

---

# Metodologie di calcolo del sistema anti-espulsione dei tamponamenti “MURFOR COMPACT”

## Sommario

1. PREMESSA .....	2
2. CRITERI DI CALCOLO E DI VERIFICA .....	2
3. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO .....	6
4. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA “MURFOR COMPACT” .....	7

---

## 1. PREMESSA

Il presente documento è stato redatto al fine di illustrare le metodologie di calcolo utilizzate per le verifiche delle tamponature esterne di edifici in c.a. nei confronti dell'azione sismica, ai sensi del §7.3.6.2 del D.M. 17/01/2018.

Il D.M. 17/01/2018, al par. 7.3.6.2 VERIFICHE DI STABILITA' (STA) afferma che, "per gli elementi non strutturali devono essere adottati magisteri atti ad evitare la possibile espulsione sotto l'azione della  $F_a$  (v. § 7.2.3) corrispondente allo SL e alla CU considerati".

Al fine della verifica esemplificativa delle pareti di tamponamento si è fatto riferimento al § 7.2.3 del D.M. 17/01/2018 e al § C7.2.3 della Circolare n. 7 – C.S.LL.PP. del 21/01/2019, in cui si indicano i criteri di progettazione degli elementi strutturali secondari e degli elementi costruttivi non strutturali, tra cui i tamponamenti esterni, che influenzano la risposta strutturale solo attraverso la loro massa ma che risultano comunque significativi ai fini della sicurezza e/o dell'incolumità delle persone.

## 2. CRITERI DI CALCOLO E DI VERIFICA

Secondo il § 7.2.3 del D.M. 17/01/2018, gli elementi costruttivi senza funzione strutturale, il cui danneggiamento può provocare danni a persone, devono essere verificati, insieme alle loro connessioni alla struttura, per l'azione sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite considerati.

Gli effetti dell'azione sismica sugli elementi costruttivi senza funzione strutturale possono essere determinati applicando a tali elementi una forza orizzontale  $F_a$  definita come segue:

$$F_a = \frac{S_a \cdot W_a}{q_a}$$

dove:

$F_a$  è la forza sismica orizzontale distribuita o agente nel centro di massa dell'elemento non strutturale nella direzione più sfavorevole, risultante delle forze distribuite proporzionali alla massa;

$S_a$  è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento strutturale subisce durante il sisma e corrisponde allo stato limite in esame (§ 3.2.1);

$W_a$  è il peso dell'elemento;

$q_a$  è il fattore di struttura dell'elemento;

Per la determinazione di  $S_a$ , si farà riferimento a quanto riportato al § C7.2.3 della Circolare n.7 del 21/01/2019, con particolare riferimento alla *Formulazione semplificata per costruzioni con struttura a telai*, secondo la quale l'accelerazione massima  $S_a(T_a)$  può essere determinata attraverso la seguente espressione, rappresentante lo spettro di risposta di piano per l'elemento non strutturale in esame:

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha S \left(1 + \frac{Z}{H}\right) \left[ \frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{aT_1}\right)^2} \right] \geq \alpha S & \text{per } T_a < aT_1 \\ \alpha S \left(1 + \frac{Z}{H}\right) a_p & \text{per } aT_1 \leq T_a < bT_1 \\ \alpha S \left(1 + \frac{Z}{H}\right) \left[ \frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{bT_1}\right)^2} \right] \geq \alpha S & \text{per } T_a \geq bT_1 \end{cases}$$

dove:

- $\alpha$  è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno  $a_g$  su sottosuolo di tipo A da considerare nello stato limite in esame (§ 3.2.1) e l'accelerazione di gravità  $g$ ;
- $S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sotto suolo e delle condizioni topografiche (§ 3.2.3.2.1);
- $T_a$  è il periodo fondamentale dell'elemento non strutturale;
- $T_1$  è il periodo fondamentale della costruzione nella direzione considerata;
- $Z$  è la quota del baricentro del pannello rispetto al piano delle fondazioni;
- $H$  è l'altezza dell'edificio rispetto al piano delle fondazioni;
- $a, b, a_p$  sono i parametri definiti in accordo con il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione (si veda Fig. C7.2.3 e Tabella C7.2.II).

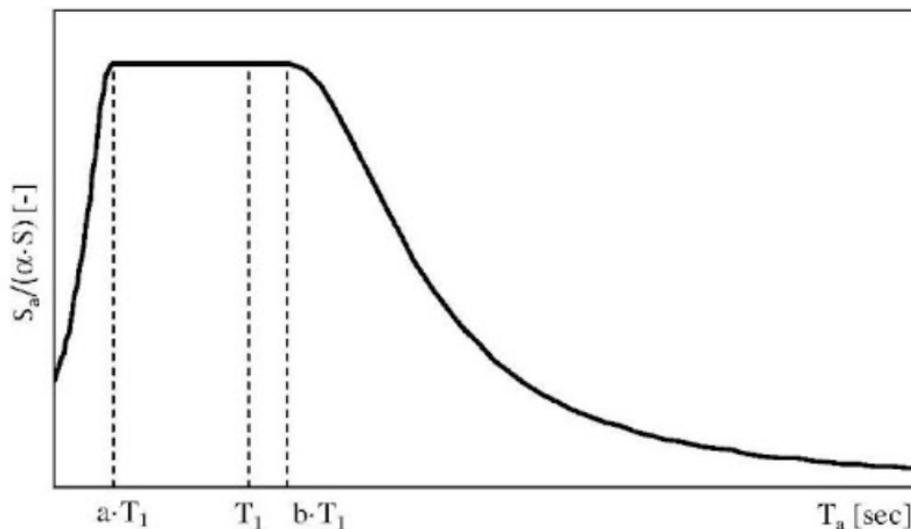


Figura C7.2.3: Spettro di risposta di piano per gli elementi non strutturali.

	a	b	$a_p$
$T_1 < 0,5$ s	0,8	1,4	5,0
$0,5$ s $< T_1 < 1,0$ s	0,3	1,2	4,0
$T_1 > 1,0$ s	0,3	1,0	2,5

Tabella C.7.2.II: Parametri a, b,  $a_p$  in accordo con il periodo di vibrazione della costruzione  $T_1$ .

La norma consente infine di ridurre la domanda sismica  $S_a$  su ciascun elemento non strutturale attraverso uno specifico fattore di comportamento  $q_a$ :

Elemento non strutturale	$q_a$
Parapetti o decorazioni aggettanti Insegne e pannelli pubblicitari Comignoli antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	1,0
Pareti interne ed esterne Tramezzatura e facciate Comignoli, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggiati sul pavimento Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	2,0

Tabella C.7.2.I: Valori di  $q_a$  per elementi non strutturali.

In assenza di specifiche analisi, il periodo fondamentale della costruzione, ai sensi del § C7.3.3.2 della Circolare del 21/01/2019, può essere calcolato in prima approssimazione con l'espressione:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4}$$

dove:

- $H$  è l'altezza della costruzione, in metri, misurata a partire dal piano di fondazione;
- $C_1$  vale 0,085 per costruzioni con struttura a telaio di acciaio o di legno, 0,075 per strutture a telaio di calcestruzzo armato e 0,050 per costruzioni di muratura o qualsiasi altro tipo di struttura.

Il periodo di vibrazione dell'elemento non strutturale ( $T_a$ ) può essere calcolato con la seguente formulazione:

$$T_a = \frac{2 \cdot h^2}{\pi \cdot k^2} \cdot \sqrt{\frac{(L \cdot s) \cdot \gamma}{E \cdot I \cdot g}}$$

dove:

- $k$  è il numero che indica il modo di vibrazione considerato (1,2,3...);
- $h$  è l'altezza del pannello di tamponatura;
- $L$  è la base del pannello di tamponatura;
- $s$  è lo spessore del pannello di tamponatura;
- $\gamma$  è il peso per unità di volume del pannello di tamponatura;
- $E$  è il modulo elastico del pannello di tamponatura;
- $I$  è il momento di inerzia del pannello di tamponatura per la sezione considerata;
- $g$  è l'accelerazione di gravità.

È bene precisare che per quel che concerne il rapporto tra il periodo fondamentale dell'elemento non strutturale e il periodo fondamentale della costruzione, è ragionevole supporre che questo tenda a zero, essendo la tamponatura all'interno del telaio in c.a. di per se molto più rigida rispetto alla costruzione stessa.

Calcolata la forza orizzontale  $F_a$ , possiamo procedere alla verifica di sicurezza, considerando la più gravosa delle seguenti ipotesi di calcolo:

**1) Tamponatura doppiamente appoggiata in testa ed al piede con carico concentrato in mezzeria**

In tale ipotesi il momento sollecitante massimo, valutato nella sezione di mezzeria, è pari a:

$$M_{ed} = \frac{F_a \cdot h}{4}$$

In tale ipotesi il momento resistente è invece pari a:

$$M_{rd} = \left( L \cdot s^2 \cdot \frac{\sigma_0}{2} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_0}{0,85 f_d} \right)$$

**2) Tamponatura doppiamente appoggiata in testa ed al piede con carico uniformemente distribuito**

In tale ipotesi il momento sollecitante massimo, valutato nella sezione di mezzeria, è pari a:

$$M_{ed} = \frac{(F_a \cdot h^2)}{8h}$$

In tale ipotesi il momento resistente è invece pari a:

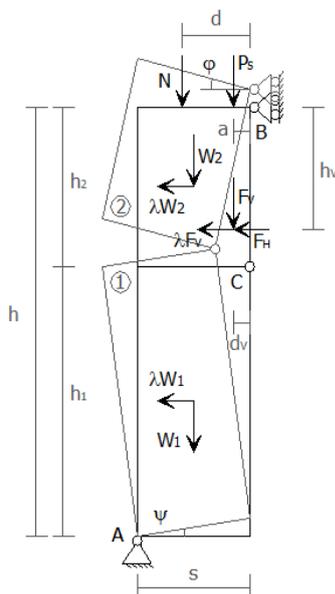
$$M_{rd} = \left( L \cdot s^2 \cdot \frac{\sigma_0}{2} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_0}{0,85 f_d} \right)$$

**3) Cinematismo con formazione di cerniere plastiche in appoggio e in mezzeria**

In tale ipotesi il momento ribaltante massimo, valutato nella sezione di mezzeria, è pari a:

$$M_{ed} = \left( F_a \cdot \frac{h}{8} \right) + \left( W_a \cdot \frac{s}{4} \right)$$

In tale ipotesi il momento stabilizzante, con riferimento alla sezione di mezzeria, è invece pari a:



$$M_{rd} = \frac{W_a}{2} \cdot \left[ s - \frac{W_a}{4 \cdot 0,85 f_d \cdot L} \right]$$

---

dove:

$F_a$  è la forza sismica orizzontale agente al centro di massa della tamponatura;

$W_a$  è il peso della tamponatura.

È importante, per pareti caratterizzate da estensioni significative, la valutazione dell'azione del vento in alternativa all'azione sismica. Infatti l'azione del vento potrebbe risultare talvolta più gravosa soprattutto in zone a bassa sismicità.

In tutte e tre le ipotesi considerate la verifica per lo SLV risulterà soddisfatta se  $M_{rd}/M_{ed} \geq 1$ .

Per costruzioni di classe d'uso III e IV, tale verifica dovrà essere condotta anche per lo SLD.

**Nel caso in cui risulti  $M_{Rd} < M_{Ed}$ , occorrerà progettare dei presidi atti a scongiurare una possibile espulsione delle tamponature.**

### 3. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento della struttura è stato sviluppato nel rispetto delle normative elencate:

- OPCM 3274 del 20/03/03** - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica: *Allegato 1 - classificazione sismica del territorio italiano*;
- D.M. 14/01/08** - Nuove norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 2 Febbraio 2009, n° 617** - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 Gennaio 2008.
- D.M. 17/01/2018** - Norme tecniche per le costruzioni 2018;
- Circolare 21 Gennaio 2019, n° 7** - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 Gennaio 2018.

## 4. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA “MURFOR COMPACT”

Qualora le verifiche di stabilità delle tamponature non risultino soddisfatte, occorrerà prevedere dei presidi anti espulsione delle tamponature. Si procederà nel seguito ad illustrare il dimensionamento del sistema “Murfor Compact” della Bekaert, sistema provvisto di marcatura CE mediante ETA 18/0316: v2, disponibile in due distinte versioni: Larghezza = 50mm e 100mm.

### SCHEDA TECNICA

#### Dimensioni e peso della rete

Larghezza	mm	w	50
Distanza <sub>breve</sub>	mm	a	7.5
Distanza <sub>lunga</sub>	mm	b	10
Passo	mm	c	33
Spessore	mm	e	1.75
Lunghezza	m	L	30
Peso	kg/rotolo		1.40

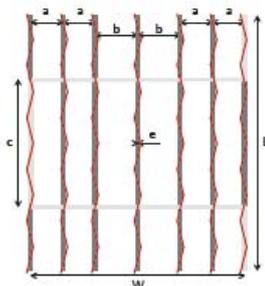
#### Specifiche tecniche

Sezione dell'acciaio			
Cavo longitudinale	mm <sup>2</sup>		0.69
Totale	mm <sup>2</sup>		4.83
Caratteristiche			
Snervamento	Mpa		1770
Modulo E	Gpa		180
Deformazione - Agt	%		2.2
Riferimento materiale			
EN845-3		R 20	

#### Certificati di prodotto



#### Geometria



#### Unità di confezionamento



**Per scatola**  
6 Rotoli  
180 Metri



**Per pallet (600x1200mm)**  
36 scatole  
6480 Metri

#### Movimentazione



Tenere in ambiente asciutto



Sovrapporre al massimo due pallet



#### DESCRIZIONE GENERALE

Il rinforzo per opere in muratura Murfor® Compact consiste in una rete di cavi di acciaio e roving in fibra di vetro intrecciato.

#### Murfor® Compact I-50

Una rete formata da 7 cavi di acciaio.

#### APPLICAZIONI

Murfor® Compact I-50 (Zincato) è adatto a opere in muratura (mattoni di argilla, blocchi di cemento) esposte a un ambiente secco (classe di esposizione MX1 secondo la normativa l'Eurocodice 6 / EN 845-3).

Murfor® Compact I-50 è adatto a tutti i giunti di malta di spessore compreso tra 3 e 12 mm.

Scheda tecnica MURFOR COMPACT I-50

## SCHEDA TECNICA

### Dimensioni e peso della rete

Larghezza	mm	w	100
Distanza <sub>breve</sub>	mm	a	7.5
Distanza <sub>lunga</sub>	mm	b	10
Passo	mm	c	33
Spessore	mm	e	1.75
Lunghezza	m	L	30
Peso	kg/rotolo		2.77

### Specifiche tecniche

Sezione dell'acciaio			
Cavo longitudinale	mm <sup>2</sup>	0.69	
Totale	mm <sup>2</sup>	9.66	
Caratteristiche			
Snervamento	Mpa	1770	
Modulo E	Gpa	180	
Deformazione - Agt	%	2.2	
Riferimento materiale			R 20
EN845-3			

### Certificati di prodotto

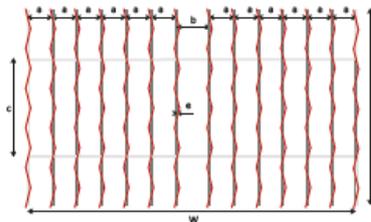


ETA 18/0316



UES ER-516

### Geometria



### Unità di confezionamento



#### Per scatola

3 Rotoli  
90 Metri



#### Per pallet (900x1200mm)

36 scatole  
3240 Metri

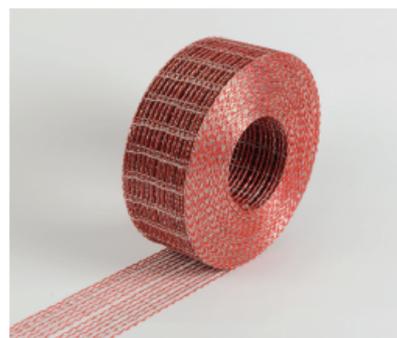
### Movimentazione



Tenere in ambiente  
asciutto



Sovrapporre al massimo  
due pallet



### DESCRIZIONE GENERALE

Il rinforzo per opere in muratura Murfor® Compact consiste in una rete di cavi di acciaio e roving in fibra di vetro intrecciato.

#### Murfor® Compact I-100

Una rete formata da 14 cavi di acciaio.

### APPLICAZIONI

Murfor® Compact I-100 (zincato) è adatto a opere in muratura (mattoni di argilla, blocchi di cemento) esposte a un ambiente secco (classe di esposizione MX1 secondo la normativa l'Eurocodice 6 / EN 845-3).

Murfor® Compact I-100 è adatto a tutti i giunti di malta di spessore compreso tra 3 e 12 mm.

Scheda tecnica MURFOR COMPACT I-100

Come si osserva le caratteristiche meccaniche del prodotto sono le stesse, l'unica differenza consiste nella larghezza del sistema, progettata per adattarsi a diversi spessori di tamponature.

Nel dettaglio:

- il Murfor Compact I-50 presenta n.7 fili di sezione pari a 0,69 mm<sup>2</sup> per un totale di area di rinforzo pari a 4,83 mm<sup>2</sup>;
- il Murfor Compact I-100 presenta n.14 fili di sezione pari a 0,69 mm<sup>2</sup> per un totale di area di rinforzo pari a 9,66 mm<sup>2</sup>, ovvero il doppio del precedente.

---

Il momento resistente può essere calcolato con riferimento al par. 7.8.3.2.3 delle NTC per quel che riguarda la pressoflessione fuori dal piano delle murature armate.

Nel dettaglio la verifica della sezione di muratura armata deve essere effettuata considerando i seguenti parametri:

- Diagramma delle compressioni rettangolare, con profondità pari a 0,8 la profondità dell'asse neutro e tensione pari a  $0,85 f_d$ , dove  $f_d$  è la resistenza di progetto della muratura;
- Deformazione massima per la muratura compressa pari a  $\epsilon_m = 0,0035$ ;
- Deformazione massima per l'acciaio teso pari a  $\epsilon_s = 0,01$ .

Come si osserva, la deformazione imposta nell'acciaio è pari al 1%, mentre l'acciaio costituente il Murfor Compact presenta una deformazione ultima a rottura pari al 2,2%. La norma limita volutamente tale valore (che nell'acciaio tradizionale è pari al 6,75%) per evitare uno sfruttamento eccessivo dell'acciaio, non essendo la muratura in grado di raggiungere tali valori di deformazione.

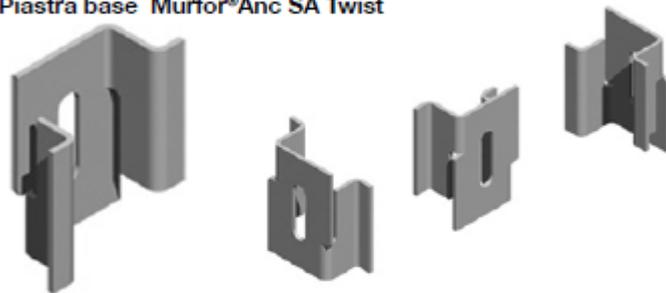
Il dimensionamento della tamponatura rinforzata viene effettuato mediante un processo iterativo, ovvero:

- 1) Si ipotizza una sezione resistente di tamponatura, in genere corrispondente alla sezione trasversale della muratura;
- 2) Si ipotizza il passo del rinforzo nella sezione considerata. Si consiglia di procedere considerando come primo tentativo i presidi di rinforzo a passo=50cm, ovvero ogni 2 blocchi;
- 3) Si calcola l'area di acciaio costituente il rinforzo considerando, nel caso del Murfor Compact, la somma dell'area dei singoli cavi applicata al baricentro dei cavi stessi;
- 4) Si calcola il braccio della coppia interna dei rinforzi valutando la distanza del baricentro del rinforzo stesso dal lembo esterno e/o interno della muratura;
- 5) Si procede con la verifica a pressoflessione del tamponamento armato ricavando il dominio di iterazione N-M, valutabile con i comuni software di calcolo presenti sul mercato, inputando i valori di resistenza della muratura e dell'acciaio, e i valori di deformazione esplicitati in precedenza;
- 6) Si ricava il momento resistente della muratura armata. Qualora il momento resistente risulti inferiore al momento sollecitante precedentemente ricavato, si procede a) al raffittimento del rinforzo lungo la sezione di muratura, b) all'inserimento di più rinforzi nello stesso corso di muratura;
- 7) Si procede con l'inserimento delle connessioni a taglio del tipo "Murfor Anc" di collegamento dei rinforzi orizzontali con le strutture verticali, i quali dovranno essere dimensionati per le azioni taglianti di competenza, ovvero l'azione  $F_a$  precedentemente calcolata, ripartita per i connettori presenti nella specchiatura di tamponamento;

Gli ancoraggi Murfor®Anc con libertà di movimento sono ancoraggi composti costituiti di piastra base Murfor®Anc SA Twist. Permettono il movimento sul piano parallelo alla base e ne impediscono il movimento su quello perpendicolare.

Gli ancoraggi Murfor®Anc con libertà di movimento sono ancoraggi adatti a vincoli flessibili come quelli che si stabiliscono tra pareti passanti e struttura. Partendo dalla piastra base, e mediante il semplice interscambio delle staffe a filo, è possibile adattare l'ancoraggio ai diversi spessori di muratura e intercapedine, così come configurare gli ancoraggi per la posizione a incasso o passante.

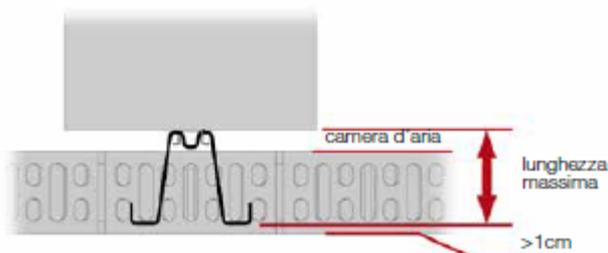
#### Piastra base Murfor®Anc SA Twist



Il fissaggio del piattello dell'ancoraggio all'elemento portante viene eseguito solitamente con tasselli di espansione di dimensione 8. Il tassello da scegliere deve possedere una resistenza superiore a quella dell'ancoraggio per evitare la caduta per strappo di quest'ultimo.

#### Scelta dell'ancoraggio:

Una volta stabilita la posizione (a incasso o passante), si sceglie la dimensione della staffa. La dimensione dovrà essere la massima possibile senza superare la distanza totale tra la superficie esterna del blocco di facciata, meno un centimetro. Espressa in centimetri, è possibile stimare questa lunghezza massima come lo spessore dell'intercapedine più lo spessore del corso di muratura meno uno. L'intercapedine non deve superare i 5,00 cm



Tipologie di ancoraggi "Murfor Anc".

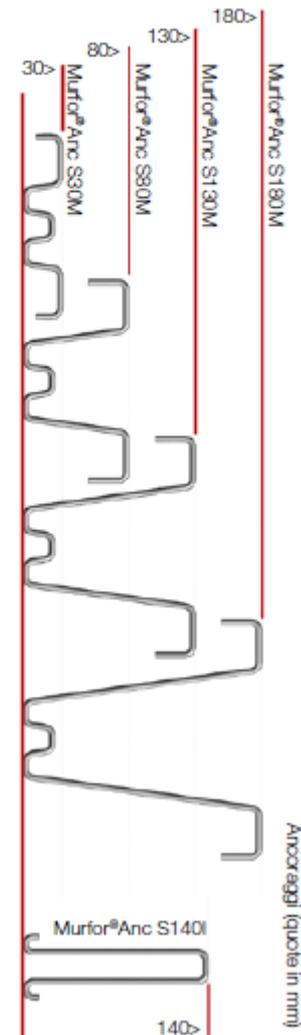
#### Ancoraggi Murfor®Anc

Rifinito, solo in qualità inossidabile

### Murfor®Anc S 80M

Largh. totale ancoraggio (mm)

Posizione d'uso dell'ancoraggio:  
M = passante  
I = a incasso

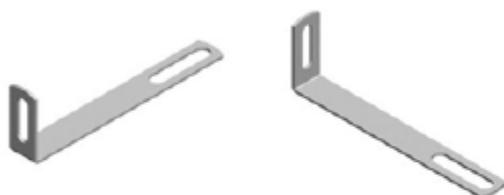
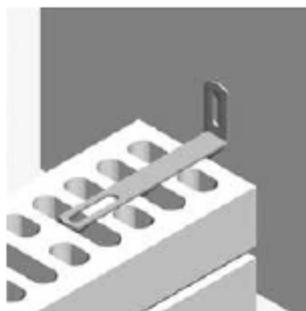


### Tiranti Murfor®Anc L+ 100

I Murfor®Anc L+ 100 sono tiranti fissi piatti adatti per vincoli senza movimento.

Questo tipo di ancoraggio è consigliato per vincoli tra parete e struttura circostante, soprattutto se la parete si allaccia perpendicolarmente al muro portante.

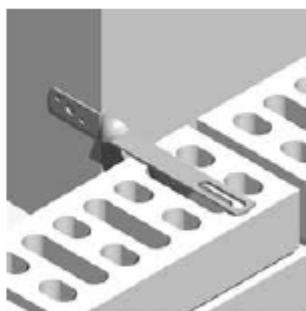
Gli ancoraggi vanno fissati alla struttura mediante un elemento che garantisca la trasmissione delle spinte.



### Tiranti Murfor®Anc Twist+ 200

I Murfor®Anc Twist+ 200 sono tiranti fissi piatti adatti per vincoli senza movimento.

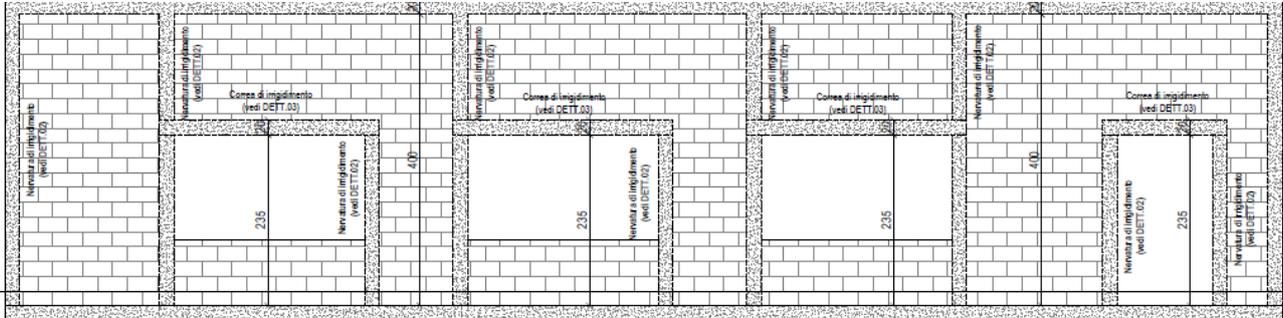
Questo tipo di ancoraggio è consigliato per vincoli tra parete e struttura circostante, soprattutto se la parete è passante rispetto al muro portante.



L'estremità da fissare al muro portante è quella più corta, con la parte lunga dell'ancoraggio inserita nella malta. L'altra estremità va fissata alla struttura mediante un elemento che garantisca la trasmissione delle spinte. Si consiglia l'utilizzo di tasselli di espansione di dimensione M-8, posizionati nel foro centrale.

Tipologie di ancoraggi "Murfor Anc".

- 8) Occorre infine prestare attenzione ai dettagli in prossimità delle aperture, ovvero porte e finestre. Nel caso di porte e finestre estese è sempre consigliabile prevedere opportune nervature verticali ai lati delle aperture stesse al fine di poter ancorare efficacemente il rinforzo.



Esempio di parete di tamponamento con nervature in prossimità delle aperture.