

Murature armate nelle operazioni di consolidamento: influenza del livello di carico nella fase d'intervento

REINFORCED MASONRY IN THE STRENGTHENING OPERATIONS: LOAD LEVEL INFLUENCE DURING REINFORCEMENT PROCESS.

Mario AQUILINO

Antonino GALLO CURCIO

Francesco PICCARRETA

Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Roma. Italia

Sommario. Le operazioni di consolidamento delle murature mediante l'impiego di armature, vengono eseguite su elementi gravati da quote, più o meno grandi, del carico d'esercizio. In tali condizioni ne risulta una limitazione dell'incremento di resistenza conseguibile, tanto maggiore quanto più alto è il livello di carico presente sulla muratura all'atto del consolidamento. In questo studio sono definite le curve d'interazione $n-m$ in funzione delle caratteristiche della muratura e dell'armatura, del livello di carico presente all'atto del consolidamento, delle modalità di applicazione dell'armatura.

Abstract. The strengthening operations of masonry are carried out when the walls are subjected to a non negligible fraction of the maximum load. As a consequence, when the strengthening technique is, for example, the application of reinforced mortar plastering, a limited increase of strength is obtained; such increase is less at high levels of vertical stress. In this paper interaction curves $n-m$ are given, which are function of the following variables: quality of masonry, reinforcement strength and ratio, initial level of vertical stress. The use of such diagrams allows a quick preevaluation of efficiency of the strengthening, as well as of the importance of further strengthening operation which can be needed.

1. INTRODUZIONE

Le operazioni di consolidamento vengono eseguite su elementi murari già soggetti ad una frazione, più o meno grande, del carico d'esercizio; in questa fase, infatti, mancano in genere i sovraccarichi e, talvolta, i carichi permanenti relativi ad alcune finiture. Per valutare gli effetti indotti dalle operazioni di consolidamento occorre, pertanto, mettere in evidenza due valori dello sforzo normale negli elementi resistenti:

- lo sforzo normale d'esercizio, N ;
- lo sforzo normale transitorio, N_t , presente all'atto delle operazioni di consolidamento sul solo masso murario.

In queste condizioni, quando si debba intervenire con le tecniche che prevedono l'apposizione di barre d'armatura, si ha, rispetto

al caso ideale d'intervento su muratura "scarica", una limitazione dell'incremento di resistenza conseguibile, tanto più grande quanto più alto è il livello di carico presente all'atto del consolidamento.

In un precedente studio [1] è stata sviluppata l'analisi del comportamento di murature armate soggette a sforzo normale e flessione ed è stata già posta la problematica di base per quanto riguarda l'effetto del carico transitorio N_t . Si definiscono ora, con riferimento alle schematizzazioni di Fig. 1, le curve d'interazione n - m in funzione del livello di carico transitorio adimensionale n_t , delle caratteristiche di muratura ed acciaio, della disposizione dell'armatura, (Fig. 2).

La situazione di precarico è messa in evidenza in Fig. 1; le conseguenze sono indicate in Fig. 2, ove sono messe in evidenza due situazioni con sezione parzializzata, entrambe riferite al caso che qui interessa di $\bar{\epsilon}_m \leq \epsilon_e$ [2]. Per il solo caso di $\bar{\epsilon}_m = \epsilon_e$ e per disposizione dell'armatura su entrambe le facce del muro, vengono definite anche le curve d'interazione n - m per comportamento duttile della muratura (Fig. 10), in funzione sia del gradino di duttilità che del livello di carico n_t .

Questo studio ha avuto inizio e si è sviluppato con lo scopo di fornire un contributo alla soluzione dei problemi del consolidamento e dell'adeguamento di elementi murari in zona sismica; tuttavia i risultati sono estendibili a qualsiasi elemento strutturale costituito con materiale scarsamente resistente a trazione, (a comportamento più o meno duttile), rinforzato con barre metalliche.

2. MURATURA A COMPORTAMENTO ELASTO-FRAGILE CON ARMATURA SULLE DUE FACCE

Per la sezione mista di muratura ed acciaio, con armatura su entrambe le facce del muro, in Fig. 3 sono riportati lo schema geometrico ed i diagrammi di deformazione a rottura. S'individuano 5 campi di deformazione, limitati dalla compressione pura (OA) e dalla trazione pura (DF); in Tab. 1 sono riportate le espressioni parametriche di n ed m per i primi 4 campi; è stato escluso il quinto campo in quanto privo di interesse pratico.

Per fornire una concreta indicazione dell'influenza di n_t , in Tab. 2 sono riportate le coordinate n, m dei punti rappresentativi degli estremi di campo per i seguenti valori delle grandezze caratteristiche:

$\bar{\epsilon}_m / \epsilon_e = 1$; $\bar{\epsilon}_a / \bar{\epsilon}_m = 5$; $\mu \cdot E_a / E_m = 0,528-0,336-0,176-0,112-0,048$
In Fig. 4 sono infine riportate in grafico le curve n - m , relative al caso $\mu \cdot E_a / E_m = 0,528$; ciascuna curva d'interazione è definita per valori di n compresi tra $[1 + (1 - n_t) \mu \cdot E_a / E_m]$ ed n_t in quanto, in armonia con la realtà operativa, il carico d'esercizio non può essere inferiore al carico transitorio agente sul solo masso murario all'atto del consolidamento.

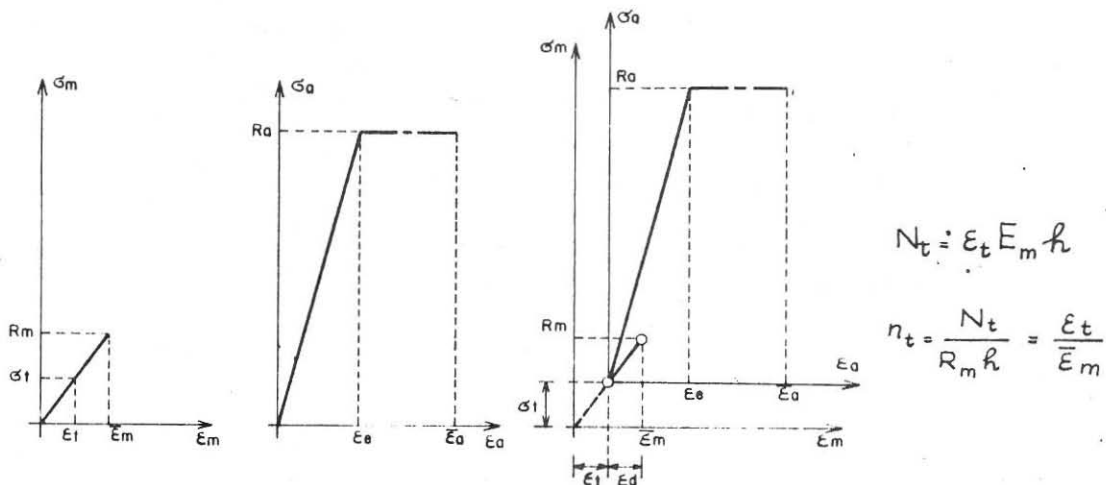


Fig. 1 . Diagrammi costitutivi della muratura e dell'acciaio e loro combinazione nella situazione di precarico, N_t .

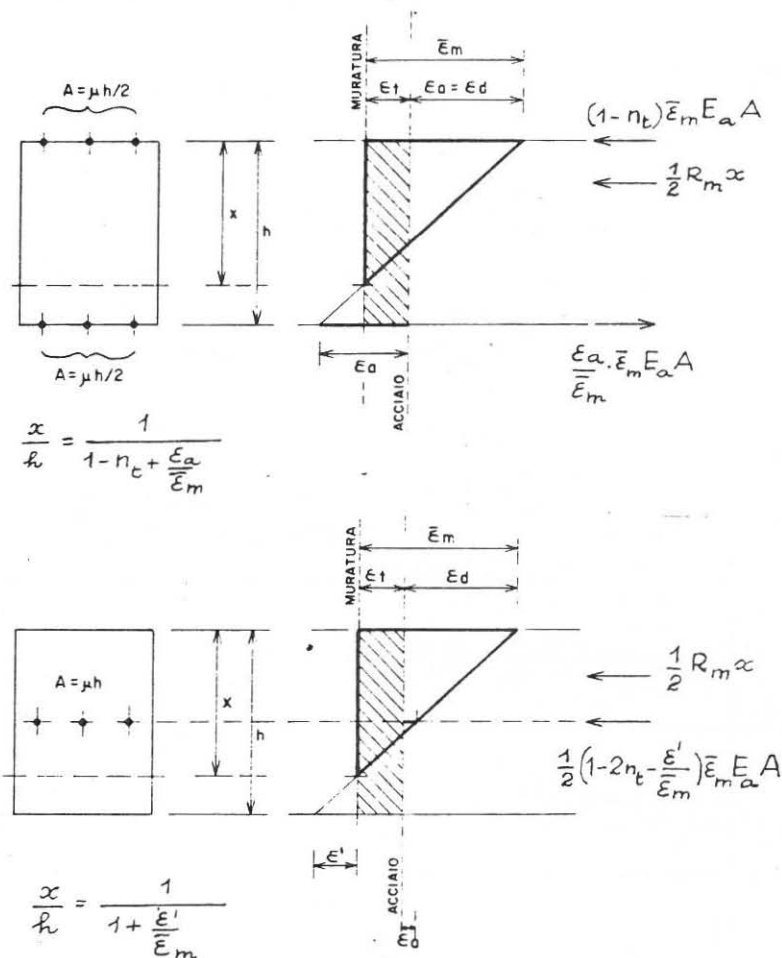


Fig. 2 . Situazione di precarico nella muratura per due diverse disposizioni dell'armatura d'acciaio, per $\bar{\varepsilon}_m \leq \varepsilon_e$.

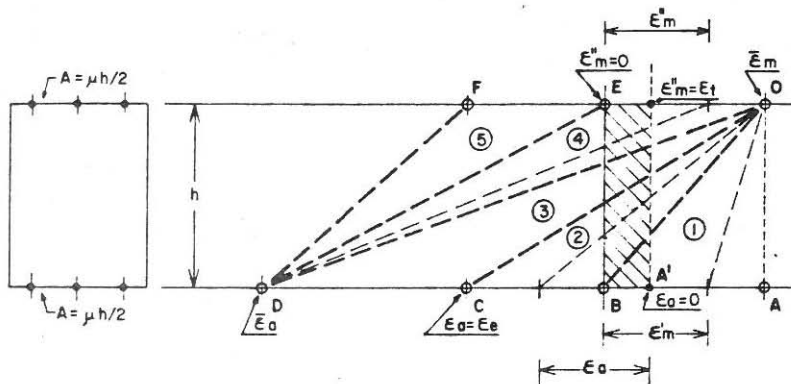


Fig. 3 . Schema geometrico della sezione mista di muratura ed acciaio e diagrammi di deformazione a rottura per armatura sulle due facce.

CAMPO		n	m
① tra OA e OB	$\alpha' \geq 0$ $1 \geq \alpha'$	$\frac{1+\alpha'}{2} + \frac{1}{2}(1+\alpha'-2\eta_t) \frac{E_a}{E_m} \mu$	$\frac{1-\alpha'}{2} + \frac{3}{2}(1-\alpha') \frac{E_a}{E_m} \mu$
② tra OB e OC	$\frac{\epsilon_e}{\epsilon_m} \leq \frac{\epsilon_a}{\epsilon_m}$ $\eta_t \leq \alpha'_a \leq \frac{\epsilon_e}{\epsilon_m}$	$\frac{1}{2(1+\alpha'_a-\eta_t)} + \frac{1}{2}(1-\alpha'_a-\eta_t) \frac{E_a}{E_m} \mu$	$\frac{1+3\alpha_a-3\eta_t}{2(1+\alpha_a-\eta_t)^2} + \frac{3}{2}(1+\alpha'_a-\eta_t) \frac{E_a}{E_m} \mu$
③ tra OC e OD	$\frac{\epsilon_e}{\epsilon_m} \leq \alpha'_a \leq \frac{\epsilon_a}{\epsilon_m}$ $\frac{\epsilon_e}{\epsilon_m} \leq \frac{\epsilon_a}{\epsilon_m}$	$\frac{1}{2(1+\alpha'_a-\eta_t)} + \frac{1}{2}(1-\frac{\epsilon_e}{\epsilon_m}-\eta_t) \frac{E_a}{E_m} \mu$	$\frac{1+3\alpha_a-3\eta_t}{2(1+\alpha_a-\eta_t)^2} + \frac{3}{2}(1+\frac{\epsilon_e}{\epsilon_m}-\eta_t) \frac{E_a}{E_m} \mu$
④ tra OD e DE	$\alpha'' \geq 0$ $1 \geq \alpha''$	$\frac{\alpha''^2}{2(\alpha'_a+\alpha''-\eta_t)} + \frac{1}{2}(\alpha''-\frac{\epsilon_e}{\epsilon_m}-\eta_t) \frac{E_a}{E_m} \mu$	$\frac{\alpha''^2(3\alpha_a+\alpha''-3\eta_t)}{2(\alpha'_a+\alpha''-\eta_t)^2} + \frac{3}{2}(\alpha''-\frac{\epsilon_e}{\epsilon_m}-\eta_t) \frac{E_a}{E_m} \mu$

Tab. 1 . Espressioni parametriche di n ed m nei campi di deformazione individuati nella figura 3.

Tab. 2 . Sezione mista di muratura ed acciaio con armatura sulle due facce: coordinate n-m dei punti rappresentativi degli estremi di campo nel diagramma di deformazione a rottura, ($\bar{\epsilon}_m/\bar{\epsilon}_e=1$; $\bar{\epsilon}_a/\bar{\epsilon}_m=5$).

SOLLECITAZIONE
ADIMENSIONALE
ESTREMO DI
CAMPO

		VALORI DI n_1									
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
A	n	1,048	1,043	1,038	1,034	1,029	1,024	1,019	1,014	1,010	1,005
	m	0,574	0,572	0,569	0,567	0,564	0,562	0,560	0,557	0,555	0,552
	m	0,572	0,565	0,558	0,550	0,543	0,536	0,529	0,522	0,514	0,507
B	n	0,524	0,519	0,514	0,510	0,505	0,500	0,495	0,490	0,486	0,481
	m	0,572	0,572	0,572	0,572	0,572	0,572	0,572	0,572	0,572	0,572
C	n	0,250	0,261	0,273	0,287	0,303	0,321				
	m	0,644	0,649	0,654	0,659	0,662	0,664	$\frac{E_o}{E_m} \mu = 0,048$			
D	n	0,263	0,082	0,081							
	m	0,366	0,362	0,356							
A	n	1,112	1,101	1,090	1,076	1,067	1,056	1,045	1,034	1,022	1,011
	m	0,556	0,500	0,445	0,389	0,334	0,278	0,222	0,167	0,111	0,056
	m	0,668	0,601	0,534	0,468	0,401	0,334	0,267	0,200	0,134	0,067
B	n	0,556	0,545	0,534	0,522	0,511	0,500	0,489	0,478	0,466	0,455
	m	0,668	0,666	0,668	0,666	0,666	0,668	0,668	0,668	0,665	0,668
C	n	0,250	0,258	0,267	0,277	0,280	0,305				
	m	0,834	0,832	0,827	0,822	0,816	0,808	$\frac{E_o}{E_m} \mu = 0,112$			
D	n	0,083	0,079	0,075							
	m	0,558	0,545	0,531							
A	n	1,176	1,158	1,140	1,123	1,106	1,088	1,070	1,053	1,035	1,018
	m	0,578	0,620	0,662	0,705	0,747	0,789	0,831	0,873	0,916	0,958
	m	0,764	0,688	0,611	0,535	0,458	0,382	0,306	0,229	0,153	0,076
B	n	0,578	0,562	0,547	0,531	0,516	0,500	0,484	0,469	0,453	0,438
	m	0,764	0,764	0,764	0,764	0,764	0,764	0,764	0,764	0,764	0,764
C	n	0,250	0,254	0,260	0,268	0,277	0,288				
	m	1,028	1,014	1,000	0,985	0,969	0,952	$\frac{E_o}{E_m} \mu = 0,176$			
D	n	0,083	0,076	0,069							
	m	0,750	0,727	0,704							

SOLLECITAZIONE
ADIMENSIONALE
ESTREMO DI
CAMPO

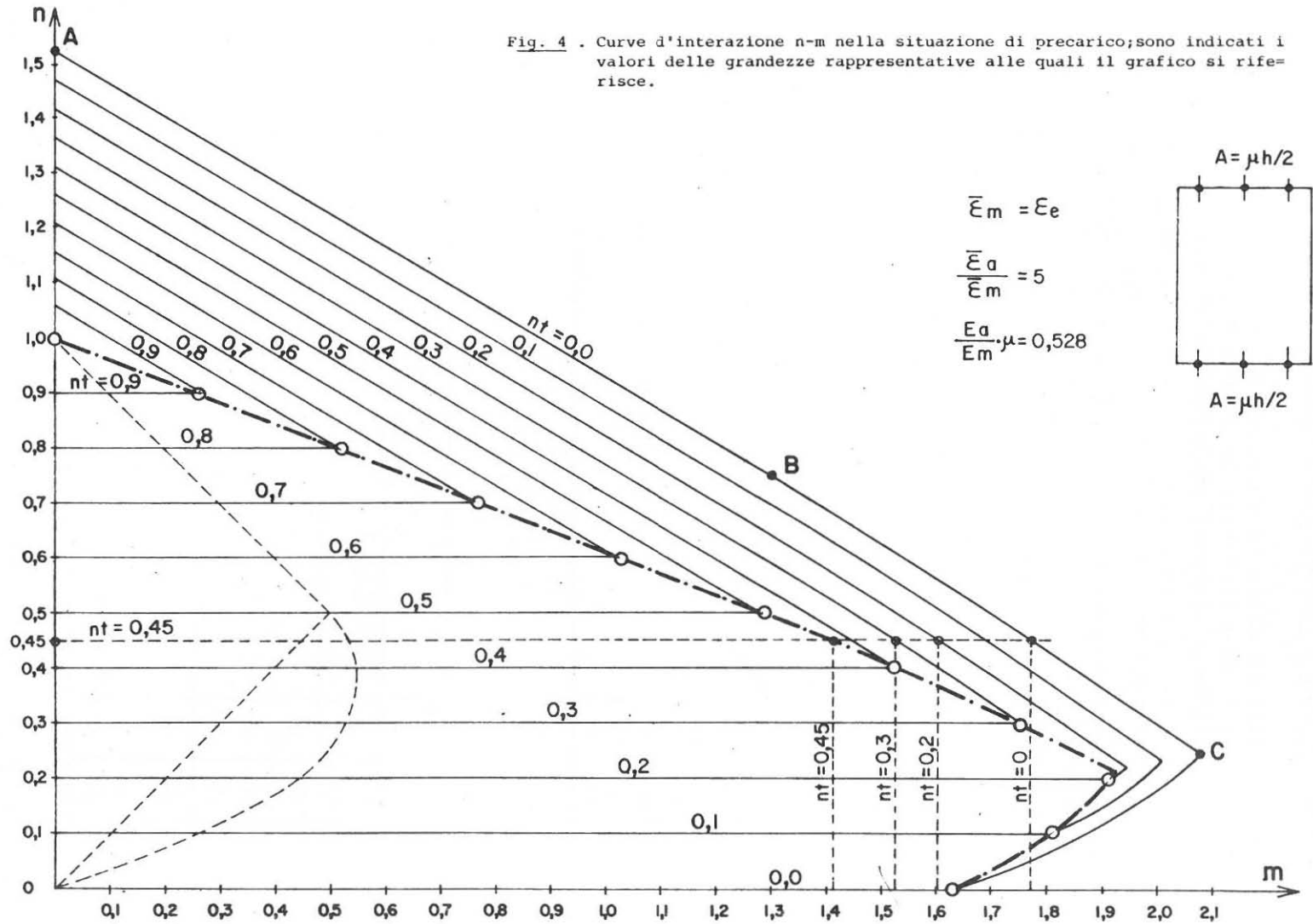
		VALORI DI n_t									
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
A	n	1,336	1,302	1,269	1,235	1,202	1,168	1,134	1,101	1,067	1,034
A'	n	0,668	0,701	0,734	0,768	0,801	0,834	0,867	0,900	0,934	0,967
	m	1,004	0,904	0,803	0,703	0,602	0,502	0,402	0,301	0,201	0,100
B	n	0,668	0,634	0,601	0,567	0,534	0,500	0,466	0,433	0,399	0,366
	m	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004
C	n	0,250	0,246	0,244	0,244	0,245	0,249				
	m	1,508	1,470	1,432	1,393	1,353	1,312		$\frac{E_0}{E_m} \mu = 0,336$		
D	n	0,063	0,068	0,053							
	m	1,230	1,183	1,136							
A	n	1,528	1,475	1,422	1,370	1,317	1,264	1,211	1,158	1,106	1,053
A'	n	0,764	0,786	0,811	0,835	0,858	0,882	0,906	0,929	0,953	0,976
	m	1,292	1,163	1,034	0,904	0,775	0,646	0,517	0,388	0,258	0,129
B	n	0,764	0,711	0,658	0,606	0,553	0,500	0,447	0,394	0,342	0,289
	m	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292	1,292
C	n	0,250	0,237	0,225	0,215	0,207	0,201				
	m	2,054	2,017	1,950	1,863	1,814	1,744		$\frac{E_0}{E_m} \mu = 0,528$		
D	n	0,063	0,058	0,033							
	m	1,806	1,730	1,654							

Tab. 2 . Sezione mista di muratura ed acciaio con armatura sulle due facce: coordinate $n-m$ dei punti rappresentativi degli estremi di campo nel diagramma di deformazione a rottura, ($\bar{\epsilon}_m/\bar{\epsilon}_e=1$; $\bar{\epsilon}_a/\bar{\epsilon}_m=5$).

Risulta evidente, dal diagramma di Fig. 4, la progressiva riduzione dell'efficacia dell'armatura al crescere del valore di n_t : soltanto ai bassi valori di n_t l'effetto di n_t può risultare di limitata entità. A titolo d'esempio sono ivi indicati i valori che il momento ultimo assume - per un prefissato valore 0,45 di n - al crescere di n_t : rispetto al caso $n_t = 0$, un valore $n_t = 0,45$ comporta una riduzione di momento del 20% circa.

Un'eventuale iniezione di malte trattate nella muratura - operazione che, aumentando il valore di R_m , riduce il valore sia di n che di n_t - renderebbe molto meno marcata la riduzione del momento ultimo per effetto del carico transitorio.

Fig. 4 . Curve d'interazione n-m nella situazione di precarico; sono indicati i valori delle grandezze rappresentative alle quali il grafico si riferisce.



3. MURATURA A COMPORTAMENTO ELASTO-FRAGILE CON ARMATURA AL CENTRO

Per la sezione mista di muratura ed acciaio, con armatura al centro, in Fig.5 sono riportati lo schema geometrico ed i diagrammi di deformazione a rottura; analogamente al caso precedente, nel

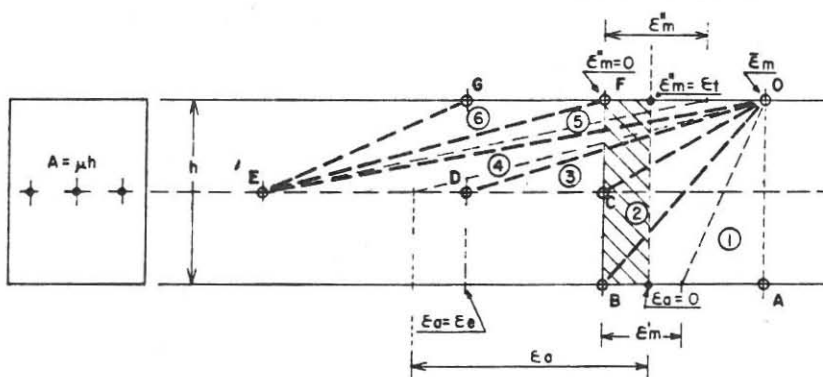


Fig. 5 . Schema geometrico della sezione mista di muratura ed acciaio e diagrammi di deformazione a rottura per armatura in posizione centrale.

CAMPO		n	m
① tra OA e OB	$\alpha' \geq 0$ $1 \geq \alpha' \geq 0$	$\frac{1+\alpha'}{2} + \frac{1}{2}(1+\alpha'-2n_t) \frac{E_a}{E_m} \mu$	$\frac{1-\alpha'}{2}$
② tra OB e OC	$0 \leq \alpha' \leq 1$	$\frac{1}{2(1+\alpha')} + \frac{1}{2}(1-\alpha'-2n_t) \frac{E_a}{E_m} \mu$	$\frac{1+3\alpha'}{2(1+\alpha')^2}$
③ tra OC e OD	$\frac{\epsilon_e}{\epsilon_m} \leq \alpha' \leq \frac{\epsilon_e}{\epsilon_m}$ $n_t \leq \alpha' \leq n_t$	$\frac{1}{4(1+\alpha_a-n_t)} - \alpha_a \frac{E_a}{E_m} \mu$	$\frac{2+3\alpha_a-3n_t}{4(1+\alpha_a-n_t)^2}$
④ tra OD e OE	$\frac{\epsilon_e}{\epsilon_m} \leq \alpha' \leq \frac{\epsilon_e}{\epsilon_m}$ $\frac{\epsilon_e}{\epsilon_m} \leq \alpha' \leq \frac{\epsilon_e}{\epsilon_m}$	$\frac{1}{4(1+\alpha_a-n_t)} - \frac{\epsilon_e E_a}{\bar{\epsilon}_m E_m} \mu$	
⑤ tra OE e EF	$\alpha'' \geq 0$ $1 \geq \alpha'' \geq 0$	$\frac{\alpha''^2}{4(\bar{\alpha}_a+\alpha''-n_t)} - \frac{\epsilon_e E_a}{\bar{\epsilon}_m E_m} \mu$	$\frac{\alpha''^2(3\bar{\alpha}_a+2\alpha''-3n_t)}{4(\bar{\alpha}_a+\alpha''-n_t)^2}$

Tab. 3 . Espressioni parametriche di n ed m nei campi di deformazione a rottura individuati nella figura 5.

Tab. 4 . Sezione mista di muratura ed acciaio con armatura in posizione centrale; coordinate n-m dei punti rappresentativi degli estremi di campo nel diagramma di deformazione a rottura, ($\bar{\epsilon}_m/\bar{\epsilon}_e=1$; $\bar{\epsilon}_a/\bar{\epsilon}_m=5$).

SOLLECITAZIONE
ADIMENSIONALE

ESTREMO DI
CAMPO

		VALORI DI n_1									
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
A	n	1,048	1,043	1,038	1,034	1,029	1,024	1,019	1,014	1,010	1,005
	m	0,524	0,519	0,514	0,510	0,505	0,500	0,495	0,490	0,486	0,481
B	n	0,524	0,519	0,514	0,510	0,505	0,500	0,495	0,490	0,486	0,481
	m	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
C	n	0,250	0,245	0,240	0,236	0,231	0,226				
	m	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500				
D	n	0,077	0,084	0,091							
	m	0,313	0,325	0,340		$\frac{E_0}{E_m} \mu = 0,048$					
E	n	-0,006									
	m	0,148									
A	n	1,112	1,101	1,090	1,078	1,067	1,056	1,045	1,034	1,022	1,011
	m	0,586	0,585	0,584	0,582	0,581	0,580	0,489	0,478	0,466	0,455
B	n	0,586	0,585	0,584	0,582	0,581	0,580	0,580	0,580	0,580	0,580
	m	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
C	n	0,250	0,239	0,228	0,216	0,205	0,194				
	m	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500					
D	n	0,013	0,020	0,027							
	m	0,313	0,325	0,340		$\frac{E_0}{E_m} \mu = 0,112$					
E	n	-0,070									
	m	0,148									
A	n	0,176	0,158	1,140	1,123	1,106	1,088	1,070	1,053	1,035	1,018
	m	0,586	0,570	0,553	0,535	0,518	0,500	0,482	0,465	0,447	0,430
B	n	0,586	0,570	0,553	0,535	0,518	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
	m	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
C	n	0,250	0,232	0,215	0,197	0,180	0,162				
	m	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500				
D	n	-0,051	-0,044	-0,037							
	m	0,313	0,325	0,340		$\frac{E_0}{E_m} \mu = 0,176$					
E	n										
	m										

SOLLECITAZIONE
ADIMENSIONALE
ESTREMO DI
CAMPO

		VALORI DI n_t									
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
A	n	1,336	1,302	1,269	1,235	1,202	1,168	1,134	1,101	1,067	1,034
	m	0,668	0,634	0,601	0,567	0,534	0,500	0,466	0,433	0,399	0,366
B	n	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
	m	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
C	n	0,250	0,216	0,183	0,149	0,116	0,082				
	m	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500				
D	n	-0,211	-0,204								
	m	0,313	0,325								
E	n										
	m										
$\frac{E_a}{E_m} \mu = 0,336$											
A	n	1,528	1,475	1,422	1,370	1,317	1,264	1,211	1,158	1,106	1,053
B	n	0,764	0,711	0,658	0,606	0,553	0,500	0,447	0,394	0,342	0,289
	m	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
C	n	0,250	0,197	0,144	0,092	0,039	-0,014				
	m	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500				
D	n	-0,403	-0,396								
	m	0,313	0,325								
E	n										
	m										
$\frac{E_a}{E_m} \mu = 0,528$											

Tab. 4 . Sezione mista di muratura ed acciaio con armatura in posizione centrale; coordinate n-m dei punti rappresentativi degli estremi di campo nel diagramma di deformazione a rottura, ($\bar{\epsilon}_m/\bar{\epsilon}_e=1$; $\bar{\epsilon}_a/\bar{\epsilon}_m=5$).

le Tabelle 3 e 4 sono riportate, rispettivamente, espressioni parametriche e valori di n ed m. Il grafico di Fig.6 mostra l'andamento delle curve d'interazione relative al prefissato valore 0,528 di $\mu \cdot E_a/E_m$, ricavate con i valori di Tabella.

Nei campi di sezione non parzializzata, la curva che delimita i valori di n non inferiori ad n_t coincide con la curva relativa alla muratura non armata [3], dalla quale si distacca per valori di n_t inferiori a 0,5.

L'effetto di n_t risulta di entità rilevante soltanto agli alti livelli di carico mentre, per bassi valori del carico transitorio ($n_t \approx 0 \div 0,4$), può addirittura risultare favorevole nei riguardi del momento ultimo della sezione.

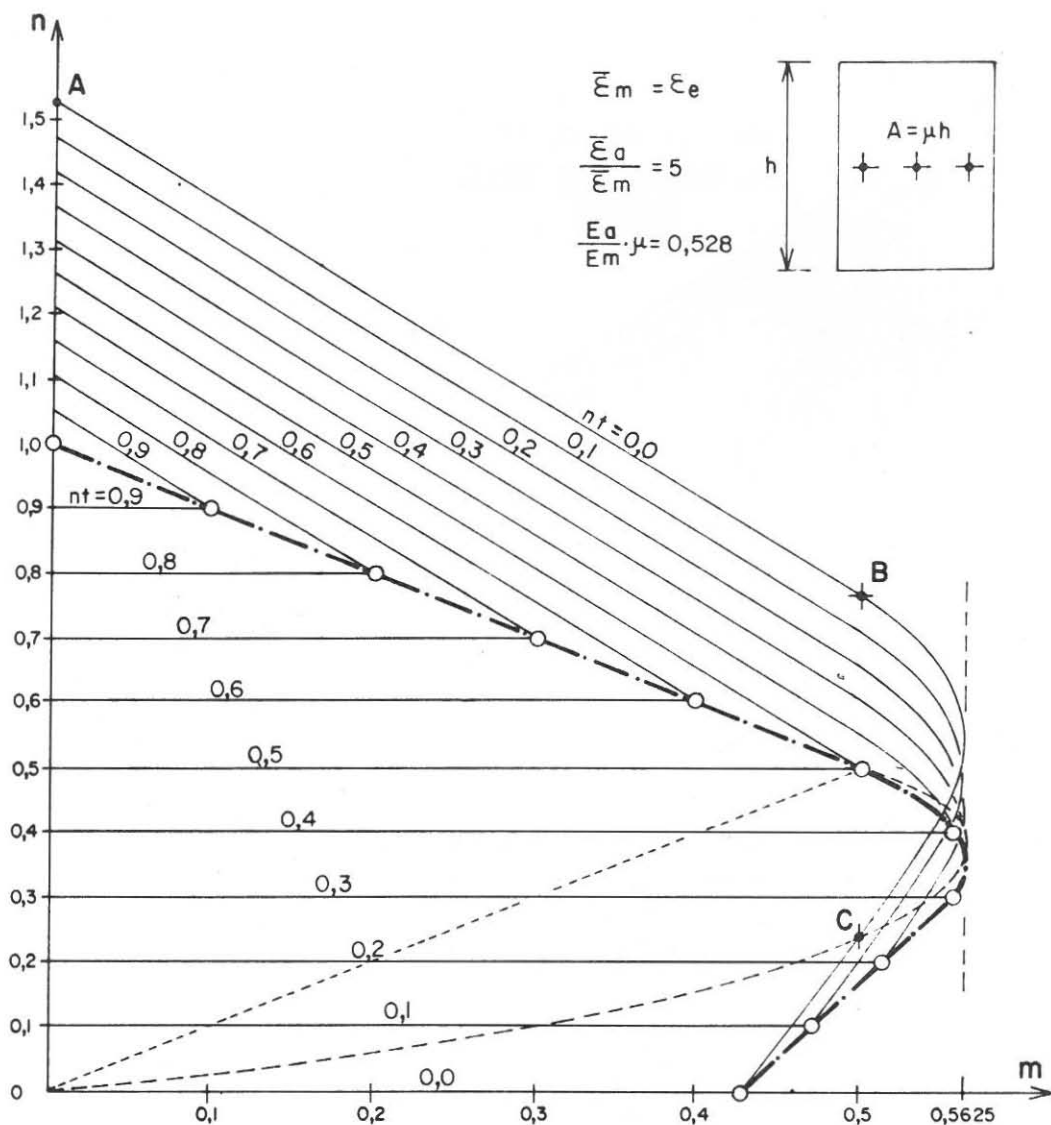


Fig. 6 . Curve d'interazione n-m nella situazione di precarico, per armatura in posizione centrale; sono indicati i valori delle grandezze caratteristiche alle quali il grafico si riferisce.

4. EFFETTO DEL CARICO N_t PER LE DUE DISPOSIZIONI DELL'ARMATURA, CENTRALE ED ESTERNA

I diagrammi riportati in Fig.7 consentono di valutare congiuntamente sia l'effetto su m della diversa disposizione di armatura, ubicata al centro o ai lembi della sezione (curve con tratto continuo), sia le limitazioni imposte da n_t (curve con tratto

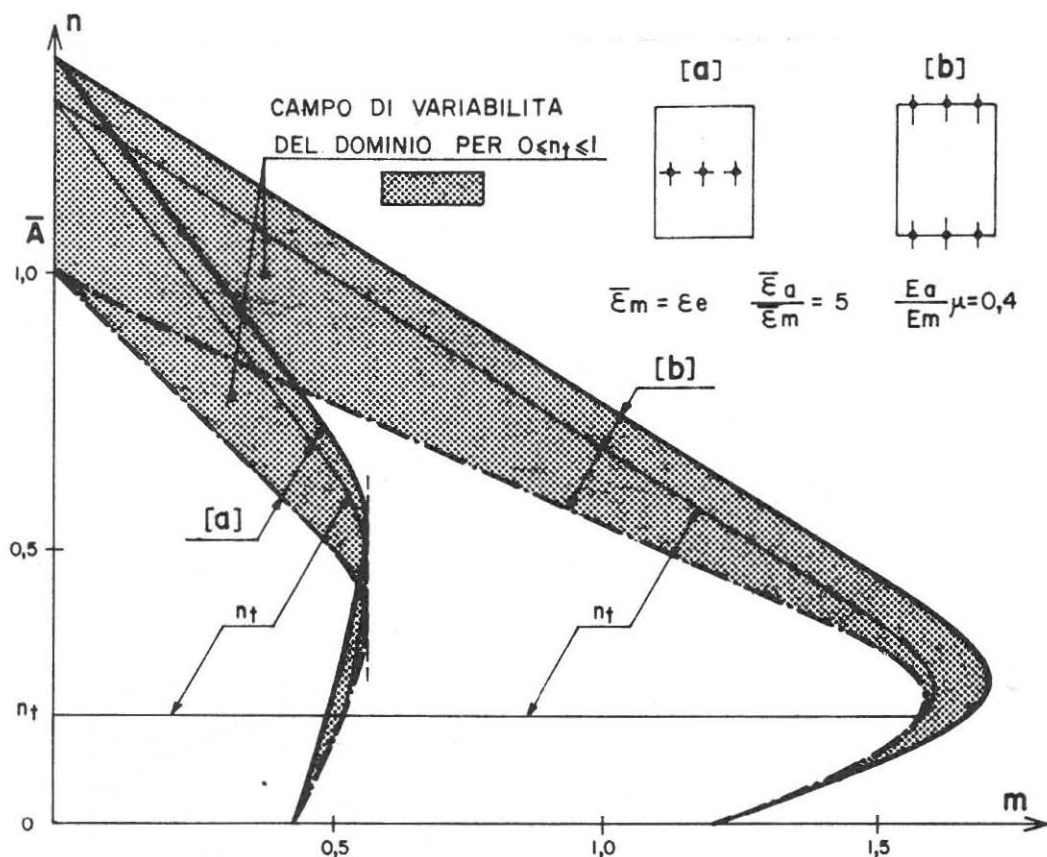


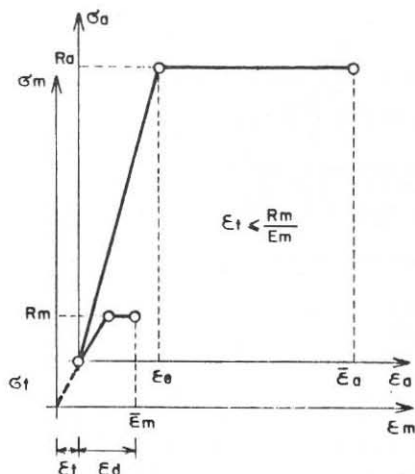
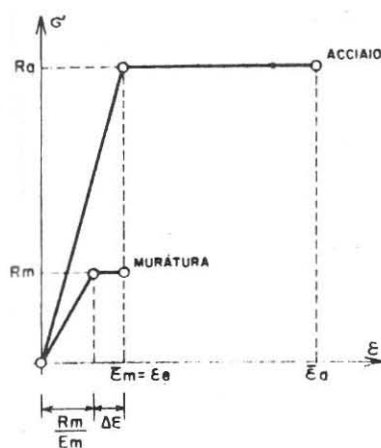
Fig. 7 . Confronto fra le curve d'interazione n - m per le due disposizioni d'armatura considerate.

to discontinuo) ; appare evidente, in termini di momento ultimo, la differenza per le due disposizioni di armatura, differenza che risulta particolarmente marcata nella zona dei bassi livelli dello sforzo normale adimensionale, n .

Sotto l'ipotesi che, in esercizio, il valore dello sforzo normale possa soltanto aumentare, $n > n_t$, la conseguente riduzione del dominio delimitato dalle curve d'interazione n - m è posta in evidenza per entrambi i casi esaminati e per un generico valore di n_t (aree trattate con retino).

5. INFLUENZA DELLA DUTTILITA' DELLA MURATURA

Per determinare l'effetto di n_t sulle curve d'interazione, nel caso in cui la muratura possieda una certa duttilità, si è ipotizzata la presenza di un gradino di plasticità $\Delta \epsilon$ rappresentato in Fig. 8 nel diagramma σ - ϵ ; come parametro rappresentativo si



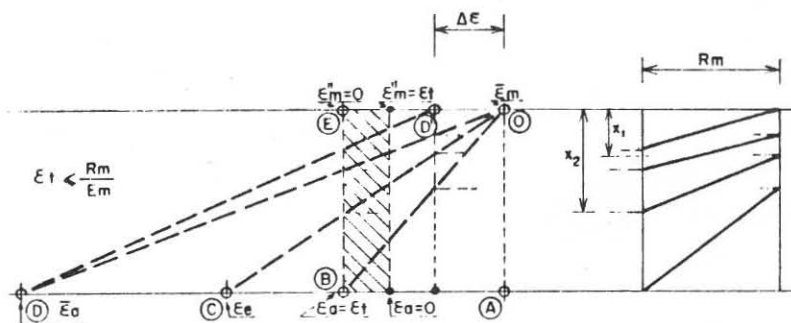
$$\frac{R_m}{E_m} + \Delta \epsilon = \frac{R_a}{E_a}$$

$$\frac{E_a}{E_m} = (1 - \delta) \frac{R_a}{R_m}$$

$$\eta_t = \frac{\sigma_t}{R_m} = \frac{\epsilon_t / \bar{\epsilon}_m}{1 - \delta}$$

Fig. 8 . Diagrammi costitutivi di muratura ed acciaio e loro combinazione nella situazione di precarico.

Fig. 9 . Diagrammi di deformazione a rottura per muratura duttile con armatura sulle due facce.



è assunto il rapporto $\delta = \Delta \epsilon / \bar{\epsilon}_m [2]$, che può assumere tutti i valori compresi fra 0 e 1. Considerata una sezione con armatura di sposta sulle due facce ci si è limitati ad analizzare, stanti le finalità di questo studio, il caso di $\epsilon_e = \bar{\epsilon}_m$. L'influenza della duttilità è evidenziata in Fig. 10 e risulta trascurabile per i velli di n inferiori a 0,2 mentre aumenta con rapidità al crescere di n .

A parità di valori di n i maggiori incrementi percentuali di m si conseguono per bassi valori di δ (già ulteriori incrementi di δ oltre il valore 0,5 comportano variazioni percentuali trascurabili). L'influenza di n_t è massima per $\delta = 0$ e nulla per $\delta = 1$. Nel diagramma richiamato è stato messo in evidenza il campo di variabilità dei domini, al variare di n_t , nei tre casi di $\delta = 0; 0,5; 1,0$. A titolo di esempio è anche indicato, per il valore di $n_t = 0,4$ il dominio relativo ai tre casi soprarichiamati.

ESTREMI DI CAMPO	n	m
A	$1 + \left[1 - n_t(1-\delta)\right] \frac{R_a}{R_m} \mu$	0
B	$\frac{1+\delta}{2} + \left[\frac{1}{2} - n_t(1-\delta)\right] \frac{R_a}{R_m} \mu$	$\frac{1}{2} (1+\delta - 2\delta^2 + 3 \frac{R_a}{R_m} \mu)$
C	$\frac{1}{2} \left[\frac{1+\delta}{2 - n_t(1-\delta)} - n_t(1-\delta) \frac{R_a}{R_m} \mu \right]$	$\frac{1+2\delta + (1-1,5n_t)(1-\delta^2)}{[2 - n_t(1-\delta)]^2} + 3 \left[1 - \frac{n_t}{2}(1-\delta)\right] \frac{R_a}{R_m} \mu$
D	$\frac{1}{2} \left[\frac{1+\delta}{1 + \bar{\epsilon}_a/\bar{\epsilon}_m - n_t(1-\delta)} - n_t(1-\delta) \frac{R_a}{R_m} \mu \right]$	$3n - \frac{1+\delta + \delta^2}{[1 + \bar{\epsilon}_a/\bar{\epsilon}_m - n_t(1-\delta)]^2} + 3 \frac{R_a}{R_m} \mu$
D'	$\frac{1}{2} \left\{ \frac{1-\delta}{\bar{\epsilon}_a/\bar{\epsilon}_m + (1-n_t)(1-\delta)} + \left[(1-n_t)(1-\delta) - 1 \right] \frac{R_a}{R_m} \mu \right\}$	$3n - \frac{(1-\delta)^2}{[\bar{\epsilon}_a/\bar{\epsilon}_m + (1-n_t)(1-\delta)]^2} + 3 \frac{R_a}{R_m} \mu$

Tab. 5 . Coordinate n-m dei punti rappresentativi degli estremi di campo nel diagramma di deformazione a rottura per muratura duttile.

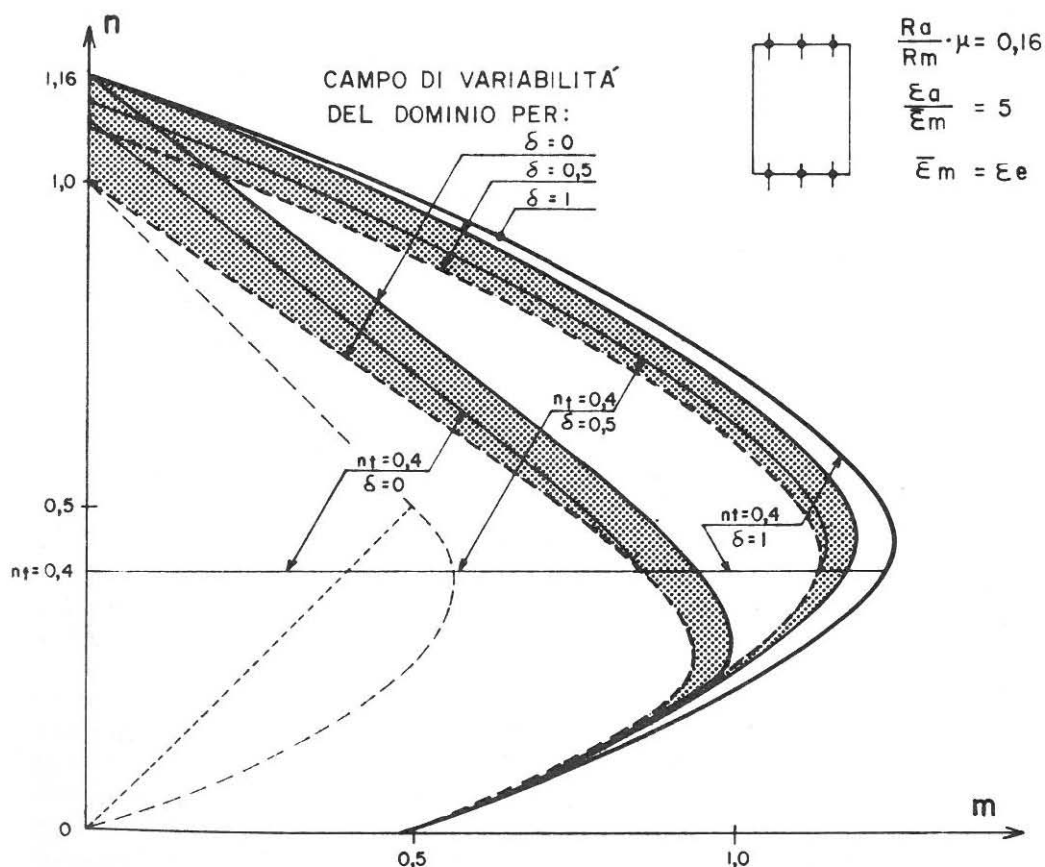


Fig. 10 . Curve d'interazione n-m per muratura duttile nella situazione di precarico; sono indicati i valori delle grandezze rappresentative alle quali il grafico si riferisce.

SIMBOLOGIA

- h = altezza della sezione, di base unitaria
 x = altezza della sezione parzializzata
 ϵ_m, ϵ'_m = deformazione della muratura ai lembi superiore e inferiore
 $R_m, \bar{\epsilon}_m$ = resistenza e deformazione di rottura a compressione della muratura
 E_m, E_a = moduli di elasticità lineare della muratura e dell'acciaio
 ϵ_a = deformazione dell'acciaio
 R_a = resistenza a trazione dell'acciaio
 ϵ_e = deformazione al limite elastico dell'acciaio
 $\bar{\epsilon}_a$ = deformazione limite di snervamento dell'acciaio
 N, M = sforzo normale e momento flettente
 A = area complessiva di acciaio disposta, nella sezione di base unitaria, su ciascuno strato
 μ = rapporto di armatura metallica
 N_t = sforzo normale sulla sezione di muratura, all'atto delle operazioni di consolidamento
 $n_t = N_t / R_m h$; $R_d = R_m - N_t / h$
 $\alpha_a = \frac{\epsilon_a}{\bar{\epsilon}_m}$; $\alpha' = \frac{\epsilon'_m}{\bar{\epsilon}_m}$; $\alpha'' = \frac{\epsilon''_m}{\bar{\epsilon}_m}$; $\bar{\alpha}_a = \frac{\bar{\epsilon}_a}{\bar{\epsilon}_m}$
 $n = N / R_m h$; $m = 6M / R_m h^2$

$\Delta \epsilon$ = gradino di plasticità della muratura

$\delta = \frac{\Delta \epsilon}{\bar{\epsilon}_m}$ = indice di duttilità della muratura

Riferimenti bibliografici

- [1] M. Aquilino, A. Gallo Curcio, F. Piccarreta
Murature armate soggette a sforzo normale e flessione: domini di resistenza di sezioni rettangolari e criteri di dimensionamento.
XV Congresso ANDIL, 19/23 settembre 1980
Atti dell'Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni dell'Università di Roma, Pubblicazione n. 146, 1980.
- [2] M. Aquilino, A. Gallo Curcio, F. Piccarreta
Influenza della duttilità della muratura per sezioni rettangolari armate.
Atti dell'Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni dell'Università di Roma, Pubblicazione n. 153, 1981.
- [3] M. Aquilino, A. Gallo Curcio, F. Piccarreta
Criteri di ottimizzazione degli interventi di consolidamento di elementi strutturali a comportamento elasto-fragile, soggetti a sforzo normale e flessione.
Atti dell'Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni dell'Università di Roma, Pubblicazione n. 133, 1979
"COSTRUIRE" n. 117, marzo-aprile 1980