



ordine degli
ingegneri
provincia di
imperia

29 novembre 2024

Seminario di Aggiornamento e Approfondimento Professionale:

SISTEMI DI CONSOLIDAMENTO DI VERSANTI IN TERRA E PARETI IN ROCCIA
SCELTA DEL SISTEMA IDONEO CON UTILIZZO DI MATERIALI METALLI, GEOSINTETICI E SISTEMI AD ALTA
RESISTENZA MECCANICA - PRINCIPI PER IL DIMENSIONAMENTO E RELATIVI SOFTWARE DI VERIFICA



Prof. Ing. M. Ponte

Università della Calabria

Consulente Tecnico-Scientifico Arrigo Gabbioni Italia



Percorsi progettuali ed aspetti normativi negli interventi di difesa suolo, con particolare riferimento a stabilizzazione versanti, trincee drenanti, opere di difesa idraulica: valutazioni dimensionali e cenni normativi



ordine degli
ingegneri
provincia di
imperia

Maurizio Ponte

Ingegnere Civile Geotecnico

Ricercatore Universitario in Geologia Applicata presso l'Università della Calabria



Docente di:

«Indagini Geognostiche e Geomeccanica» - CDL Magistrale in Sc. Geologiche

«Geologia Tecnica, Applicata e delle Risorse» - CDL Ingegneria Ambientale

Responsabile del Laboratorio di «Geotecnica e Geomeccanica» del DiBEST - Università della Calabria.

Addetto ai sistemi di accesso e posizionamento mediante funi (Rocciatore)

Dal 2007 al 2019 Consulente Tecnico Procure della Repubblica



Prof. Ing. M. Ponte - Percorsi progettuali ed aspetti normativi negli interventi di difesa suolo, con particolare riferimento a stabilizzazione versanti, trincee drenanti, opere di difesa idraulica: valutazioni dimensionali e cenni normativi



ordine degli
ingegneri
provincia di
imperia

Struttura dell'intervento

1. Consolidamenti corticali

2. Opere di sostegno in rete DT

3. Trincee drenanti con pannelli prefabbricati in rete DT





ordine degli
ingegneri
provincia di
imperia

Aspetti Normativi

Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n. 42 del 20 febbraio 2018 - Serie generale

*Spedito abb. post. - art. 1, comma 1
Legge 27-02-2004, n. 46 - Filiale di Roma*

GAZZETTA UFFICIALE

DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTE PRIMA

Roma - Martedì, 20 febbraio 2018

SI PUBBLICA TUTTI I
GIORNI NON FESTIVI

DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA, 70 - 00186 ROMA
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALARIA, 691 - 00138 ROMA - CENTRALINO 06-85881 - LIBRERIA DELLO STATO
PIAZZA G. VERDI, 1 - 00198 ROMA

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018



Prof. Ing. M. Ponte - Percorsi progettuali ed aspetti normativi negli interventi di difesa suolo, con particolare riferimento a stabilizzazione versanti, trincee drenanti, opere di difesa idraulica: valutazioni dimensionali e cenni normativi



ordine degli
ingegneri
provincia di
imperia

Aspetti Normativi

Le **NTC** sono contenute all'interno di un **Decreto Ministeriale**

Un **Decreto Ministeriale** (D.M.), nell'ordinamento giuridico italiano, è un atto amministrativo emanato da un ministro della Repubblica Italiana nell'ambito delle materie di competenza del suo dicastero che non ha forza di legge e, nel sistema delle fonti del diritto, riveste carattere di **fonte normativa secondaria** soltanto qualora sia qualificato come **regolamento**.

(I decreti legislativi, invece, hanno forza di legge. Es.: D.Lgs. 81/08 T.U. Sicurezza)

Il Codice Penale, all'Art. 43 definisce le **fattispecie di colpa**:

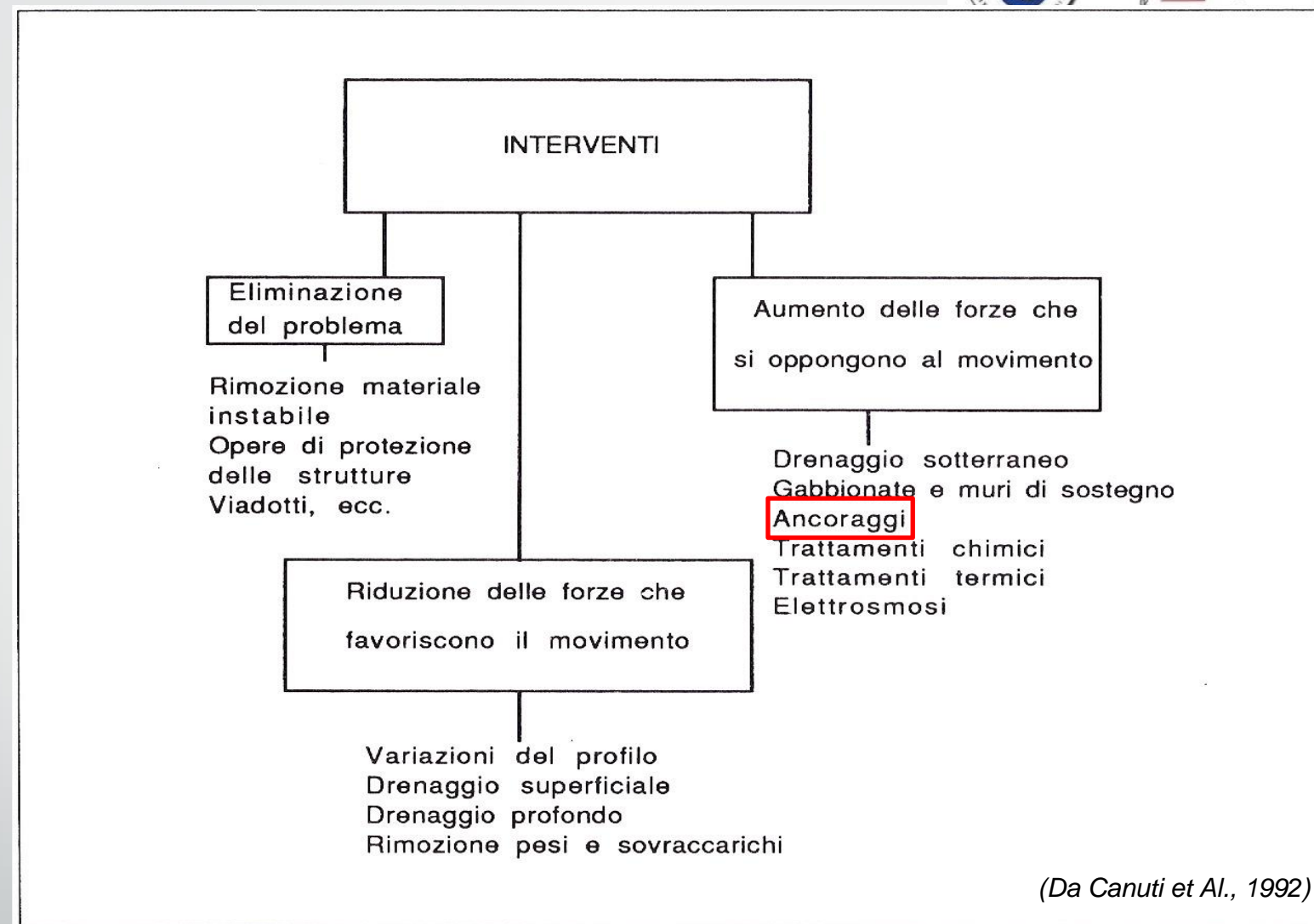
“Il reato è colposo, o contro l'intenzione, quando l'evento, anche se preveduto, non è voluto dall'agente e si verifica a causa di **negligenza** o **imprudenza** o **imperizia**, ovvero per l'**inosservanza** di leggi, **regolamenti**, ordini o discipline”.

Il Codice Penale, all'Art. 449 definisce il **disastro colposo**:

“Chiunque (...) cagiona per **colpa** un incendio, o un altro **disastro** preveduto dal capo primo di questo titolo, **è punito con la reclusione da uno a cinque anni**”.



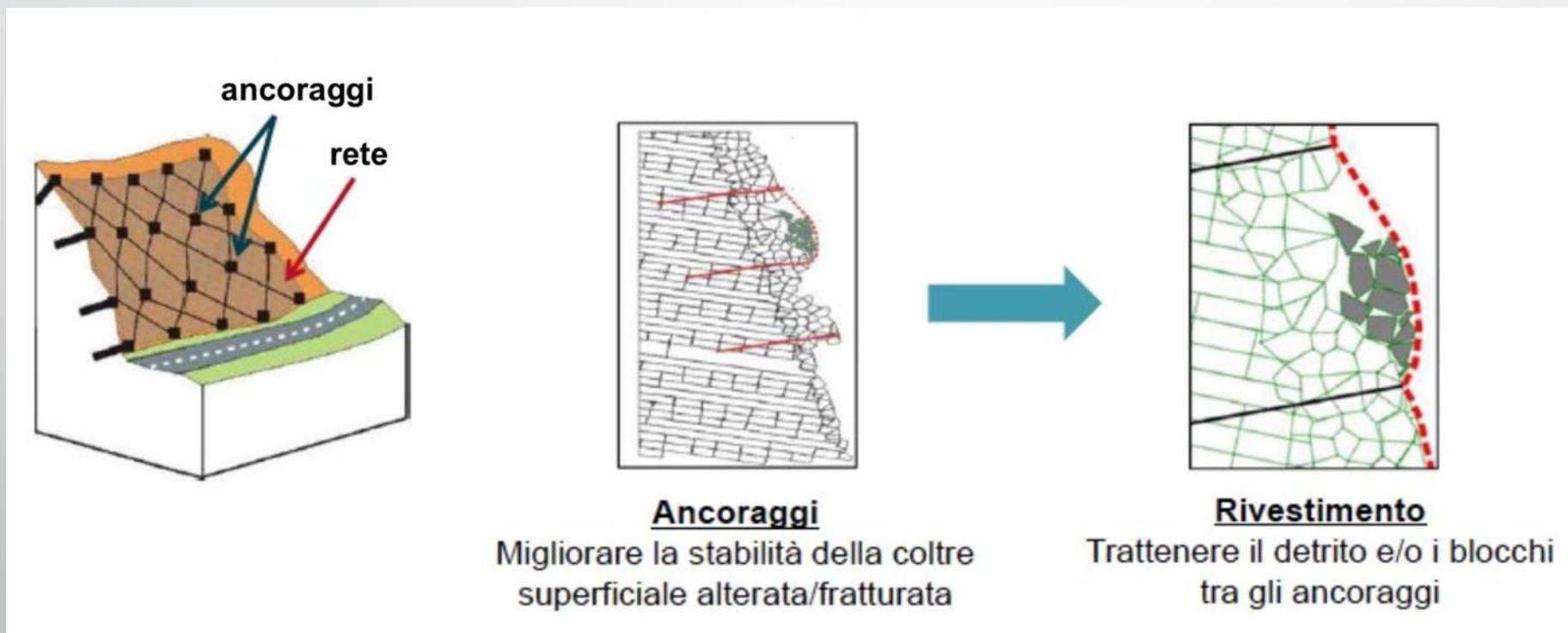
Consolidamenti corticali



Opere di rinforzo corticale: generalità

I **consolidamenti corticali** rientrano tra gli interventi «attivi»; consentono, tramite un sistema di ancoraggi, funi e reti, di:

- Migliorare la stabilità della coltre superficiale alterata/fratturata
- Trattenere i detriti e/o i blocchi tra gli ancoraggi



Opere di rinforzo corticale: generalità

I **consolidamenti corticali** rientrano tra gli interventi «attivi»; consentono, tramite un sistema di ancoraggi, funi e reti, di:

- Migliorare la stabilità della coltre superficiale alterata/fratturata
- Trattenere i detriti e/o i blocchi tra gli ancoraggi



Opere di rinforzo corticale: tipologie di reti

La scelta della tipologia di **rete** da impiegare nei consolidamenti corticali dipende, oltre che dai volumi da consolidare, dalla natura del versante:

- Versanti in terreni sciolti
- Versanti in rocce alterate
- Versanti in matrici miste litoidi-terrose
- Rilevati arginali



Opere di rinforzo corticale: tipologie di reti

In presenza di versanti suscettibili di fenomeni erosivi, è opportuno prevedere, contestualmente alla posa delle reti, rivestimenti flessibili combinati, costituiti da rete metallica esagonale a doppia torsione e bioreti o georeti.

La rete metallica, solidarizzata al substrato mediante gli ancoraggi, ha la funzione di garantire il consolidamento corticale, mentre la biorete (o georete) svolge un'azione antierosiva e, dove consentito, favorisce la rinaturazione del versante.

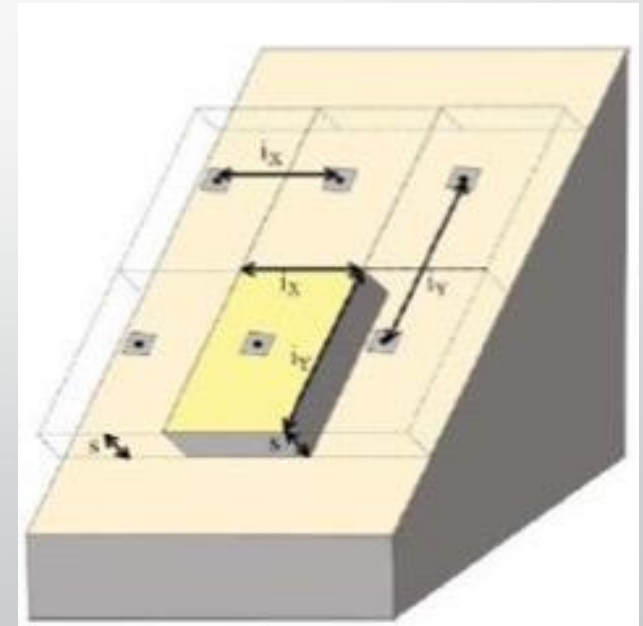
Naturalmente, la scelta del corretto tipo di antierosivo nei preaccoppiati è fondamentale e dipende dalle caratteristiche del substrato.



Consolidamenti corticali: progettazione del sistema

Percorso progettuale:

- 1) Determinazione dello **spessore** di coltre da consolidare e dei parametri geomeccanici della coltre e del substrato
- 2) Determinazione dell'**aderenza** bulbo di fondazione/substrato
- 3) Definizione del «raster» (interasse x e y), lunghezza e tipologia ancoraggi
 - 1) Verifica a trazione dell'ancoraggio;
 - 2) Verifica a taglio (in caso di barre);
 - 3) Verifica a sfilamento ancoraggio/malta;
 - 4) Verifica a sfilamento fondazione/terreno;
 - 5) Verifica a punzonamento della rete;
 - 6) Verifica a trazione della rete.
- 4) Verifica dei possibili meccanismi di rottura



Consolidamenti corticali: progettazione del sistema

Il software *SRS* (Soil Reinforcement System)



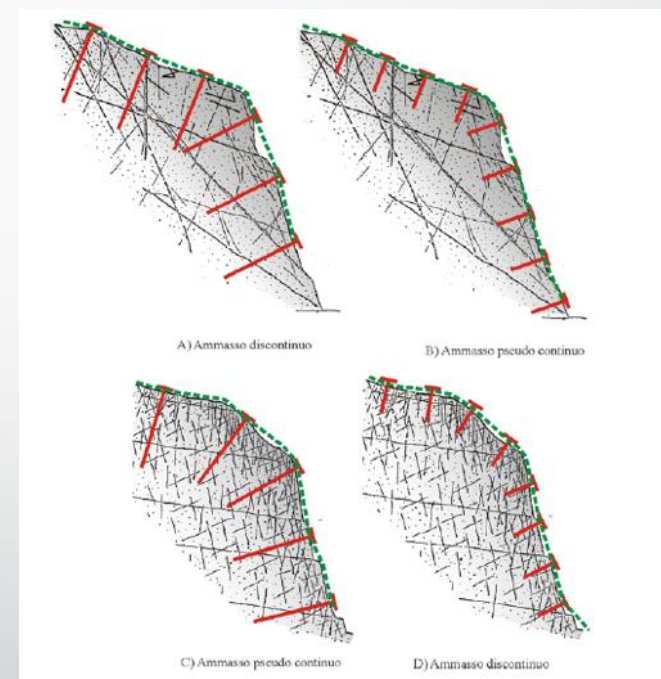
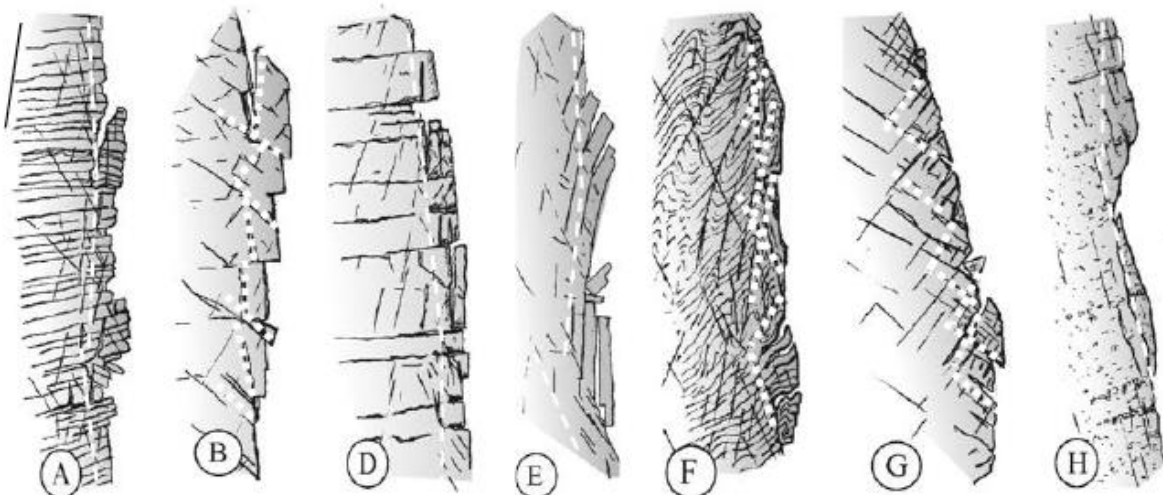
SRS è un software di calcolo (sviluppato da Geostru) per il dimensionamento di un sistema di rivestimento corticale di coltri instabili costituito da reti metalliche, prodotte dalla Arrigo Gabbioni Italia S.r.l., solidarizzate al terreno mediante ancoraggi, in ossequio alle vigenti Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 2018).

È una webapp, accessibile da qualunque dispositivo connesso a internet con qualsiasi browser.

Consolidamenti corticali: progettazione del sistema

1) Determinazione dello spessore di coltre da consolidare

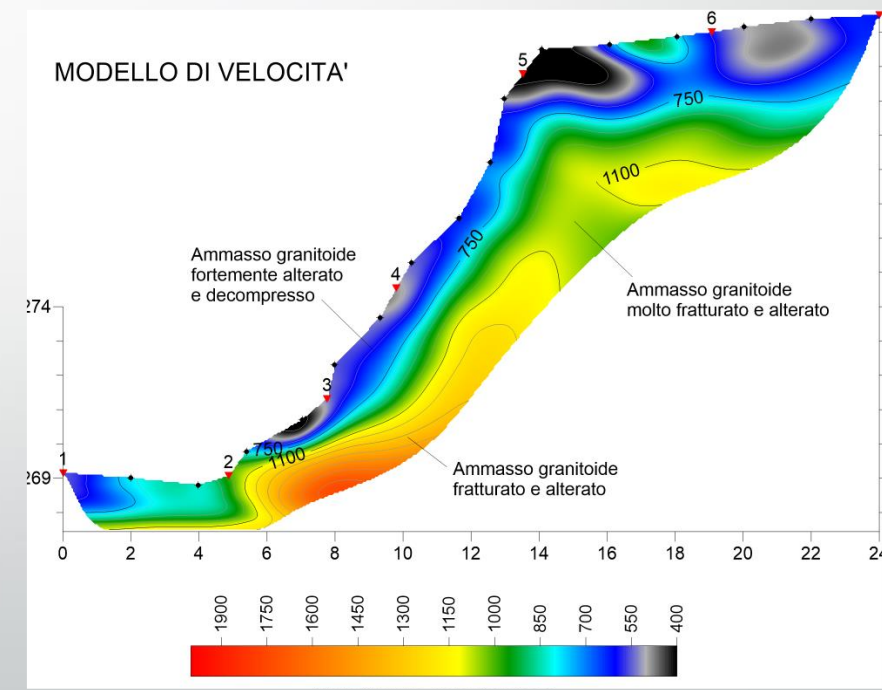
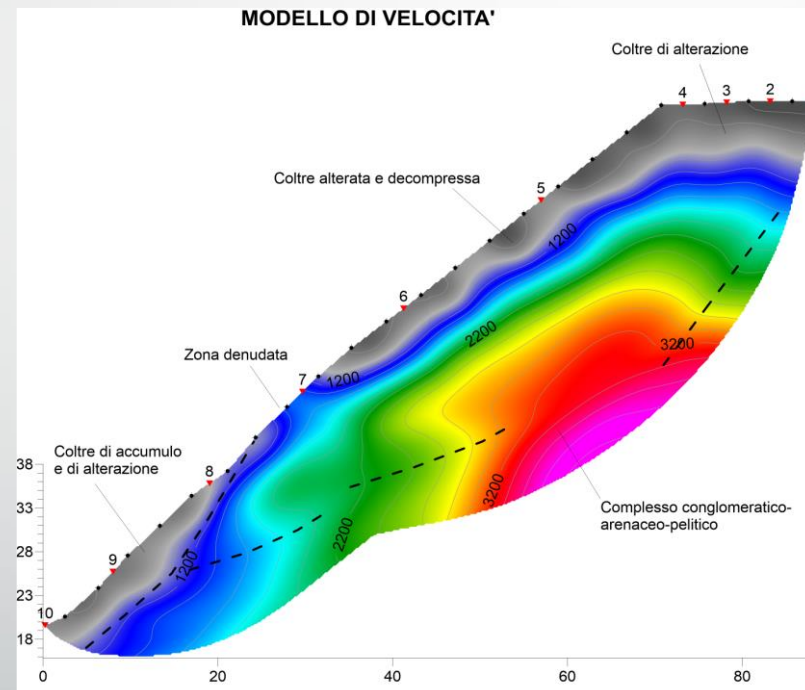
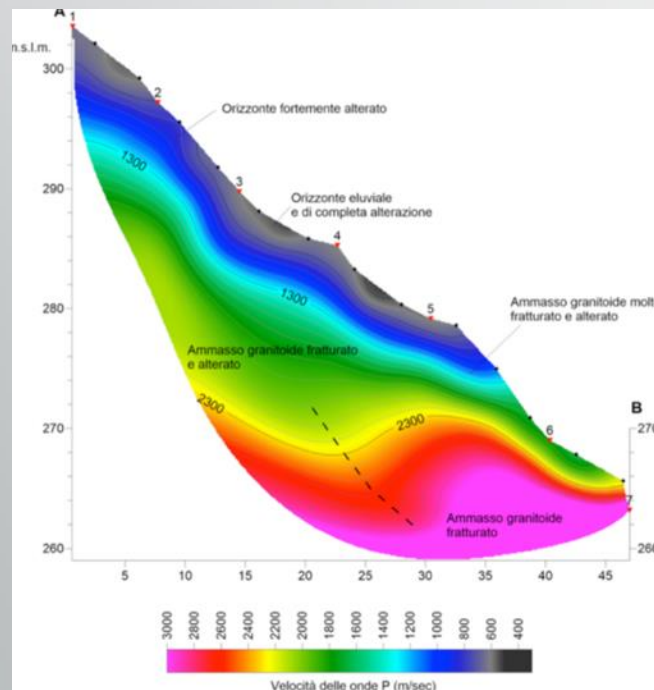
Bisogna definire lo spessore di roccia instabile caratterizzato da giunti di discontinuità che definiscono i blocchi instabili.



Una errata (o mancante) valutazione dell'effettivo spessore della coltre da consolidare potrebbe portare alla totale inefficacia dell'intervento, dando, tuttavia, luogo ad una percezione di «falsa sicurezza»

Consolidamenti corticali: progettazione del sistema

Lo spessore della coltre da consolidare può essere determinato attraverso l'esecuzione di prospezioni sismiche in parete



SS 106 - Capo Bruzzano (RC)



SS 106 - Capo Bruzzano (RC)



ARGILLE VARIEGATE

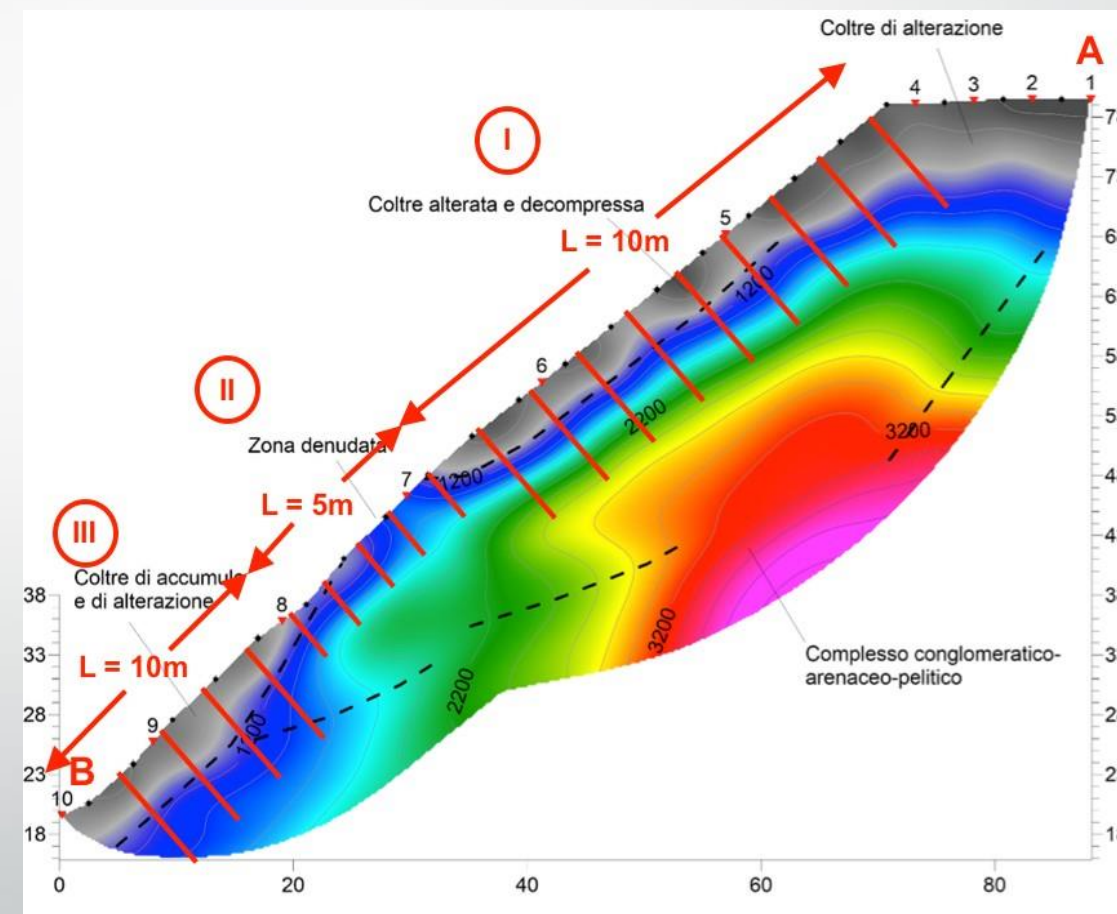
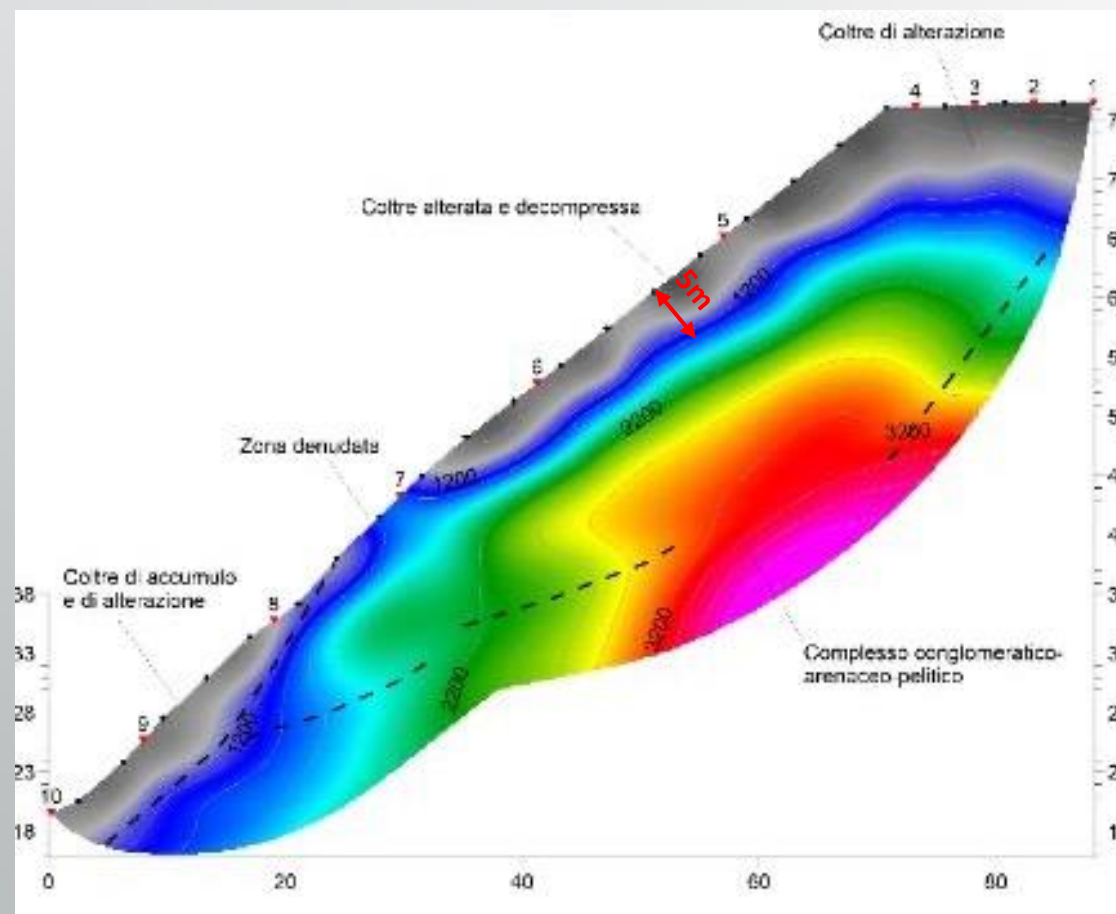
FLYSCH CAPO D'ORLANDO



SS 106 - Capo Bruzzano (RC)



SS 106 - Capo Bruzzano (RC)



Consolidamenti corticali: progettazione del sistema

2) Determinazione dell'aderenza bulbo di fondazione/substrato

In assenza di determinazioni dirette, si potrà, solo in prima approssimazione, fare riferimento a valori di letteratura o a formulazioni empiriche che correlano l'aderenza alla resistenza a compressione σ_u , che comunque dovranno essere validati da prove di estrazione:

$$\tau = \frac{\sigma_u}{30} \quad (\text{Littlejohn \& Bruce, 1975})$$

		Tensione di aderenza unitaria [Mpa]		
		min	med	max
✓	Basalto compatto		5.73	
✓	Granito alterato	1.5		2.5
✓	Basalto		3.86	
✓	Granito		4.83	
✓	Serpentino		1.55	
✓	Granito e basalto	1.72		3.10
✓	Scisto		2.80	
✓	Ardesia e argilla scistosa	0.83		1.38
✓	Calcere		2.83	
✓	Creta (Chalk)	0.22		1.07
✓	Calcere argilloso		2.75	
✓	Calcere tenero	1.03		1.52
✓	Calcere dolomitico	1.38		2.07
✓	Arenaria alterata	0.69		0.85
✓	Limo ben cementato		0.69	
✓	Arenaria compatta		2.24	
✓	Arenaria	0.83		1.73
✓	Marna del Keuper	0.17		0.25
✓	Argilla scistosa tenera		0.35	
✓	Argilla tenera e scistosa	0.21		0.83

G. S. Littlejohn, D.A. Bruce "Rock anchors – Design and quality control" (1975)

Consolidamenti corticali: progettazione del sistema



Sia le NTC 2018 (§6.6.1) che le Raccomandazioni AICAP (§6.6.3), prevedono che il valore dell'aderenza sia determinato tramite prove di estrazione su tiranti di prova.

6.6. TIRANTI DI ANCORAGGIO

NTC

I tiranti di ancoraggio sono elementi strutturali opportunamente collegati al terreno, in grado di sostenere forze di trazione.

6.6.1. CRITERI DI PROGETTO

(...)

Per la valutazione della resistenza a sfilamento di un ancoraggio si può procedere in prima approssimazione con formule teoriche o con correlazioni empiriche. La conferma sperimentale con prove di trazione in sito nelle fasi di progetto e in corso d'opera è sempre necessaria.

Il numero di prove di progetto non deve essere inferiore a:

- 1 se il numero degli ancoraggi è inferiore a 30,
- 2 se il numero degli ancoraggi è compreso tra 31 e 50,
- 3 se il numero degli ancoraggi è compreso tra 51 e 100,
- 7 se il numero degli ancoraggi è compreso tra 101 e 200,
- 8 se il numero degli ancoraggi è compreso tra 201 e 500,
- 10 se il numero degli ancoraggi è superiore a 500.

6.6.3 Ancoraggi preliminari di prova

AICAP

La fase di progetto comprende l'esecuzione di prove preliminari (cap. 7) su ancoraggi dello stesso tipo di quelli definitivi, in base alle quali vengono stabilite tutte le caratteristiche degli ancoraggi.

Quando non è possibile realizzare ancoraggi preliminari di prova in fase di progetto, si esegue un primo dimensionamento del dispositivo sulla base di valutazioni tecnicamente motivate da verificare successivamente, dopo l'esecuzione delle prove preliminari, che vanno comunque effettuate prima dell'esecuzione degli ancoraggi definitivi.

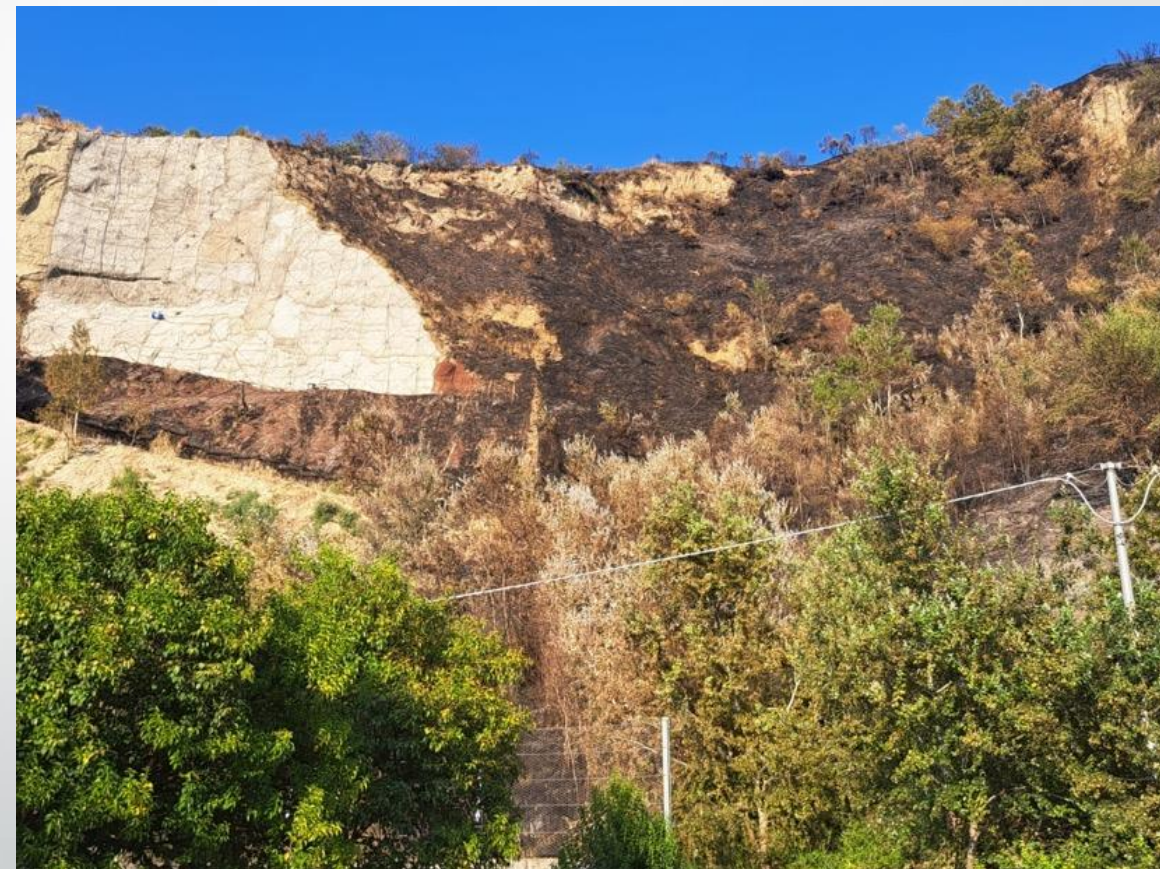
Consolidamenti corticali: progettazione del sistema



Consolidamenti corticali: **criticità**



Consolidamenti corticali: **criticità**

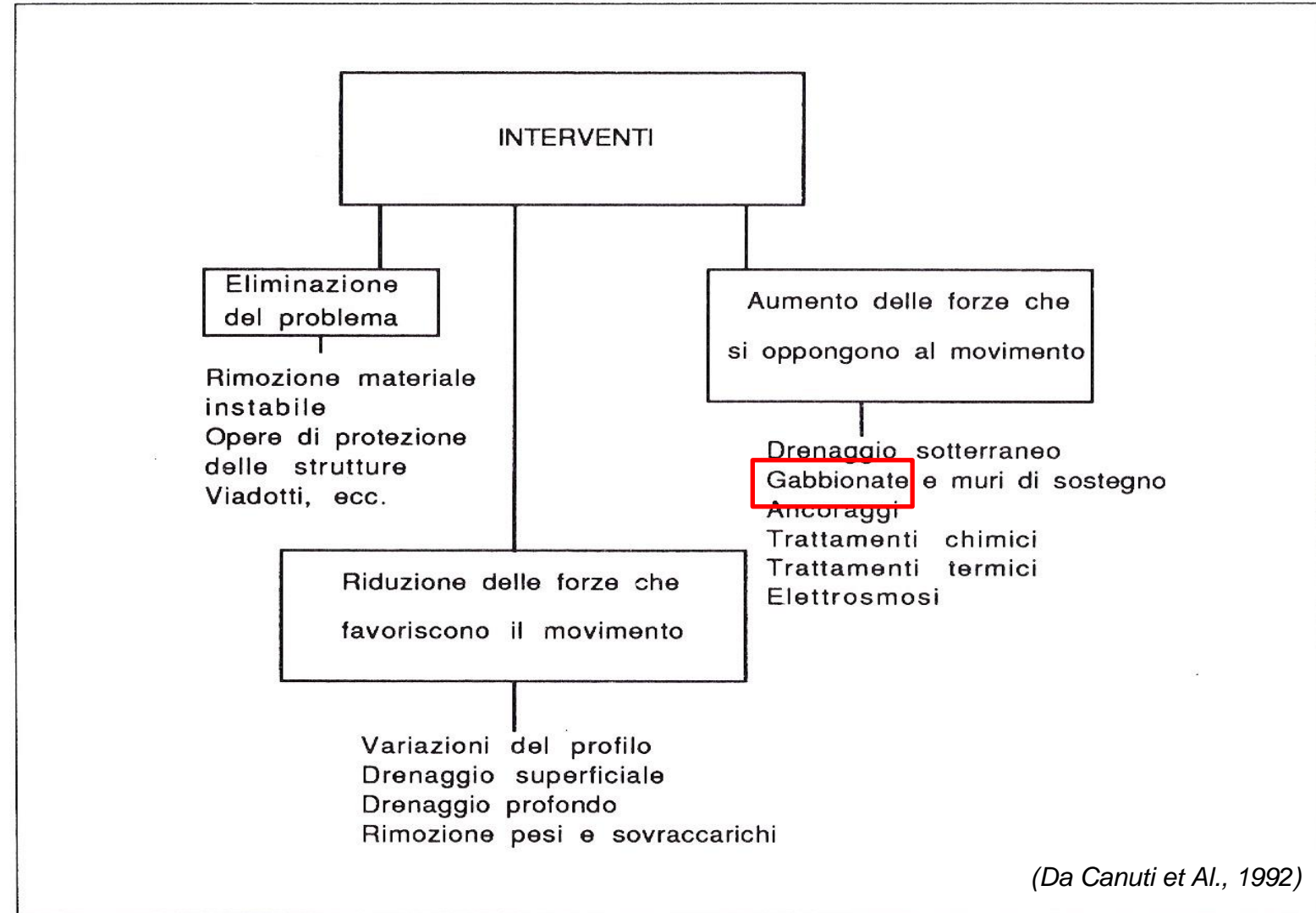


Consolidamenti corticali: **criticità**



Nel caso in cui l'area su cui si è realizzato un consolidamento corticale sia interessata da un incendio, occorre valutare se vi sia stato un decadimento delle caratteristiche meccaniche della rete metallica. Inoltre, anche la durabilità potrebbe essere compromessa.

Opere di sostegno



(Da Canuti et Al., 1992)



ordine degli
ingegneri
provincia di
imperia

Gabbionate e terre rinforzate: generalità

Strutture «rigide» e «deformabili»: vantaggi vs svantaggi

Le **gabbionate** e le **terre rinforzate** sono strutture a comportamento «**deformabile**».

Rispetto alle strutture «**rigide**», presentano i seguenti principali vantaggi:

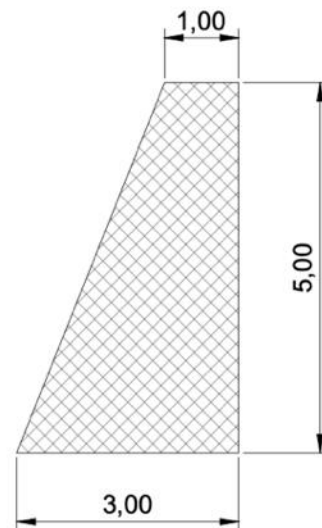
- sono in grado di sopportare deformazioni anche di grande entità mantenendo la loro capacità statica;
- sono realizzabili spesso utilizzando materiale reperibile in loco;
- presentano una migliore «inseribilità» nel contesto ambientale (sono rinverdibili).



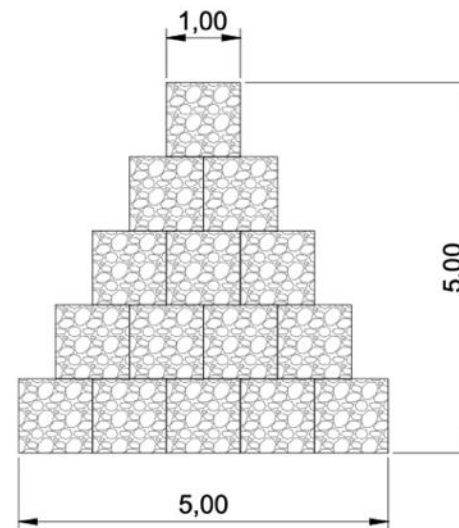
Gabbionate e terre rinforzate: generalità

Strutture «rigide» e «deformabili»: vantaggi vs svantaggi

Il principale svantaggio risiede nel fatto che essendo costituite da materiali più «leggeri» rispetto al calcestruzzo, a parità di efficacia statica, risultano più «ingombranti»



$g = 25 \text{ kN/mc}$



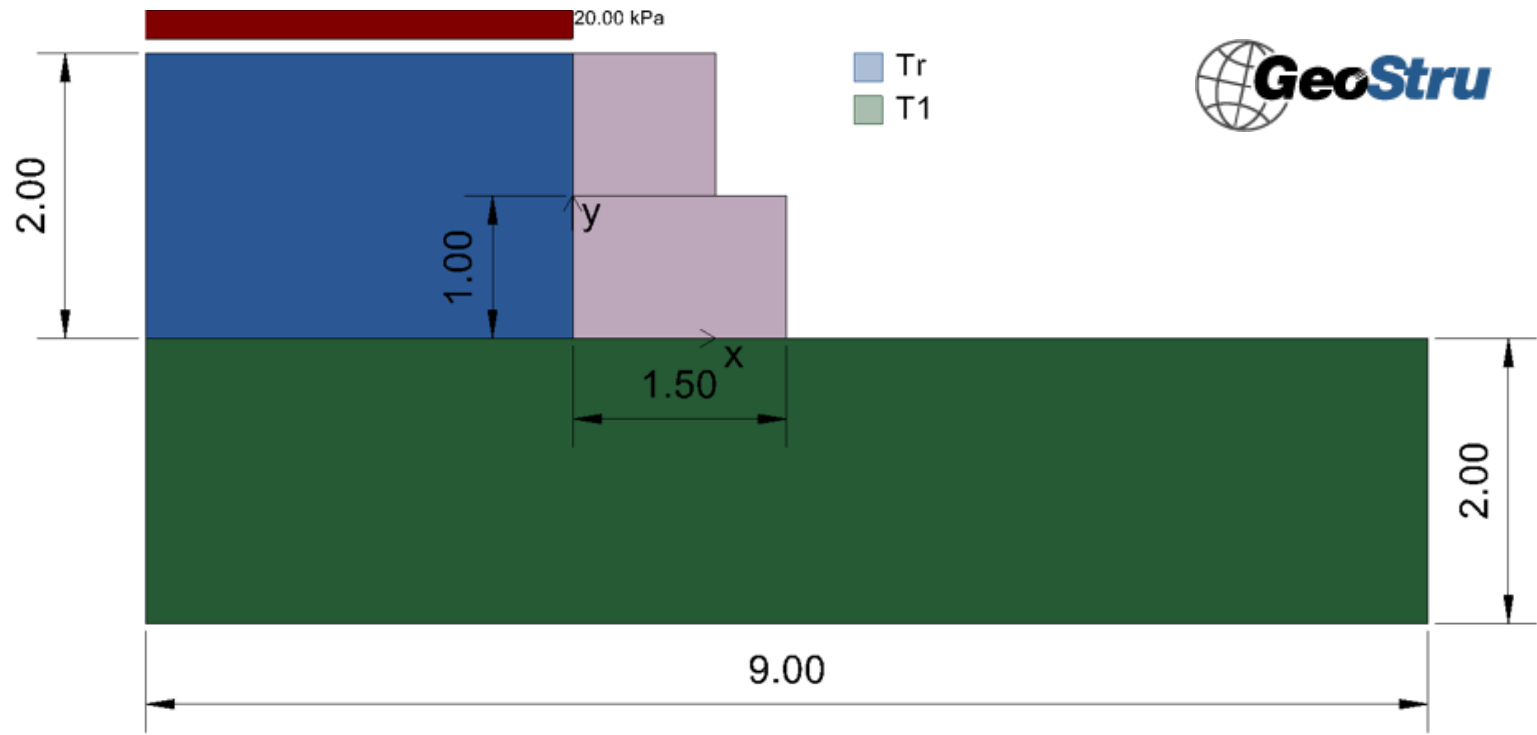
$g = 16 \text{ kN/mc}$



$g = 18 \text{ kN/mc}$

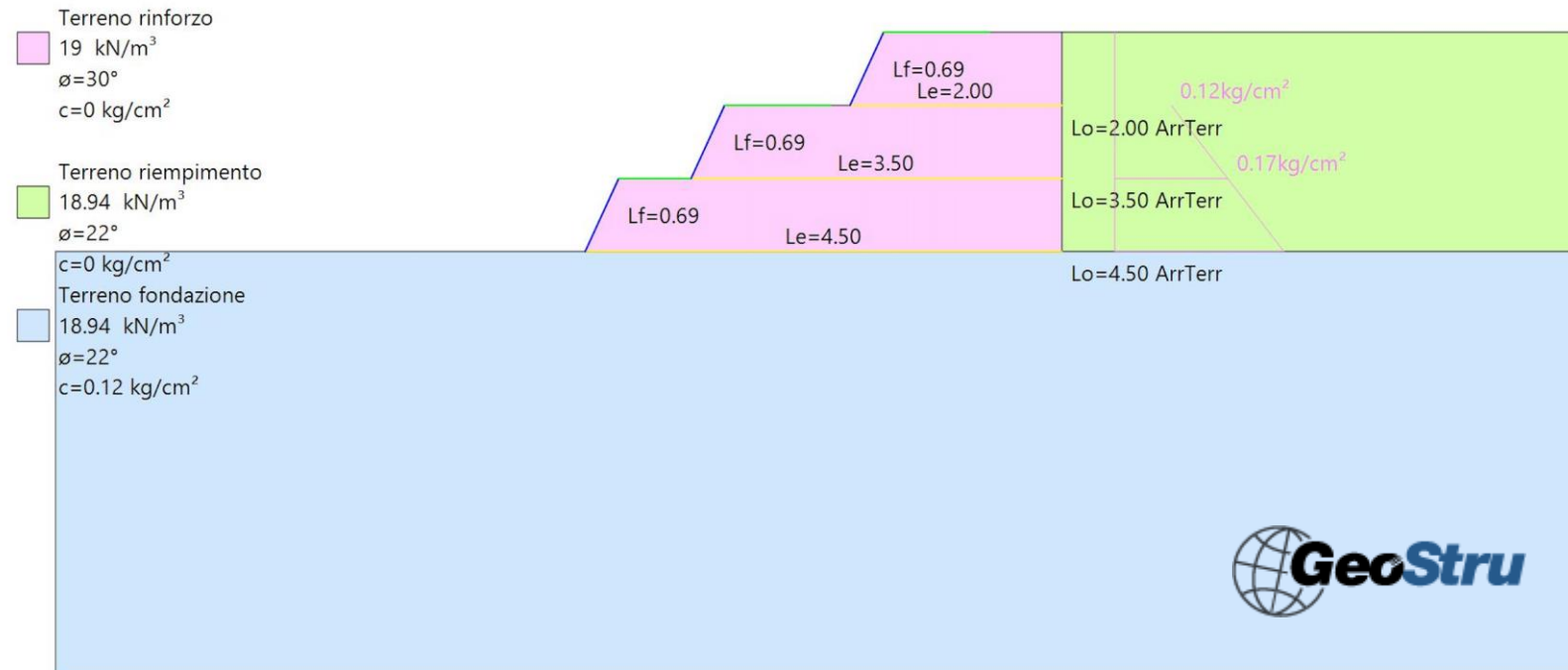
Gabbionate e terre rinforzate: generalità

Software Desktop (es. Geostru «GDW»)



Gabbionate e terre rinforzate: generalità

Software Desktop (es. Geostru «MRE»)

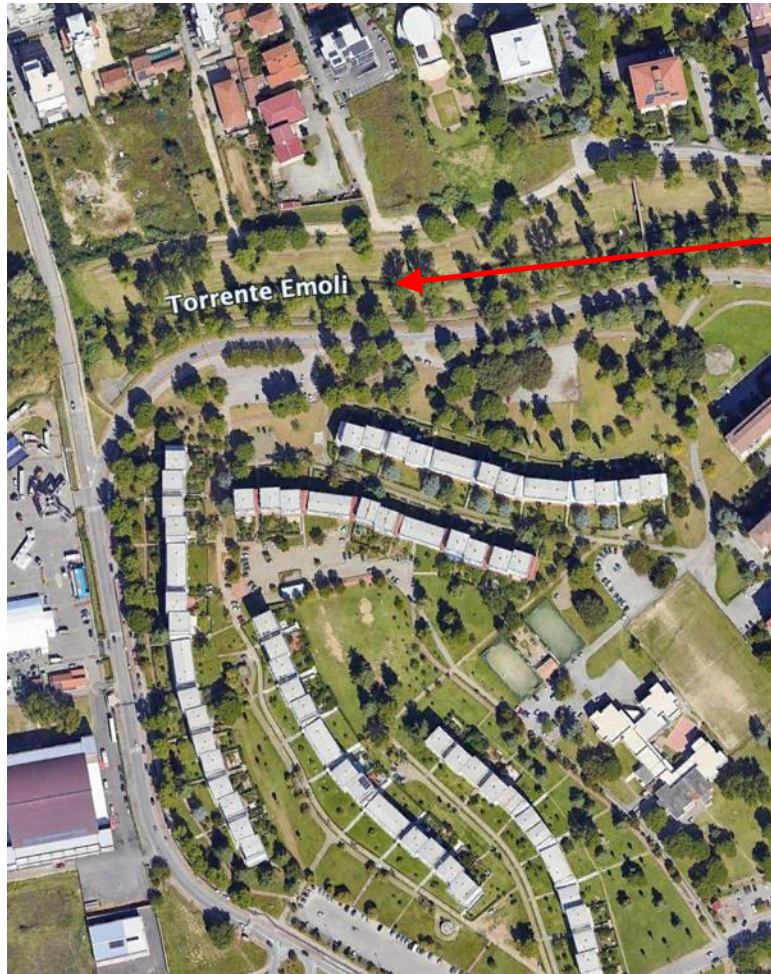


Argini in gabbionate e terre rinforzate



Qualora una gabbionata o una terra rinforzata vengano utilizzate per la realizzazione di arginature di corsi d'acqua caratterizzati da regimi idrici e/o di trasporto solido di rilevante entità, è necessario verificare, oltre alla capacità di resistenza statica dell'opera rispetto alle spinte esercitate dal terreno e dagli eventuali sovraccarichi a monte, anche la resistenza rispetto agli sforzi di trascinamento esercitati dalla corrente idrica.

Può essere opportuno, in presenza di sforzi tangenziali di elevata entità, prevedere opere di protezione al piede dell'opera (es. scogliere) o rinforzi sulle parti dell'opera soggette all'azione della corrente (es. doppio strato di rete, reti a maggiore resistenza, ecc.).

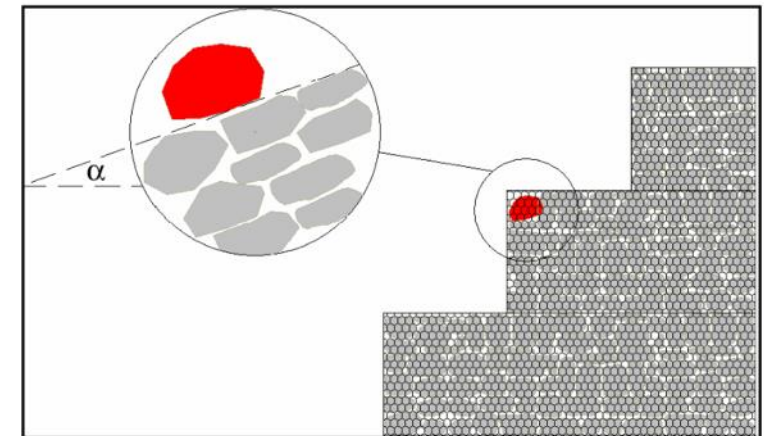
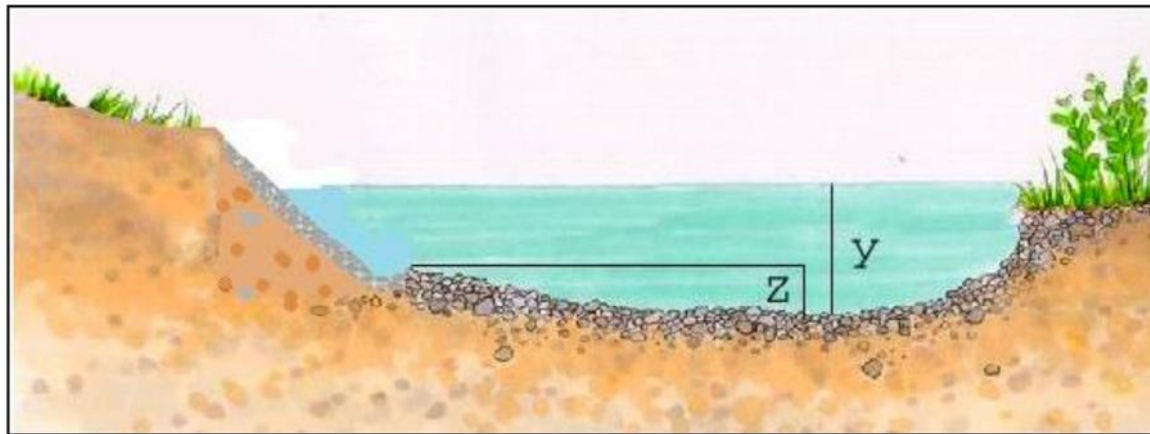


*Mancata valutazione degli sforzi di trascinarsi >>> rottura della rete dei materassi
Assenza di rivestimento polimerico >>> corrosione della rete*

Argini in gabbionate e terre rinforzate

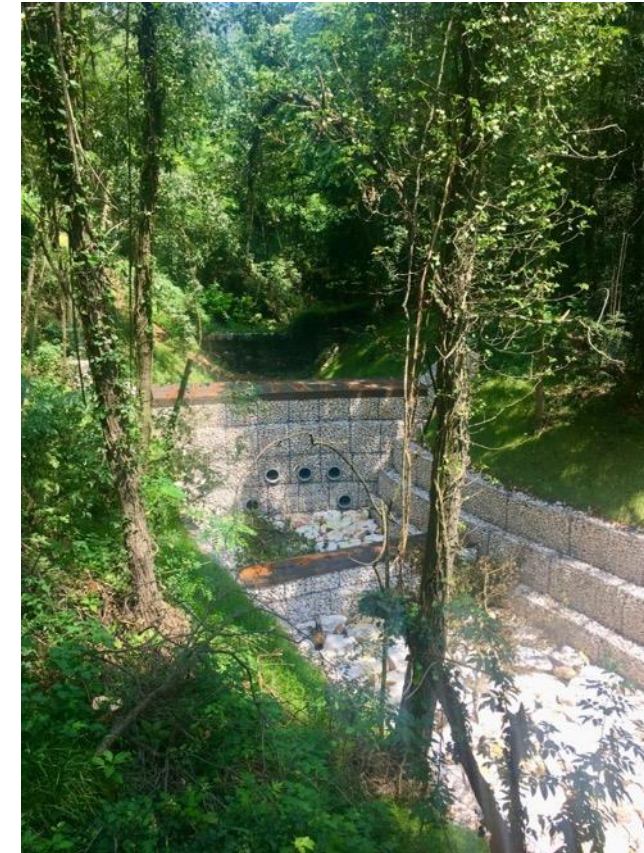
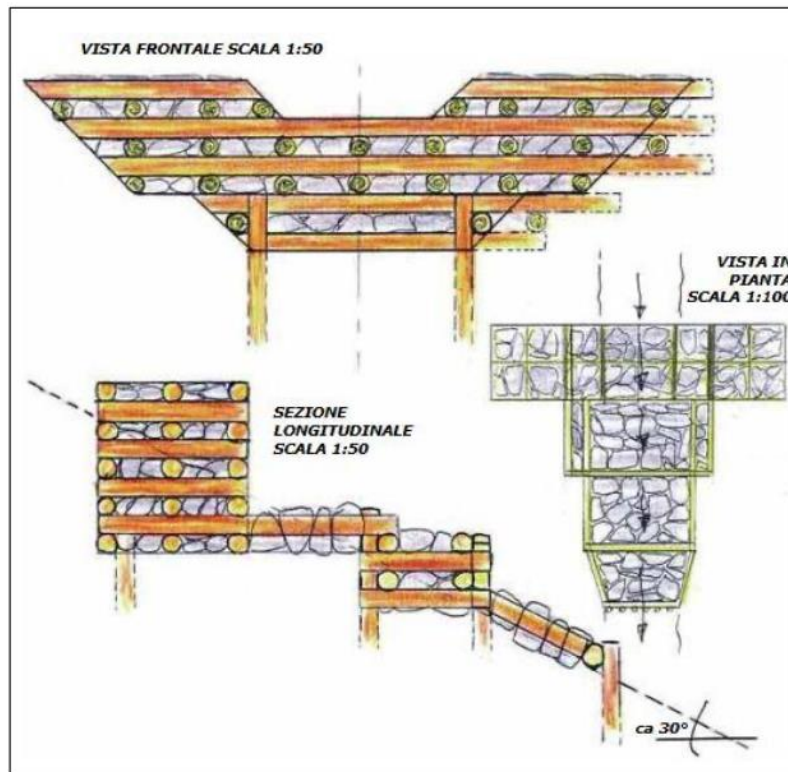
In letteratura sono presenti formulazioni che consentono, per ogni punto dell'alveo considerato, di valutare lo sforzo di trascinamento medio τ_0 esercitato dalla corrente (in funzione della portata, della scabrezza, della posizione, dell'andamento planimetrico).

Tale sforzo va, poi, confrontato con lo sforzo di trascinamento «critico» τ_{amm} valutato attraverso gli abachi di Shields (in funzione del peso specifico e della dimensione del pietrame, opportunamente adattata per tener conto dell'effetto di contenimento della rete metallica).

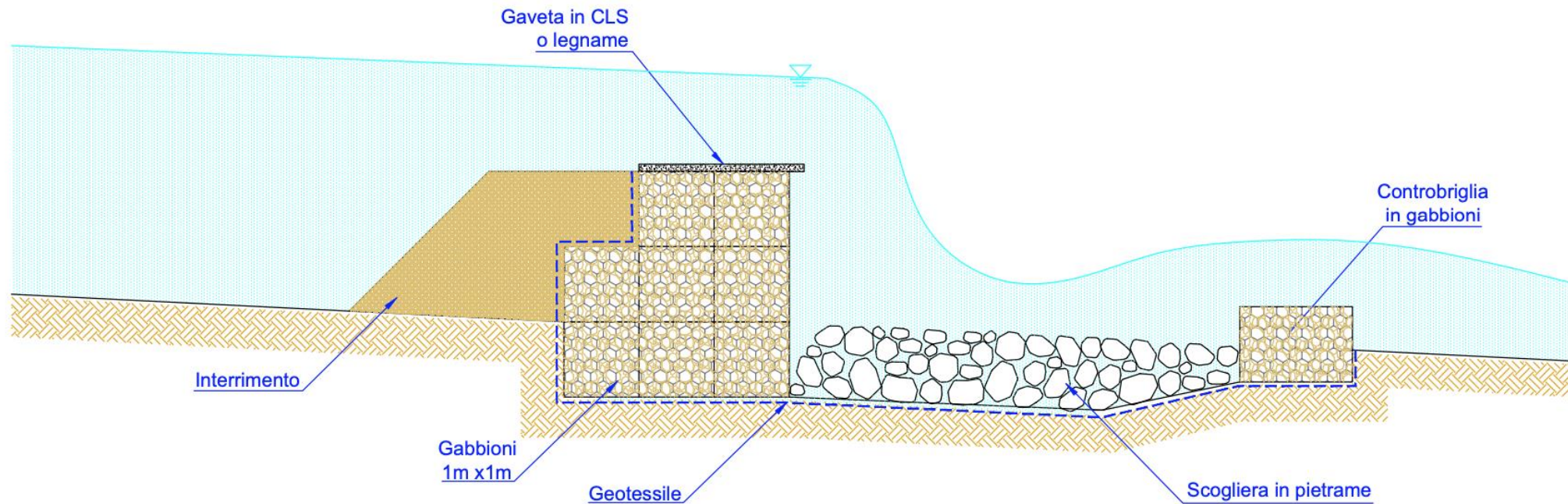


Briglie in gabbioni

I gabbioni possono essere utilizzati anche per la formazione di opere trasversali (briglie).



Briglie in gabbioni



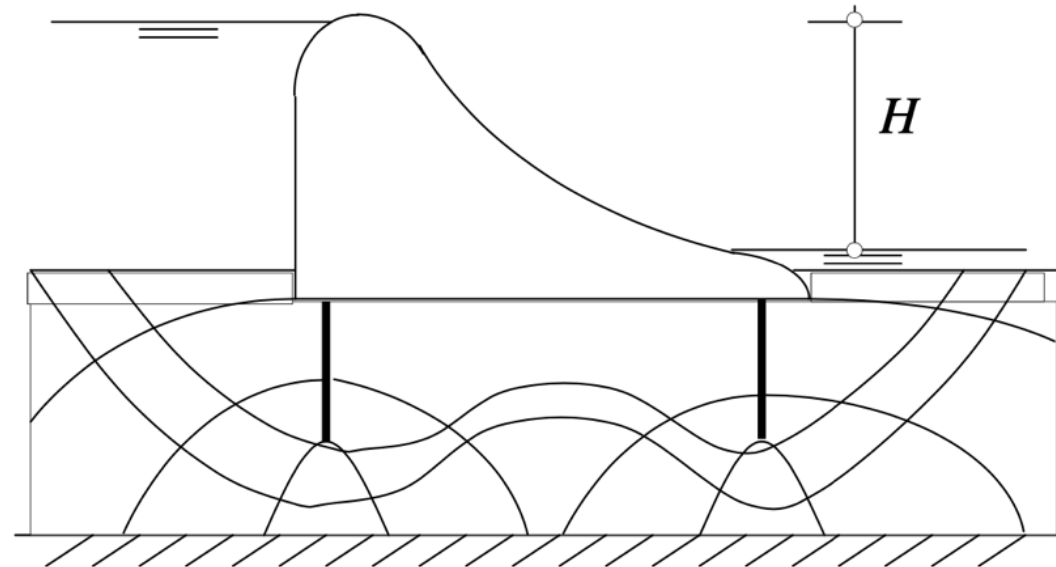
Briglie in gabbioni



Briglie in gabbioni

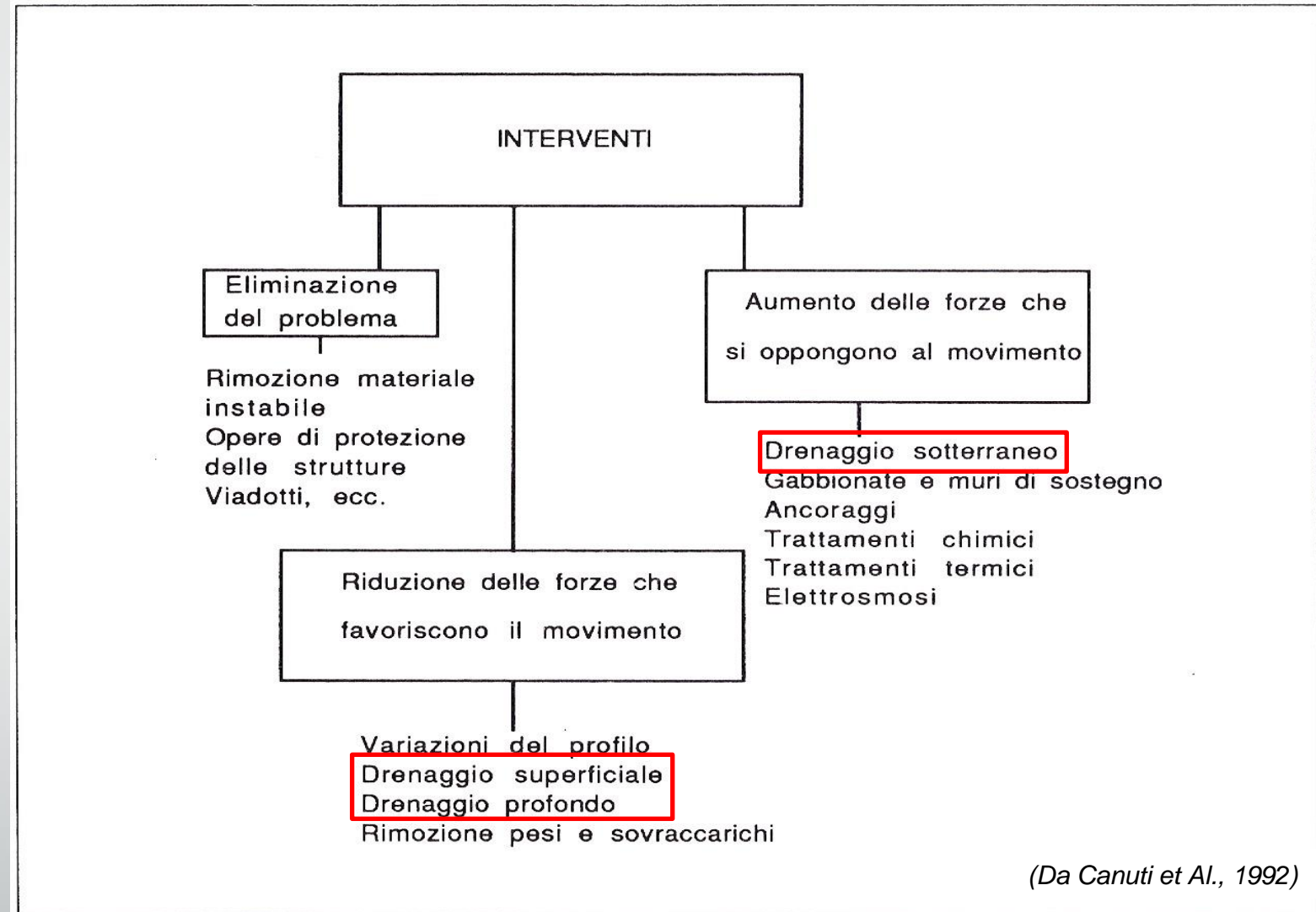


In questo caso, si dovranno eseguire, oltre alle verifiche statiche (come opera di sostegno), tenendo conto anche di eventi quali l'impatto di colate detritiche, anche verifiche idrauliche : verifica del corretto deflusso delle portate, verifica dell'assenza di erosione e scalzamento a valle, verifica di assenza di sifonamento.



Drenaggi

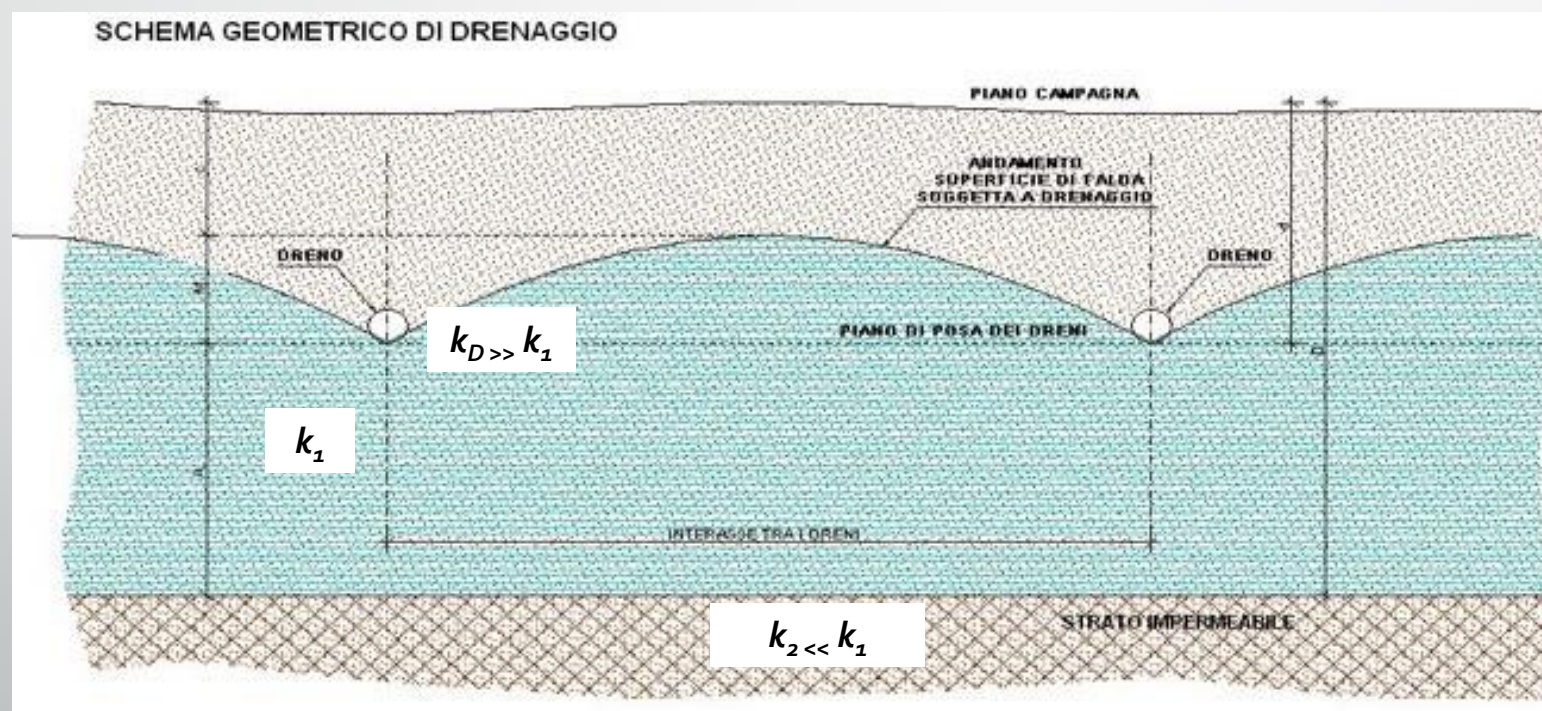
Un intervento di drenaggio (profondo) agisce simultaneamente riducendo lo stato di sollecitazione e aumentando la resistenza



Trincee drenanti: generalità

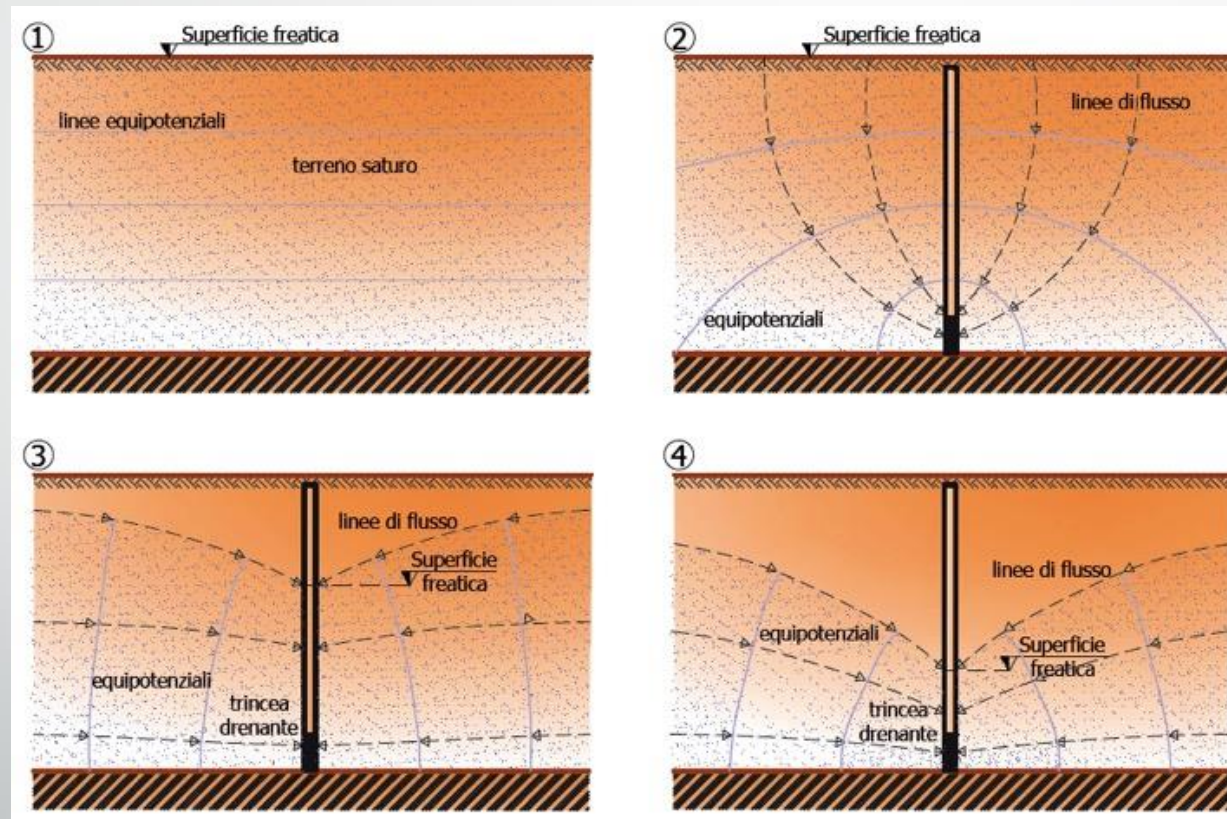
Le **trincee drenanti** rientrano nella categoria dei «drenaggi a gravità», nei quali la pressione interstiziale è pari alla pressione atmosferica ($u = 0$).

Un «dreno» può essere considerato come un corpo avente una permeabilità (k_D) di diversi ordini di grandezza maggiore rispetto a quella del terreno (k_1) in cui è immerso:



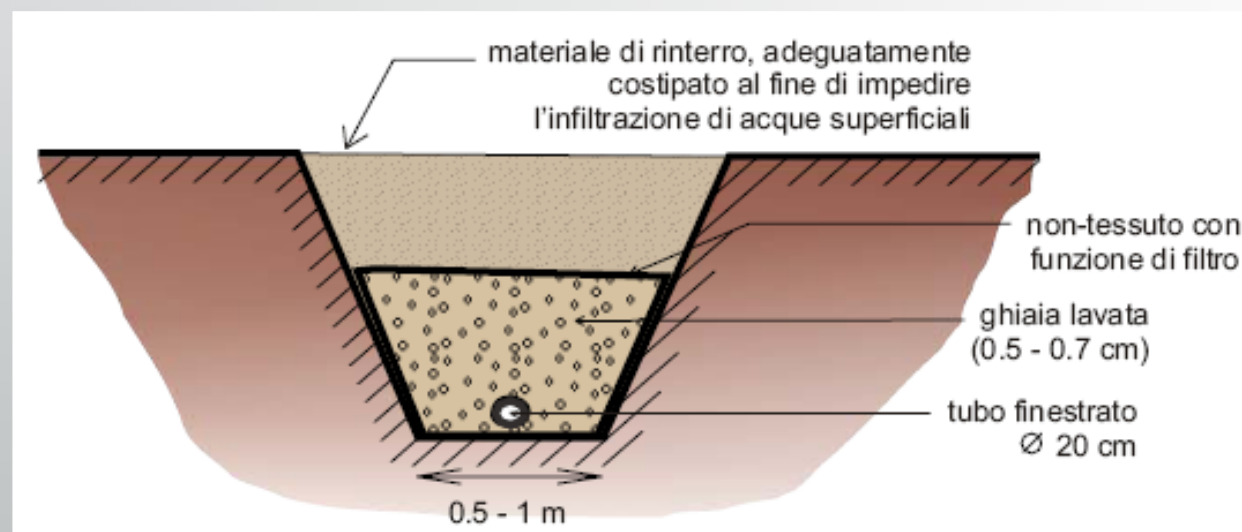
Trincee drenanti: generalità

L'annullamento della pressione interstiziale innesca all'interno del terreno (con permeabilità k_1) un moto di filtrazione verso il dreno ($k_D \gg k_1$). Si ottiene così una riduzione della pressione interstiziale dal valore iniziale u_0 ad un nuovo valore $u(t)$.

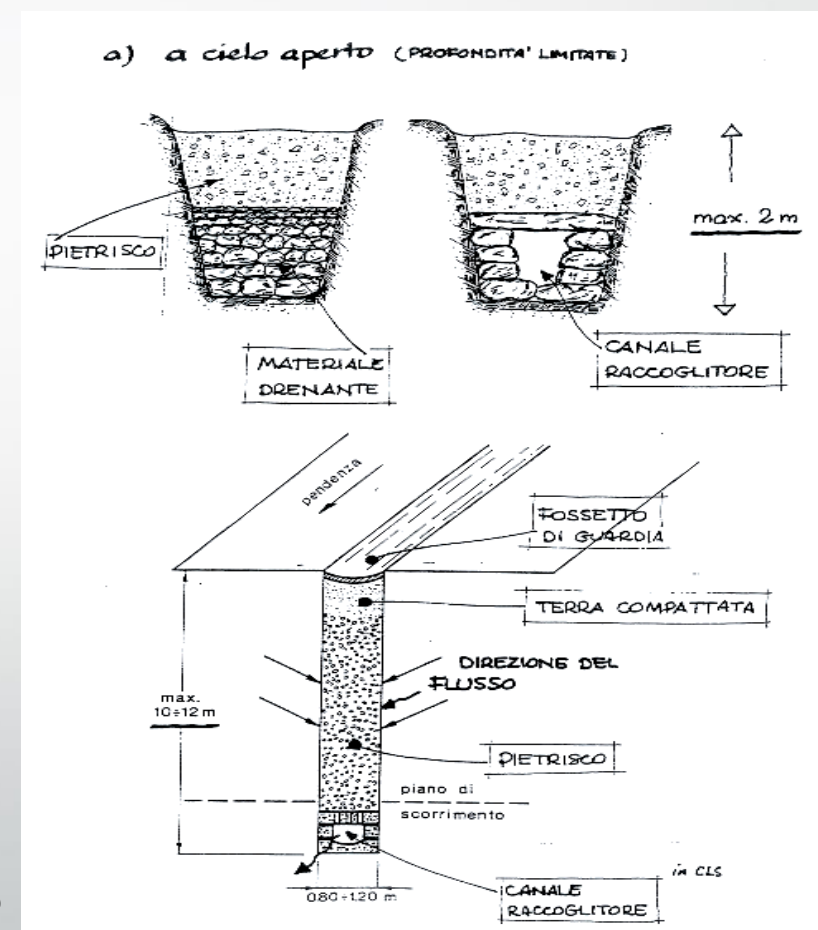


Trincee drenanti: tipologie

Tipologie «tradizionali»



Tube + ghiaia + TNT

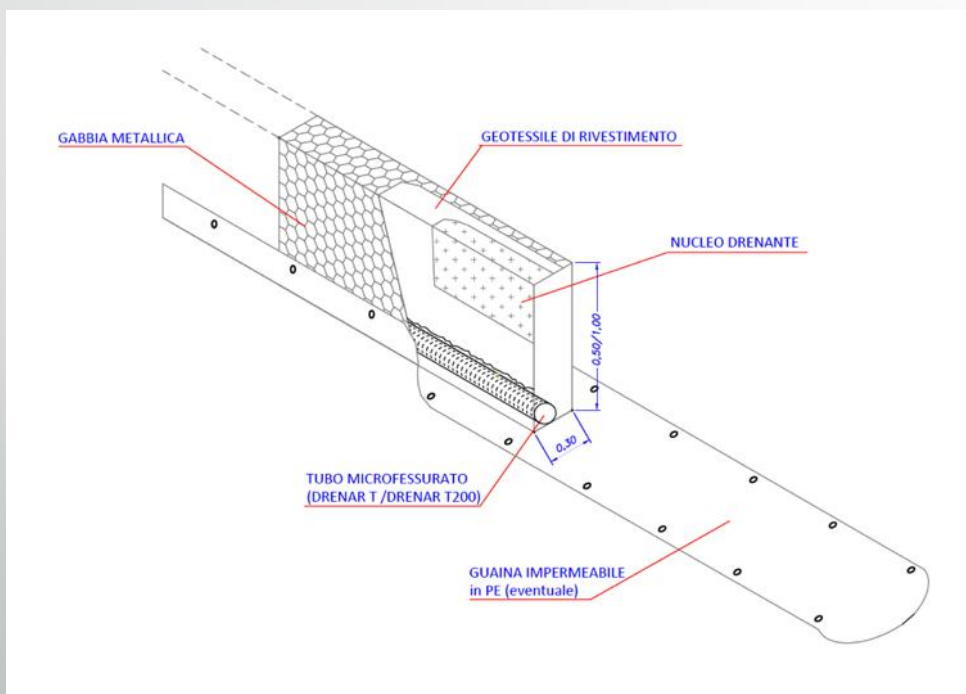


In pietrame

Trincee drenanti: tipologie

Tipologie «innovative»: pannelli drenanti prefabbricati ad alte prestazioni idrauliche

Il pannello drenante è costituito da uno scatolare metallico esterno di contenimento in rete a doppia torsione, rivestito internamente con un geotessile. Il nucleo drenante ad alta permeabilità può essere costituito da "trucioli" di polistirolo o di polietilene ad alta densità. Può essere presente un tubo di raccolta in HDPE alla base.



Pannello drenante Drenar/Drenar T Arrigo Gabbioni Italia



ordine degli
ingegneri
provincia di
imperia

Trincee drenanti: criteri di progettazione

Il dimensionamento di un sistema di trincee drenanti richiede una procedura alquanto complessa, che presuppone la conoscenza di una serie di parametri:

- Stratigrafia
- Parametri geotecnici del terreno da drenare
- **Permeabilità** del terreno da drenare
- Valutazione delle portate da drenare
- Verifica idraulica del dreno



Trincee drenanti: criteri di progettazione



In assenza di tali valutazioni, il sistema potrà intendersi solo come intervento di «mitigazione», poiché, indiscutibilmente, esso produrrà effetti benefici, ma non quantificabili, sulla stabilità del pendio. Le NTC, infatti, prevedono che, affinché un intervento possa essere considerato di «stabilizzazione», dev'essere quantificato l'incremento del coefficiente di sicurezza:

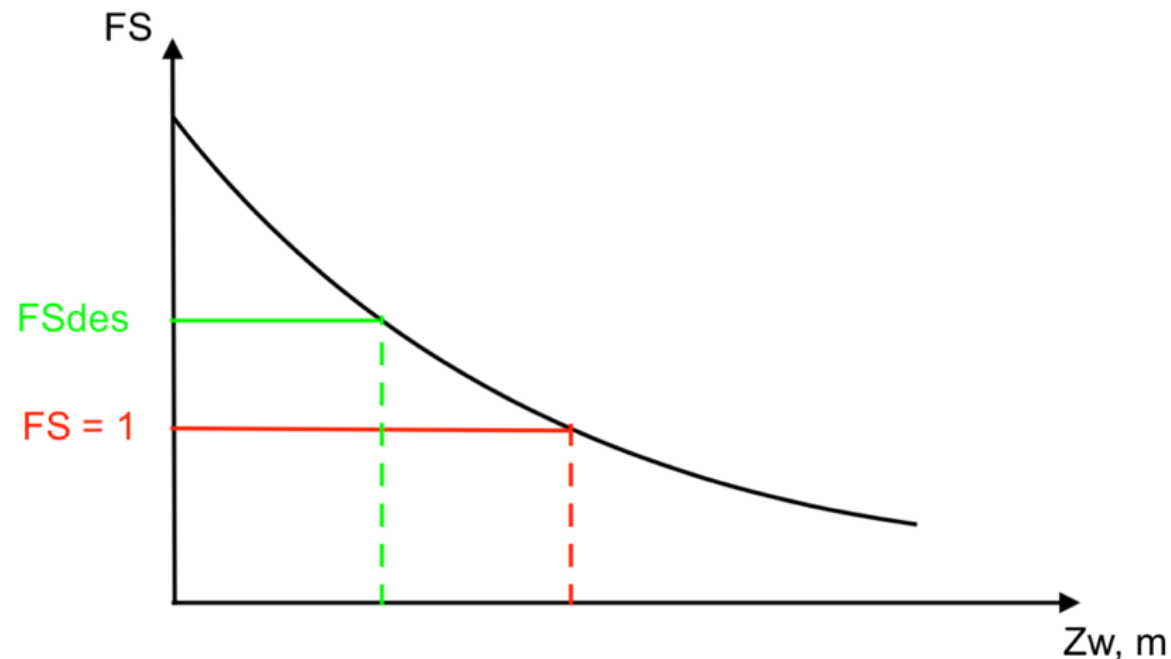
6.3.5. INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE

Il progetto degli interventi di stabilizzazione deve comprendere la descrizione completa dell'intervento, l'influenza delle modalità costruttive sulle condizioni di stabilità, il piano di monitoraggio e un significativo piano di gestione e controllo nel tempo della funzionalità e dell'efficacia dei provvedimenti adottati. In ogni caso devono essere definiti l'entità del miglioramento delle condizioni di sicurezza del pendio e i criteri per verificarne il raggiungimento.

Trincee drenanti: criteri di progettazione

Se l'obiettivo è un **intervento di stabilizzazione**, occorre determinare la profondità della falda che si intende raggiungere, alla quale corrisponderà il livello di sicurezza desiderato.

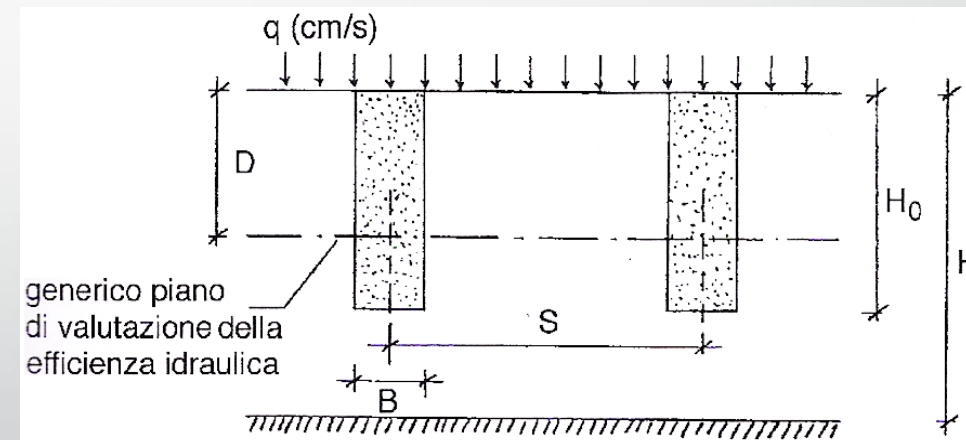
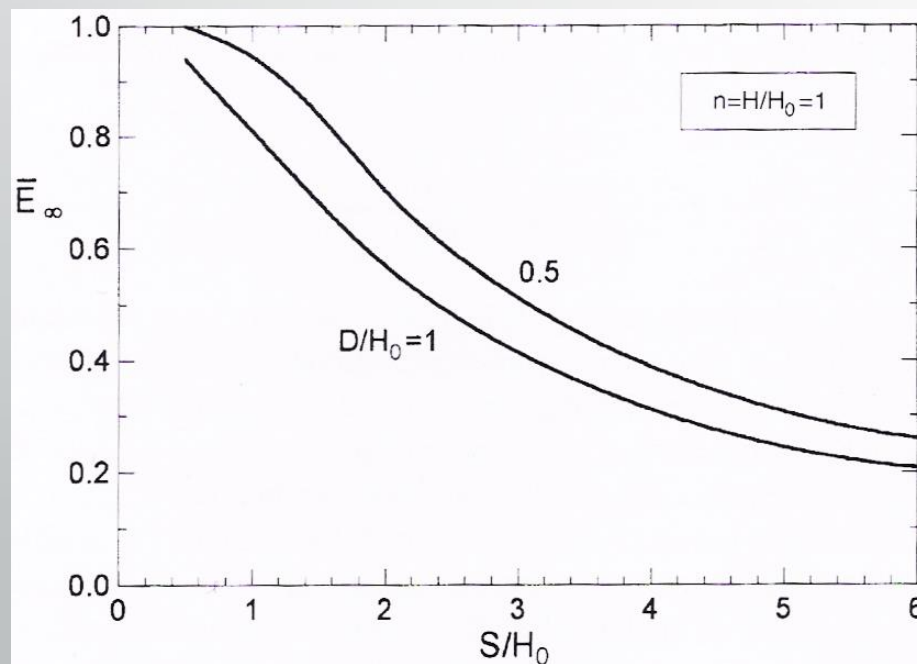
Tale input si ottiene da verifiche di stabilità del versante condotte, sia in condizioni statiche che sismiche, individuando la posizione alla quale compete il coefficiente di sicurezza desiderato (analisi di sensitività).



Trincee drenanti: criteri di progettazione

La progettazione del sistema consisterà nella determinazione dell'interasse e della profondità delle linee drenanti. A tal fine, si può ricorrere a metodi semplificati (es. metodo di Hutchinson, 1977)

Determinati i valori del rapporto n tra la profondità di installazione dei dreni H_0 e lo spessore H del pendio e del rapporto tra la profondità di progetto della falda D ed H_0 , si entra in un abaco con il valore dell'efficacia idraulica media E



Trincee drenanti: criteri di progettazione

Occorre, poi, eseguire una verifica idraulica, confrontando le portate entranti nel dreno con la sua capacità drenante.

Anche in questo caso, può farsi ricorso a metodi semplificati che consentono di valutare la portata entrante all'interno della trincea attraverso le superfici verticali di scavo (es. metodo NavFac).

CASO 1

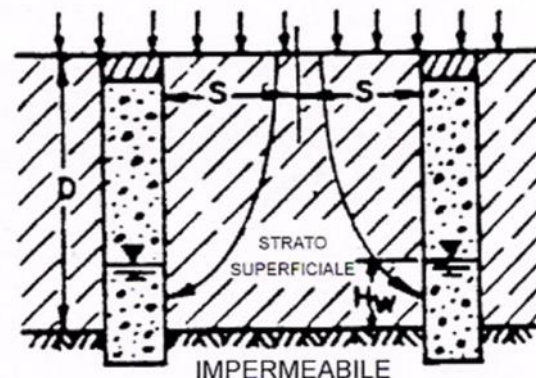
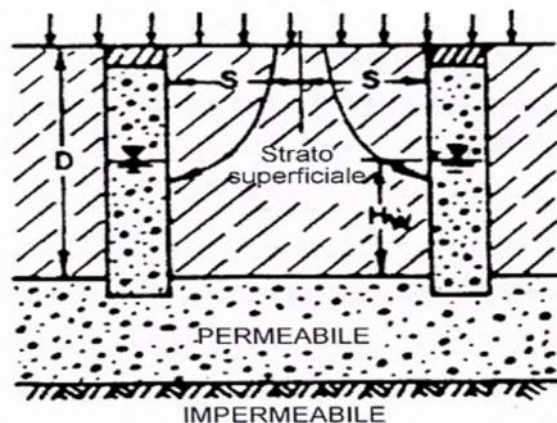
$$Q = K \cdot S \cdot F$$

Q = Massima portata drenata dalla trincea per unità di lunghezza

K = Permeabilità dello strato superficiale

2S = Spaziatura delle trincee

F = Coefficiente di flusso

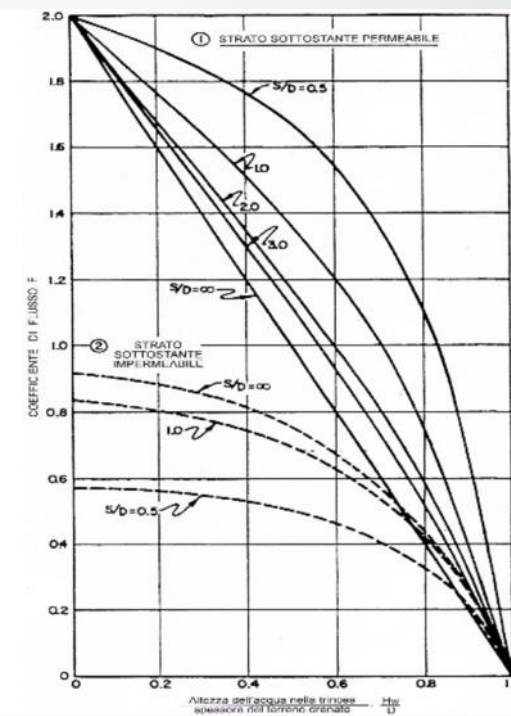


CASO 2

$$Q = \left(\frac{16 DK}{\pi^2} \right) F$$

Metodo semplificato

(NAVFAC - Naval Facilities Engineering Command)





Trincee drenanti: criteri di progettazione

Il software SDS (Soil Drainage System)



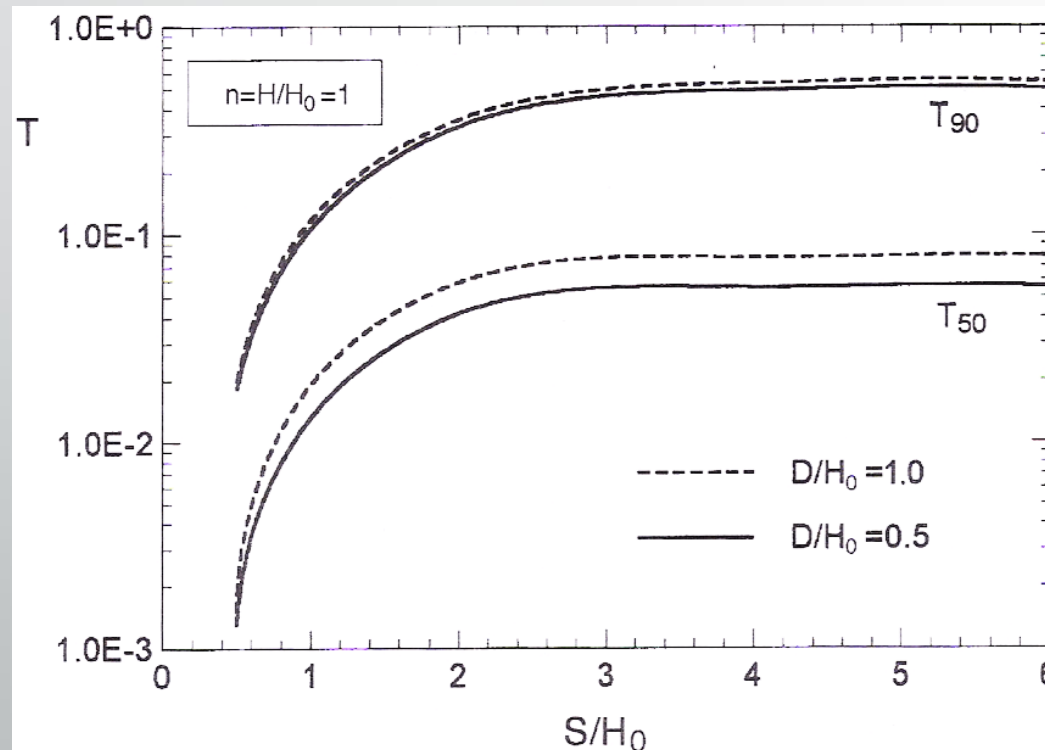
SDS implementa il seguente percorso progettuale:

- 1) Valutazione della portata di infiltrazione verso la trincea;
- 2) Valutazione della capacità drenante del pannello Drenar in relazione alla profondità di installazione;
- 3) Valutazione della profondità della falda post-intervento e dell'incremento di FS (in caso di più linee drenanti).



Trincee drenanti: criteri di progettazione

Occorre valutare il **transitorio**, cioè il tempo necessario per il raggiungimento della nuova condizione (idrodinamica), che dipende dalla **permeabilità** del terreno.



$$t = \frac{\gamma_w H_0^2 2 (1 + \nu') (1 - 2\nu')}{k_v E'} T$$

T_{50} = tempo necessario per raggiungere il 50% dell'efficienza

T_{90} = tempo necessario per raggiungere il 90% dell'efficienza

Trincee drenanti: criteri di progettazione

In mancanza di determinazioni dirette, si può far riferimento a valori di letteratura:

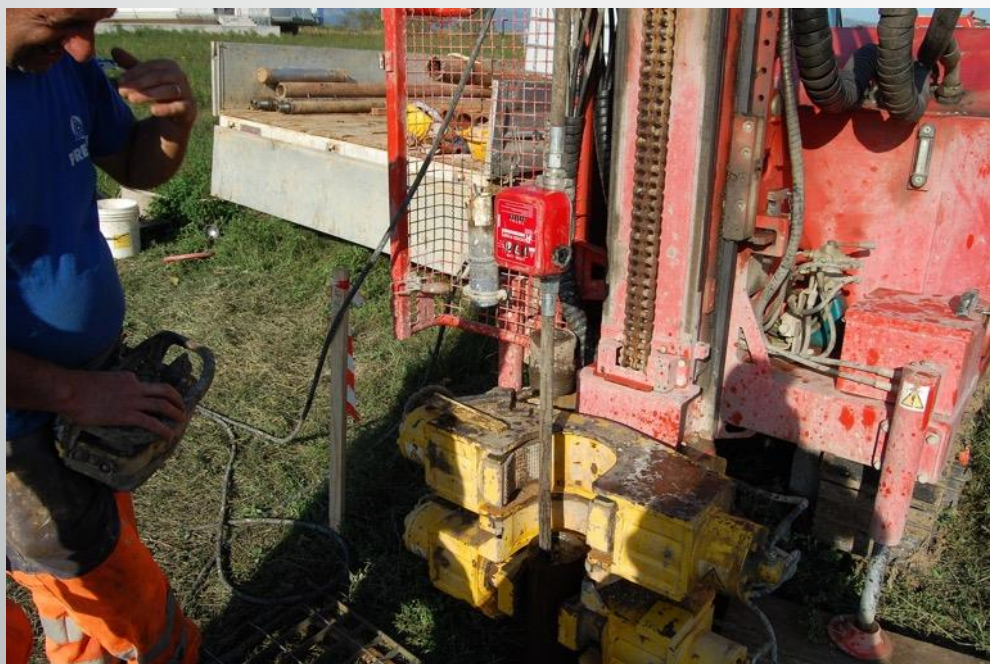
TIPO DI TERRENO	k (m/s)
Ghiaia pulita	$10^{-2} - 1$
Sabbia pulita, sabbia e ghiaia	$10^{-5} - 10^{-2}$
Sabbia molto fine	$10^{-6} - 10^{-4}$
Limo e sabbia argillosa	$10^{-9} - 10^{-5}$
Limo	$10^{-8} - 10^{-6}$
Argilla omogenea sotto falda	$< 10^{-9}$
Argilla sovraconsolidata fessurata	$10^{-8} - 10^{-4}$
Roccia non fessurata	$10^{-12} - 10^{-10}$

Trincee drenanti: criteri di progettazione



Un'errata valutazione della permeabilità può condurre a errori di considerevole entità sia sulle portate da drenare che sul transitorio per il raggiungimento della condizione di progetto \Rightarrow percezione di «falsa sicurezza»

La permeabilità dovrebbe essere determinata attraverso apposite prove in situ.



Trincee drenanti: criteri di progettazione



Sarebbe opportuno (o necessario) programmare una campagna di indagini piezometriche finalizzate alla verifica dell'effettiva posizione della falda post-intervento.

6.3.6. CONTROLLI E MONITORAGGIO

Il monitoraggio di un pendio o di una frana interessa le diverse fasi che vanno dallo studio al progetto, alla realizzazione e gestione delle opere di stabilizzazione e al controllo della loro funzionalità e durabilità. Esso è riferito principalmente agli spostamenti di punti significativi del pendio, in superficie e/o in profondità, al controllo di eventuali manufatti presenti e alla misura delle pressioni interstiziali, da effettuare con periodicità e durata tali da consentire di definirne le variazioni periodiche e stagionali.

Il controllo dell'efficacia degli interventi di stabilizzazione deve comprendere la definizione delle soglie di attenzione e di allarme e dei provvedimenti da assumere in caso del relativo superamento.



ordine degli
ingegneri
provincia di
imperia

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!



MAURIZIO PONTE

*Dipartimento di Biologia, Ecologia e Scienze della Terra
Università della Calabria.*

E-mail: maurizio.ponte@unical.it



ARRIGO GABBIONI ITALIA S.R.L.

<https://www.arrigogabbioni.com>

E-mail: arrigogabbioni@gmail.com