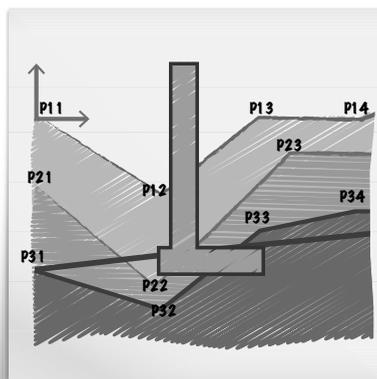


Gianni Michele De Gaetanis

# MURI DI SOSTEGNO

**METODO DEL CUNEO DI TENTATIVO, CON LE MODIFICHE  
DEL METODO MONOBE-OKABE, E METODO DI FELLIENUS**

AGGIORNATO AL D.M. 14 GENNAIO 2008 (NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI)  
E RELATIVE CIRCOLARI ESPLICATIVE



## SOFTWARE INCLUSO

DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI SOSTEGNO

**Glossario** (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti),  
**Test iniziale** (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)



GRAFILL

Gianni Michele De Gaetanis

**MURI DI SOSTEGNO**

ISBN 13 978-88-8207-530-9

EAN 9 788882 075309

Manuali, 149

Prima edizione, gennaio 2014

De Gaetanis, Gianni Michele <1970->

Muri di sostegno / Gianni Michele De Gaetanis. – Palermo : Grafill, 2014.

(Manuali ; 149)

ISBN 978-88-8207-530-9

1. Muri di sostegno

624.16 CDD-22

SBN Pal0258226

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

*L'Autore dedica questa pubblicazione ai suoi cari*

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail [grafill@grafill.it](mailto:grafill@grafill.it)

Finito di stampare nel mese di gennaio 2014

presso **Tipolitografia Luxograph S.r.l.** Piazza Bartolomeo Da Messina, 2/e – 90142 Palermo

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

<b>PREFAZIONE</b> .....	p.	9
<b>INDICE ANALITICO</b> .....	“	11
<b>SIMBOLI UTILIZZATI</b> .....	“	13
<b>MURI, GEOMETRIA E ASPETTI TECNOLOGICI</b> .....	“	29
Introduzione.....	“	31
Geometria del muro di sostegno.....	“	33
Suola di fondazione.....	“	33
Dente di fondazione.....	“	35
Fusto o parete.....	“	35
Mensola.....	“	36
Contrafforti.....	“	36
Soluzioni tecniche relative ai rinterri.....	“	38
Aspetti introduttivi.....	“	38
Drenaggio.....	“	38
Rinterro.....	“	41
<b>CARATTERISTICHE DELLE TERRE</b> .....	“	43
Introduzione.....	“	45
Generalità.....	“	45
Nota teorica: il cerchio di Mohr .....	“	45
Classificazione delle terre.....	“	52
Definizione di terra.....	“	52
Classificazione granulometrica.....	“	53
Caratteristiche fisiche delle terre.....	“	55
Parametri meccanici delle terre.....	“	57
Angolo di attrito interno.....	“	57
Coesione.....	“	57
Compressibilità.....	“	58
Caratteristiche meccaniche delle terre.....	“	58
Legge di Mohr-Coulomb.....	“	58
Principio delle tensioni efficaci.....	“	61
Condizioni drenate e non drenate.....	“	64
Tensioni litostatiche.....	“	66
Stato tensionale assial-simmetrico.....	“	66
Studio generale.....	“	66
Terre stratificate e in falda.....	“	68
Coefficiente di spinta a riposo $K_0$ .....	“	72
Criteri generali di studio.....	“	72
Stato tensionale rispetto ad una generica giacitura.....	“	72
Resistenza locale: spinte.....	“	77
Influenza della coesione.....	“	79
Riferimenti normativi e bibliografici.....	“	81
<b>SPINTA DELLE TERRE</b> .....	“	83
Introduzione.....	“	85

Primi elementi.....	p.	85
Teoria di Rankine.....	“	87
Analisi introduttiva.....	“	87
Caso incoerente.....	“	92
Caso coerente.....	“	99
Teoria di Coulomb.....	“	101
Terre non coesive.....	“	101
Spinta attiva.....	“	101
Spinta passiva.....	“	107
Tensioni sulla scarpa interna del muro.....	“	108
Terre coesive.....	“	110
Spinta attiva.....	“	110
Spinta passiva.....	“	112
Metodi grafici e numerici.....	“	113
Generalità.....	“	113
Soluzione di Culmann.....	“	113
Caso incoerente.....	“	113
Caso coerente.....	“	119
Soluzione di Engesser: spinta attiva e passiva..	“	125
Metodo del cuneo di tentativo.....	“	128
Casi di studio con il metodo di Coulomb.....	“	132
Caso incoerente.....	“	132
Tensione sul muro senza carico sul terrapieno.....	“	132
Tensione sul muro con carico sul terrapieno.	“	134
Tensione con carico lungo una linea parallela al ciglio del terrapieno.....	“	137
Tensione con carico uniformemente distribuito su un'area del terrapieno.....	“	140
Tensione in presenza di falda.....	“	141
Spinte di terreni stratificati.....	“	144
Terreno con doppia stratificazione.....	“	144
Generalizzazione di un terreno Stratificato.....	“	151
Determinazione della distribuzione di tensioni associate alle spinte.....	“	152
Caso coerente.....	“	154
Approccio sismico.....	“	155
Premessa.....	“	155
Metodo Mononobe-Okabe.....	“	155
Terre incoerenti: spinta attiva a passiva.....	“	155
Presenza di falda.....	“	162
Metodo del cuneo di tentativo applicando il metodo MO.....	“	163
Terre incoerenti.....	“	163
Terre coerenti.....	“	167
Casi di studio: cenni.....	“	167
Riferimenti normativi e bibliografici.....	“	170

<b>CAPACITÀ PORTANTE</b> .....	p.	173
Capacità portante.....	“	175
Introduzione.....	“	175
Criteri generali di studio.....	“	175
Rottura generale non sismica.....	“	177
Formula di Terzaghi.....	“	177
Formula di Meyerhof.....	“	179
Formula di Hansen.....	“	182
Formula di Vesic.....	“	187
Stratificazioni.....	“	189
Terreni dotati di sola coesione.....	“	190
Terreni dotati di attrito e coesione.....	“	191
Influenza delle azioni sul terreno.....	“	192
Influenza della falda.....	“	192
Falda inferiore al cuneo.....	“	192
Falda intersecante il cuneo.....	“	193
Falda superiore al cuneo.....	“	195
Rottura generale sismica.....	“	196
Introduzione.....	“	196
Formula di Paolucci e Pecker.....	“	197
Formula di Maugeri e Novità.....	“	198
Approccio secondo l'EC8.....	“	199
Riferimenti normativi e bibliografici.....	“	202
 <b>VERIFICHE DI STABILITÀ E PROGETTO DEL MURO</b> ..	“	203
Elementi di calcolo.....	“	205
Introduzione.....	“	205
Azioni e loro identificazione.....	“	205
Verifiche di stabilità statiche.....	“	208
Verifiche a scorrimento.....	“	208
Suole di fondazione senza dente.....	“	209
Suole di fondazione con dente.....	“	212
Verifiche a ribaltamento.....	“	216
Verifiche a capacità portante.....	“	219
Verifiche a stabilità globale.....	“	220
Introduzione.....	“	220
Metodo delle strisce o dei conci.....	“	221
Metodo di Fellenius.....	“	224
Metodo di Bishop semplificato.....	“	225
Verifiche di stabilità sismiche.....	“	227
Verifiche a scorrimento.....	“	227
Verifiche a ribaltamento.....	“	229
Verifiche a capacità portante.....	“	231
Verifiche a stabilità globale.....	“	232
Metodo delle strisce o dei conci.....	“	232
Metodo di Fellenius.....	“	235
Metodo di Bishop semplificato.....	“	236
Progetto strutturale.....	“	237

Progetto del fusto.....	p.	237
Progetto della suola di fondazione.....	“	240
Riferimenti normativi e bibliografici.....	“	242
<b>STATI LIMITE</b> .....	“	243
Principi generali.....	“	245
Introduzione.....	“	245
Metodi di calcolo.....	“	245
Definizione di stato limite.....	“	246
Definizione di vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento.....	“	247
Definizione di durabilità.....	“	249
Sicurezza.....	“	249
Stato limite applicato alle opere di sostegno.....	“	250
Tematiche generali.....	“	250
Stato limite non sismico.....	“	250
Stato limite sismico.....	“	250
Combinazioni delle azioni.....	“	252
Verifiche agli SLU.....	“	253
Verifiche agli SLE/SLS.....	“	257
Casi di verifica.....	“	258
Impostazione generale.....	“	258
Verifica della sicurezza.....	“	258
Valutazione dell'azione sismica.....	“	259
Analisi.....	“	259
Metodo pseudo-statico.....	“	260
Parametri di progetto delle terre e verifiche.....	“	264
SLU sismici e non sismici.....	“	264
Verifiche.....	“	266
Riferimenti normativi e bibliografici.....	“	268
<b>ESEMPI APPLICATIVI</b> .....	“	269
Introduzione.....	“	271
Esempio 1. Determinazione delle tensioni litostatiche in un terreno stratificato in falda.....	“	271
Esempio 2. Determinazione delle tensioni attiva e passiva.....	“	278
Esempio 3. Calcolo della spinta attiva e passiva secondo Rankine.....	“	283
Esempio 4. Calcolo della spinta attiva e passiva secondo Coulomb.....	“	292
Esempio 5. Calcolo della spinta attiva e passiva, in presenza di falda, secondo Coulomb.....	“	294
Esempio 6. Calcolo della spinta attiva e passiva, utilizzando il metodo del cuneo di tentativo.....	“	298
Esempio 7. Calcolo della spinta attiva e passiva di un terreno a doppia stratificazione, variamente caricato.....	“	302

---

Esempio 8. Calcolo della capacità portante di un terreno con profilo orizzontale piano.....	p.	309
Esempio 9. Calcolo della capacità portante di un terreno con profilo piano inclinato e su piano di posa inclinato.....	“	314
Esempio 10. Verifiche allo SLU di un muro di sostegno a fusto verticale e fondazione orizzontale.....	“	319
Esempio 11. Calcolo dei coefficienti sismici orizzontale e verticale.....	“	367
<b>INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO.....</b>	“	375
Requisiti minimi hardware e software.....	“	377
Download del software e richiesta della password di attivazione.....	“	377
Installazione e attivazione del software.....	“	378
<b>MANUALE D’USO DEL SOFTWARE OSO.....</b>	“	381
Introduzione al software.....	“	383
Utilizzo del software.....	“	383
Tasti ad accesso rapido.....	“	384
Menu a tendina.....	“	384
Menu “Gestione Archivi”.....	“	384
Menu “Calcola”.....	“	389
Menu “Stampa”.....	“	400
Menu “informazioni”.....	“	401
Esempi di stampa.....	“	401
<b>LICENZA D’USO DEL SOFTWARE.....</b>	“	423
<b>DOWNLOAD DEL SOFTWARE E RICHIESTA DELLA PASSWORD DI ATTIVAZIONE.....</b>	“	424



Le NTC hanno introdotto, relativamente alle opere di sostegno, importanti innovazioni di progettazione, calcolo ed analisi.

Se, da un lato, in termini di analisi generale, gli stati limite vengono introdotti in Italia con il D.M. 9 gennaio 1996, dall'altro, per le opere di sostegno, non vi sono sostanziali modifiche del quadro tecnico fino alle NTC.

In relazione al nuovo assetto normativo ed alle esigenze di chiarezza degli elementi di analisi, il testo analizza i diversi aspetti della progettazione e dello studio di un'opera di sostegno.

Sono considerati e analizzati separatamente almeno quattro elementi fondamentali: analisi delle sollecitazioni agli SL, spinta delle terre, progettazione geotecnica e progettazione strutturale.

Il testo, pur con limitati richiami storici, si basa sui metodi classici di analisi. Tali soluzioni, quali il metodo di Coulomb, il metodo del cuneo di tentativo, il metodo M-O, etc., ormai comprovate e consolidate nella letteratura tecnica e nelle diverse norme internazionali, offrono una sicurezza nello studio e nell'analisi e, sotto certi aspetti, una relativa semplicità di applicazione.

Il testo ha l'obiettivo di delineare un quadro organico ed esaustivo dei criteri di progettazione delle opere di sostegno. Suddiviso per argomenti tematici, il testo definisce, limitatamente alle applicazioni di interesse, un quadro teorico e pratico completo dei casi di interesse.

Quale momento applicativo delle note teoriche, il testo contiene un capitolo dedicato alle applicazioni pratiche. Con l'obiettivo di evidenziare i vari aspetti della progettazione, gli esempi sono proposti secondo un grado di complessità via via crescente.

Infine occorre precisare due elementi.

Il primo è relativo al quadro normativo delle NTC che, per l'analisi in questione, è completato dalle circolari esplicative ed in particolare dalla Circolare Ministeriale n. 617 del 2 febbraio 2009.

Il secondo riguarda il software allegato per il dimensionamento delle opere di sostegno, le cui soluzioni e risultanze numeriche rispecchiano quelle che sono le più comuni esigenze tecniche legate alla progettazione di tali opere.

*Gennaio 2014*



**A**

Angolo di attrito interno..... p. 57

**C**

Capacità portante..... “ 175  
 Caratteristiche fisiche delle terre..... “ 55  
 Caratteristiche meccaniche delle terre..... “ 58  
 Cerchio di Mohr ..... “ 45  
 Classificazione delle terre..... “ 52  
 Classificazione granulometrica..... “ 53  
 Coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ ..... “ 72  
 Coesione..... “ 57  
 Combinazioni delle azioni..... “ 252  
 Compressibilità..... “ 58  
 Condizioni drenate e non drenate..... “ 64  
 Contrafforti..... “ 36

**D**

Definizione di durabilità..... “ 249  
 Definizione di stato limite..... “ 246  
 Definizione di terra..... “ 52  
 Definizione di vita nominale..... “ 247  
 Definizione di classe d’uso..... “ 247  
 Dente di fondazione..... “ 35  
 Drenaggio..... “ 38

**F**

Formula di Hansen..... “ 182  
 Formula di Maugeri e Novità..... “ 198  
 Formula di Meyerhof..... “ 179  
 Formula di Paolucci e Pecker..... “ 197  
 Formula di Terzaghi..... “ 177  
 Formula di Vesić..... “ 187  
 Formulazione secondo EC8..... “ 199  
 Fusto..... “ 35

**G**

Geometria del muro di sostegno..... “ 33

**L**

Legge di Mohr-Coulomb..... “ 58

**M**

Mensola..... “ 36  
 Metodi grafici..... “ 113  
 Metodo del cuneo di tentativo..... “ 128  
 Metodo delle strisce o dei conchi (sismico)..... “ 232  
 Metodo delle strisce o dei conchi (statico)..... “ 221

Metodo di Bishop semplificato (sismico).....	p.	236
Metodo di Bishop semplificato (statico).....	“	225
Metodo di Fellenius (sismico).....	“	235
Metodo di Fellenius (statico).....	“	224
Metodo Mononobe-Okabe.....	“	155
Metodo pseudo-statico.....	“	155
<b>P</b>		
Parete.....	“	35
Parametri meccanici delle terre.....	“	57
Principio delle tensioni efficaci.....	“	61
Progetto strutturale.....	“	237
<b>R</b>		
Rinterro.....	“	41
Rottura generale non sismica.....	“	177
Rottura generale sismica.....	“	196
<b>S</b>		
Soluzione di Culmann.....	“	113
Soluzione di Engesser: spinta attiva e passiva.....	“	125
Stato limite non sismico.....	“	250
Stato limite sismico.....	“	250
Suola di fondazione.....	“	33
<b>T</b>		
Tensioni litostatiche.....	“	66
Teoria di Coulomb.....	“	101
Teoria di Rankine.....	“	87
<b>V</b>		
Valutazione dell'azione sismica.....	“	259
Verifica della sicurezza.....	“	258
Verifiche agli SLE/SLS.....	“	257
Verifiche agli SLU.....	“	253
Verifiche di stabilità sismiche.....	“	227
Verifiche di stabilità statiche.....	“	208

---

**$\alpha$**

- $\alpha$
- rotazione di un riferimento cartesiano rispetto ad un altro
  - esponente di OCR nel calcolo del coefficiente di spinta a riposo  $K_0$
  - inclinazione della tensione normale  $\sigma_n$  rispetto alla normale alla giacitura
  - inclinazione della scarpa interna di un muro rispetto all'orizzontale

$\alpha_f$  angolo di inclinazione di una fondazione rispetto all'orizzontale

$\alpha_i$  Inclinazione della superficie di base della striscia i-esima

**$\beta$**

- $\beta$
- inclinazione della risultante rispetto alla verticale di una giacitura
  - inclinazione di un terrapieno rispetto all'orizzontale

$\beta'$  angolo di calcolo

$\beta_m$  fattore di calcolo dei coefficienti sismici

**$\chi$**

$\chi$  angolo di calcolo

**$\delta, \Delta$**

$\delta$  angolo di attrito terra-muro (adesione)

$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  angolo di adesione dello strato 1, 2, ... , n

$\Delta P_{a,E}$  incremento di spinta attiva dovuto all'azione sismica

$\Delta Z_i$  altezza dello strato i-esimo

**$\epsilon$**

$\epsilon$  angolo fra i vettori forza  $C$  e  $C_{t,i}$

$\epsilon_1, \epsilon_2$  angoli di calcolo

### $\gamma$

$\gamma_{H_2O}$	peso specifico dell'acqua
$\gamma$	peso specifico totale dell'unità di volume o peso umido
$\gamma_v$	coefficiente parziale per l'angolo di attrito interno
$\gamma_r$	coefficiente parziale per il peso specifico di una terra
$\gamma_b$	peso del volume sommerso
$\gamma_c$	coefficiente parziale per la coesione efficace
$\gamma_{cu}$	coefficiente parziale per la coesione non drenata
$\gamma_d$	<ul style="list-style-type: none"><li>• peso del volume secco</li><li>• peso specifico di progetto di una terra</li></ul>
$\gamma_F$	coefficiente parziale di sicurezza associato alle azioni (indica i tre differenti coefficienti: $\gamma_{G1}$ , $\gamma_{G2}$ e $\gamma_{Qi}$ )
$\gamma_{G1}$	<ul style="list-style-type: none"><li>• coefficiente parziale del peso proprio della struttura</li><li>• coefficiente parziale del peso proprio del terreno e dell'acqua</li></ul>
$\gamma_{G2}$	coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali
$\gamma_{Gi}$	coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi strutturali e non strutturali
$\gamma_i$	peso specifico della terra inferiormente ad un'opera di fondazione solido
$\gamma_i$	peso specifico totale dell'unità di volume o peso umido dello strato i-esimo
$\gamma_m$	peso specifico medio
$\gamma_P$	coefficiente parziale della precompressione
$\gamma_{Q1}$	coefficiente parziale dell'azione variabile dominante
$\gamma_{Qi}$	coefficiente parziale delle azioni variabili
$\gamma_{qu}$	coefficiente parziale per la resistenza delle rocce
$\gamma_R$	coefficiente parziale di sicurezza associato alla resistenza del sistema geotecnico
$\gamma_s$	peso specifico della terra superiormente ad un'opera di fondazione solido
$\gamma_S$	peso specifico del solido
$\gamma_{sat}$	peso del volume saturo

**$\varphi$**

$\varphi$	angolo di attrito interno di una terra
$\varphi'$	angolo di attrito interno efficace di una terra
$\varphi_1,$ $\varphi_2, \dots, \varphi_n$	angolo di attrito interno dello strato 1, 2, ... , n
$\varphi_d$	angolo di attrito interno di progetto
$\varphi_i$	angolo di attrito interno della terra della superficie di base della striscia i-esima
$\varphi_m$	angolo di attrito interno medio di un terreno stratificato

**$\theta$**

$\theta$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• inclinazione della normale n ad una giacitura rispetto all'asse X (orizzontale)</li> <li>• angolo di deflessione dell'accelerazione di gravità rispetto alla verticale</li> <li>• inclinazione di un carico rispetto alla normale da una opera di fondazione</li> </ul>
$\theta_{\pm}$	angolo di deflessione dell'accelerazione di gravità rispetto alla verticale calcolato per $k_+$ e $k_-$
$\theta'$	inclinazione della risultante delle forze di inerzia rispetto alla verticale

**$\pi$**

$\pi$	giacitura
-------	-----------

**$\rho$**

$\rho$	angolo del piano di scorrimento rispetto all'orizzontale
$\rho_1,$ $\rho_2, \dots, \rho_n$	angolo del piano di scorrimento rispetto all'orizzontale dello strato 1, 2, ... , n
$\rho_c$	angolo del piano di scorrimento rispetto all'orizzontale in condizioni sismiche
$\rho_i$	angolo i-esimo del piano di scorrimento rispetto all'orizzontale

**$\sigma$**

$\sigma, \sigma^*$	tensione
$\sigma'$	tensione efficace

## MURI DI SOSTEGNO

---

$\sigma'_{h0}$	tensione efficace orizzontale in condizioni iniziali
$\sigma'_{v0}$	tensione efficace verticale in condizioni iniziali (litostatiche o geostatiche)
$\sigma_1, \sigma_2,$ $\sigma_3$	tensione principale
$\sigma_{3,a}$	tensione attiva (principale)
$\sigma_{3,i}$	tensione principale i-esima lungo la direzione X
$\sigma_a$	tensione attiva
$\sigma_a(h)$	tensione attiva al piede dell'opera di sostegno
$\sigma_a(z)$	tensione attiva alla profondità z
$\sigma_{h0}$	tensione orizzontale in condizioni iniziali
$\sigma_n$	tensione normale ad una giacitura
$\sigma_p$	tensione passiva
$\sigma_{v0}$	stato tensionale (verticale) litostatico o geostatico
$\sigma_{v0}$	tensione verticale in condizioni iniziali (litostatiche o geostatiche)
$\sigma_{v0,n}$	tensione verticale in condizioni iniziali (litostatiche o geostatiche) in corrispondenza dello strato n
$\sigma_{v0,z}$	tensione verticale in condizioni iniziali (litostatiche o geostatiche) in corrispondenza della profondità z a partire dalla quota del piano campagna (assunta quale quota)
$\sigma_x, \sigma'_x$	tensione lungo l'asse X
$\sigma_z, \sigma'_z$	tensione lungo l'asse Z
<b><math>\tau</math></b>	
$\tau, \tau', \tau^*$	tensione tangenziale
$\tau_n$	tensione tangenziale ad una giacitura
$\tau_{xz}$	tensione tangenziale relativa alla giacitura di normale X
$\tau_{zx}$	tensione tangenziale relativa alla giacitura di normale Z
<b><math>\omega</math></b>	
$\omega$	Inclinazione del piano di scorrimento di una fondazione (caso con dente)

**Σ**

$\alpha$  Inclinazione della spinta attiva/passiva rispetto alla normale alla scarpa interna del muro

**Ψ**

$\psi_{0i}$  coefficiente di combinazione delle azioni variabili rare  
 $\psi_{1i}$  coefficiente di combinazione delle azioni variabili frequenti  
 $\psi_{2i}$  coefficiente di combinazione delle azioni variabili quasi permanenti  
 $\psi_{ij}$  coefficiente di combinazione delle azioni variabili (indica i tre differenti coefficienti:  $\psi_{0i}$ ,  $\psi_{1i}$  e  $\psi_{2i}$ )

**A**

A • punto sul cerchio di Mohr  
 • area del cuneo di spinta  
 $A_{\pi}$  area della sezione identificata dal piano  $\pi$   
 $A_d$  azione di progetto eccezionale  
 $a_d$  geometria del sistema geotecnico  
 $A_f$  area equivalente di un'opera di fondazione  
 $a_g$  accelerazione orizzontale attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A  
 $a_h$  accelerazione orizzontale  
 $a_{max}$  accelerazione orizzontale massima attesa  
 $A_S$  area di contatto fra i granuli  
 $a_v$  accelerazione verticale  
 $A_W$  area della quota parte di cuneo di spinta sotto il livello della falda  
 $A_x$  punto sul cerchio di Mohr relativo allo stato tensionale sulla giacitura di normale X  
 $A_z$  punto sul cerchio di Mohr relativo allo stato tensionale sulla giacitura di normale Y

**B**

B base di un'opera di fondazione  
 $b_{\gamma}$  coefficiente/fattore di inclinazione del piano di posa dell'opera di fondazione

## MURI DI SOSTEGNO

---

$B'$	base equivalente di un'opera di fondazione
$b_c$	coefficiente/fattore di inclinazione del piano di posa dell'opera di fondazione
$b_q$	coefficiente/fattore di inclinazione del piano di posa dell'opera di fondazione

### **C**

$c$	coesione di una terra
$C$	<ul style="list-style-type: none"><li>• centro del cerchio di Mohr</li><li>• forza risultante fra adesione e coesione</li></ul>
$C'$	coesione efficace di una terra
$c'_d$	coesione efficace di progetto
$c_a$	adesione di una fondazione
$C_C$	compressibilità di una terra
$C_i$	coesione della striscia i-esima
$C_m$	forza di adesione
$c_m$	coesione media di un terreno stratificato
$c_R$	rapporto fra coesioni
$C_t$	forza di coesione
$C_{t,i}$	forza di coesione relativa alla superficie di scorrimento del cuneo i-esimo
$c_U$	coesione non drenata di una terra
$C_U$	classe d'uso di una costruzione
$c_{ud}$	resistenza non drenata di progetto

### **D**

$D$	<ul style="list-style-type: none"><li>• punto sul cerchio di Mohr</li><li>• profondità del piano di posa di una fondazione</li></ul>
$d$	addendo di calcolo della spinta attiva/passiva
$d_r$	coefficiente/fattore di profondità
$d_c$	coefficiente/fattore di profondità
$D_f$	profondità del vertice del cuneo sottofondazione
$dF_n$	cfr. $F_n$
$d_i$	spessore dello strato i-esimo di terra
$d_j$	distanza del sito dal punto del reticolo di riferimento i-esimo

$d_q$            coefficiente/fattore di profondità  
 $dx$             cfr. x

**E**

e                indice dei vuoti  
E                carico/Azione sismica  
 $E_d$            spinta ribaltante di progetto  
EQU            stato limite di equilibrio come corpo rigido  
 $E_w$            spinta idrodinamica  
 $e_x$             eccentricità lungo l'asse X  
 $e_y$             eccentricità lungo l'asse Y

**F**

F                frazione di un litotipo (fine)  
 $F_0$             valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale  
 $F_{0,i}$           valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale i-esimo  
 $F_d$             azione di progetto  
 $F_i$             forza i-esima  
 $f_i$             braccio dell'azione idrodinamica  
 $F_n$            forza su una giacitura atta ad equilibrare la forza peso di un elemento di terra  
 $F_q$             risultante su un muro di un carico lineare sul terrapieno  
FS              acronimo di fattore di sicurezza  
 $F_{w,i}$          azione idrodinamica sulla superficie i-esima di una striscia di terra

**G**

G                

- frazione di un litotipo (grossa)
- baricentro

  
g                accelerazione di gravità  
 $g_i$             coefficiente/fattore di inclinazione del terreno  
 $G_1$             carichi permanenti strutturali

## MURI DI SOSTEGNO

---

$G_2$	carichi permanenti non strutturali
$g_c$	coefficiente/fattore di inclinazione del terreno
$g_E$	vettore accelerazione di gravità deflesso dall'azione sismica
GEO	stato limite di resistenza del terreno (geotecnico)
$G_i$	baricentro del cuneo i-esimo
$G_i$	carichi permanenti
$g_q$	coefficiente/fattore di inclinazione del terreno

## H

$h$	<ul style="list-style-type: none"><li>• altezza di un elementino di terra</li><li>• proiezione verticale dell'altezza di un muro di sostegno (per <math>\alpha = \pi/2</math> <math>h</math> è l'altezza del muro)</li></ul>
H	altezza del cuneo sottofondazione
$h_{yf}$	coefficiente/fattore di scorrimento sismico
$h_{BC}$	altezza di un muro relativa al profilo del terrapieno
$h_{cf}$	coefficiente/fattore di coesione sismico
$h_E$	punto di applicazione dell'azione sismica
$h_M$	altezza di un muro misurata lungo la scarpa interna
$h_q$	distanza del punto di applicazione della forza $F_q$
$h_{qf}$	coefficiente/fattore di sovraccarico sismico
$H_W$	altezza della falda dal piede dell'opera di sostegno
$h_W$	profondità della falda rispetto alla sommità del muro

## I

$i_\gamma$	coefficiente/fattore di inclinazione
$i_c$	coefficiente/fattore di inclinazione
$i_q$	coefficiente/fattore di inclinazione

## K

$k$	permeabilità di una terra
$K_0$	coefficiente di spinta a riposo
$K_a$	coefficiente di spinta attiva
$K_{a\pm}$	coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche calcolato per $\theta_+$ e $\theta_-$ .

$k_h$	fattore di calcolo dell'azione inerziale dovuta al sisma lungo la direzione orizzontale
$K_p$	coefficiente di spinta passiva
$K_{p\pm}$	coefficiente di spinta passiva in condizioni sismiche calcolato per $\theta_+$ e $\theta_-$
$k_v$	fattore di calcolo dell'azione inerziale dovuta al sisma lungo la direzione verticale

## **L**

L	lunghezza di un'opera di fondazione
L'	lunghezza equivalente di un'opera di fondazione
LS	livello di sicurezza
LS <sub>E</sub>	livello di sicurezza in condizioni sismiche

## **M**

M	<ul style="list-style-type: none"><li>• punto sul cerchio di Mohr</li><li>• frazione di un litotipo (media)</li></ul>
M(z)	momento flettente
M <sub>d</sub>	momento di progetto
M <sub>inst</sub>	momento in stabilizzante/destabilizzante
M <sub>R</sub>	momento resistente
M <sub>stab</sub>	momento stabilizzante

## **N**

n	porosità di una terra
N	<ul style="list-style-type: none"><li>• punto sul cerchio di Mohr</li><li>• azione normale</li></ul>
N <sub>i</sub>	coefficiente di portata
N(z)	sforzo normale
N', N''	punti sul cerchio di Mohr
N <sub>c</sub>	coefficiente di portata
NC	acronimo anglosassone di normal consolidazione
N <sub>c,stra</sub>	coefficiente di portata
N <sub>D</sub>	azione normale sul dente di una fondazione
N <sub>F<sub>i</sub></sub>	componente lungo la direzione N della forza i-esima

$N_q$	coefficiente di portata
$N_S$	risultante della fase solida lungo la direzione N
$N_t$	reazione normale di una terra
$N_W$	risultante della pressione interstiziale sul piano $\pi$

### O

OCR	acronimo anglosassone di rapporto di sovraconsolidazione
-----	--

### P

P	<ul style="list-style-type: none"><li>• polo del cerchio di Mohr</li><li>• peso totale di una terra</li><li>• peso del cuneo di spinta</li><li>• peso di un elementino o di un cuneo di terra</li><li>• carico di precompressione</li></ul>
P'	simmetrico al polo del cerchio di Mohr
$P_a$	spinta attiva
$P_{a,1}$ , $P_{a,2}$ , ..., $P_{a,n}$	spinta attiva relativa allo strato 1, 2, ..., n
$P_{a,c}$	spinta attiva del caso coerente
$P_{a,E}$	spinta attiva in condizioni sismiche
$P_{a,E,X}$	componente orizzontale della spinta attiva in condizioni sismiche
$P_{a,E,Z}$	componente verticale della spinta attiva in condizioni sismiche
$P_{a,i}$	<ul style="list-style-type: none"><li>• spinta attiva del caso incoerente</li><li>• spinta attiva relativa al cuneo i-esimo</li></ul>
$P_E$	forza peso a seguito della deflessione dovuta al sisma
$P_G$	peso della frazione gassosa di una terra
$P_i$	<ul style="list-style-type: none"><li>• peso del cuneo di spinta i-esimo</li><li>• peso della striscia i-esima</li></ul>
$P_m$	peso dell'opera di sostegno
$P_p$	spinta passiva
$P_{p,E}$	spinta passiva in condizioni sismiche
$P_{p,E,X}$	componente orizzontale della spinta passiva in condizioni sismiche

$P_{p,E,Z}$	componente verticale della spinta passiva in condizioni sismiche
$P_S$	peso della frazione solida di una terra
$P_{som}$	peso del volume sommerso
$P_{tm}$	peso della terra a monte dell'opera di sostegno
$P_{tv}$	peso della terra a valle dell'opera di sostegno
$P_{umido}$	peso del volume umido
$P_V$	peso dei vuoti
$P_{V_R}$	probabilità di superamento nel periodo di ritorno
$P_W$	peso della frazione liquida (acqua) di una terra

## Q

$q$	carico distribuito
$q_{cls}$	carico distribuito dovuto al peso del calcestruzzo
$q_d$	resistenza di progetto per le rocce
$Q_{k1}$	carico variabile dominante
$Q_{ki}$	carico variabile i-esimo (esclusi i dominanti)
$q_l$	carico distribuito lineare
$q_m$	carico distribuito a monte di un'opera di sostegno
$q_s$	carico distribuito superficiale
$q_t$	carico distribuito dovuto al peso delle terre
$q_u$	capacità portante di una fondazione
$q_{u,E}$	capacità portante di una fondazione in condizioni sismiche
$q_v$	carico distribuito a valle di un'opera di sostegno

## R

$r$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• retta per il polo del cerchio di Mohr</li> <li>• generica retta</li> </ul>
$R$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• raggio del cerchio di Mohr</li> <li>• forza sul piano di scorrimento</li> <li>• raggio di un'opera di fondazione</li> <li>• raggio di una superficie di scorrimento</li> <li>• resistenza del sistema geotecnico</li> </ul>
$R_1,$ $R_2, \dots,$ $R_n$	forza sul piano di scorrimento del cuneo i-esimo relativamente allo strato 1, 2, ..., n

$R_{a,c}$	forza relativa alla spinta attiva del caso coerente
$R_{a,i}$	forza relativa alla spinta attiva del caso incoerente
$R_d$	azione stabilizzante di progetto
$R_d$	resistenza di progetto del sistema geotecnico
$R_i$	forza sul piano di scorrimento del cuneo i-esimo
$r_i$	peso associato ad un punto i-esimo del reticolo di riferimento
$R_X$	risultante delle azioni orizzontali su una striscia di terra
$R_{X,E}$	risultante delle azioni orizzontali in condizioni sismiche su una striscia di terra
$R_Z$	risultante delle azioni verticali su una striscia di terra
$R_{Z,E}$	risultante delle azioni verticali in condizioni sismiche su una striscia di terra

## **S**

$s$	retta per il polo del cerchio di Mohr
$S$	<ul style="list-style-type: none"><li>• spinta di una terra</li><li>• fattore di calcolo degli spetti (prodotto <math>S_S S_T</math>)</li></ul>
$s_i$	coefficiente/fattore di forma
$S_{a,E}$	spinta attiva dovuta all'azione sismica
$S_{a,X}$	componente orizzontale della spinta attiva
$S_{a,Z}$	componente verticale della spinta attiva
$s_c$	coefficiente/fattore di forma
$s_i$	retta i-esima
SLC	acronimo di Stato Limite di prevenzione del Collasso
SLD	acronimo di Stato Limite di Danno
SLE	acronimo di Stato Limite di Esercizio
SLO	acronimo di Stato Limite di Operatività
SLS	acronimo di Stato Limite di Servizio
SLU	acronimo di Stato Limite Ultimo
SLV	acronimo di Stato Limite di salvaguardia della Vita
$S_{p,E}$	spinta passiva dovuta all'azione sismica
$S_{p,X}$	componente orizzontale della spinta passiva
$S_{p,Z}$	componente verticale della spinta passiva

$S_q$	coefficiente/fattore di forma
$S_r$	grado di saturazione
$S_S$	coefficiente di amplificazione stratigrafica
$S_T$	coefficiente di amplificazione topografica
STR	stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione

## **T**

T	sollecitazione di scorrimento perpendicolare allo sviluppo di un'opera di fondazione
$T(z)$	taglio
$T_d$	sollecitazione di progetto di scorrimento perpendicolare allo sviluppo di un'opera di fondazione
$T_D$	sollecitazione di scorrimento sul dente di una fondazione o su una quota parte della suola a monte
$T_i$	azione di taglio sulla superficie verticale di una striscia i-esima
$T_R$	<ul style="list-style-type: none"><li>• sollecitazione resistente di scorrimento perpendicolare allo sviluppo di un'opera di fondazione</li><li>• periodo di ritorno</li></ul>

## **U**

u	pressione idrostatica (interstiziale)
$U_1, U_2$	spinta idrostatica

## **V**

V	<ul style="list-style-type: none"><li>• sollecitazione di scorrimento parallela allo sviluppo di un'opera di fondazione</li><li>• volume</li></ul>
$V_e$	fattore/coefficiente di eccentricità del carico in condizioni sismiche
$V_G$	volume della frazione gassosa di una terra
$V_h$	fattore/coefficiente di forza orizzontale in condizioni sismiche
$V_i$	fattore/coefficiente di inerzia del terreno in condizioni sismiche
$V_N$	vita nominale di una costruzione

## MURI DI SOSTEGNO

---

$V_S$	volume della frazione solida di una terra
$V_{som}$	volume sommerso
$V_{umido}$	volume umido
$V_V$	volume dei vuoti di una terra
$V_W$	volume della frazione liquida (acqua) di una terra

### **W**

$w$	contenuto in acqua
-----	--------------------

### **X**

$x$	spessore di un elemento di terra
$x_a$	braccio della componente verticale della spinta attiva
$X_a$	forza sulla parete virtuale
$x_G$	braccio del baricentro del peso di una terra
$X_k$	parametri geotecnici caratteristici
$x_m$	braccio del peso dell'opera di sostegno
$x_t$	braccio della reazione normale della terra
$x_{tm}$	braccio del peso della terra gravante sulla suola a monte
$x_{tv}$	braccio del peso della terra gravante sulla suola a valle

### **Z**

$z$	profondità misurata a partire dal piano campagna
$z_r$	coefficiente/fattore sismico
$z_a$	braccio della componente orizzontale della spinta attiva
$Z_c$	profondità critica
$z_c$	coefficiente/fattore sismico
$Z_G$	braccio della componente orizzontale dell'azione sismica dovuta al peso di una terra
$z_i$	profondità dello stato di terra $i$ -esimo misurata a partire dal piano campagna
$z_M$	profondità misurata lungo la scarpa interna della base del muro

$Z_m$	braccio della componente orizzontale sismica del peso dell'opera di sostegno
$Z_p$	braccio della componente orizzontale della spinta passiva
$Z_q$	coefficiente/fattore sismico
$Z_{tm}$	braccio della componente orizzontale sismica della terra gravante sulla suola a monte dell'opera di fondazione
$Z_w$	profondità della falda misurata a partire dal piano campagna



---

## **MURI, GEOMETRIA E ASPETTI TECNOLOGICI**



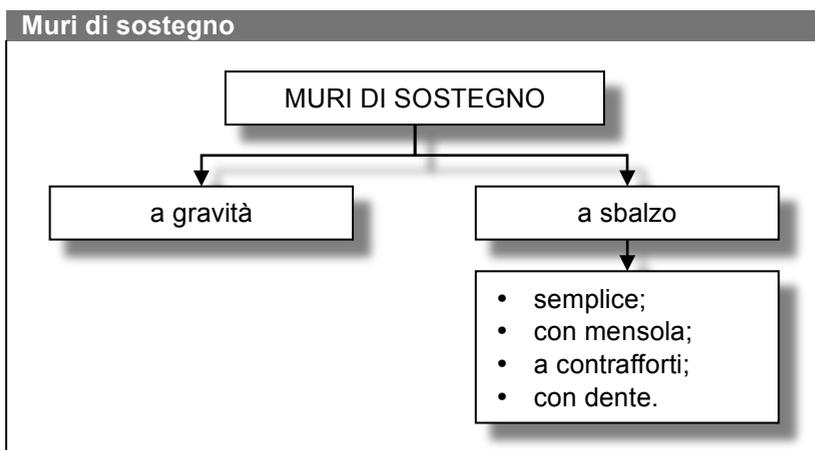
Un muro di sostegno altro non è che un'opera strutturale avente funzione di contenimento di un terreno e delle eventuali sovrastrutture: si ricorre all'utilizzo dei muri di sostegno in tutti quei casi in cui non si possono realizzare scarpate naturali, per ragioni tecniche o economiche.

La funzione di un muro di sostegno è quella di contrastare la spinta esercitata dal terreno e dalle sovrastrutture.

Le soluzioni realizzative sono molteplici e il tipo di muro e le sue caratteristiche dipendono da numerosi elementi quali, ad esempio (elenco non esaustivo):

- altezza del terrapieno da contenere;
- caratteristiche del terreno da contenere;
- caratteristiche del terreno di fondazione;
- azioni permanenti e variabili riferite al terreno da contenere;
- azioni permanenti e variabili riferite ad eventuali sovrastrutture previste sul terreno da contenere;
- presenza di falda acquifera.

I muri di sostegno possono essere a gravità o a sbalzo:



In dettaglio:

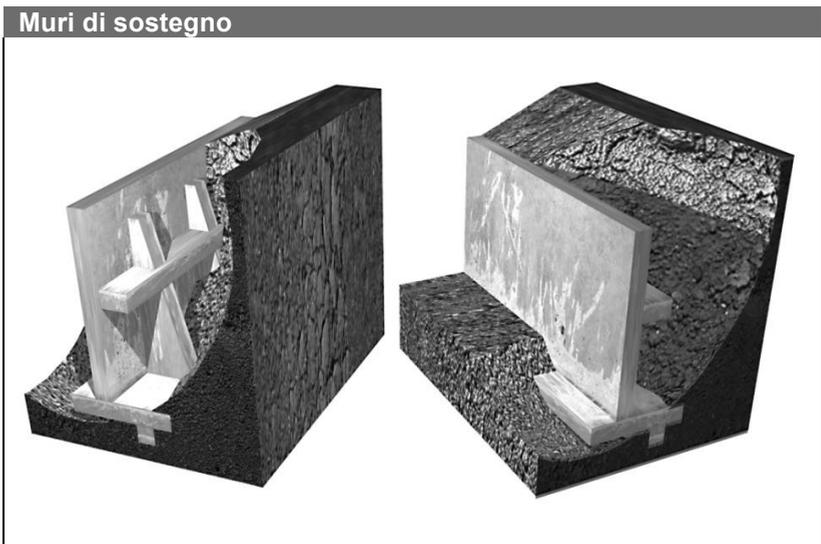
- muri a gravità; il funzionamento strutturale è basato sull'equilibrio fra la spinta del terreno e il peso proprio dell'elemento strutturale (muro); sono utilizzati per altezze, generalmente, non superiori a 2.50÷3.00 m;
- muro a sbalzo; il funzionamento strutturale si basa sull'equilibrio fra la spinta del terreno e la reazione della parete verticale sfruttante il carico del terreno che poggia sulla fondazione; i muri a sbalzo possono essere:

## MURI DI SOSTEGNO

---

- semplici; ossia costituiti da una fondazione e da una parete verticale; utilizzati per altezze, generalmente, non superiori a 6.50÷7.00 m;
- con mensola; si tratta di muri semplici con l'aggiunta di un elemento strutturale, incastrato sulla parete del muro, a sbalzo; tale elemento strutturale è una mensola con funzione stabilizzante;
- con contrafforti (o speroni); si tratta di muri semplici con l'aggiunta di elementi strutturali trapezoidali o triangolari, ortogonali alla fondazione ed alla parete, avente funzione di rinforzo; utilizzati per altezze, generalmente, superiori a 6.50÷7.00 m;
- con dente; si tratta di muri semplici con l'aggiunta di un elemento strutturale sotto la fondazione avente funzione di migliorare la resistenza allo scorrimento dell'intera opera.

Un'immagine riassuntiva e non esaustiva è di seguito riportata: l'immagine a sinistra rappresenta il lato del muro a contenimento del terreno mentre quella a destra il lato libero (si noti che i muri possono presentare anche altri elementi strutturali, quali pali, tiranti, etc. ma tali elementi non sono oggetto di studio del presente testo).



Si precisa, inoltre, che alcuni degli elementi indicati non necessariamente sono posti da un lato del muro piuttosto che dall'altro.

Relativamente al terreno contenuto dal muro, è possibile identificare:

- un fronte dello scavo;
- il rinterro;
- soluzioni e strutture per il drenaggio.

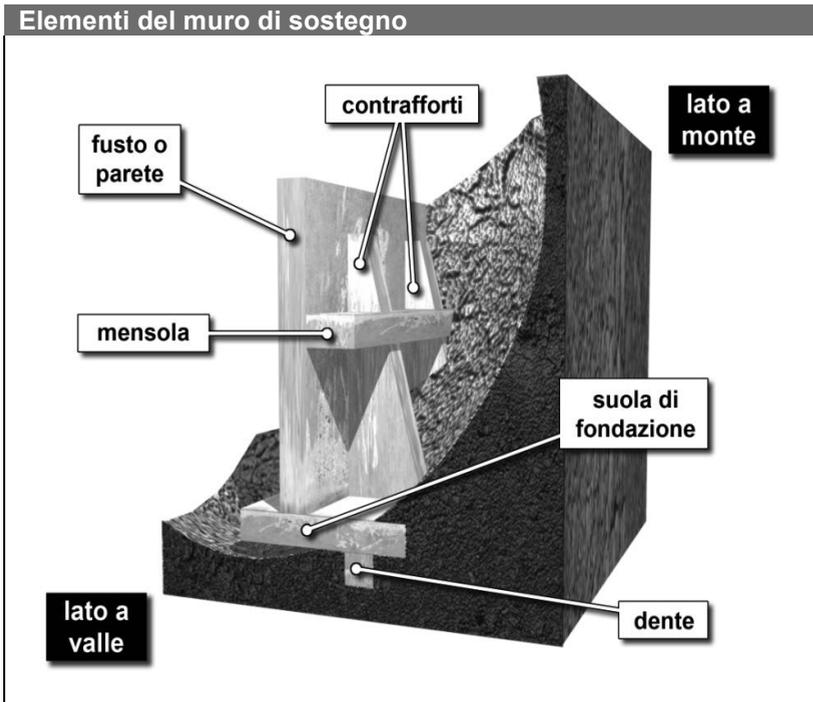
Come introdotto, l'opera "muro di sostegno" può essere riguardata come costituita da diversi elementi strutturali.

Innanzitutto, quale linguaggio comune, il terreno contenuto dal muro è ubicato a "monte" del muro medesimo mentre il lato opposto è il lato a "valle" del muro.

Lo scopo per la realizzazione di un muro può essere quello di creare una piattaforma a valle del muro, ossia muri in sterro o di controripa, oppure a monte, cioè muri in rilevato o si sottoscarpa.

Si consideri l'immagine seguente: in essa sono identificati i diversi elementi strutturali:

**Geometria  
del muro  
di sostegno**



La suola di fondazione, o piastra di base oppure, semplicemente, fondazione, come indica il termine stesso, è quell'elemento strutturale deputato a scaricare sul terreno le sollecitazioni dell'intera opera.

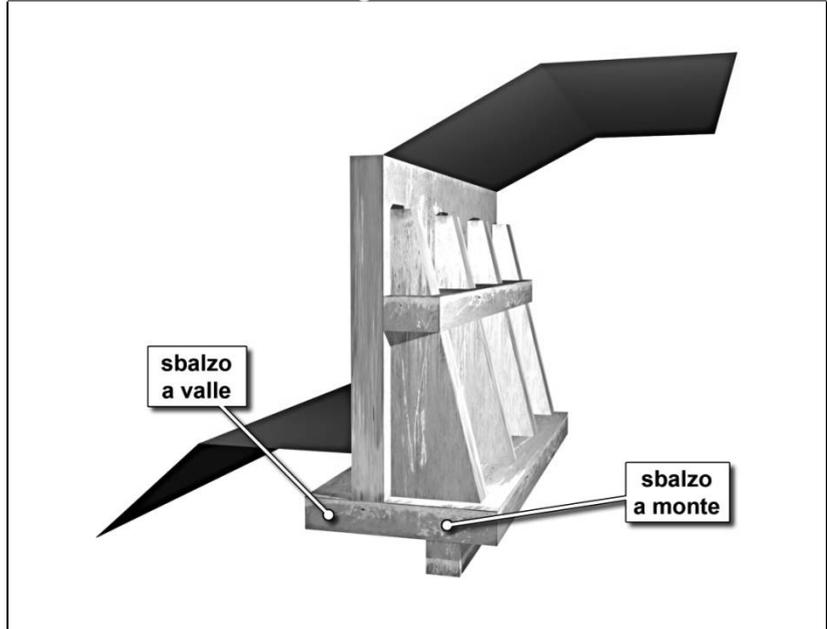
Le caratteristiche geometriche della suola possono essere diverse: la situazione più comune è quella di suola a sezione rettangolare posata orizzontalmente.

In tal senso si può considerare l'immagine seguente: in genere, la parte di suola di fondazione a monte ed a valle è indicata, rispettivamente, sbalzo a monte e sbalzo a valle (cfr. immagine pagina successiva).

Non sono, tuttavia, da escludere anche altre soluzioni geometriche quale suola a zoccolatura o posata inclinata.

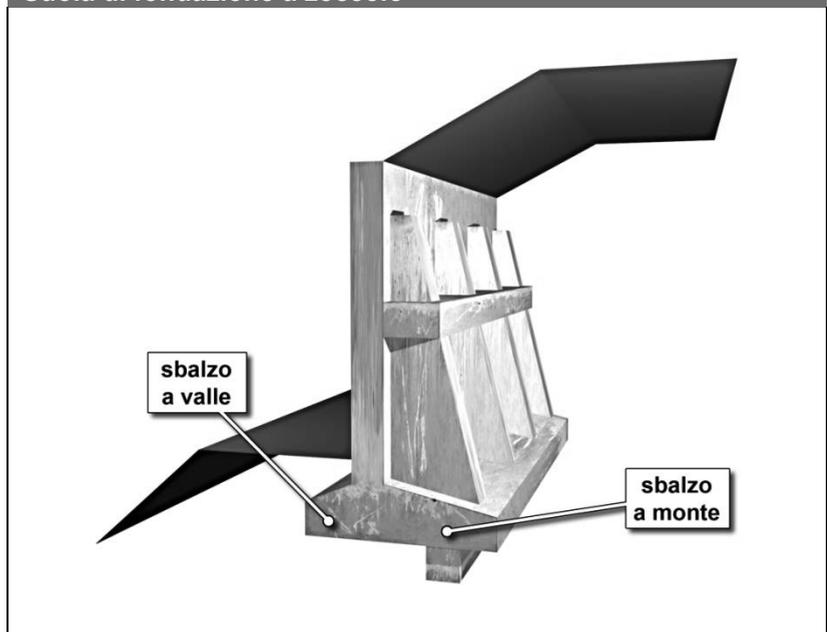
*Suola  
di fondazione*

Suola di fondazione rettangolare



Tali soluzioni presentano oggettive difficoltà realizzative,

Suola di fondazione a zoccolo



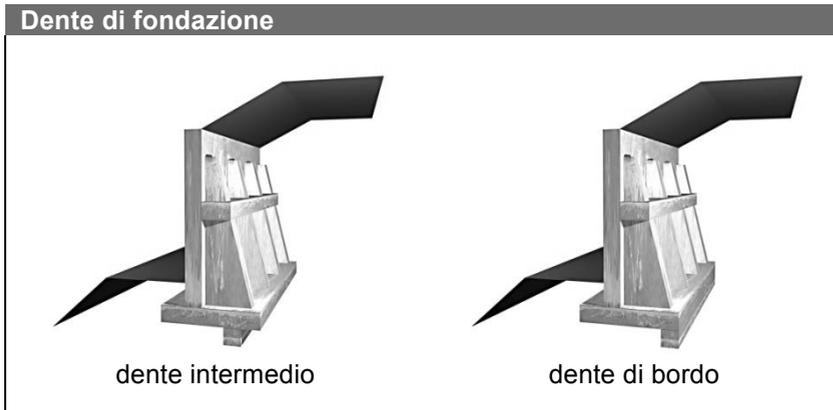
soprattutto la fondazione a zoccolo in quanto necessita di apposita cassetatura (cfr. immagine pagina precedente). Oltre a ciò, anche i costi aumentano rendendo tali soluzioni poco utilizzate.

È anche possibile posare la fondazione su gradoni ma anche in questo caso i costi lievitano per cui si preferiscono soluzioni più semplici. Una tale soluzione, tuttavia, migliorerebbe il comportamento a scorrimento della fondazione il che introduce la soluzione maggiormente utilizzata in tal senso, ossia la realizzazione di un dente di fondazione.

La presenza di un dente di fondazione consente di migliorare il comportamento a scorrimento dell'opera. La posizione del dente è definita in fase di progettazione: di fatto il dente è posizionabile sia in posizione intermedia alla fondazione sia ad un estremo e può avere una geometria a sezione rettangolare o trapezia (base maggiore a contatto con la suola di fondazione).

Si può considerare, in tal senso, l'immagine successiva: la soluzione proposta, senza che ciò sia riduttivo del problema, è con una suola di base rettangolare posata orizzontalmente.

*Dente di fondazione*



Il fusto è sovente indicato anche come parete, paramento o, in taluni casi, semplicemente muro. Tale parte dell'opera costituisce l'elemento strutturale verticale che contiene il terreno.

La sezione della parete può essere rettangolare o trapezoidale. La superficie della parete a monte è indicata, in genere, quale scarpa interna mentre la superficie della parete libera è indicata quale scarpa esterna: sono utilizzate anche altre nomenclature quale faccia posteriore o fronte a monte per indicare la scarpa interna e faccia anteriore o fronte a valle per indicare la scarpa esterna.

Indipendentemente dalla nomenclatura, i riferimenti a tali elementi sono fatti in relazione agli angoli che le due superfici della parete formano con l'orizzontale. Un esempio di parete a sezione rettangolare verticale è di seguito indicato (cfr. pagina successiva).

*Fusto o parete*