c'è materiale organico.

(Venezia è costruita sulle argille plastiche, hanno usato pali in legno particolare; piantando pali il materiale si sposta e si compatta anche perché c'è attrito laterale sui pali). Ghiaie che poggiano su argille hanno un comportamento plastico!

Argille consolidate: sedimento su cui si depositano altri sedimenti che pesano sull'argilla che quindi si compatta. Si possono riconoscere per la presenza di fossili di amre per esempio.

Argille sovraconsolidate: argille che hanno avuto carichi fortissimi e che si sono consolidate, non ci sono spazi intergranulari, i pori si sono chiusi, caratteristiche tecniche discrete, ma comunque migliori di quelle plastiche, fortissime compattazioni. Non posso prelevarla e portarla da un'altra parte altrimenti non è più sovra consolidata. L'acqua per andare via ha bisogno di tempi lunghi (1-2 anni). Per accelerare i tempi e favorire la fuoriuscita di acqua posso fare dei fori dove metto sabbia che è un materiale drenante. La compattazione è molto lenta. Il materiale è molto eterogeneo e la compattazione può essere diversa.

Le argille possono essere **siltose** e **caoliniche**. Queste ultime contengono smectite che dà rigonfiamenti se c'è acqua, quindi sono molto problematiche anche se sovraconsolidate.

Gli ambienti sedimentari

Continentali: glaciale
 fluviale o alluvionale → di conoide
 lacustre → di pianura
 eolico – desertico

Misti o di transizione: deltizio → aperto → di spiaggia
 litorale → protetto → di barriera e laguna → di marea } dominato dalle onde
 } dominato dalle maree

Marini: piattaforma (mare basso)
 mare profondo
 scogliera organogena
 bacino semichiuso o interno

L'ambiente glaciale

Nel Quaternario ci sono state 4 o 5 glaciazioni principali a cui si sono alternate fasi molto calde che hanno condizionato i depositi glaciali. Ad ogni fase corrisponde la deposizione di apparati morenici presenti in molte zone del nostro territorio.

Come si è formato? Evoluzione del paesaggio di un'area montuosa interessata da glaciazione: rilievo montuoso prima della glaciazione, formazione dei ghiacciai nelle depressioni topografiche (scavano vere e proprie valli), sviluppo della rete di ghiacciai vallivi, l'area dopo il ritiro dei ghiacciai, si forma un reticolo idrografico con valli a u.

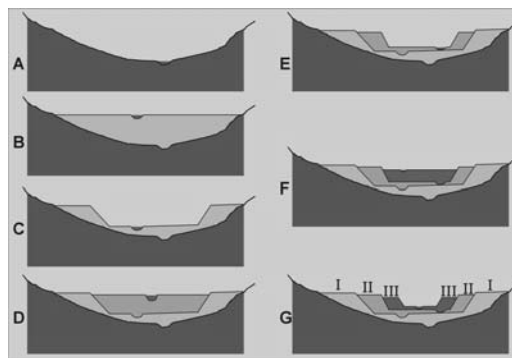
Supponiamo di avere una valle a U: il ghiacciaio scava e allarga la valle. Le pareti della valle possono franare (paleo frane). Negli ambienti glaciali ci sono forti situazioni di rilascio, fratture parallele al versante e in alcune zone queste frane devono ancora venire. Quindi ho **problemi di instabilità** sui versanti. Il ghiacciaio deposita e quando si ritira l'acqua forma dei laghi. Nelle zone retrostanti gli apparati morenici abbiamo **argille**.

I terrazzi fluviali

- A. Valle con fiume
- B. Deposita sedimenti e il livello si innalza
- C. Scava una valle
- D. Rideposita sedimenti
- E. Scava

Così si formano diversi **ordini di terrazzo**.

Le varie scarpate fanno capire dove esonda il fiume, quindi posso ricostruire la situazione. La scarpata più centrale è quella più pericolosa. Ciascuna indica le zone a diverso rischio.



L'ambiente lacustre e lacustre - palustre

Sono zone a energia nulla, depositano argille, quindi se il lago scompare bisogna fare attenzione se si costruisce. Si può costruire ma costa di più per le fondazioni.

Possiamo avere laghi in una caldera di un vulcano o vicino alla linea di costa.

I depositi lacustri sono argille plastiche, molto scure e molto problematiche. Se costruisco strutture pesanti aumentano i carichi e dopo anni la struttura si deforma. Le argille possono essere coperte da metri di sedimenti, ghiaia e sabbia.

L'ambiente marino - marginale

Apparato deltizio, zona palustre, spiaggia. L'**apparato deltizio** è un ambiente giovane, dove i fiumi portano materiali, quindi cambia continuamente.

Nei delta a **estuario** domina la corrente marina che distribuisce il materiale lungo le linee di costa. Nell'epoca etrusca Ravenna era sul mare, poi si sono depositati sedimenti e man mano sono appesantiti da altri sedimenti, perciò gli edifici sono 2-3m sotto il piano campagna.

Sono tipiche di un ambiente deltizio sabbie, silti e argille di prodelta.

sedimenti fini → grossi fiumi

ghiaie → piccoli fiumi

Depositi di **spiaggia**: il materiale arriva dagli apparati deltizi ed è elaborato da correnti marine. La spiaggia è un ambiente ad alta energia realizzato da apparati deltizi. Troveremo sabbie ben classate senza materiale fine.

Ora i fiumi per gli interventi dell'uomo non portano più materiale. D'inverno ci sono forti mareggiate che erodono la spiaggia. Bisogna fare interventi: si preleva sabbia lungo i corsi d'acqua ma bisogna lavare il sedimento. L'anno dopo la mareggiata porta via tutto. Per evitarlo si fanno opere di difesa e sbarramento, i moli

Nomenclatura: spiaggia sommersa, spiaggia emersa, battigia, dune eoliche (zone retrostanti costruite dal vento), per ultime le lagune.

Depositi di **marea**: alta energia avremo sabbie, bassa energia avremo argille.

Progradazione di un apparato deltizio: modalità di deposizione dei sedimenti, che si realizza quando in tempi successivi si depongono corpi sedimentari parzialmente sovrapposti in posizione sempre più lontana rispetto alla sorgente dei sedimenti stessi.

Depositi **marini profondi**: la *zona di offshore* è compresa tra la linea di costa e la scarpata continentale ed è lunga dai 20 ai 150m (in Liguria anche 400). Si fanno ricerche petrolifere e pale eoliche in questa zona. La *scarpata* è profonda dai 200 ai 4000m. Si formano canyon sottomarini in corrispondenza degli apparati deltizi. Nel tempo sabbie e argille depositate negli offshore collassano, dando luogo a frane sottomarine e di conseguenza a tsunami. Bisogna fare attenzione a vie di comunicazione, metanodotti, acquedotti. Se ho dei collassi queste strutture vengono lesionate.

Tipiche sono le argille marnose di scarpata → vecchie → sovraconsolidate → con buone caratteristiche tecniche.

Depositi torbiditici

Depositi grossolani di riempimento di canale, sabbie amalgamate alternate a silti, alternanza marne e arenarie che danno problemi di stabilità

Ghiaia

Ciottoli arrotondati, permeabili, buone caratteristiche tecniche come portanza, ma gli angoli di riposo sono piccoli perché sono materiali sciolti e danno problemi di instabilità. $2,0 \text{ t/m}^3$.

Se devo realizzare un parcheggio sotterraneo in mezzo a delle case che poggiano su ghiaie, prima di scavare farò degli interventi per trattenere il materiale che tende a rilasciarsi.

Conglomerato

Ghiaia cementata con matrice carbonatica, molto dura, coerente, lapidea. $2,4 \text{ t/m}^3$.

Sono rocce composte da dolomite. Possono avere due origini:

- dolomie primarie, rarissime, si formano per precipitazione diretta da una massa d'acqua ipersalina, spesso lacustre
- dolomie di sostituzione, più comuni, il calcio è sostituito dal magnesio nel calcare in condizioni ipersaline o salmastre. Nel meccanismo del riflusso, si presuppone l'esistenza di una piattaforma carbonatica bordata da barriere (scogliere organogene, barre litorali...) che racchiudono lagune interne, più o meno ristrette. Se il clima è arido, nei settori più interni di tali lagune si vengono a concentrare, per successive evaporazioni, dense salamoie ipersaline che poi, per gravità, tendono a rifluire verso mare; la presenza delle barriere limiterebbe il riflusso libero determinando il ristagno delle salamoie nelle parti più depresse delle lagune. Le salamoie così formatesi, nel tentativo di rifluire verso mare, percolerebbero attraverso i sedimenti dolomitizzandoli.

Calcarenite

friabile, si frantuma molto rispetto al calcare puro

costituita da fossili con matrice di sabbia, bassa resistenza al taglio, porosa,

2,4 t/m³

Calcare puro

Roccia coerente, compatta, resistente, non friabile

Per riconoscerlo, si versa HCl e deve fare effervescenza.

Calcare (rosso ammonitico)

Aspetto massiccio, non si distinguono i singoli elementi, poco porosa, compatta, poca acqua, alta resistenza al taglio, 2,6 t/m³.

Calcare organogeno

Porosità bassa, 2,6 t/m³.

Travertino

Si forma per precipitazione per variazione di T e P, porosità elevata perché ingloba organismi animali e vegetale che lasciano il buco quando marciscono, 2,4 t/m³.

Le rocce evaporitiche

I principali minerali delle evaporiti sono carbonati, solfati (gesso = solfato di calcio con acqua, anidrite = solfato di calcio senza acqua) e cloruri. Si trovano in aree marine marginali (ambienti di transizione in mari di salinità normale) e in depressioni continentali (isolamento completo dal mare aperto o comunicazione parziale e discontinua) ma esistono diverse ipotesi sulla loro origine

tra cui la teoria della barra o soglia: in un ambiente ristretto in cui gli apporti di nuova acqua sono inferiori al tasso di evaporazione, come una laguna che è chiusa da una soglia che impedisce alla salamoia di uscire, man mano che l'acqua evapora, la concentrazione salina aumenta e quando si giunge a sovrassaturazione, i sali precipitano dando origine ai minerali, in ordine inverso alla loro solubilità: calcite, gesso, salgemma in superficie.

Gesso

Porosità variabile, 2,2 t/m³.

Il problema di queste rocce è che sono solubili, quindi formano dei vuoti e ci può essere acqua, limitata se in fratture, molta se in rocce solubili. Se sto costruendo una galleria e incontro queste cave di gesso posso avere grosse venute idriche. L'anidrite è una roccia che non ha acqua, ma se viene a contatto con l'acqua si gonfia.

I SUOLI

Il suolo è formato da materiale fine, argilloso con caratteristiche tecniche scadenti, quindi non si può costruire sopra. Ricopre il substrato roccioso. Sono studiati dai pedologi. Se devo stabilizzare un suolo chiedo a un pedologo qual è il tipo di vegetazione più adatto da far crescere.

Sono importanti per:

- stabilità dei versanti
- portanza dei terreni (è ridottissima)
- agricoltura
- vulnerabilità acquiferi

Se devo costruire una casa, devo asportare il suolo, quello che noi chiamiamo terra, in modo da poggiare le fondamenta sul substrato roccioso, ma poi il suolo è riutilizzato attorno alla casa.

Distinguiamo:

- **rocce affioranti** → assenza di suolo
- **rocce sub-affioranti** → suolo con spessori variabili tra 10-50cm, in zone montane, pedemontane, collinari
- **rocce non affioranti** → suolo con spessori >50cm, è il caso più frequente, servono **sondaggi**

Perché si forma? A causa di processi di alterazione che interessano la roccia in affioramento, la parte più superficiale:

- processi chimici: **idrolisi** (la struttura cristallina si disgrega e la roccia si trasforma in argilla) e **dissoluzione** (la roccia si scioglie, ma c'è una frazione di materiale insolubile che è argilla)
- processi fisici: disgregazione legata a **dilatazioni termiche** (la porzione superficiale della roccia è scaldata dai raggi solari, si scalda, aumenta di volume, forma delle scaglie, microfrazioni e si disgrega; la parte sottostante la roccia rimane compatta perché la roccia è un cattivo conduttore termico) e **gelifrazione** (nelle fratture superficiali va l'umidità, l'acqua gela, aumenta di volume e la sua struttura superficiale si disgrega in argilla)
- processi biologici: decomposizione delle sostanze organiche e azione degli organismi

Il suolo si divide in:

- **orizzonte A** (strato attivo), ricco di sostanze organiche, è argilla
- **orizzonte B** (strato inerte), povero di sali, è argilla
- **orizzonte C** (zona di transizione), formata da un misto di argilla e ghiaia o sabbia, ha spessore variabile, infatti bisogna fare attenzione perché se faccio le indagini in due punti dove per caso lo spessore è lo stesso ma un pilastro poggia in un altro punto dove lo spessore è maggiore, risulterà che questo pilastro poggia su argilla. / *pilastri devono poggiare sul substrato.*
- **Roccia madre** (roccia inalterata o substrato o roccia in posto)

L'apparato radicale delle piante interessa solo il suolo e protegge dall'erosione. L'apparato radicale di pini e abeti può essere pericoloso, perché va a cercare sali e acqua, ma questa si accumula tra i plinti e la roccia, quindi possono spingere la struttura e deformarla.

A seconda del tipo di clima avremo diversi tipi di suoli:

- **clima umido** → spessore suolo **50cm-2m**, colore **marrone**
- **clima secco** (Sicilia) → spessore suolo **<50cm**, colore **giallo**
- **clima caldo umido (Africa, Brasile)** → spessore suolo **20m**, colore **rosso**

Eluvio: è un suolo che si è generato senza subire trasporto.

Colluvio: è un suolo che ha subito una fase di trasporto (molto più disomogeneo in spessori e materiali).

Suolo residuale: materiale che rimane dopo il disfacimento di una roccia.

Cotica erbosa: erba che copre il suolo.

Suolo coltivato o incolto

Paleosuolo: suolo in genere di colorazione rossastra con spessori elevati formatosi in condizioni climatiche diverse da quelle attuali.

Il substrato condiziona il suolo, a seconda delle piante so che roccia troverò sotto, se acida o basica.

RISCHIO DA MATERIALI GEOLOGICI (problemi con l'assetto geologico)

1. ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA NEL SOTTOSUOLO

Gradiente geotermico: aumento **medio** di 3°C ogni 100 m di profondità (può aumentare anche di 10 volte in aree geotermiche – vecchie zone vulcaniche - o essere minore, solo 1°C ogni 100 m in aree di pianura)

Esempi:

- traforo del Gottardo → in genere la temperatura della roccia è proporzionale alla profondità; in certe zone la galleria è vicina alla superficie, in altre è profonda → rischio di incendi → servono impianti di ventilazione adeguati
- traforo del Sempione → le temperature massime arrivano a 50°C perché ci sono zone dove il gradiente geotermico aumenta molto di più → anomalie, da cui posso anche ricavare energia
- traforo del Monte Bianco → in certi punti le temperature scendono molto per l'avvicinarsi di un'importante faglia che portava l'acqua glaciale a quota tunnel → quando le temperature scendono rapidamente c'è il rischio di venute idriche
- traforo del Gran Sasso → la temperatura non è proporzionale alla profondità. Ci sono temperature molto basse perché l'acqua sottrae calore all'ammasso roccioso → la roccia si raffredda → la bassa temperatura della roccia può essere legata a questa anomalia

2. ROCCE RIGONFIANTI

Sono rocce che aumentano considerevolmente di volume per presenza d'acqua.

Problema: le strutture a contatto con queste rocce si lesionano e si deformano (fondazioni, gallerie, ecc.).

In particolare sono:

- anidriti: rocce evaporitiche legate ai gessi, molto frequenti nel nostro territorio, quindi bisogna fare analisi alla roccia in questione
- argille rigonfianti: livelli presenti in ammassi argillosi tipo argille Varicolori o scagliose molto vecchie e quindi sovraconsolidate, ma col problema del rigonfiamento (presenza di smectite), abbondanti nell'Appennino, quindi bisogna fare l'analisi dei minerali delle argille

Questo problema può essere risolto calcolando la massima spinta possibile da parte di queste rocce e mettendo centine tali da contrastarla.

L'idratazione dell'anidrite a gesso causa un aumento notevole del volume della roccia con conseguente impossibilità per l'acqua di penetrare in profondità e quindi assenza di sviluppo delle grotte molto all'interno del massiccio roccioso (diapiro salino). È meglio non attraversare queste zone.

3. AMIANTO o ASBESTO

Gruppo di minerali altamente fibrosi che si possono trovare in rocce tipo pietre verdi (serpentine).

Problema: fibre inalabili che possono provocare danni alla salute molto gravi (absestosi, mesotelioma, tumore ai polmoni).

La legge dice: vietata l'estrazione, la lavorazione e il commercio. Ma è normale incontrare questi minerali durante lo scavo di gallerie, fondazioni, ecc. Gli operai devono indossare maschere. L'amianto va trasportato via, ma può cadere, polverizzarsi ed essere respirato dalle persone della vallate, allora il trasporto è fatto con apposite funicolari.

Le fibre pericolose sono quelle microscopiche, le micropolveri.

4. RADON

Gas radioattivo prodotto dal decadimento dell'uranio 238 in piombo 206, viene generato da diverse rocce: lave, tufi, porfidi, graniti.

Problema: l'inalazione del radon per lunghi periodi può provocare il tumore ai polmoni.

Passando attraverso le fratture delle rocce raggiunge gli ambienti chiusi, come un'abitazione, accumulandosi e raggiungendo alte concentrazioni.

È un gas pesante, quindi risiede ai piani bassi. Solo da poco viene misurato per legge. Se sono in una zona a rischio conviene dormire al secondo piano e avere cantine areate.

Il limite di sicurezza è 400 Bq/m³.

Anche se le quarziti non sono rocce vulcaniche si possono trovare notevoli concentrazioni di radon. Un minerale radioattivo è l'autunnite.

Nella grotta di Bossea la concentrazione di radon non è stabile e varia con la situazione idrodinamica.

5. GAS ESPLOSIVI E VULCANICI

Gas esplosivi (metano): sono presenti nelle rocce sedimentarie (terrigene) anche a profondità limitate. Tutto l'Appennino è fatto di queste rocce. In particolare dove si alternano marne e arenarie si possono trovare porzioni di gas.

LA FOTOINTERPRETAZIONE

Sono effettuati dei voli che seguono una linea di rotta e che riprendono il territorio: è montata una macchina fotografica e si scattano fotografie che riprendono parti del territorio da punti di vista diversi. Le fotografie scattate hanno parti in comune. La serie di foto scattate prende il nome di **strisciata**. Per osservare in 3D le foto si usa uno strumento detto **stereovisore** formato da due specchi e un prisma al centro. Prendo due fotografie, le sistemo in modo da avere due foto vicine sulla stessa linea, tenendo quella con più spazio a destra, centro le immagini in modo da vedere sovrapposte due matite.

I voli sono fatti nelle situazioni più favorevoli: né nubi né ombre, quindi in estate, e dopo un evento estremo, cosicché posso vedere dove l'evento ha interessato il territorio.

Le indicazioni riportate sulle fotografie sono:

- committente, di solito è la regione
- anno in cui è stata scattata la foto, così posso ricostruire la storia di un certo territorio nel tempo
- numero del fotogramma

Le foto possono essere in bianco e nero, a colori o a falsicolori.

Grazie a queste fotografie possiamo individuare:

- limiti geologici
- tipologie rocce (conoidi, rocce affioranti)
- lineazioni (linee di fiumi, che potrebbero indicare faglie, quindi è lì che faccio i sondaggi)
- aree esondabili (posso seguire il limite della scarpata per vari km, ma vedo solo l'ordine di scarpata ma non lo spessore, quindi bisogna effettuare un lavoro a tavolino, osservando le foto, e poi andare sul territorio; le zone senza case e incolte probabilmente sono zone esondabili)
- antichi meandri
- geometria conoide (se il fiume deposita materiale può cambiare il suo percorso, quindi è una zona rischiosa, dove sono necessari degli interventi: arginature in modo che il corso d'acqua non esondi in quelle zone; ma dopo un evento alluvionale c'è molto materiale e il fiume potrebbe uscire dagli argini, allora posso ricostruire dai vecchi voli quanto materiale ha depositato un fiume)
- detrito e morena
- frana da crollo
- dissesti in atto (si riconosce una frana di anni fa e le sue dimensioni)
- dissesti incipienti (serie di rigonfiamenti → deformazioni che anticipano la frana → individuo una zona a rischio → sondaggio → misuro le deformazioni che dicono che il versante è in moto)
- inghiottitoi (corso d'acqua che sparisce, può saturare un ammasso roccioso e causare frane)
- laghi interrati (zona piatta riempita di sedimenti fini)

Le immagini fotografiche possono essere acquisite e riprodotte con programmi che permettono una vista stereoscopica sul computer.

Il DTM ogni 50 m ha un punto, il dato non è preciso, ma la regione sta facendo il DTM ogni 5m.

Esistono anche le immagini da satellite: non si può disegnare sopra, non sono precise, non sono aggiornate, ma si può vedere tutto il mondo, posso trovare le coordinate di un punto e va bene per inquadrare una zona.

La FOTOCAMERA TERMICA è una macchina fotografica che fa due foto, una normale e una termica. In zone a rischio di sinkhole posso vedere zone più fredde, può indicare i punti dove esce acqua sorgiva, più calda.

Il LiDAR fa una scansione del territorio, è una foto, ma ogni punto ha una x, y, e z, quindi è un'immagine in 3D. Ogni punto ha una precisione di 1mm.

- quadripolo, un insieme di **4 elettrodi** (picchetti di ottone) e cavi elettrici.
- gli elettrodi più esterni A e B sono collegati con un generatore e un amperometro che regola la corrente
- quelli più interni M e N sono collegati con un voltmetro che misura la caduta di potenziale.
- per la legge di Ohm $\Delta V = Ri \rightarrow$ note i e $\Delta V \rightarrow \Delta V/i = R = \rho L/A \rightarrow \rho = \Delta V A/Li$ resistività del mezzo roccioso, con L lunghezza del conduttore e A sezione del conduttore

Un SEV è un insieme di misure di ΔV ottenute modificando la distanza tra gli elettrodi del quadripolo; sono necessarie 10-15 misure. Il prisma di roccia interessato dalla misura è

- largo $AB/2$
- profondo $AB/4$
- lunghezza $3AB/2$

Es.: $AB=1\text{km}$ il prisma di roccia è profondo 250m

Posso attraversare una strada, un corso d'acqua, ma non una ferrovia.

La prima misura sarà relativa al suolo, poi spostando A e B l'altra misura riguarderà più strati. Il sistema funziona bene se la stratigrafia è semplice, modelli a 2 strati.

Dispositivo Wenner $AM=MN=NB$

Dispositivo Schlumberger $AM=NB \neq MN$

Esempi di valori di resistività:

- calcari fratturati (acqua salata) 30
- calcari fratturati (acqua dolce) 50
- calcari fratturati (asciutti) 8000
- argille (sopra) consolidate 20-2000
- argille (acqua dolce) 10-100
- argille (acqua salata) 1-10
- ghiaie argillificate 15-35 simili alle argille come caratt. tecniche

Ho grossi range di valori perché se fratturati c'è acqua e i valori possono cambiare. Quindi se cerco acqua i valori devono essere bassi, ma non troppo altrimenti indica acqua salata.

Se nel basalto ho valori bassi posso avere argilla invece di acqua. Questo è il limite della geofisica.

(La resistività è inversamente proporzionale alla corrente: quindi se la corrente è alta, cioè c'è acqua, la resistività è bassa.)

La geoelettrica funziona in strati piatti o inclinati e regolari, altrimenti interferisce col basamento sottostante.

Resistività bassa \rightarrow acqua

.....alta \rightarrow acqua

La sismica

Si basa sullo studio delle onde sismiche indotte artificialmente (con mazza, fucile o esplosivo*) nel terreno (energizzazione del terreno). Si sfruttano le onde P. I metodi sismici sono a riflessione o a rifrazione.

*Attenzione: se ho sabbie può provocare la liquefazione del terreno!!!

Metodi a riflessione

Identificano strutture profonde anche migliaia di metri ed è impiegato nella prospezione petrolifera. Il risultato è uno spaccato sismico del sottosuolo, dove vengono messe in luce tutte le discontinuità incontrate. Lo spaccato si può leggere come un diagramma spazio-tempo e se si conoscono grossomodo le velocità delle onde sismiche nel sottosuolo, è possibile trasformare l'asse dei tempi in profondità.

È un metodo che va bene dove ho materiali che fanno propagare velocemente l'onda. Visualizza le geometrie del sottosuolo, non il tipo di roccia (vedi esempi su slide). In genere sopra non ho segnale quindi argille, mentre in profondità comincia il segnale.

Metodi a rifrazione

Identificano strutture profonde qualche centinaio di metri ed è usato nella prospezione idrogeologica e nell'ingegneria civile. Principio: quando un raggio attraversa un'unità diversa subisce riflessione, rifrazione e rifrazione totale, cioè il segnale corre sull'interfaccia tra due mezzi. Il sistema funziona quando $v_2 > v_1$, la stratigrafia è semplice e non ho rumori di fondo.

Do il colpo, i raggi sismici scendono in profondità e poi risalgono in superficie dove dei geofoni registrano quando arriva l'onda sismica.

La velocità delle onde sismiche dipende dallo stato di fratturazione.

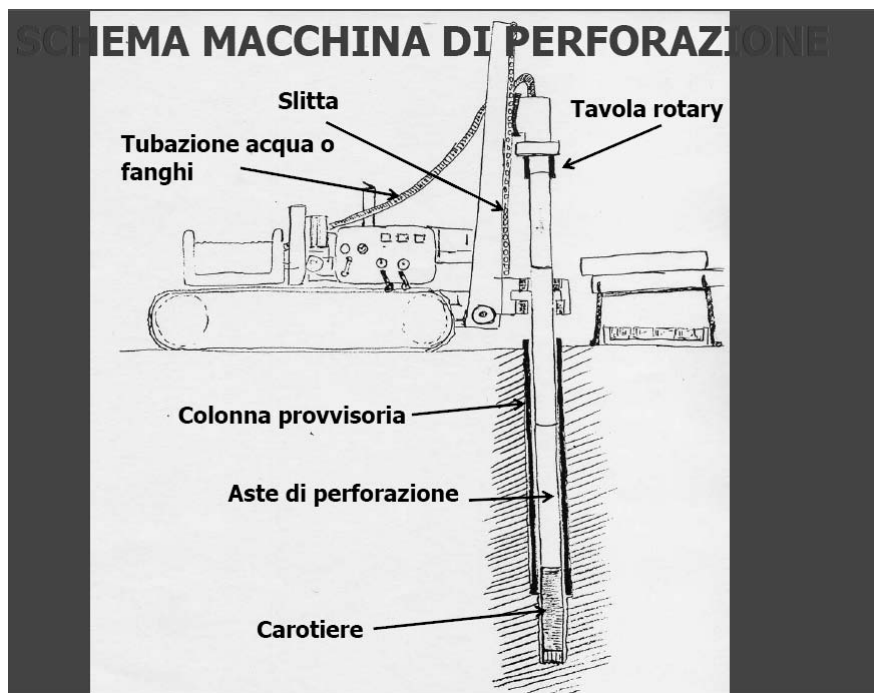
Oltre a v devo misurare la profondità. Se gli strati sono orizzontali i grafici saranno identici.

$v = s/t$ per i vari geofoni v è la stessa perché se aumenta s , aumenta anche t . Il risultato della geofisica è un numero.

I SONDAGGI GEOGNOSTICI

Forniscono informazioni fondamentali relative alla situazione stratigrafica del sottosuolo. Sono dati puntuali. A cosa servono?

- Ricostruzione dell'assetto stratigrafico
- Esecuzione di prove in situ (caratterizzazione tecnica delle rocce, prove di permeabilità)
- Raccolta di campioni per prove e analisi di laboratorio (geotecniche e idrogeochimiche)
- Installazione di strumentazione di controllo (geotecnico o ambientale)



Nel cantiere completo troviamo:

- perforatrice
- vasca d'acqua
- aste
- tubazioni provvisorie

Bisogna costruire una pista d'accesso (chiedere i permessi e il permesso alla forestale). Attenzione se piove, la pista diventa un pantano di fango.

La macchina può essere cingolata e allora dev'essere trasportata oppure con 4 ruote motrici. Se le pendenze sono alte arrivo con l'elicottero (40€/minuto, ma il costo maggiore è il trasferimento).

I sondaggi possono essere anche inclinati o orizzontali, ma sono più cari. Il più delle volte sono sondaggi verticali.

Si paga a metri di perforazione, non a giorni. Bisogna fare controlli nei momenti più impensati. È fondamentale fare controlli e dare tutte le specifiche in modo da contestare se il lavoro non è ben fatto.

La **corona** è la parte che deve fresare il campione, si trova sulla testa del carotiere. Ne esistono di diversi tipi, anche diamantata. La decide il sondatore, ma dato che siamo noi a pagare bisogna fare attenzione a quale viene usata, perché quella diamantata si usa per rocce dure, che contengono quarzo, non per argille o calcari.

Il carotiere è formato da un **estrattore**, una sorta di molla che fa entrare ma non uscire il campione. Per la sabbia invece dell'estrattore si usa il **cestello**, ma è il sondatore che decide quale usare.

Il **carotiere semplice** è formato da un solo tubo: il campione entra nel tubo e gira con esso, quindi otteniamo un **campione disturbato**.

Il **carotiere doppio** è formato da due tubi: quello esterno fresa il campione, quello interno contiene il **campione** che così non viene disturbato ed è quindi **rappresentativo**.

Alatore

Tubazioni provvisorie: si usano se il materiale tende a chiudersi.

L'acqua, prelevata da un fiume per esempio e messa in vasche, è fondamentale per:

1. raffreddare il sistema di perforazione
2. far avanzare le tubazioni provvisorie
3. portare in superficie il detrito

- trasporto e approntamento attrezzature, viaggio A/R del personale	900€
- installazione attrezzature nei vari punti (da 0 a 300m, da 300m in poi)	160€ o 350€
- perforazione verticale (da 0 a 20m, da 20 a 40m)	65€/m o 78€/m
(a seconda del materiale incontrato il prezzo varia, perché se il materiale è duro ci vuole più tempo e quindi costa di più)	
- prelievo campioni con fustella	65€
- cassette portacampioni	25€
- noleggio mezzo di trasporto per approvvigionamento acqua	120€

O si ha un sondatore di fiducia o si fanno gare, ma bisogna specificare bene cosa si vuole perché magari una ditta fa prezzi bassi ma non ha buone attrezzature.

Gli oneri a nostro carico sono:

- permessi di lavoro
- permessi di accesso, transito e occupazione suolo pubblico
- I.V.A.
- Picchettazione dei punti di indagine
- Eventuali danni a frutti pendenti (si paga un anno di mancato raccolto al contadino)

Prove in foro: sono prove eseguite mentre si fa la perforazione. Siamo noi che indichiamo le prove da fare. Sono fatte sulla zona di terreno che non è ancora stata toccata.

1. **Prove penetrometriche:** l'attrezzo è un tubo in ferro avvitato alle aste e infisso nel terreno su materiali fini (sabbie, argille, ghiaia fine); può avere
 - Punta aperta → si usa per materiali morbidi, prelevo proprio il campione e lo vedo materialmente; se per esempio la uso per le marne non vado avanti
 - Punta chiusa a forma di cono → si usa per la ghiaia fine, non preleva il campioneCome si effettua? È eseguita dal sondatore: un peso picchetta sull'attrezzo e conta il numero di colpi necessari per infiggere lo strumento di 45 cm. Il sondatore segna una riga sulle aste e segna il dato per i primi 15cm, per altri 15cm e altri 15cm. Dà i dati all'ingegnere che butta via i primi 20cm perché c'è detrito e il dato non è rappresentativo, di solito è il valore più basso, poi vede gli altri due valori che, se il materiale è lo stesso, devono essere simili. Se i valori sono diversi bisogna capire perché, magari cambia il materiale. Sommo i due valori. Si usa per fondazioni e strade. È necessario fare più di una prova nella stessa perforazione perché il sondatore è distratto!
2. **Prova pressiometrica:** viene eseguita su materiali con caratteristiche tecniche non eccezionali. Dà la caratterizzazione del materiale. Il sondatore fa un foro un po' più piccolo lungo quanto il pressiometro, immediatamente mette nel foro il pressiometro sperando che non si chiuda il foro che non è rivestito. L'attrezzo è collegato in superficie con le aste. Il pressiometro è un pallone di 60-70cm, di materiale gommoso che si può deformare. Ci sono 3 celle. Quando applico uno sforzo sulle pareti del foro, le celle contrastano la deformazione che applico sul terreno. Collegato al pressiometro ci sono 2 tubicini, uno collegato in superficie con bombole, l'altro collegato ad un contenitore di acqua distillata.
Questa prova è fatta soprattutto per gallerie (ecco perché i tubicini sono lunghi). Faccio la prova in corrispondenza della galleria. C'è un manometro per le celle di guardia e la cella di misura, a sx un tubicino vetrato indica il livello dell'acqua. È una prova che dura diverse ore.
L'ingegnere che fa la prova comincia ad applicare una pressione, dà aria → il piezometro si gonfia, prima nelle celle di guardia, poi nella cella di misura. L'acqua distillata riempie la cella di misura che è in pressione, aumenta di volume e il livello dell'acqua si abbassa. La prova è fatta con un tot di gradini a salire e un tot di gradini a scendere.

PROVA DI PERMEABILITÀ: utile se devo consolidare il terreno perché se devo fare delle iniezioni devo capire prima che iniezioni fare e a tale fine devo il tipo di permeabilità. Per esempio se inietto acqua e cemento in una sabbia fine non va bene, ma bisogna usare sostanze che penetrino negli spazi intergranulari. È anche utile per le discariche per le quali il terreno deve essere impermeabile altrimenti la falda è inquinata dal liquame. Dobbiamo dire al sondatore a che profondità fare la prova. Supponiamo di essere arrivati a 6m, il sondatore si ferma, andremo a fare un ulteriore foro in genere di 50cm-1m. Può succedere che il foro tenda a crollare, allora si riempie il foro di ghiaia e il foro non crolla. La prova può essere a:

- carico costante: il livello rimane sempre fermo, quindi si versa l'acqua nel foro in modo da stabilizzare il livello, allora calcolo la portata. Es: 1 litro scende velocemente, 3 litri trabocca, 2 litri sarà la portata giusta. Si fa nei sedimenti più permeabili.

Pozzi irrigui → prima falda

Pozzi idropotabili → seconda falda

Quando si fanno perforazioni profonde la regione vuole che venga dimostrato che non si mette in comunicazione prima e seconda falda, altrimenti l'acqua inquinata della prima falda finisce nella seconda falda. Allora realizzo un primo piezometro nella parte superficiale e il secondo più in basso cementando dalle argille in su. Se i due livelli sono uguali vuol dire che in realtà ho un'unica falda e le argille non sono continue, altrimenti vuol dire che ho due falde.

PIEZOMETRO SEMPLICE, ACQUIFERO ARTESIANO: il livello dell'acqua, è sopra il piano campagna, esce naturalmente.

PIEZOMETRO DI CASAGRANDE: si mette nei sedimenti fini per calcolare le **pressioni interstiziali**. C'è un filtro ceramico permeabile (celletta di Casagrande) con due tubicini che arrivano in superficie che dicono la pressione dell'acqua non l'altezza dell'acqua della falda.

Se devo misurare l'altezza di due falde, tra le due non deve esserci comunicazione.

Strumentazioni per le misure dei livelli idrici

il livello di falda varia nel tempo ma se devo misurarlo sempre costa molto allora esistono dei sistemi automatici:

- galleggiante con pennino che scrive su carta
- pressione dell'aria nell'acquifero
- il più usato è il **misuratore automatico con sensore** che misura un dato all'ora e ogni tre mesi si scarica il dato

2° condizionamento: tubo inclinometrico

Spesso i movimenti in superficie non si vedono, allora si usa questo strumento per vedere se nel terreno ho dei movimenti (non frane vere e proprie). L'inclinometro è un tubo in alluminio (non comprare in plastica!). Viene anche installato un tubicino di iniezione della boiaccia cementizia per bloccare l'inclinometro. Tutti i fori aperti della tubazione vengono chiusi col silicone altrimenti la boiaccia cementizia entra nel tubo. ???????

La zona della testa dell'inclinometro deve essere adeguatamente cementata. Il tubo inclinometrico è inserito in un pozzetto. Il tubo non va messo in una zona con troppo movimento altrimenti viene tranciato.

Sonda inclinometrica: costa 10000€ misura la verticalità del foro. Prima di mettere la sonda metto un testimone, se sale e scende bene metto poi dentro la sonda. Calo la sonda, poi la recupero e ogni metro misuro la verticalità del foro. Si fa la lettura in un senso e ortogonalmente. Quando è stato costruito l'inclinometro bisogna fare la lettura zero di riferimento. Ci sono rotelle messe nelle rotaie.

Si fanno misure ogni mese o ogni anno. (vedi disegno: faccio la misura dal basso così vedrò che fino ad un certo punto non c'è stato il movimento, poi da un certo livello in su rispetto alla lettura zero c'è movimento)

I dati ottenuti dalle misure inclinometriche mostrano gli spostamenti in millimetri rispetto alla profondità. Se ci sono stati spostamenti vedo com'erano le precipitazioni nel momento in cui c'è stato il movimento.

Spesso capita che le risultanti sono sovrapposte: ciò può voler dire non che non si è mosso, ma che tutta la massa si sta spostando e il tubo non è abbastanza profondo. Quindi **bisogna fare anche letture topografiche dal boccapozzo**.

Si possono creare dei sistemi di allarme automatico in una zona a rischio.

Di solito il piezometro e l'inclinometro vengono messi a distanza ravvicinata. Se troppo vicini il cemento dell'inclinometro va nel piezometro e il piezometro misura sempre lo stesso livello dell'acqua perchè è circondata da cemento. **La giusta distanza tra piezometro e inclinometro è 4-5m.**

pioggia → livello dell'acqua → movimento

piezometro

inclinometro

Problema:

- si usa la tubazione provvisoria quindi se i materiali sono coesivi devo cambiare diametro. (i diametri sono di 30-35cm)
- attenzione se ci sono edifici perché la macchina spara su i detriti

Attenzione: le attrezzature grosse possono non passare da una strada!!!

Una volta realizzato il foro, caliamo nel foro il **tubo filtro** dove c'è acqua, il **tubo cieco** dove non c'è acqua. Poi man mano si mette il pisello del Ticino. Il sistema di drenaggio è importantissimo. Il foro può riempirsi di materiale sabbioso quindi bisogna impedire che il fine entri altrimenti attorno si forma un vuoto, c'è un collasso di materiale che schiaccia i tubi.

Quando sono in materiale sabbioso il prefiltro deve essere spesso 20 cm, tra tubo e parete del foro, da una parte e dall'altra.

Se l'acqua è dura i fori del tubo filtro possono essere intasati, allora servono acidi che sciolgano, ma se ho usato una normale ghiaia solubile e non il pisello del Ticino come prefiltro gli acidi sciolgono anche il ghiaietto.

Man mano che metto il materiale tiro su le tubazioni provvisorie.

Poi devo chiudere il pozzo con palline di bentonite (1m) per non far scendere il cemento e cementazione.

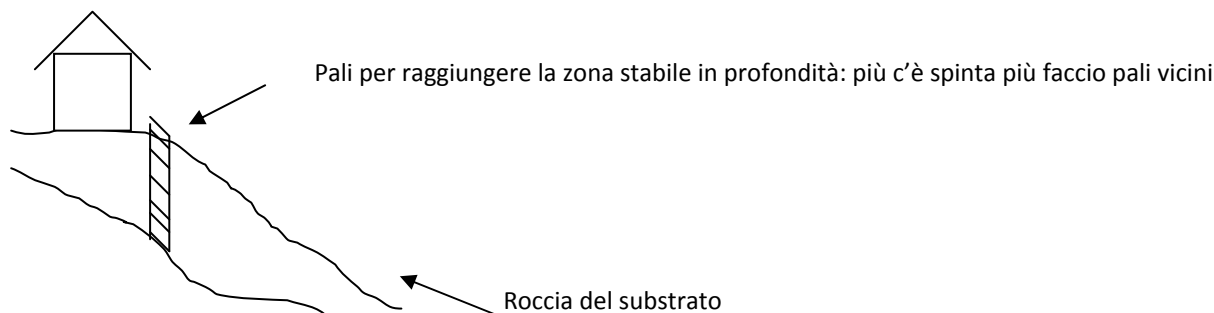
A seconda del tipo di materiale bisogna usare un certo filtro:

- **filtro Jhonson**, in acciaio inox, per sabbia fine, ci sono spazi ristretti che fanno entrare l'acqua
- **filtro a ponte**, in lega, per ghiaie con un po' di sabbia, poco costoso
- **filtro a fessure**, in lega, per rocce fratturate senza materiale fine, poco costoso

Il prefiltro va comunque messo, per poi chiudere il pozzo.

Una volta concluso il pozzo bisogna fare l'espurgo (è importante dire al sondatore di fare l'espurgo): con una pompa facciamo uscire l'acqua finché non è cristallina, il che significa che non c'è più materiale fine.

- 3) TRIVELLA A SECCHIO → si usa per fare pozzi meno profondi e rapidamente; si usa su materiale fine e non c'è la tubazione provvisoria quindi non va bene dove il materiale tende a chiudersi; a seconda del tipo di terreni ci sono diversi secchielli; le benne mordenti si usano per prelevare il materiale in scavi vicino a edifici: per esempio se devo realizzare un parcheggio sotterraneo in centro, non posso iniziare a scavare normalmente perché il materiale su cui poggiano gli edifici si detensiona e compaiono delle fratture negli edifici, allora devo prima effettuare uno scavo verticale ai lati per poi iniettare cemento da sotto e formare una sorta di muro che tiene il materiale accanto
- 4) PERFORAZIONE ELICOIDALE → è formata da un'elica, una sorta di enorme cavatappi, non c'è la tubazione provvisoria, non si usa in materiale grossolano, altrimenti l'elica si pianta, ma in materiale fine. Per questo si fanno prima i sondaggi. Ci sono delle aste telescopiche, lunghe al max 30m. Con questa tecnica si possono realizzare fori per mettere l'armatura e poi gettare il cemento: così si realizzano dei pali che lavorano per attrito laterale e che consolidano il terreno. Se per esempio devo consolidare un pendio, prima realizzo un diaframma di pali trivellati, collegati da strutture dette cordoli, in cemento armato, e poi scavo



Per mettere gli enormi pilastri dei viadotti si fanno pozzi di grande diametro realizzato con cintura di pali trivellati: prima si fanno i pali e i cordoli di collegamento e poi si scava.

Una volta si usavano, come a Venezia, pali di legno particolare con una punta, conficcati nel terreno. Tanti pali spostano tanta argilla che si consolida e c'è una forte coesione.

Il macchinario che realizza i pali battuti metallici ha una torre per battere il palo metallico. Lavorano per attrito laterale. Si mettono in materiale fine. Si usano anche pali battuti in legno e in cemento.

- 5) JET GROUTING → è la tecnica più moderna e usata, tipica dei materiali grossolani. La macchina

Studio e monitoraggio frane

Prima di effettuare ogni opera ingegneristica, l'ingegnere deve fare uno studio ad hoc per assicurarsi che il versante sia stabile.

Nell'ambito del territorio regionale sono molto diffusi **movimenti franosi** di ogni tipo, per cui è opportuno installare dei sistemi di controllo. Nelle zone pesantemente a rischio il monitoraggio ai fini della tutela della pubblica e privata incolumità è fatto da un gruppo specializzato dell'Arpa Piemonte, formato da geologi, ingegneri civili e ambientali.

Perché delle aree vengono poste sotto controllo?

- (1) Sono stati osservati evidenti fenomeni dissestivi e se ne vuole conoscere la futura evoluzione
- (2) L'area mostra delle caratteristiche morfologiche dubbie per cui si vuole approfondire il grado di conoscenza (come un versante a frana poggio)
- (3) Pur non essendoci dissesti evidenti la presenza di importanti opere necessita un attento controllo (scuole, ospedali, autostrade)
- (4) Si vuole verificare l'efficacia nel tempo degli interventi di sistemazione (faccio il monitoraggio dopo gli interventi)
- (5) Su fenomeni franosi noti si vogliono fornire dati a supporto delle decisioni in caso di eventi alluvionali

NB: il monitoraggio deve durare un certo periodo, perché le frane sono molto condizionate dalla situazione climatica (piogge). Bisogna spiegarlo al committente che magari vuole la villetta in pochi mesi.

Nella maggioranza dei casi i sistemi di controllo vengono installati dai singoli comuni sulla base di finanziamenti regionali. Tutti i sistemi di controllo per essere efficienti ed efficaci richiedono attenzione, manutenzione e controllo protratto per lungo tempo. Ci vuole almeno un anno per avere dati sicuri. La gestione di sistemi di controllo sui movimenti franosi e l'interpretazione dei risultati richiedono personale con specifiche conoscenze tecnico-scientifiche.

In Piemonte i fenomeni franosi sotto controllo sono le frane da scivolamento planare e rotazionale, non molto i fenomeni da crollo che non danno dati utili o le colate detritiche per le quali servono gli interventi ma non i monitoraggi, se non per le piogge coi pluviografi. I sistemi più utilizzati sono tubi inclino metrici che danno i dati più precisi.

Si controllano in particolare strade, poi nuclei abitati, singoli edifici e ostruzioni (sbarramenti causati dalle frane).

La rete è di tipo estensivo, ovvero include molti siti ciascuno dei quali attrezzato con pochi strumenti, ad eccezione di alcuni siti interessati da frane particolarmente intense, per i quali sono disponibili strumentazioni complesse collegate anche a sistemi centrali che svolgono la funzione di allerta.

I sistemi di controllo sono legati al tipo di frana.

1. Innanzitutto servono i **dati pluviometrici**. In Piemonte ci sono 350 stazioni e i dati sono disponibili in rete. Ma i temporali intensi sono molto localizzati, perciò ci possono essere dei punti che sfuggono ai pluviometri.

2. **Sistemi di controllo topografici per la misura di spostamenti superficiali**. Sono sistemi semplici e che costano poco. Possono essere di due tipi:

- **convenzionale**: metto sul corpo frana una serie di punti rappresentativi, detti **prismi ottici**. Lo strumento è posizionato al di fuori del corpo frana, dove sicuramente non ci sono movimenti, e traguardo il corpo frana per vedere se i punti si muovono. Può essere automatizzato: ci sono delle stazioni robotizzate che fanno automaticamente le misure, ma sono costose, quindi le metto in zone davvero pericolose. I dati sono trasmessi non con l'energia elettrica, perché in queste zone non sempre c'è la rete elettrica e poi negli eventi estremi la corrente può saltare. Allora si usano dei **pannelli solari**, più sicuri, ma se fa brutto per lungo tempo il pannello non carica più le batterie. Il pannello solare dev'essere quasi verticale sia per non essere coperto dalla neve sia per raccogliere i

- misuratori di giunti (misura in continuo)
- inclinometri di superficie (misura manuale)
- clinometri (misura in continuo): misura la verticalità di qualsiasi cosa.
- chiodi distometrici (misura manuale)
- **distometro a nastro**: simile agli estensimetri, blocca il nastro da una parte e dall'altra e legge lo spostamento sul manometro. Il nastro misura spostamenti millimetrici, quindi non è fatto di metallo che risente della dilatazione termica. L'estensimetro ha il vantaggio di trasmettere i dati.

4. Sistemi di controllo convenzionali per la misura di spostamenti in profondità: inclinometri

Sono strumenti manuali, le misure sono fatte ogni 6 mesi. Non vanno messi sul corpo frana se non si deformano, ma vanno messi fuori dal corpo frana per verificare se ci sono ulteriori movimenti. Sono molto usati, come per verificare possibili deformazioni sugli edifici indotte dallo scavo della metropolitana.

L'elaborazione delle misure dà un grafico con gli spostamenti del terreno in mm in ascisse e in ordinate la profondità.

Si usano estensimetri in foro

Su frane da roccia → GPS, estensimetri

Su frane da scivolamento → inclinometri

5. **Misura livelli di falda: piezometro** con la sonda che misura un dato all'ora per 3 anni, associato ad un **pluviografo**. Bisogna confrontare i dati delle piogge con il livello di falda (soggiacenza) e con le deformazioni.

Esempio 1: si può avere un forte pioviggia che non condiziona la falda (per esempio perché siamo d'estate). Quando cambia il livello di falda si ha una grande deformazione. Allora la frana si trattiene tenendo i livelli idrici bassi.

Esempio 2: deformazione continua scorrelata dalle precipitazioni → non è l'acqua che la provoca → è una frana profonda → deformazione gravitativa profonda

6. Tecniche in corso di verifica e sperimentazione

- **TDR** simile all'inclinometro, ma costa molto di più. Serve per rilevare movimenti in profondità
- **Estensimetro di profondità** simile all'estensimetro ma poco usato
- **SIA** è un inclinometro
- **DICLAS** poco usato
- **SAR** per la verifica di spostamenti millimetrici verticali tramite sistemi satellitari. Indica solo spostamenti infinitesimali che potrebbero però essere dovuti alla tettonica a zolle, è abbastanza usato. Non usarli, poco attendibili. Ci sono punti fissi sul terreno (riflettori), il satellite gira e ne rileva ogni volta la posizione.

I sistemi di controllo se pur in grado di cogliere l'evoluzione complessiva del movimento franoso, non sono in grado di prevedere né nel tempo né nello spazio lo sviluppo di fenomeni veloci sul fronte dei grandi movimenti franosi alpini.

Il dato del monitoraggio è puntuale e non posso riempire il versanti di strumenti (è caro). Se per esempio colloco due inclinometri su un versante ma poi la frana si verifica in un altro punto i due inclinometri non registreranno il movimento.

Una persona con conoscenze del territorio dovrà ubicare questi punti. Prima di installare gli strumenti bisogna spiegare i limiti al committente, ma comunque vanno installati per precauzione.

Interventi su versanti instabili

Sono strettamente legati al tipo di fenomeno franoso. Si dividono in tre famiglie:

- interventi SUL corpo
- interventi NEL corpo
- interventi AL piede (se ho un'enorme frana questi interventi non servono)

1) Interventi su pendii interessati da fenomeni di intensa erosione o piccole frane da scivolamento rotazionale.

- *riprofilatura del versante (movimenti di terra)*

Consiste nel livellare il pendio

- *inerbimento e interventi di ingegneria naturalistica*

Quasi tutte le regioni chiedono di fare interventi di ingegneria naturalistica (basso costo e poco impattanti) prima che civili. Con l'inerbimento l'apparato radicale evita i fenomeni di erosione e l'infiltrazione perché assumono grandi volumi di acqua. Bisogna mettere piante adatte a quel pendio e che crescono naturalmente, si chiede al botanico.

Ma se semino alla prima pioggia è portato via tutto, allora si mettono le *georeti* (di iuta) che evitano che la semenza sia portata via. Dopo un anno o due queste georeti marciscono, ma non è un problema perché la semenza ormai ha già preso.

Oppure posso mettere *geogriglie* in pvc per pendenze massime di 40°. Dopo mesi la geogriglia non si vede più perché l'erba è cresciuta.

L'*idrosemina* (acqua, sostanze organiche, semenza) favorisce la crescita degli apparati radicali.

Sui pendii più inclinati l'inerbimento non serve, allora faccio le *vimate*, creo dei pendii a scalini con paletti di legno, fascine e talee. La fascina può essere superficiale o più interrata. Dopo 2 o 3 anni marcisce, ma ormai la vegetazione ha già attaccato.

Oppure faccio le *palificate*, con tronchi di più grosse dimensioni. Vanno messe dove c'è molto suolo.

Si usa materiale raccolto in loco per il basso costo.

Infine *geostuoie*, stuoie con all'interno apparati radicali.

- *canalizzazione delle acque di ruscellamento superficiale*

Le canalette prefabbricate devono stare sotto il piano campagna. Sono fatte in onduline metalliche prefabbricate. Evitano che l'acqua si infiltri. Vanno convogliate verso un corso d'acqua preesistente.

2) Interventi in pendii di roccia lapidea intensamente fratturata: caduta di blocchi o piccole frane da crollo.

Sul pendio:

- *disgaggio e bonifica della parete*

Un'operazione fondamentale è pulire la parete: *eliminare i blocchi e gli apparati radicali* che crescono ingrandendo le fratture. I blocchi sospesi sulla parete devono essere fatti cadere con leve o esplosivo. Così metto in sicurezza la parete. **Si chiama una ditta apposita. Se cadono blocchi a valle noi siamo responsabili.**

- *posizionamento di reti*

Il posizionamento della rete è molto importante (controlla!): deve aderire perfettamente al pendio altrimenti si accumulano pietre in basso o a metà che potrebbero sfondare la rete. La rete è fissata con dei *chiodi* e spesso anche con *cavi* d'acciaio per ancorarla meglio e per trattenere blocchi di grosse dimensioni. in basso è normale che si accumulino qualche blocco e ogni 5 anni si fa la pulizia, ma il problema è se si accumulano a metà. E' meglio che la chiusura sia fatta a fondo pendio.

Se il pendio è molto lungo, è costoso mettere una rete lungo tutto il pendio, allora si usano *barriere elastiche*. Bisogna capire se mettere reti o barriere elastiche o se fare un doppio intervento.

Una rete metallica dura 30-40 anni e nelle zone marine arrugginisce prima.

- *utilizzo beton spritz*

roccia sana faccio la geofisica sismica. Se la roccia è fratturata per 15 m lo faccio profondo 25m. I tondini arrivano fino a 10m allora farò i tiranti.

Se l'ammasso è tutto fratturato farò tanti fori con varie inclinazioni.

(4) Scelgo cosa mettere nel foro. Noi scegliamo l'intervento, la profondità e l'angolazione.

Il tondino in ferro lavora di taglio.

Nel foro posso mettere un bullone o un tassello. Alla base si mette una piastra metallica ripartitrice del carico sulla parete.

- *chiodi*

È il cosiddetto ancoraggio passivo: funziona al momento del movimento. Lavora solo a taglio, se ho una frattura verticale non serve a nulla.

- *bulloni*

Vanno bene fino a 10m di profondità.

- *tiranti*

È il cosiddetto ancoraggio attivo perché cuce la parete. Arrivano fino a 50-60m di profondità. Al posto di avere un tondino in ferro nel foro c'è un cavo di acciaio, bloccato all'interno del foro per 2/3 con resine (presa molto più rapida) o cementi. Sopra metto la piastra ripartitrice e un martinetto idraulico che tira le funi.

Le funi vengono tagliate e come protezione al fondo si mette un pomello rosso.

Il tirante va messo in rocce lapidee, che tengano (anche marne ma non argille). Posso ancorare un muro che sostiene una porzione di roccia fratturata all'ammasso roccioso sano con un tirante.

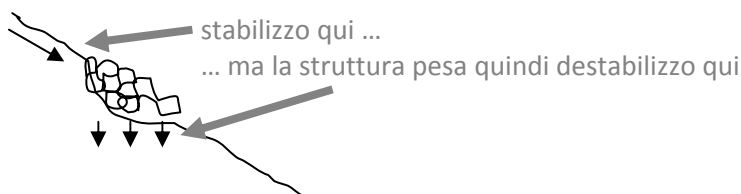
4) Interventi al piede di corpi frana di piccole dimensioni o di versanti instabili.

- *palificate doppie*

Sono grossi prismi in legno riempiti di terra, ma è meglio mettere ghiaia che è più permeabile, però la terra si trova in loco. Se ho una certa spinta servono poco, si lesionano.

- *scogliere*

Fatta da enormi blocchi di roccia pesante, duratura (peso >2,6-2,7, no calcare, si dolomie). Il trasporto di un blocco roccioso è caro, si usa materiale locale, altrimenti è più conveniente usare blocchi in cemento. I blocchi sono appoggiati, non cementati, in modo da essere deformabili e da adattarsi alle blande deformazioni del terreno.



Va messa in zone piatte, di fondovalle o al massimo sui versanti solo se sotto ho zone stabili.

- *gabbionate*

Simili alle scogliere, sono dei prismi fatti da reti riempiti da pietre. La manodopera costa cara, le pietre sono prese da fuori, perché dai corsi d'acqua è vietato. Poi l'opera arrugginisce quindi si preferiscono le scogliere. Appesantisce molto il versante, dov'è possibile usa l'inerbimento.

- *muri cellulari*

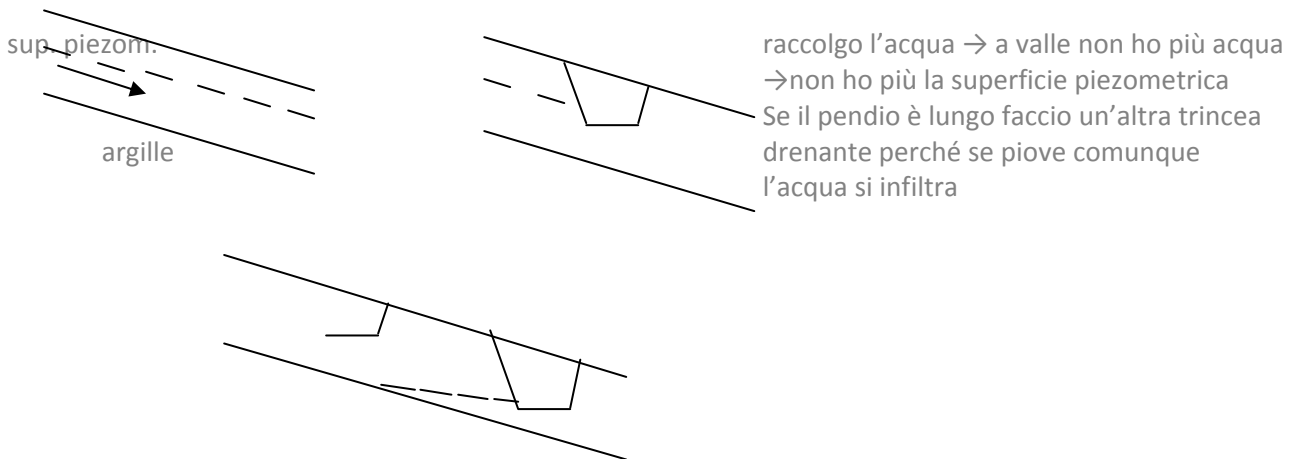
Sono molto usati soprattutto lungo l'asse stradale. Sono prismi fatti da elementi a doppio T lunghi 1-1,5m riempiti da ghiaione. Raggiungono altezze da 4 a 6-7m. Sono molto impattanti. Si possono fare dei balconcini riempiti da terra.

- *terra armata o rinforzata*

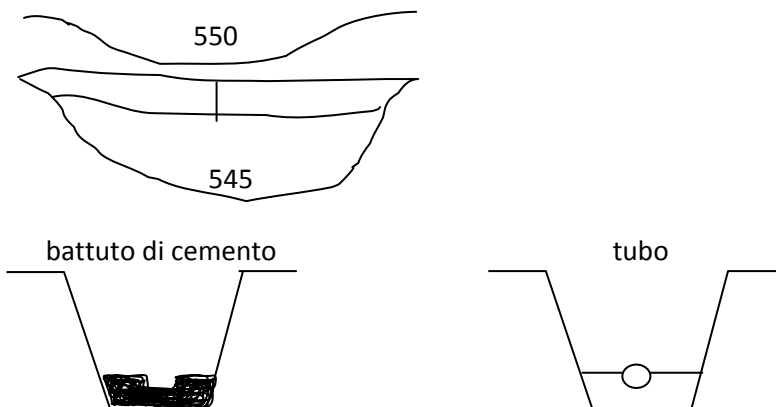
- in prossimità della superficie metto di nuovo il tessuto girandolo dai lati. È fondamentale se no si infiltra il fine.
- poi terra per evitare che le acque superficiali vadano a intasare il tutto.
- il tutto è inerbito

Lo faccio a schiena d'asino perché il materiale tende a costipare. È una struttura porosa.

Principio: raccogliere acque sotterranee. Le acque superficiali sono raccolte dalle canalette.



Si dà una pendenza dell'1-2% (non troppo se no fenomeni di escavazione), quindi per esempio possono passare da una linea di livello di 550m ad una di 545m cioè scendere di 5m. Sono ortogonali al pendio.



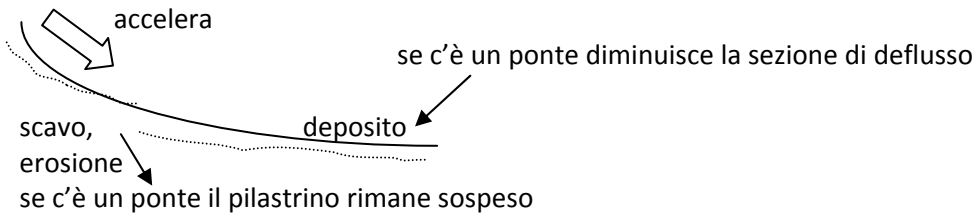
- **gallerie drenanti**

Se la superficie piezometrica è a 20m di profondità non posso realizzare le trincee drenanti, allora realizzo le gallerie drenanti, ma si usano per situazioni davvero pericolose perché è un'opera molto cara, quindi ad esempio se c'è un'autostrada o un centro abitato a rischio.

Principio: simile a quello della trincea, costruisco una galleria che poggia sul substrato e che intercetta la superficie piezometrica. L'altezza è di 2m ed è leggermente inclinata per permettere il fluire delle acque. È scavata a mano ed è armata solo per il tempo dello scavo per garantire stabilità all'ammasso. Dentro metto ghiaione e se le acque sono torbide, cioè con materiale fine, metto anche geotessuto attorno. A valle sarà asciutto.

Si possono fare dei dreni per raccogliere ulteriore acqua.

Non è una struttura rigida, non va fatta in cemento perché ci possono essere dei cedimenti di 10-20cm. Anche se si deforma un po' non importa, dev'essere una struttura deformabile e che si adatta ai piccoli cedimenti del terreno.



Dato che non si può raccogliere il materiale nell'alveo di un fiume, ma potendo avere problemi per la sezione di deflusso sotto un ponte, posso dimostrare che l'alveo si è alzato usando la fotointerpretazione. Per evitare l'**erosione delle sponde** posso utilizzare:

- **scogliere**

Devo dimensionare bene l'opera: se la corrente è veloce porta via i blocchi.

Se i blocchi sono cementati rischio sottoescavazioni, altrimenti appena l'acqua scava un po' i blocchi si deformano. Non è un'opera impattante, è l'ideale e la più utilizzata. I blocchi non vengono cementati a meno che sotto non abbia un substrato roccioso.

- **gabbionate**

Proteggono la sponda MA sono cari per la manodopera e contengono ferro quindi si rovinano.

La terra armata non si usa, l'acqua può infiltrarsi e saturare l'argilla che diventa con caratteristiche tecniche scadenti.

Per evitare l'**approfondimento** e l'**erosione dell'alveo**:

- **briglie**

Sono delle sorte di sbarramenti che cambiano la morfologia del corso d'acqua, lo rallentano, creando delle zone piatte e delle piccole cascate in cui si scarica l'energia cinetica dell'acqua. Le briglie possono essere:

- deformabili, fatte con le gabbionate. Anche se ci sono sottoscavi i blocchi si deformano adattandosi.
- in cemento armato, calcestruzzo solo se sotto ho qualcosa di rigido, roccia lapidea. Tolgo il detrito e poggio la struttura sul substrato. **Se la poggia sul sedimento la forza dell'acqua la scalzerebbe in seguito all'erosione spondale.** Ci possono essere diversi livelli di fori. Quelli inferiori possono ostruirsi perché essendoci una zona piatta prima della cascata il materiale fine si deposita.

Alla base della cascata sono posizionati altri blocchi in pietra o in cemento per impedire che la forza dell'acqua che cade da una certa altezza sottoscavi l'alveo.



- **briglie selettive**

Sono un ostacolo per trattenere grossi blocchi ma devono essere pulite → piste di accesso per ruspe. Possono essere:

- a pettine, messe nelle colate detritiche a monte della zona di deposito
- a finestra, briglie in cemento armato con finestre per trattenere il materiale grossolano

Per trattenere i blocchi delle **colate detritiche**:

- **briglie selettive a rete** (o reticolari, ma molto impattanti)

Sono reti che servono per trattenere il materiale. Sono però economiche, costano un decimo di quelle in cemento armato.