

### Approccio vecchia Normativa Italiana:

- Coefficiente globale di sicurezza (per la Geotecnica)
- Tensioni ammissibili (per le Strutture)

### Esempio fondazione nastriforme con carico centrato:

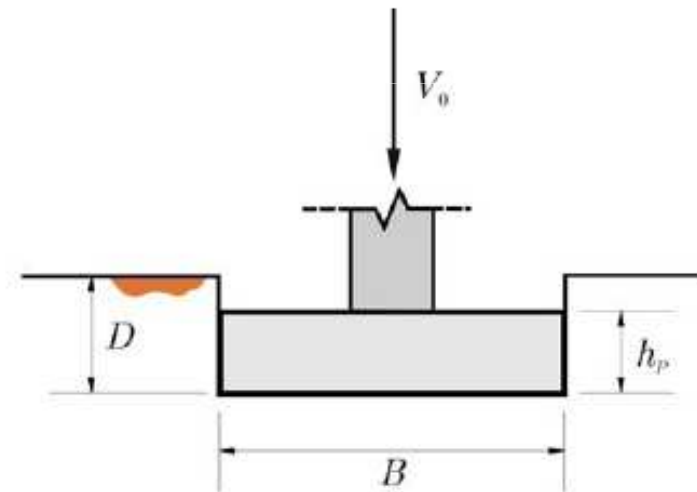
DM 11 marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii ...  
"Il carico ammissibile deve essere fissato come un'aliquota del carico limite. Il coefficiente di sicurezza non deve essere inferiore a 3."

Coefficiente globale di sicurezza:  $F := \frac{q_F}{q_{ve}} \geq 3$

$$q_{ve} = \frac{V}{BL} = \frac{V_0 + W_p}{BL}$$

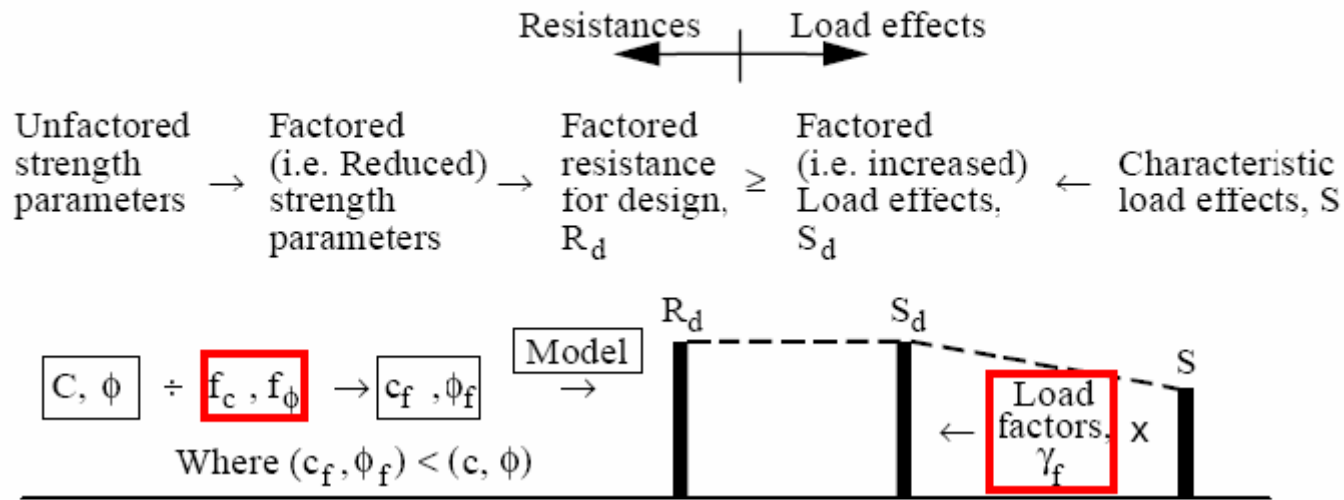
$$q_F = c_o N_o + \gamma D N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

$$N_o = N_c(\phi) \quad N_q = N_q(\phi) \quad N_\gamma = N_\gamma(\phi)$$

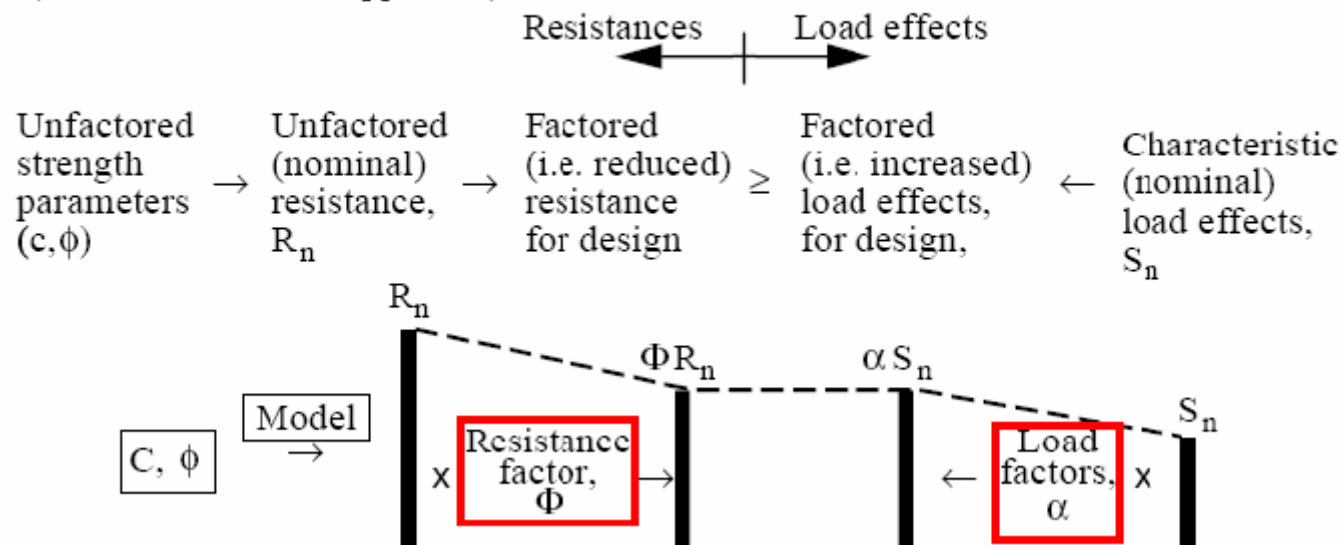


# APPROCCI ALTERNATIVI

European approach:  
(factored strength approach)



North American approach:  
(factored resistance approach)



## Principi fondamentali

Le opere geotecniche, come le opere e gli elementi strutturali, devono essere progettate in modo da resistere, con un adeguato margine di sicurezza, alle azioni ad esse applicate.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli **stati limite** che si possono verificare durante la vita nominale.

**Stato limite** è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

Le opere e le varie tipologie strutturali devono soddisfare i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (**SLU**): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (**SLE**): tutti i requisiti atti a garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno **stato limite ultimo** ha carattere irreversibile e si definisce **collasso**.

Il superamento di uno **stato limite di esercizio** può avere carattere reversibile o irreversibile.

---

### Valutazione della sicurezza

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si ottiene con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

$R_d$  è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto  $R_{di} = R_{ki} / \gamma_{Mi}$  della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto  $F_{dj} = F_{kj} \cdot \gamma_{Fj}$  delle azioni

I coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Mi}$  e  $\gamma_{Fj}$ , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, coprono la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale

### Classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo

- a) permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:
- peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1);
  - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2);
  - spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
  - pretensione e precompressione (P);
  - ritiro e viscosità;
  - spostamenti differenziali;
- b) variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
- di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
  - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- c) eccezionali (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura;
- incendi;
  - esplosioni;
  - urti ed impatti;
- d) sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

### Stati limite ultimi

Nelle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido: EQU
- lo stato limite di resistenza della struttura **compresi gli elementi di fondazione**: STR
- lo stato limite di resistenza del terreno: GEO

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite strutturali (STR) e geotecnici (GEO) si possono adottare, in alternativa, due diversi approcci progettuali.

Nell'**Approccio 1** si impiegano **due** diverse **combinazioni** di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale del sistema (R).

- Combinazione 1: per le azioni si impiegano i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A1
- Combinazione 2: per le azioni si impiegano i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A2.

Nell'**Approccio 2** si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le Azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale (R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A1.

### Stati limite ultimi

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il **valore di progetto** dell'azione o dell'effetto dell'azione

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

e  $R_d$  è il **valore di progetto** della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

$\gamma_F F_k$  azioni di progetto

$\frac{X_k}{\gamma_M}$  parametri geotecnici di progetto

$a_d$  geometria di progetto

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (**A1** e **A2**), per i parametri geotecnici (**M1** e **M2**) e per le resistenze (**R1**, **R2** e **R3**).

## Azioni SLU

Coefficienti parziali per le azioni,  $\gamma_F$

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_F$	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti (strutturali)	Favorevole	$\gamma_{G1}$	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,3	1,0
Permanenti portati <sup>(1)</sup> (non strutturali)	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti e non variabili nel tempo, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

**N.B.** Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.



## Resistenze SLU

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella successiva tabella e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno,  $\gamma_M$



PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{nk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**N.B.** I coefficienti parziali  $\gamma_R$  sono specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

### Verifiche agli stati limite ultimi (SLU)

Le fondazioni superficiali devono essere verificate almeno con riferimento a meccanismi di **rottura per carico limite** e **scorrimento**.

Deve essere seguito almeno uno dei due approcci:

Approccio 1:   - Combinazione 1: (A1+M1+R1)  
- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

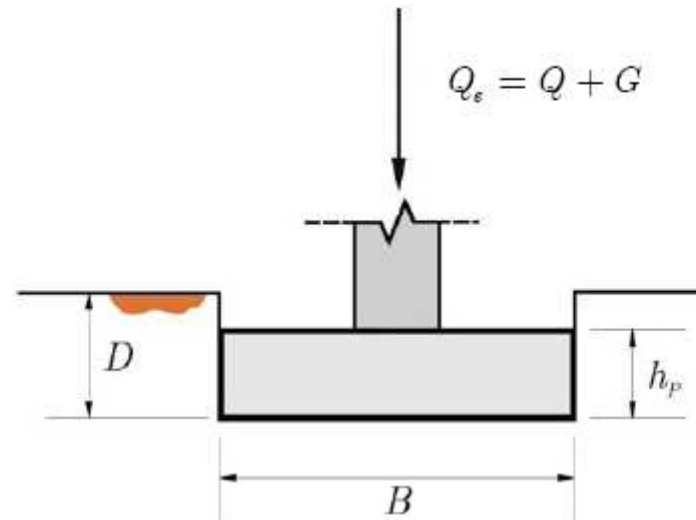
Approccio 2:  (A1+M1+R3)

**N.B.** Nelle verifiche effettuate con l'Approccio 1, devono essere prese in considerazione entrambe le combinazioni.

Coefficienti parziali,  $\gamma_R$  per le verifiche SLU di fondazioni superficiali

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Verifiche di stabilità (DM88)



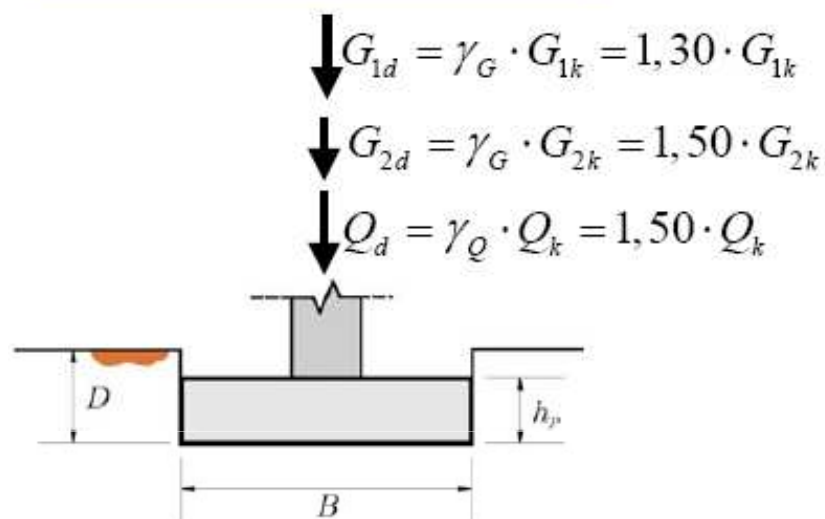
$$Q_{lim} = Q_{lim}(c', \phi', \gamma, B, L, \dots)$$

Verifica di stabilità

$$\frac{Q_{lim}}{Q_g} \geq F_s$$

Verifiche di stabilità (nuova normativa)

Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1)



$$\begin{aligned}
 &tg(\varphi_d) = tg(\varphi_k) \\
 &c'_d = c'_k \\
 &c_{ud} = c_{uk}
 \end{aligned}$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = \frac{R_k}{1}$$

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti (strutturali)	Favorevole	$\gamma_r$	1,0	1,0
	Sfavorevole	$\gamma_{G1}$	1,3	1,0
Permanenti portati <sup>(1)</sup> (non strutturali)	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

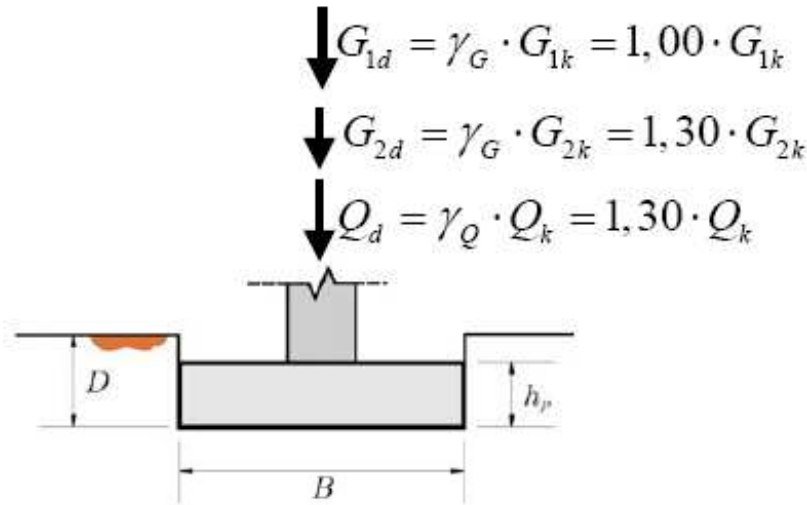
(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti e non variabili nel tempo, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coestione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_s$	1,0	1,0

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Verifiche di stabilità (nuova normativa)

Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2)



$$tg(\varphi_d) = \frac{tg(\varphi_k)}{\gamma_\varphi} = \frac{tg(\varphi_k)}{1,25}$$

$$c'_d = \frac{c'_k}{\gamma_c} = \frac{c'_k}{1,25}$$

$$c_{ud} = \frac{c_{uk}}{\gamma_{cu}} = \frac{c_{uk}}{1,40}$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = \frac{R_k}{1,80}$$

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma$	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti (strutturali)	Favorevole	$\gamma_{G1}$	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,3	1,0
Permanenti portati <sup>(1)</sup> (non strutturali)	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

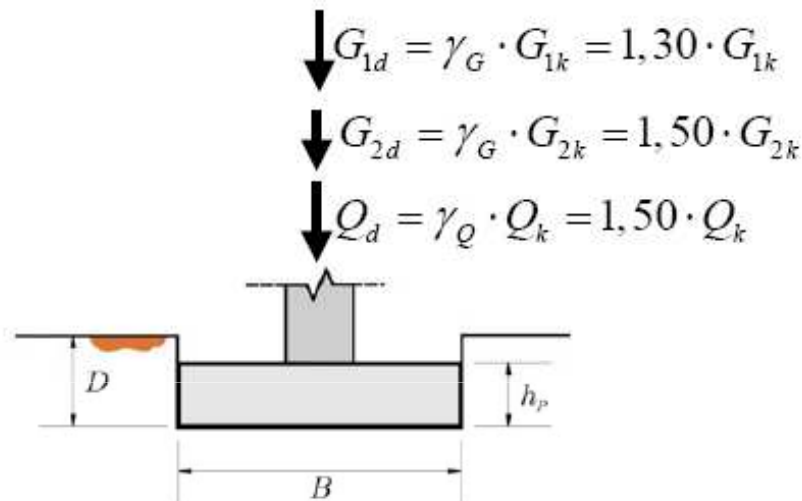
(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti e non variabili nel tempo, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Costante efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_s$	1,0	1,0

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Verifiche di stabilità (nuova normativa)

Approccio 2 - (A1+M1+R3)



$$\begin{aligned}
 & \text{tg}(\varphi_d) = \text{tg}(\varphi_k) \\
 & c'_d = c'_k \\
 & c_{ud} = c_{uk}
 \end{aligned}$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = \frac{R_k}{2,30}$$

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_F$	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti (strutturali)	Favorevole	$\gamma_{G1}$	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,3	1,0
Permanenti portati <sup>(1)</sup> (non strutturali)	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano completamente definiti e non variabili nel tempo, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coestione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{dk}$	$\gamma_{ca}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_s$	1,0	1,0

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$