

Corso di aggiornamento professionale  
“ Progettazione geotecnica  
secondo le NTC 2008”

Esempi di calcolo sviluppati con le NTC 2008  
Opere provvisorie, palancole come opere permanenti

Ing S. Ciabattoni

[ing.s.ciabattoni@gmail.com](mailto:ing.s.ciabattoni@gmail.com)

Giugno 2011

## PARTE PRIMA

- APPROCCI E COMBINAZIONI DI CALCOLO AGLI SLU
- CASO SPECIFICO DELLE PARATIE
- CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI E VERIFICHE

## PARTE SECONDA

- ESEMPI DI OPERE IN PALANCOLE REALIZZATE IN ITALIA
- ESEMPIO DI CALCOLO : PARATIA PROVVISORIALE
- ESEMPIO DI CALCOLO : PARATIA DEFINITIVA

# APPROCCI E COMBINAZIONI NEL CALCOLO AGLI STATI LIMITE

$$E_d \leq R_d$$

- $E_d = E [\gamma_F * F_K ; X_k / \gamma_M ; a_d]$
- $R_d = 1 / \gamma_F * R [\gamma_F * F_K ; X_k / \gamma_M ; a_d]$

In generale si individuano i valori di progetto applicando ai valori caratteristici i coefficienti parziali di combinazione per :

- AZIONI :  $F_d = \gamma_F * F_K$
- PARAMETRI GEOTECNICI :  $X_d = X_k / \gamma_M$
- GEOMETRIA :  $a_d = a_{nom} \pm \Delta_a$  (riferimento EC7)

# APPROCCI E COMBINAZIONI NEL CALCOLO AGLI STATI LIMITE : AZIONI

Nelle verifiche agli stati limite ultimi le NTC2008 distinguono (§6.2.3.1.1-AZIONI) :

- STR per lo stato limite di resistenza della struttura
- GEO per lo stato limite di resistenza del terreno

CARICHI		$\gamma_F$	EQU	A1 (STR)	A2 (GEO)
Permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0.9	1.0	1.0
	sfavorevoli		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0.0	0.0	0.0
	sfavorevoli		1.5	1.5	1.3
Variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0.5	0.0	0.0
	sfavorevoli		1.5	1.5	1.3

# APPROCCI E COMBINAZIONI NEL CALCOLO AGLI STATI LIMITE : PARAMETRI GEOTECNICI

Nelle verifiche agli stati limite ultimi le NTC2008 prescrivono  
(§6.2.3.1.1-RESISTENZE ) :

PARAMETRO	GRANDEZZA	$\gamma_M$	( M1 )	( M2 )
Tangente angolo res.taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1,0	1,0

# APPROCCI E COMBINAZIONI NEL CALCOLO AGLI STATI LIMITE : GEOMETRIA DI PROGETTO

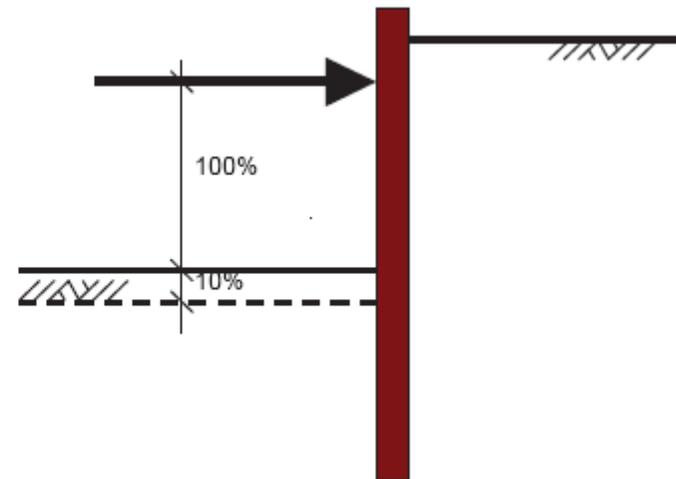
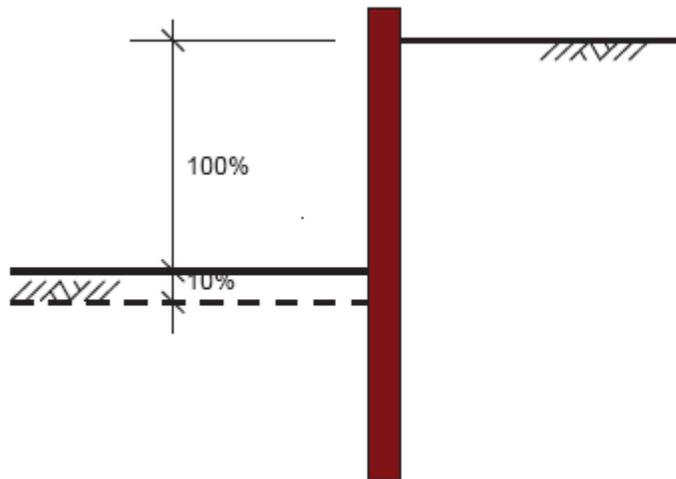
Da EC7 § 2.4.6.3 e §9.3.2.2

$$a_d = a_{nom} \pm \Delta a$$

(2) In ultimate limit state calculations in which the stability of a retaining wall depends on the ground resistance in front of the structure, the level of the resisting soil should be lowered below the nominally expected level by an amount  $\Delta a$ . The value of  $\Delta a$  should be selected taking into account the degree of site control over the level of the surface. With a normal degree of control, the following should be applied:

- for a cantilever wall,  $\Delta a$  should equal 10 % of the wall height above excavation level, limited to a maximum of 0,5 m;
- for a supported wall,  $\Delta a$  should equal 10 % of the distance between the lowest support and the excavation level, limited to a maximum of 0,5 m.

# APPROCCI E COMBINAZIONI NEL CALCOLO AGLI STATI LIMITE : GEOMETRIA DI PROGETTO



# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE

NTC2008 §6.5.3.1.2

“Per le paratie si devono considerare almeno i seguenti stati limite ultimi:”

- SLU (di tipo geotecnico GEO e di tipo idraulico UPL-HYD)
  - collasso per rotazione intorno ad un punto (*atto di moto rigido, realistico per paratie a sbalzo o con 1 solo ordine di vincolamento*)
  - collasso per carico limite verticale
  - collasso per sfilamento di uno o più ancoraggi
  - Instabilità fondo scavo (UPL)
  - Sifonamento fondo scavo (HYD)
  - Instabilità globale del complesso terreno-struttura
- SLU ( STR )
  - raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi
  - raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni
  - raggiungimento della resistenza strutturale della paratia

# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE VERIFICHE

NTC2008 §6.5.3.1.2

Le verifiche devono essere effettuate considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:

- C1 : A1 M1 R1
- C2 : A2 M2 R1

La circolare 02.02.2009 n.617 chiarisce :

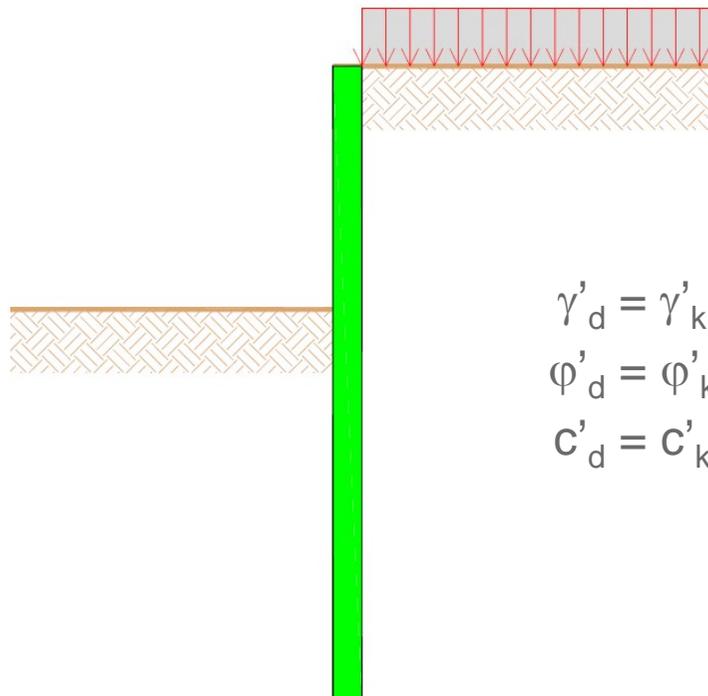
- Verifiche **STR** : C1
- Verifiche **GEO** : C2

In particolare si noti:

- **SL-STR → C1** : sia le AZIONI PERMANENTI sia le AZIONI VARIABILI sono amplificate per i coefficienti del gruppo A1 ( $\gamma_G = 1,0/1,3$   $\gamma_{Qi} = 1,5$ )
- **SL-GEO → C2** : le sole AZIONI VARIABILI sono amplificate per i coefficienti del gruppo A2 ( $\gamma_{Qi} = 1,3$ )

# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE VERIFICHE DI TIPO STR

ESEMPIO MODALITA' DI CALCOLO : COMBINAZIONE C1 – A1 M1 R1



$$\begin{aligned}\gamma'_d &= \gamma'_k \\ \varphi'_d &= \varphi'_k \\ c'_d &= c'_k\end{aligned}$$

CARICHI VARIABILI NEL  
MODELLO DI CALCOLO :

$$Q_{1d} = Q_{1k}$$

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO  
*(riferiti alla sezione generica)*

$$M_d = M_{Q=0} * 1,3 + (M_{Q>0} - M_{Q=0}) * 1,5$$

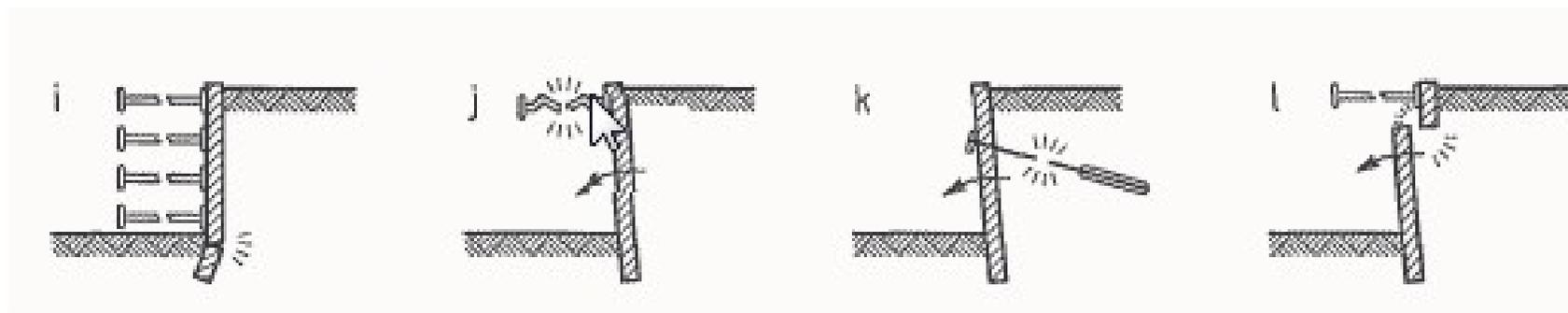
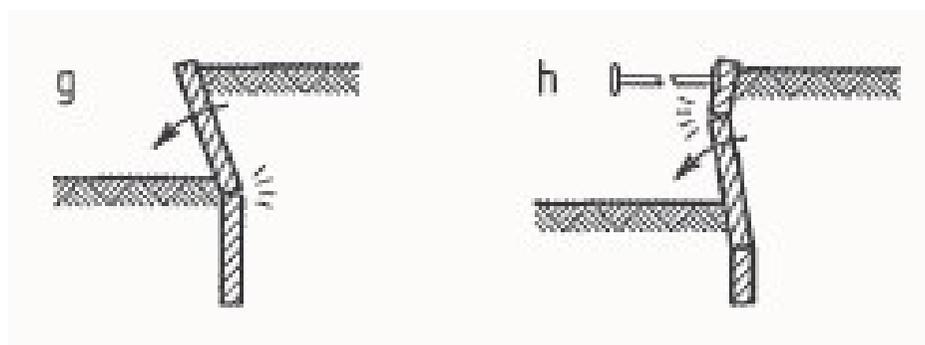
$$T_d = T_{Q=0} * 1,3 + (T_{Q>0} - T_{Q=0}) * 1,5$$

**Riferimento : circolare 02.02.2009 n.617**

I COEFFICIENTI PARZIALI DI COMBINAZIONE SI POSSONO APPLICARE DIRETTAMENTE ALLE SOLLECITAZIONI

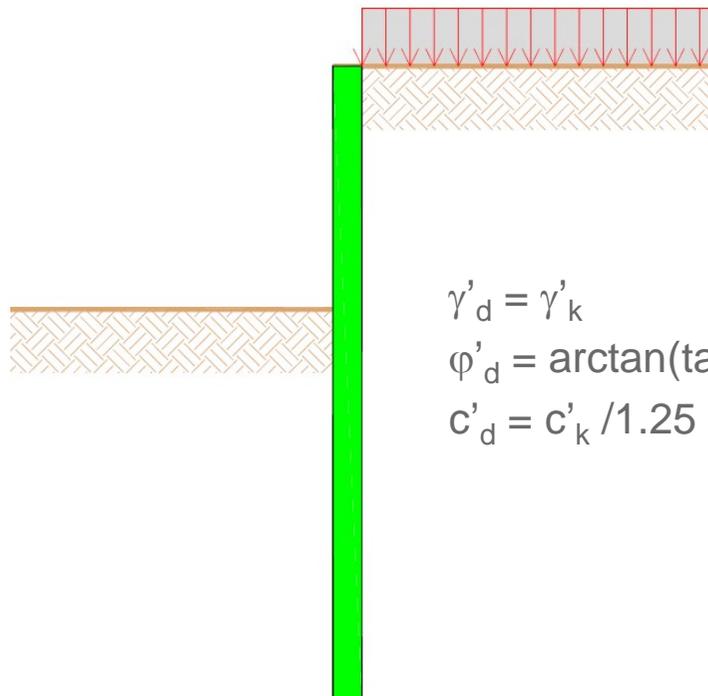
# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE VERIFICHE DI TIPO STR

ESEMPIO MODALITA' DI COLLASSO DI TIPO STRUTTURALE



# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE VERIFICHE DI TIPO GEO

ESEMPIO MODALITA' DI CALCOLO : COMBINAZIONE C2 – A2 M2 R1



$$\begin{aligned}\gamma'_d &= \gamma'_k \\ \varphi'_d &= \arctan(\tan\varphi'_k/1.25) \\ c'_d &= c'_k/1.25\end{aligned}$$

CARICHI VARIABILI

$$Q_{1d} = 1,3 * Q_{1k}$$

VERIFICA SIGNIFICATIVA

FS sulla L-inifissione

Misura diretta del FS sul meccanismo di  
collasso di ribaltamento

VERIFICA ALTERNATIVA  
PROCEDURA  $\varphi$ -c reduction SU  
TERRENO DI VALLE  
( Linfissione)

# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE VERIFICHE DI TIPO GEO

## ESEMPIO MODALITA' DI COLLASSO DI TIPO GEOTECNICO

### 9.7.4 Rotational failure of embedded walls

(1)P It shall be demonstrated by equilibrium calculations that embedded walls have sufficient penetration into the ground to prevent rotational failure.

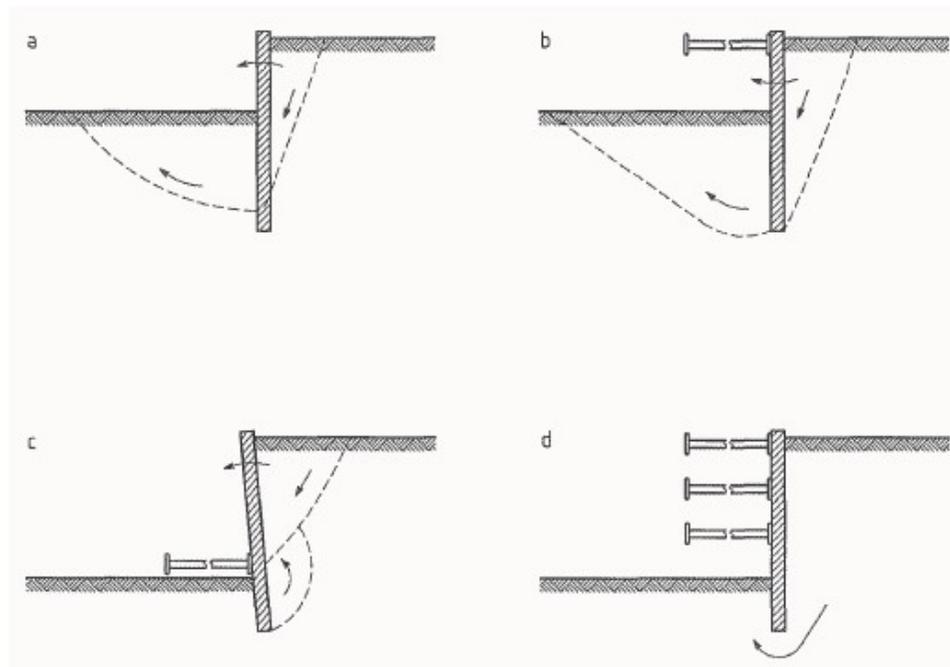


Figure 9.3 — Examples of limit modes for rotational failures of embedded walls

# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

Nel caso particolare della **verifica di stabilità globale** si deve seguire la combinazione:

- A2 M2 R2

La particolarità, rispetto a tutte le altre verifiche GEO, risiede nel valore del  $\gamma_{R2}$  (FS), che va assunto in accordo con la **tabella 6.8.I** :

$$\gamma_{R2} = 1,1$$

Mentre in tutte le altre verifiche vale sempre (**tabella 6.5.I**) :  $\gamma_{R1} = 1,0$

# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE VERIFICHE S.L. DI TIPO IDRAULICO

NTC2008 §6.2.3.2

- STATI LIMITE DI SOLLEVAMENTO PER GALLEGGIAMENTO: **UPL**
- STATI LIMITE DI SIFONAMENTO : **HYD**

- UPL

$$V_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d$$

dove  $V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d}$

I coefficienti parziali devono essere combinati con quelli relativi ai parametri geotecnici **M2**

CARICHI	EFFETTO	$\gamma$	UPL
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9
	Sfavorevole		1,1
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0
	Sfavorevole		1,5
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q_i}$	0,0
	Sfavorevole		1,5

# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE VERIFICHE S.L. DI TIPO IDRAULICO

NTC2008 §6.2.3.2

- STATI LIMITE DI SOLLEVAMENTO PER GALLEGGIAMENTO: **UPL**
- STATI LIMITE DI SIFONAMENTO : **HYD**

- **HYD** (CONFIGURAZIONE S.L. COLLASSO PER ANNULLAMENTO DELLE TENSIONI EFFICACI)

$$u_{inst,d} \leq \sigma_{stb,d}$$

Pressione interstiziale instabilizzante  $\leq$  tensione totale stabilizzante

CARICHI	EFFETTO	$\gamma$	HYD
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9
	Sfavorevole		1,3
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0
	Sfavorevole		1,5
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0
	Sfavorevole		1,5

# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE ANCORAGGI

## NTC2008 §6.6.1 (CRITERI DI PROGETTO.)

- **TIPOLOGIE** : ATTIVI / PASSIVI
- **OBBLIGO** DI PREDISPOSIZIONE PIANO DI MONITORAGGIO → VERIFICA COMPORTAMENTO NEL TEMPO
- **IN PROGETTO** : → PREVEDERE POSSIBILITA' INTERVENTI DI REGOLAZIONE E/O SOSTITUZIONE
- **OBBLIGO** DI CONFERMA SPERIMENTALE CON PROVE DI TRAZIONE (in particolare stabilisce il n° minimo §6.6.4)

## NTC2008 §6.6.2 (TIRANTI DI ANCORAGGIO – VERIFICHE DI SICUREZZA S.L.U.)

- **STATI LIMITE** : MOBILITAZIONE RESISTENZA TERRENO + RESISTENZA STR
- **GERARCHIA DELLE RESISTENZE** : SNERVAMENTO ACCIAIO → SFILAMENTO
- VERIFICA **GEO** (sfilamento bulbo) : A1 M1 R3
- VERIFICA **STR** (snervamento acciaio) : A1 M1 R1

# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE ANCORAGGI

**NTC2008 §6.6.2 (TIRANTI DI ANCORAGGIO – VERIFICHE DI SICUREZZA S.L.U.)**

- **VERIFICA GEO:** FATTORI DI CORRELAZIONE E COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA

$$R_{ak} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{a,m})_{\text{medio}}}{\xi_{a1}}, \frac{(R_{a,m})_{\text{min}}}{\xi_{a2}} \right\}.$$

**Tabella 6.6.II:** Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica da prove di progetto, in funzione del numero degli ancoraggi di prova.

numero degli ancoraggi di prova	1	2	>2
$\xi_{a1}$	1,5	1,4	1,3
$\xi_{a2}$	1,5	1,3	1,2

**Tabella 6.6.III:** Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero  $n$  di profili di indagine.

numero di profili di indagine	1	2	3	4	$\geq 5$
$\xi_{a3}$	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
$\xi_{a4}$	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

**Tabella 6.6.I – Coefficienti parziali per la resistenza di ancoraggi**

	SIMBOLO	COEFFICIENTE PARZIALE
	$\gamma_R$	
Temporanei	$\gamma_{Ra,t}$	1,1
Permanenti	$\gamma_{Ra,p}$	1,2

# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE ANCORAGGI

ESEMPIO MODALITA' DI COLLASSO DI TIPO GEOTECNICO PER CARICO LIMITE VERTICALE

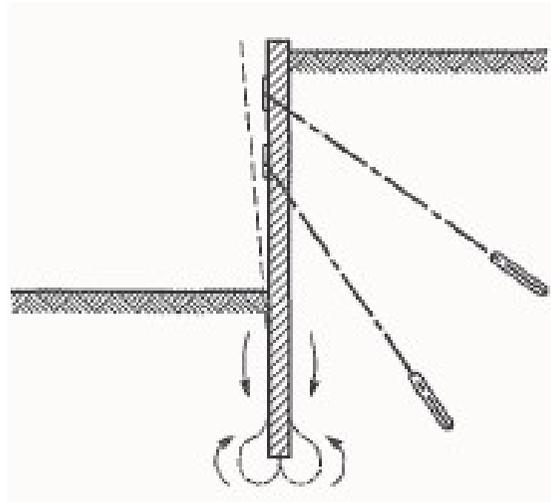


Figure 9.4 — Example of a limit mode for vertical failure of embedded walls

NASCE LA NECESSITA' DI ESEGUIRE LA VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE

# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE CASO DI CARICO VERTICALE

## CASI SIGNIFICATIVI:

- STRUTTURE PORTANTI SOTTOPASSO
- PARATIA PLURITIRANTATA
- PALI DI FONDAZIONE

## VERIFICA CARICO LIMITE VERTICALE

APPROCCIO DI CALCOLO : → FONDAZIONI SU PALI (§6.4.3)

ANALOGIA PALANCOLA – PALI INFISSI (*in acciaio*)

### •VERIFICHE GEO

<b>Approccio 1 :</b>	C1	A1 M1 R1
	C2	A2 M1 R2
<b>Approccio 2 :</b>		A1 M1 R3

# APPROCCI E COMBINAZIONI CASO SPECIFICO DELLE PARATIE CASO DI CARICO VERTICALE

## PORTANZA PER ATTRITO LATERALE / PUNTA

- CASO TIPICO PALANCOLE SEMPLICI →  $R_{lat}$
- RICORSO AI BOX-PILES →  $R_{lat} + \alpha \cdot R_b$
- INTERVENTI SPECIALI : JET-GROUTING →  $R_{lat} + R_b$



## CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI E VERIFICHE

- CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI
- VERIFICHE PER SOLLECITAZIONI FLETTENTI, TAGLIANTI E DI COMPRESSIONE
- PERDITE DI SPESSORE PER CORROSIONE

# CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

## RIFERIMENTI NORMATIVI

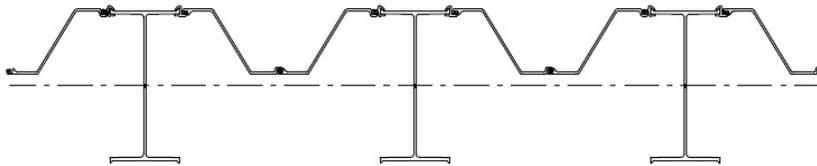
- NTC2008 : §4.2.3.1
- EC 3-5 (EN1993-5) : § 5.2.1

## TIPOLOGIE PIU' COMUNEMENTE USATE DI PALANCOLE



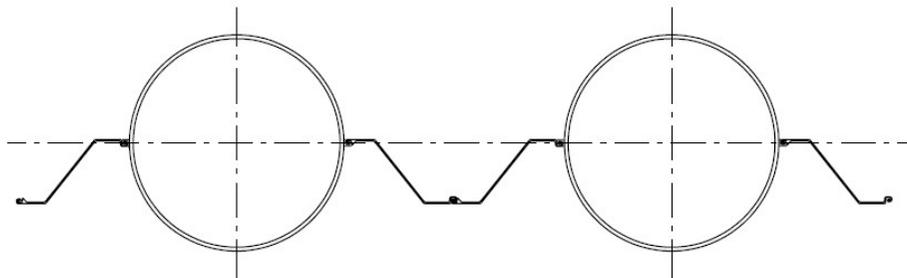
### ***PALANCOLE SEMPLICI***

- PU, AZ, AU, ecc.



### ***COMBI-WALL***

- SOLUZIONE HZ-AZ
- SOLUZIONE PALI-AZ





# CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

PER PALANCOLE SEMPLICI (*TIPO PU o AZ*)

SI FA RIFERIMENTO ALL'EC3-5

**Table 5-1: Classification of cross-sections**

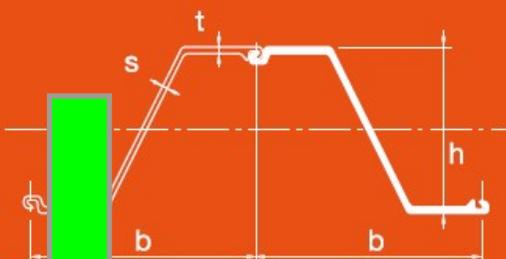
Classification		Z-profile			U-profile		
Class 1		<ul style="list-style-type: none"> <li>- the same boundaries as for class 2 apply</li> <li>- a rotation check has to be carried out</li> </ul>					
Class 2		$\frac{b/t_f}{\epsilon} \leq 45$			$\frac{b/t_f}{\epsilon} \leq 37$		
Class 3		$\frac{b/t_f}{\epsilon} \leq 66$			$\frac{b/t_f}{\epsilon} \leq 49$		
$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	240	270	320	355	390	430
	$\epsilon$	0,99	0,93	0,86	0,81	0,78	0,74
<b>Key:</b> $b$ : width of the flat portion of the flange, measured between the corner radii, provided that the ratio $r/t_f$ is not greater than 5,0; otherwise a more precise approach should be used; $t_f$ : thickness of the flange for flanges with constant thickness; $r$ : midline radius of the corners between the webs and the flanges; $f_y$ : yield strength.							
<b>Note:</b> For class 1 cross-sections it should be verified that the plastic rotation provided by the cross-section is not less than the plastic rotation required in the actual design case. Guidance for this verification (rotation check) is given in Annex C.							



## CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

USO DEI CATALOGHI ARCELOR-MITTAL PER CLASSIFICAZIONE VELOCE  
DI PALANCOLE SEMPLICI (**TIPO PU o AZ**)

### Sezione Z



La serie AZ, che combina una sezione dalle straordinarie caratteristiche con la provata qualità del giunto Larssen, è caratterizzata dalla continuità dell'anima e dalla specifica posizione dei giunti disposti simmetricamente su entrambi i lati dell'asse neutro. Questi fattori incidono positivamente sul momento di resistenza. I principali vantaggi di questa sezione sono:

- Rapporto estremamente competitivo tra modulo di resistenza e massa
- Inerzie elevate e, quindi, deformazioni minime sotto carico
- Larghezza ampia e, quindi, migliore performance durante la compressione
- Buona resistenza alla corrosione ottenuta aumentando i spessori nei punti critici

Sezione	Larghezza b mm	Altezza h mm	Spessore		Area della sezione cm <sup>2</sup> /m	Massa		Momento d'inerzia cm <sup>4</sup> /m	Modulo di resistenza elastico cm <sup>3</sup> /m	Momento Statico cm <sup>3</sup> /m	Modulo di resistenza plastico cm <sup>3</sup> /m	Classe <sup>1)</sup>							
			t mm	s mm		Palancola Singola kg/m	Parete kg/m <sup>2</sup>					S 240 GP	S 270 GP	S 320 GP	S 355 GP	S 390 GP	S 430 GP	S 460 AP	
AZ 12	670	302	8,5	8,5	126	66,1	<b>99</b>	18140	<b>1200</b>	705	1409	2	3	3	3	3	3	3	
AZ 13	670	303	9,5	9,5	137	72,0	<b>107</b>	19700	<b>1300</b>	765	1528	2	2	2	3	3	3	3	
AZ 14	670	304	10,5	10,5	149	78,3	<b>117</b>	21300	<b>1400</b>	825	1651	2	2	2	2	2	3	3	
AZ 17	630	379	8,5	8,5	138	68,4	<b>109</b>	31580	<b>1665</b>	970	1944	2	2	3	3	3	3	3	
AZ 18	630	380	9,5	9,5	150	74,4	<b>118</b>	34200	<b>1800</b>	1050	2104	2	2	2	3	3	3	3	
AZ 19	630	381	10,5	10,5	164	81,0	<b>129</b>	36980	<b>1940</b>	1140	2275	2	2	2	2	2	3	3	
AZ 25	630	426	12,0	11,2	185	91,5	<b>145</b>	52250	<b>2455</b>	1435	2873	2	2	2	2	2	2	2	

# CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI



PER PALANCOLE TIPO COMBI-WALL SI PUO' FAR RIFERIMENTO ALLE NTC2008

## §4.2.3.1

- TABELLE 4.2.I /4.2.II : per combi-wall tipo HZ-AZ *(Assunzioni a favore di sicurezza)*
- TABELLE 4.2.III : per combi-wall tipo PALI TUBOLARI-AZ

Tabella 4.2.I - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

Classe	Parti interne compresse		Parte soggetta a flessione e a compressione
	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$
3	$c/t \leq 114\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	quando $\psi > -1: c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ quando $\psi \leq -1: c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)/(1 - \psi)$
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235    275    355    420    460	
$\epsilon$	$\epsilon$	1,00    0,92    0,81    0,75    0,71	

<sup>\*)</sup>  $\psi \leq -1$  si applica se la tensione di compressione  $\sigma \leq f_{yk}$  o la deformazione a trazione  $\epsilon_y > f_{yk}/E$

Tabella 4.2.II - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

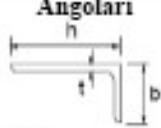
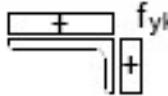
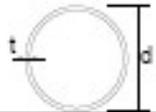
Classe	Piattabande esterne	
	Piattabande esterne soggette a compressione	Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_e}$ Per $k_e$ vedere EN 1993-1-5
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235    275    355    420    460
$\epsilon$	$\epsilon$	1,00    0,92    0,81    0,75    0,71

Attualmente è in corso un Progetto di Ricerca Arcelor-Mittal mirato specificatamente alla classificazione delle sezioni per paratie tipo HZ-AZ

# CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

## CASO DEL COMBI-WALL PALO+PALANCOLA

Tabella 4.2.III - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

Angolari						
						
Riferirsi anche alle piattabande esterne (v. Tab 4.2.II) Non si applica agli angoli in contatto continuo con altri componenti						
Classe	Sezione in compressione					
Distribuzione delle tensioni sulla sezione (compressione positiva)						
3	$h/t \leq 15e$ $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5e$					
Sezioni Tubolari						
						
Classe	Sezione inflessa e/o compressa					
1	$d/t \leq 50e^2$					
2	$d/t \leq 70e^2$					
3	$d/t \leq 90e^2$ (Per $d/t = 90 E^2$ vedere EN 1993-1-6)					
$e = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355	420	460
	$e$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	$e^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

# VERIFICHE STRUTTURALI



ArcelorMittal  
PIACENTINI  
INGEGNERI

- **FLESSIONE**

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

Dove (**da EC3-5**):

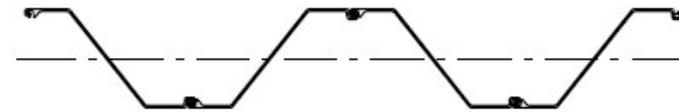
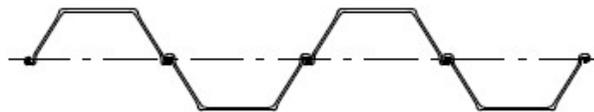
- $M_{Rd} = W_{pl} * f_{yk} / \gamma_{M0} * \beta_B$  per sezioni di classe 1 o 2
- $M_{Rd} = W_{el} * f_{yk} / \gamma_{M0} * \beta_B$  per sezioni di classe 3
- $M_{Rd} = W_{eff,min} * f_{yk} / \gamma_{M0} * \beta_B$  per sezioni di classe 4 (*Annex A-EN1993-5*)

- $\gamma_{M0} = 1,05$  NTC2008 (1,00 EC1993-5)

- $\beta_B = 1,0$  per Z-piles (AZ) e triple U-piles (PU o AU)

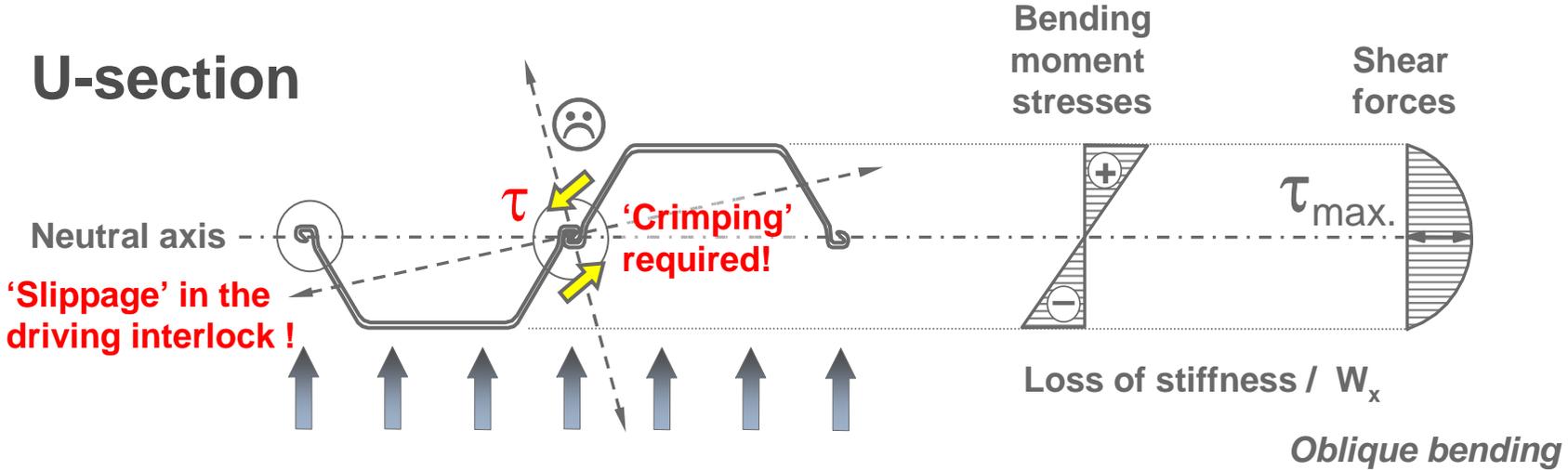
- $\beta_B \leq 1,0$  per singole o doppie U-piles

Per le indicazioni sui valori numerici del coefficiente  $\beta_B$  si rimanda all'annesso nazionale.

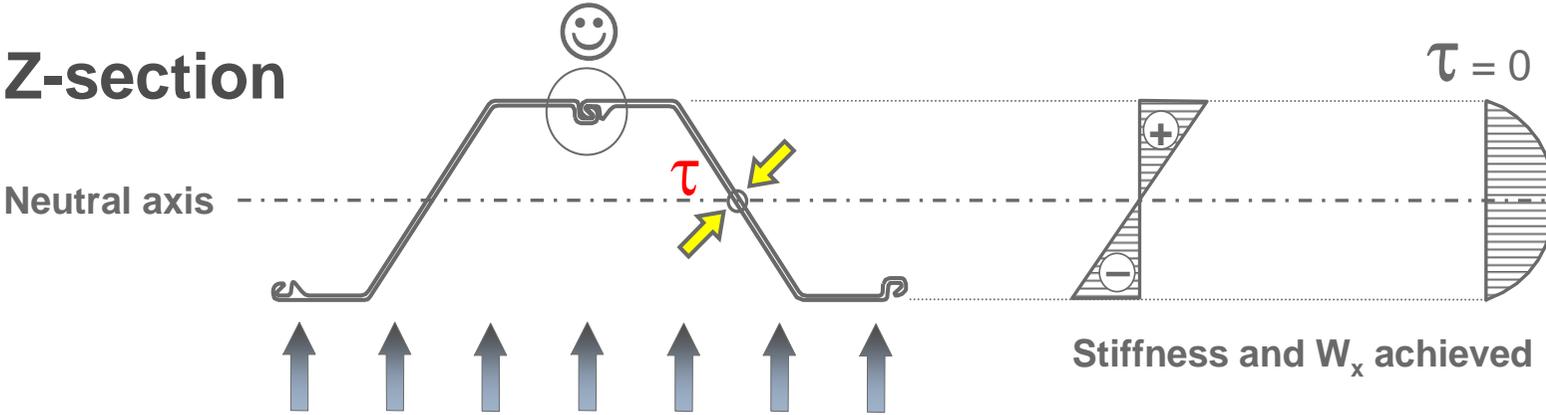


# Different behaviour of U and Z-piles

## U-section



## Z-section



# VERIFICHE STRUTTURALI

## COEFFICIENTE RIDUTTIVO $\beta$ : VALORI DI RIFERIMENTO (NBN EN 1993-5/N1 1F)

Tableau 3.1: Coefficients  $\beta_0$  et  $\beta_B$

Type de palplanche	Nombre de niveaux de fixation	Type de sol	Coefficients	
			$\beta_B$	$\beta_0$
Simple			0,6	0,4
Double	0	lâche	0,7	0,6
		autre	0,8	0,7
	1	lâche	0,8	0,7
		autre	0,9	0,8
	$\geq 2$	lâche	0,9	0,8
		autre	1,0	0,9

### NOTES:

1) Par fixation nous entendons tous les artifices qui bloquent le déplacement relatif des palplanches dans les serrures enclenchées sur chantier, par exemple: illets, soudures, voir (4) de l'annexe A. Les pieds de palplanches ne sont pas à considérer comme des fixations. L'effet d'une fixation ne sera pris en compte que pour les phases suivant l'installation de la fixation.

2) Les sols lâches sont définis dans ce cadre comme suit:

- les sols non cohérents:  $q_c \leq 10$  MPa (CPT) et  $p_l \leq 1$  MPa (essai pressiométrique);
- les sols cohérents:  $q_c \leq 0,75$  MPa (CPT) et  $p_l \leq 0,45$  MPa (essai pressiométrique);
- les remblais;
- l'eau.

3) Pour les sols situés au-dessus de la nappe phréatique les coefficients peuvent être majorés de 0,1.

4) Il convient d'utiliser différents coefficients pour les différentes couches sur la longueur de la palplanche, dans le cas d'un terrain multicoches. Pour des raisons de simplification les coefficients les plus faibles peuvent cependant être appliqués sur toute la longueur de la palplanche.

5) Il convient de se référer à la norme NBN EN 1997-2 pour les détails concernant les essais CPT et pressiométriques.

# VERIFICHE STRUTTURALI



- **TAGLIO**

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

Dove :

- $V_{pl,Rd} = A_V * f_{yk} / (\gamma_{M0} * e3)$

Nel caso di palancole l'area di taglio vale:

- $A_V = t_w * (h - t_f)$

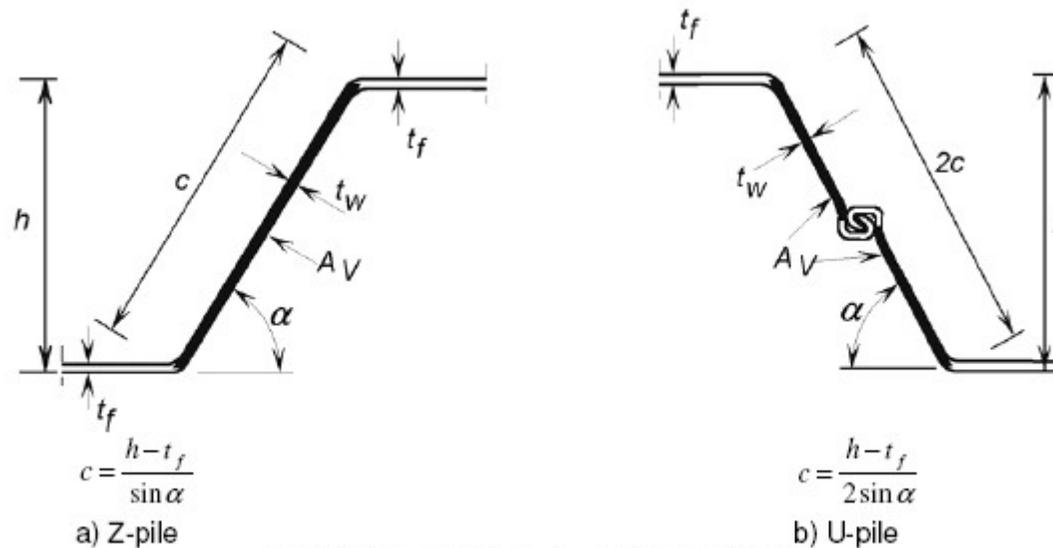


Figure 5-1: Definition of the shear area

Nel caso di impiego di combi-wall, quindi sezioni tipo HZ o pali tubolari: possiamo far riferimento alle NTC2008 §4.2.4.1.2.

## VERIFICHE STRUTTURALI

- **TAGLIO + FLESSIONE**

Quando  $V_{ed} \geq 50\% V_{pl,Rd}$  il momento resistente della sezione deve essere ridotto :

$$M_{V,Rd} = \left[ \beta_B W_{pl} - \frac{\rho A_v^2}{4t_w \sin \alpha} \right] \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{but} \quad M_{V,Rd} \leq M_{c,Rd}$$

with:

$$\rho = (2 V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2$$

where:

$A_v$  is the shear area according to (5.6);

$t_w$  is the web thickness;

$\alpha$  is the inclination of the web according to Figure 5-1;

$\beta_B$  is the factor defined in 5.2.2(2).

## VERIFICHE STRUTTURALI

- **SFORZO NORMALE DI COMPRESSIONE**

Per elementi soggetti a sforzo normale di compressione deve risultare:

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$$

Dove:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0}$$

- **EFFETTO CONCOMITANTE COMPRESSIONE + FLESSIONE :**  
**CRITERI DI ESCLUSIONE**

(10) The effects of axial force on the plastic moment resistance of the cross-section of class 1, 2 and 3 sheet piles may be neglected if:

- for Z-profiles of class 1 and 2:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,1 \quad (5.17)$$

- for U-profiles of class 1 and 2:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,25 \quad (5.18)$$

- for class 3 profiles:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,1 \quad (5.19)$$

## VERIFICHE STRUTTURALI

NEI CASI IN CUI SI DEBBA CONSIDERARE LA CONCOMITANZA DI SFORZO NORMALE + FLESSIONE :

(11) If the axial force exceeds the limiting values given in (10), the following criteria should be satisfied in the absence of shear force:

- Class 1 and 2 cross-sections:

- for Z-profiles:

$$M_{N,Rd} = 1,11 M_{c,Rd} (1 - N_{Ed} / N_{pl,Rd}) \quad \text{but} \quad M_{N,Rd} \leq M_{c,Rd} \quad (5.20)$$

- for U-profiles:

$$M_{N,Rd} = 1,33 M_{c,Rd} (1 - N_{Ed} / N_{pl,Rd}) \quad \text{but} \quad M_{N,Rd} \leq M_{c,Rd} \quad (5.21)$$

- Class 3 cross-sections:

$$M_{N,Rd} = M_{c,Rd} (1 - N_{Ed} / N_{pl,Rd}) \quad (5.22)$$

- Class 4 cross-sections: see Annex A.

where:

$M_{N,Rd}$  is the reduced design moment resistance allowing for the axial force.

# PERDITE DI SPESSORE PER CORROSIONE

## RIFERIMENTI NORMATIVI

- EC 3-5 (EN1993-5): § 4.4 – (*Corrosion rates for design*)

La norma prevede valori di perdita convenzionale di spessore per palancole esposte alla corrosione nei seguenti casi:

- esposizione atmosferica
- esposizione a terreni con e senza falda
- esposizione ad acqua dolce o acqua di mare

### **Esposizione atmosferica :**

- 0,01 mm/anno per atmosfera normale
- 0,02 mm/anno per atmosfera marina (zone costiere)

# PERDITE DI SPESSORE PER CORROSIONE

## ESPOSIZIONE A TERRENI CON O SENZA FALDA

**Table 4-1: Recommended value for the loss of thickness [mm] due to corrosion for piles and sheet piles in soils, with or without groundwater**

Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years
Undisturbed natural soils (sand, silt, clay, schist, ...)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Polluted natural soils and industrial sites	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Aggressive natural soils (swamp, marsh, peat, ...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Non-compacted and non-aggressive fills (clay, schist, sand, silt, ...)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Non-compacted and aggressive fills (ashes, slag, ...)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75
<b>Notes:</b>  1) Corrosion rates in compacted fills are lower than those in non-compacted ones. In compacted fills the figures in the table should be divided by two.  2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.					

# PERDITE DI SPESSORE PER CORROSIONE

## ESPOSIZIONE AD ACQUA DOLCE O DI MARE

**Table 4-2: Recommended value for the loss of thickness [mm] due to corrosion for piles and sheet piles in fresh water or in sea water**

Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years
Common fresh water (river, ship canal, ....) in the zone of high attack (water line)	0,15	0,55	0,90	1,15	1,40
Very polluted fresh water (sewage, industrial effluent, ....) in the zone of high attack (water line)	0,30	1,30	2,30	3,30	4,30
Sea water in temperate climate in the zone of high attack (low water and splash zones)	0,55	1,90	3,75	5,60	7,50
Sea water in temperate climate in the zone of permanent immersion or in the intertidal zone	0,25	0,90	1,75	2,60	3,50

**Notes:**

- 1) The highest corrosion rate is usually found in the splash zone or at the low water level in tidal waters. However, in most cases, the highest bending stresses occur in the permanent immersion zone, see Figure 4-1.
- 2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.

# PERDITE DI SPESSORE PER CORROSIONE

## ESPOSIZIONE A TERRENI CON O SENZA FALDA

Loss of thickness (mm): Table 4.1 EN 1993-5 (2007)

required <b>design working life</b> (years)	5	25	<b>50</b>	75	100
undisturbed <b>natural soils</b> (sand, silt, clay, schist, ...)	0.00	0.30	<b>0.60</b>	0.90	1.20
polluted natural soils and industrial sites	0.15	0.75	<b>1.15</b>	2.25	3.00
aggressive natural soils (swamp, marsh, peat, ...)	0.20	1.00	<b>1.75</b>	2.50	3.25
non-compacted and non-aggressive <b>fills</b> (clay, schist, sand, silt, ....)	0.18	0.70	<b>1.20</b>	1.70	2.20
non-compacted and aggressive fills (ashes, slag, ....)	0.50	2.00	<b>3.25</b>	4.50	5.75

### Notes:

- 1) Corrosion rates in compacted fills are lower than those in non-compacted ones. In compacted fills the figures in the table should be divided by two.
- 2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.

# PERDITE DI SPESSORE PER CORROSIONE

## ESPOSIZIONE AD ACQUA DOLCE O DI MARE

Loss of thickness (mm): Table 4.2 prEN 1993-5 (2007)

required <b>design working life</b> (years)	5	25	<b>50</b>	75	100
Common <b>fresh water</b> (river, ship canal, ...) in the zone of high attack (water line)	0.15	0.55	<b>0.90</b>	1.15	1.40
Very polluted fresh water (sewage, industrial effluent, ...) in the zone of high attack (water line)	0.30	1.30	<b>2.30</b>	3.30	4.30
Sea water in temperate climate in the zone of high attack ( <b>low water</b> and <b>splash zones</b> )	0.55	1.90	<b>3.75</b>	5.60	7.50
Sea water in temperate climate in the zone of permanent immersion or in the <b>intertidal</b> zone	0.25	0.90	<b>1.75</b>	2.60	3.50

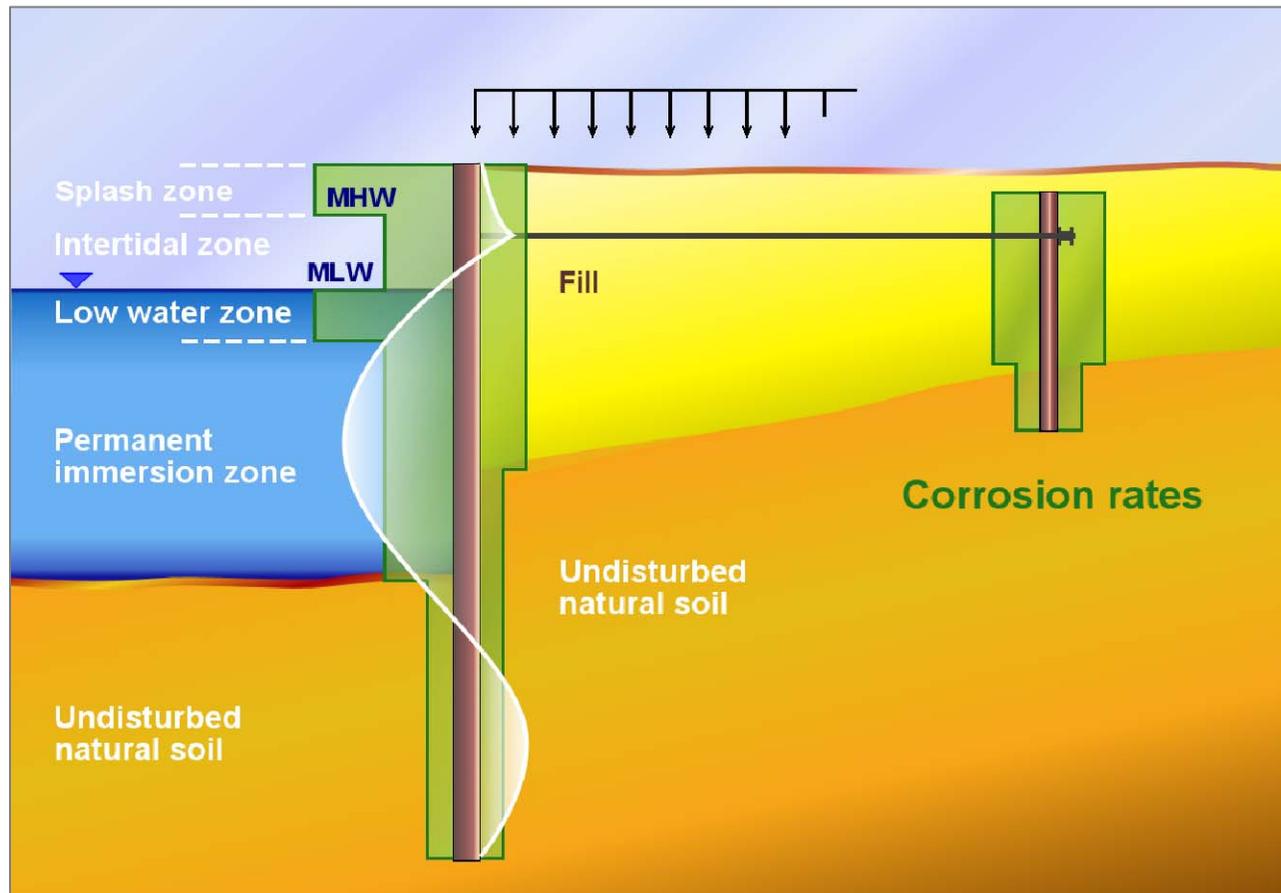
Notes: 1) The highest corrosion rate is usually found in the splash zone or at the low water level in tidal waters. However, in most cases, the highest bending stresses occur in the permanent immersion zone, see Figure 4-1.

2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.

# PERDITE DI SPESSORE PER CORROSIONE



ArcelorMittal  
PIACENTINI  
INGEGNERI



Solitamente nelle zone di massimo attacco si predispongono interventi localizzati:

- *Protezione con travi correa in c.c.a. (splash-zone)*
- *Protezione con verniciature (zone permanentemente immerse o esposte ad atmosfera)*
- *Protezione catodica (zone permanentemente immerse)*

## ESEMPI DI OPERE REALIZZATE IN PALANCOLE

## OPERE REALIZZATE IN PALANCOLE IN ITALIA

- **OPERE PROVVISORIALI :**
  - AUTOSTRADA BREBEMI (pozzi circolari)
  - PISTOIA (palancole per scavo fondazioni edificio civile)
- **OPERE IN AMBITO FLUVIALE :**
  - RECUPERO FONDAZIONI PILE VIADOTTO SU FIUME TANARO-ASTI
  - CANALE NAVICELLI PISA-LIVORNO
- **OPERE MARITTIME**
  - MOSE - BOCCA DI MALAMOCCO (Caso di combi-wall palo-palancola)
  - SHIP-LIFT LIVORNO (Palancolato di riva e trave di correa con tiranti)
  - SHIP-LIFT LIVORNO (Palancole subacquee)
  - PORTO MIRABELLO LA SPEZIA (Uso di palancole con **ROXAN** per cassa di colmata)
- **INFRASTRUTTURE STRADALI/FERROVIARIE**
  - S.P. 569 DI VIGNOLA - SOTTOPASSO STRADALE IN CORRISPONDENZA DELL'ABITATO DI VIGNOLA



## OPERE REALIZZATE IN PALANCOLE IN ITALIA ESEMPI : OPERE PROVVISORIE

- AUTOSTRADA BRE-BE-MI (**pozzi circolari**)





ArcelorMittal  
PIACENTINI  
INGEGNERI

## OPERE REALIZZATE IN PALANCOLE IN ITALIA - ESEMPI : OPERE PROVVISORIE

- COMUNE DI PISTOIA – Via S. Biagio  
(**Palancole a sbalzo per scavo fondazioni edificio**)



# OPERE REALIZZATE IN PALANCOLE IN ITALIA - ESEMPI : OPERE IN AMBITO FLUVIALI

○ CANALE NAVICELLI PISA-LIVORNO





ArcelorMittal  
PIACENTINI  
INGEGNERI

## OPERE REALIZZATE IN PALANCOLE IN ITALIA - ESEMPI : OPERE IN AMBITO FLUVIALE

○ RECUPERO FONDAZIONI PILE VIADOTTO SU FIUME TANARO-ASTI

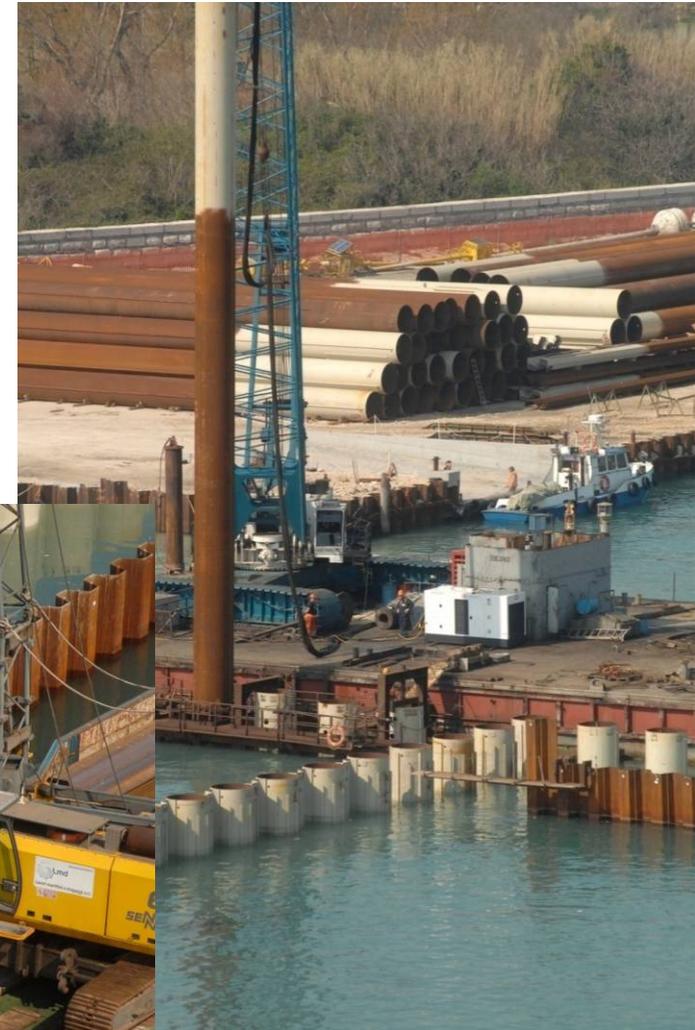


# OPERE REALIZZATE IN PALANCOLE IN ITALIA - ESEMPI : OPERE MARITTIME

- MOSE - BOCCA DI MALAMOCCO (Caso di combi-wall palo-palancola)



ArcelorMittal  
PIACENTINI  
INGEGNERI



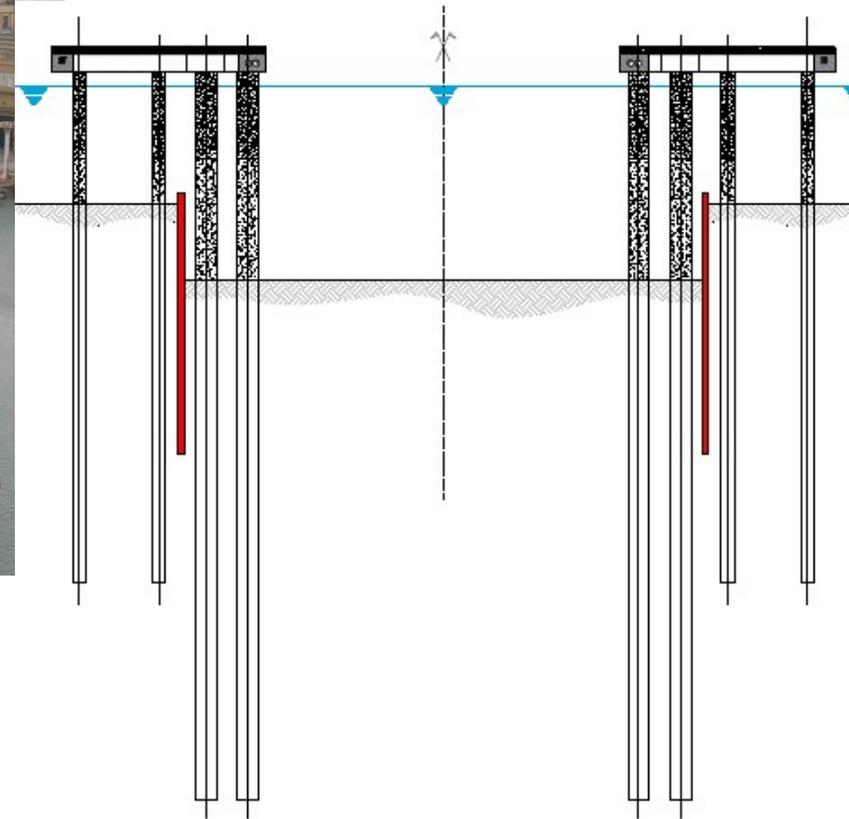
# OPERE REALIZZATE IN PALANCOLE IN ITALIA - ESEMPI : OPERE MARITTIME

- SHIP-LIFT LIVORNO (Palancolato di riva e trave di correa con tiranti)



# OPERE REALIZZATE IN PALANCOLE IN ITALIA - ESEMPI : OPERE MARITTIME

- SHIP-LIFT LIVORNO (Palancole subacquee)



# OPERE REALIZZATE IN PALANCOLE IN ITALIA - ESEMPI : OPERE MARITTIME

- PORTO MIRABELLO LA SPEZIA (Uso di palancole con **ROXAN** per cassa di colmata)





ArcelorMittal  
PIACENTINI  
INGEGNERI

## OPERE REALIZZATE IN PALANCOLE IN ITALIA - ESEMPI : OPERE INFRASTRUTTURE STRADALI/FERROVIARIE

- S.P. 569 DI VIGNOLA - SOTTOPASSO STRADALE IN CORRISPONDENZA DELL'ABITATO DI VIGNOLA



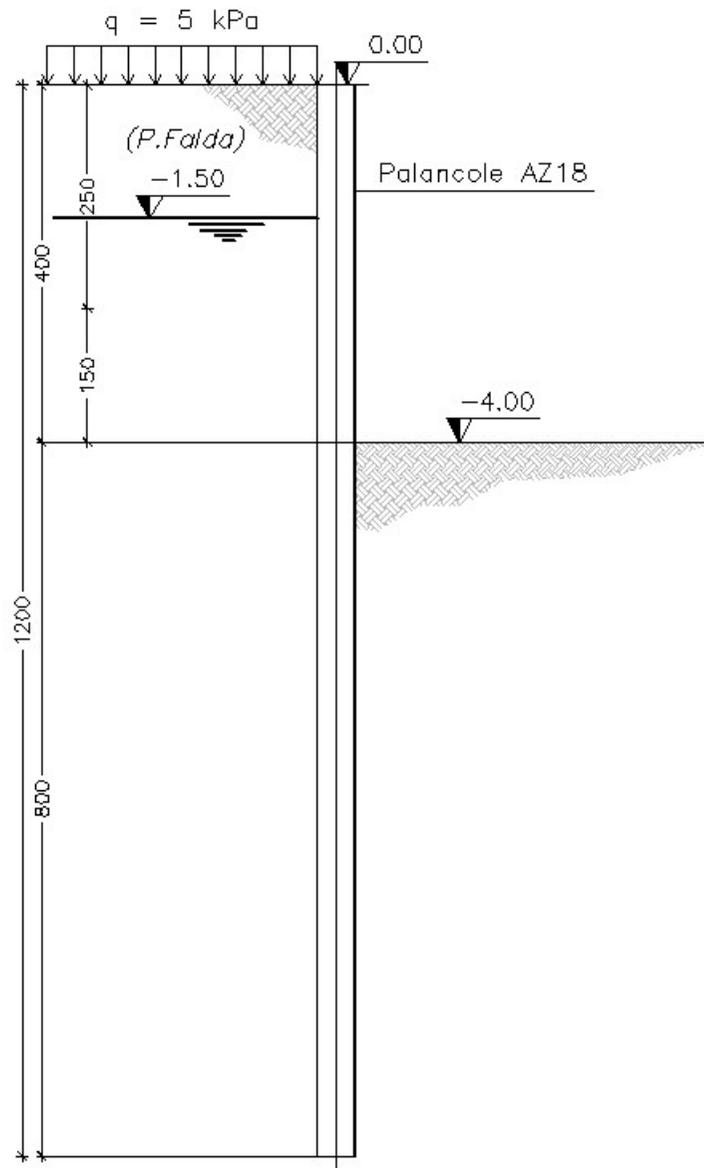
# PARCHEGGIO INTERRATO – MASSA



## ESEMPI DI CALCOLO

- OPERA PROVVISORIALE : PARATIA A SBALZO
- OPERA DEFINITIVA : BANCHINA PORTUALE

# OPERE PROVVISORIE PARATIA A SBALZO



## STRATIGRAFIA:

### 0.0÷-3.0m GHIAIA SABBIOSA

$$\gamma_{\text{sat},k} = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi'_k = 36^\circ$$

$$c'_k = 0 \text{ kPa}$$

$$E_{\text{vc}} = 35 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{ur}} = 52.5 \text{ MPa}$$

### -3.0÷-12.0m SABBIA

$$\gamma_{\text{sat},k} = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi'_k = 32^\circ$$

$$c'_k = 0 \text{ kPa}$$

$$E_{\text{vc}} = 30 \text{ MPa}$$

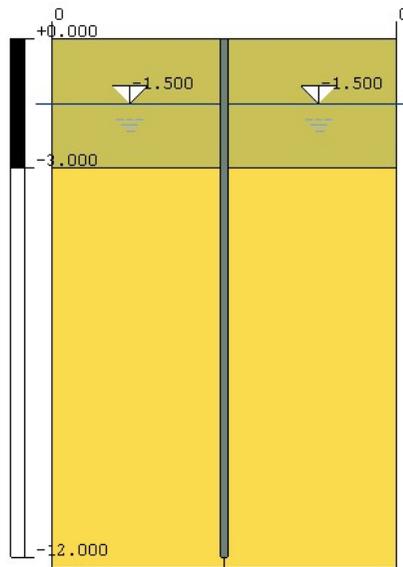
$$E_{\text{ur}} = 45 \text{ MPa}$$

# OPERE PROVVISORIE PARATIA A SBALZO

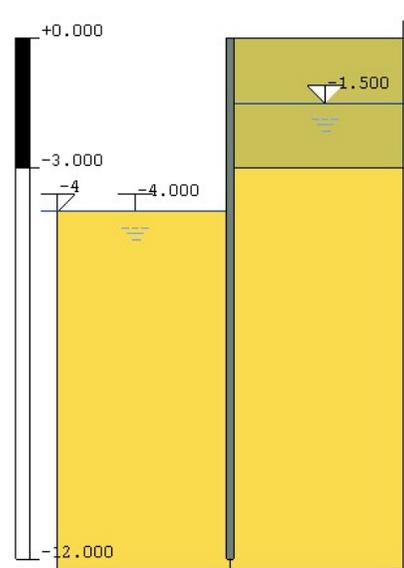
## COMBINAZIONE C1 – A1M1R1

$$\gamma_{\text{sat,d}} = \gamma_{\text{sat,k}}$$
$$\varphi'_{\text{d}} = \varphi'_{\text{k}}$$

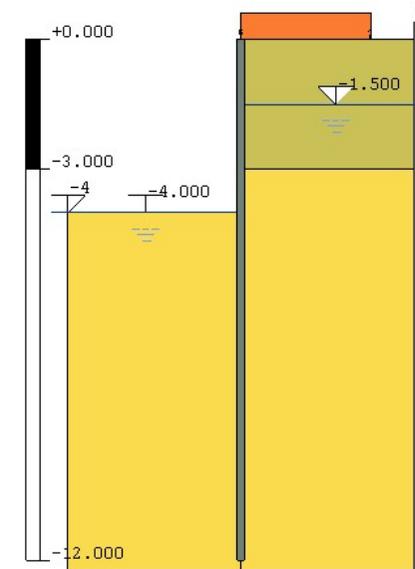
### FASI DI CALCOLO



1) GEOSTATICA



2) SCAVO E  
AGGOTTAMENTO



3) APPLICAZIONE  
SOVRACCARICO

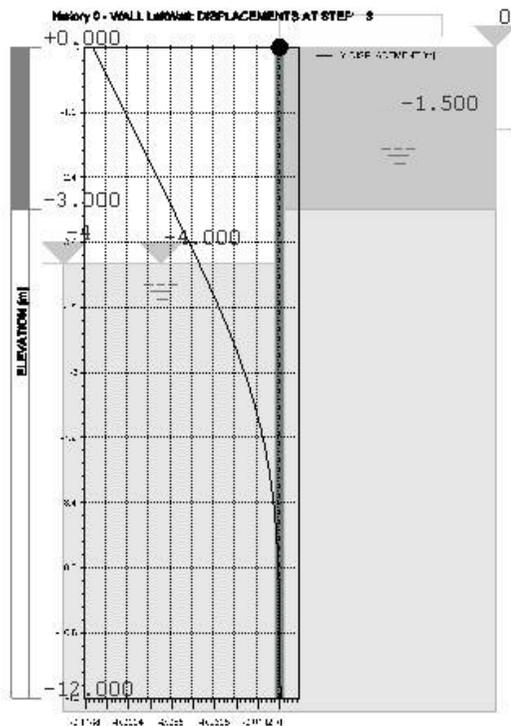
$$q_{\text{d}} = q_{\text{k}} = 5 \text{ kPa}$$

# OPERE PROVVISORIALI PARATIA A SBALZO

## COMBINAZIONE C1 – A1M1R1

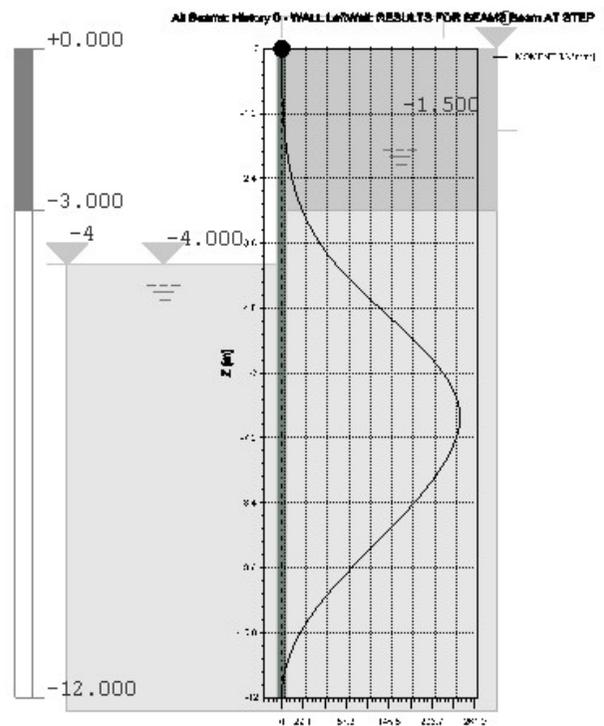
### RISULTATI

DIAGRAMMA SPOSTAMENTO  
ORIZZONTALE



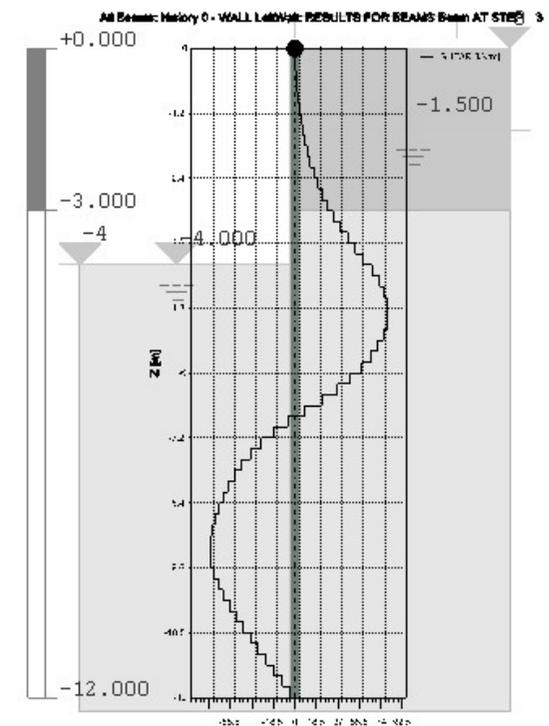
$$\delta_{h,max} = 11.4 \text{ cm}$$

DIAGRAMMA MOMENTO



$$M_{Q=0} = 214.6 \text{ kNm/m}$$
$$M_{Q>0} = 241.8 \text{ kNm/m}$$

DIAGRAMMA TAGLIO



$$T_{Q=0} = 74.0 \text{ kN/m}$$
$$T_{Q>0} = 80.0 \text{ kN/m}$$

# OPERE PROVVISORIALI PARATIA A SBALZO

## COMBINAZIONE C1 – A1M1R1

### VERIFICA STRUTTURALE (STR)

$$M_{S,d} = 214.6 \times 1.3 + (241.8 - 214.6) \times 1.5 = 319.8 \text{ kNm/m}$$

$$T_{S,d} = 74.0 \times 1.3 + (80.0 - 74.0) \times 1.5 = 105.2 \text{ kN/m}$$

### PALANCOLE AZ18 – ACCIAIO S355GP (SEZIONE CLASSE 3)

$$A_v = 150 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$W_{el} = 1800 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_B = 1$$

$$M_{R,d} = W_{el} \times (f_{yk} / \gamma_{M0}) \times \beta_B = 1800 \times 10^{-6} \times (355 \times 10^3 / 1.05) \times 1 = 608.5 \text{ kNm/m} > M_{S,d}$$

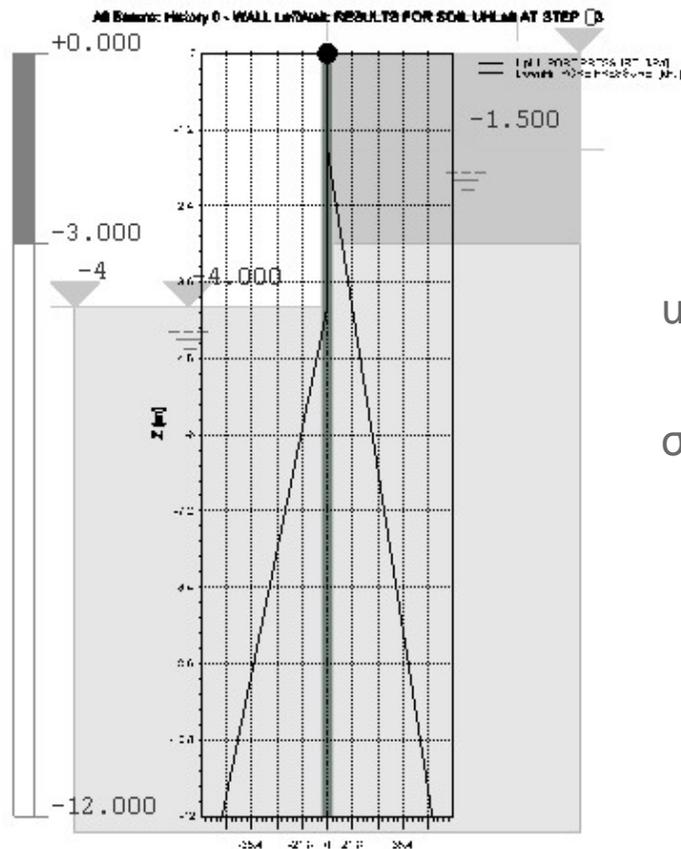
$$T_{R,d} = A_v \times f_{yk} / (\gamma_{M0} \times e3) = 150 \times 10^{-4} \times 355 \times 10^3 / (1.05 \times e3) = 2927.9 \text{ kN/m} > T_{S,d}$$

# OPERE PROVVISORIALI PARATIA A SBALZO

## COMBINAZIONE C1 – A1M1R1

### VERIFICA A SIFONAMENTO (HYD)

#### DIAGRAMMA PRESSIONI NEUTRE



Si effettua la verifica a sifonamento a valle della paratia in corrispondenza del piede.

$$u_k = 90.8 \text{ kPa}$$



$$u_d = 90.8 \times 1.3 = 118.0 \text{ kPa}$$

$$\sigma_k = 19 \times 8 = 152 \text{ kPa}$$



$$\sigma_d = 152 \times 0.9 = 136.8 \text{ kPa}$$

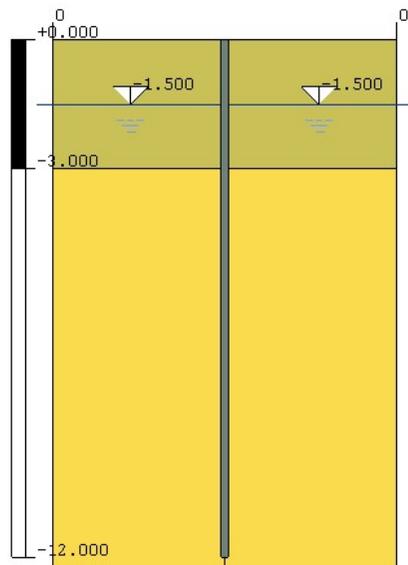
$$FS_{HYD} = 136.8 / 118.0 = 1.6 > 1.0$$

# OPERE PROVVISORIE PARATIA A SBALZO

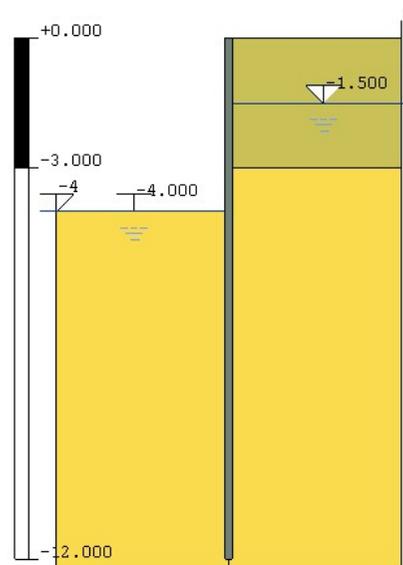
## COMBINAZIONE C2 – A2M2R1

$$\gamma_{\text{sat,d}} = \gamma_{\text{sat,k}}$$
$$\varphi'_{\text{d}} = \arctan(\tan\varphi'_{\text{k}} / 1.25)$$

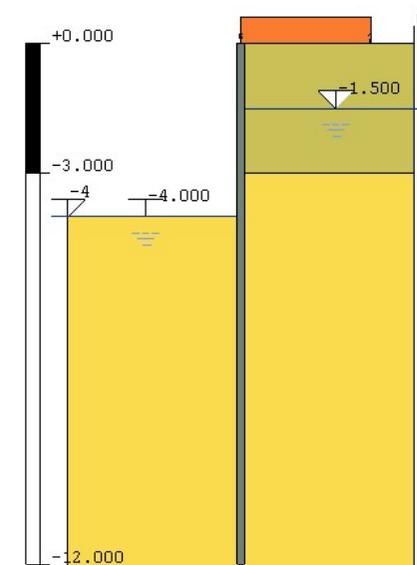
### FASI DI CALCOLO



1) GEOSTATICA



2) SCAVO E  
AGGOTTAMENTO



3) APPLICAZIONE  
SOVRACCARICO

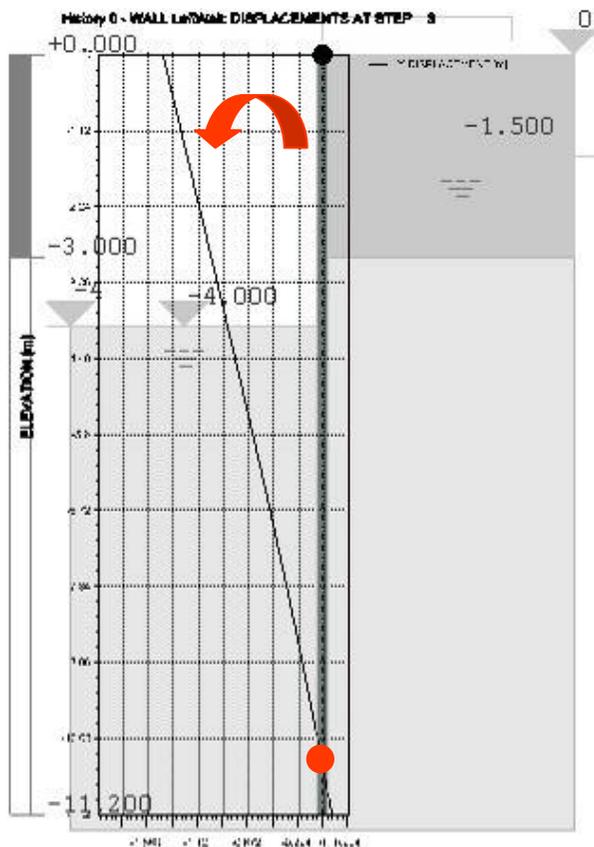
$$q_{\text{d}} = q_{\text{k}} \times 1.3 = 6.5 \text{ kPa}$$

# OPERE PROVVISORIE PARATIA A SBALZO

## COMBINAZIONE C2 – A2M2R1

### VERIFICA GEOTECNICA (GEO)

#### DIAGRAMMA SPOSTAMENTO ORIZZONTALE



Riduzione progressiva della lunghezza di  
infissione fino ad ottenere il collasso.

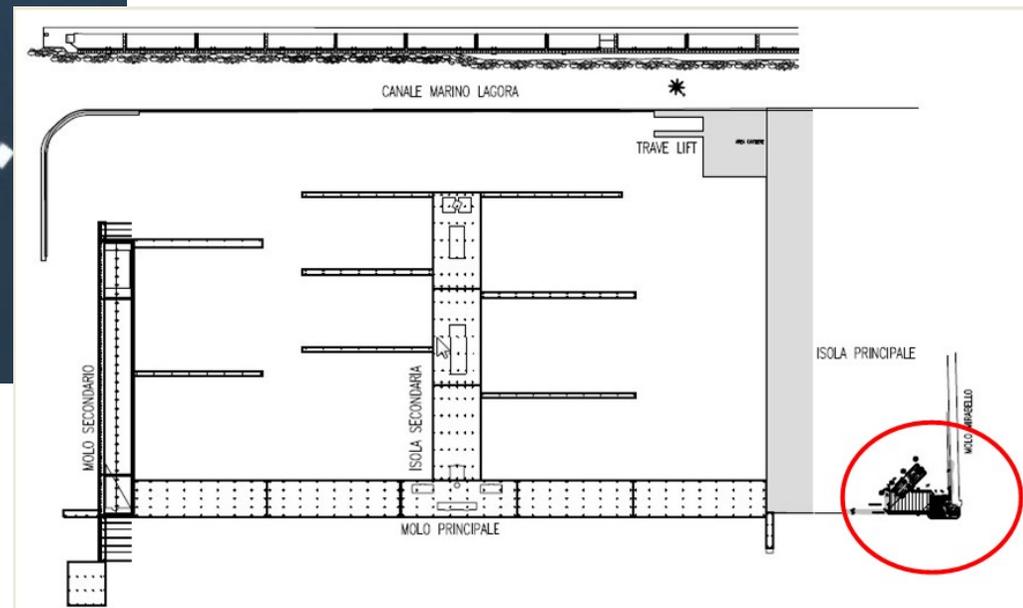
$$L_{\text{inf, reale}} = 8\text{m}$$

$$L_{\text{inf, min}} = 7.2\text{m}$$

$$FS_{\text{GEO}} = 8 / 7.2 = 1.1 > 1.0$$

# OPERE DEFINITIVE : BANCHINA PORTUALE

PARATIA PER REALIZZAZIONE AMPLIAMENTO BANCHINA PORTUALE





# OPERE DEFINITIVE : BANCHINA PORTUALE

## AZIONI E COMBINAZIONI

### AZIONI VARIABILI :

- Carico uniformemente distribuito su piazzale: 5,00 Kpa

### AZIONI SISMICHE :

- Spinta terreno : Mononobe-Okabe
- Azione idrodinamica : Westergaard

### Parametri sismici

- **Comune** La Spezia
- **Vita nominale opera** 50 anni
- **Coefficiente uso** 1
- Stato Limite Considerato Stato limite di salvaguardia della vita (**SLV**)  
Da cui:
  - $a_g = 0,13g$   $F_o = 2,403$
  - $a_h = \alpha * \beta * a_{max} = k_h * g$
  - $a_{max} = S * a_g = S_s * S_t * a_g \rightarrow k_h$

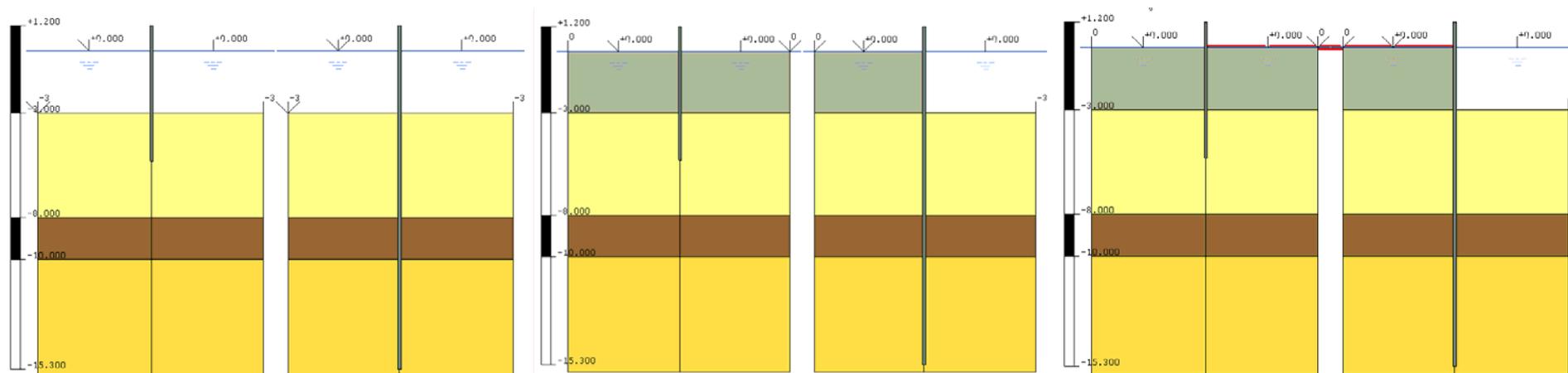


## OPERE DEFINITIVE : BANCHINA PORTUALE

### COMBINAZIONE C1 – A1M1R1

$$\gamma_{\text{sat,d}} = \gamma_{\text{sat,k}}$$
$$\varphi'_{\text{d}} = \varphi'_{\text{k}}$$

### FASI DI CALCOLO



1) GEOSTATICA

2) RIEMPIMENTO  
PARZIALE

3) POSA TIRANTI

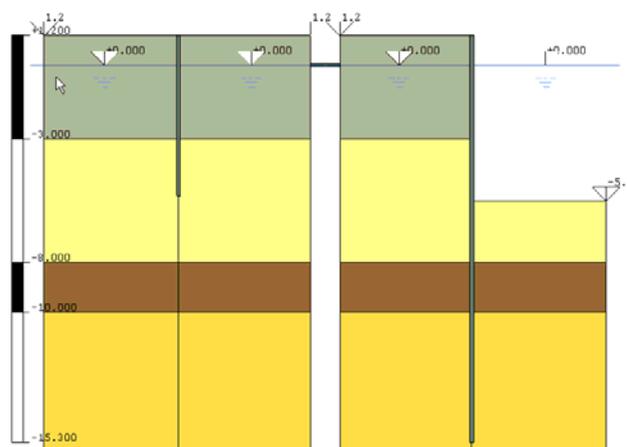


## OPERE DEFINITIVE : BANCHINA PORTUALE

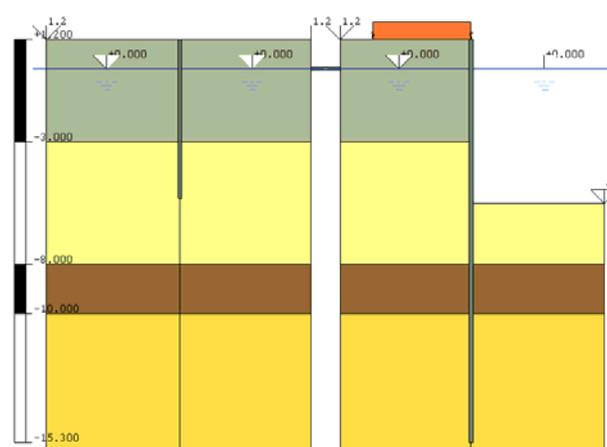
### COMBINAZIONE C1 – A1M1R1

$$\gamma_{sat,d} = \gamma_{sat,k}$$
$$\varphi'_d = \varphi'_k$$

### FASI DI CALCOLO

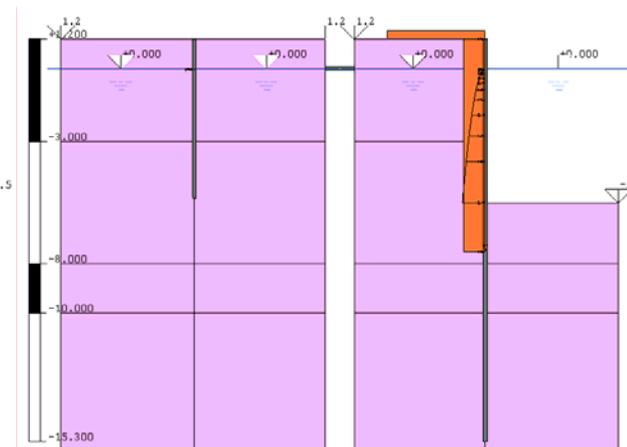


4) DRAGAGGIO



5) APPLICAZIONE  
CAICHI VARIABILI

$$q_d = q_k$$



6) APPLICAZIONE  
AZIONI SISMICHE  
**+ k<sub>p</sub> RIDOTTA**



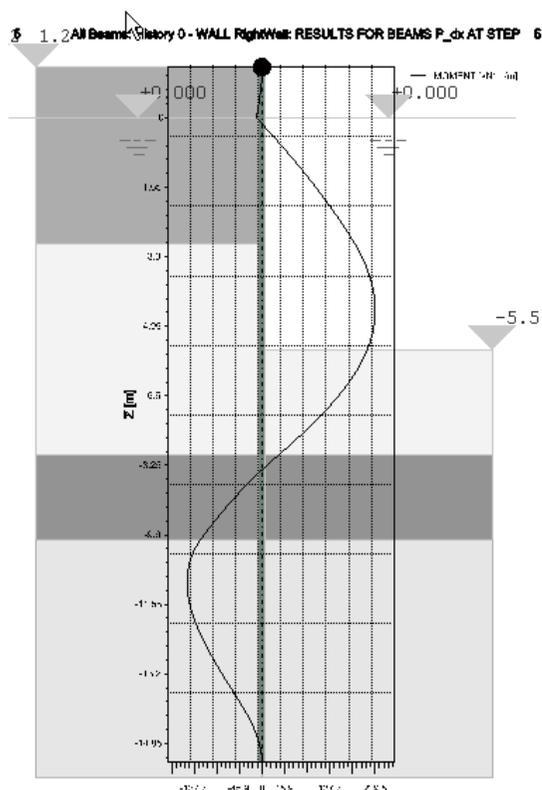
## OPERE DEFINITIVE : BANCHINA PORTUALE

### COMBINAZIONI – STR :

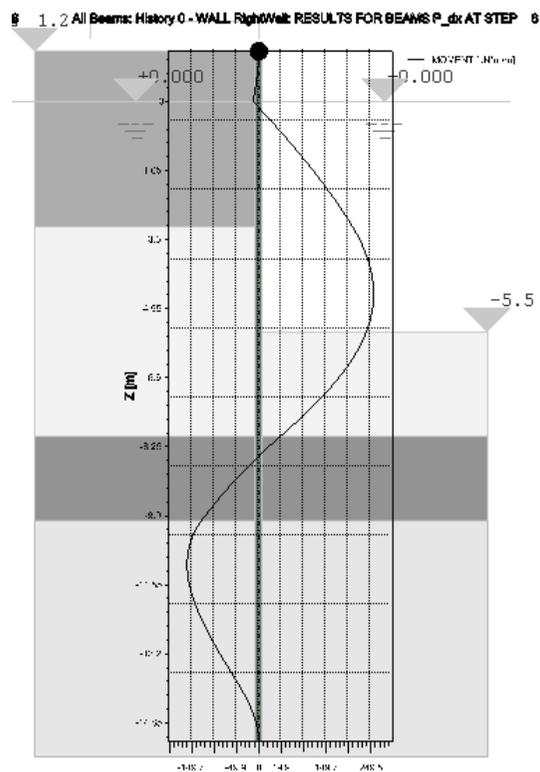
STATICA C1      A1 M1 R1

SISMICA        1 M1 R1

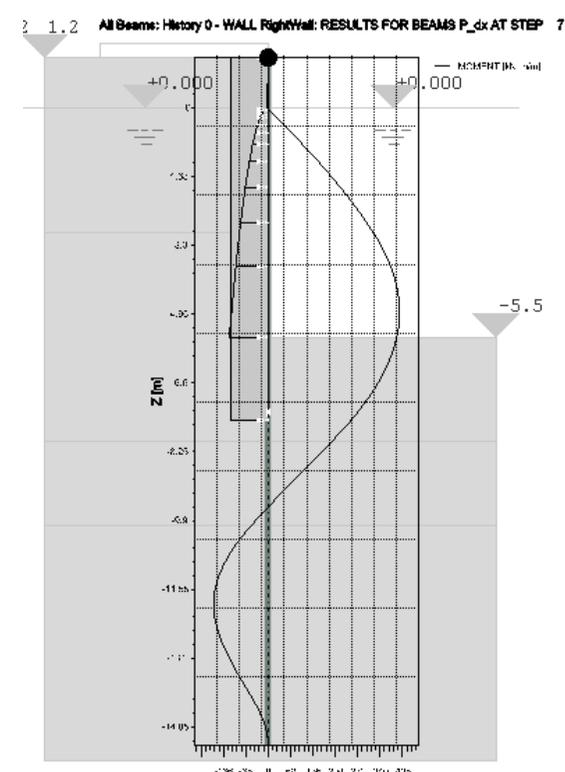
### RISULTATI PARATIA PRINCIPALE : MOMENTO FLETTENTE



$$M_{Q=0} = 229.78 \text{ kNm/m}$$



$$M_{Q>0} = 255.09 \text{ kNm/m}$$



$$M_{E>0} = 379.34 \text{ kNm/m}$$

# OPERE DEFINITIVE : BANCHINA PORTUALE

## PARATIA PRINCIPALE : SOLLECITAZIONI DI PROGETTO E VERIFICHE

### STATICA C1

$$M_{s,d} = 229.78 \times 1.3 + (255.09 - 229.78) \times 1.5 = 336.70 \text{ kNm/m}$$

### SISMICA

$$M_{s,d} = 379.34 \text{ kNm/m}$$

### PALANCOLE AZ18 – ACCIAIO S355GP (SEZIONE CLASSE 3)

$$A_v = 150 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$W_{el} = 1800 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_B = 1$$

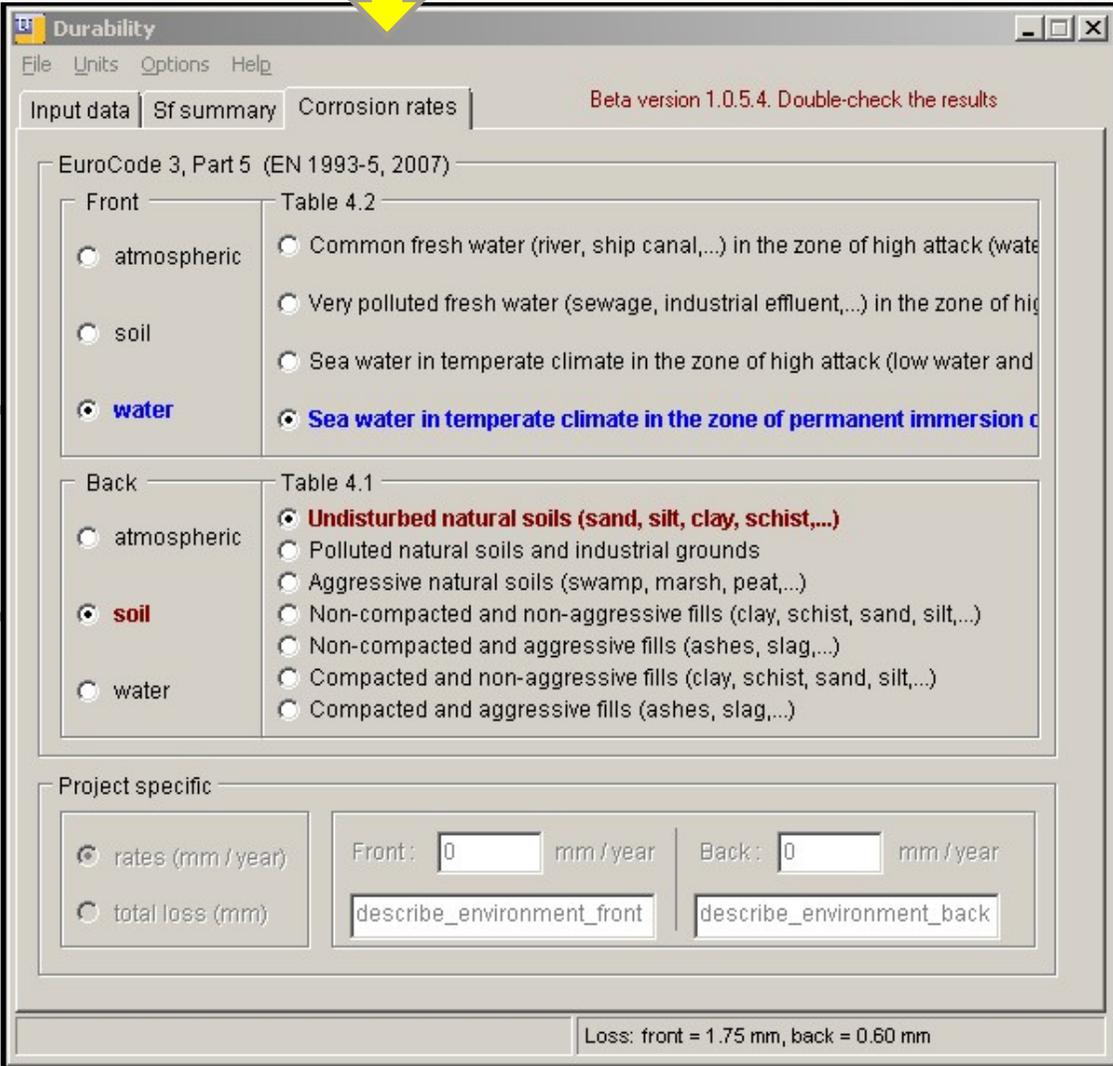
$$M_{R,d} = W_{el} \times (f_{yk} / \gamma_{M0}) \times \beta_B = 1800 \times 10^{-6} \times (355 \times 10^3 / 1.05) \times 1 = 608.5 \text{ kNm/m} > M_{s,d}$$

**AMBIENTE MARINO → VERIFICA CON SEZIONE CORROSA**

# OPERE DEFINITIVE : BANCHINA PORTUALE

## STEP 1 :

DEFINIZIONE DEL TIPO DI ESPOSIZIONE DELLE SUPERFICI DELLA PALANCOLA



The screenshot shows the 'Durability' software interface. A yellow arrow points to the 'Corrosion rates' tab. Two red arrows point to the 'Front' and 'Back' exposure type selection sections.

**Front (Table 4.2)**

- atmospheric
- soil
- water

**Back (Table 4.1)**

- atmospheric
- soil
- water

**Project specific**

rates (mm / year)      Front: 0 mm / year      Back: 0 mm / year

total loss (mm)      describe\_environment\_front      describe\_environment\_back

Loss: front = 1.75 mm, back = 0.60 mm

# OPERE DEFINITIVE : BANCHINA PORTUALE

## STEP 2 :

## DEFINIZIONE DEL TIPO DI PALANCOLA E DELLE SOLLECITAZIONI



ArcelorMittal  
PIACENTINI  
INGEGNERI

**Input Data**

Bending Moment: 379 kNm/m  
Compression Load: 0 kN/m  
Deflection: 0 cm  
BMC =  $W_{x,ini} * f_{yk}$  = 639 kNm/m

**Sheet piles**

- ALL
- AZ
- AZ-700
- AU
- PU-R
- PU
- GU

SSP: 14	$W_{x,ini}$ (cm <sup>2</sup> /m)
AZ 12	1200
AZ 13	1300
AZ 13 10/10	1350
AZ 14	1400
AZ 17	1665
<b>AZ 18</b>	<b>1800</b>
AZ 18 10/10	1870

**Service Life (years)**: 0

**Protection (years)**  
Front: 0  
Back: 0

**Section prop.: AZ 18**

	ini.	red.	
$W_x$	1800	---	cm <sup>2</sup> /m
$I_x$	34200	---	cm <sup>4</sup> /m
$A_x$	150.4	---	cm <sup>2</sup> /m
$t_f$	9.50	---	mm
$t_w$	9.50	---	mm

**Steel Gr.: 13 |  $f_{yk}$  (MPa)**: S 355 GP 355

**A 690, splash zone red. factor**: 0

**Loss of steel thickness: 0.00 mm**  
Front: 0.00 mm | Back: 0.00 mm  
Sea water in temperate climate in the zone of permanent immersion or in the intertidal zone | Undisturbed natural soils (sand, silt, clay, schist,...)

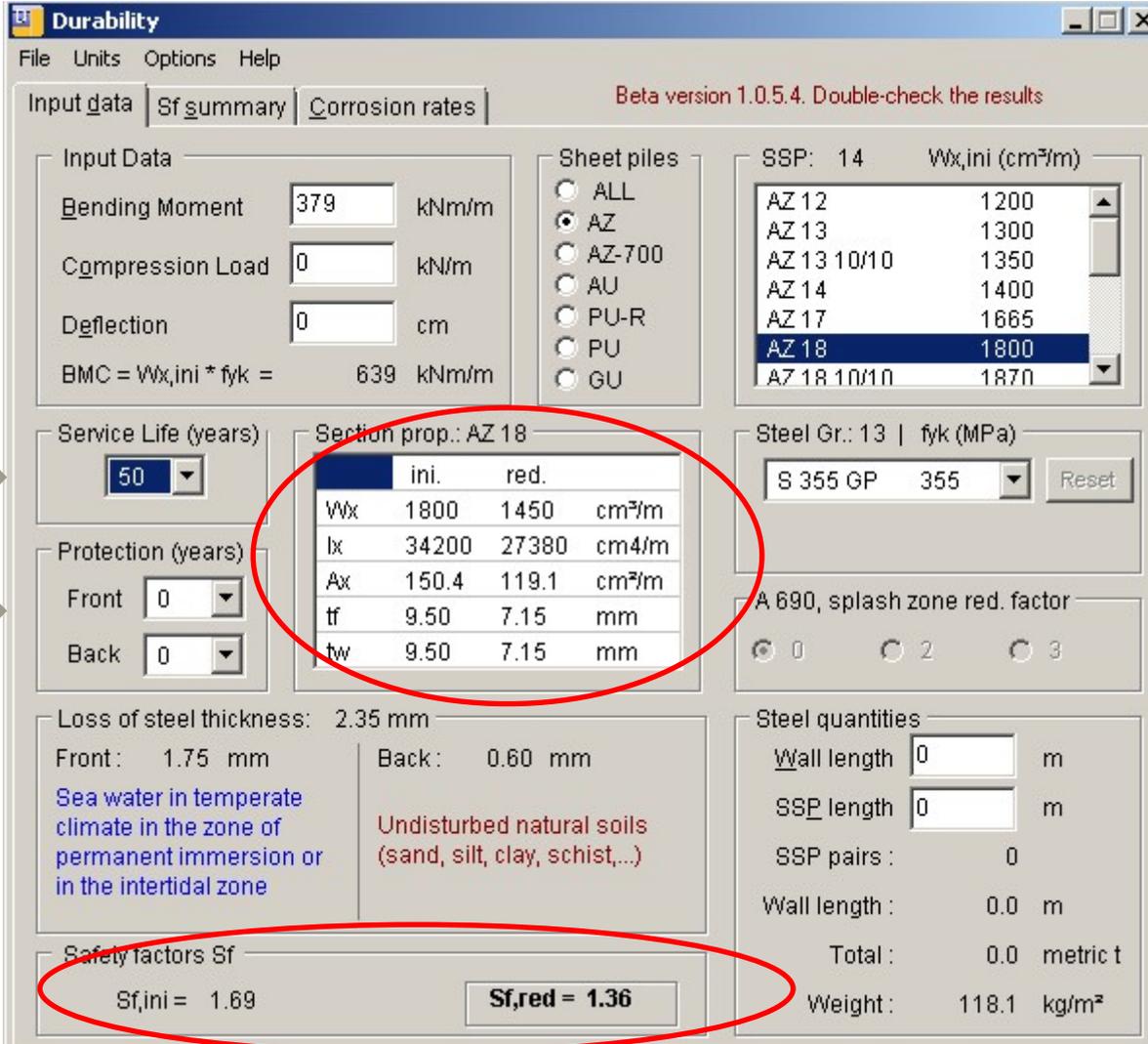
**Safety factors Sf**  
Sf,ini = 1.69 | Sf,red = 1.69

**Steel quantities**  
Wall length: 0 m  
SSP length: 0 m  
SSP pairs: 0  
Wall length: 0.0 m  
Total: 0.0 metric t  
Weight: 118.1 kg/m<sup>2</sup>

# OPERE DEFINITIVE : BANCHINA PORTUALE

## STEP 3 :

### DEFINIZIONE VITA UTILE, EVENTUALI PROTEZIONI E VERIFICHE



The screenshot shows the 'Durability' software interface with the following sections:

- Input Data:** Bending Moment: 379 kNm/m, Compression Load: 0 kN/m, Deflection: 0 cm, BMC =  $W_x,ini * f_{yk} = 639$  kNm/m.
- Sheet piles:** Radio buttons for ALL, AZ (selected), AZ-700, AU, PU-R, PU, GU.
- SSP: 14**  $W_x,ini$  (cm<sup>3</sup>/m):

AZ 12	1200
AZ 13	1300
AZ 13 10/10	1350
AZ 14	1400
AZ 17	1665
<b>AZ 18</b>	<b>1800</b>
AZ 18 10/10	1870
- Service Life (years):** 50 (indicated by a red arrow).
- Section prop.: AZ 18** (circled in red):

	ini.	red.	
$W_x$	1800	1450	cm <sup>3</sup> /m
$I_x$	34200	27380	cm <sup>4</sup> /m
$A_x$	150.4	119.1	cm <sup>2</sup> /m
$t_f$	9.50	7.15	mm
$t_w$	9.50	7.15	mm
- Protection (years):** Front: 0 (indicated by a red arrow), Back: 0.
- Steel Gr.: 13** |  $f_{yk}$  (MPa): S 355 GP 355 (Reset button).
- A 690, splash zone red. factor:** Radio buttons for 0 (selected), 2, 3.
- Loss of steel thickness:** 2.35 mm. Front: 1.75 mm, Back: 0.60 mm. Notes: 'Sea water in temperate climate in the zone of permanent immersion or in the intertidal zone' and 'Undisturbed natural soils (sand, silt, clay, schist,...)'. The text 'Sea water...' is circled in red.
- Safety factors Sf:**  $Sf,ini = 1.69$ ,  $Sf,red = 1.36$  (circled in red).
- Steel quantities:** Wall length: 0 m, SSP length: 0 m, SSP pairs: 0, Wall length: 0.0 m, Total: 0.0 metric t, Weight: 118.1 kg/m<sup>2</sup>.