



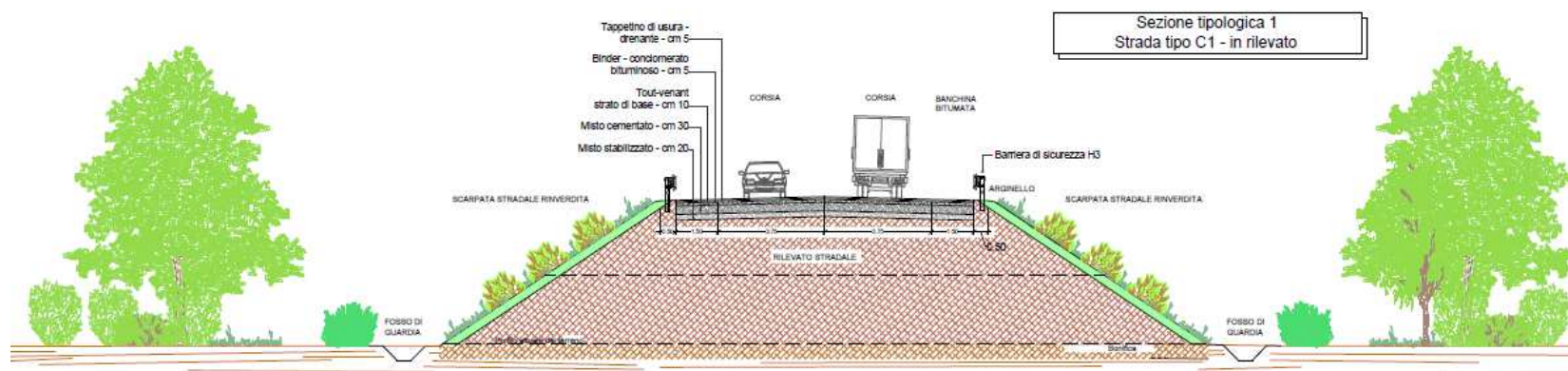
COSTRUZIONE DI STRADE

Costruzione di rilevati e trincee



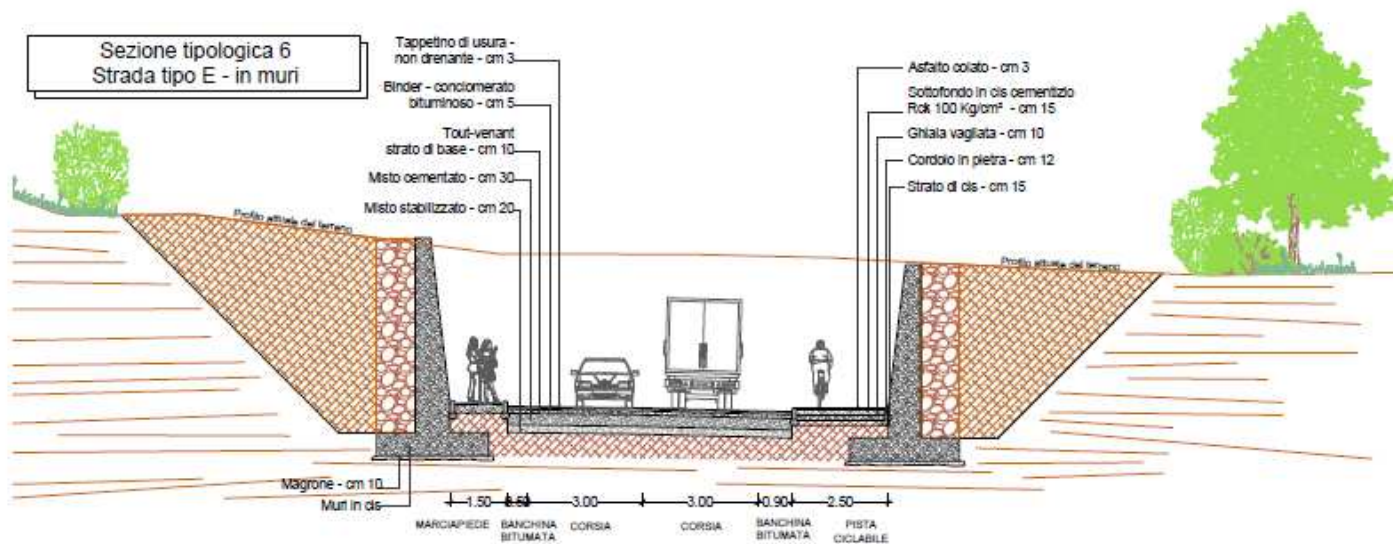
Rilevati

Se la linea del terreno si trova al di sotto della linea di progetto di un tracciato stradale, è necessario ricorrere alla costruzione di un **rilevato**.



Trincee

Se la linea del terreno si trova al di sopra della linea di progetto di un tracciato stradale, è necessario ricorrere alla costruzione di una **trincea**.



Rilevati

La costruzione di un rilevato deve essere eseguita in modo da garantire:

- indeformabilità sotto carico;
- stabilità volumetrica sotto l'azione dell'acqua;
- stabilità delle scarpate.

La stabilità è richiesta per evitare di danneggiare la sovrastruttura stradale e per rendere il moto sicuro e confortevole. A tale scopo si agisce sia sul materiale, sia sull'addensamento.

NATURA DEL MATERIALE



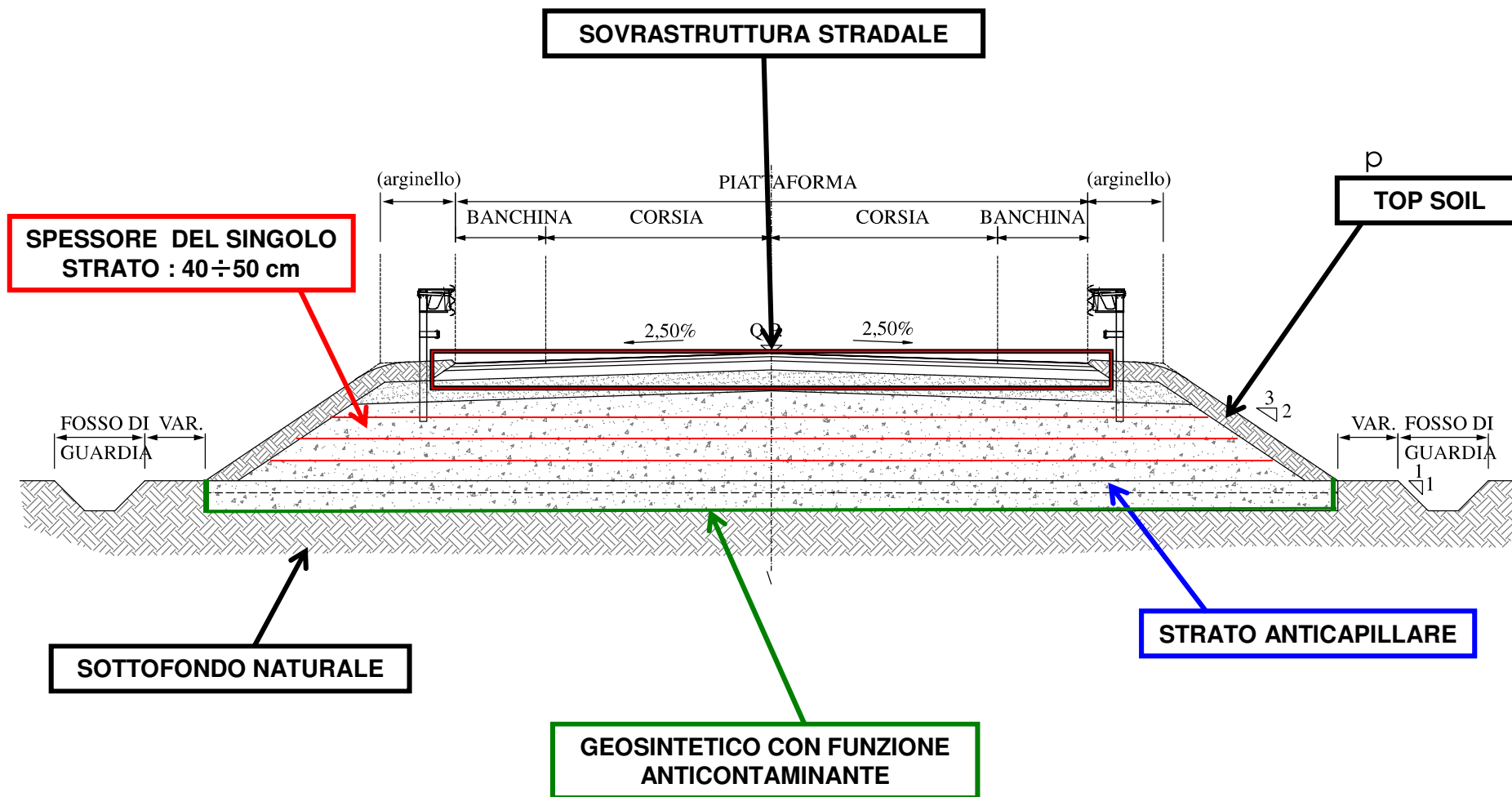
- granulometria assortita;
- plasticità nulla;
- elevata resistenza a taglio.

ADDENSAMENTO



- energia di compattazione;
- idoneo mezzo compattante.

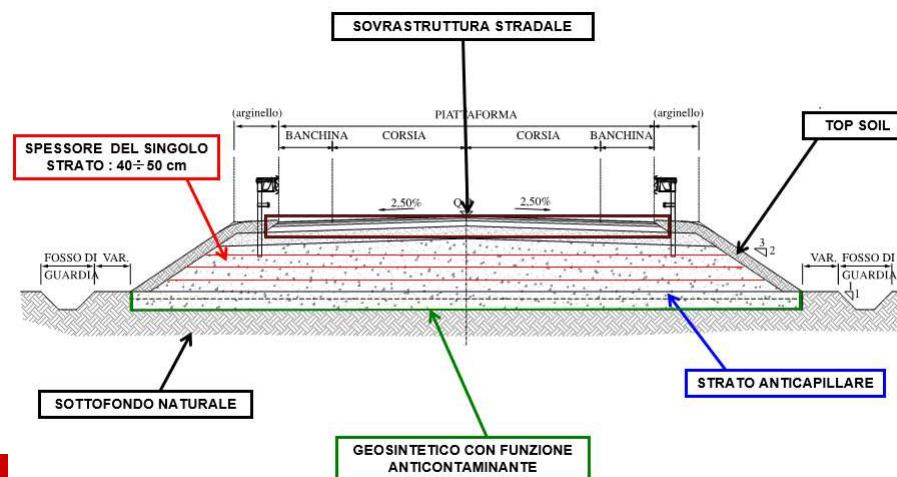
Rilevati: fasi costruttive



Rilevati: fasi costruttive

Si procede per fasi successive:

1. Scotico (20-50 cm) sino a raggiungere il piano di posa.
2. Stabilizzazione **meccanica** del piano di posa del rilevato per mezzo di rulli vibranti se il materiale è idoneo, oppure si realizza una **bonifica** (profondità massima di 1÷2 metri). Qualora la **portanza** del terreno sia troppo bassa, si può eseguire un **consolidamento profondo** (per profondità maggiori di 2÷3 metri) per mezzo di:
 - precarico + eventuali drenaggi profondi per accelerare il processo di consolidazione;
 - altri consolidamenti quali il jet grouting.

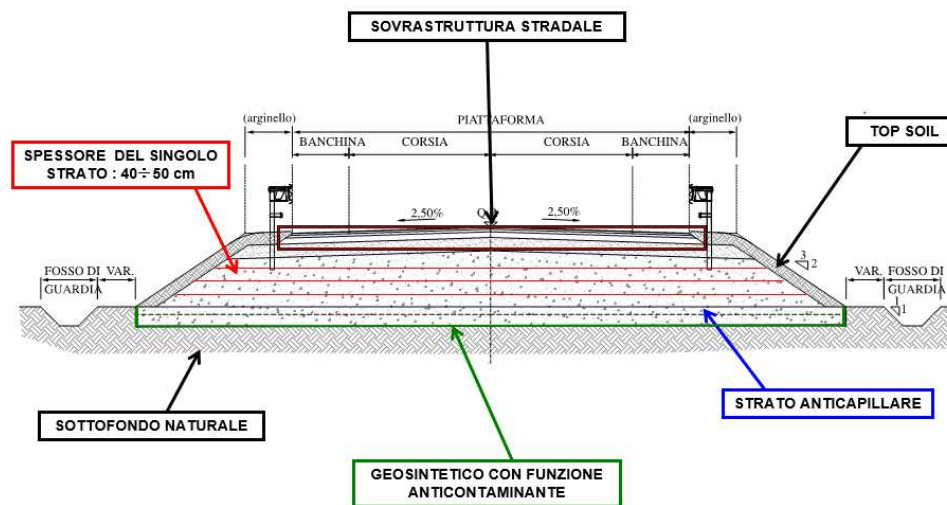


Rilevati: fasi costruttive

Si procede per fasi successive:

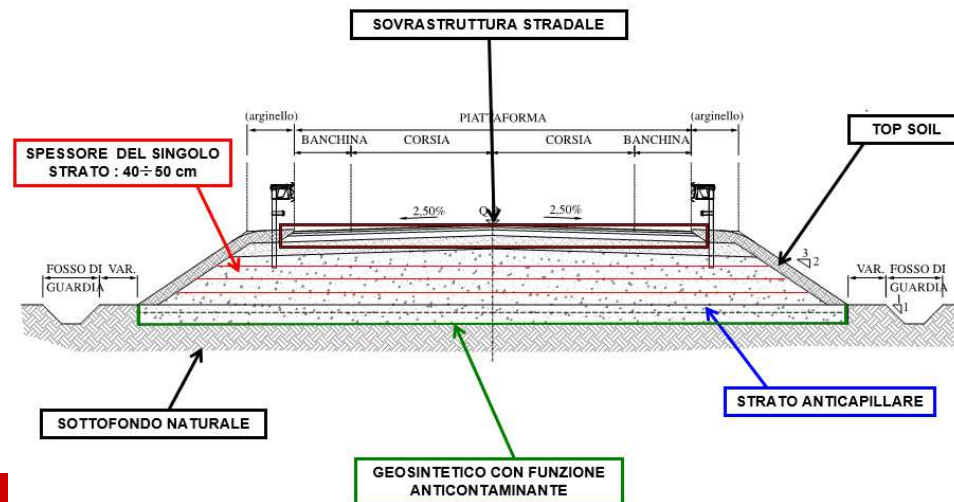
3. Stesa di un **geotessile** con funzione anticontaminante ed **eventuale** posa di uno **strato anticapillare** (sabbia grossa - ghiaia) per impedire la risalita delle acque di falda.

4. Costruzione del **corpo del rilevato** (pendenza 2/3) per strati successivi dello spessore di circa 40 ÷ 50 cm. Ogni strato è compattato per raggiungere una densità prefissata (almeno il 90% della densità max., misurata con la prova **Proctor** o AASHO modificata).



Rilevati: fasi costruttive

5. Gli ultimi 30 cm, sulla sommità del rilevato sui quali si costruirà la sovrastruttura stradale, si compattano fino al raggiungimento di un valore della densità pari al 95% di γ_s (AASHO modificata). La compattazione avviene per mezzo di rulli dinamici (vibranti) e rulli statici.
6. Rivestimento delle scarpate con **top soil**, costituito da terra fine e con contenuto organico, generalmente prelevata nella fase di scotico, che protegge il corpo del rilevato dalle acque meteoriche e dal dilavamento superficiale. Si provvede, poi, all'inerbimento dello strato di top soil mediante semina.



Rilevati: controlli sui materiali

Dopo lo scotico, se il terreno sottostante appartiene ai gruppi A1, A2, A3 (classifica C.N.R. - U.N.I. 10006/2002) la preparazione dei piani di posa consiste nella **compattazione** dello strato sottostante per uno spessore non inferiore a 30 cm. La compattazione ha lo scopo di far raggiungere al terreno una **densità secca** pari ad almeno il 95% della densità massima AASHO modificata.

Se il terreno sottostante, invece, appartiene ai gruppi A4, A5, A6, A7 della classifica C.N.R. - U.N.I. 10006/2002, è possibile continuare lo scavo e sostituire tali materiali con terreni appartenenti ai gruppi A1 e A3, per il raggiungimento di maggiori prestazioni meccaniche. Anche in questo caso, il nuovo strato deve essere compattato al grado di umidità ottima, fino a raggiungere una densità secca non inferiore al 95% della densità massima AASHO modificata.

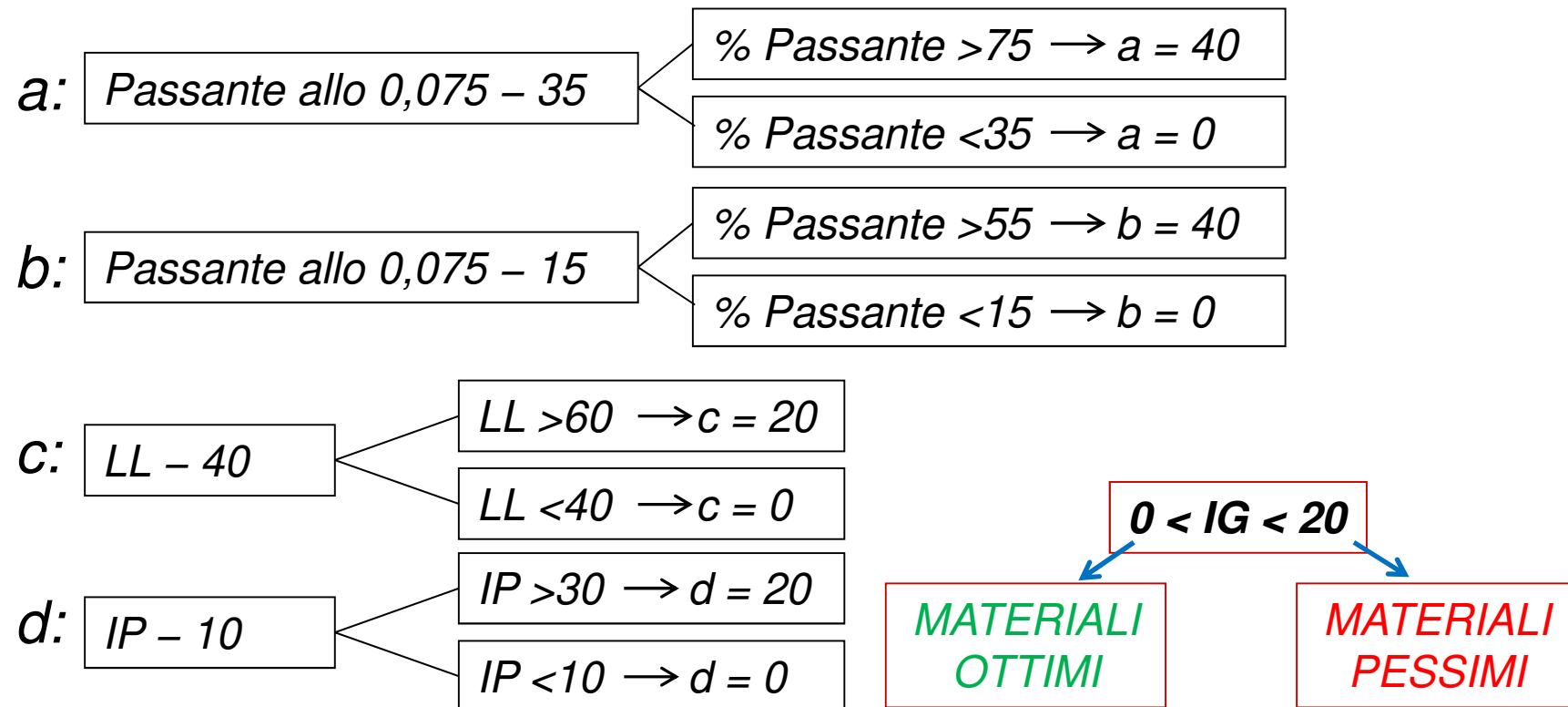
Rilevati: controlli sui materiali

Classificazione generale	Terre ghiaio-sabbiose Frazione passante allo staccio 0.063 mm ≤ 35%							Terre limo-argillose Frazione passante allo staccio 0.063 mm > 35%					Torbe e terre organiche palustri
	A1		A3	A2		A4	A5	A6	A7		A8		
Gruppo	A1-a	A1-b	A3	A2-4	A2-5	A2-6	A2-7	A4	A5	A6	A7-5	A7-6	A8
Frazione passante allo staccio													
2 mm	≤ 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.4 mm	≤ 30	≤ 50	> 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.063 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0.4 mm													
LL (Limite liquido)	-	-	-	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40	> 40
IP (Indice di plasticità)	≤ 6	≤ 6	N.P.	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	IP ≤ LL-30	IP > LL-30	
Indice di gruppo	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fina	Ghiaia o sabbia limosa o argillosa				Limi poco compressibili	Limi molto compressibili	Argille poco compressibili	Argille molto compressibili e mediamente plastiche	Argille molto compressibili e molto plastiche	Torbe di recente o remota formazione, detriti organici
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	da eccellente a buono						Da mediocre a scadente					Da scartare	
Azione del gelo sulle qualità portanti	Nessuna o lieve			Media				Molto elevata	Media	Elevata	Media		
Ritiro e rigonfiamento	Nulla			Nulla o lieve				Lieve o medio	Elevato	Elevato	Molto elevato		
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa				Scarsa o nulla					

Rilevati: controlli sui materiali

Definisce di massima la possibilità di utilizzo di una terra per uso stradale

$$IG = 0,2 \cdot a + 0,005 \cdot a \cdot c + 0,01 \cdot b \cdot d$$

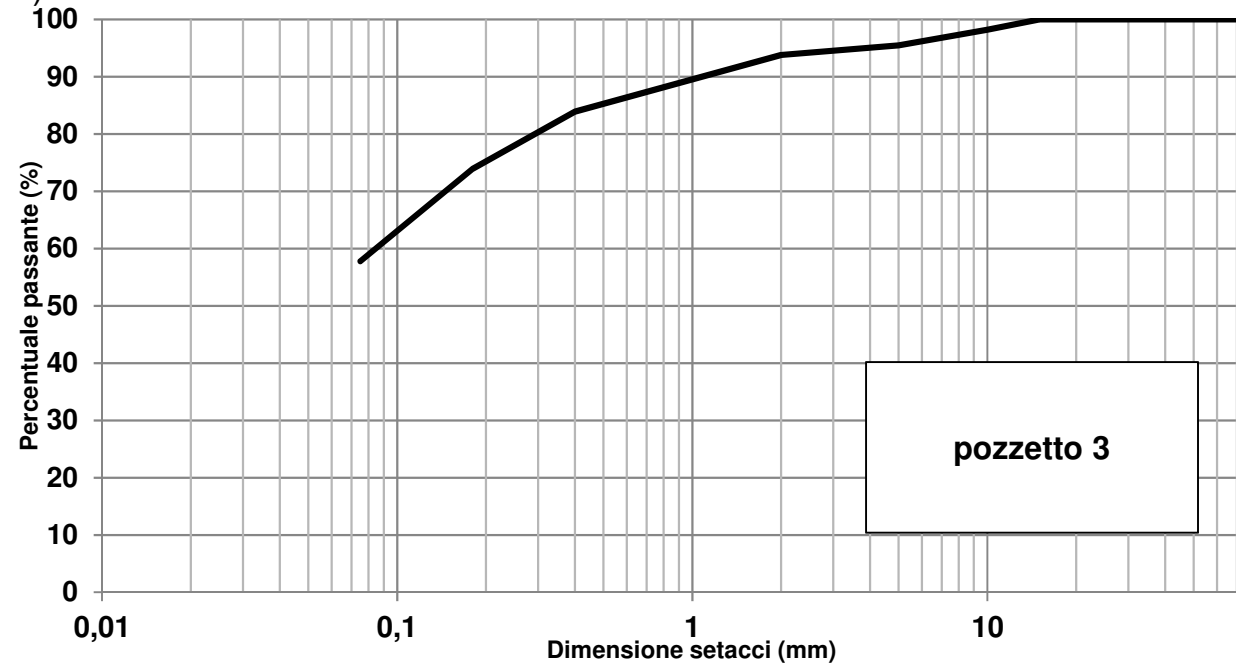


Rilevati: controlli sui materiali

Calcolo dell'indice di gruppo: esempio

Analisi granulometrica (CNR BU 23)

Pozzetto 3		
setacci UNI mm	trattenuto %	passante %
71	0,00	100,00
40	0,00	100,00
30	0,00	100,00
25	0,00	100,00
15	0,00	100,00
10	1,77	98,23
5	2,75	95,48
2	1,69	93,79
0,4	9,90	83,89
0,18	10,01	73,88
0,075	16,10	57,78
< 0,075	57,78	



Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12):

- LL (%): 34,64
- LP: 20,74
- IP: 13,91

$$IG = 0,2 \cdot a + 0,005 \cdot a \cdot c + 0,01 \cdot b \cdot d$$

a	b	c	d
22,78	40	0	3,91

Classifica delle terre (UNI EN ISO 14688):

Indice di Gruppo: 6,12

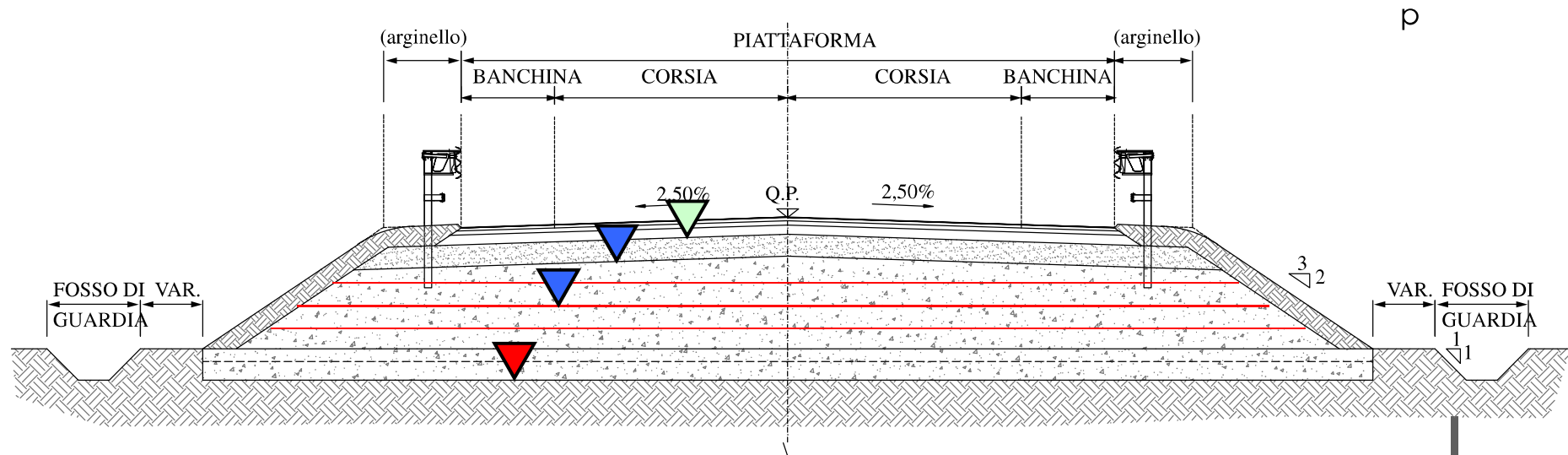
Classificazione: A6

Rilevati: controlli sui materiali

PORTANZA: PROVA DI CARICO CON PIASTRA

VALORI MINIMI DI M_d

- su piano di posa ($\Delta p = 0.05 - 0.15$ MPa): ▼ $M_{d,min} \geq 15$ MPa
- su rilevato ($\Delta p = 0.05 - 0.15$ MPa): ▼ $M_{d,min} \geq 30 - 50$ MPa
- su fondazione ($\Delta p = 0.15 - 0.25$ MPa): ▼ $M_{d,min} \geq 80$ MPa



Rilevati: controlli sui materiali

PROVA DI CARICO CON PIASTRA

Misura di M_d *Modulo di deformazione (B.U. CNR 146/92)*

Si carica la piastra imprimendo delle pressioni (Δp) predefinite e si misurano i cedimenti (Δw) con comparatori centesimali.

$$M_d = D \frac{\Delta p}{\Delta w}$$

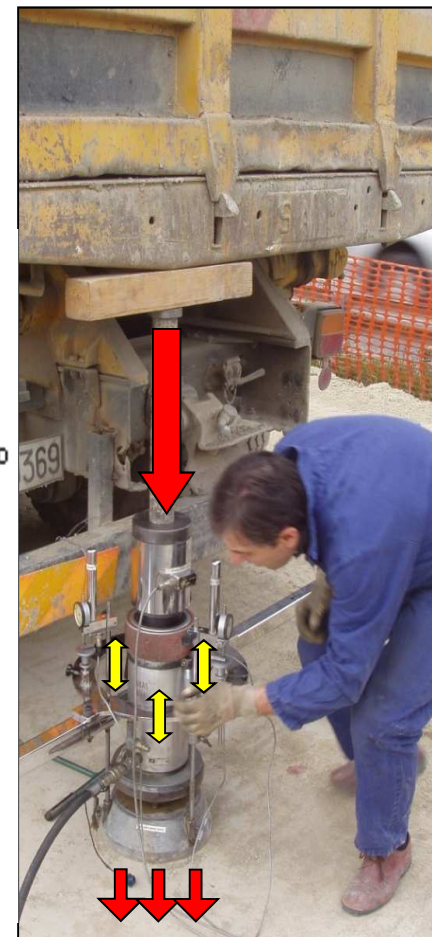
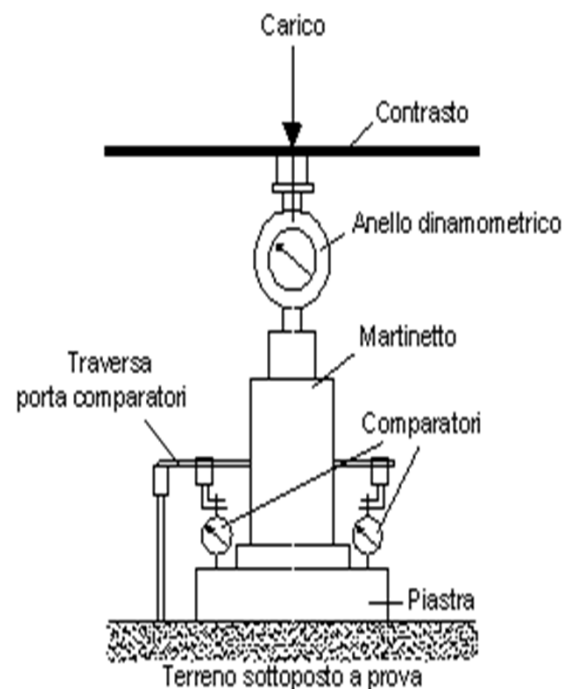
Con:

D = diametro della piastra;

Δp = incremento di pressione = 0.1 MPa;

Δw = incremento di cedimento corrispondente (valore medio delle letture dei comparatori).

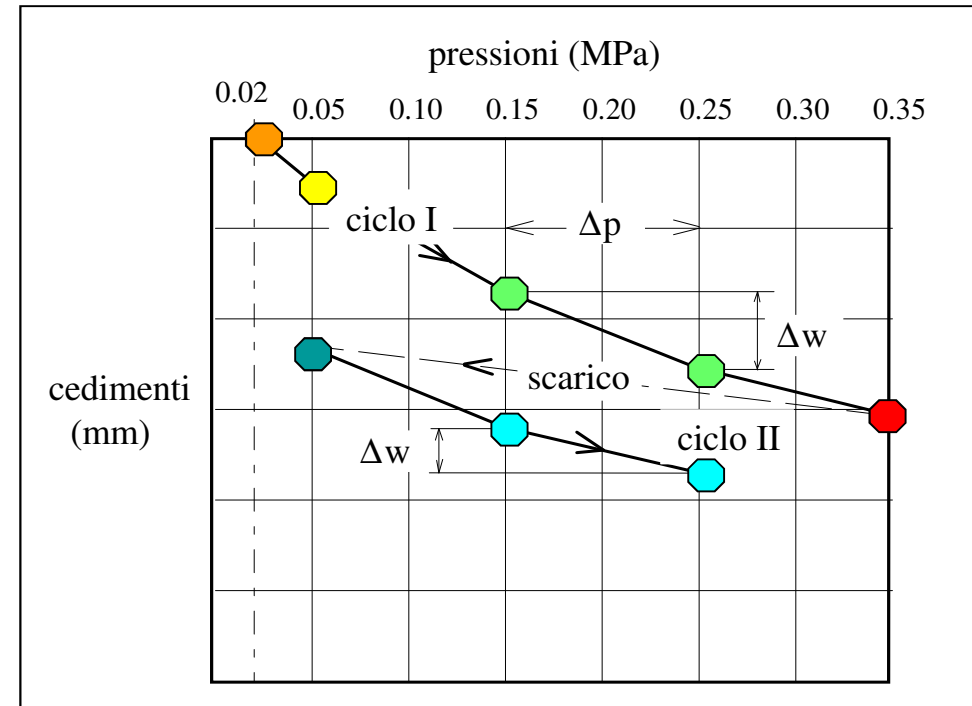
M_d non è un modulo elastico, ma di **deformazione**. A seconda della metodologia di prova adottata per la misurazione la relazione con il modulo elastico del piano di prova è variabile.



Rilevati: controlli sui materiali

PROVA DI CARICO A DOPPIO CICLO (strato di fondazione)

- Si applica un precarico di assestamento $P_0 = 0.02$ MPa;
- Si applica il carico $P_1 = 0.05$ MPa;
- Si incrementa il carico per passi successivi di 0.1 MPa;
- Si prosegue fino a $P_2 = 0.35$ MPa, al fine di esaltare l'addensamento iniziale;
- Si scarica fino a $P_3 = 0.05$ MPa;
- Si applica un secondo ciclo di carico con le stesse modalità;



Il risultato è soddisfacente se: $M_d(I^\circ) \geq M_{d,\min} (Norme)$ e $k = \frac{M_d(I^\circ)}{M_d(II^\circ)} \geq 0,5$

Se $M_d(II^\circ) \gg M_d(I^\circ)$, il primo ciclo di carico ha addensato il terreno, che non era sufficientemente compattato.

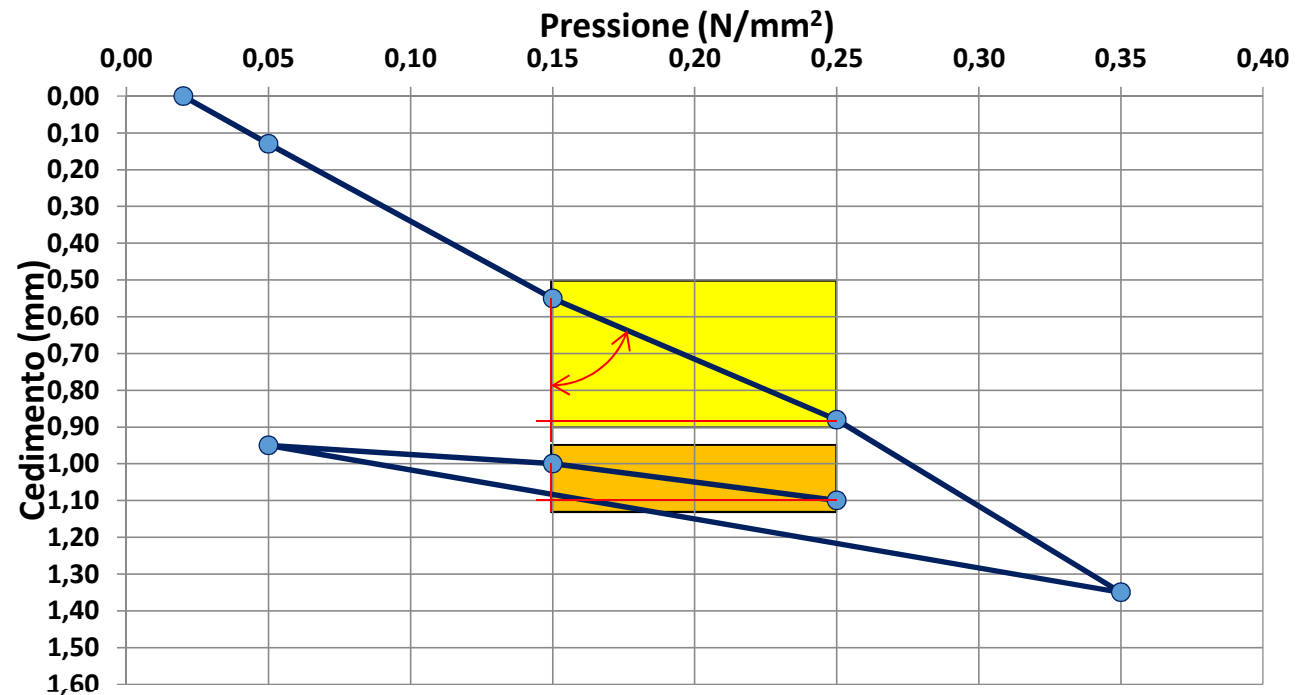
Rilevati: controlli sui materiali

PLT: esempio

Determinazione dei moduli di deformazione M_d e M_d' mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare (CNR BU 146). (Fondazione)

Diametro piastra: 30 cm - Intervallo di carico: 0,15 – 0,25 N/mm²

Pressione (N/mm ²)	Cedimento (mm)
0,02	0,00
0,05	0,13
0,15	0,55
0,25	0,88
0,35	1,35
0,05	0,95
0,15	1,00
0,25	1,10



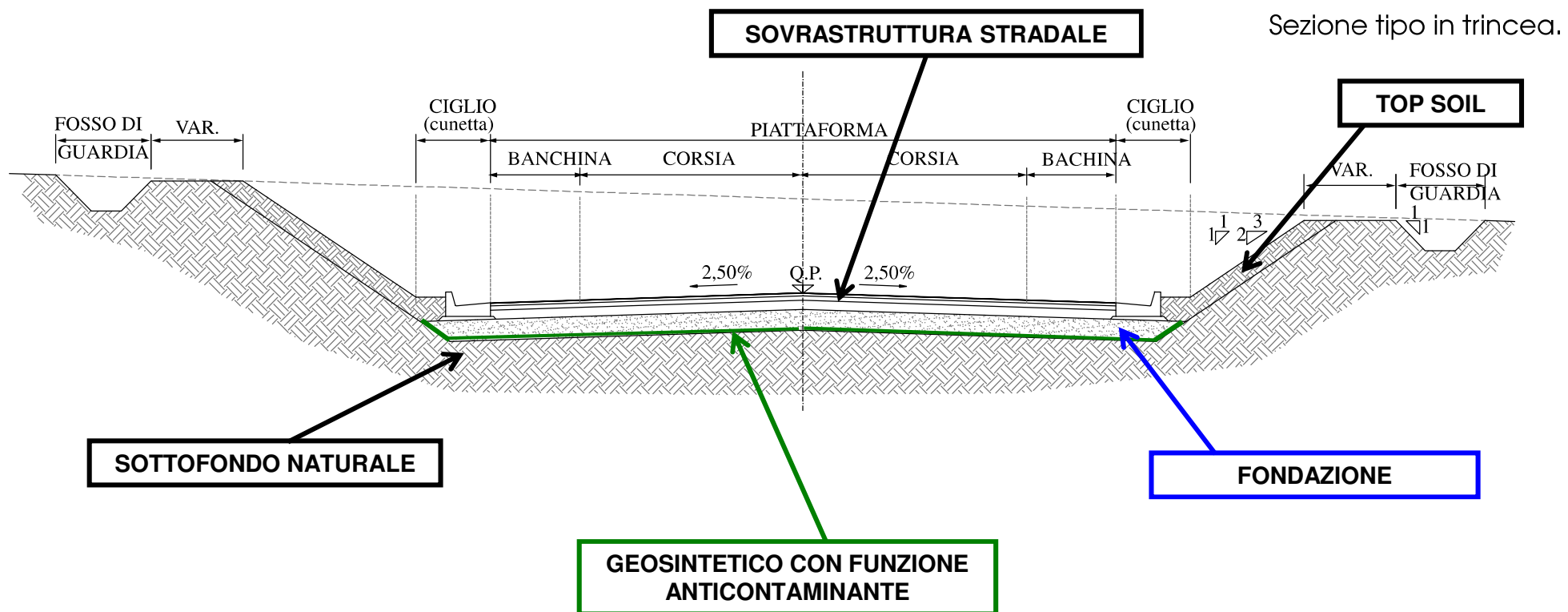
$$M_d = D \frac{\Delta p}{\Delta w}$$

$$M_d = 300 \cdot \frac{(0,25 - 0,15)}{(0,88 - 0,55)}$$

$$M_d' = 300 \cdot \frac{(0,25 - 0,15)}{(1,10 - 1,00)}$$

Modulo di deformazione (N/mm ²)		
Md	Md'	Md/Md'
90,909	300,000	0,303 (< 0,5)

Trincee



Trincee: controlli sui materiali

Anche nei tratti in trincea, dopo aver effettuato lo scavo del cassonetto si provvede alla **preparazione del piano di posa** della sovrastruttura stradale, che viene eseguito, a seconda della natura del terreno, in base alle seguenti lavorazioni:

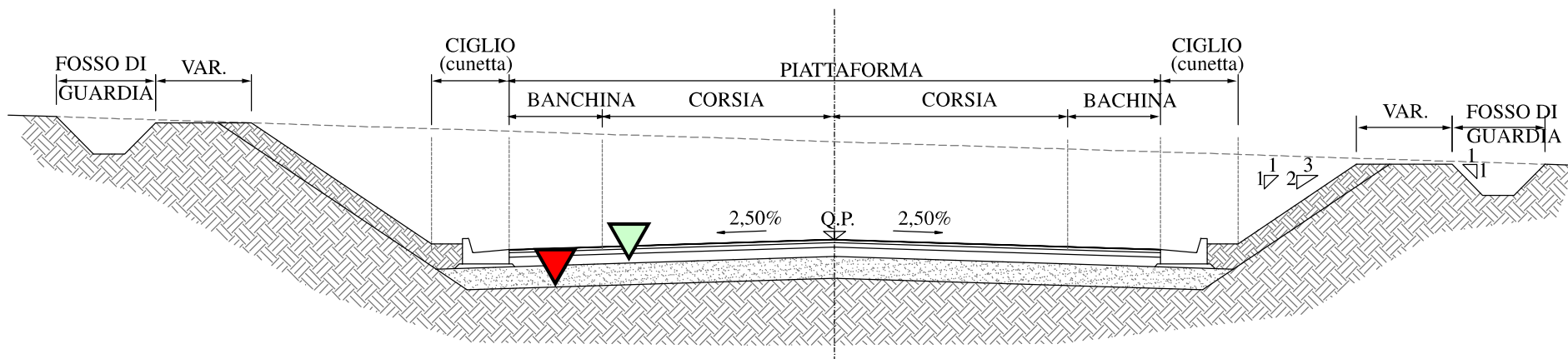
- quando il terreno appartiene ai gruppi A1, A2, A3 (classifica C.N.R. UNI 10006/2002) si procede alla compattazione dello strato di sottofondo, che deve raggiungere in ogni caso una densità secca pari ad almeno il 95% della densità di riferimento, per uno spessore di 30 cm al di sotto del piano di cassonetto;
- quando il terreno appartiene ai gruppi A4, A5, A6, A7, A8 (classifica C.N.R. - U.N.I. 10006/2002) si procede alla sostituzione del terreno stesso con materiale arido, per una profondità al di sotto del piano di cassonetto, che verrà stabilita in base al singolo caso specifico.

Trincee

VALORI MINIMI DI M_d in TRINCEA

- su sottofondo ($\Delta p = 0.15 - 0.25$ MPa): ▼ $M_{d,min} \geq 50$ Mpa
- su fondazione ($\Delta p = 0.15 - 0.25$ MPa): ▼ $M_{d,min} \geq 80$ MPa

Sezione tipo in trincea.



Trincee

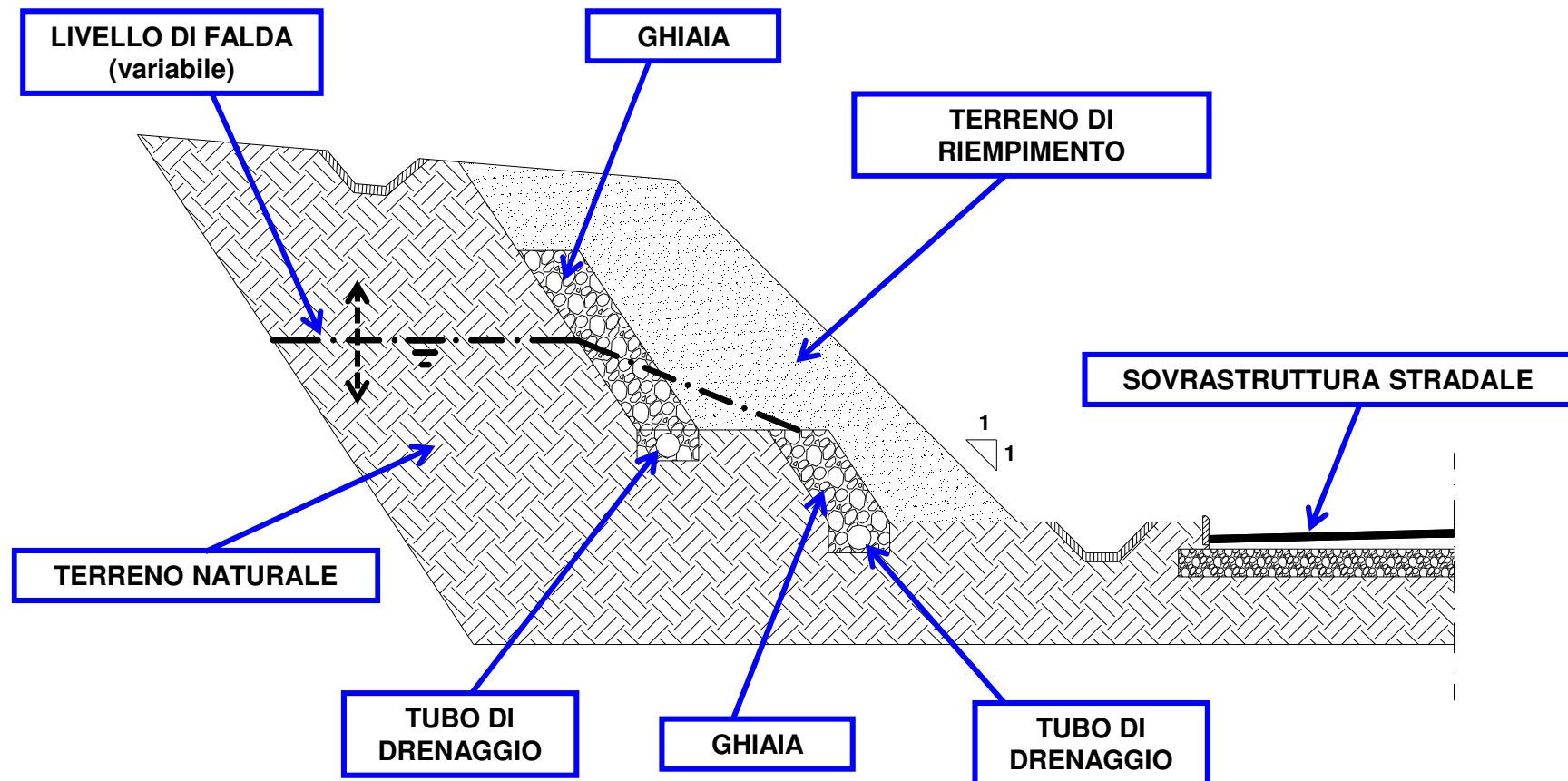
Le trincee possono presentano **problemi di stabilità** delle scarpate se:

1. il terreno naturale ha **resistenza al taglio** modesta;
2. Il terreno naturale presenta **stratificazioni con giacitura sfavorevole** (a franapoggio) anziché orizzontale o a reggipoggio;
3. è presente una **falda acquifera** superficiale e si instaurano **moti di filtrazione**.

Nei casi 1 e 2, per stabilizzare le scarpate, si può ricorrere alle seguenti tecniche: muri di sostegno; terre armate o rinforzate; berlinesi di micropali; ancoraggi con tiranti e bulloni, paratie in calcestruzzo armato e acciaio.

Nel caso 3 si possono realizzare trincee drenanti di materiale permeabile (ghiaia o pietrame) che consentono di captare l'acqua e recapitarla ad una tubazione senza indebolire la scarpata.

Trincea drenante



Ancoraggi con tiranti e bulloni

I tiranti di ancoraggio sono elementi strutturali capaci di trasferire una forza di trazione a strati portanti di terreno o roccia in profondità.

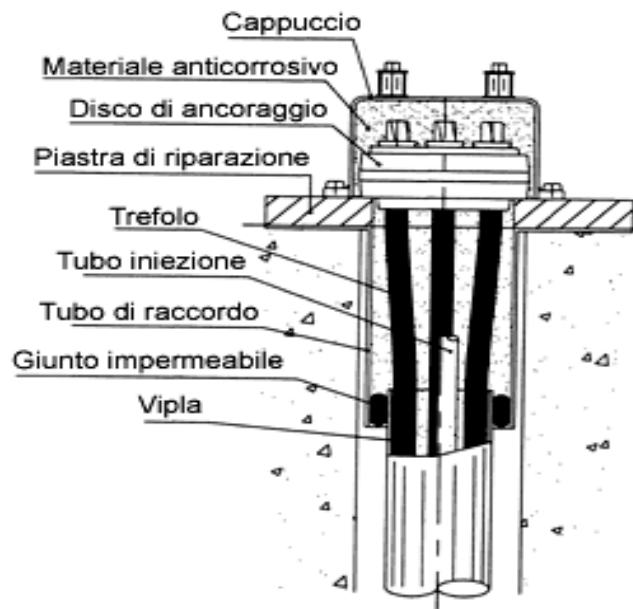
Fasi esecutive:

- 1) Si perfora il terreno per rototraslazione, avvalendosi di un rivestimento che impedisce al terreno di franare;
- 2) Si inietta, mediante una pompa, la miscela di legante che andrà a costituire il bulbo del tirante; l'iniezione della miscela viene arrestata non appena si raggiunge la lunghezza di fondazione desiderata;
- 3) Si estrae il rivestimento;
- 4) Si esegue una iniezione locale di sigillatura tra la struttura del tirante ed il terreno;



Ancoraggi con tiranti e bulloni

- 5) Si fissa la piastra di bloccaggio;
- 6) Si esegue la tesatura del tirante;
- 7) Si taglia la parte dei trefoli in eccedenza e si protegge la parte terminale con campane metalliche che devono essere sigillate da materiale plastico.

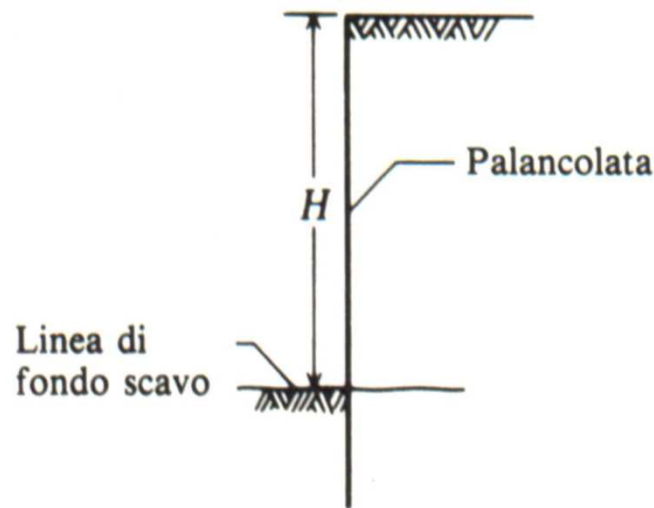


Paratie in calcestruzzo armato e acciaio

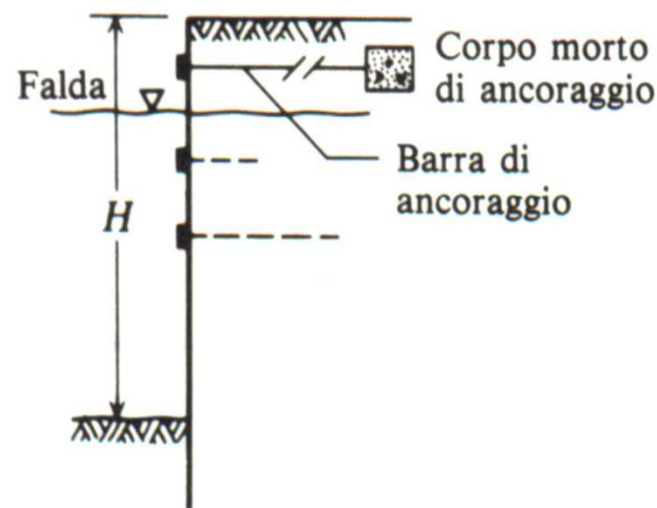
Paratie

Le paratie sono formate da una parete verticale relativamente sottile immersa nel terreno fino ad una certa profondità sotto al piano di scavo.

Possono essere realizzate in legno, calcestruzzo armato o acciaio e possono essere libere o ancorate mediante trefoli o barre di acciaio.



PARATIA LIBERA



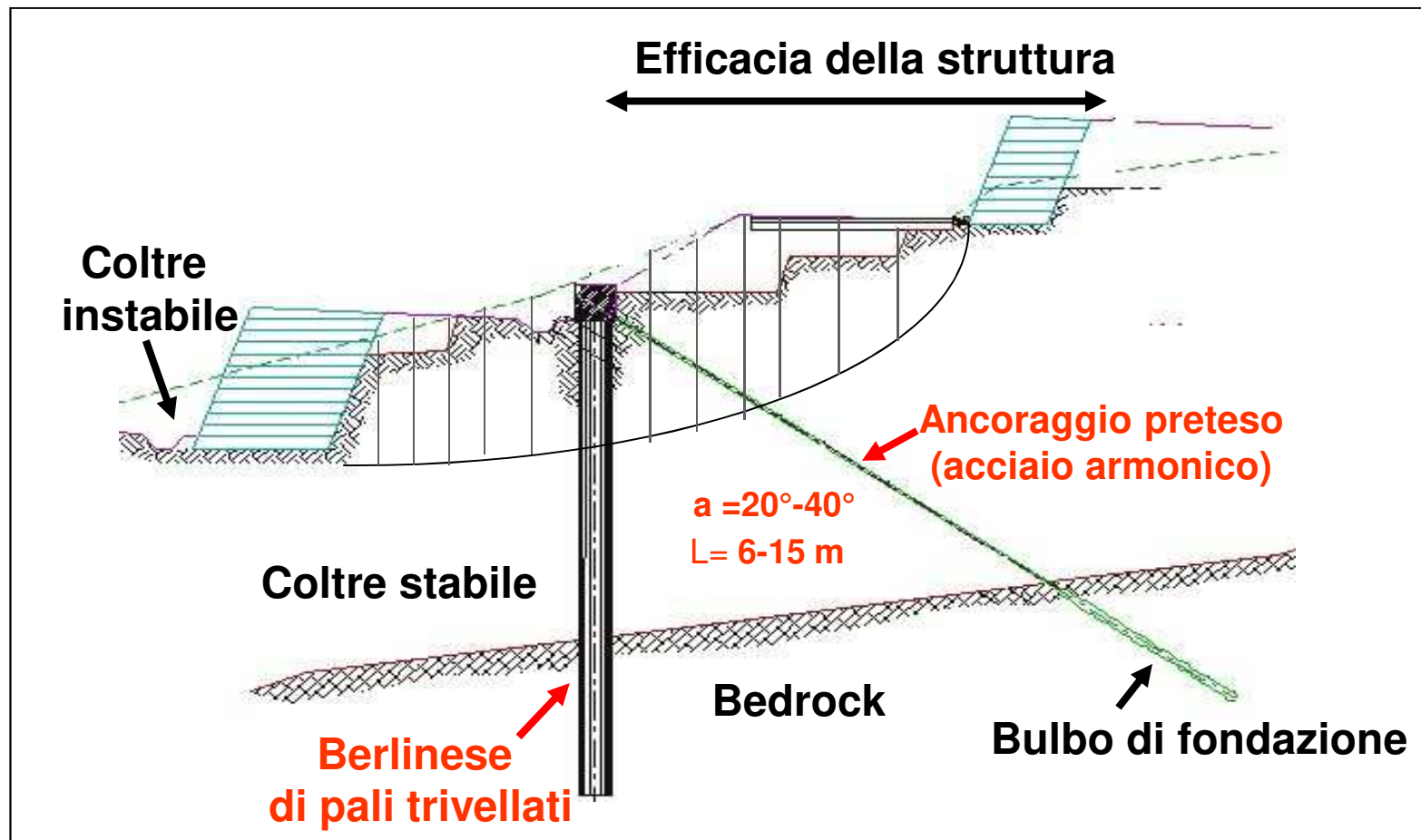
PARATIA ANCORATA

Berlinesi di micropali

Le berlinesi sono strutture di sostegno di tipo flessibile, realizzate mediante cortine di micropali verticali ($\varphi = 150\text{-}200$ mm) armati. In funzione dell'altezza di terreno che sono chiamate a sostenere (o profondità di scavo di progetto) possono essere realizzate a sbalzo oppure ancorate. L'interasse tra i micropali è solitamente pari a 2-3 diametri ed il collegamento avviene mediante travi in acciaio IPE o HE.



Berlinesi di micropali



La struttura deve essere posizionata in modo efficace: deve sostenere il terreno a monte e ridurre le spinte sui conci a valle.