

FENOMENI GRAVITATIVI

Processi Esogeni ed Endogeni: manifestano gli effetti dei pericoli geologici

Esogeni: fenomeni esterni che modellano il paesaggio (precipitazioni, venti, corsi d'acqua, ghiacciai, mare)

Endogeni: fenomeni che si originano internamente alla terra che modellano il paesaggio (vulcani e terremoti)

Paesaggio geologico: è dotato di elevata dinamicità di trasformazione o di distruzione se i fenomeni sono visti sotto l'ottica dell'*insediamento umano*.

Uomo: attraverso la tecnologia è diventato uno dei principali agenti della dinamica esterna del pianeta (agente geologico):

- sfruttamento delle risorse geologiche
- Urbanizzazione
- Opere di difesa del suolo e quelle
- Industrializzazione

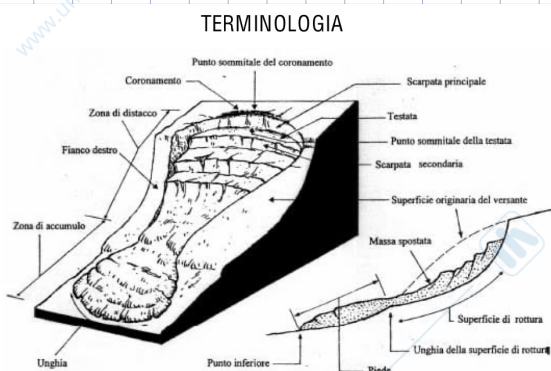
Nel paesaggio esistono aree più o meno "sensibili" dal punto di vista geologico geo morfologico.

FENOMENI IDROGEOLOGICI: fenomeni il cui sviluppo è condizionato fondamentalmente dall'acqua, dalle caratteristiche delle rocce e dei terreni e dalle forme del rilievo terrestre, quindi nell'insieme, dalla storia geologica di una determinata area. Sono processi naturali che implicano movimenti di volumi idrici (anche sottoforma di neve e ghiaccio) e spostamento di materiali solidi:

1. **Fenomeni gravitativi-frane**
2. **Fenomeni di dinamica fluviale-alluvionale**
3. **Fenomeni valanghivi**

FENOMENI GRAVITATIVI-FRANE

Il termine definisce genericamente qualsiasi movimento di masse rocciose e o di terreni, controllato dalla forza di gravità. Questo fenomeno presenta una zona di svuotamento nella parte alta del settore interessato dal dissesto (zona di distacco nicchia) e di una più forte di accumulò al piede del versante (accumulo di frana).



Nicchia di distacco: zona del versante da cui ha avuto origine il distacco.

Corpo di frana: porzione del pendio che è franato o sta per frere.

Accumulo di frana: detriti rocciosi o di materiale sciolto, ammassati alla base del versante.

Cause:

- **Predisponenti:** fattori intrinseci di instabilità allegati, essenzialmente, alle caratteristiche dei materiali costituenti il pendio (litologiche, strutturali, tessiturali, giaciturali)
- **Scatenanti:** agiscono su un pendio intrinsecamente "indebolito" e sono così definite perché innescano il movimento franoso (intense precipitazioni, attività sismica, attività antropica)

Fasi evolutive:

1. Preparatoria (più o meno prolungata e discontinua)
2. Pulsatoria di collasso (una o più fasi)
3. Assestamento (può portare un equilibrio definitivo o temporaneo)

Nell'attività di prevenzione, la fase preparatoria riveste ovviamente la massima importanza, si manifesta spesso attraverso una serie di indizi premonitori che consentono di riconoscere e delineare una certa zona di instabilità potenziale.

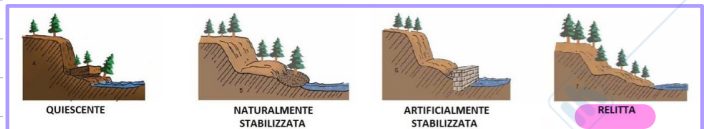
Stato di attività delle frane:

Secondo Cruden e Varnes 1996:

- **Attiva:** attualmente in movimento
- **Sospesa:** siamo mosse entro l'ultimo ciclo stagionale ma non è attiva attualmente
- **Riattivata:** di nuovo attiva
- **Inattiva:** si è mossa per l'ultima volta prima dell'ultimo ciclo stagionale

Ulteriore suddivisione delle frane inattive:

- **quiescente:** può essere riattivata dalle sue cause d'origine
- **Naturalmente stabilizzata:** protetta dalle sue cause originarie, senza interventi antropici
- **artificialmente stabilizzata,** protetta dalle sue cause originarie ed apposite misure di stabilizzazione
- **Relitta (paleofrana):** si è sviluppata in condizioni geomorfologica climatiche considerevolmente diverse da quelle attuali



Nuovi criteri per la definizione dello stato di attività di una frana (Campobasso 2018):

- **ATTIVA:** in evoluzione sotto l'azione dell'agente genetico principale per **processi in atto riattivabili**, per lo stesso tipo di processo, nell'attuale ambiente morfoclimatico.
- **RELITTA:** **non più in evoluzione** sotto l'azione dell'agente genetico che ha generate e **non più riattivabile per lo stesso processo** nel contesto geomorfologico e nelle condizioni morfo climatiche attuale, meno di modificazioni antropiche di significativi eventi naturali.

Classe	Descrizione	Velocità tipica	Osservazioni sui danni
I	Estremamente lento	6 mm/anno	Impercettibile senza strumenti di monitoraggio, costruzione di edifici possibile con precauzioni.
II	Molto lento	16 mm/anno	Alcune strutture permanenti possono essere danneggiate dal movimento.
III	Lento	1,6 m/anno	Possibilità di intraprendere i lavori di rinforzo e restauro durante il movimento.
IV	Moderato	13 m/mese	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute.
V	Rapido	1,8 m/h	Evacuazione possibile; distruzione di strutture, immobili ed installazioni permanenti.
VI	Molto rapido	3 m/min	Perdita di vite umane, velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione.
VII	Estremamente rapido	5 m/s	Catastrofe di eccezionale violenza, edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato, molti morti.

Scala di intensità delle frane basata sulla velocità e sul danno prodotto (da Cruden & Varnes, 1994, Australian Geomechanics Society, 2002).

TIPO DI MOVIMENTO	Tipo di materiale		
	Rocce	Detrito	Terra
Crolli	di roccia	di detrito	di terra
Ribaltamenti	di roccia	di detrito	di terra
Scorrimenti	rotazionali	di roccia	di detrito
	traslazionali	di roccia	di detrito
Espandimenti laterali	di roccia	di detrito	di terra
Colate	di roccia	di detrito	di terra
Frane complesse	Combinazione di 2 o più tipi principali		

TIPOLOGIA DI FRANA:

1. **Crolli:** di massa o di detriti, in movimento per caduta libera, staccatasi da un versante molto rapido o verticale. I detriti possono accumularsi nell'area di impatto oppure subire ulteriori spostamenti per rotolamento e rimbalzo.
2. **Ribaltamenti:** il movimento ha luogo per l'esistenza di un movimento ribaltata attorno ad un punto

di rotazione posto al di sotto del baricentro della massa interessata (versanti ripidi e trasporto in aria. L'accumulo di frana diventa impossibile riconoscerlo da un crollo da un ribaltamento). **FORME CARATTERIZZANTI AREE DI RIBALTAMENTO E/O CROLLI:**

- A. Falda detritica: il tipo di materiale è diverso a seconda del caso e le dimensioni possono variare da millimetriche a plurimetriche, solitamente eterogenea.
 - B. Cono detritico: formata dall'accumulo di materiale di forma Ance angolata di dimensioni molto variabili.
3. **Scorrimenti:** il movimento ha luogo lungo una più superficie di taglio. Si distinguono in:
- A. Traslativi: scivolamento lungo una superficie planare preesistente al movimento franoso.
 - B. Rotazionale: il movimento ha luogo lungo una o più superficie di taglio di neoformazione concave.
4. **Colamenti:**
- A. Lenti: bassa velocità, contenuto argilloso e basso contenuto d'acqua. (materiali detritici prevalentemente fini, saturazione del materiale da parte dell'acqua meteorica, forma piuttosto stretta e allungata e si allargano nella parte terminale dell'accumulo, confluiscono in un unico impluvi).
 - B. Rapidi: velocità elevata, terreni sciolti in presenza di un significativo contenuto d'acqua. (materiale di grandi dimensioni, versante acclivi o mediamente active in seguito a piogge brevi e intense-prolungate. Si possono distinguere in **colate rapide di fango** o **colate rapide di detrito**).
5. **Espandimenti laterali:** lo spostamento della massa avviene prevalentemente in senso orizzontale lungo frattura di trazione o di taglio, presenta una sovrapposizione fra materiali ad elevato contrasto di competenza che danno luogo a deformazioni differenziali (pendenze molto basse, disarticolazione suddivisione in blocchi della roccia sovrastante che subisce anche cedimenti, non si riconosce né una superficie basale di scorrimento né una zona di deformazione plastica ben definita).
6. **Fenomeni complessi:** il movimento risulta dalla combinazione di due o più tipologie di frana.
7. **Sprofondamenti:** si verificano per il crollo della volta di una cavità sotterranea (strutture tipiche chiamate camini di collasso).
8. **DPGV:** deformazione gravitativa profonda di versante (perlopiù lenta e progressiva della massa rocciosa, senza che siano apprezzabili superfici di rottura continue della massa rocciosa che porta al collasso di parti di questo).

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS		<p>Scar Cliff Rock Fall Debris</p>	<p>Scar Debris fall Scree Debris cone</p>	<p>Scar Earth fall Fine soil Rock Colluvium Debris cone</p>
	TOPPLES	<p>Rock topple</p>	<p>Debris topple Debris cone</p>	<p>Cracks Earth topple Debris cone</p>
SLIDES	Rotational	<p>Single rotational slide (slump) Failure surface</p>	<p>Crown Scarp Head Multiple rotational slide Minor Scarp Failure surface Toe</p>	<p>Successive rotational slides</p>
	Translational (Planar)	<p>Rock slide</p>	<p>Debris slide</p>	<p>Earth slide</p>
SPREADS	<p>Cap rock Normal sub-horizontal structure Gully Camber slope Dip and fault structure Valley bulge (planed off by erosion) Thinning of beds Plane of decollement Competent substratum</p> <p>e.g. cambering and valley bulging</p>			<p>Earth spread</p>
FLOWES	<p>Solifluction flows (Periglacial debris flows)</p>	<p>Debris flow</p>	<p>Earth flow (mud flow)</p>	
COMPLEX	<p>e.g. Slump-earthflow with rockfall debris</p>		<p>e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe</p>	

OPERE DI STABILIZZAZIONE E SISTEMAZIONE DEI PENDII

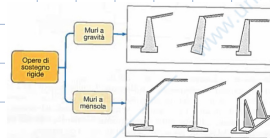
Se dall'analisi di stabilità di un versante risulta in equilibrio limite o potenziale non equilibrio, è necessario nelle zone in cui il movimento franoso si è già verificato o nelle aree potenzialmente instabili intervenire con la stabilizzazione del versante.

Opere di stabilizzazione:

- **Interventi sulla geometria del pendio:** rimodellano il versante stesso
 - Sbancamenti: opere di scavo eseguite a monte del pendio instabile al fine di diminuire le forze destabilizzanti alleggerendo la porzione di terreno potenzialmente instabile.
 - Profilature: consentono di diminuire la resistenza al taglio mobilitata riducendo la pendenza del versante con un'unica livelletta e con gradonatura a terrazzo.
- **Opere di sostegno:** contrastano le spinte esercitate da un fronte di terreno stabile, fondate su proporzioni stabili del versante viene predisposto anche un efficace sistema di drenaggio e tale da impedire l'insorgere di sovrappressione al piede del versante:

- **Rigide:**

- ▶ Muri a gravità
- ▶ Muri a mensola



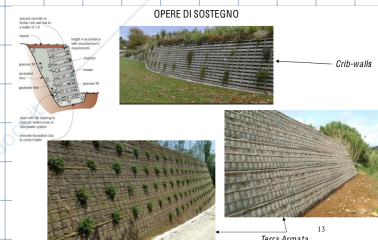
- **Flessibili:**

- ▶ Paratie, pali affiancati che possono essere infissi o trivellati
- ▶ Diaframmi, pannelli lineari o a 'T'
- ▶ Micropali, sono pali di piccolo diametro che contengono un elemento strutturale per trasferire i carichi e limitare le deformazioni.



- **Deformabili**

- ▶ Crib-walls, muri speciali costituiti da una maglia rettangolare di elementi prefabbricati in calcestruzzo, riempiti di materiale con granulometria a tale da consentire lo sviluppo di vegetazione naturale o artificiale il rinverdimento del paramento esterno.
- ▶ Terra armata, rilevato in terra la cui capacità portante è aumentata grazie all'infissione di nastri in acciaio sorbo orizzontali.
- ▶ Terra rinforzata, rilevato costituito da strati sovrapposti di terreno compatto, con spessori di 25 - 50 cm, intercalati a geotessile o a georeti.
- ▶ Muretti a secco
- ▶ Muretti di gabbioni, rete di filo di ferro zincato con maglie esagonali, riempita da pietrame
- ▶ Graticciate o vimate, costituite da palette di legno
- ▶ Fascinate, fascine, rami di salice o di pioppo.
- ▶ Staccionate, simili all'affascinate ma costituite da traverse di tavole o tondame



- **Opere di drenaggio:** hanno lo scopo di eliminare o ridurre la presenza di acqua nel terreno in superficie che ha varie profondità, così da impedire l'aumento delle pressioni interstiziali:
 - Superficiali, intercettano nelle acque superficiali che altrimenti defluirebbero sul terreno

provocando fenomeni di erosione.

- Canalette superficiali, lungo la linea di massima pendenza è utilizzata in corrispondenza di dissesti idrogeologici (scivolamento e colamento)
- Fossi di guardia, scavo a forma di U o trapezoidale rivestito in calcestruzzo e situato a monte della nicchia di distacco in modo da raccogliere le acque superficiali provenienti dal monte.
- Treni intercettori, viene realizzata una trincea riempita dal materiale drenante.
- Intasamento e sigillatura, si tratta di sigillare le fratture anti formatesi a seguito di eventi franosi che si verificano in roccia in corrispondenza della nicchia.
- Protezione con teli, si tratta di teli in polietene.
- Profonde, hanno la funzione di modificare il reticolo di filtrazione con l'abbassamento della superficie piezometrica (è necessario riconoscere la modalità di circolazione idrica sotterranea del pendio potenzialmente soggetto franamento):
 - Tubi drenanti suborizzontali, rappresentano il sistema di drenaggio più semplice da realizzare ed il meno costoso.
 - Trincee drenanti, sono strutture allungate, con profondità massime dell'ordine di cinque-6 m e larghezza di poco inferiore al metro, possiamo avere si adattano una frana di scivolamento con superficie di scorrimento poco profondo e interni sciolti all'elevata permeabilità.
 - Pozzi drenanti, l'acqua viene raccolta mediante pompaggio per essere poi convogliata agli scarichi.
 - Gallerie drenanti, da adottare per le frane di grandi dimensioni, per captare notevoli flussi idrici concentrati lungo le vie preferenziali.
- **Trattamenti del terreno:** hanno lo scopo di migliorare la resistenza al taglio del materiale, aumentandone la coesione e-o l'attrito:
 - Iniezioni di miscela consolidanti: un metodo che consiste nell'iniezione di miscela cementizia ad altissima pressione e il Jet-grouting, la cui peculiarità si è allenata capacità di disgregare il terreno, miscelandolo contemporaneamente con il fluido.
 - Miscela stabile (acqua e cemento)
 - Sospensioni cementizie (acqua e cemento più minime percentuali di additivo colloidale)
 - Miscela chimiche (inorganiche, organiche o sintetiche)
 - Stabilizzazione chimica, si tratta di un metodo utilizzabile per la sistemazione dipende costituiti da argilla elevata classicità (cambia le caratteristiche tramite scambio ionico realizzato per mezzo di soluzioni immesse nel terreno stesso)
 - Elettrosmosi e elettrosilicatazione
 - Congelamento
- **Interventi di rinforzo:** comportano l'inserimento nel materiale da consolidare gli elementi strutturali più resistenti e rigidi del terreno stesso:
 - Tiranti di ancoraggio, elementi strutturali o operanti in trazione capace di trasmettere forze al materiale.
 - Chiodi e bulloni, vincolano porzioni di roccia intatta, blocchi di materiale isolati da fratture.
- **Interventi di stabilizzazione superficiale:** la stabilizzazione di una parete rocciosa può avvenire tramite spritz beton o altri simili rivestendo la parete stessa con un sottile strato di cemento.
- **Opere di protezione passiva:** proteggono passivamente le infrastrutture adiacenti ai versanti e

soggetti a fenomeno di crollo ribaltamento senza agire sulle cause del dissesto:

- Reti paramassi,
- Rilevati e valli paramassi,
- Barriere paramassi,
- Gallerie artificiali,

RISCHI GEOLOGICI

I fenomeni gravi vitati possono costituire rischi geologici dal momento che sono in relazione, direttamente o indirettamente con l'attività umana. Bisogna trovare un equilibrio tra il fenomeno geologico e le attività umane (valutazione-prevenzione-attenuazione).

Danni dipendono da: velocità, entità ed estensione / possibilità di prevenzione, previsione e il tempo di allertamento / possibilità di agire sul processo di controllarlo o di proteggere gli eventi esposti ai suoi effetti

Pericolo	Fenomeno potenzialmente distruttivo (distacco di un blocco di roccia di un certo volume da una zona del versante).
Pericolosità	Probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo di una certa intensità si verifichi in un periodo di tempo in una certa area.
Esposizione	Probabilità che un elemento (un bene, una struttura o una persona) sia esposto al rischio.
Vulnerabilità	Grado di perdita di un elemento a rischio a seguito dell'impatto, con valore da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale). E' funzione delle caratteristiche dell'elemento a rischio e dell'intensità del fenomeno.
Rischio	Probabilità di avere un danno di una certa entità in un certo periodo di tempo.

$$R = P \times V \times E$$

↑
D

Rischio
 Probabilità del processo considerato
 Vulnerabilità degli elementi esposti all'azione
 Esposizione ovvero valore economico degli elementi a rischio
 Danno potenziale

La valutazione del rischio è ottenuto attraverso delle **matrici di rischio** che permettono di incrociare diversi elementi che concorrono alla determinazione di una data classe di rischio.

Per una valutazione probabilistica da pericolosità, è necessario possedere informazioni dettagliate ed uniformemente distribuite sul territorio relative a:

- Ricorrenza temporale dei fenomeni franosi
- Cause (precipitazioni, sismi, erosione, azioni antropiche)

Ad oggi le informazioni disponibili non consentono una valutazione dettagliata a livello provinciale regionale, nel documento si propone quindi la valutazione di 1° di pericolosità relativa senza prevedere in modo esplicito il tempo di ritorno dell'evento calamitoso.

LE ACQUE

Acque Atmosferiche Umidità, nuvole, pioggia, neve, grandine

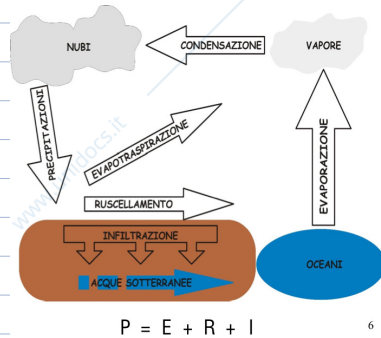
Acque Superficiali	A) liquide B) solide	Scorrimento → ruscellamento, corsi d'acqua Stagnanti → laghi, mari	di infiltrazione di scorrimento stagnanti connate
		Scorrimento → ghiacciai Stagnanti → neve, ghiaccio	
Acque Sotterranee	A) meteoriche	vadose = acque vive = acque attuali	
	B) rigenerate (per metamorfismo)	Profonde = acque morte = acque fossili	
	C) juvenili (s.l.)	acque magmatiche propriamente dette, acque di sintesi, acque juvenili (s.s.)	

Acque Cosmiche delle Meteoriti

Il **ciclo idrologico** è il processo di circolazione dell'acqua sulla superficie nel sottosuolo.

Un **sistema idrologico** è un sistema dinamico che rappresenta una frazione del ciclo globale dell'acqua

SISTEMA IDROLOGICO E BILANCIO



Schema espressioni dell'equazione del bilancio idrico:

$$P = I + R + E$$

Precipitazioni atmosferiche

Infiltrazione efficace

Ruscellamento superficiale

Evapotraspirazione reale

Bacino idrografico: porzione del territorio che raccoglie tutte le acque che defluiscono attraverso la sezione

Reticolo idrografico: complesso di collettori fluviali che raccolgono i flussi idrici superficiali e li convogliano alla sezione terminale del bacino

Portata: quantità di acqua che passa nell'unità di tempo attraverso la sezione trasversale del corso d'acqua (m^3/s)

Piena: innalzamento del livello medio di un corso d'acqua.

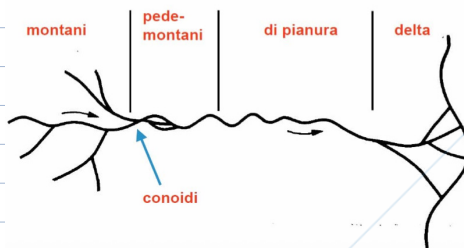
Piena ordinaria: il valore di portata viene superato nel 75% dei casi osservato nell'arco di più decenni.

Tempo di ritorno: il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi

Portata di progetto: valore di portata, normalmente correlato a un tempo di ritorno

FENOMENI FLUVIALI DINAMICA FLUVIALE

CLASSIFICAZIONE ALVEO TIPO



La dinamica fluviale descrive processi morfologici e idraulici che regolano l'evoluzione dei corsi d'acqua, in relazione alla quantità d'acqua, al trasporto solido e l'interazione con il territorio circostante. Un fiume è un sistema estremamente dinamico: anche se spesso percepito come stabile, in realtà la sua morfologia evolve continuamente, specialmente durante gli eventi di piena.

EVENTI DI PIENA sono casi in cui avvengono cambiamenti radicali e concentrati in breve tempo

Le modificazioni possono riguardare:

- Erosione di sponda
- Deposito dei sedimenti con formazione di isole
- Abbassamento del fondo alveo

Molti corsi d'acqua naturale dimostrano un accentuato grado di instabilità naturale, mentre in altri casi i fenomeni di instabilità sono prevalentemente da ricondurre all'effetto di fattori antropici. Il grado di instabilità dipende da:

- Caratteristiche degli eventi idrologici
- Materiale costituente, l'alveo e le
- Estensione della vegetazione di sponda
- Uso del suolo nelle aree golenali

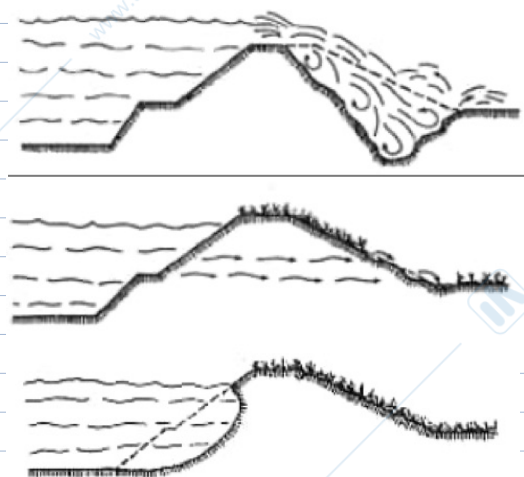
Evento di piena è caratterizzato da un deflusso d'acqua superiore a quello che normalmente transita lungo l'alveo. L'energia da dissipare cresce con l'aumentare della piena e si manifestano con maggiore violenza gli effetti della dinamica fluviale. In questi casi le trasformazioni non rimangono circoscritte all'interno dell'alveo, ma possono coinvolgere la pianura circostante con gravi effetti di impatto sulle strutture antropiche, allora queste vengano ad interferire con l'evoluzione naturale del fenomeno.

Effetti di un evento di piena:

- Sollecitazioni meccaniche: la massa d'acqua sottopone ad intensi prolungati sforzi sia agli elementi naturali dell'alveo che le strutture artificiali (soprattutto perpendicolari al flusso).
- Processi erosivi e depositazionali: i fenomeni di erosione, trasporto deposito del materiale presente in alveo modificano in maniera netta il corso dell'acqua, piccoli spostamenti di sabbia ghiaie e minute, in condizioni di piena possono mobilitare notevoli volumi di materiale, consentendo al corso d'acqua ad incidere nuovi canali, colmare altri precedentemente attivi o riconquistare posizioni abbandonati a lungo tempo.
- Esondazioni: quando il volume delle acque di piena non può più essere contenuta all'interno delle sponde, esse le superano e originano una dinamica di propagazione che dipende essenzialmente dalla quantità d'acqua che fuoriesce, dalla velocità della corrente di azione, dalla morfologia delle zone circostanti. Ciò può cambiare radicalmente l'assetto plano-altimetrico della fascia fluviale.

Fenomeni che causano il **cedimento degli argini:**

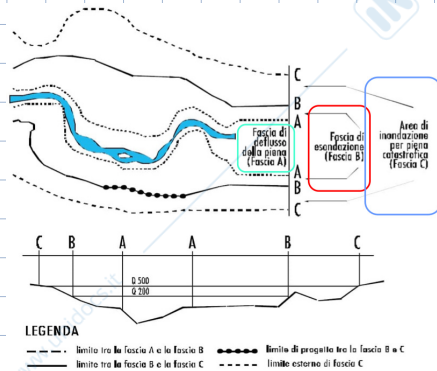
- Tracimazione: l'acqua, supera il coronamento dell'argine, precipita per raggiungere il piano-campagna. Con il perdurare della tracimazione l'argine costruito in terra viene più o meno rapidamente demolito.
- Sifonata: infiltrazione d'acqua all'interno del corpo arginale con fuoriuscita sul fianco esterno.
- Erosione al piede: parziale demolizione del lato interno di un argine per erosione al piede esercitata dalla corrente fluviale.



FASCE FLUVIALI

PAI Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico è uno strumento attuato dall'autorità di bacino del fiume Po allo scopo di garantire al territorio del bacino del fiume Paul, un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico.

Fasce fluviali sono il risultato dell'inviluppo di aree allargabili per portate di piena a diverso tempo di ritorno, di aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte. Le fasce sono allo strumento di piano per raggiungere assetti più sicuri e naturali.



A = deflusso della piena: è costituita dalla porzione di alveo che sede prevalente, per la piena di riferimento e delle forme fluviali riattivabili durante gli Stati di piena. Sono esclusivamente consentiti interventi di manutenzione degli edifici esistenti.

B = di esondazione: esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento (argini o altre opere di contenimento), la piena di riferimento per la fascia stessa

tempo di ritorno, 200 anni. Sono consentiti interventi di ristrutturazione e ampliamento dell'attività produttive agricole.

C = di inondazione per piena catastrofica: può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento. Ed è limitata su Mendola piena teorica con tempo di ritorno a 500 anni. Completa le regioni e agli enti locali, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e divieti.

DINAMICA TORRENTIZIA

Nell'ambiente montano il reticolo idrografico secondario è costituito in gran parte da incisioni torrentizie ed elevata pendenza nelle quali, per effetto di pioggia intense, si possono generare improvvise pulsazioni di piena. La pericolosità dei processi deriva principalmente dalle ingenti quantità di materiale solido spostato dal breve intervallo di tempo entro il quale questi fenomeni solitamente si innescano e si esauriscono.

Le piene nei torrenti hanno un'elevata capacità erosiva sul fondo e sulle sponde degli alvei, che può determinare:

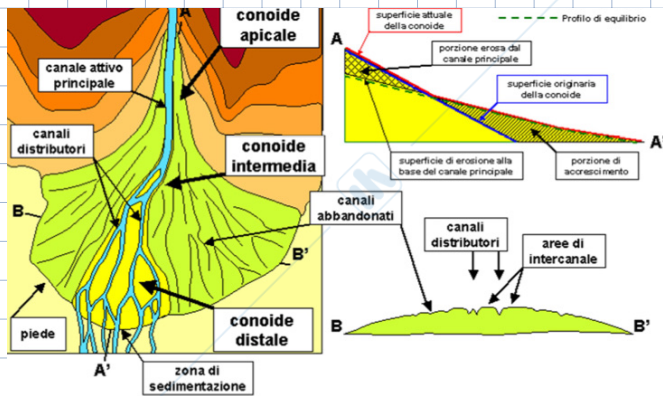
- Regressione abbassamento del profilo longitudinale degli impluvi
- Asportazione dei materiali sciolti
- Affioramento del substrato roccioso

Il materiale solido preso in carico può raggiungere ingenti quantità, generando notevoli variazioni della portata solida lungo l'asta torrentizia. esso può essere alimentato, anche, dai depositi frenati dai versanti sovrastanti e dal materiale vegetale accatastato in alto. Il più vistoso e caratteristico riscontro morfologico dell'azione pulsato di rimozione, trascinamento infine deposito dei materiali è rappresentato proprio dal conoide alluvionali.

CONOIDI ALLUVIONALI

Il risultato dell'attività torrentizia è visibile allo sbocco delle aste tributarie nel fondovalle: deposizione del materiale solido trasportato, formando i conoidi alluvionali.

Conoide alluvionale: forme di deposito a ventaglio e pendenza generalmente modesta attraverso le quali in genere i bacini tributari si raccordano al fondovalle principale.



Il conoide è divisibile in tre parti:

- Conoide apicale: contiene il canale principale, in questa zona tendono a prevalere fenomeni erosivi, si raggiunge il gradiente topografico più elevato (pendenze anche ai 10° e oltre).
- Conoide intermedia: il canale principale si ramifica in canali distributori con configurazione radiale. I canali sono sempre meno incisi procedendo verso la base dell'conoide (e quindi una stretta fascia di equilibrio tra erosione e sedimentazione).
- Conoide esterna o distale: tendenze molto basse, si raccorda gradualmente con la pianura o la valle principale (sedimenti più fini).

Tipologia di processo che ha determinato la genesi del conoide:

- Conoidi alluvionali a modesta pendenza ed estensione elevata, fenomeni di trasporto solido ordinario.
- Conoidi detritici a pendenza rilevante ed estensione reale moderata, processi di colata attribuibili a frane.
- Conoidi misti comprendono l'alternanza di processi di colata, trasporto solido ordinario, trasporto detritico torrentizio e hanno caratteristiche intermedie.

Elementi di pericolo legati ai conoidi:

- Si muovono rapidamente
- Percorrono a lunghe distanze
- Elevata energia cinetica
- Depositano con estrema violenza alle grandi quantità di carico solido trasportato che possono formare dighe naturali (fenomeni di rigurgito o improvvise tracimazioni e rotture).

In ambito montano le aree di conoide, dolce pendenza rilevate rispetto al fondo vallivo, costituiscono da molto tempo siti privilegiati per l'urbanizzazione.

Opere per ridurre l'erosione al piede dei versanti da parte dei corsi d'acqua:

È opportuna precisare che l'efficacia di qualsiasi intervento di stabilizzazione di un corso d'acqua sarà tanto più elevata quanto più il progetto prescelto rispetterà il naturale processo di evoluzione geomorfologica dell'alveo.

Opere:

- Longitudinali, parallele alla linea di riva:
 - Scogliere, rinforzare il piede del versante, con accumuli di massi lapidei eventualmente cementati tra loro.
 - Gabbionate, strutture modulari a forma di parallelepipedo in rete riempite da pietrame.

- Trasversali, elementi che si sviluppano in direzione trasversale rispetto alla linea di riva:
 - Repellenti o pennelli, allontanano il flusso della corrente da chiedere del versante, non devono essere sommerse anche durante i periodi di piena del corso d'acqua, si usano solo nel caso di alvei sufficientemente larghi.
 - Briglie, sbarrano il corso dell'acqua ad un'altezza limitata, possono essere ad arco o a gravità.
 - Scogli, anch'esse sbarrano al corso dell'acqua ma rispetto alle griglie emergono sensibilmente, riducono la velocità della corrente tramite la diminuzione dell'inclinazione del fondo d'acqua.
 - Cunetta di fondo, serve a ridurre l'erosione del successivo approfondimento dell'Alfio, ne aumenta la capacità di portata favorendo il trasporto solido.

IL TERRENO E LE ACQUE SOTTERRANEE

Terreno: sistema costituito da tutti i materiali solidi, liquidi e gassosi derivati dall'azione combinata di eventi climatici, biologici ed antropici. È un sistema non isolato ed aperto, capace, cioè di effettuare scambio di materia di energia con l'esterno.

Profilo verticale:



- **Zona non satura o di aerazione:** caratterizzata dalla presenza della fase gassosa che occupa parte dei vuoti. La fase liquida viene trattenuta dalla fase solida, principalmente dalle forze di capillarità e, secondariamente da quelle coulombiane.
- **Frangia capillare o zona di transizione:** separa la zona non satura dalla sottostante zona satura (i vuoti sono interamente occupati dalla fase liquida che qui è trattenuta per fenomeni di capillarità).
- **Zona satura:** i pori completamente riempiti dalla fase liquida.

Acquifero: formazione geologica in grado di immagazzinare acqua all'interno dei suoi pori o delle sue fessure e di consentirne la circolazione (o il flusso) comportate economicamente utilizzabili dall'uomo. È costituito da due fasi interagenti fra loro: il serbatoio e l'acqua. Per parlare di acquifero si necessitano di tre condizioni verificate simultaneamente:

- Capacità di immagazzinamento: porosità
- Capacità di flusso (capacità di un materiale di lasciarsi attraversare): conducibilità idraulica $K[m/s]$
- Possibilità di utilizzo in termini economici

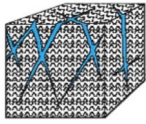
Acquicludo: formazione geologica, permeabilità talmente bassa che, pur contenendo eventualmente acqua, non ne consente la circolazione (argilla).

Acquitardo: formazione geologica, satura di acqua ma caratterizzata da ridotta permeabilità, non può essere usata come formazione produttiva ma può consentire il flusso tra due acquiferi contigui permettendo la ricarica verticale dell'acquifero caratterizzato da un carico idraulico minore (una

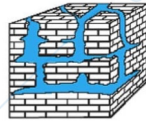
formazione mimosa-sabbiosa).

Gli acquiferi si differenziano anche in base alla natura delle **rocce o sedimenti** che li caratterizzano:

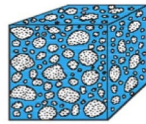
- Rocce cristalline sedimentarie (le acque circolano lungo fratture, discontinuità)
- Rocce sedimentarie interessate da dissoluzione carsica (scorrono non solo lungo le fratture ma anche all'interno di cavità e condotti di dissoluzione)
- Terre sciolte (le acque riempiono i vuoti presenti tra un granulo e l'altro).



ROCCE FESSURATE



ROCCE CON CAVITÀ CARSIICHE



DEPOSITI POROSI

Falda idrica: acqua contenuta nell'acquifero, si distingue in due tipologie a seconda della pressione che si esercita sull'acqua contenuta nell'acquifero:

- Falda libera o freatica: pressione atmosferica
- Falda impresse: pressione superiore a quella atmosferica

Salienza o "Artesianesimo": fenomeno per cui se intercettata con un pozzo, la falda impresse tende a risalire ad una quota superiore rispetto a quella del tetto dell'acquifero che la ospita. I pozzi che presentano questa caratteristica sono detti **artesiani**.

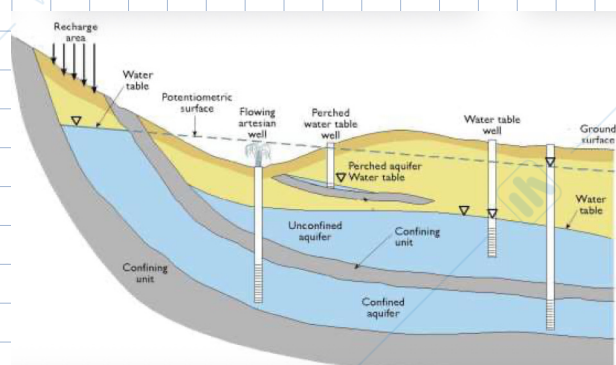
Livello piezometrico: misura del carico idraulico in un punto dell'acquifero. Il flusso sotterraneo va da punti a carico isometrico maggiore a punti a carico inferiore.

Soggiacenza: posizione in profondità della falda rispetto al piano campagna.

Linea isopiezometrica: linea che unisce punti di uguale a carico idraulico.

Linea di flusso: linea immaginaria che individua il corso seguito da una particella di acqua nel suo movimento all'interno dell'acquifero.

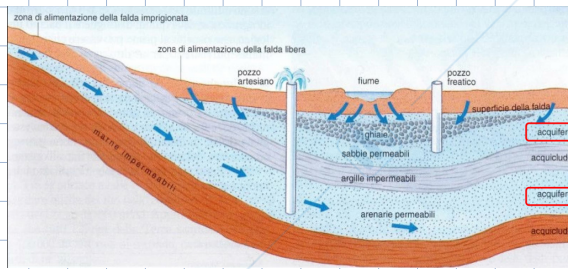
TIPOLOGIE DI ACQUIFERO:



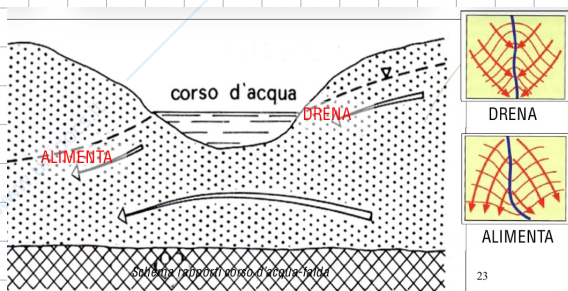
- **Acquifero non confinato (superficiale):** caspita una falda freatica o con superficie libera. Il livello idrico dei pozzi in condizioni statiche coincide con il livello della superficie freatica.
- **Acquifero confinato:** acquifero compreso tra due confini impermeabili (acque includi). La pressione dell'acqua all'interno della acquifera superiore al valore atmosferico, falda impresse, se disinstalla un esometro sia una risalita dell'acqua al di sopra del tetto

dell'acquifero. Il livello idrico è quindi più elevato del tetto dell'acquifero.

- **Acquifero semiconfinato:** acquifero limitato da livelli semi permeabili che permettono un debole passaggio da una falda all'altra.

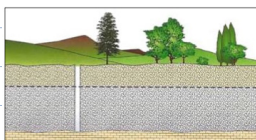


Bacino idrogeologico: può contenere uno o più acquiferi separati tra loro da formazioni impermeabili o ridotta permeabilità. Gli acquiferi costituiscono le unità idrogeologiche ma maggiormente permeabili entro cui le acque sotterranee fluiscono.

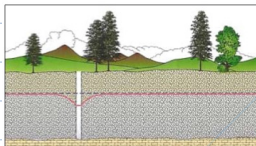


L'andamento delle isopieze consente l'immediato riconoscimento dei rapporti esistenti tra falde e corsi d'acqua superficiali.

EFFETTI DELL'EMUNGIMENTO TRAMITE POZZI



> **Livello statico:** quota del livello dell'acqua in un pozzo in assenza di emungimento.



> **Livello dinamico:** livello dell'acqua in un pozzo in cui avviene pompaggio.

Pozzo: struttura artificiale, solitamente di forma circolare di dimensioni variabili da cui si estrae l'acqua delle falde freatiche oppure impressione (la giacenza nei pozzi si misura con il freatometro).

Sorgenti: punto in cui superficie della falda e superficie topografica si intersecano. Le acque sotterranee, anche senza l'intervento dell'uomo, possono emergere spontaneamente in superficie.

PROTEZIONE DELLE FONTI

L'acqua sotterranea è una risorsa vitale sia nelle aree urbane che in quelle rurali. La corretta valutazione del pericolo di inquinamento delle acque sotterranee è necessario per fornire una conoscenza più chiara delle azioni da mettere in atto per prevenire il deterioramento delle risorse, sia in termini di qualità che di efficacia.

Tipologia di inquinamento:

- **Inquinamento acquifero:** protezione inadeguata degli acquiferi vulnerabili contro scarichi umani da attività urbane e industriali e intensificazione dell'attività agricola.
- **Contaminazione del punto di approvvigionamento (pozzo):** progettazione o esecuzione inadeguata del pozzo che permettono all'ingresso diretto di acque più superficiali inquinate.
- **Contaminazione di origine naturale:** legate all'evoluzione geochimica delle acque sotterranee alla solubilità di minerali (può essere aggravata da inquinamento antropico e o eccessiva estrazione).

Valutazione pericolo di inquinamento

Acque sotterranee:

- **Vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero**, sensibilità dell'acquifero di essere raggiunto da un carico contaminante. (essendo connessa all'assetto idrogeologico naturale, è più complesso da controllare)
- **Carico contaminante applicato in superficie** a seguito di un'attività antropica. (l'attività antropica può essere controllata).

Metodi di valutazione:

- DRASTIC
- GOD
- SINTACS

Il più utilizzato per la sua struttura semplice pragmatica è il GOD, di particolare interesse per i sistemi pianeggianti come la pianura padana. La vulnerabilità degli acquiferi può essere cartografata attraverso la creazione di mappe di vulnerabilità.

G = tipologia idraulica dell'acquifero

O = l'ideologia e grado di permeabilità dei terreni di copertura (velocità di infiltrazione)

D = soggiacenza della falda

L'indice è compreso tra 0 e 1 e viene diviso in 5 classi.

Sulle carte di vulnerabilità si possono sovrapporre ai rilievi dei carichi di contaminante superficiale e valutare in tal modo il pericolo di inquinamento delle acque sotterranee. La valutazione dà pericolosità di inquinamento pertanto può essere ottenuta sovrapponendo le aree di salvaguardia alla carta di vulnerabilità e considerando i carichi di contaminante superficiale insistenti sulla zona.

Per proteggere gli acquiferi è necessario definire strategie di protezione che trovino dei punti di mediazione con i vari interessi contrastanti:

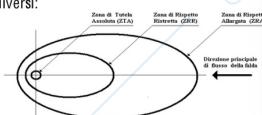
1. Salvaguardia a livello quantitativo
2. Salvaguardia a livello qualitativo

Un fattore chiave è proteggere i punti di approvvigionamento, il cui pericolo di inquinamento dipende dalla vicinanza:

- Ubicazione del centro di pericolo all'interno dell'area di ricarica del punto di approvvigionamento
- Il tempo è impiegato dal flusso idrico sotterraneo e orizzontale tra il centro di pericolo e il punto di emungimento.

In linea di massima si distinguono tre livelli diversi:

1. Zona di tutela assoluta
2. Zona di rispetto ristretta
3. Zona di rispetto allargata



Schema esemplificativo dell'articolazione della zona di tutela assoluta nel caso di un pozzo

Per azzerare il rischio di contaminazione, è ovvio proibire le attività potenzialmente inquinanti. Inoltre, occorre suddividere la zona di ricarica in subzone così da definire delle aree di salvaguardia nelle quali viene disciplinato l'uso del territorio.

Tipi di protezione:

- Statica: è costituita dai divieti, vincoli e regolamentazioni.
- Dinamica: allo scopo di fornire previsioni attendibili sull'evoluzione delle caratteristiche quantitative e qualitative delle acque utilizzate a scopo potabile.

FENOMENI VALANGHIVI

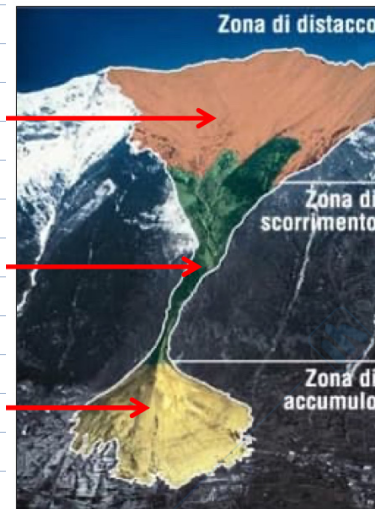
MORFOLOGIA

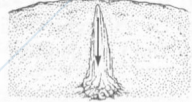


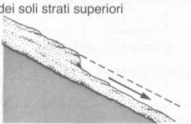
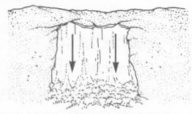

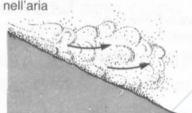

VALANGHE: massa di neve in movimento lungo un pendio, di piccole o grandi dimensioni. Si verifica sotto l'azione della gravità, quando le forze agenti superano la resistenza del manto nevoso. Si possono generare sia in occasione di abbondanti nevicate sia in condizioni di squilibrio del manto nevoso appoggiato su un pendio.

Zona di distacco: luogo dove si origina il fenomeno. In prossimità delle creste sopra il limite della vegetazione forestale in cui si accumula e la neve instabile si frattura e comincia a muoversi.

Zona di scorrimento: area caratterizzata da elevate pendenze, dalla quasi totale assenza di vegetazione arborea. In questa zona la valanga raggiunge la sua massima velocità.

Zona di accumulo: luogo dove la massa nevosa rallenta progressivamente fino a fermarsi. Un ripiano, un fondo valle o il versante opposto di una vallata.

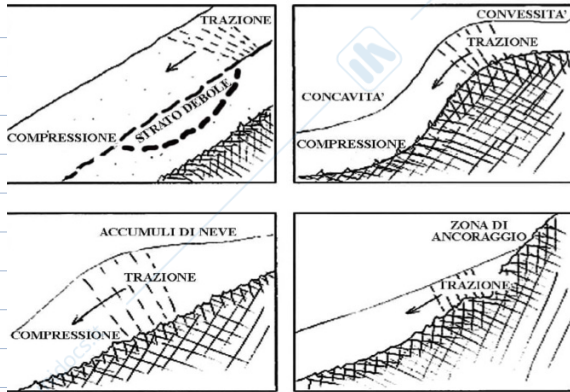


CRITERI	CARATTERISTICHE ALTERNATIVE E NOMENCLATURA	
1 - tipo di distacco	da un singolo punto  VALANGA DI NEVE INCOERENTE	da un'area estesa  VALANGA A LASTRE
2 - posizione della superficie di scivolamento	dell'intero manto nevoso  VALANGA DI FONDO	dei soli strati superiori  VALANGA DI SUPERFICIE
3 - umidità della neve	asciutta VALANGA DI NEVE ASCIUTTA	bagnata VALANGA DI NEVE BAGNATA
4 - caratteristiche del terreno in base al profilo	pendio aperto  VALANGA NON DELIMITATA	canalone  VALANGA INCANALATA
5 - tipo di movimento	nell'aria  VALANGA NUBIFORME	a contatto del suolo  VALANGA RADENTE

Classificazione di Fraser 1970

- Debole coesione: perdita di coesione tra i vari cristalli, basta che un cristallo si metta in movimento e in alcuni casi con un fronte di avanzamento nubiforme.
- Lastroni: cristalli del lastrone compatti, avviene il cedimento di uno strato a debole coesione per la frattura degli ancoraggi laterali e la gravità prende il sopravvento.

Le valanghe costituiscono uno dei principali fenomeni di dissesto geologico-idraulico in area di montagna. Essa asporta tutto ciò che incontra sul suo cammino, e Vanza nel versante-corridoio di valanga, infine disperde il carico formando conoidi dossi allungati e irregolari. Dove si ripetono frequentemente si originano aree di accumuli detritici (estrema eterogeneità) di grandi dimensioni e viene impedita la crescita di una vegetazione boschiva stabilizzatrice. Si verificano in due o in entrambi i modi:



- **Aumento della sollecitazione di taglio:** può venire per vari fattori tra cui aumento del peso sulla neve.
- **Diminuzione della resistenza al taglio:** è causata dalla riduzione dei valori dei carichi unitari di rottura per effetto di processi di metamorfismo.

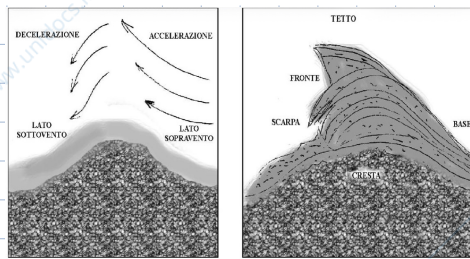
Quando le sollecitazioni di taglio di trazione diventa superiori ai corrispondenti valori dei carichi di rottura, allora inizia il movimento.

PROCESSI DI METAMORFISMO: cambiamenti delle caratteristiche che avvengono nella neve dopo la caduta sul terreno, soprattutto per fusione e ricristallizzazione dei cristalli di neve. Sono determinati dalle variazioni della temperatura, da sollecitazioni di compressione sulla neve e dalla presenza di acqua allo stato liquido. Il manto nevoso è caratterizzato da strati di diversa compattezza, cristalli di diversa dimensione granulazione dovuta a vari processi di trasformazione, cioè al metamorfismo della neve che è di 3 tipi:

- **Metamorfismo distruttivo:** cristalli di neve mutano la forma per effetto della temperatura per il peso di altra neve che si sovrappone la trasformazione può avvenire già in fase di caduta per effetto del vento. Le stelle perdono i loro rametti che poi si trasformano in piccolissimi grani. Tale processo rompe il legame e può provocare un distacco di valanga regole coesione.
- **Metamorfismo costruttivo:** sul terreno la temperatura della neve prossima poco al di sotto di 0° , con temperature dell'aria particolarmente fredda il gradiente termico da neve diventa elevato, provocando correnti ascensionali di aria carica di vapore acqueo. Il vapore acqueo, risalendo, si raffredda, depositandosi sotto forma di brina sui bordi dei cristalli degli strati superiori. La coesione di questi cristalli è molto bassa e può disgregarsi, agendo da strada scorrevole, favorisce il distacco degli strati sovrastanti e ciò dà vita alla valanga di lastroni.
- **Metamorfismo di fusione:** è causato dal disgelo del giorno e il gelo della notte. Si generano cristalli di forma tondeggianti e tale processo durante l'inverno può interessare solo un piccolo strato superficiale generando piccole colate dei cristalli interessati mentre in primavera, a causa della temperatura più elevata, trasforma grani tondeggianti l'intero manto nevoso dando origine a valanghe primaverili. La brina di superficie può generare condizione di instabilità nelle zone in ombra dove potrebbe essere ricoperta da una nuova nevicata.

FATTORI PREDISPOSTI L'INNESCO DELLE VALANGHE:

- **Nevicata:** fattore primario nella formazione delle valanghe; il nuovo parte di neve deve stabilizzarsi come strato, in più deve aderire allo strato sottostante, in caso contrario avremo una valanga di lastroni di superficie. Nuovo sovraccarico può rompere l'equilibrio di strati sottostanti già instabili



Formazione di una cornice di cresta legata al vento

generando il distacco del manto nevoso per l'intero suo spessore - valanghe di fondo.

- **Vento:** trasportando la neve, può modellare le tipiche "cornici" creste e favorire sul versante sottovento notevoli accumuli di neve sottoforma di pericolosi lastroni.
- **Struttura manto nevoso:** il manto nevoso è caratterizzato da strati di neve più o meno stabili. La presenza di una

strada debole, esclusione può favorire il distacco e lo scivolamento degli strati superiori.

- **Temperatura dell'aria:** con basse temperature inferiori a 0° e connessi fredde SEC si accumula un vasto strato di neve e con l'aumento della temperatura aumenta il rischio immediato, ma si accelera il consolidamento del manto nevoso. Con temperatura elevata, la neve si trasforma nella cosiddetta neve primaverile permeata di acqua.
- **Pendenza dei versanti:** le valanghe interessano maggiormente versanti con pendenze comprese tra 35° - 45°.
- **Quota:** la genesi delle valanghe dipende direttamente dalla quota; nelle Alpi tra 2000 e 3000 m si verifica la maggior parte delle valanghe.
- **Caratteristiche configurazioni dei versanti:** i versanti rocciosi nudi e lisci e quelli privi di copertura boschiva favoriscono la formazione di valanghe.
- **Esposizione dei versanti:** sulla caduta delle valanghe influisce anche l'orientamento dei versanti, che determina la diversa insolazione.
- **Fondo:** la presenza di fondo a prato non tagliato entro in primavera al distacco di valanghe di fondo.

OPERE DI DIFESA:

- **Mobile-temporaneo:** sistemi che regolamentano l'accesso alle aree a rischio valanghe, così da mantenere lontano l'uomo dalle zone a rischio. (Tale misure possono essere emanate o dai sindaci o dai comuni interessati o dalla commissione locale valanghe che è un organo competente in materia di rischio valanghe, istituito e previsto in alcune regioni e province autonome e italiane.)
 - **Sgombero centri abitati**
 - **Chiusura traffico stradale**
 - **Interdizione impianti sciistici**
 - **Interventi con esplosivo per distacco artificiale** (solo in caso siano previsti dai piani di intervento P.I.D.A.V.), si usa in situazioni in cui si ha la certezza dell'area spassa rischio, ma vi è incertezza nel momento in cui possa verificarsi l'evento.
- **Fissi-permanente:** sistemi per la riduzione del rischio delle masse nevose:
 - **Attive** allo scopo di impedire il movimento delle masse nevose né a zona di distacco, intervenendo con:
 - Modifica del suolo tramite rimboschimento e creazione di terrazzamenti;
 - Trattamenti del manto nevoso con opere para valanghe, quali ponti da neve, rastrelliere e reti, strutture in legno acciaio disposte su più linee parallele nella zona di distacco;
 - Controllo della neve trasportata dal vento tramite barriera frangivento e deflettori.
 - **Passive** si attua con opere posizionate in zona di scorrimento di arresto da valanga:
 - Opere di deviazione, hanno la funzione di far cambiare la direzione di scorrimento dei valanghe radenti allo scopo di proteggere strutture ben definite (argini di deviazione deviatori, protezione delle strade si utilizzano alle gallerie paravalanghe (cunei);

- Opere di arresto, vengono utilizzate per bloccare del tutto una valanga in movimento pure per rallentare la velocità e ridurre la distanza di arresto (diga di contenimento intercettazione);
- Opere di frenaggio, favoriscono la decelerazione da neve in movimento, provocandone l'espansione laterale per effetto di successive deviazioni (cunei frenanti);

ARTVA: è il dispositivo che serve per ritrovare più facilmente chi rimane sepolto sotto una valanga, e potenzialmente salvargli la vita. ARTVA è l'acronimo di "apparecchio di ricerca dei travolti in valanga".

I soggetti che praticano lo sci alpinismo devono munirsi, laddove, per le condizioni climatiche della neve, sussistono evidenti rischi di valanghe, di appositi sistemi elettronici per garantire un idoneo intervento di soccorso.