



ANNALI

DELLA FACOLTA' DI AGRARIA DELL' UNIVERSITA'

SASSARI

studi sassaresi

Sezione III

1980 - 81 Volume XXVIII

ANNALI

DELLA FACOLTA' DI AGRARIA DELL' UNIVERSITA'

———— SASSARI ————

DIRETTORE: G. RIVOIRA

*COMITATO DI REDAZIONE: M. DATTILO - F. FATICHENTI - C. GESSA - L. IDDA
F. MARRAS - A. MILELLA - P. PICCAROLO - A. PIETRACAPRINA - R. PROTA
R. SATTA - G. TORRE - A. VODRET*

studi sassaresi

ORGANO UFFICIALE
DELLA SOCIETÀ SASSARESE DI SCIENZE MEDICHE E NATURALI



Istituto di Costruzioni Rurali dell'Università di Sassari

(Direttore: Prof. Ing. *Stefano De Montis*)

MARIO PISANU*

ANALISI DEI PARAMETRI STATICI E GEOMETRICI
NEI MURI DI SOSTEGNO ORDINARI.
METODOLOGIA PER IL CALCOLO DI PROGETTO E VERIFICA

1. Premessa

Il progettista che abbia conseguito sufficiente esperienza professionale conosce le difficoltà che si riscontrano nel calcolo diretto dei muri di sostegno. La metodologia in uso corrente presuppone infatti una lunga teoria di laboriosi calcoli di verifica riferiti a dimensionamenti di massima già di per se assunti « a sentimento » ed affidati all'esperienza pratica o all'uso di tabelle che presentano lacune ed inesattezze.

D'altra parte il risultato finale spesso è tale da determinare manufatti i quali, pur soddisfacendo le condizioni di equilibrio prefissate, risultano di dimensioni eccessive, con un aggravio economico che, soprattutto nel settore delle costruzioni rurali, ha un effetto negativo sui costi di investimento e quindi sulla produttività.

Non v'è dubbio che l'impostazione teorica e la risoluzione del problema in oggetto siano difficili e complesse non solo per le numerose variabili di cui bisogna tener conto, ma anche perché occorre conciliare al contempo, ed in misura ottimale, le condizioni di equilibrio con dimensioni, e quindi costi, accettabili.

2. Scopo dello studio.

Per ridurre le difficoltà accennate in premessa, lo studio si propone di analizzare gli aspetti teorici che regolano le caratteristiche statiche e geometriche di muri

* Assistente ordinario - Istituto di Costruzioni rurali.

L'elaborazione dei dati col calcolatore è stata eseguita da Gianna Panu, tecnico dell'Istituto.

di sostegno e di elaborare su tali basi una metodologia pratica impostata sulla possibilità di operare scelte differenziate, in relazione soprattutto agli aspetti economici, ricorrendo a procedure di calcolo che hanno a supporto una serie di tabelle specifiche.

A tal fine si fa riferimento al tipo più usuale di manufatto (paramento interno verticale e paramento esterno verticale o variamente inclinato) realizzato in muratura di pietrame o in calcestruzzo non armato (fig. 1). Per il calcolo della spinta del terreno (S) e del relativo punto di applicazione viene adottato il metodo di Coulomb nella sua formulazione più estesa, tenendo cioè conto degli eventuali sovraccarichi.

Per rendere più lineare la successiva esposizione si riporta appresso la sequenza delle variabili geometriche e statiche che intervengono nei calcoli, con i necessari riferimenti a significati e caratteristiche dimensionali.

h	[m]	altezza del muro
h_1	[m]	altezza virtuale di strato di terreno equipesante corrispondente a possibile sovraccarico
b	[m]	lunghezza del muro preso a riferimento per i calcoli ($b = 1$ m)
Φ	$[\alpha^\circ]$	angolo di attrito del terreno
γ_t	[kg/m ³]	peso specifico del terreno
γ_m	[kg/m ³]	peso specifico del muro
l_1	[m]	proiezione orizzontale del paramento esterno
l_2	[m]	spessore in sommità
l	[m]	spessore alla base
V	[m ³]	volume di muratura per metro lineare di manufatto
S	[kg]	spinta orizzontale del terreno sul muro di sostegno
y_0	[m]	braccio della spinta
M_s	[kgm]	momento spingente
R	[kg]	risultante delle forze peso del muro
M_R	[kgm]	momento stabilizzante
u	[m]	distanza alla base, del centro di applicazione della risultante $\vec{S} + \vec{R}$ dal bordo esterno
n		grado di stabilità a ribaltamento
s		scarpa del paramento esterno
f		coefficiente d'attrito tra muro e muro
σ	[kg/cm ²]	sforzo di compressione massimo di esercizio della muratura
σ_0	[kg/cm ²]	coefficiente di sicurezza a compressione della muratura

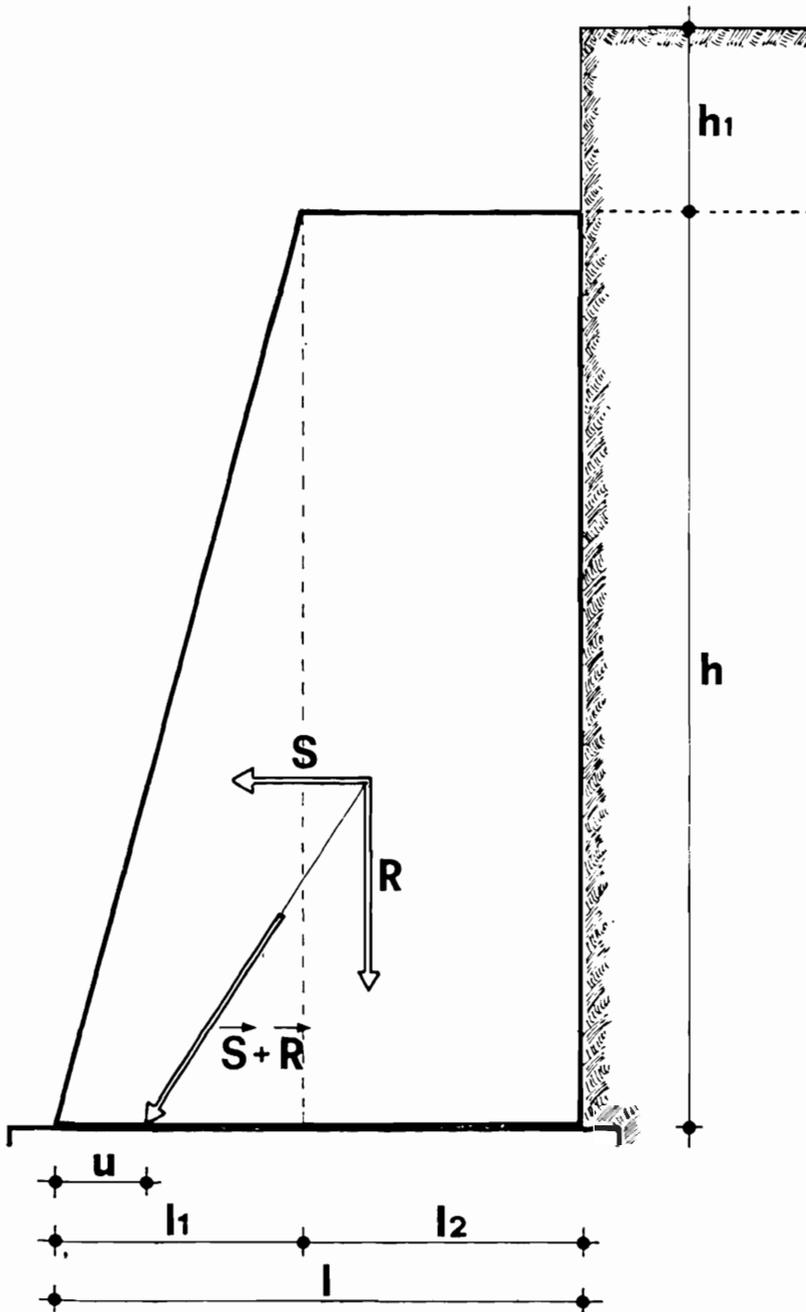


Fig. 1 - Caratteristiche geometriche e statiche del muro di sostegno.
Geometrical and statical features of the retaining wall.

3. Metodologia.

3.1. Parametri statici e geometrici e loro limiti.

Le condizioni di equilibrio che in un manufatto di sostegno devono essere soddisfatte ai fini della stabilità, sono:

- stabilità al ribaltamento, verificata per $n \geq 1$ (nella pratica per maggior sicurezza $n \geq 1,5$),
- stabilità allo schiacciamento, che si realizza quando $\sigma \leq \sigma_0$,
- stabilità allo scorrimento, quando $S/R \leq f$.

Ai fini pratici ed economici vi sono inoltre altre condizioni di natura geometrica che, eventualmente, occorre soddisfare. Esse sono:

- valore della scarpa esterna s predeterminato,
- spessore in sommità l_2 non inferiore, per ragioni pratico-costruttive, ad un determinato valore (es. per murature ordinarie $0,55 \div 0,60$ m),
- spessore alla base l non superiore ad un certo valore (allo scopo di contenere la larghezza di occupazione, sia per limitare l'eventuale fascia di esproprio, sia per la presenza di ostacoli di varia natura),
- volume V di muratura, riferito al metro lineare di manufatto, da contenere entro limiti prefissati per ragioni di economicità.

3.2. Il coefficiente g .

Si considerino ora i rapporti l_1/l ed l_2/l nell'intervallo $l_1/l = 0$ (nel caso cioè di muro con sezione rettangolare, quando $l_2 = l$ ed $l_1 = 0$) ed $l_2/l = 0$ (che si verifica quando la sezione è perfettamente triangolare e quindi quando $l_2 = 0$ ed $l_1 = l$).

La somma di questi due rapporti è sempre uguale all'unità:

$$l_1/l + l_2/l = 1$$

Mediante elaborazioni analitiche essi possono anche esprimersi secondo le seguenti relazioni:

$$l_1/l = 2 - g \tag{1}$$

$$l_2/l = g - 1 \tag{2}$$

dove g rappresenta un coefficiente adimensionale da contenere nell'intervallo

$$1 \leq g \leq 2 \tag{3}$$

Ai di fuori di tali limiti infatti i valori l_1 ed l_2 assumono alternativamente valore negativo e pertanto non sono accettabili.

Si ha pertanto che:

$$\begin{array}{ll} \text{per } g = 1 & l_1 = l \text{ ed } l_2 = 0 \\ \text{per } g = 2 & l_1 = 0 \text{ ed } l_2 = l \\ \text{per } 1 < g < 2 & l_1 \neq 0, l_2 \neq 0 \text{ ed } l = l_1 + l_2 \end{array}$$

ricadendo così nei limiti dell'intervallo su accennato.

E' quindi possibile prendere a riferimento il valore di g anziché i rapporti l_1/l ed l_2/l (es. per $g = 1,5$ $l_1/l = l_2/l$).

Tutte le condizioni di equilibrio e le caratteristiche geometriche di un muro di sostegno possono essere a loro volta espresse in funzione di g secondo le relazioni riportate nella tav. 1. In esse compaiono inoltre coefficienti variabili in funzione:

$$\begin{array}{ll} \text{A e B} & \text{di } m \\ \text{C} & \text{di } m, \gamma_m \\ \text{M e N} & \text{di } \Phi, \gamma^i, \gamma^m, h_1/h \end{array}$$

La variabile m indica la posizione, alla base del muro, del centro di pressione della risultante $\vec{S} + \vec{R}$ relativamente allo spessore di base: essa è infatti

$$\text{espressa dal rapporto } m = \frac{u}{l}$$

3.3. Analisi dell'andamento dei parametri per m costante.

Se si esamina il comportamento delle varie caratteristiche statiche e geometriche, tenendo m costante, e variando invece g nell'ambito dell'intervallo indicato dalla (3), è possibile osservare come esse oscillino tra un valore massimo e minimo, con un andamento diversificato per i vari parametri come riportato nei grafici 1 - 2 10-11.

Per un determinato m è quindi possibile ottenere manufatti caratterizzati da parametri statici e geometrici differenti a seconda del valore di g adottato.

La scelta di quest'ultimo non è però casuale; fissando infatti per una delle caratteristiche suddette una determinata condizione (vedi 3.1.), ricadente comunque tra i punti di massimo e di minimo, è possibile determinare il valore, o l'intervallo di valori, di g che la soddisfi.

A tal fine occorre ricercare il punto, o i punti, di intersezione tra il grafico che rappresenta l'andamento del parametro e quello della retta parallela all'asse delle ascisse e di ordinata pari alla condizione su accennata; le ascisse di tali punti costituiscono le radici necessarie al completamento del sistema risolvente.

Nella tav. 2 vengono riportate le relazioni analitiche che risolvono il problema corrispondente alle più ricorrenti condizioni imposte ai diversi parametri; le soluzioni sono inoltre graficizzate nei corrispondenti grafici 1 - 2 10 - 11.

3.4. Analisi dell'andamento dei parametri per g costante.

Esaminando invece la situazione dei vari parametri al variare di m e per g costante, si può osservare come essi presentino un andamento schematizzato nel seguente specchietto.

Variazioni di m	conseguenti variazioni di				
	n	σ	S/R	I	V
+	+	-	-	+	+
-	-	+	+	-	-

+ variazione crescente, - variazione decrescente.

Tali variazioni possono essere osservate più in dettaglio, analiticamente, nella Tab. 1 dove vengono riportati, per diversi valori di m , i limiti massimi e minimi (!) dei diversi parametri.

4. Aspetti pratici.

Per l'applicazione nella pratica della metodologia ora esposta, vengono riportati in tab. 2 i valori dei coefficienti A, B e C in funzione di vari valori di m e γ_m ; nelle tabelle 3, 4 e 5 sono riportati invece i coefficienti M e N per diverse combinazioni di Φ , γ_i , γ_m , h_1/h .

La casistica delle variabili m , Φ , γ_i , γ_m , h_1/h è stata scelta in modo da soddisfare ampiamente le condizioni più ricorrenti.

4.1. Calcolo di progetto.

4.1.1. Sequenza operativa:

- dati preliminari: Φ , γ_i , γ_m , h , h_1 , h_1/h ;
- limiti dei parametri statici: n_0 , σ_0 , f ;
- eventuali condizioni geometriche imposte a priori;
- determinazione, dalle tab. 3 ÷ 5 dei coefficienti M ed N;

¹ Detti limiti sono calcolati a meno di determinate variabili; per conoscere il loro valore effettivo occorre tener conto di queste ultime moltiplicando i dati della tabella per l'inverso della relazione contenente tali variabili. L'unico parametro effettivo è n in quanto dipendente solo da g e m .

- scelta di m sulla tab. 1 sulla base dei limiti dei parametri statici;
- ricerca dei coefficienti A, B e C nella tab. 2;
- determinazione di g in funzione di una condizione imposta, fra quelle riportate in tav. 2;
- calcolo dei parametri statici e geometrici con le relazioni di cui alla tav. 1.

4.2. Applicazione numerica.

- Dati preliminari:

Φ	=	30°
γ^t	=	1.700 kg/m^3
h	=	$5,00 \text{ m}$
h_1	=	$2,50 \text{ m}$
h_1/h	=	$0,5$
γ^m	=	2.200 kg/m^3
- Limiti di parametri statici:

n_0	=	$1,5$
σ_0	=	5 kg/cm^2
f	=	$0,5$
- Condizioni geometriche imposte: paramento interno verticale, paramento esterno inclinato con scarpa $s = 0,1$
- Sulla tab. 3 si ricercano i coefficienti M e N :

M	=	$0,802$
N	=	$1,558$
- Si sceglie sulla base dei limiti riportati in tab. 1, il valore di $m = 0,22$; tali limiti infatti risultano:

n_{\min}	=	$1,49$	σ_{\min}	=	$1,67 \text{ kg/cm}^2$	$(S/R)_{\min}$	=	$0,42$
n_{\max}	=	$1,79$	σ_{\max}	=	$3,33 \text{ kg/cm}^2$	$(S/R)_{\max}$	=	$0,74$
- Si calcola il valore di g ponendo la condizione che $s = \frac{l_1}{h} = 0,1$ utilizzando quindi le relazioni corrispondenti della tav. 2: $g = 1,835$
- Si determinano quindi le dimensioni del muro utilizzando le relative formule di tav. 1.

l_1	=	$0,50 \text{ m}$	l_2	=	$2,52 \text{ m}$	l	=	$3,02 \text{ m}$
-------	---	------------------	-------	---	------------------	-----	---	------------------
- Si verificano ora le condizioni di equilibrio calcolando i parametri statici con le formule di tav. 1 e, per riscontro, con il comune calcolo di verifica:

a. verifica con le formule di tav. 1:

n	=	$1,69 > 1,5$
σ	=	$3,06 \text{ kg/cm}^2 < 5 \text{ kg/cm}^2$
S/R	=	$0,46 < 0,5$

b. verifica con il procedimento ordinario:

$$S = \frac{1}{2} \gamma_m \cdot h^2 \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \left(1 + 2 \frac{h_1}{h} \right) = 14167 \text{ kg}$$

$$y_o = \frac{h}{3} \frac{1 + 3 \frac{h_1}{h}}{1 + 2 \frac{h_1}{h}} = 2,08 \text{ m}$$

$$M_s = S \cdot y_o = 29467 \text{ kgm}$$

$$R = \gamma_m \cdot h \left(\frac{1}{2} l_1 + l_2 \right) = 30470 \text{ kgm}$$

$$M_R = \gamma_m \cdot h \left(\frac{1}{3} l_1^2 + \frac{1}{2} l_2^2 + l_1 \cdot l_2 \right) = 49704 \text{ kgm}$$

$$n = \frac{M_R}{M_s} = 1,69 > 1,5$$

$$u = \frac{M_R - M_s}{R} = 0,66 \text{ m}$$

$$\frac{l}{3} = 1,02 \text{ m}$$

$$m = \frac{u}{l} = 0,22$$

poiché $u < \frac{l}{3}$

$$\sigma = \frac{2R}{3 u \cdot b \cdot 10^4} = 3,08 \text{ kg/cm}^2 < 5 \text{ kg/cm}^2$$

$$S/R = 0,46 < 0,5$$

Poiché i dati ricavati con le due metodologie corrispondono e rientrano nei limiti imposti, il muro è stabile.

4.2. Calcolo di verifica.

Volendo adottare la metodologia esposta anche per il calcolo di verifica occorre, a partire dalle dimensioni del manufatto, procedere con uno dei seguenti due modi:

a. con la determinazione diretta dei parametri statici utilizzando le relazioni di tav. 3;

b. con la determinazione dei coefficienti g , A , B e C come indicato nella tav. 4 per poi calcolare i parametri statici con le formule di tav. 1.

Tra i due metodi il primo è chiaramente più rapido ed immediato, ma, per maggior sicurezza può essere opportuno fare un riscontro anche con il secondo.

4.2.1. Sequenza operativa.

- dati preliminari: Φ , γ_t , γ_m , h , h_1 , h_1/h
- limiti dei parametri statici: n_0 , σ_0 , f
- parametri geometrici: l , l_2

a. Metodo diretto

- Calcolo dei parametri statici con le relazioni di tav. 3

b. Metodo indiretto

- Ricerca sulle tab. 3 ÷ 5 dei coefficienti M ed N
- Calcolo di g , B , A e C come indicato in tav. 4
- Calcolo dei parametri statici con le relazioni di tav. 1.

4.2.2. Applicazione numerica.

- dati preliminari: $\Phi = 35^\circ$
 $\gamma_t = 1.600 \text{ kg/m}^3$
 $h = 8,00 \text{ m}$
 $h_1 = 1,60 \text{ m}$
 $h_1/h = 0,20$
 $\gamma_m = 2.400 \text{ kg/m}^3$
- limiti dei parametri statici: $n_0 = 1,75$
 $\sigma_0 = 7 \text{ kg/cm}^2$
 $f = 0,35$
- parametri geometrici: $l = 3,40 \text{ m}$
 $l_2 = 2,50 \text{ m}$

a. Verifica con il metodo diretto

- Calcolo dei parametri statici:
 $n = 1,84 > 1,75$
 $m = 0,253 < 1/3$
 $\sigma = 4,46 \text{ kg/cm}^2 < 7 \text{ kg/cm}^2$
 $S/R = 0,34 < 0,35$

b. Verifica con la metodologia indiretta:

— Si determinano sulla tab. 4 i coefficienti M e N

$$M = 0,538$$

$$N = 2,126$$

— Si calcolano i valori di g , B , A e C

$$g = 1,765$$

$$B = 3,239$$

$$A = 0,761$$

$$\text{poiché } B > 3$$

$$C = 0,315$$

— Si calcolano ora i parametri statici con le formule della tav. 1.

$$n = 1,84 > 1,75$$

$$\sigma = 4,45 \text{ kg/cm}^2 < 7 \text{ kg/cm}^2$$

$$S/R = 0,34 < 0,35$$

c. Verifica con il calcolo ordinario:

$$S = 19425 \text{ kg}$$

$$y_0 = 3,05 \text{ m}$$

$$M_s = 59246 \text{ kgm}$$

$$R = 57600 \text{ kg}$$

$$M_R = 108928 \text{ kgm}$$

$$n = 1,84 > 1,75$$

$$u = 0,86 \text{ m}$$

$$l/3 = 1,13 \text{ m}$$

$$u < l/3$$

$$\sigma = 4,47 \text{ kg/cm}^2 < 7 \text{ kg/cm}^2$$

$$S/R = 0,34 < 0,35$$

Poiché vi è rispondenza tra i dati ottenuti con i tre metodi ed essi rientrano nei limiti imposti, il muro risulta stabile.

5. Conclusioni

Alla luce di quanto finora esposto si deduce che ai fini statici conviene adottare valori di m elevati, mentre ai fini economici è opportuno ricorrere a valori di m più piccoli. Si tenga presente inoltre che per valori di $m < \frac{1}{3}$ si ha che una parte della sezione del muro risulta sollecitata a trazione e ciò, per quanto possibile, va evitato. La condizione ideale si presenta quindi per $m = \frac{1}{3}$ in

quanto evita quanto sopra, associando buone prestazioni statiche a dimensioni non eccessive.

La metodologia proposta offre comunque al progettista un'ampia scelta di soluzioni permettendogli di ottimizzare le prestazioni statiche del manufatto in funzione delle reali esigenze, non trascurando l'aspetto economico finora quasi sempre non considerato a sufficienza e talvolta del tutto disatteso.

SUMMARY

After he had analysed the theoretic angles which govern the statical and geometrical traits interdependences in the retaining walls, the author proposes a calculation methodology determining some dimensions suitable to fit economical needs with static requirements. This methodology apart from effecting design calculation, is also proposed for the estimating test.

BIBLIOGRAFIA

- CESTELLI GUIDI C. 1964 — Meccanica del terreno. Fondazioni. Opere in terra. 5^a edizione. Hoepli Milano.
- POZZATI P., 1972 — Teoria e tecnica delle strutture. Vol. 1. Utet Torino.
- DE MONTIS S., PISANU M., 1979 — Analisi delle prestazioni statiche e dei costi di muri di sostegno in calcestruzzo armato in funzione di alcune caratteristiche dimensionali. *Studi Sassaesi, sez. III. Annali della Facoltà di Agraria dell'Università di Sassari*, vol. XXVII.

Tab. 1 - Limiti massimi e minimi dei parametri statici e geometrici per diversi valori di m (Per l il limite minimo si ha per $g = \frac{1}{2}B$).

Maximum and minimum limits of the statical and geometrical parameters for different values of m (For l we have the minimum limit when $g = \frac{1}{2}B$).

m	n		$\frac{10^4}{\gamma_m \cdot h}$		(S/R) N		$\frac{1}{h \cdot M}$			$\frac{V}{h^2 \cdot M}$	
	g = 1	g = 2	g = 1	g = 2	g = 1	g = 2	g = 1	g = $\frac{1}{2}B$	g = 2	g = 1	g = 2
	0,46	3,23	12,52	0,62	1,24	0,79	0,24	1,27	1,18	2,04	0,64
0,44	2,94	8,33	0,68	1,36	0,82	0,30	1,21	1,12	1,67	0,61	1,67
0,42	2,70	6,25	0,74	1,48	0,86	0,35	1,16	1,07	1,44	0,58	1,44
0,40	2,50	5,00	0,80	1,60	0,89	0,39	1,12	1,02	1,29	0,56	1,29
0,38	2,33	4,17	0,86	1,72	0,93	0,42	1,08	0,98	1,18	0,54	1,18
0,36	2,17	3,57	0,92	1,84	0,96	0,46	1,04	0,94	1,09	0,52	1,09
0,34	2,04	3,12	0,98	1,96	0,99	0,49	1,01	0,91	1,02	0,51	1,02
1/3	2,00	3,00	1,00	2,00	1,00	0,50	1,00	0,89	1,00	0,50	1,00
0,32	1,92	2,78	1,04	2,08	1,02	0,52	0,98	0,87	0,96	0,49	0,96
0,30	1,82	2,50	1,11	2,22	1,05	0,55	0,95	0,84	0,91	0,48	0,91
0,28	1,72	2,27	1,19	2,38	1,08	0,57	0,93	0,82	0,87	0,46	0,87
0,26	1,64	2,08	1,28	2,56	1,10	0,60	0,91	0,79	0,83	0,45	0,83
0,24	1,56	1,92	1,39	2,78	1,13	0,62	0,88	0,77	0,80	0,44	0,80
0,22	1,49	1,79	1,52	3,03	1,16	0,65	0,86	0,75	0,77	0,43	0,77

Tab. 2 - Coefficienti A, B e C in funzione di diversi valori di m e γ_m .

A, B and C coefficients in function to different values of m and γ_m .

m	A	B	C		
			$\gamma_m = 2200$	$\gamma_m = 2300$	$\gamma_m = 2400$
0,46	1,38	2,62	0,136	0,143	0,149
0,44	1,32	2,68	0,150	0,156	0,163
0,42	1,26	2,74	0,163	0,170	0,178
0,40	1,20	2,80	0,176	0,184	0,192
0,38	1,14	2,86	0,186	0,198	0,206
0,36	1,08	2,92	0,202	0,212	0,221
0,34	1,02	2,98	0,216	0,225	0,235
1/3	1,00	3,00	0,220	0,230	0,240
0,32	0,96	3,04	0,229	0,240	0,250
0,30	0,90	3,10	0,244	0,256	0,267
0,28	0,84	3,16	0,262	0,274	0,286
0,26	0,78	3,22	0,282	0,295	0,308
0,24	0,72	3,28	0,306	0,319	0,333
0,22	0,66	3,34	0,333	0,348	0,364

Tab. 3 - Coefficienti M e N in funzione di diversi valori di γ_i , $\gamma_m, h_i/h$ e per $\Phi = 30^\circ$.
M and N coefficients in function to the different values of γ_i , $\gamma_m, h_i/h$ and for $\Phi = 30^\circ$.

$\Phi = 30^\circ$												
h_i/h	$\gamma_i = 1.600 \text{ (kg/m}^3\text{)}$						$\gamma_i = 1.700 \text{ (kg/m}^3\text{)}$					
	$\gamma_m \text{ (kg/m}^3\text{)}$						$\gamma_m \text{ (kg/m}^3\text{)}$					
	2.200		2.300		2.400		2.200		2.300		2.400	
	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N
0	0,492	2,031	0,482	2,077	0,471	2,121	0,508	1,970	0,496	2,015	0,486	2,058
0.1	0,561	1,930	0,549	1,973	0,537	2,016	0,576	1,872	0,566	1,914	0,554	1,955
0.2	0,623	1,835	0,609	1,876	0,596	1,917	0,642	1,780	0,628	1,820	0,615	1,859
0.3	0,679	1,750	0,664	1,789	0,650	1,828	0,700	1,697	0,684	1,736	0,670	1,773
0.4	0,730	1,674	0,714	1,711	0,699	1,748	0,753	1,624	0,736	1,660	0,721	1,696
0.5	0,778	1,606	0,761	1,642	0,745	1,677	0,802	1,558	0,785	1,593	0,768	1,627
0.6	0,824	1,545	0,806	1,580	0,789	1,613	0,849	1,499	0,831	1,532	0,813	1,565
0.7	0,867	1,490	0,848	1,523	0,830	1,556	0,894	1,445	0,874	1,478	0,856	1,510
0.8	0,908	1,440	0,888	1,473	0,869	1,504	0,936	1,397	0,915	1,429	0,896	1,460
0.9	0,947	1,395	0,926	1,427	0,907	1,457	0,976	1,354	0,955	1,384	0,935	1,414
1	0,985	1,354	0,936	1,384	0,943	1,414	1,015	1,314	0,993	1,343	0,972	1,372
1.25	1,073	1,265	1,049	1,293	1,027	1,321	1,106	1,227	1,082	1,255	1,059	1,282
1.50	1,155	1,191	1,129	1,218	1,106	1,244	1,190	1,155	1,164	1,181	1,140	1,207
1.75	1,231	1,128	1,204	1,154	1,179	1,179	1,269	1,095	1,241	1,119	1,215	1,143
2	1,303	1,075	1,274	1,099	1,247	1,122	1,343	1,043	1,313	1,066	1,286	1,089
2.50	1,435	0,987	1,404	1,009	1,374	1,031	1,480	0,957	1,447	0,979	1,417	1,000
3	1,557	0,918	1,523	0,938	1,491	0,958	1,605	0,890	1,570	0,910	1,537	0,930
3.50	1,670	0,861	1,633	0,880	1,599	0,899	1,721	0,835	1,683	0,854	1,648	0,872
4	1,775	0,814	1,736	0,832	1,700	0,850	1,830	0,789	1,790	0,807	1,752	0,824
4.50	1,875	0,773	1,834	0,791	1,795	0,808	1,933	0,750	1,890	0,767	1,850	0,784
5	1,969	0,739	1,926	0,755	1,886	0,771	2,030	0,716	1,985	0,733	1,944	0,743
6	2,146	0,681	2,099	0,696	2,055	0,711	2,212	0,661	2,164	0,676	2,118	0,690
7	2,309	0,635	2,259	0,649	2,211	0,663	2,380	0,616	2,328	0,630	2,279	0,644
8	2,462	0,597	2,408	0,611	2,357	0,624	2,538	0,580	2,482	0,593	2,430	0,605
9	2,605	0,566	2,548	0,578	2,494	0,591	2,686	0,549	2,627	0,561	2,571	0,573
10	2,741	0,538	2,681	0,551	2,625	0,562	2,826	0,522	2,764	0,534	2,705	0,546

**Tab. 4 - Coefficienti M e N in funzione di diversi valori di γ_t , γ_m , h_i/h e per $\Phi = 35^\circ$.
M and N coefficients in function to the different values of γ_t , γ_m , h_i/h and for $\Phi = 35^\circ$.**

$\Phi = 35^\circ$												
h_i/h	$\gamma_t = 1.600 \text{ (kg/m}^3\text{)}$						$\gamma_t = 1.700 \text{ (kg/m}^3\text{)}$					
	$\gamma_m \text{ (kg/m}^3\text{)}$						$\gamma_m \text{ (kg/m}^3\text{)}$					
	2.200		2.300		2.400		2.200		2.300		2.400	
	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N
0	0,444	2,253	0,434	2,303	0,425	2,353	0,458	2,185	0,448	2,234	0,438	2,282
0,1	0,506	2,140	0,495	2,188	0,485	2,235	0,522	2,076	0,510	2,123	0,500	2,169
0,2	0,562	2,035	0,549	2,081	0,538	2,126	0,579	1,974	0,566	2,019	0,554	2,062
0,3	0,612	1,941	0,598	1,984	0,586	2,027	0,631	1,883	0,617	1,925	0,604	1,966
0,4	0,658	1,856	0,644	1,898	0,630	1,939	0,679	1,801	0,664	1,841	0,650	1,881
0,5	0,702	1,781	0,687	1,821	0,672	1,860	0,724	1,728	0,708	1,766	0,693	1,804
0,6	0,743	1,713	0,727	1,752	0,711	1,789	0,766	1,662	0,749	1,669	0,733	1,736
0,7	0,782	1,653	0,764	1,690	0,748	1,726	0,806	1,603	0,788	1,639	0,771	1,674
0,8	0,819	1,597	0,801	1,633	0,784	1,669	0,844	1,550	0,825	1,585	0,808	1,619
0,9	0,854	1,547	0,835	1,582	0,818	1,616	0,880	1,501	0,861	1,535	0,843	1,568
1	0,888	1,502	0,868	1,535	0,850	1,568	0,915	1,457	0,895	1,490	0,876	1,522
1,25	0,968	1,403	0,946	1,435	0,926	1,465	0,997	1,361	0,975	1,391	0,955	1,421
1,50	1,041	1,321	1,081	1,350	0,997	1,379	1,073	1,281	1,050	1,310	1,027	1,338
1,75	1,110	1,251	1,085	1,280	1,063	1,307	1,144	1,214	1,119	1,241	1,095	1,268
2	1,175	1,192	1,149	1,219	1,125	1,245	1,211	1,156	1,184	1,182	1,159	1,208
2,50	1,294	1,095	1,266	1,119	1,239	1,143	1,334	1,062	1,305	1,086	1,277	1,109
3	1,404	1,018	1,373	1,040	1,344	1,063	1,447	0,987	1,415	1,009	1,385	1,031
3,50	1,505	0,955	1,472	0,976	1,441	0,997	1,552	0,926	1,518	0,947	1,486	0,968
4	1,601	0,902	1,565	0,923	1,533	0,943	1,650	0,875	1,614	0,895	1,580	0,914
4,50	1,690	0,858	1,653	0,877	1,619	0,896	1,743	0,832	1,704	0,851	1,668	0,869
5	1,776	0,819	1,737	0,838	1,700	0,856	1,830	0,795	1,790	0,813	1,752	0,830
6	1,935	0,755	1,893	0,772	1,853	0,789	1,995	0,733	1,951	0,749	1,910	0,765
7	2,082	0,704	2,036	0,720	1,994	0,736	2,146	0,683	2,099	0,699	2,055	0,714
8	2,220	0,663	2,171	0,677	2,125	0,692	2,288	0,643	2,238	0,657	2,191	0,671
9	2,349	0,627	2,297	0,641	2,249	0,665	2,421	0,609	2,368	0,622	2,318	0,636
10	2,472	0,597	2,417	0,611	2,367	0,624	2,548	0,579	2,492	0,592	2,439	0,605

Tab. 5 - Coefficienti M e N in funzione di diversi valori di γ_t , γ_m , h_i/h e per $\Phi = 40^\circ$.
M and N coefficients in function to the different values of γ_t , γ_m , h_i/h and for $\Phi = 40^\circ$.

$\Phi = 40^\circ$												
h_i/h	$\gamma_t = 1.600 \text{ (kg/m}^3\text{)}$						$\gamma_t = 1.700 \text{ (kg/m}^3\text{)}$					
	$\gamma_m \text{ (kg/m}^3\text{)}$						$\gamma_m \text{ (kg/m}^3\text{)}$					
	2.200		2.300		2.400		2.200		2.300		2.400	
	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N
0	0,398	2,515	0,389	2,571	0,381	2,626	0,410	2,440	0,401	2,494	0,392	2,548
0,1	0,453	2,389	0,443	2,443	0,434	2,496	0,467	2,318	0,457	2,370	0,447	2,421
0,2	0,503	2,272	0,492	2,323	0,482	2,373	0,518	2,204	0,507	2,254	0,496	2,302
0,3	0,548	2,166	0,536	2,215	0,525	2,263	0,565	2,102	0,553	2,149	0,541	2,195
0,4	0,590	2,072	0,577	2,119	0,565	2,164	0,608	2,010	0,595	2,055	0,582	2,100
0,5	0,629	1,988	0,615	2,033	0,602	2,076	0,648	1,929	0,634	1,972	0,621	2,014
0,6	0,665	1,913	0,651	1,956	0,637	1,998	0,686	1,856	0,671	1,897	0,657	1,938
0,7	0,700	1,745	0,685	1,886	0,670	1,927	0,722	1,790	0,760	1,830	0,691	1,869
0,8	0,733	1,783	0,717	1,823	0,702	1,863	0,756	1,730	0,739	1,769	0,724	1,807
0,9	0,765	1,728	0,748	1,766	0,732	1,804	0,788	1,676	0,771	1,714	0,755	1,750
1	0,795	1,676	0,778	1,714	0,761	1,751	0,820	1,626	0,802	1,663	0,785	1,699
1,25	0,867	1,566	0,848	1,601	0,830	1,636	0,893	1,519	0,874	1,553	0,855	1,587
1,50	0,933	1,474	0,912	1,507	0,893	1,540	0,961	1,430	0,940	1,462	0,920	1,494
1,75	0,994	1,397	0,972	1,428	0,952	1,459	1,025	1,355	1,002	1,386	0,981	1,416
2	1,052	1,331	1,029	1,361	1,007	1,390	1,085	1,291	1,061	1,320	1,038	1,348
2,50	1,159	1,222	1,134	1,249	1,110	1,276	1,195	1,185	1,169	1,212	1,144	1,238
3	1,258	1,136	1,230	1,162	1,204	1,187	1,296	1,102	1,268	1,127	1,241	1,151
3,50	1,349	1,066	1,319	1,090	1,291	1,113	1,390	1,034	1,360	1,057	1,331	1,080
4	1,434	1,007	1,402	1,030	1,373	1,052	1,478	0,977	1,445	0,999	1,415	1,021
4,50	1,514	0,958	1,481	0,979	1,450	1,000	1,561	0,929	1,527	0,950	1,494	0,970
5	1,591	0,914	1,556	0,935	1,523	0,955	1,640	0,887	1,604	0,907	1,570	0,927
6	1,733	0,843	1,695	0,862	1,660	0,881	1,787	0,818	1,747	0,836	1,711	0,854
7	1,865	0,786	1,825	0,804	1,786	0,821	1,923	0,763	1,880	0,780	1,841	0,797
8	1,988	0,740	1,945	0,756	1,904	0,772	2,050	0,718	2,004	0,734	1,962	0,749
9	2,104	0,700	2,058	0,716	2,015	0,731	2,169	0,679	2,121	0,695	2,077	0,710
10	2,214	0,667	2,165	0,682	2,120	0,696	2,282	0,647	2,232	0,661	2,185	0,676

Tav. 1 - Formule per il calcolo dei diversi parametri statici e geometrici in funzione di g .
 Formulas to calculate the various statical and geometrical parameters in function of the g value.

Parametri	FORMULE RELATIVE		
	per g generico $1 \leq g \leq 2$	per g minimo $g = 1$	per g massimo $g = 2$
statici	$n = \frac{1}{1 + \frac{A \cdot g}{g^2 - 4g + 1}}$	$n_1 = n_{\min} = \frac{1}{1 - \frac{A}{2}}$	$n_2 = n_{\max} = \frac{1}{1 - \frac{A}{3}}$
	$\sigma \text{ (kg/cm}^2\text{)} = g \cdot h \cdot C$	$\sigma_1 = \sigma_{\min} = h \cdot C$	$\sigma_2 = \sigma_{\max} = 2h \cdot C$
	$S/R = \frac{\sqrt{g \cdot B - g^2 - 1}}{g \cdot N}$	$(S/R)_1 = (S/R)_{\max} = \frac{\sqrt{B - 2}}{N}$	$(S/R)_2 = (S/R)_{\min} = \frac{\sqrt{2B - 5}}{2N}$
geometrici	$l = \frac{h \cdot M}{\sqrt{g \cdot B - g^2 - 1}}$	$l_1 = \frac{h \cdot M}{\sqrt{B - 2}}$	$l_2 = \frac{h \cdot M}{\sqrt{2B - 5}}$
	$l_1 \text{ (m)} = (2 - g) \frac{h \cdot M}{\sqrt{g \cdot B - g^2 - 1}}$	$l_{1\max} = \frac{h \cdot M}{\sqrt{B - 2}}$	$l_{1\min} = 0$ (per $g = \frac{1}{2} B$)
	$l_2 \text{ (m)} = (g - 1) \frac{h \cdot M}{\sqrt{g \cdot B - g^2 - 1}}$	$l_{2\min} = 0$	$l_{2\max} = \frac{h \cdot M}{\sqrt{2B - 5}}$
	$V = \frac{1}{2} g \frac{h^2 \cdot M}{\sqrt{g \cdot B - g^2 - 1}}$	$V_{\min} = \frac{1}{2} \frac{h^2 \cdot M}{\sqrt{B - 2}}$	$V_{\max} = \frac{h^2 \cdot M}{\sqrt{2B - 5}}$

Tav. 2 - Soluzioni di g in funzione delle condizioni imposte ai vari parametri.
 g solutions in function of the conditions given to the different parameters.

Condizioni imposte	Relazione tra gli estremi dell'intervallo	Formule per la determinazione delle radici	Sistema risolvente	Soluzioni	
$n \geq n_0$ $n_1 \leq n_0 \leq n_2$	$n_1 < n_2$	$g_1, g_2 = \frac{A \cdot n_0}{2(1-n_0)} + 2 \pm \sqrt{\frac{A^2 \cdot n_0^2}{4(1-n_0)^2} + \frac{2(A \cdot n_0)}{1-n_0} + 3}$	$\begin{cases} 1 \leq g \leq 2 \\ g_1 \geq g \geq g_2 \\ g_1 \leq 1 \\ 1 \leq g_2 \leq 2 \end{cases}$	$g_2 \leq g \leq 2$	
$\sigma \leq \sigma_0$ $\sigma_1 \leq \sigma_0 \leq \sigma_2$	$\sigma_1 < \sigma_2$	$g_0 = \frac{\sigma_0}{h \cdot C}$	$\begin{cases} 1 \leq g \leq 2 \\ 1 \leq g_0 \leq 2 \\ g \leq g_0 \end{cases}$	$1 \leq g \leq g_0$	
$S/R \leq f$ $(S/R)_1 \geq f \geq (S/R)_2$	$(S/R)_1 > (S/R)_2$	$g_1, g_2 = \frac{B \pm \sqrt{B^2 - 4(f^2 \cdot N^2 + 1)}}{2(f^2 \cdot N^2 + 1)}$	$\begin{cases} 1 \leq g \leq 2 \\ g_1 \geq g \geq g_2 \\ g_1 \leq 1 \\ 1 \leq g_2 \leq 2 \end{cases}$	$g_2 \leq g \leq 2$	
$m > \frac{1}{3}$	$l_1 \leq l_0 \leq l_2$ $l_{\min} \leq l_0 \leq l_1$	$l_1 < l_2$ $l_1 < l_2$	$\begin{cases} 1 \leq g \leq 2 \\ g_1 \leq g \leq g_2 \\ g_1 \leq 1 \\ g_2 \leq 2 \end{cases}$	$1 \leq g \leq g_2$	
$l \leq l_0$	$m = \frac{1}{3}$ $l_{\min} \leq l_0 \leq l_1 = l_2$	$l_1 = l_2$	$\begin{cases} 1 \leq g \leq 2 \\ g_1 \leq g \leq g_2 \\ 1 \leq g_1 \leq \frac{1}{2}B \\ \frac{1}{2}B \leq g_2 \leq g_1 \end{cases}$	$g_1 \leq g \leq g_1$	
	$m < \frac{1}{3}$	$l_1 \geq l_0 \geq l_2$ $l_{\min} \leq l_0 \leq l_2$	$l_1 > l_2$ $l_1 > l_2$	$\begin{cases} 1 \leq g \leq 2 \\ g_1 \leq g \leq g_2 \\ 1 \leq g_1 \leq g_1 \\ g_2 \geq 2 \end{cases}$	$g_1 \leq g \leq 2$
		$g_1, g_2 = \frac{B}{2} \pm \sqrt{\frac{B^2}{4} - \frac{h^2 M^2}{l_0^2} - 1}$	$\begin{cases} 1 \leq g \leq 2 \\ g_1 \leq g \leq g_2 \\ g_1 \leq g_1 \leq \frac{1}{2}B \\ \frac{1}{2}B \leq g_2 \leq 2 \end{cases}$	$g_1 \leq g \leq g_2$	
$l_2 \geq l_0$ $l_2 \leq l_0 \leq l_2$	$l_2 < l_2$ $l_2 = 0$	$g_1, g_2 = \frac{2h^2 \cdot M^2 + B \cdot l_2^2 \pm \sqrt{12l_0^2(B^2 - 4) + 4h^2 \cdot M^2 \cdot l_2^2(B - 2)}}{2(h^2 \cdot M^2 + l_2^2)}$	$\begin{cases} 1 \leq g \leq 2 \\ g_1 \leq g \leq g_2 \\ g_1 \leq 1 \\ 1 \leq g_2 \leq 2 \end{cases}$	$g_2 \leq g \leq 2$	
$l_1 = h \cdot s$ $l_1 \geq h \cdot s \geq l_1$	$l_1 > l_1$ $l_1 = 0$	$g_1, g_2 = \frac{4M^2 + B \cdot s^2 \pm \sqrt{s^4(B^2 - 4) + 4M^2 \cdot s^2(2B - 5)}}{2(M^2 + s^2)}$	$\begin{cases} 1 \leq g \leq 2 \\ 1 \leq g_1 \leq 2 \\ g_2 \geq 2 \end{cases}$	$g = g_1$	
$V \leq V_0$ $V_1 \leq V_0 \leq V_2$	$V_1 < V_2$	$g_1, g_2 = \frac{2B \cdot V_0^2 \pm \sqrt{V_0^4(B^2 - 4) - h^4 \cdot M^2 \cdot V_0^2}}{h^4 \cdot M^2 + 4V_0^2}$	$\begin{cases} 1 \leq g \leq 2 \\ g_1 \leq g \leq g_2 \\ g_1 \leq 1 \\ 1 \leq g_2 \leq 2 \end{cases}$	$1 \leq g \leq g_2$	

Tav. 3 - Formule per la determinazione dei parametri statici per il calcolo di verifica.
 Formulas to determinate the static parameters required to effect the estimating test.

Parametri statici	Formule relative
n	$n = \frac{3l^2 - (l - l_2)^2}{M^2 \cdot h^2}$
σ (kg/cm ²)	$\sigma = \frac{\gamma_m \cdot h}{10^4} \cdot \frac{l + l_2}{3m \cdot l} \quad \text{per } m \leq \frac{1}{3}$
	$\sigma = \frac{\gamma_m \cdot h}{10^4} \cdot \frac{l + l_2}{l} \quad (2 - 3 \text{ m}) \quad \text{per } m \geq \frac{1}{3}$
	$\text{dove } m = \frac{M^2 \cdot h^2}{3l(l + l_2)} (n - 1)$
S/R	$S/R = \frac{M \cdot h}{N(l + l_2)}$

Tav. 4 - Formule per la determinazione dei coefficienti necessari per il calcolo di verifica.
Formulas to determinate the coefficients required to effect the estimating test.

Coefficienti	Formule relative
g	$g = 1 + \frac{l2}{l}$
B	$B = \frac{h^2 \cdot M^2 + l^2 + (l + l2)^2}{l(l + l2)}$ <p data-bbox="471 861 544 885">oppure:</p> $B = \frac{M^2 \frac{h^2}{l^2} + g^2 + 1}{g}$
A	$A = 4 - B$
C	$C = \frac{\gamma_m}{10^4} \cdot \frac{1}{4 - B} \quad \text{per } B \geq 3$ $C = \frac{\gamma_m}{10^4} (B - 2) \quad \text{per } B \leq 3$

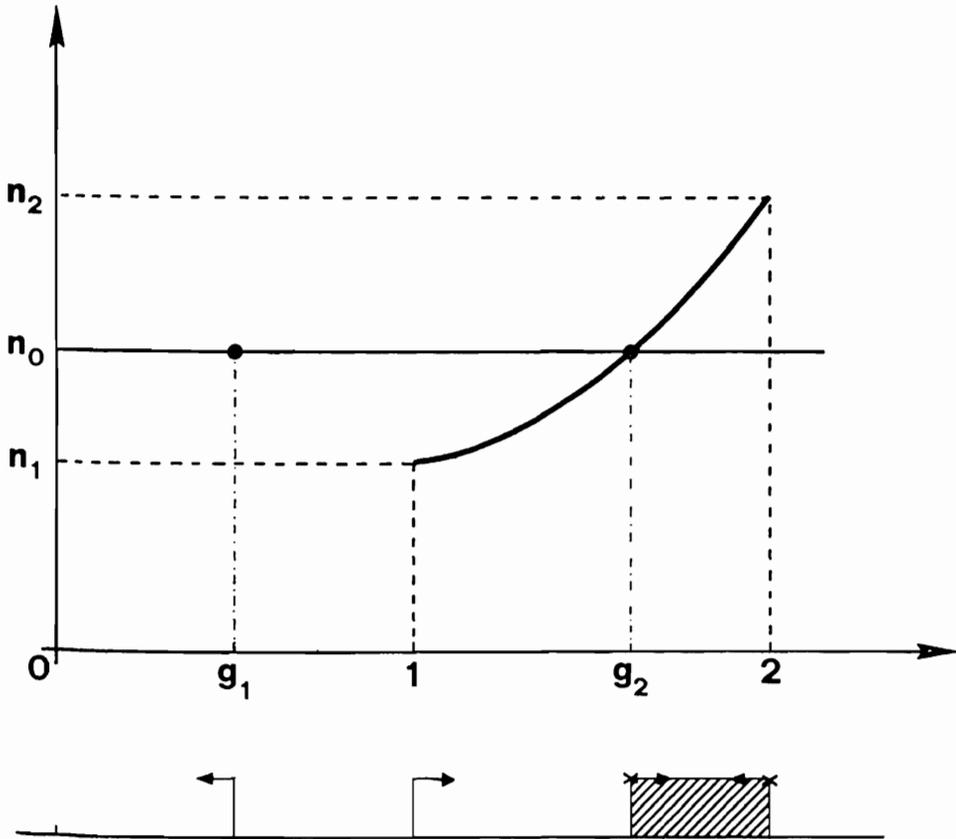


Grafico 1

Andamento del grado di stabilità n per $m = \text{costante}$ e per valori di $1 \leq g \leq 2$; sono anche indicate graficamente le soluzioni di g per $n \geq n_0$.

Course of the n stability grade for $m = \text{constant}$ and for the value of $1 \leq g \leq 2$; are also indicated the different solutions of g for $n \geq n_0$.

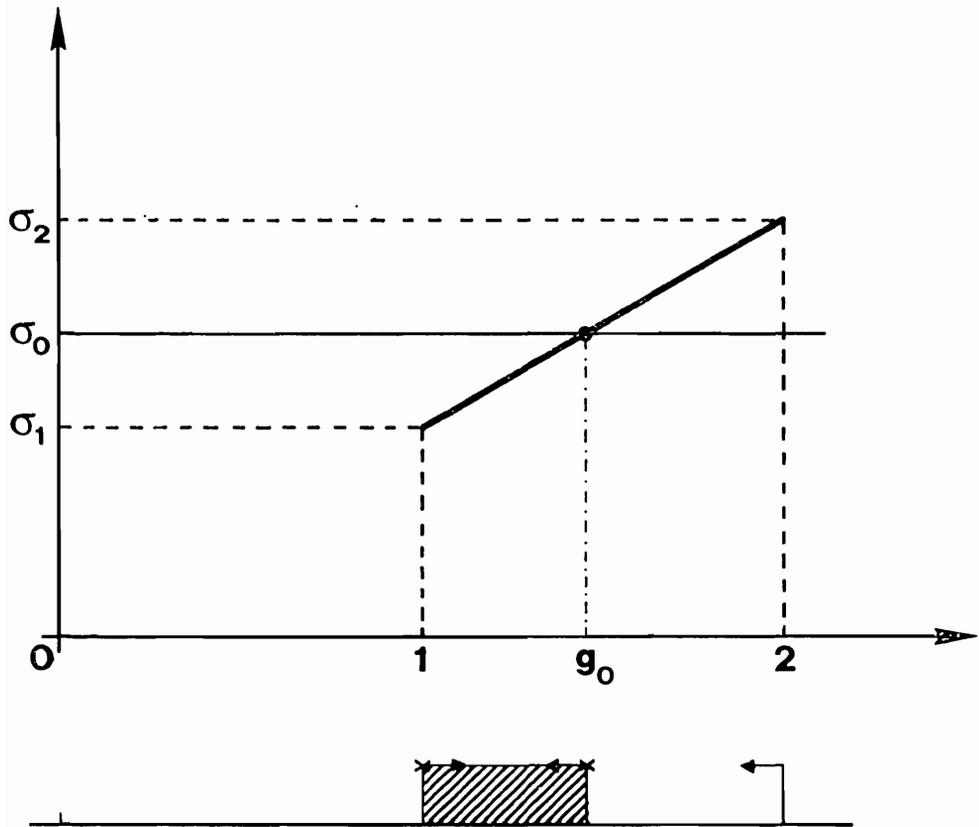


Grafico 2

Andamento della sollecitazione massima a compressione σ per $m = \text{costante}$ e per valori di $1 \leq g \leq 2$; sono anche indicate graficamente le soluzioni di g per $\sigma \leq \sigma_0$.
 Course of the maximum stress to the σ compression for $m = \text{constant}$ and for the values of $1 \leq g \leq 2$; are also indicated the different solutions for g $\sigma \leq \sigma_0$.

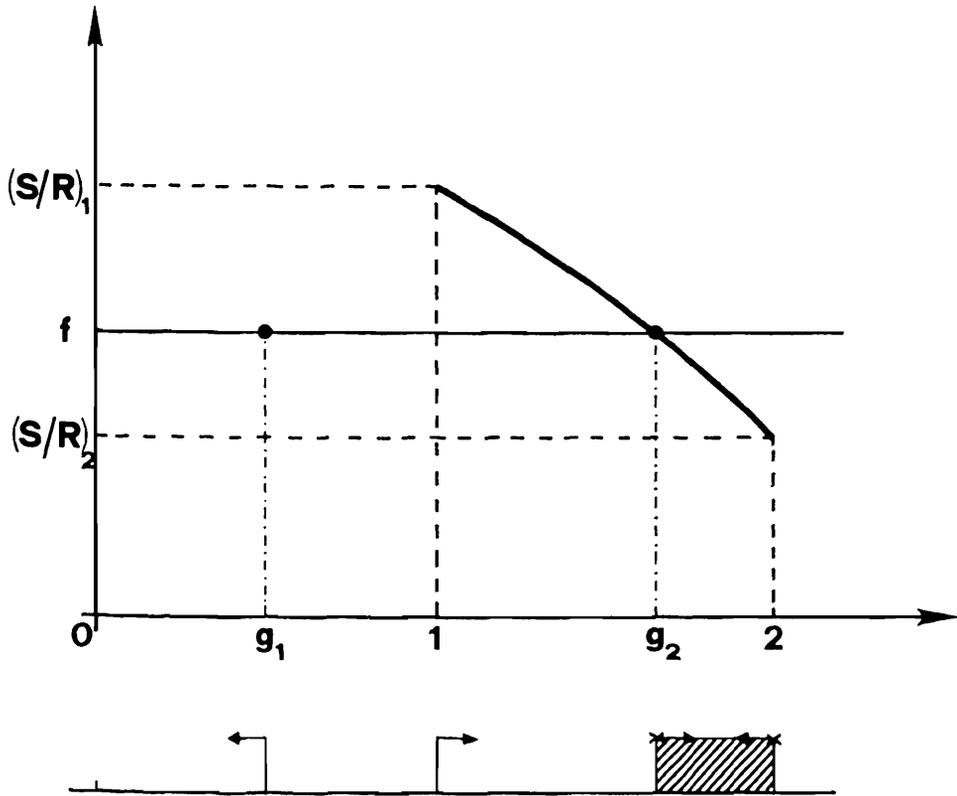


Grafico 3

Andamento del rapporto S/R per $m = \text{costante}$ e per valori di $1 \leq g \leq 2$; sono anche indicate graficamente le soluzioni di g per $S/R \leq f$.

Course of S/R ratio for $m = \text{constant}$ and for the values of $1 \leq g \leq 2$; are also indicated the different solutions of g for $S/R \leq f$.

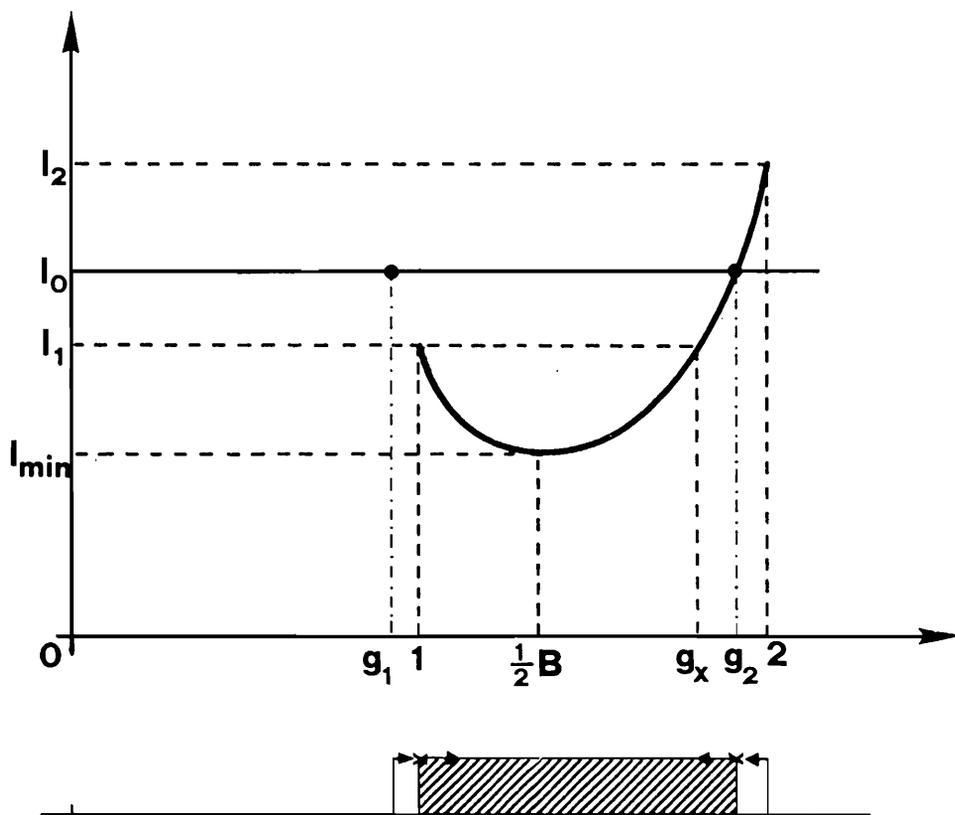


Grafico 4

Andamento dello spessore di base l per $m = \text{costante} > \frac{1}{3}$ e per valori di $1 \leq g \leq 2$; sono anche indicate le soluzioni di g per $l \leq l_0$ e per $l_1 \leq l_0 \leq l_2$.
 Course of the l basic thickness for $m = \text{constant} > \frac{1}{3}$ and for values of $1 \leq g \leq 2$; are also indicated the different solutions of g for $l \leq l_0$ and $l_1 \leq l_0 \leq l_2$.

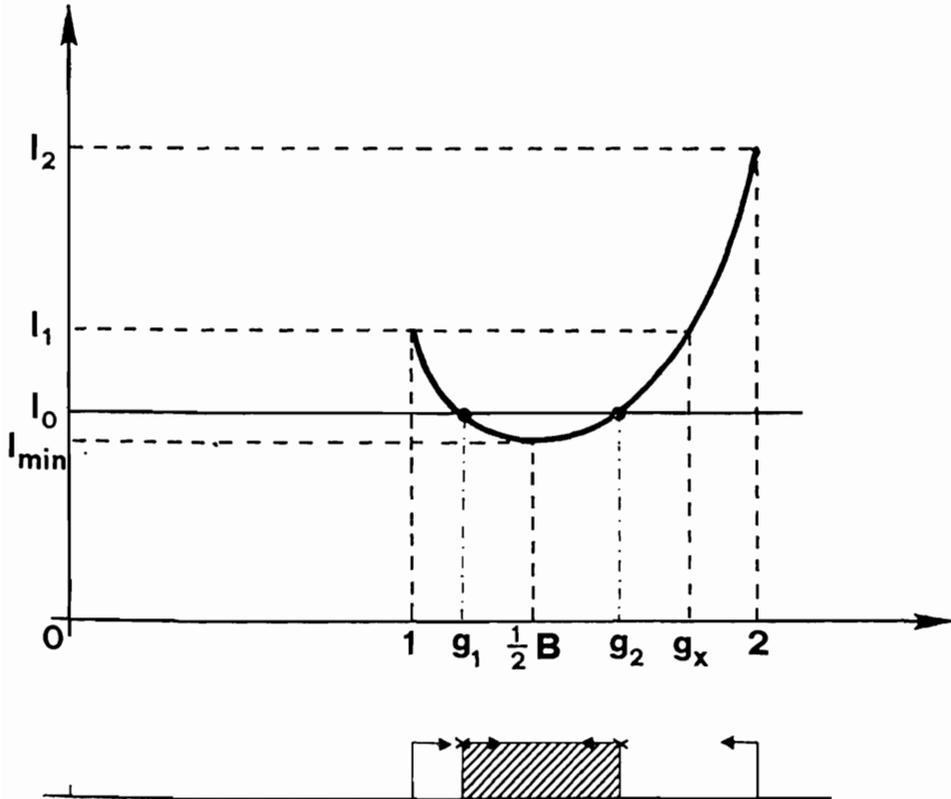


Grafico 5

Andamento dello spessore di base l per $m = \text{costante} > \frac{1}{2}$ e per valori di $1 \leq g \leq 2$; sono anche indicate le soluzioni di g per $l \leq l_0$ e per $l_{\min} \leq l_0 \leq l_1$.

Course of the l basic thickness for $m = \text{constant} > \frac{1}{2}$ and for values of $1 \leq g \leq 2$; are also indicated the different solutions of g for $l \leq l_0$ and $l_{\min} \leq l_0 \leq l_1$.

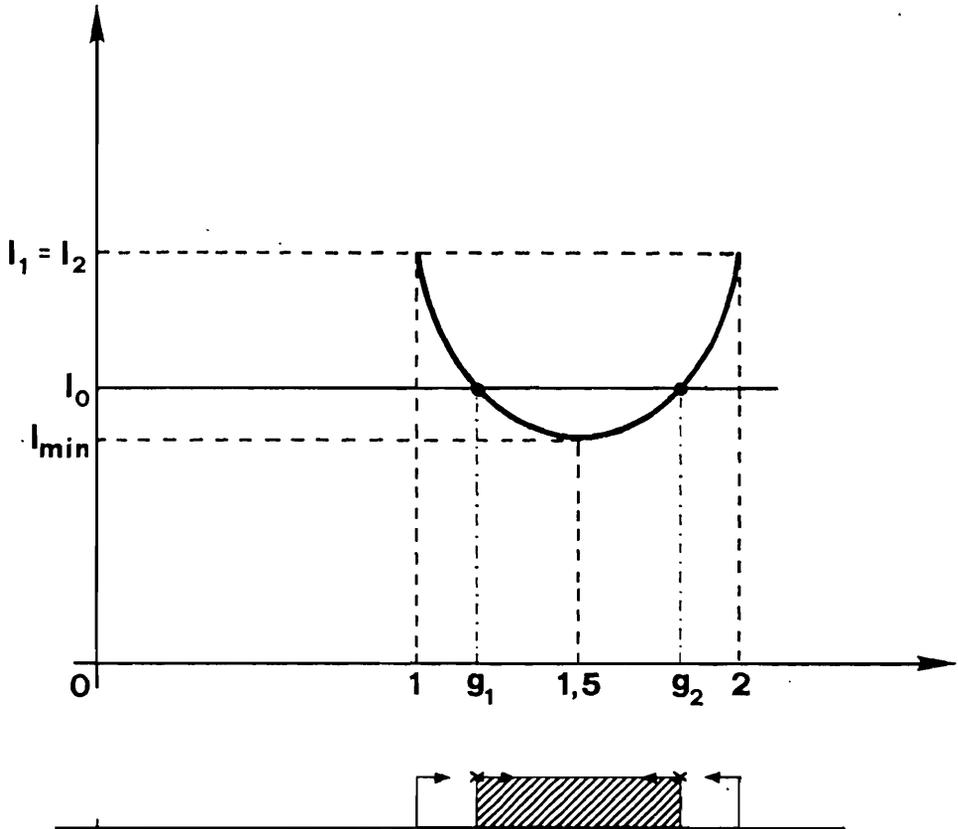


Grafico 6

Andamento dello spessore di base l per $m = \text{costante} = \frac{1}{3}$ e per valori di $1 \leq g \leq 2$; sono anche indicate le soluzioni di g per $l \leq l_0$ e per $l_{min} \leq l_0 \leq l_1 = l_2$.

Course of the l basic thickness for $m = \text{constant} = \frac{1}{3}$ and for values of $1 \leq g \leq 2$; are also indicated the different solutions of g for $l \leq l_0$ and for $l_{min} \leq l_0 \leq l_1 = l_2$.

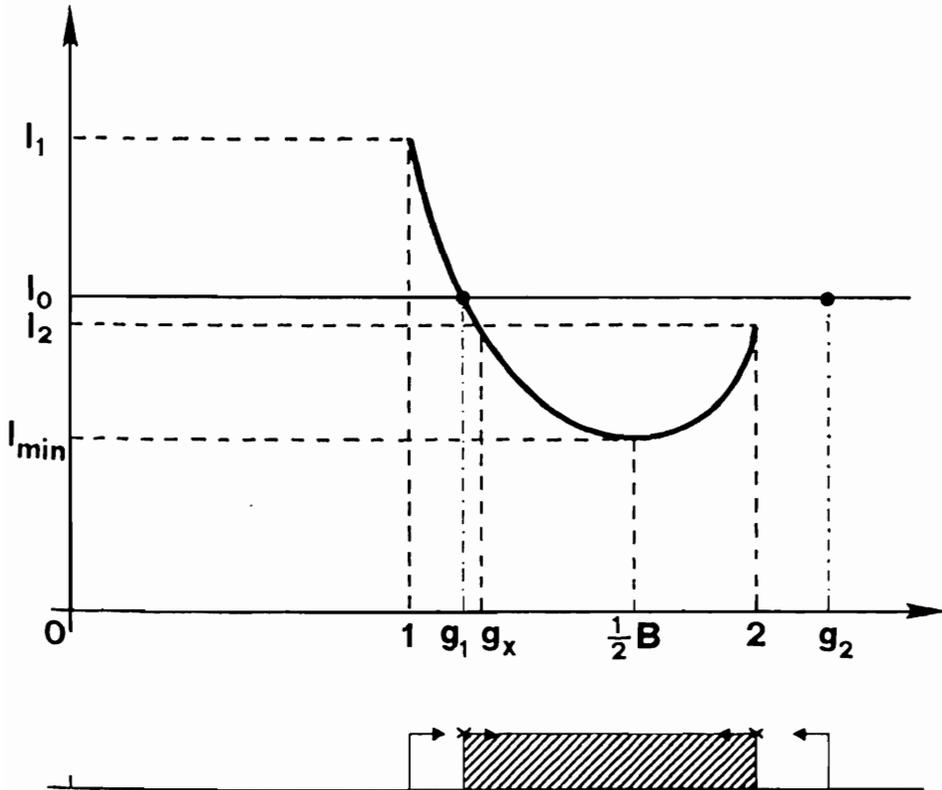


Grafico 7

Andamento dello spessore di base l per $m = \text{costante} < \frac{1}{2}$ e per valori di $1 \leq g \leq 2$; sono anche indicate le soluzioni di g per $l \leq l_0$ e per $l_1 \geq l_0 \geq l_2$.

Course of the l basic thickness for $m = \text{constant} < \frac{1}{2}$ and for values of $1 \leq g \leq 2$; are also indicated the different solutions of g for $l \leq l_0$ and for $l_1 \geq l_0 \geq l_2$.

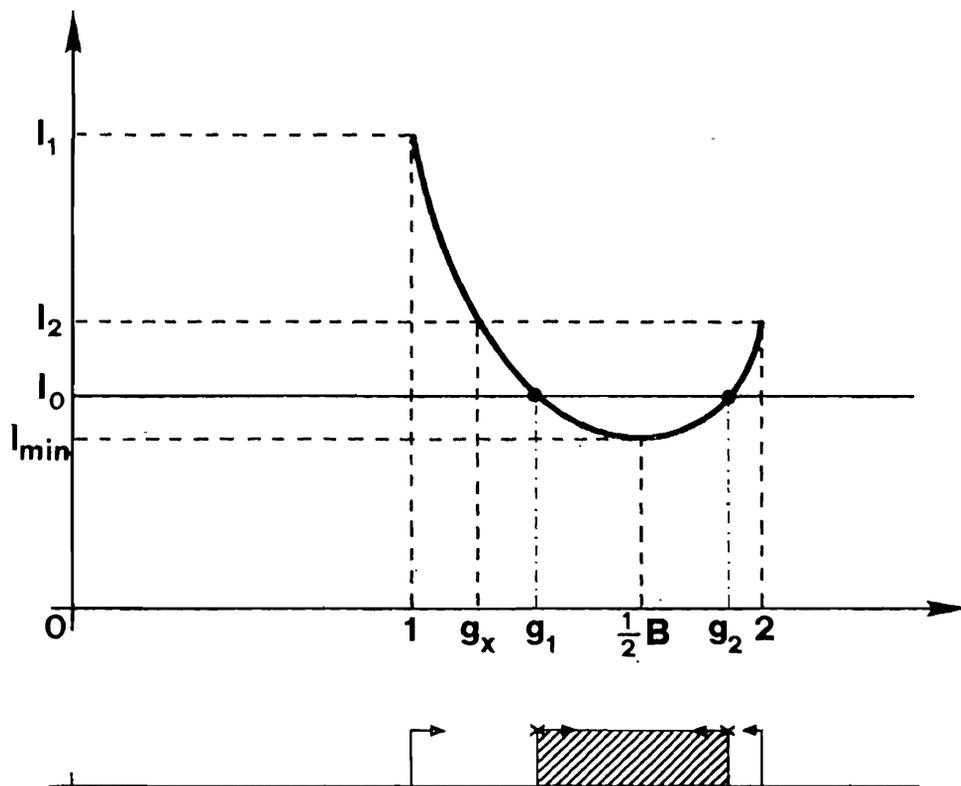


Grafico 8

Andamento dello spessore di base l per $m = \text{costante} < \frac{1}{3}$ e per valori di $1 \leq g \leq 2$; sono anche indicate le soluzioni di g per $l \leq l_0$ e per $l_{\min} \leq l \leq l_2$

Course of the l basic thickness for $m = \text{constant} < \frac{1}{3}$ and for values of $1 \leq g \leq 2$; are also indicated the different solutions of g for $l \leq l_0$ and for $l_{\min} \leq l \leq l_2$

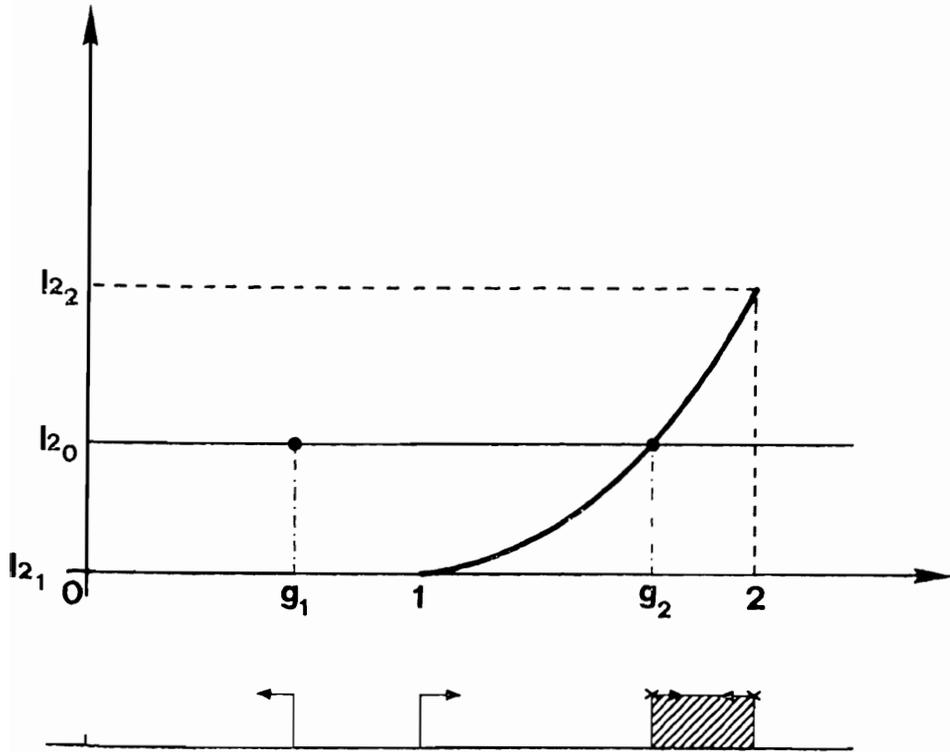


Grafico 9

Andamento dello spessore in sommità l_2 per $m = \text{costante}$ e per valori di $1 \leq g \leq 2$; vengono indicate le soluzioni di g per $l_2 \geq l_{2_0}$.

Course of the top thickness of l_2 for $m = \text{constant}$ and for the values of $1 \leq g \leq 2$; are also indicated the solutions of g for $l_2 \geq l_{2_0}$.

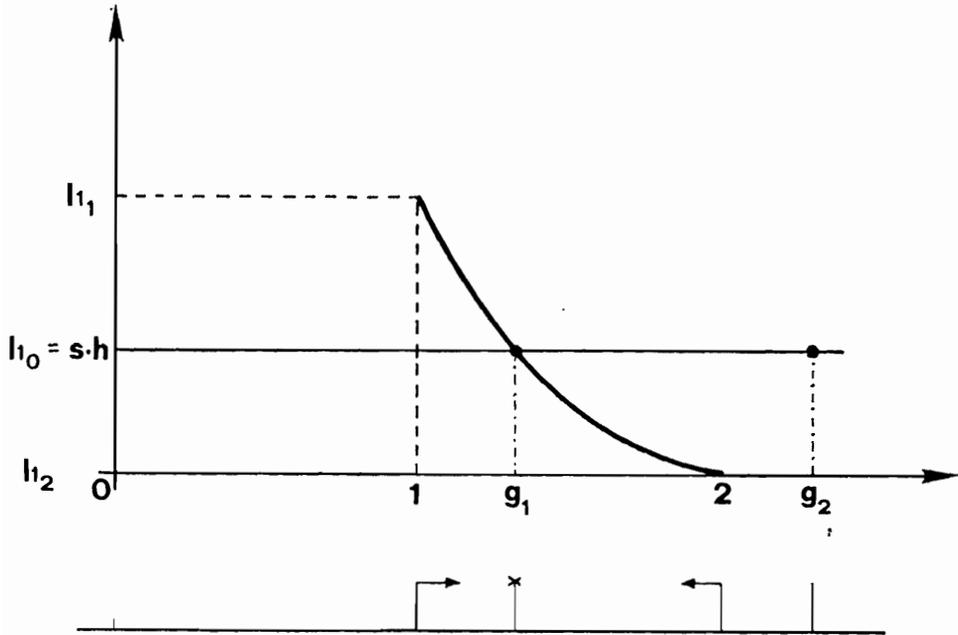


Grafico 10

Andamento della proiezione orizzontale del paramento esterno inclinato l_1 per $m = \text{costante}$ e per valori di $1 \leq g \leq 2$; viene anche indicata la soluzione di g per $l_0 = s \cdot h$.
 Course of the horizontal projection of l_1 external inclined face for $m = \text{constant}$ and for the values of $1 \leq g \leq 2$; is also indicated the solution of g for $l_0 = s \cdot h$.

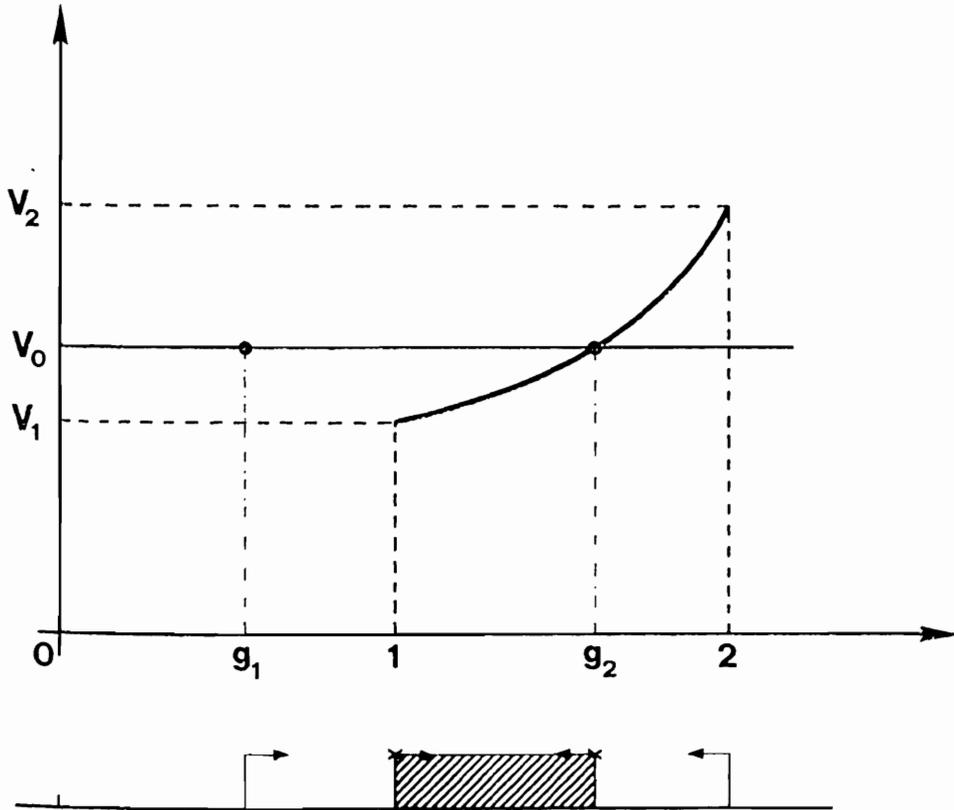


Grafico 11

Andamento del volume di muratura (per metro lineare di manufatto) V per $m = \text{costante}$ e per valori di $1 \leq g \leq 2$; vengono indicate le soluzioni di g per $V \leq V_0$.

Course of the V masonry volume (for a linear meter of hand made) for $m = \text{constant}$ and for the values of $1 \leq g \leq 2$; are also indicated the solutions of g for $V \leq V_0$.