

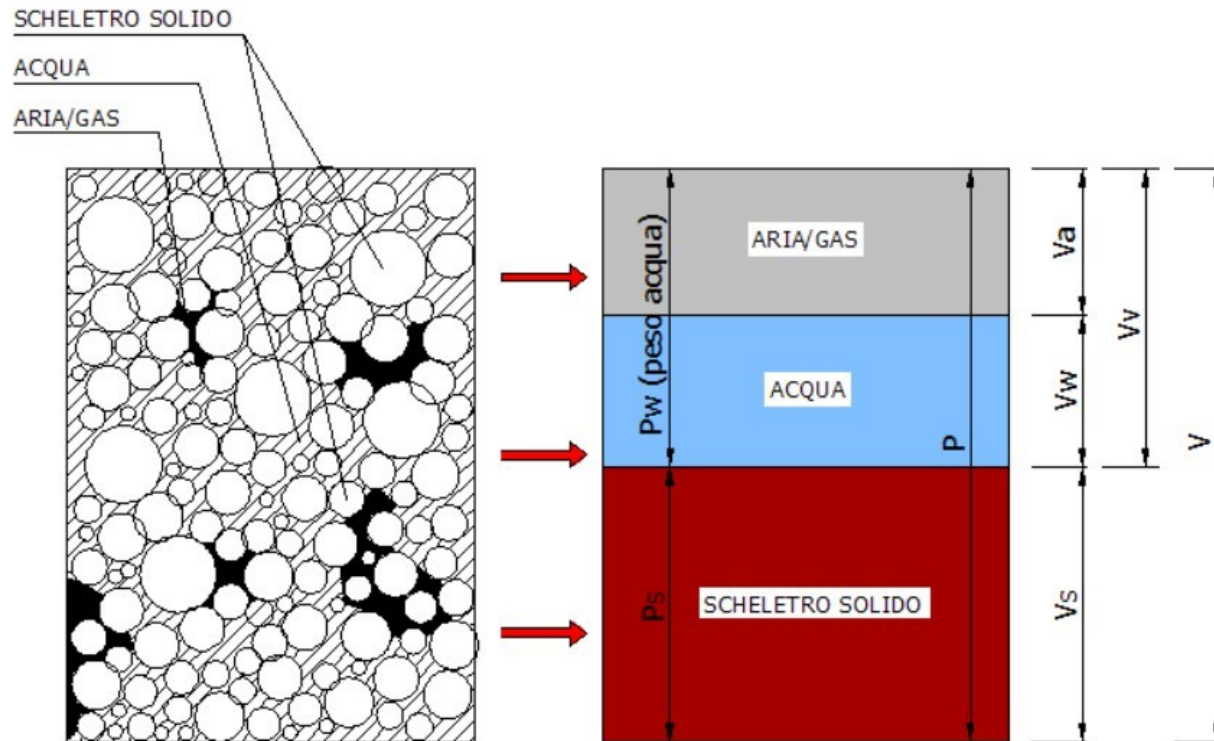


TERRENO E OPERE DI SOSTEGNO



Il terreno

I terreni sono mezzi polifase costituiti da una fase solida (**granuli**), da una fase liquida (**acqua**) e/o da una fase gassosa (**aria**). L'insieme dei granuli solidi di una terra costituisce il suo scheletro solido.



DEFINIZIONI

Peso specifico naturale (apparente):

$$\gamma = P/V$$

Peso specifico secco: $\gamma_d = P_s/V$

Porosità: $n = V_v/V_s$

Indice dei vuoti: $e = V_v/V$

Grado di Saturazione: $S_r = V_w/V_v$

Contenuto naturale d'acqua:
 $W = P_w/P_s$





Legenda: V = volume del campione; V_v = volume dei vuoti; V_a = volume dell'aria; V_w = volume dell'acqua; V_s = volume della parte solida; P = peso naturale del campione; P_w = peso della parte vuota; P_s = peso della parte solida;

Un terreno si dice:

- **saturo** quando i suoi vuoti sono occupati dall'acqua
- **parzialmente saturo** quando i pori sono occupati da una miscela di aria, acqua e vapore
- **asciutto** quando i pori sono occupati solo dall'aria

Denominazioni granulometriche e classificazione

Nei terreni abbiamo a che fare con grani di diverse dimensioni variabili da 10^{-3} e 10^2 mm. Diamo una definizione dei grani in base alle dimensioni e non alla composizione mineralogica:

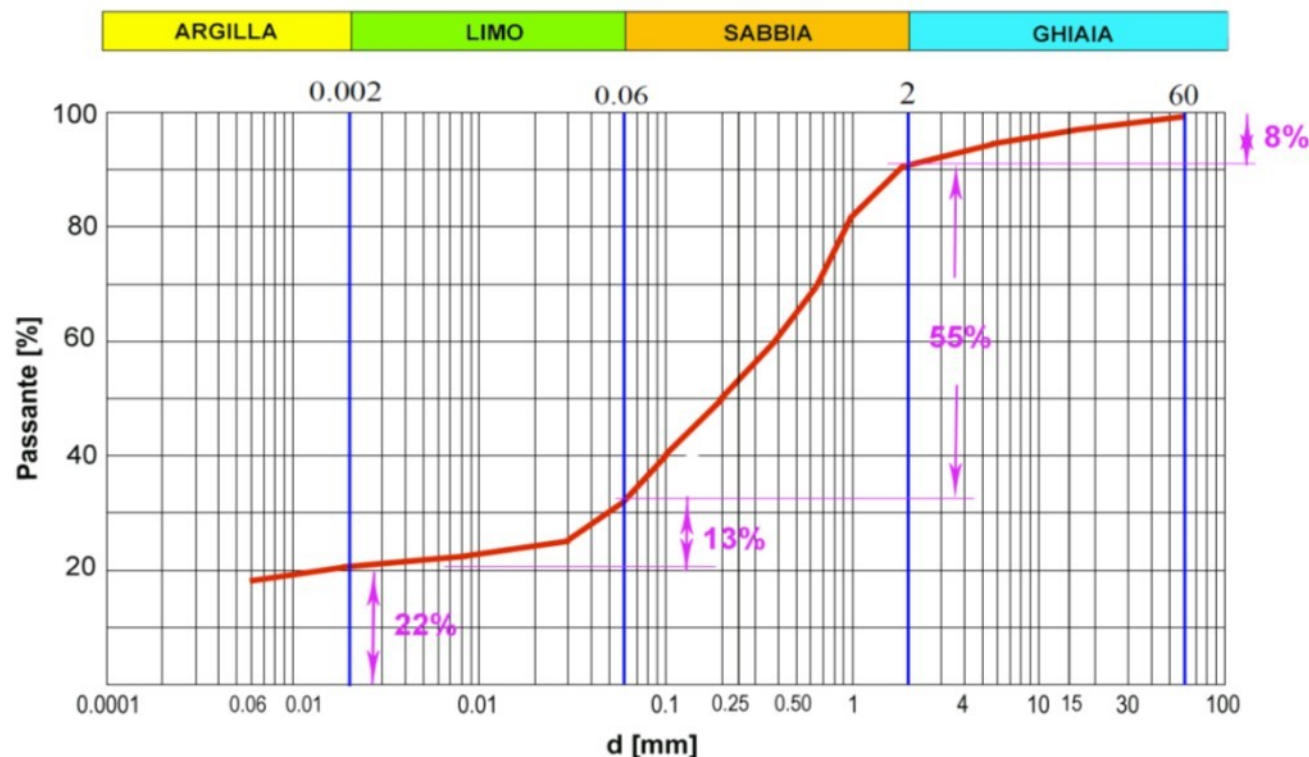
	ARGILLA	$\Phi < 0.002$ mm
	LIMO	$0.002 < \Phi < 0.06$ mm
	SABBIA	$0.06 < \Phi < 2$ mm
	GHIAIA	$2 < \Phi < 60$ mm

Tipo di terreno	γ (kN/m ³)	Tipo di terreno	γ (kN/m ³)
Argilla compatta	18,00 ÷ 21,00	Pietrame e ciotoli	14,00 ÷ 16,00
Argilla e marna	17,00 ÷ 20,00	Sabbia compatta asciutta	14,00 ÷ 17,00
Argilla mista a sabbia	17,00 ÷ 22,00	Sabbia compatta bagnata	19,00 ÷ 23,00
Argilla umida	20,00	Terra sabbiosa compatta	18,00 ÷ 22,00
Ghiaia	18,00 ÷ 20,00	Terra sciolta asciutta	12,00
Limo	16,00 ÷ 21,00	Terra vegetale	15,00 ÷ 18,00
Marna compatta	21,00	Torba	10,00 ÷ 11,00

Nell'analisi granulometrica per **setacciatura** facciamo uso di appositi setacci disposti in serie, ognuno dei quali trattiene la frazione di solido i cui granuli hanno dimensioni maggiori dei fori del setaccio. La colonna di setacci viene generalmente appoggiata su un “setacciatore” che scuote la colonna per un determinato lasso di tempo, passato il quale si procede alla pesatura delle frazioni di solido trattenute in ciascun setaccio. Il peso di ciascuna frazione solida viene quindi rapportato al peso del solido totale.

I valori dei passanti ottenuti e dei relativi diametri si riportano in un grafico ottenendo la curva granulometrica del terreno analizzato.





ESEMPIO

- Argilla: 23 %
- Limo 13%
- Sabbia: 55%
- Ghiaia: 9%

Sabbia argilloso - limosa
debolmente ghiaiosa

Per classificare del terreno seguiamo il seguente criterio:

- La frazione granulometrica di maggior diametro da il nome all'aggregato (es. Limo);
- Quando il secondo materiale ha una percentuale in peso tra 25%–50% diciamo **CON** per unire i due nomi (es. Limo con argilla);
- Utilizziamo il suffisso **OSO** se la percentuale in peso della frazione successiva è tra 10%–25% (es. Limo con argilla sabbiosa);
- Utilizziamo il suffisso **OSO** e la particella **DEBOLMENTE** se la percentuale della frazione successiva è tra 5%–10% (es. Sabbia con ghiaia debolmente limosa).

Caratteristiche meccaniche dei terreni

Coesione (c)

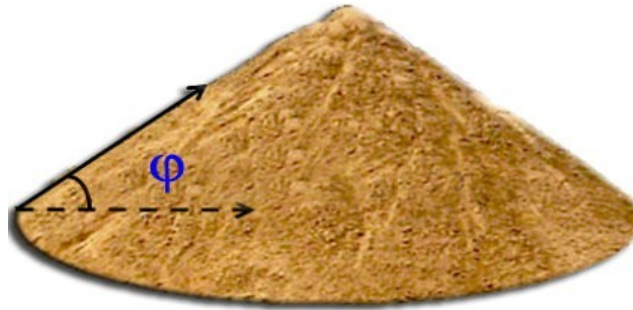
Fra le superfici delle singole particelle di terreno nascono delle forze di adesione reciproca, non dipendenti dall'attrito, strettamente legate alla struttura delle particelle stesse, e alla loro natura fisico- chimica. Queste forze superficiali sono prevalenti e fanno sentire maggiormente il loro effetto se i granuli sono molto piccoli, perché al diminuire delle dimensioni dei granuli aumenta la superficie di contatto (diminuiscono i vuoti).

Pertanto la coesione è presente nei terreni a **grana fine** (Limi, argille= **GRANULI ATTIVI**) e praticamente nulla nei terreni a **grana grossa** (sabbia, ghiaia= **GRANULI INERTI**).

Terreno	Coesione [kPa]
Argilla sabbiosa	20
Argilla molle	10
Argilla plastica	25
Argilla semisolida	50
Argilla solida	100
Limo compatto	10
Ghiaia umida	0
Sabbia umida compatta	1
Terreno vegetale compatto	0
Depositi colluviali	0-5

Angolo di attrito interno (φ)

Facciamo cadere liberamente, su una superficie piana, una certa quantità di terreno. Si formerà un cono caratterizzato da un angolo d'inclinazione φ tanto maggiore quanto più elevate saranno le forze d'attrito presenti tra un granulo e l'altro. Tale angolo prende il nome di **angolo di attrito interno** del terreno considerato.



Tipo di terreno	φ	Tipo di terreno	φ
Argilla bagnata	$20^\circ \div 25^\circ$	Limo compatto	$25^\circ \div 30^\circ$
Argilla secca compatta	50°	Limo sciolto	$20^\circ \div 22^\circ$
Argilla secca sabbiosa	$30^\circ \div 45^\circ$	Marna grassa	$16^\circ \div 22^\circ$
Argilla umida	$15^\circ \div 25^\circ$	Marna sabbiosa	$22^\circ \div 29^\circ$
Ghiaia compatta	$35^\circ \div 37^\circ$	Pietrame	$40^\circ \div 45^\circ$
Ghiaia media	$48^\circ \div 55^\circ$	Sabbia compatta	$35^\circ \div 45^\circ$
Ghiaia sabbiosa	$35^\circ \div 50^\circ$	Sabbia sciolta	$28^\circ \div 34^\circ$
Ghiaia sciolta	$34^\circ \div 35^\circ$	Sabbia umida	40°
Ghiaia umida	25°	Terra vegetale compatta	35°

Le carte geologiche

La carta geologica è la rappresentazione dei diversi tipi di rocce e terreni che affiorano sulla superficie terrestre, rappresentati da colori convenzionali. Nelle carte geologiche sono rappresentate anche le strutture tettoniche, le giaciture degli strati, i giacimenti di minerali, le aree fossilifere e le sorgenti.

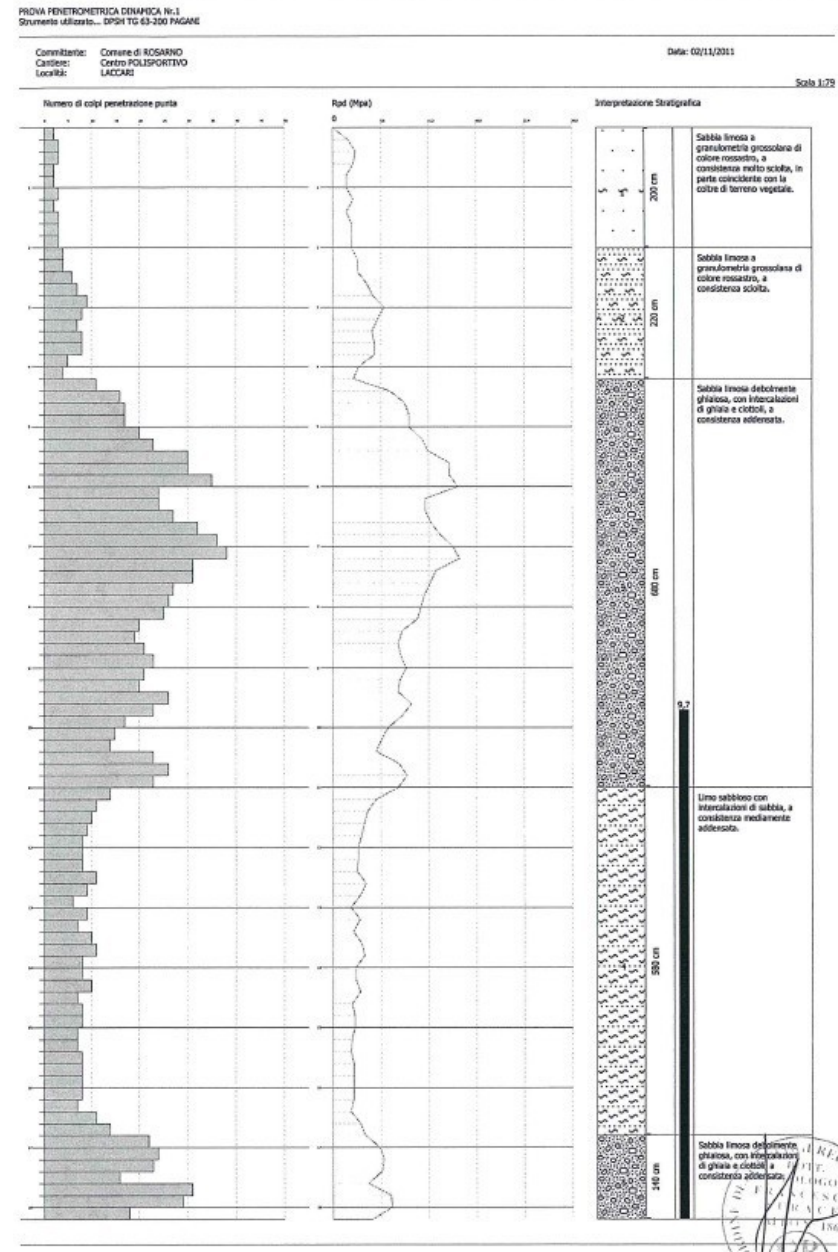
Prove penetrometriche

Prove DINAMICHE (SPT = Standard Penetration Test) (DPSH = Dynamic Probing Super Heavy)

La prova è particolarmente adatta ai terreni a grana grossa. I parametri geotecnici del terreno si ricavano per correlazione con il **numero di colpi** necessario a far penetrare un utensile standard. La prova è eseguibile su qualsiasi tipo di terreno.

La prova SPT è effettuata durante la perforazione del sondaggio, il maglio pesa 63.5 Kg, l'altezza di caduta è di circa 70 cm e si contano i colpi necessari ad infiggere

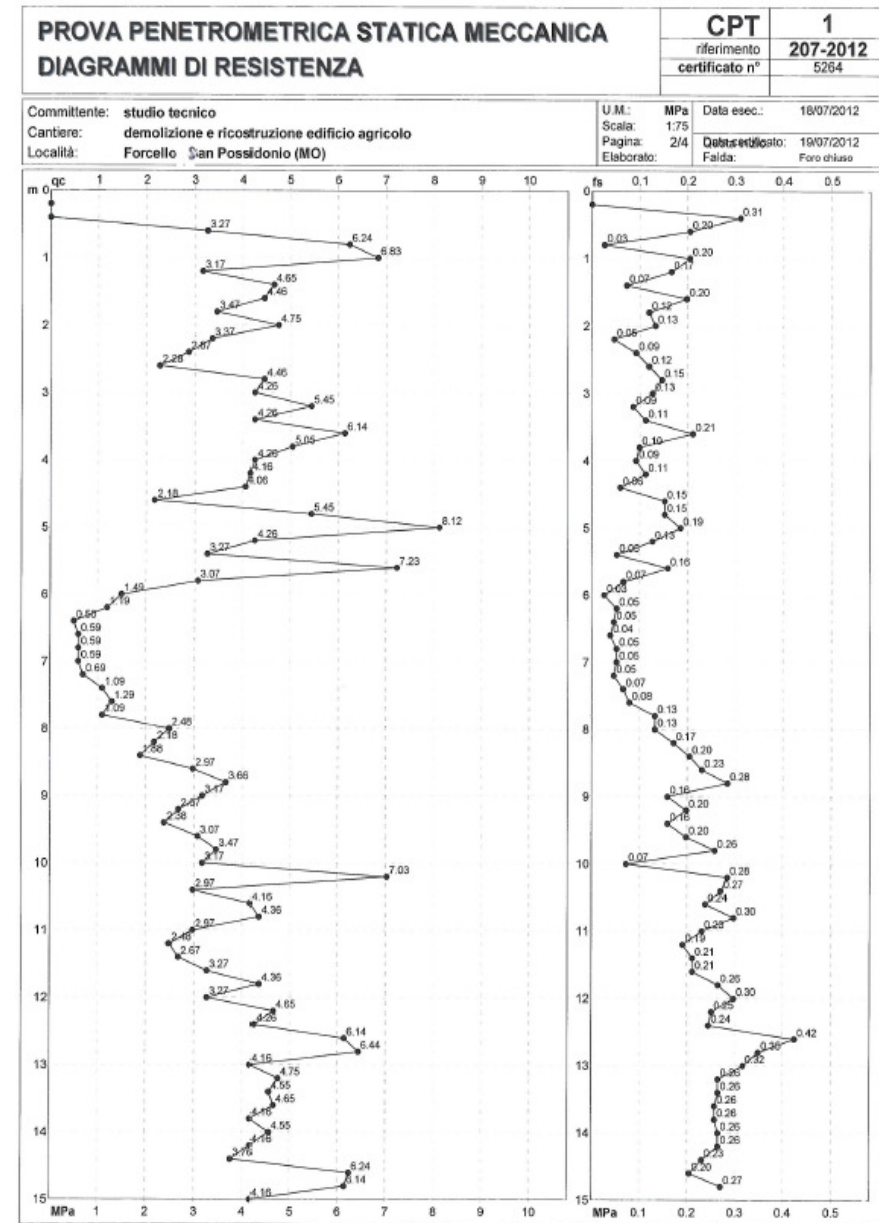
cm 15+15+15. Il valore N_{spt} è la somma degli ultimi due cioè di 30 cm d'infissione. La DPSH è effettuata col penetrometro superpesante. Il maglio e l'altezza di caduta sono uguali all'SPT mentre si contano i colpi per infiggere 20 cm (vedi figura).



Prova STATICA (CPT = Cone Penetration Test)

Viene impiegata per i terreni a medio bassa consistenza, tipicamente per terreni grana fine.

La prova consiste nell'infiggere nel terreno, a pressione, tramite un martinetto idraulico, uno strumento costituito da un'asta a punta conica. I parametri geotecnici del terreno si ricavano per correlazione con la **resistenza alla punta** che il terreno oppone alla penetrazione.

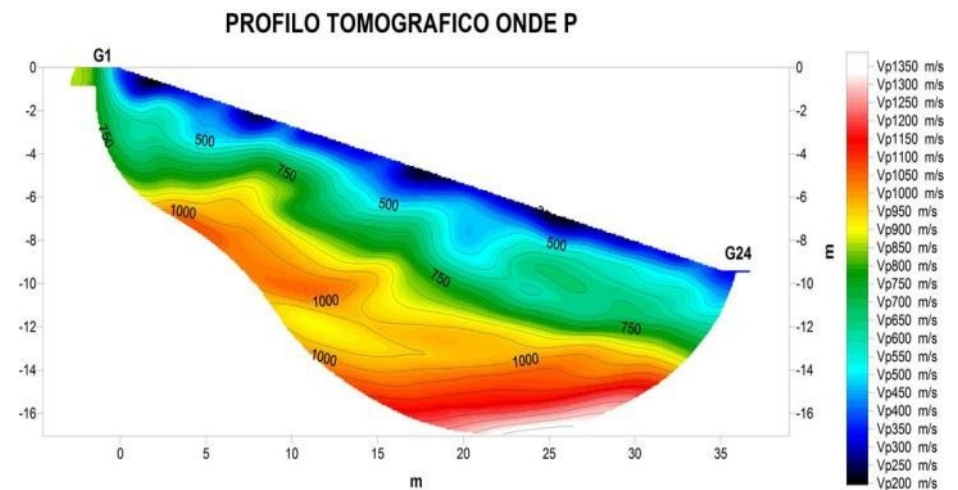
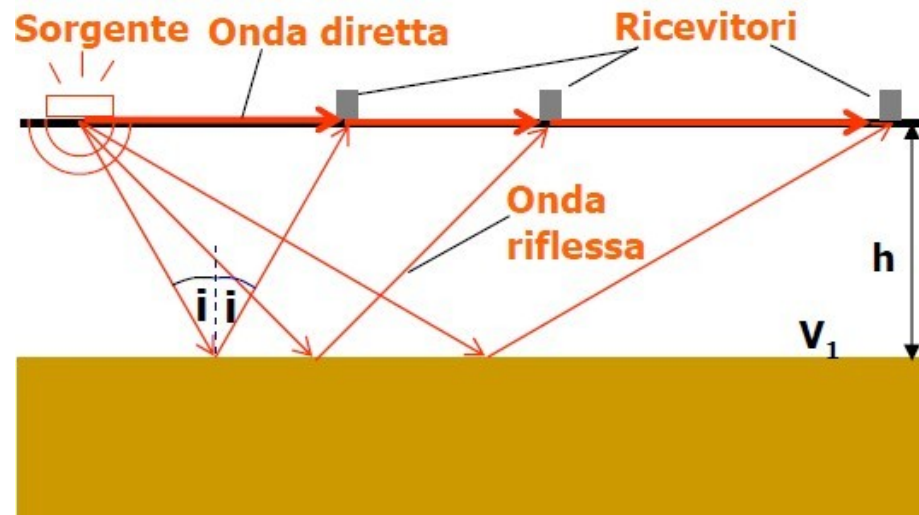


Prove geosismiche

Le prove geosismiche sfruttano il principio secondo il quale la velocità di propagazione delle onde sismiche (sisma deriva dal greco *seismós* = scossa) nel sottosuolo varia al variare delle proprietà elastiche dei terreni e della compattezza dei materiali da queste attraversati. Dalla misura diretta delle onde di compressione V_p e delle onde di taglio V_s , si può risalire alla probabile composizione litologica di massa dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo (**bedrock**), alla sua forma e talora, in terreni alluvionali, alla profondità della falda freatica.

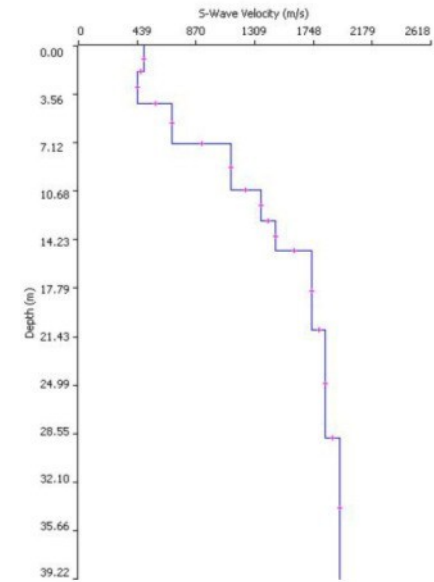
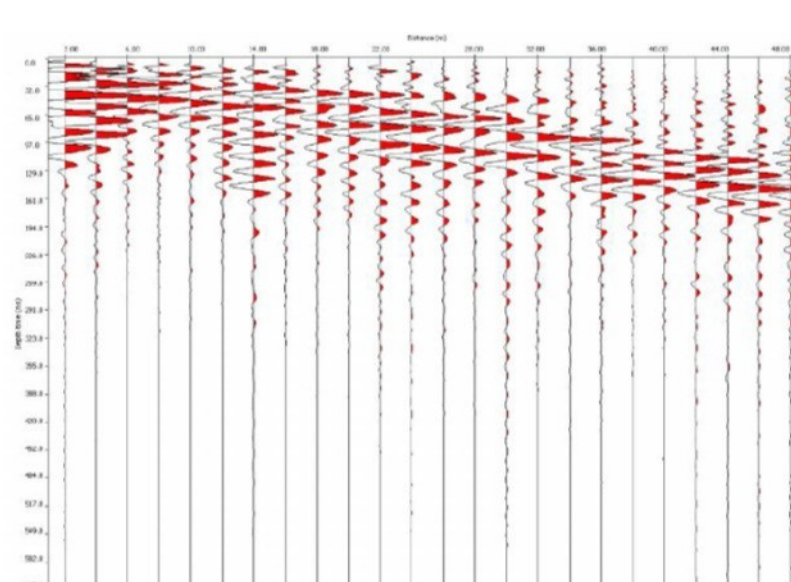
Indagini sismiche a rifrazione

La tecnica consiste nella determinazione diretta della velocità delle onde di pressione V_p , attraverso la misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di sparo), che si rifrangono in profondità sullo strato di terreno rigido e risalgono in superficie dove vengono rilevate in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati (geofoni). Utilizzando diversi punti di sparo, è possibile elaborare una restituzione grafica bidimensionale delle velocità alle varie profondità (TOMOGRAFIA SISMICA).



Indagini MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

La tecnica impiega sostanzialmente la stessa strumentazione utilizzata per le indagini a rifrazione. Il segnale, generato da una mazza battente, viene elaborato in maniera diversa in quanto viene misurata la riflessione delle onde superficiali (e non la rifrazione sul substrato). Lo scopo della prova sismica MASW consiste nel determinare il profilo di rigidità del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie e, successivamente stimare indirettamente la distribuzione della velocità delle onde di taglio V_s .



Esecuzione prova ed elaborazione dati: Dott. F. Surace

Questo tipo di prova è principalmente utilizzata per determinare la categoria di sottosuolo per la microzonazione sismica. Con uno stendimento di 36 m si può indagare il terreno fino a circa 30 m di profondità (la sismica a rifrazione arriverebbe solo a circa 10 m). Le indagini MASW sono non invasive, con impatto ambientale nullo ed economiche. Inoltre permettono di caratterizzare depositi stratificati orizzontalmente in quanto individuano bene strati di materiali soffici superficiali. Sono però poco affidabili per profondità maggiori di 40 m e sensibili ai disturbi ambientali.

Elaborati di progetto

Il DM 14-01-2008 stabilisce le norme per la progettazione ed il dimensionamento delle strutture. In particolare vengono richiesti all'interno della progettazione 3 documenti:

- relazione geologica
- relazione geotecnica
- relazione sulla modellazione sismica del sito.

Relazione geologica

La relazione geologica deve contenere le indagini, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito, in riferimento all'opera ed analizzare la pericolosità geologica del sito in assenza ed in presenza delle opere.

Relazione geotecnica

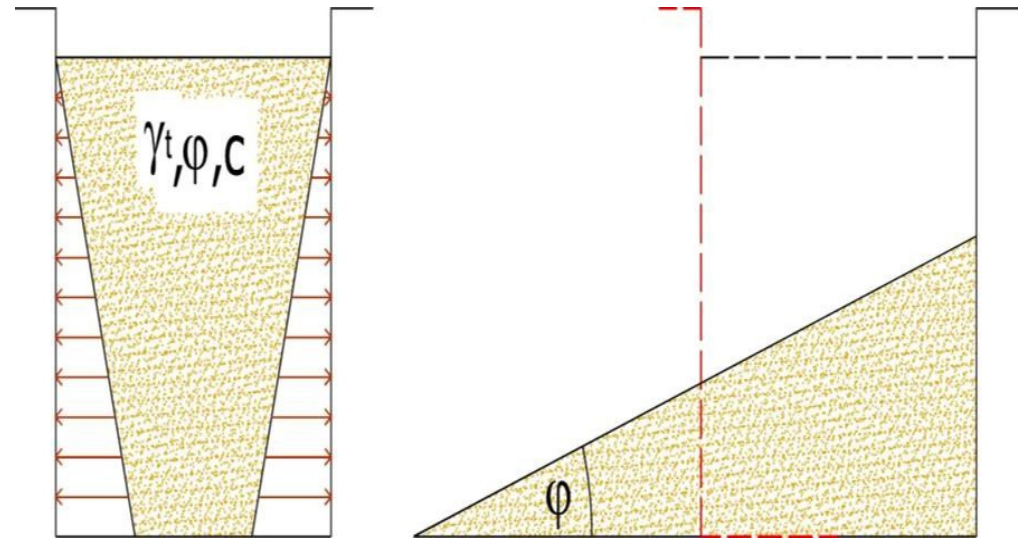
La relazione geotecnica riguarda l'interpretazione dei risultati delle indagini, la caratterizzazione e modellazione geotecnica del terreno di fondazione, valutando l'interazione opera/terreno ai fini del dimensionamento e della sicurezza. Nella relazione geotecnica vengono riportati, generalmente, i calcoli di capacità portante dei terreni, le verifiche di stabilità globale, il calcolo dei cedimenti e la descrizione della tipologia adottata per le strutture di fondazione.

Relazione sulla modellazione sismica del sito

La relazione sulla modellazione sismica del sito valutare la pericolosità sismica di base del sito, indicazione della classificazione sismica regionale, la microzonazione sismica e i criteri per la determinazione della massima accelerazione di progetto. Questo documento può essere redatto in forma di relazione indipendente o inserito nella relazione geologica e/o geotecnica.

Generalità e tipologie

L'opera di sostegno è un manufatto avente la funzione principale di sostenere, o contenere, fronti di terreno di qualsiasi natura e tipologia, eventualmente artificiali o acqua come piscine e dighe. Senza l'opera di sostegno il terreno assumerebbe la sua configurazione naturale, condizionata dai valori di **angolo d'attrito interno** e **coesione**.



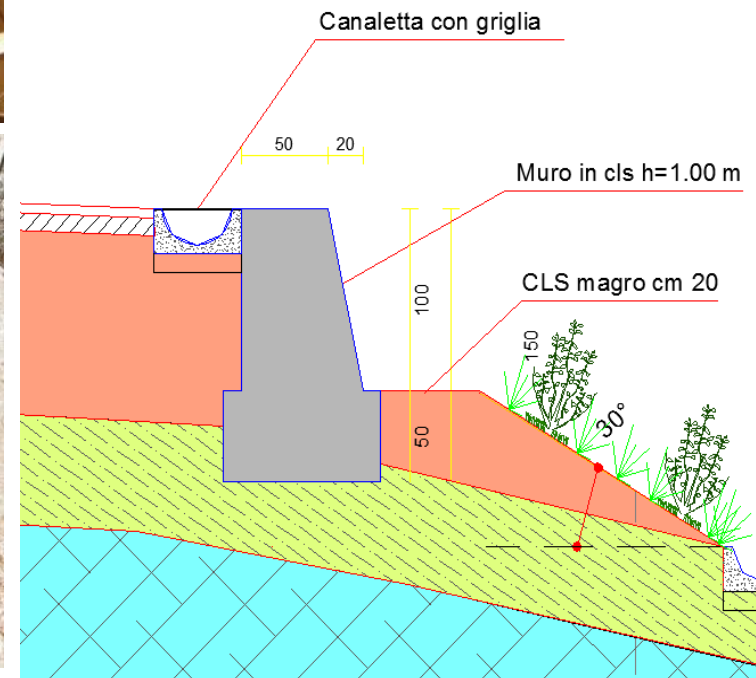
In funzione del **comportamento strutturale**, i muri di sostegno possono essere così classificati:

MURI A GRAVITÀ

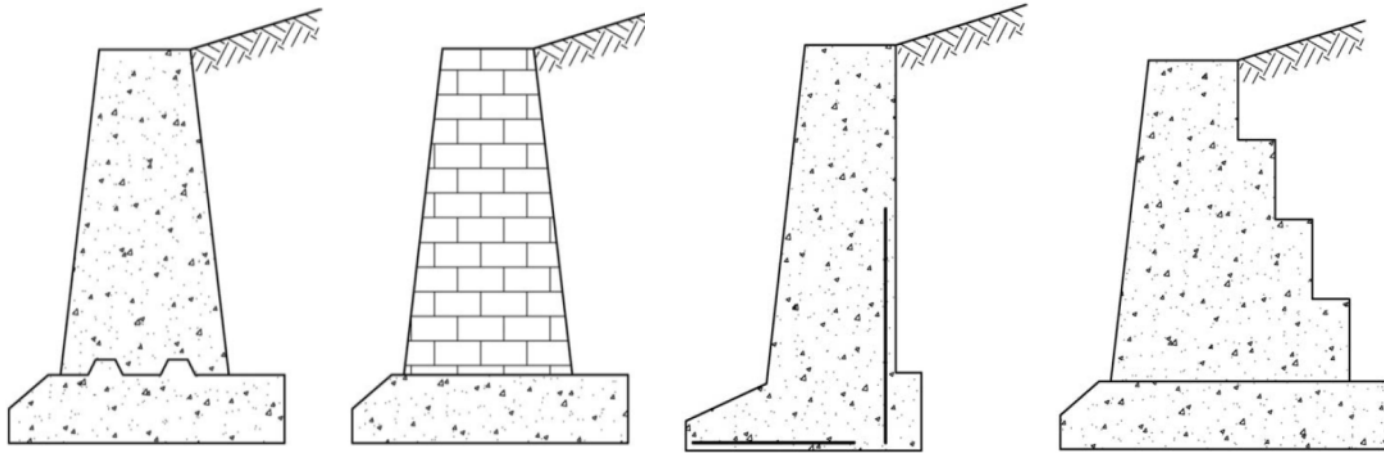
In questo caso l'effetto stabilizzante è offerto dal **peso proprio** del muro.



- 1- Scavo di sbancamento
- 2- Realizzazione delle casseforme
- 3- Getto del cls
- 4- Realizzazione del drenaggio a tergo del muro



Altre tipologie di muri a gravità e semigravità (debolmente armato):

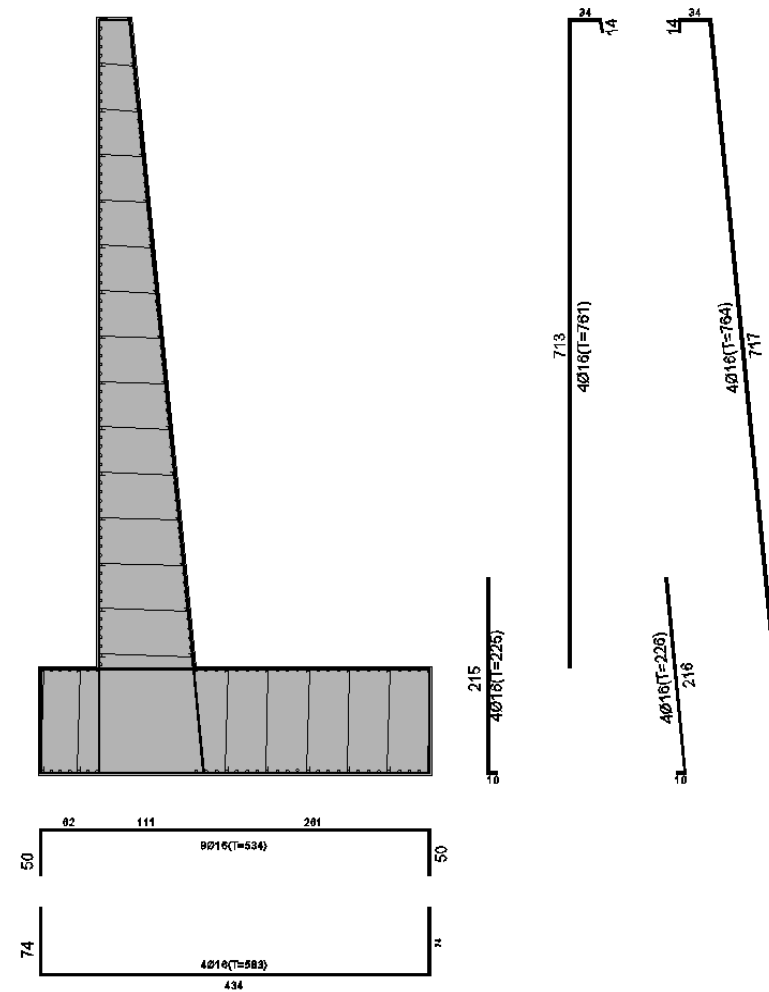


I muri a gravità vengono realizzati con materiali incapaci di resistere a trazione (cls, blocchi di cemento, mattoni, pietrame,...). Solitamente sono limitati in altezza. Possono presentare una serie di **gradoni**, a monte o a valle, sfruttando l'effetto stabilizzante del peso del terreno che grava sui gradoni stessi.



MURI A MENSOLA

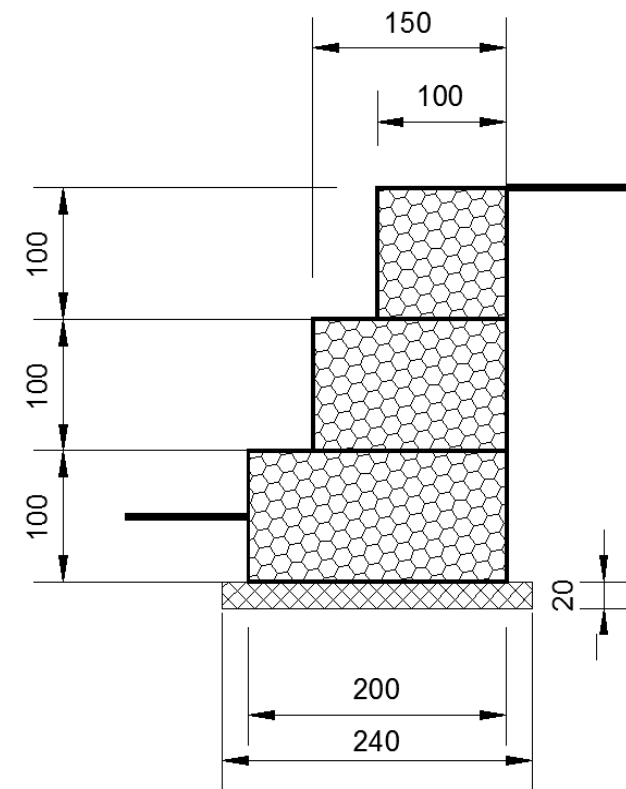
I muri a mensola sono in **calcestruzzo armato** e sfruttano per la stabilità il peso del terreno che grava sopra la suola di fondazione. Hanno in elevazione una mensola verticale e in fondazione una suola orizzontale in cui le tensioni di trazione sono assorbite dalle barre di armatura che permettono dunque di ridurre le dimensioni delle sezioni rispetto ai muri a gravità.



In funzione dei **materiali** utilizzati, possiamo distinguere:

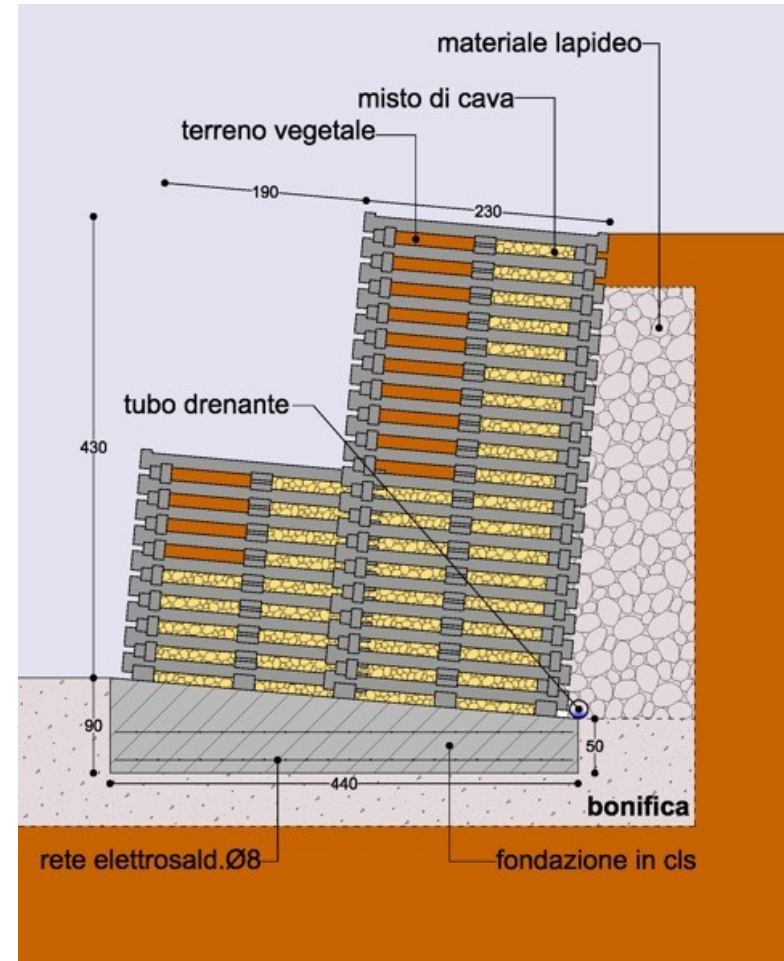
MURI IN GABBIONI

Un muro in gabbioni è formato da gabbie metalliche costituite riempite di pietrame. Le gabbie hanno solitamente dimensione 1.00x1.00x1.00 m; 1.00x1.00x1.50 m o 1.00x1.00x2.00 m. La faccia esterna, o interna, di solito è rastremata sfalsando i gabbioni ad ogni strato successivo. I muri in gabbioni sono flessibili, cioè si adattano alle deformazioni del terreno, e molto permeabili.



MURI CELLULARI (CRIB WALLS)

I muri cellulari (o crib-walls) consistono in una serie di gabbie (box) in legno, cls prefabbricato o acciaio poste l'una sull'altra a formare un reticolo spaziale che viene riempito di materiale drenante. Gli interspazi fra una gabbia e l'altra possono essere piantumati con vegetazione adatta che consente a queste strutture di inserirsi bene nel paesaggio circostante.



MURI IN TERRA ARMATA/RINFORZATA

Sono costituiti da strati di terreno compattato con interposizione elementi di rinforzo che posso essere barre metalliche (terra armata) o da griglie in materiali flessibili (terra rinforzata).

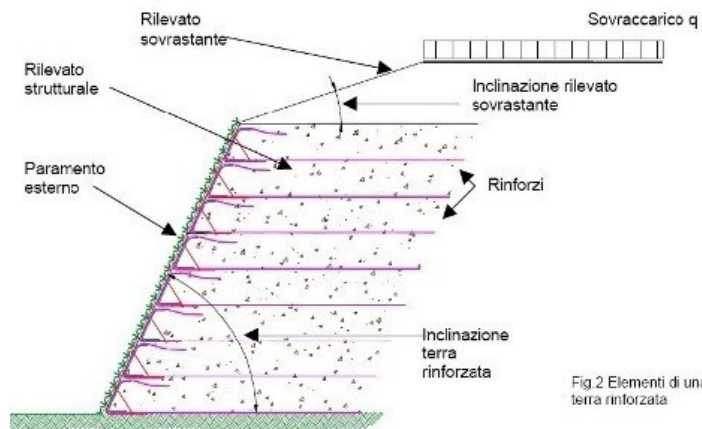
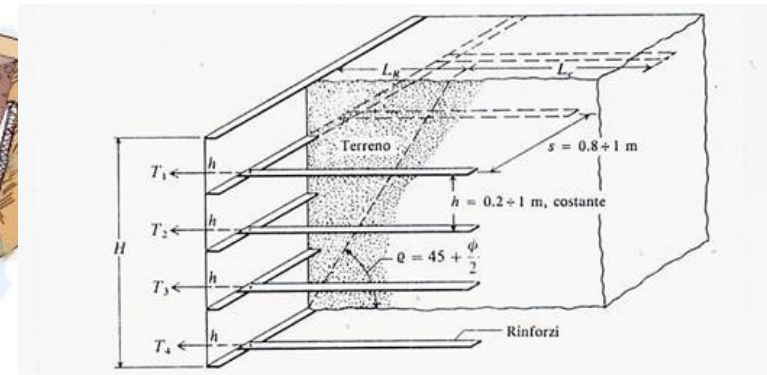
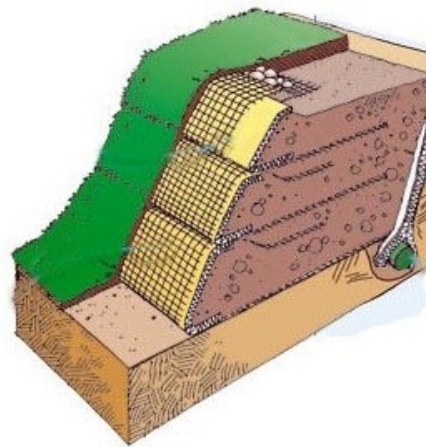
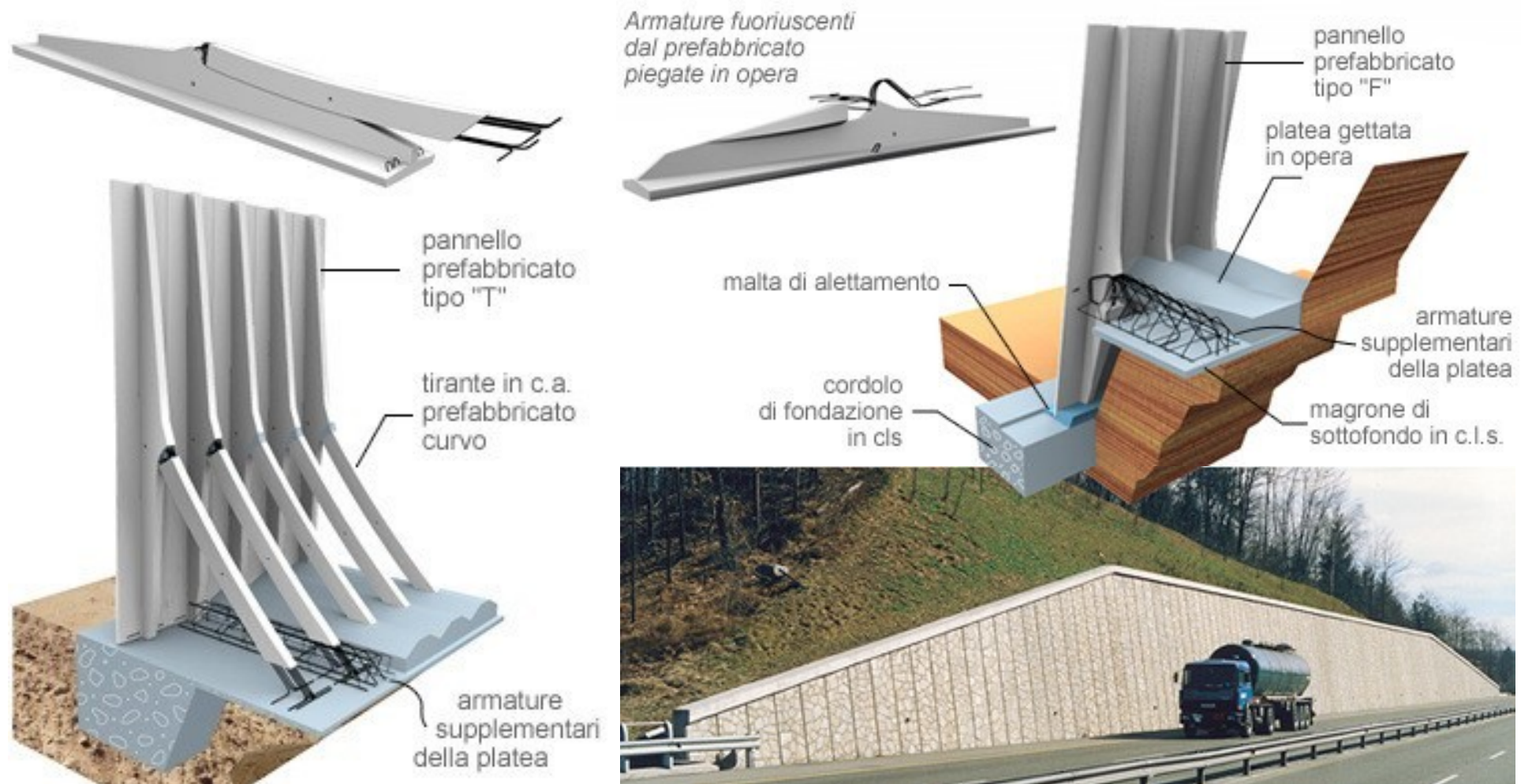


Fig.2 Elementi di una terra rinforzata



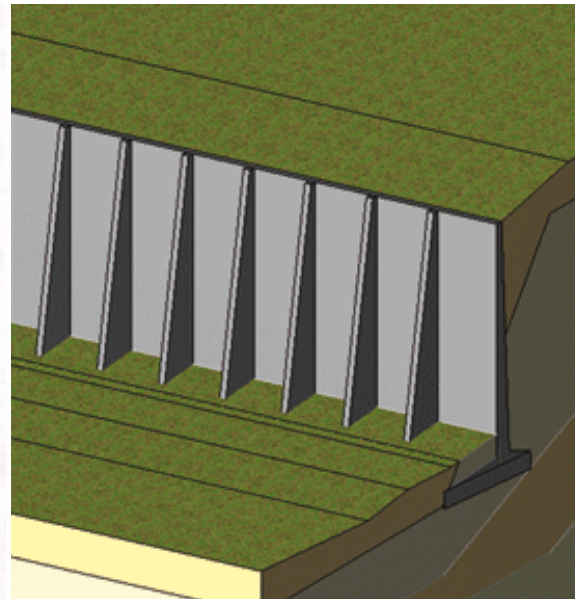
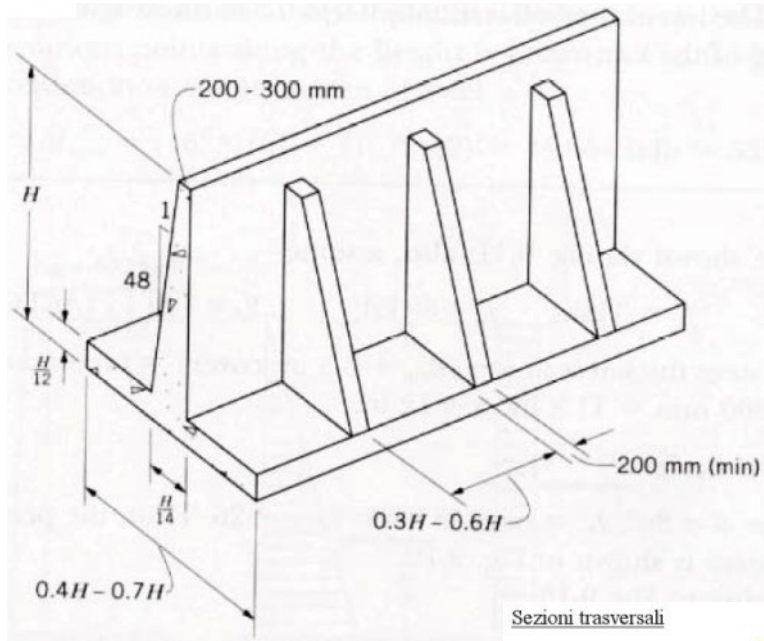
MURI PREFABBRICATI

Sono costituiti da una successione di pannelli modulari (larghezza: 1.25 - 2.50 m) a tutta altezza, provvisti dalla parte del terrapieno di una costola di irrigidimento che si estende dalla base alla cima. Essi sono posati su un cordolo di fondazione preventivamente gettato in opera e successivamente ancorati mediante il getto di una platea stabilizzatrice in cemento armato che a opera compiuta risulta sotto il terrapieno.

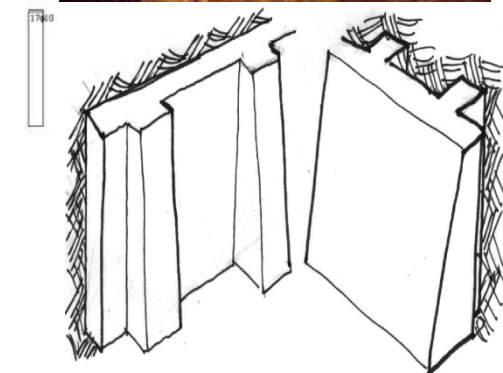
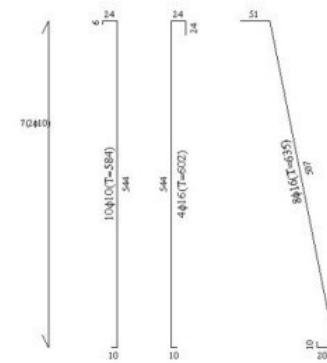
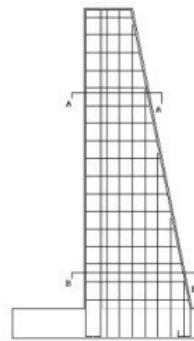
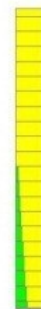
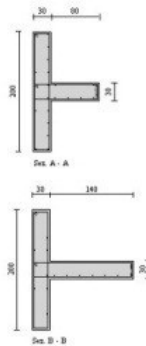
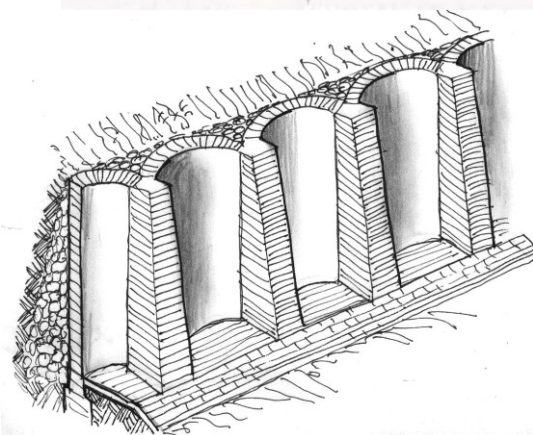


MURI CON CONTRAFFORTI

Per altezze elevate, anche in relazione all'intensità del sovraccarico sul terrapieno, si può ricorrere all'uso di contrafforti, costituiti da setti verticali, disposti perpendicolarmente al paramento, esternamente o internamente, con funzione di rinforzo.



Sezioni trasversali

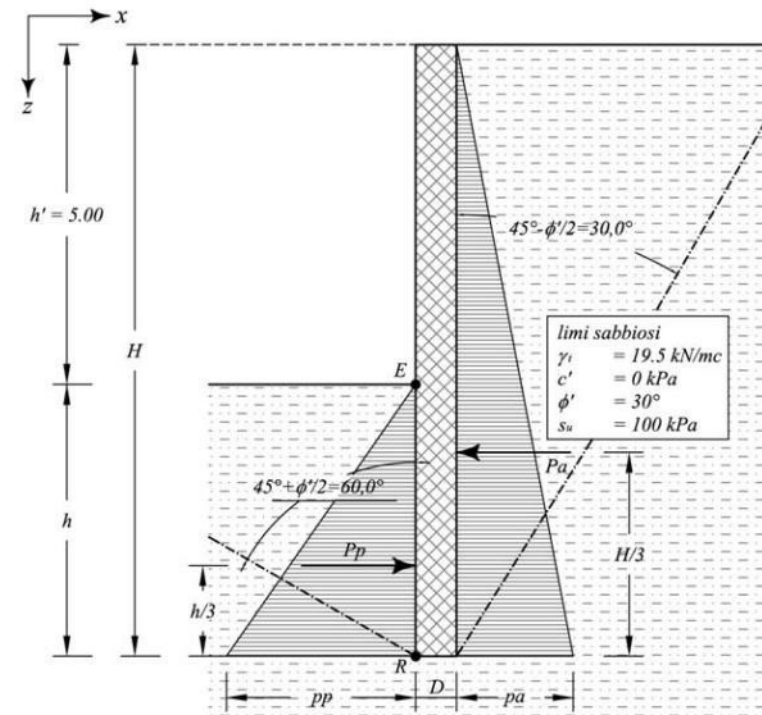


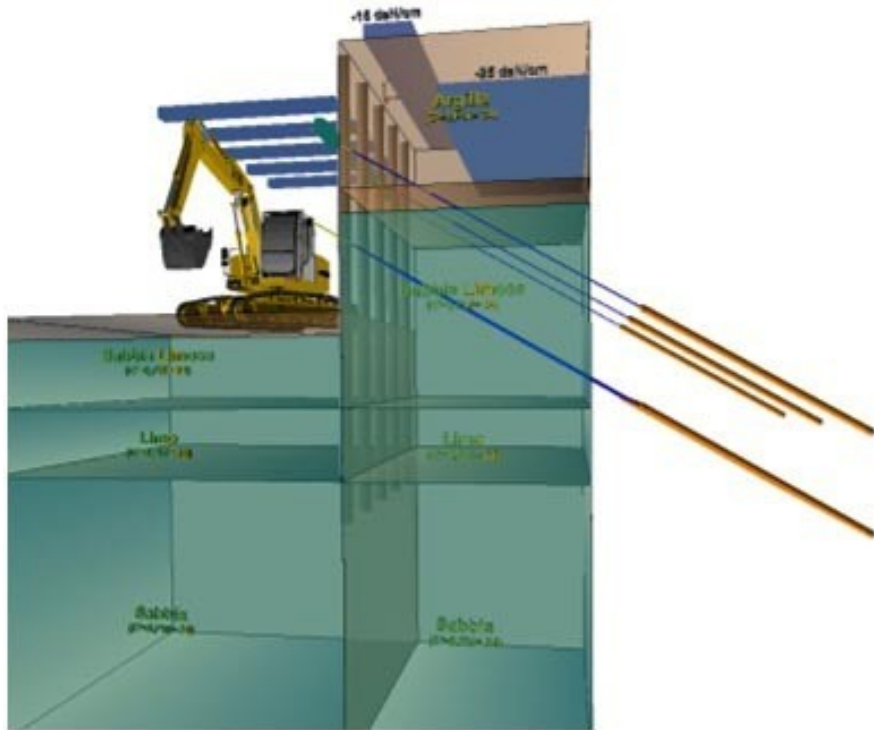
PARATIE

Le paratie sono delle opere di sostegno verticali, dotate di grande snellezza ($H \gg D$) e flessibilità. Possono essere realizzate mediante dei diaframmi continui in c.a., palancole metalliche, pali o micropali accostati. Si realizzano mediante trivellazione, infissione, scavo mediante idrofresa o benna mordente. Successivamente viene effettuato lo scavo di sbancamento a valle dell'opera fino alla profondità di progetto. La paratia presenta un tratto di infissione, al di sotto del piano di sbancamento, che è fondamentale per l'equilibrio dell'opera basato sul bilanciamento fra la spinta attiva del terreno di monte e la reazione (spinta passiva) del terreno di valle. Per altezze superiori a 5.00-6.00 m, ed in funzione della tipologia strutturale utilizzata, occorre vincolare la struttura, lungo la sua altezza di scavo, mediante ancoraggi.



Paratia tirantata di micropali





Paratia di pali accostati



Paratia in diaframmi continui ancorati



Paratia in palancole metalliche