



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PALERMO



20 febbraio 2025
Seminario tecnico:

Soluzioni innovative per la difesa del suolo e la prevenzione del dissesto idrogeologico



Prof. Ing. M. Ponte
Università della Calabria
Consulente Tecnico-Scientifico Arrigo Gabbioni Italia



***Utilizzo e dimensionamento di opere di drenaggio
in doppia torsione nella stabilizzazione dei pendii***



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI PALERMO



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.

Dal 2007 al 2019 Consulente Tecnico Procure della Repubblica

Dal 2021 Consulente Tecnico Arrigo Gabbioni Italia

Prof. Ing. M. Ponte

Utilizzo e dimensionamento di opere di drenaggio in doppia torsione nella stabilizzazione dei pendii





Struttura dell'intervento

- 1) *Richiami normativi sugli interventi di stabilizzazione*
- 2) *Generalità sui sistemi di trincee drenanti*
- 3) *Percorso progettuale per il dimensionamento*





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





Aspetti Normativi

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.

La scelta delle più idonee tipologie degli interventi di stabilizzazione deve tener conto delle cause promotrici della frana, del meccanismo di collasso ipotizzato o in atto, dei suoi caratteri cinematici e del regime delle pressioni interstiziali nel sottosuolo. Il progetto degli interventi deve essere basato su specifici modelli geotecnici di sottosuolo.

L'adeguatezza del margine di sicurezza raggiunto per effetto degli interventi di stabilizzazione deve essere giustificato dal progettista.

Oltre alla valutazione dell'incremento di sicurezza indotto dagli interventi di stabilizzazione nei confronti del meccanismo di collasso più critico, è necessario verificare le condizioni di sicurezza connesse con altri, diversi, meccanismi di collasso, compatibili con gli interventi ipotizzati





Aspetti Normativi

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.





Aspetti Normativi

Grado di sicurezza **FS** = (forze che si oppongono alla rottura) / (forze che tendono alla rottura)

Qualunque circostanza che dia luogo alla diminuzione della resistenza e/o all'aumento dello stato di sollecitazione contribuisce all'instabilità

Instabilità \Leftrightarrow **FS = 1**

Valutazione (numerica) del miglioramento di FS \Rightarrow **Intervento di «stabilizzazione»**

Nessuna valutazione del miglioramento di FS \Rightarrow **Intervento di «mitigazione»**





Generalità sui sistemi di trincee drenanti

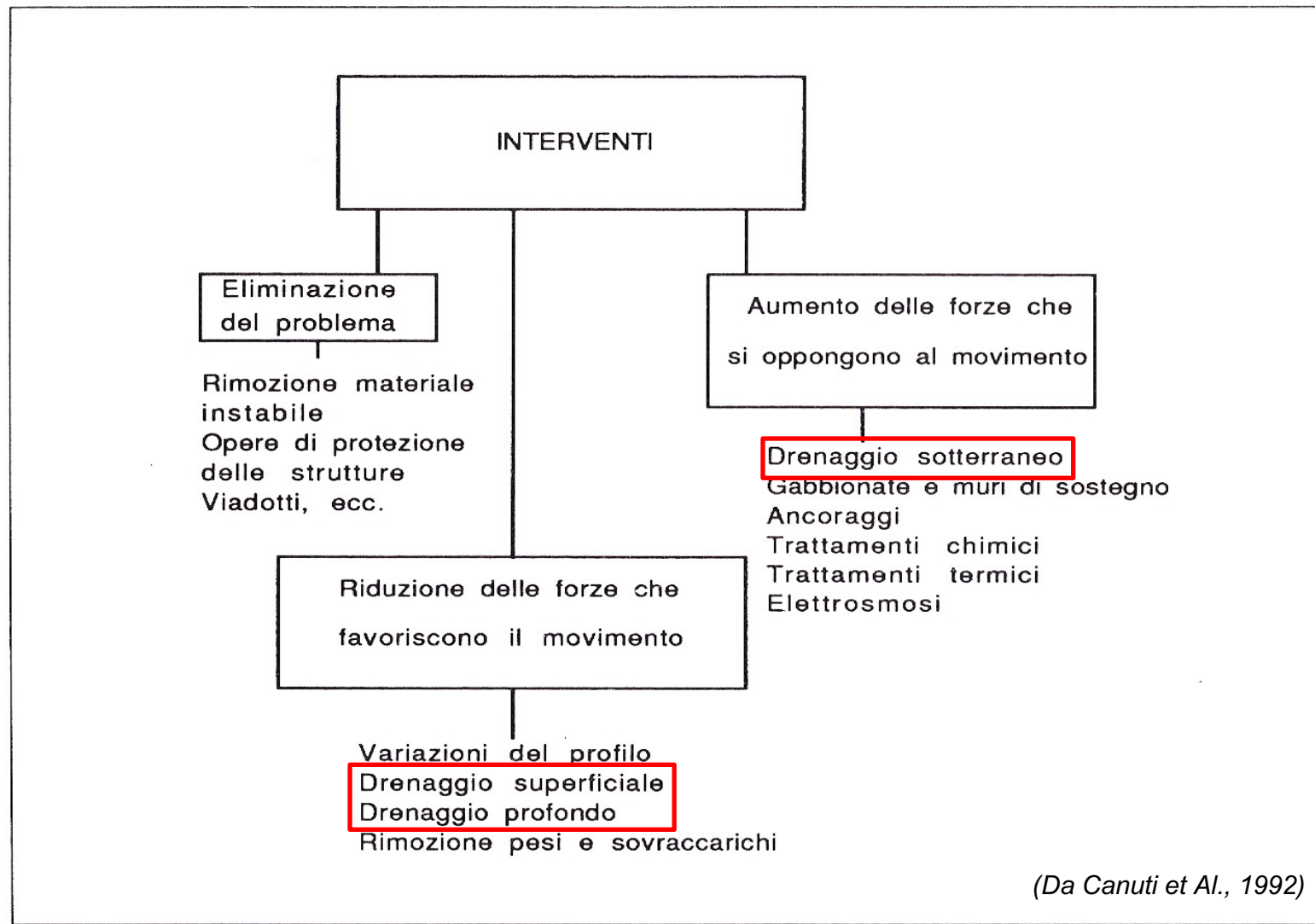
LA PIÙ FREQUENTE CAUSA DI INNESCO DEI FENOMENI FRANOSI
È LA PIOGGIA

CAUSE D'INCREMENTO DELLO STATO DI SOLLECITAZIONE	CAUSE DI RIDUZIONE DELLA RESISTENZA
- carichi esterni , quali manufatti, acqua , neve	- aumento delle pressioni interstiziali - deformazioni
- aumento del peso in seguito all'aumento del contenuto d'acqua	- rigonfiamento (argille) - deterioramento della matrice
-rimozione di una parte della massa in seguito a scavo	- disgelo di terreno congelato o di lenti di ghiaccio
-shock provocati da terremoti o esplosioni	
- erosione - acqua nelle fessure di trazione	





Generalità sui sistemi di trincee drenanti



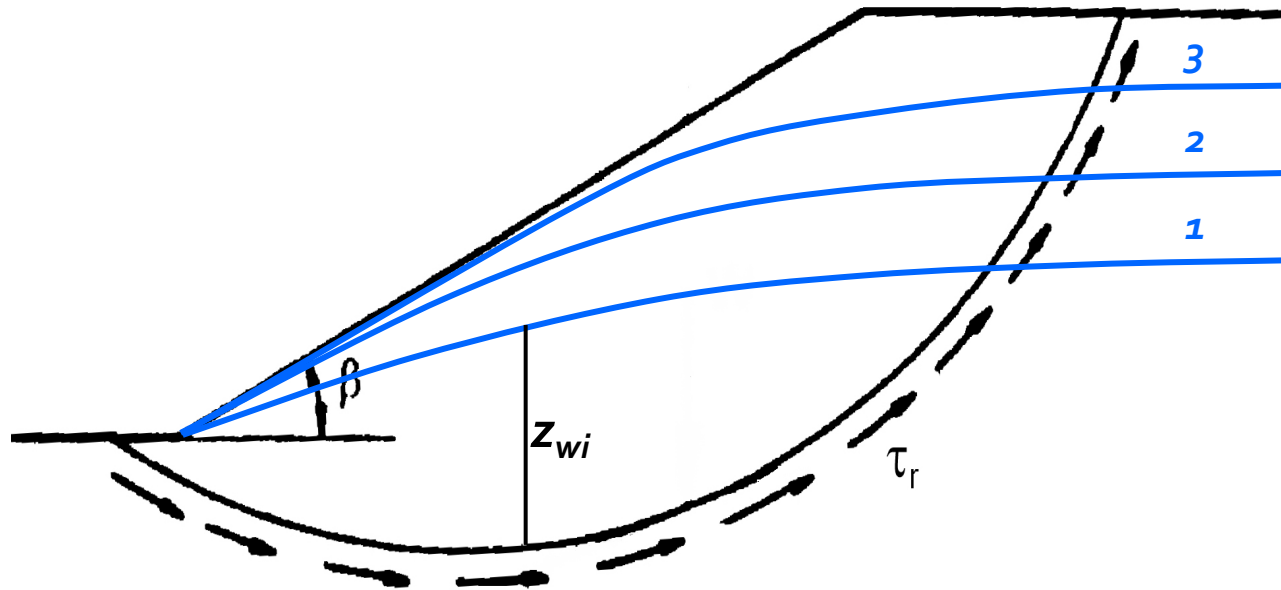
(Da Canuti et Al., 1992)





Generalità sui sistemi di trincee drenanti

PENDIO FINITO



$$\tau_{ri}(3) < \tau_{ri}(2) < \tau_{ri}(1)$$

$$u_i = \gamma_w z_{wi}$$

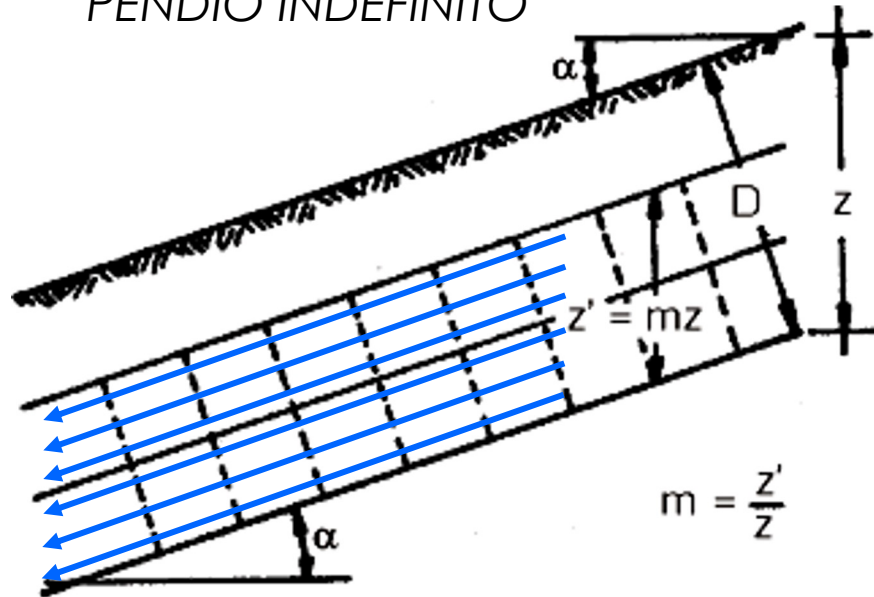
$$\tau_{ri} = (\sigma_i - u_i) \tan \phi + c$$





Generalità sui sistemi di trincee drenanti

PENDIO INDEFINITO



z = profondità della superficie
di scorrimento

z' = distanza della falda
da tale superficie

$$FS = \frac{c' + (\gamma z - m z \gamma_w) \cos^2 \alpha \tan \varphi}{\gamma z \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha}$$

Innalzamento falda:

$$m_3 > m_2 > m_1$$



Riduzione di FS :

$$FS(m_3) < FS(m_2) < FS(m_1)$$

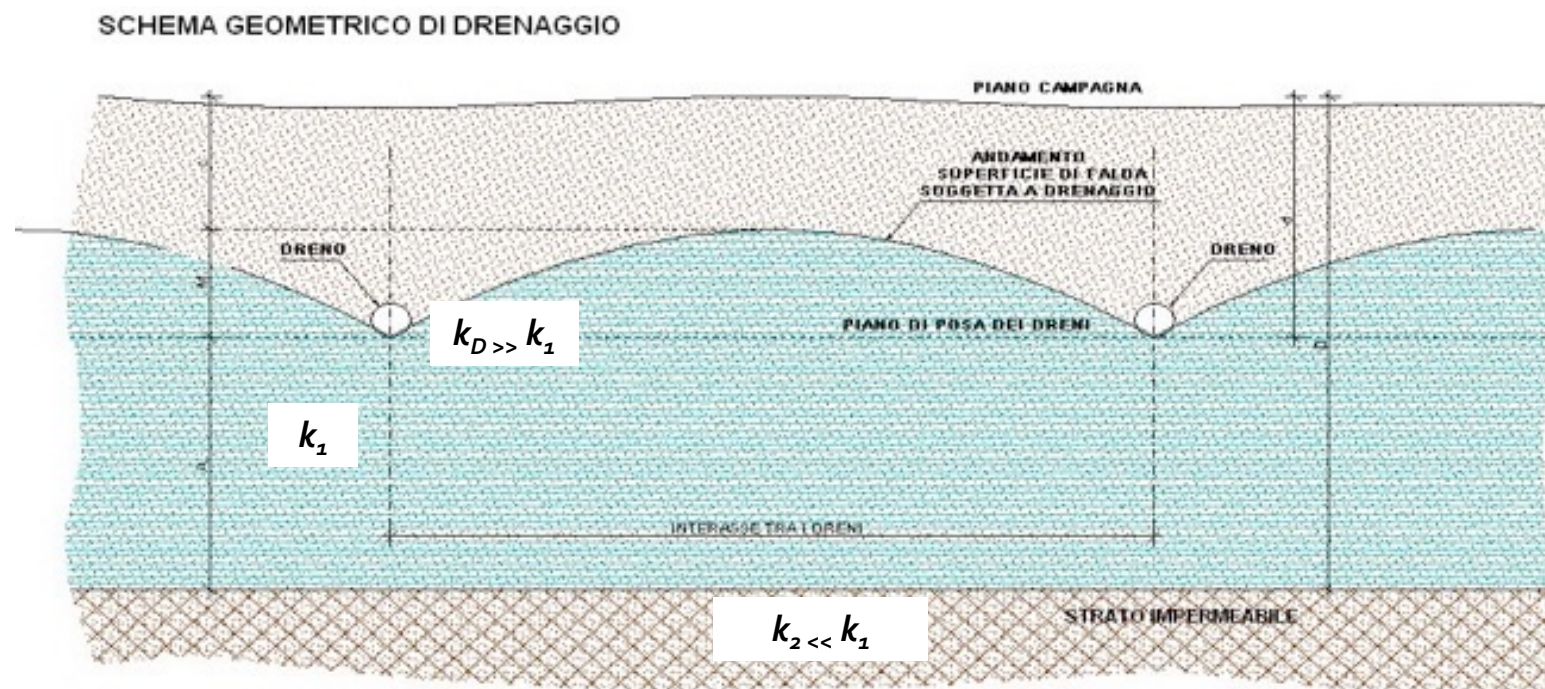




Generalità sui sistemi di trincee drenanti

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

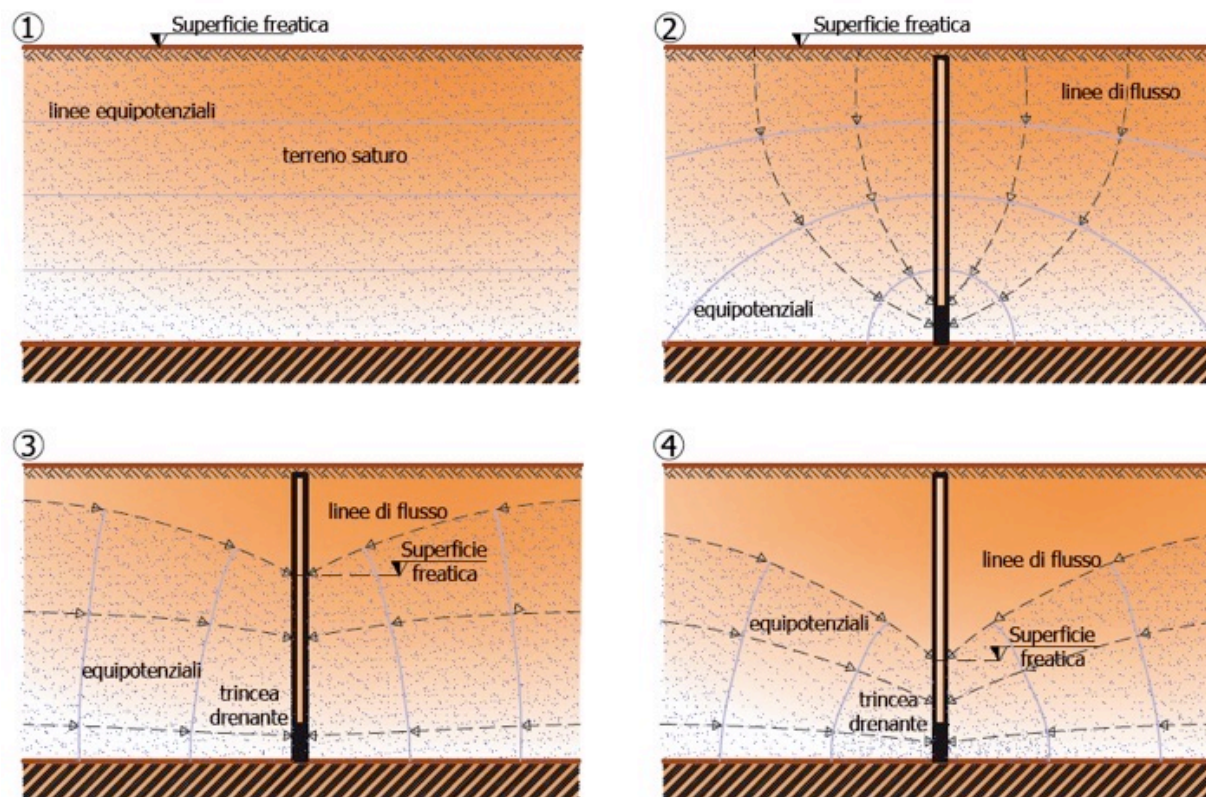
Un «dreno» può essere considerato come un corpo avente una permeabilità (k_D) di diversi ordini di grandezza maggiore rispetto a quella del terreno (k_1) in cui è immerso:





Generalità sui sistemi di trincee drenanti

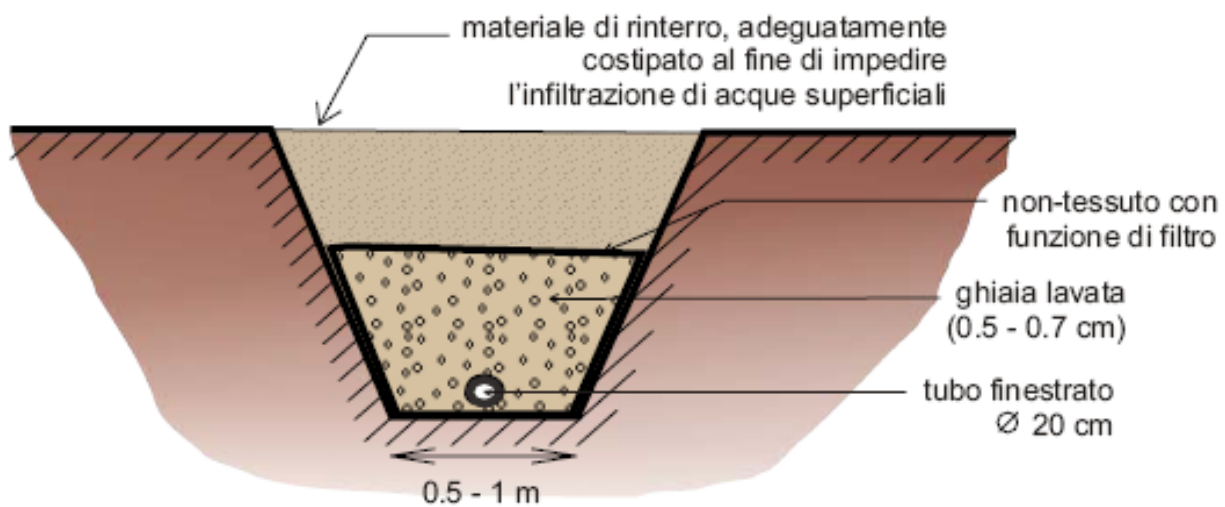
L'annullamento della pressione interstiziale innesca all'interno del terreno (con permeabilità k_1) un moto di filtrazione verso il dreno ($k_D \gg k_1$). Si ottiene così una riduzione della pressione interstiziale dal valore iniziale u_0 ad un nuovo valore $u(t)$.





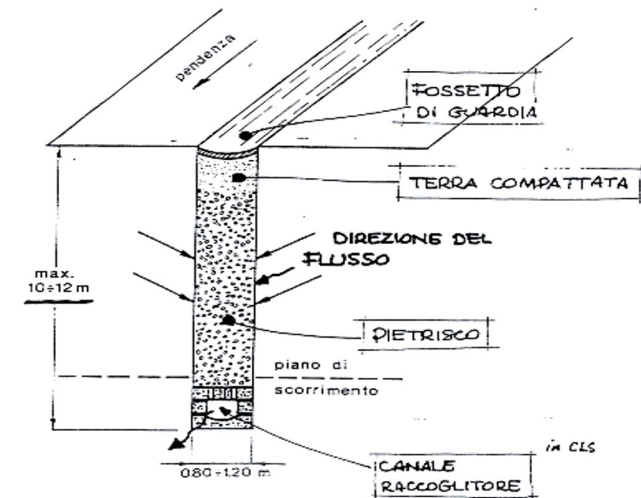
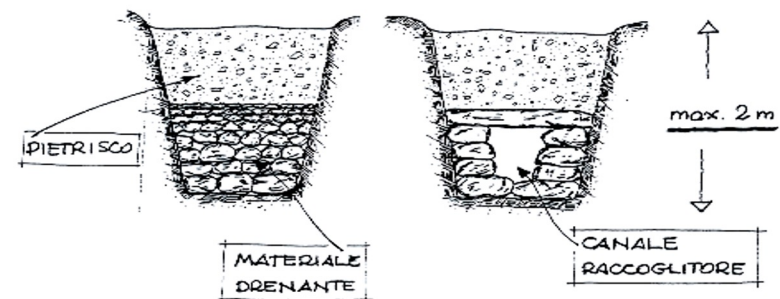
Trincee drenanti: tipologie

Tipologie «tradizionali»



Tube + ghiaia + TNT

a) a cielo aperto (PROFONDITA' LIMITATA)



In pietrame

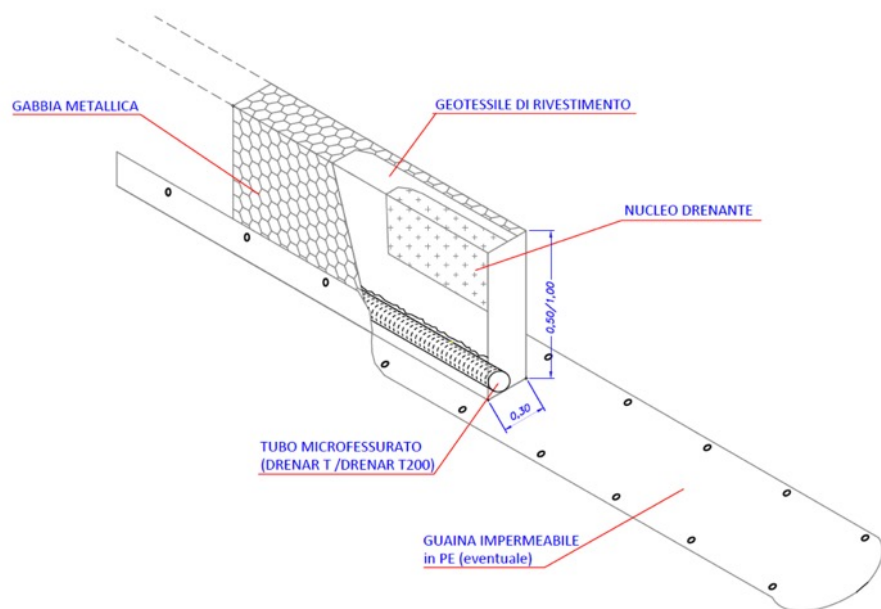




Trincee drenanti: tipologie

Tipologie «innovative»: pannelli drenanti prefabbricati in rete DT 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





Trincee drenanti: tipologie

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

Vantaggi:

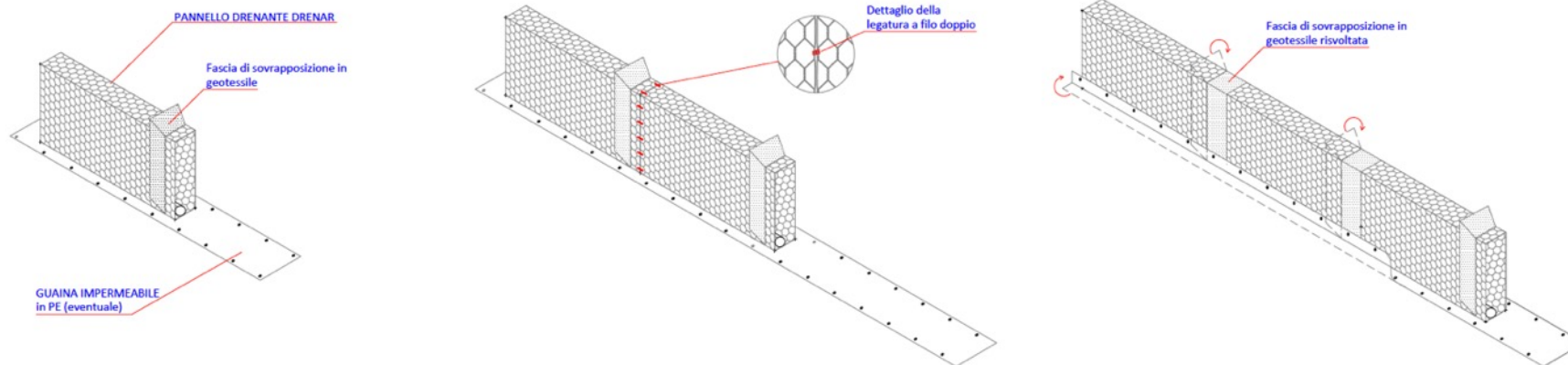
- maggiore **sicurezza** delle maestranze
- grande **facilità** di movimentazione
- migliore gestione del cantiere
- maggiore **velocità** di posa
- minore movimento terra
- possibilità di intervento in zone difficili
- riduzione carichi transitanti sulla viabilità
- riduzione delle **emissioni** di CO₂





Trincee drenanti: tipologie

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



Pannello drenante Drenar/Drenar T Arrigo Gabbioni Italia

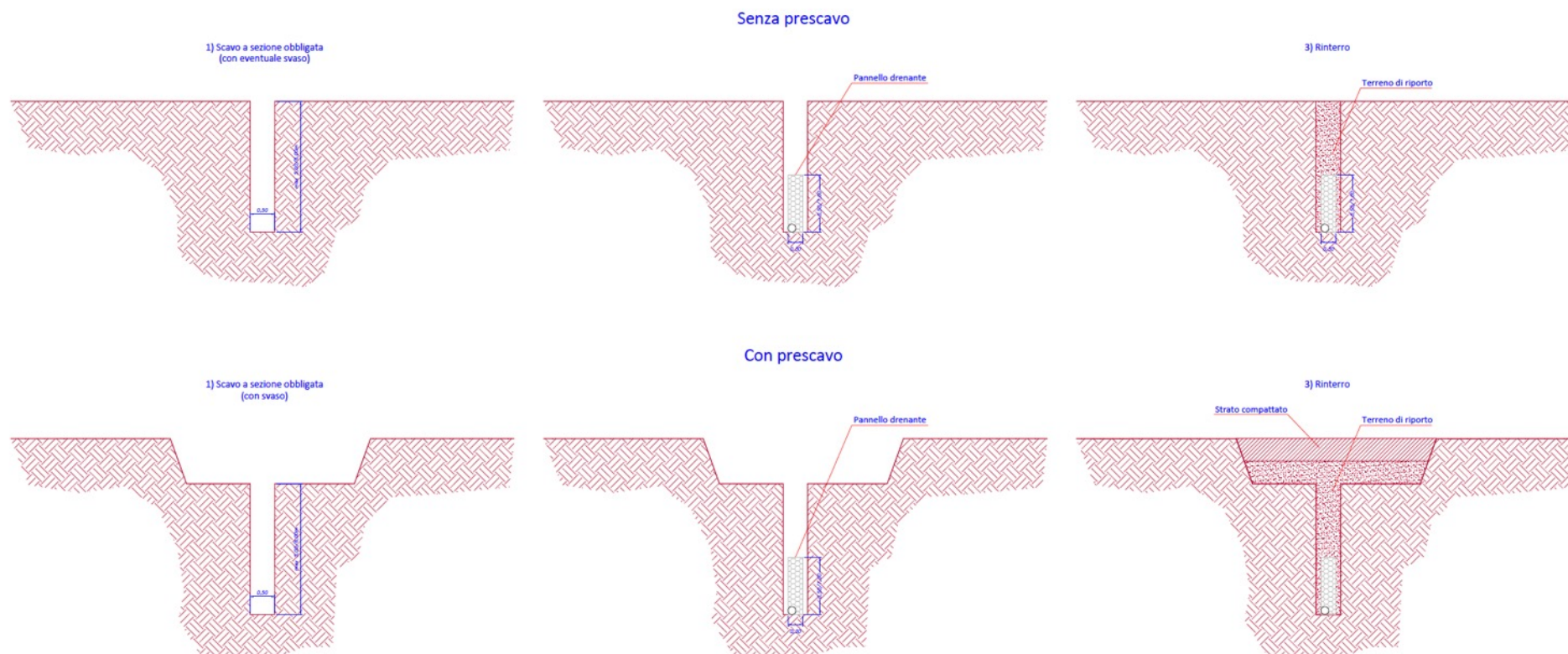




Trincee drenanti: tipologie

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

Fasi di posa



Pannello drenante Drenar/Drenar T Arrigo Gabbioni Italia





Trincee drenanti: tipologie

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

Fasi di installazione



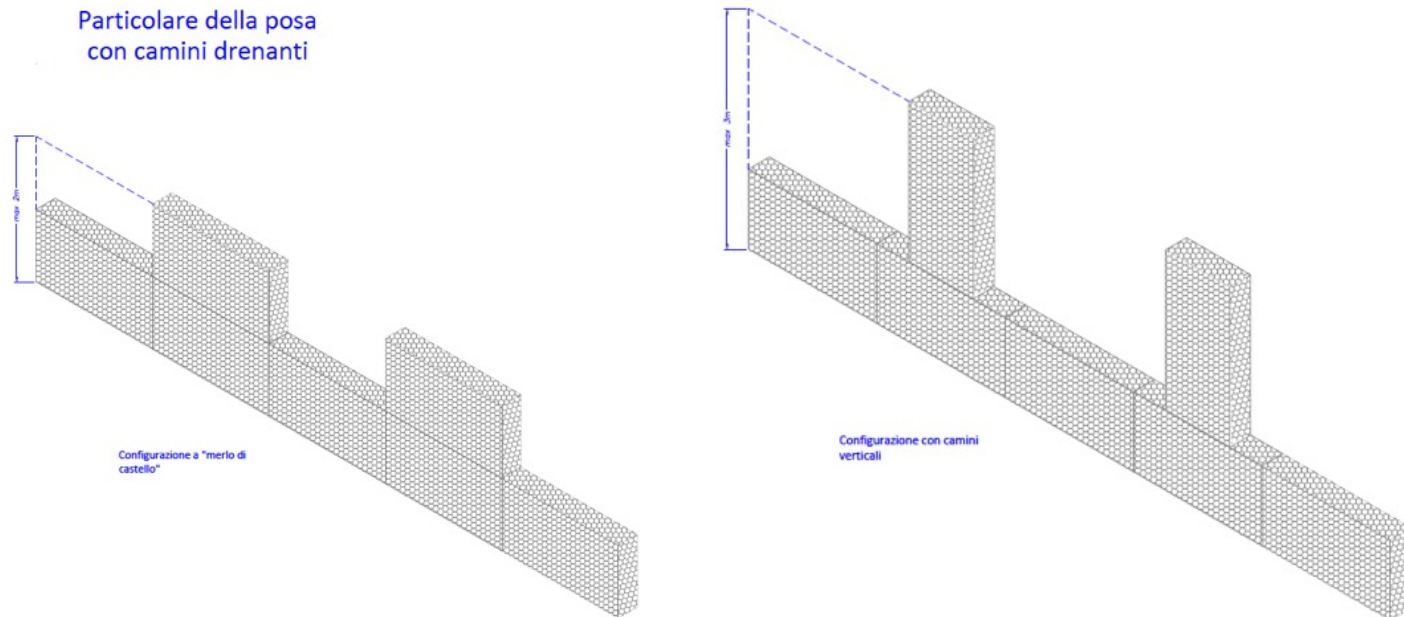
Pannello drenante Drenar/Drenar T Arrigo Gabbioni Italia





Trincee drenanti: tipologie

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



Pannello drenante Drenar/Drenar T Arrigo Gabbioni Italia

Utilizzo e dimensionamento di opere di drenaggio in doppia torsione nella stabilizzazione dei pendii

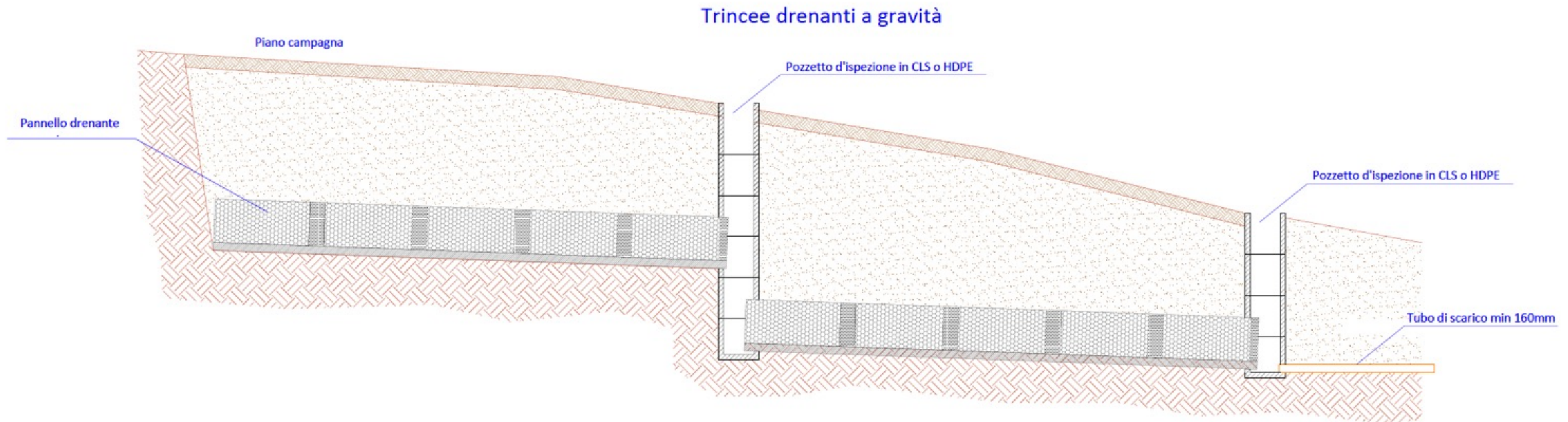
Prof. Ing. M. Ponte





Trincee drenanti: tipologie

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



Pannello drenante Drenar/Drenar T Arrigo Gabbioni Italia

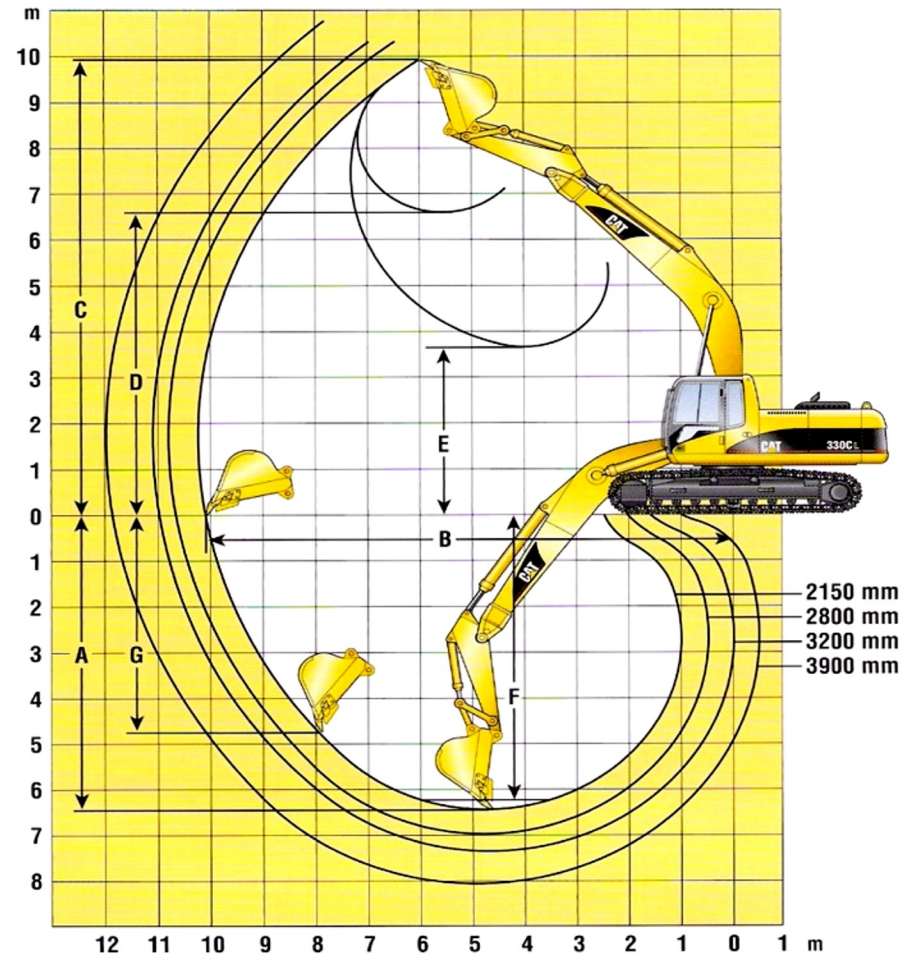




Trincee drenanti: tipologie

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

LIMITI DI IMPIEGO



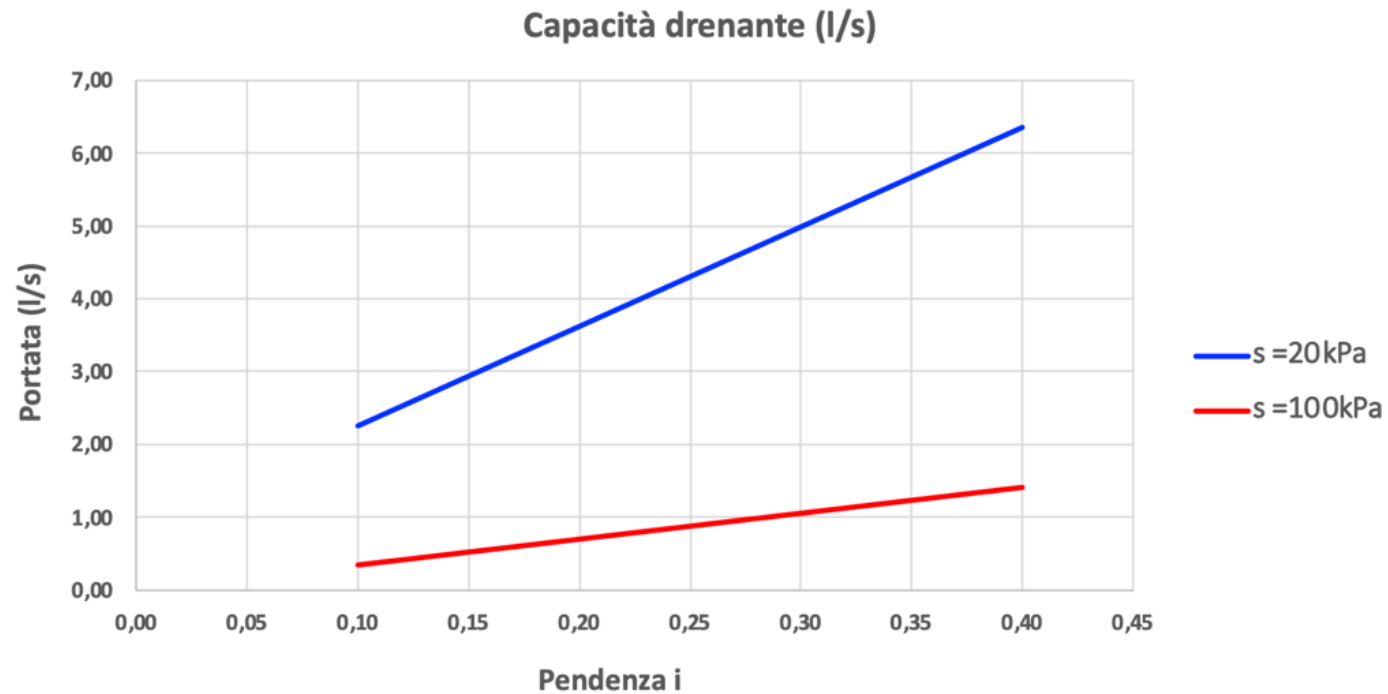


Trincee drenanti: tipologie

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

LIMITI DI IMPIEGO

Sistema deformabile \Rightarrow diminuzione della capacità drenante con la profondità di installazione





Trincee drenanti: criteri di progettazione

Percorso progettuale

Il dimensionamento di un sistema di trincee drenanti da intendersi come intervento di «stabilizzazione» 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

In assenza di tali valutazioni, il sistema potrà intendersi come intervento di «mitigazione», poiché esso produrrà effetti benefici, anche se non quantificabili, sulla stabilità del pendio.

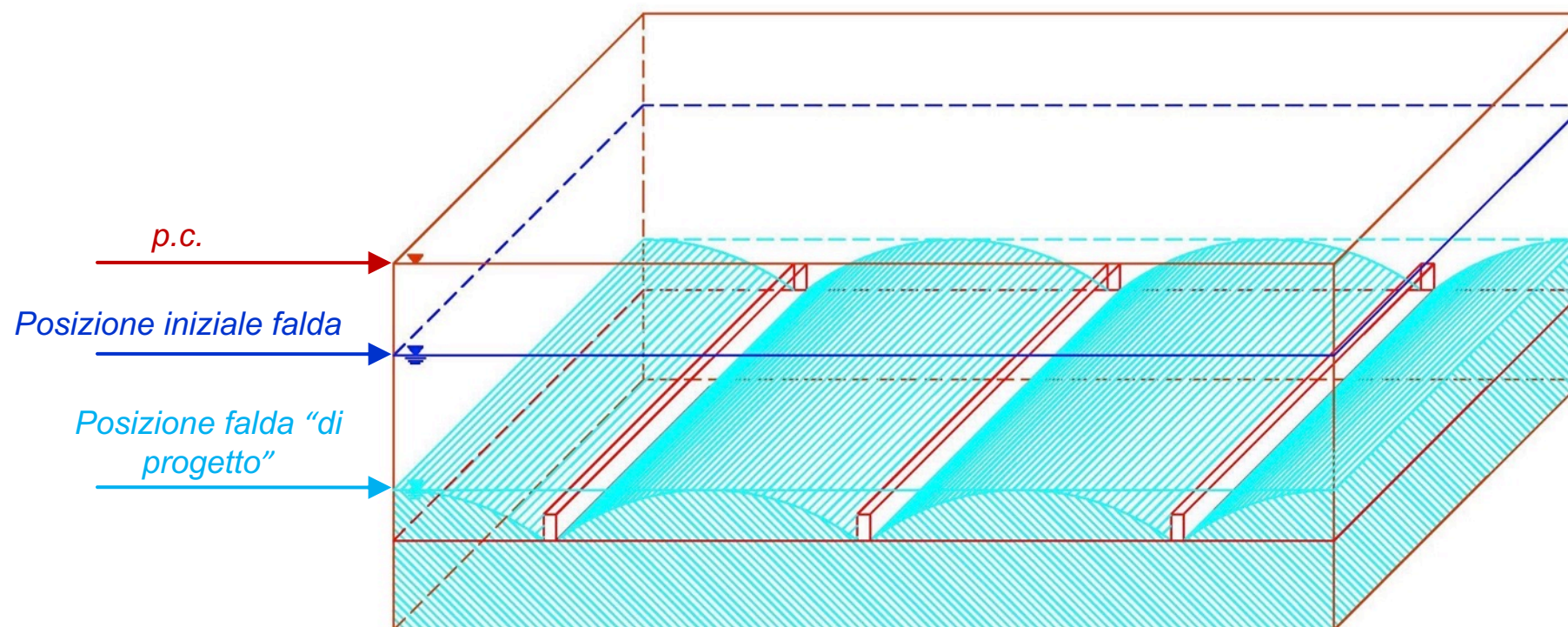




Webbann «TRINCEE DRENANTI»

Trincee drenanti: criteri di progettazione

1) Determinazione della profondità falda “necessaria e sufficiente” per ottenere l’incremento di FS desiderato

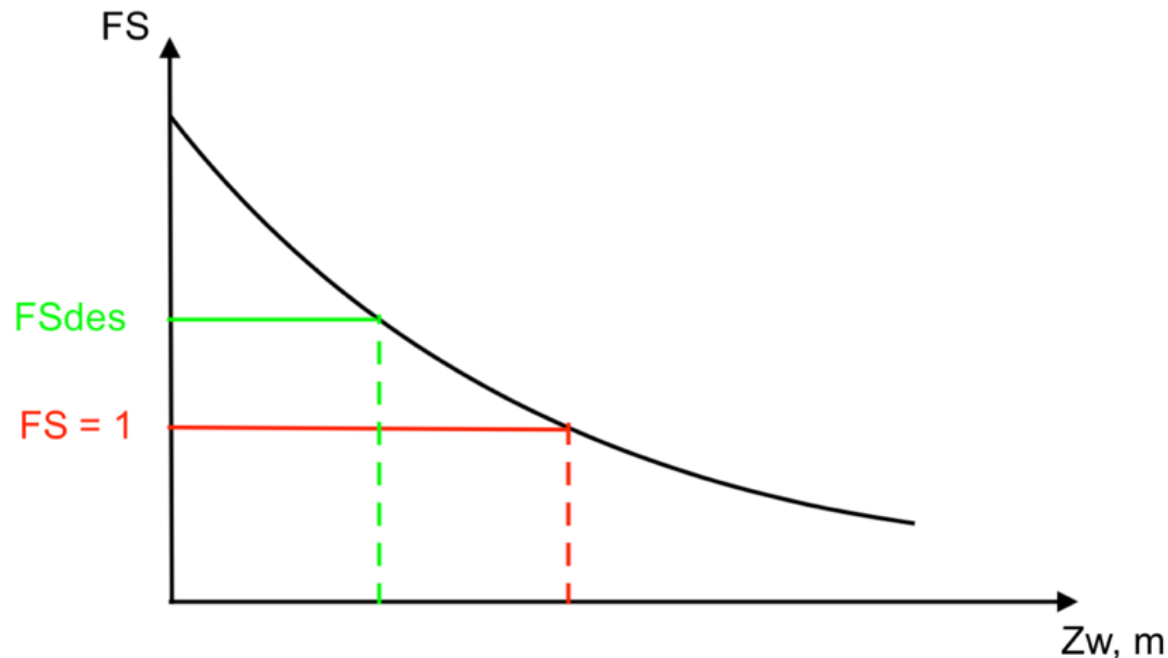




Trincee drenanti: criteri di progettazione

1) Determinazione della profondità falda “necessaria e sufficiente” per ottenere l’incremento di FS 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).



Si definisce EFFICIENZA IDRAULICA MEDIA del sistema di drenaggio il rapporto tra l’incremento del coefficiente di sicurezza raggiunto e quello massimo ottenibile:

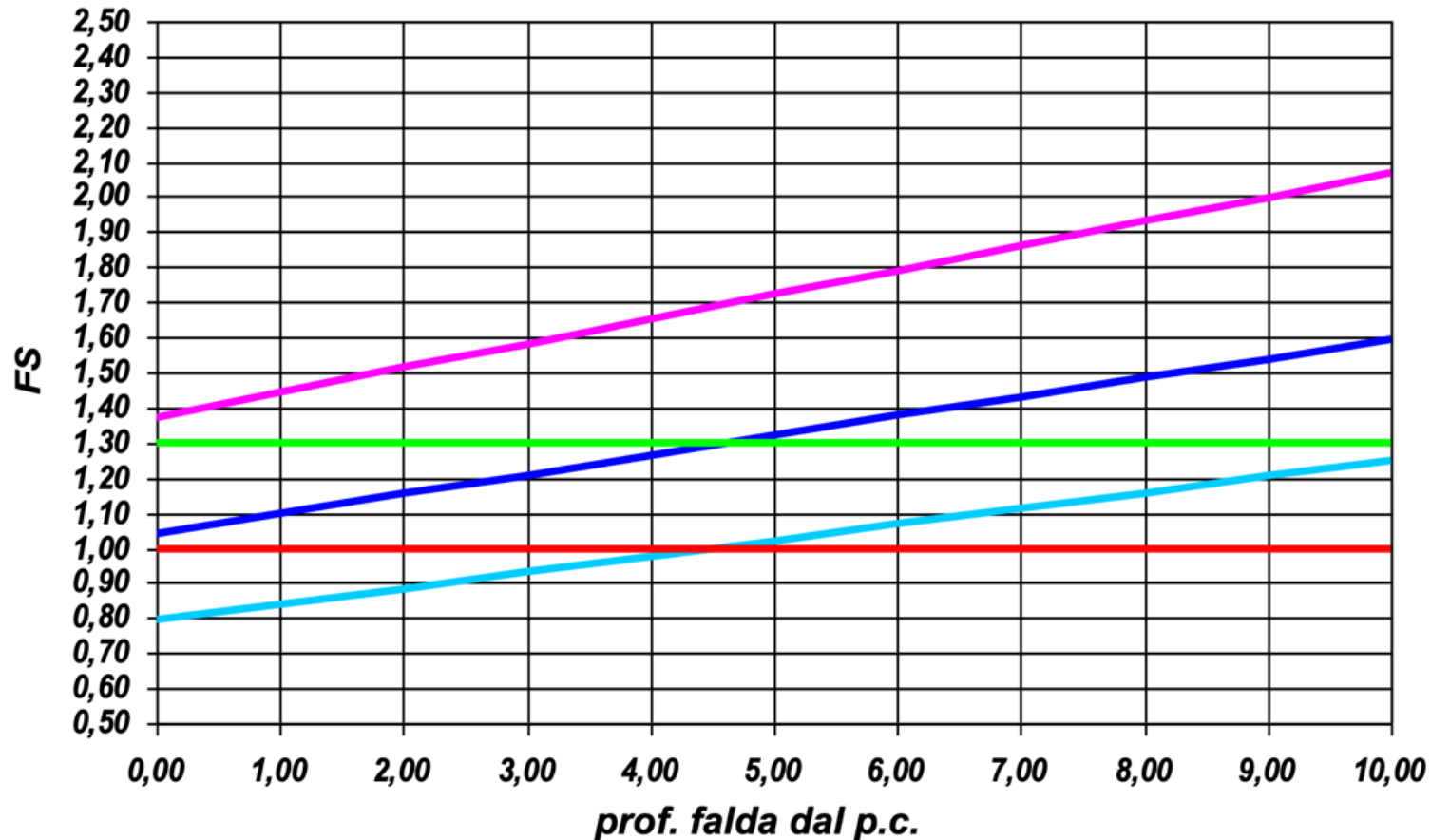
$$E_D = \frac{\Delta FS}{\Delta FS_{max}}$$





Trincee drenanti: criteri di progettazione

1) Determinazione della profondità falda “necessaria e sufficiente” per ottenere l’incremento di FS desiderato



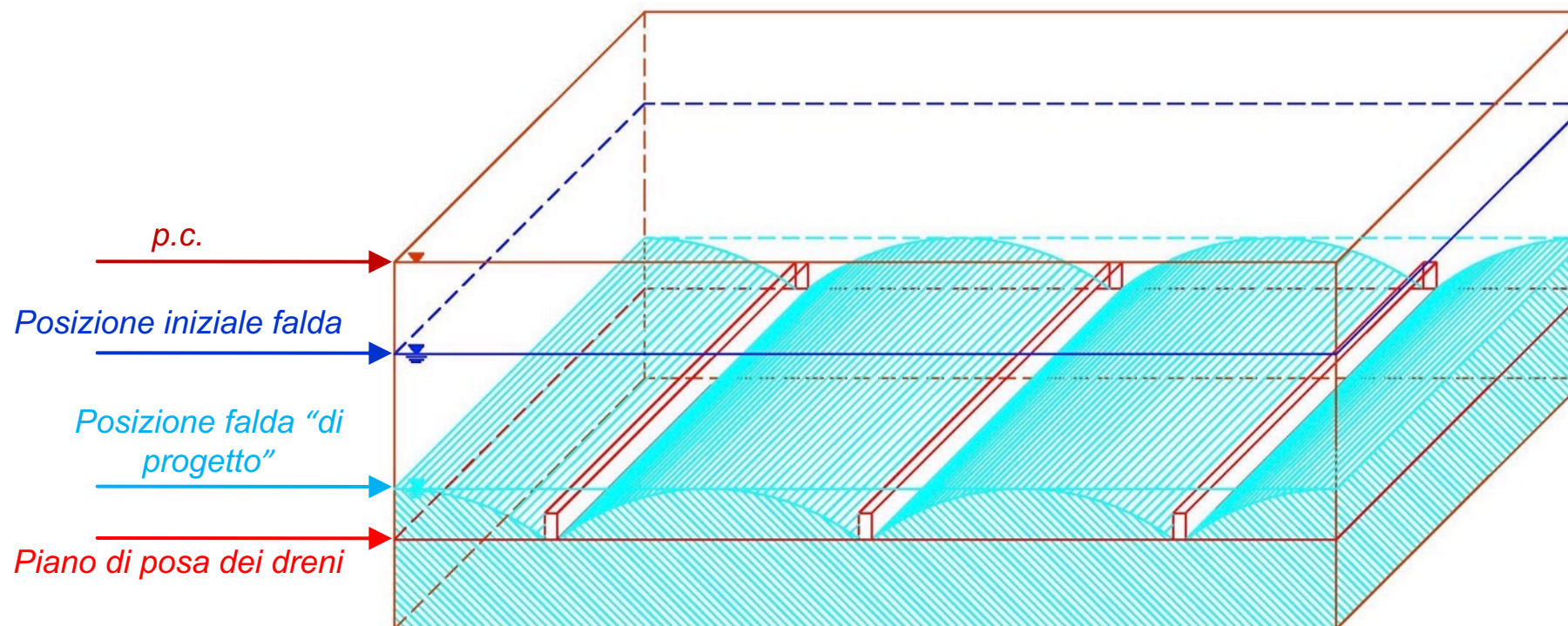
Non sempre il solo drenaggio
conduce a stabilità! ⇒
⇒ interventi integrativi
(riprofilature, opere di sostegno,
ecc.)





Trincee drenanti: criteri di progettazione

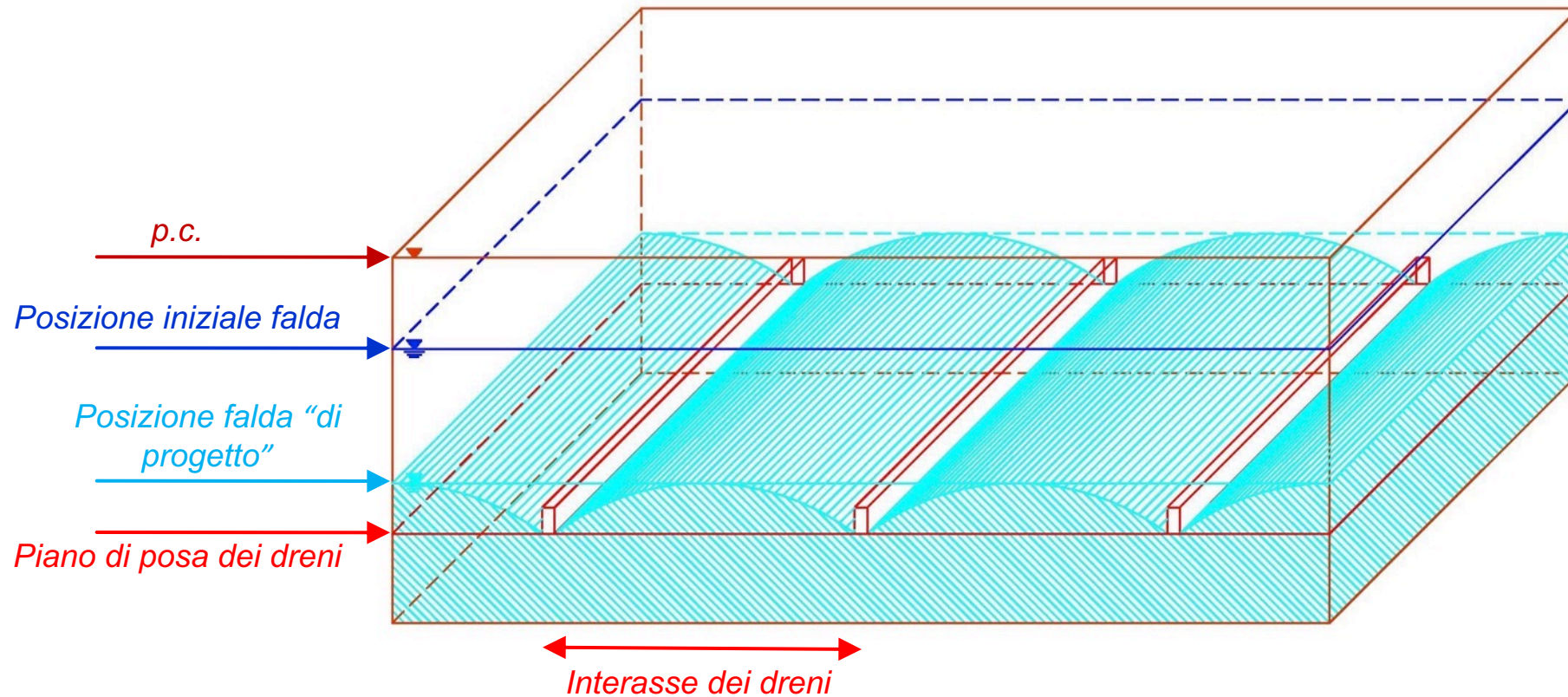
2) Determinazione della profondità di installazione dei dreni





Trincee drenanti: criteri di progettazione

3) Determinazione dell'interasse dei dreni



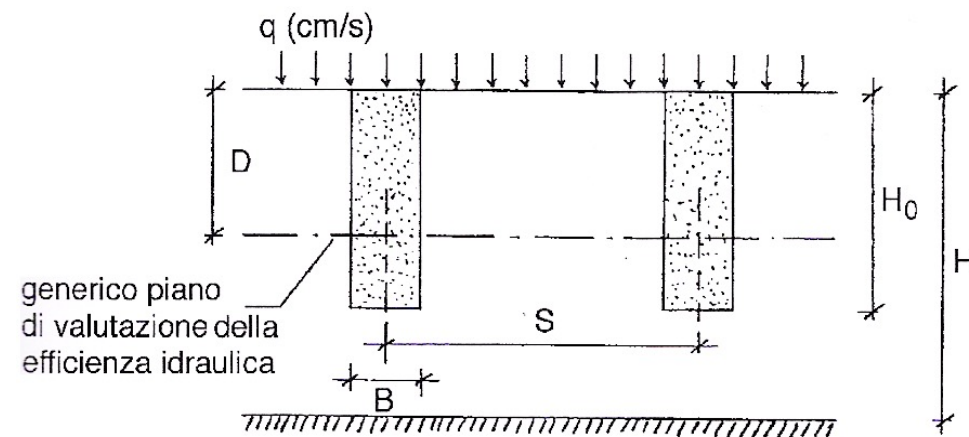
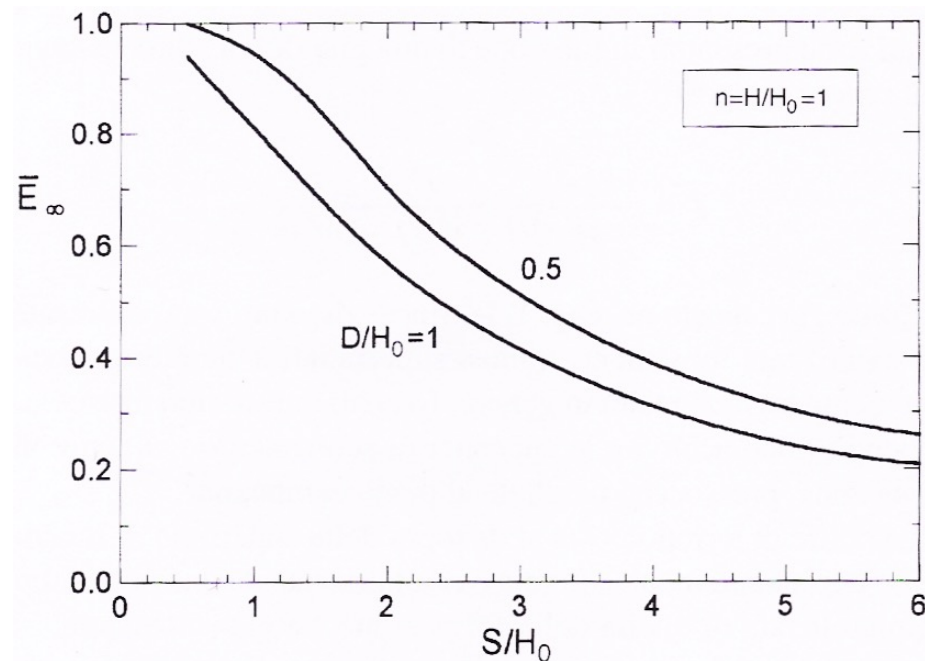


Trincee drenanti: criteri di progettazione

3) Determinazione dell'interasse dei dreni

Metodo semplificato (Hutchinson, 1977)

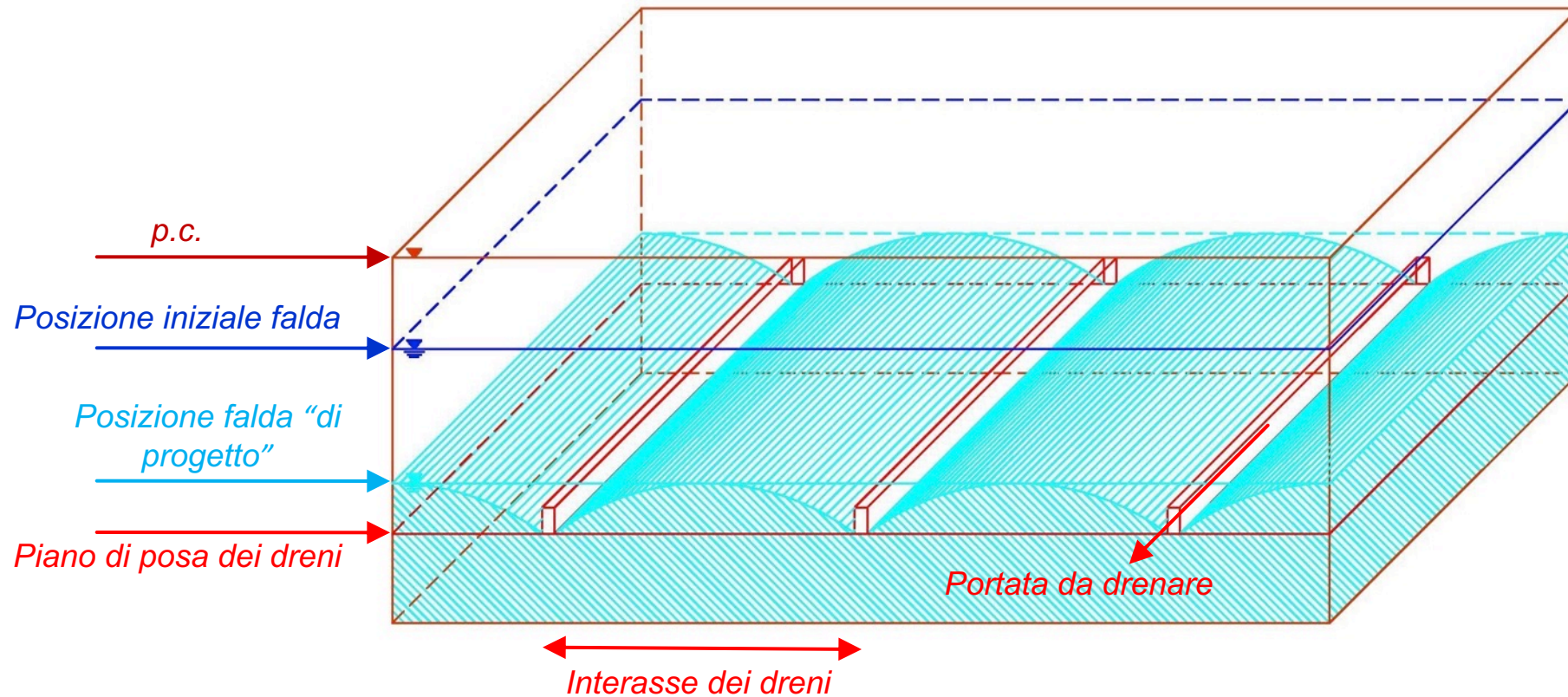
Determinati i valori del rapporto n tra la profondità di installazione dei dreni H_0 e lo spessore H del pendio e del rapporto tra la profondità di progetto della falda D ed H_0 , si entra in un abaco con il valore dell'efficacia idraulica media E





Trincee drenanti: criteri di progettazione

4) Determinazione della portata da drenare

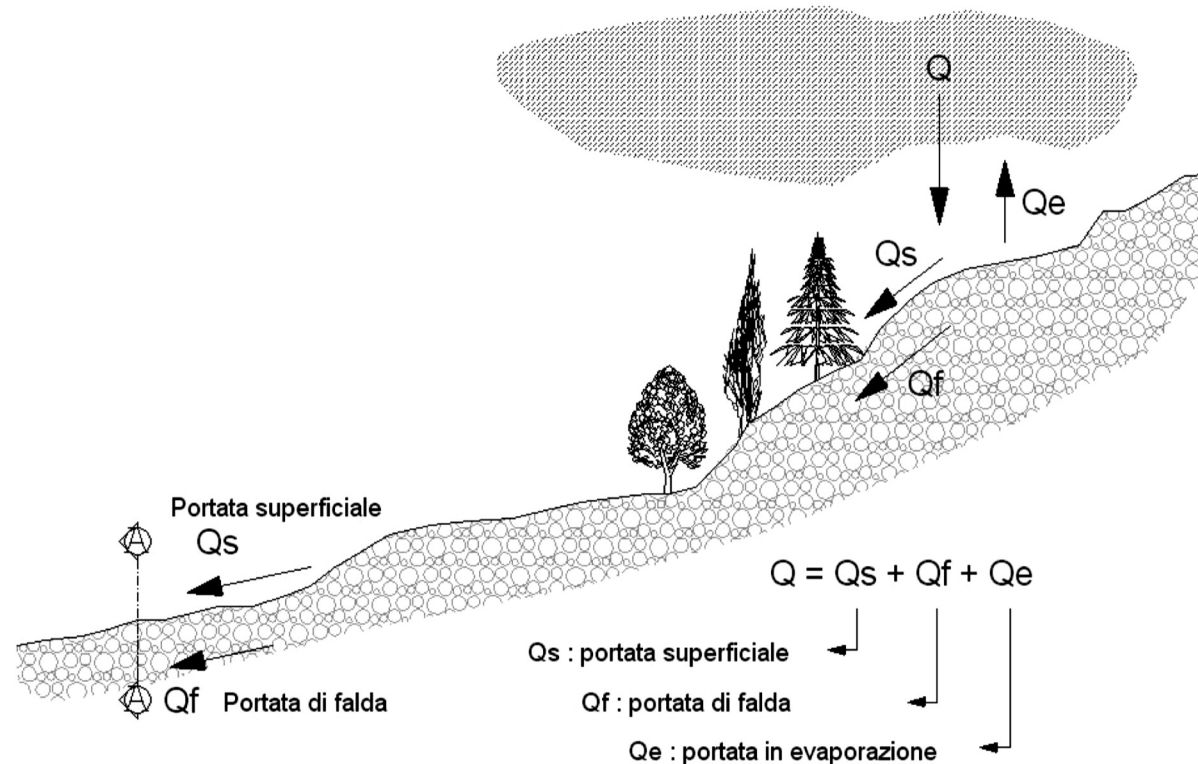




Trincee drenanti: criteri di progettazione

4) Determinazione della portata da drenare

La portata defluente all'interno del dreno può essere determinata a partire dal **bilancio idrologico**, note che siano le aliquote di ruscellamento e infiltrazione, che dipendono dalla **litologia in affioramento** e dall'**uso del suolo**.





Trincee drenanti: criteri di progettazione

4) Determinazione della portata da drenare

La portata defluente all'interno del dreno può essere determinata a partire dal **bilancio idrologico**, note che siano le aliquote di ruscellamento e infiltrazione, che dipendono dalla **litologia in affioramento** e dall'**uso del suolo**.

CLASSE	DESCRIZIONE
A	<i>Scarsa potenzialità di deflusso.</i> Racchiude sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla, anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	<i>Potenzialità di deflusso moderatamente bassa.</i> Racchiude la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	<i>Potenzialità di deflusso moderatamente alta.</i> Racchiude suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se in minor misura rispetto al gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	<i>Potenzialità di deflusso molto alta.</i> Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressochè impermeabili in vicinanza della superficie.

Classi di suolo (Da Mendicino, 1993)

Classifica terreni e utilizzo		A	B	C	D
1	Terreno coltivato - senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
2	Terreno coltivato - con trattamenti di conservazione	62	71	78	81
3	Terreno da pascolo - cattive condizioni	68	79	86	89
4	Terreno da pascolo - buone condizioni	39	61	74	80
5	Praterie - buone condizioni	30	58	71	78
6	Terreno sottile, sottobosco povero senza foglie	45	66	77	83
7	Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
8	Buone condizioni con almeno il 75% di copertura erbosa	39	61	74	80
9	Condizioni normali con il 50% di copertura erbosa	49	69	79	84
10	Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
11	Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
12	Impermeabilità media del 65%	77	85	90	92
13	Impermeabilità media del 38%	61	75	83	87
14	Impermeabilità media del 30%	57	72	81	86
15	Impermeabilità media del 25%	54	70	80	85
16	Impermeabilità media del 20%	51	68	79	84
17	Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
18	Pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	98
19	Inghiaiate o selciate con buche	78	85	89	91
20	In terra battuta	72	82	87	89

Curve Number CN (Da Mendicino, 1993)





Trincee drenanti: criteri di progettazione

4) Determinazione della portata da drenare

Può farsi ricorso a metodi semplificati che valutano la portata entrante all'interno della trincea attraverso le superfici verticali di scavo.

CASO 1

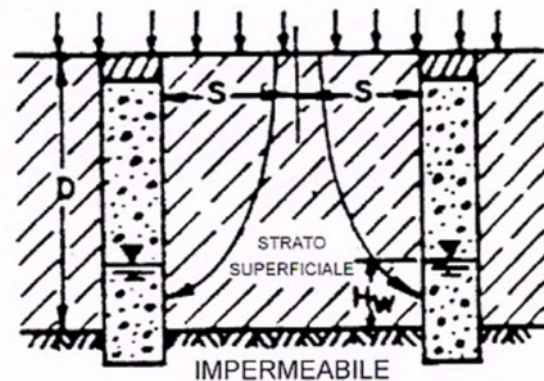
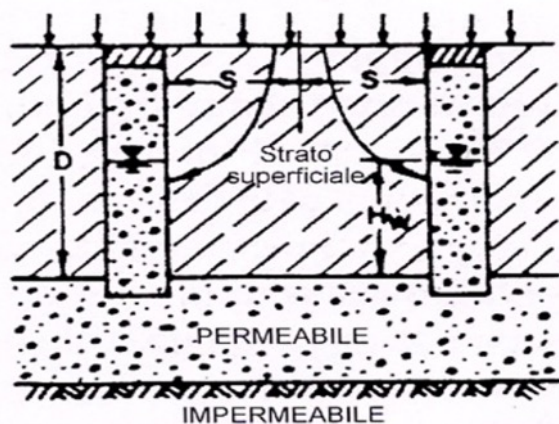
$$Q = K \cdot S \cdot F$$

Q = Massima portata drenata dalla trincea per unità di lunghezza

K = Permeabilità dello strato superficiale

2S = Spaziatura delle trincee

F = Coefficiente di flusso

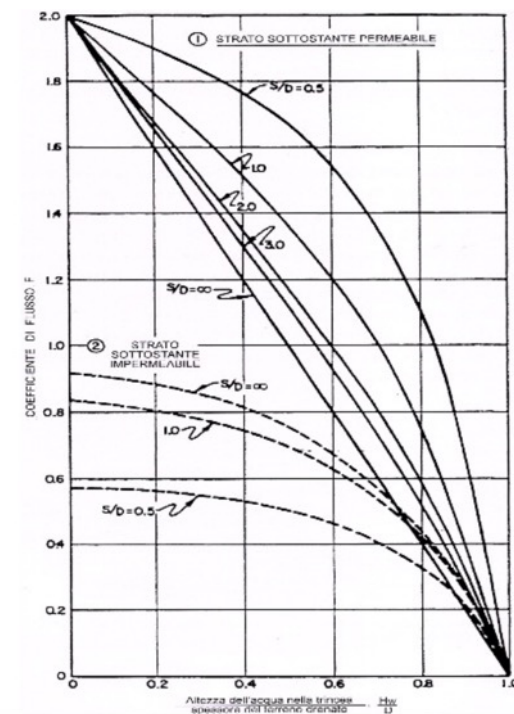


CASO 2

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

Metodo semplificato

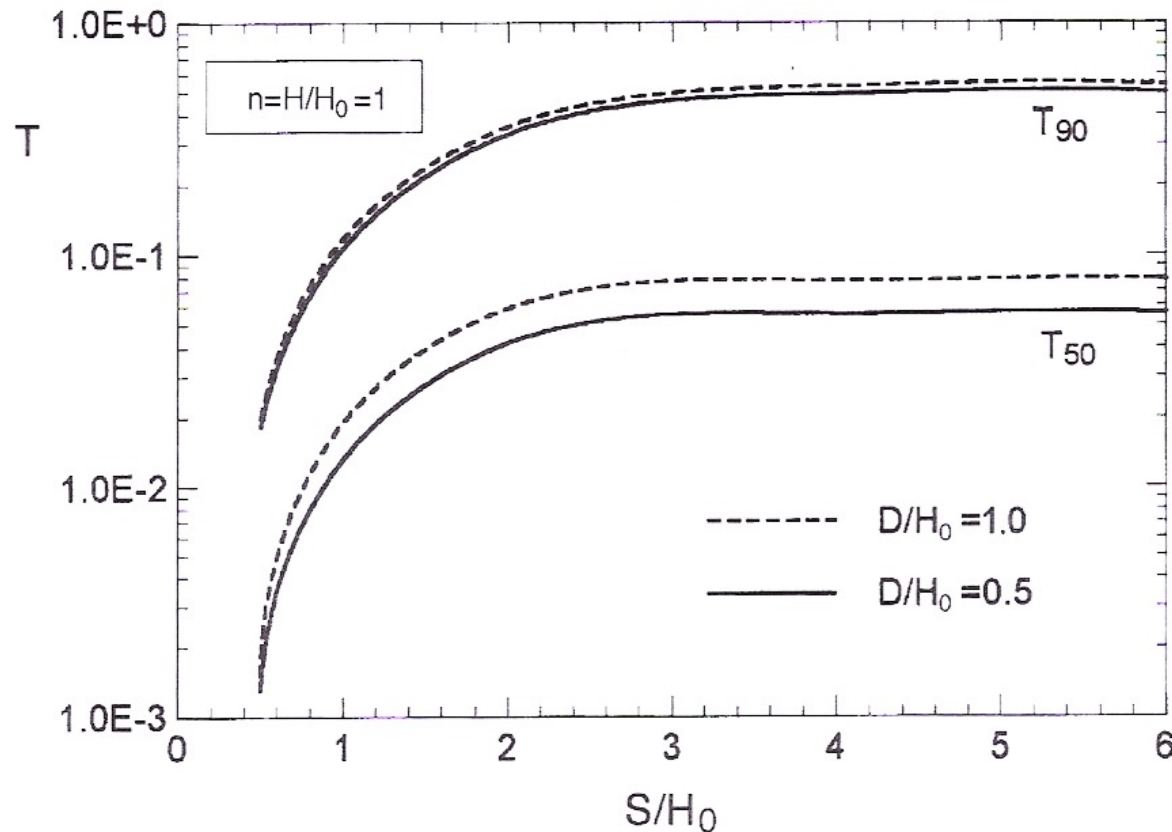
(NAVFAC - Naval Facilities Engineering Command)





Trincee drenanti: criteri di progettazione

5) Stima del transitorio per l'instaurarsi della nuova condizione di equilibrio idrodinamico



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

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

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

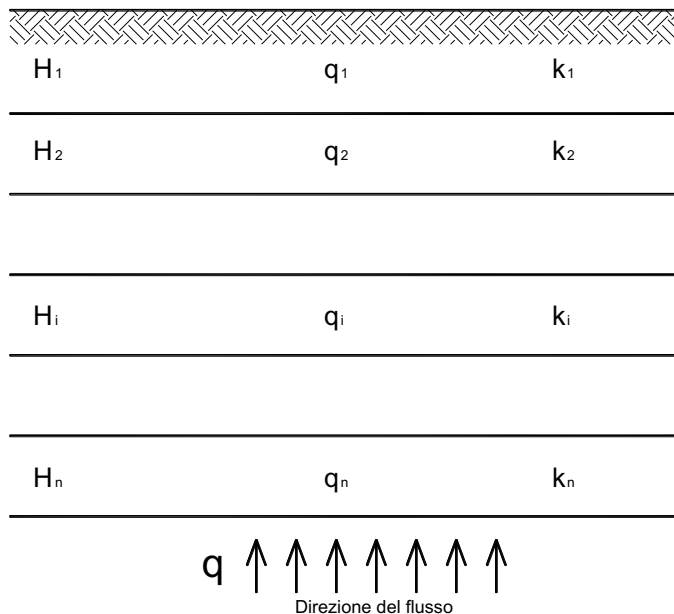




Trincee drenanti: criteri di progettazione

Quanto precedentemente visto vale nel caso di terreno omogeneo ($k=\text{cost}$).
Se i terreni sono stratificati occorrerà riferirsi a dei valori “equivalenti” di permeabilità.

Se il terreno è costituito da n strati, ognuno dei quali caratterizzato da uno spessore H e da un certo valore della permeabilità k , nel caso in cui il flusso della portata “ q ” avvenga perpendicolarmente agli strati (strati in «serie»), è possibile definire la permeabilità equivalente in direzione verticale:



$$K_{eqv} = \Sigma H_i / \Sigma (H_i / K_i)$$

In questo caso la permeabilità equivalente ha lo stesso ordine di grandezza della più bassa permeabilità.

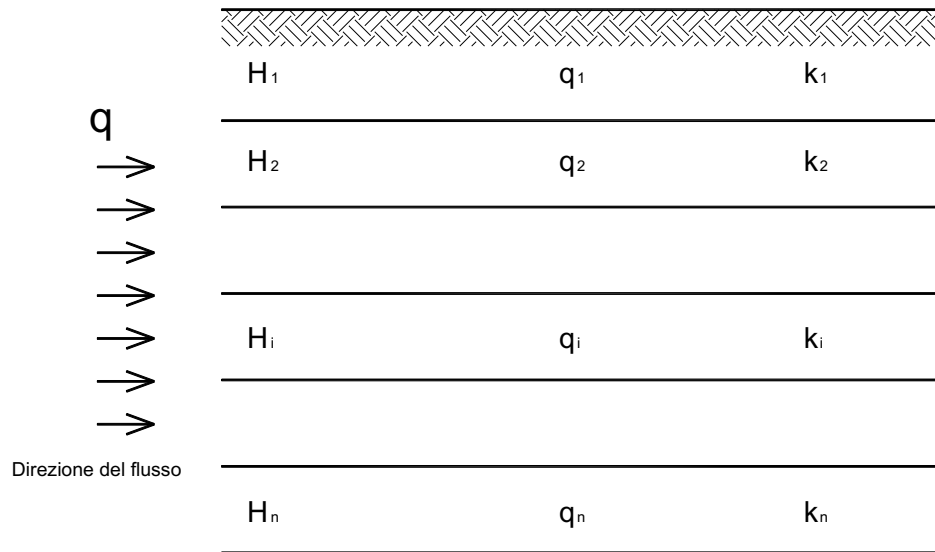




Trincee drenanti: criteri di progettazione

Quanto precedentemente visto vale nel caso di terreno omogeneo ($k=\text{cost}$).
Se i terreni sono stratificati occorrerà riferirsi a dei valori “equivalenti” di permeabilità.

Se, invece, il flusso della portata “ q ” avviene parallelamente agli strati (strati in «parallelo»), è possibile definire la permeabilità equivalente in direzione orizzontale:



$$K_{eqH} = \Sigma (H_i K_i) / \Sigma H_i$$

In questo caso la permeabilità equivalente ha lo stesso ordine di grandezza della più alta permeabilità.





Trincee drenanti: criteri di progettazione

5) Stima del transitorio per l'instaurarsi della nuova condizione di equilibrio idrodinamico



È indispensabile conoscere il valore della permeabilità del terreno all'interno del quale vengono inseriti i dreni

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**.



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





Trincee drenanti: software di calcolo

Il software **SDS** (Soil Drainage System)



SDS implementa il seguente percorso progettuale:

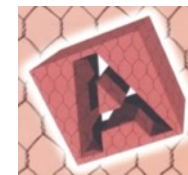
- 1) Valutazione della portata di infiltrazione verso la trincea;
- 2) Valutazione della capacità drenante del pannello Drenar in relazione alla profondità di installazione;
- 3) Valutazione della profondità della falda post-intervento e dell'incremento di FS (in caso di più linee drenanti).



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