

Abachi per il calcolo dei diaframmi a sbalzo o con ancoraggio

S. MARCHETTI*

SOMMARIO: Nei grafici che seguono sono stati riportati parametri adimensionali per il calcolo delle caratteristiche necessarie al progetto dei diaframmi a sbalzo e con un ancoraggio.

L'applicazione di questi grafici è limitata al caso in cui la spinta e la resistenza del terreno contro il diaframma abbiano un diagramma di carico a forma triangolare o approssimabile a forma triangolare.

L'uso dei grafici è chiarito da alcune applicazioni numeriche.

1. Generalità.

Nei grafici che seguono sono stati riportati parametri adimensionali per il calcolo delle caratteristiche necessarie al progetto dei diaframmi a sbalzo o con un ancoraggio.

L'applicazione di questi grafici è limitata al caso in cui la spinta e la resistenza del terreno contro il diaframma abbiano un diagramma di carico a forma triangolare (figg. 1 e 2) o approssimabile a forma triangolare.

La spinta e la resistenza considerate solitamente sono quelle corrispondenti allo stato limite del terreno, e sono calcolate con la teoria classica della spinta delle terre.

2. Ipotesi di calcolo.

2.1. Spinta del terreno.

Nel calcolo dei valori della spinta attiva e della spinta passiva del terreno vengono tenute presenti alcune particolarità e cioè:

a) Nel calcolo della spinta attiva si trascura, a favore della stabilità, l'eventuale attrito tra diaframma e terreno.

b) Nel calcolo della spinta passiva si tiene conto di un angolo di attrito δ tra diaframma e terreno compreso tra $(1/3)\varphi$ e $(2/3)\varphi$, adottando i coefficienti di spinta per superfici di scorrimento curve proposti da CAQUOT e KERISEL [1948]. Essi sono riportati in Tabella I.

TABELLA I

φ°	20	25	30	35	40	45
$K_a (\delta = 0)$	0,49	0,40	0,33	0,27	0,22	0,17
$K_p (\delta = 2/3 \varphi)$	2,8	3,9	5,5	8,2	12,8	23

* Dott. ing. Silvano MARCHETTI, Istituto di Costruzioni di Strade, Ferrovie ed Aeroporti del Politecnico di Torino.

Occorre ancora notare che nel calcolo della spinta passiva si deve tener conto dell'effetto di eventuali forze di filtrazione dovute all'acqua. Esse possono infatti provocare la liquefazione del terreno presso il fondo dello scavo e in ogni caso comportano un alleggerimento del terreno resistente con conseguente diminuzione della spinta passiva.

2.2. Ipotesi di calcolo per i diaframmi a sbalzo.

I diaframmi a sbalzo, essendo paragonabili a travi incastrate ad un estremo, non richiedono lo studio della deformata in quanto per un tale schema isostatico semplici considerazioni di equilibrio consentono di definire gli elementi necessari per il progetto.

Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al punto C (fig. 1) di tutte le forze (spinte) agenti, si definisce la posizione di C inizialmente incognita⁽¹⁾.

Dall'equilibrio delle forze orizzontali si rileva la presenza di una controforza in C che in pratica viene realizzata mediante un elemento aggiuntivo di diaframma al di sotto di C, la cui lunghezza (CD) viene solitamente presa pari a $0,2x$.

I valori dei parametri necessari per il calcolo della profondità di infissione riportati nei grafici che seguono, tengono già conto della suddetta maggiorazione ($0,2x$).

2.3. Ipotesi di calcolo per i diaframmi con ancoraggio.

I diaframmi con uno o più ancoraggi possono considerarsi strutture iperstatiche con un numero di incognite pari al numero degli ancoraggi.

⁽¹⁾ Si suppone che in C il momento flettente sia nullo (vedi § 2.3.).

Sono infatti paragonabili a travi incastrate ad un estremo e munite di appoggi semplici.

Per calcolare la profondità alla quale il diaframma si può considerare incastrato, si impone la condizione che il diaframma giunga sino al punto C

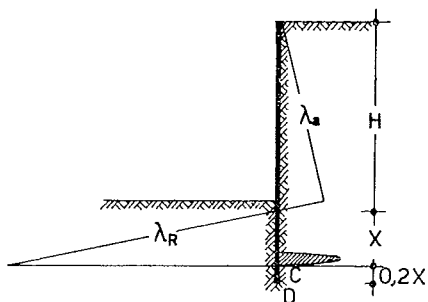


Fig. 1. - Schema di diaframma a sbalzo caricato da spinte del terreno triangolari.

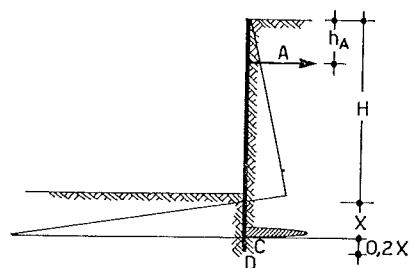


Fig. 2. - Schema di diaframma con un ancoraggio caricato da spinte del terreno triangolari.

(fig. 2) in cui è applicata una controforza (reazione d'appoggio) e per il quale punto C si abbia:

a) deformazione nulla (passaggio per C della linea elastica);

b) rotazione nulla (tangente verticale della linea elastica).

Una volta individuato il punto C, il problema è ricondotto allo studio di una trave iperstatica su più appoggi sottoposta ad un carico noto.

Infine la profondità di infissione viene aumentata di $0,2x$ al di sotto di C affinché l'elemento aggiuntivo di diaframma CD possa reagire trasmettendo la controforza in C, della cui presenza si è già fatto uso.

Si può osservare che la reazione del terreno su CD non può avere risultante in C.

D'altra parte, tenendo conto della deformazione relativa terreno-diaframma, non è possibile (come invece si suppone nel calcolo) che il terreno al di sopra di C eserciti la punta di spinta tratteggiata in figura (figg. 1 e 2).

In pratica però gli errori introdotti accettando tali ipotesi sono piccoli e si compensano a vicenda per cui è possibile, con sufficiente approssimazione, sostituire la reazione del tronco di diaframma CD con una reazione concentrata nell'appoggio C.

I valori dei parametri necessari per il calcolo della profondità di infissione riportati nei grafici che seguono tengono già conto della suddetta maggiorazione ($0,2x$).

2.4. Osservazioni sulle ipotesi di calcolo.

Per i diaframmi con uno o più ancoraggi il calcolo può anche essere effettuato adottando le lunghezze di diaframma minime possibili compatibilmente con l'equilibrio, senza imporre come condizione ulteriore l'incastrato nel senso specificato al punto precedente.

In tal modo si consegue un'economia relativamente alla lunghezza del diaframma, mentre la mancanza della lunghezza necessaria per realizzare l'incastrato conduce a momenti massimi superiori.

In pratica, per queste opposte circostanze, si ottengono nei due casi quantità complessive molto prossime di armatura necessaria.

Tenendo conto che di solito le incertezze maggiori riguardano la resistenza del terreno e non le caratteristiche del calcestruzzo, si suggerisce di adottare l'ipotesi di necessità di incastrato in modo da armare meno il calcestruzzo ed aumentare la profondità di infissione nel terreno.

3. Esempi di calcolo.

3.1. Diaframma a sbalzo (fig. 8).

Si suppone che il calcolo della spinta del terreno abbia condotto al valore del coefficiente $\lambda_a = 0,66 \text{ t/m}^3$ (2) nella zona attiva e $\lambda_R = 10,5 \text{ t/m}^3$ nella zona passiva.

Per $\lambda_R/\lambda_a = 10,5/0,66 = 16$ si legge dalla fig. 3:

$$f = 0,8$$

$$m = 290$$

$$h_M = 1,32.$$

Risulta pertanto necessaria una infissione

$$F = f H = 0,8 \cdot 8 = 6,40 \text{ m.}$$

(2) I coefficienti λ_a e λ_R sono le inclinazioni del diagramma di spinta rispettivamente nella zona attiva ed in quella passiva. Essi si misurano quindi in $(\text{t/m}^2)/\text{m}$.

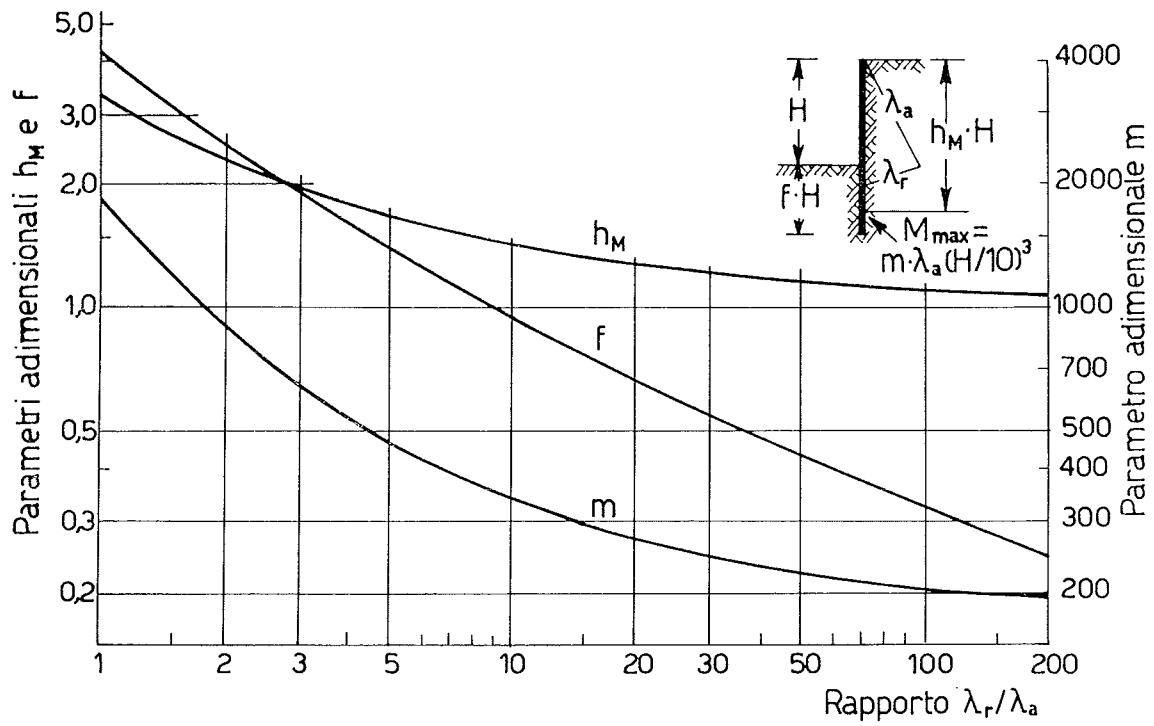


Fig. 3. - Curve dei parametri adimensionali f - h_M - m per il calcolo di diaframmi a sbalzo incastrati al piede.

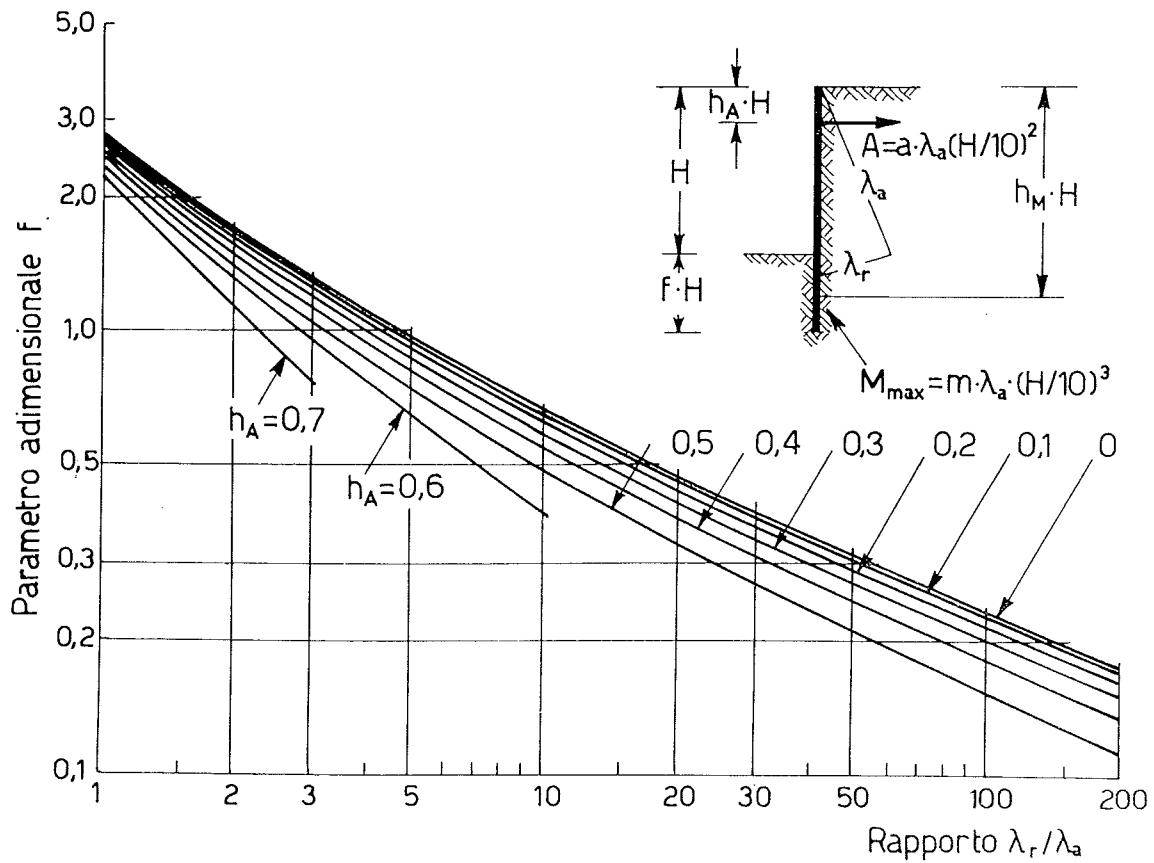


Fig. 4. - Curve del parametro adimensionale f per il calcolo di diaframmi incastrati al piede e muniti di un ancoraggio.

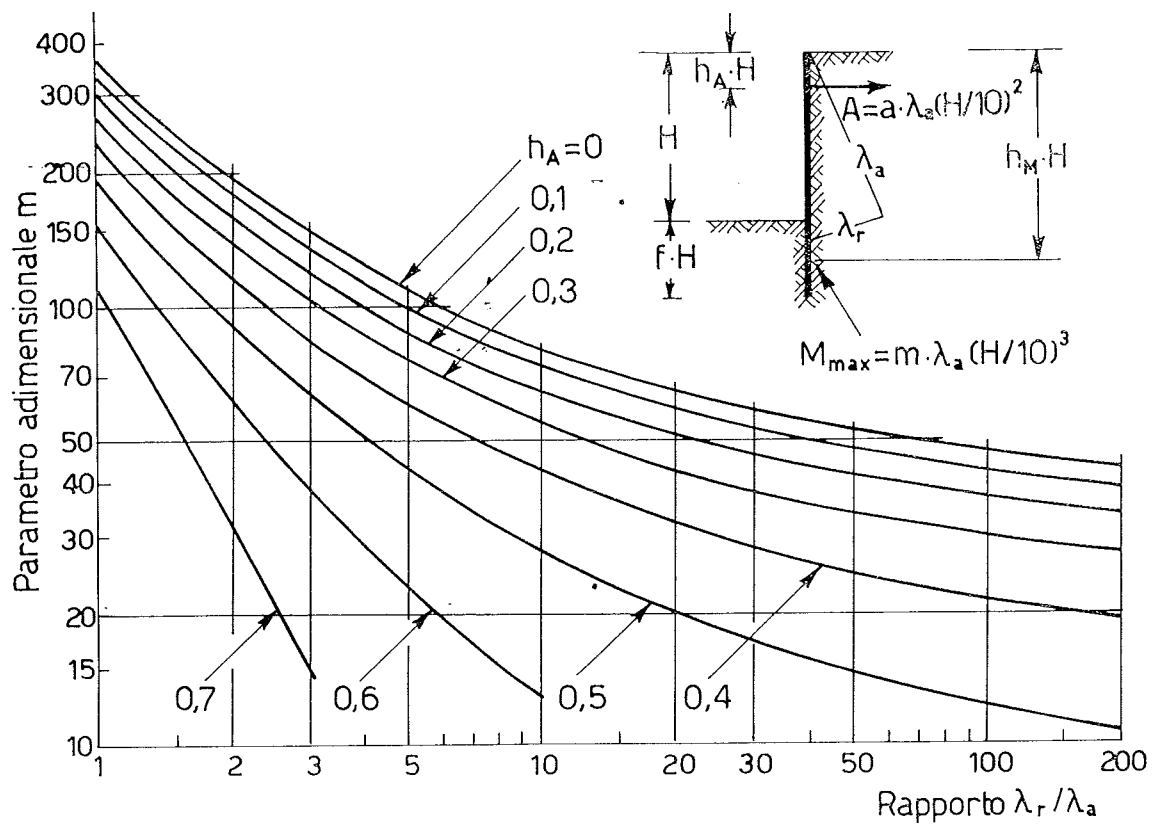


Fig. 5. - Curve del parametro adimensionale m per il calcolo di diaframmi incastrati al piede e muniti di un ancoraggio.

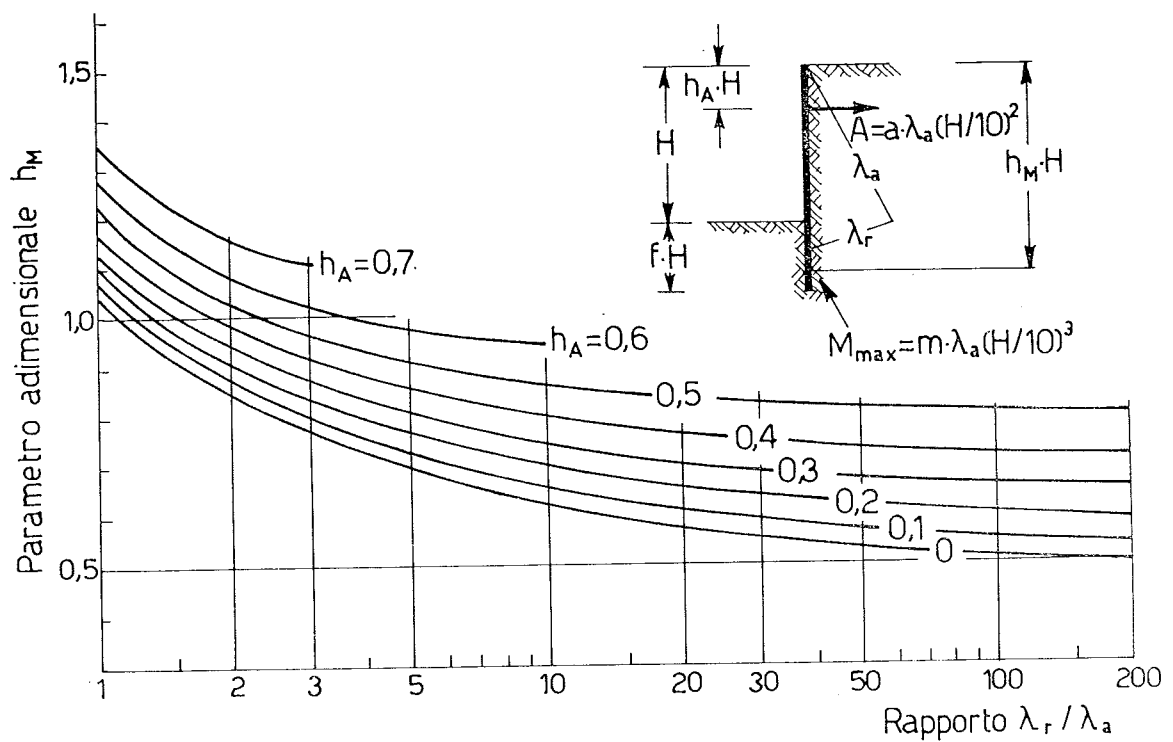


Fig. 6. - Curve del parametro adimensionale h_M per il calcolo di diaframmi incastrati al piede e muniti di un ancoraggio.

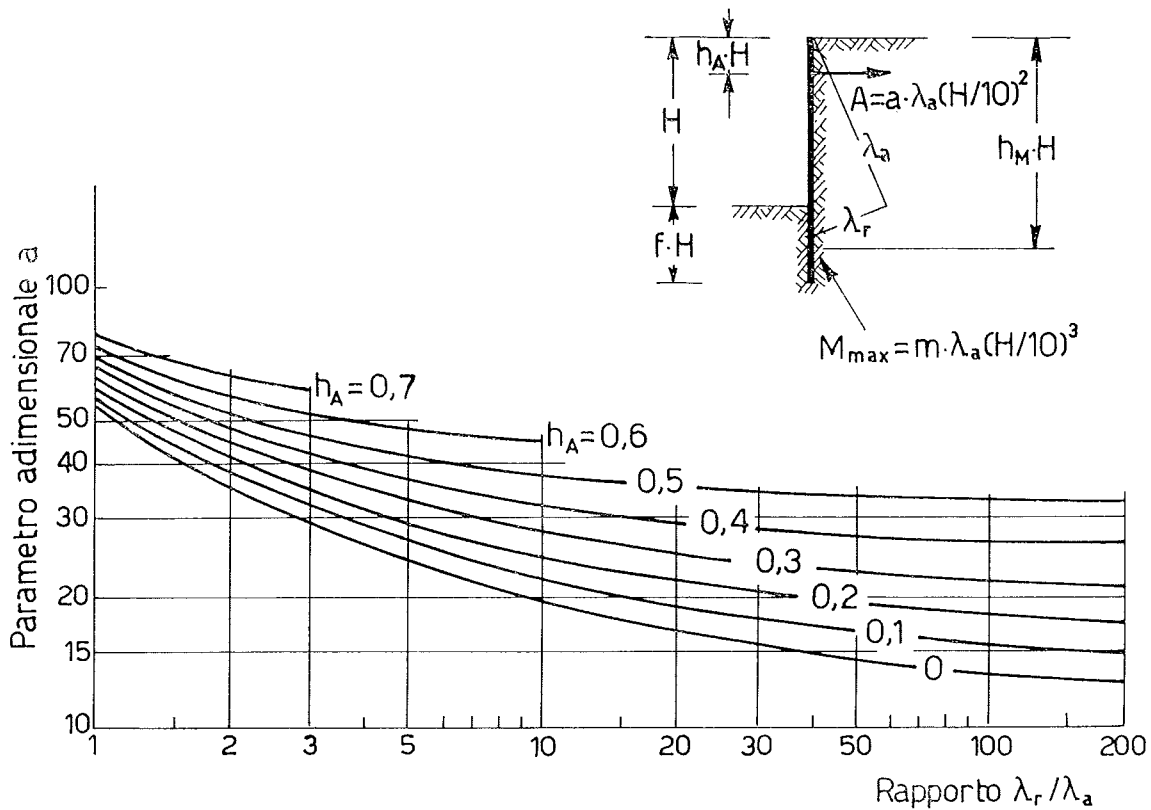


Fig. 7. - Curve del parametro adimensionale a per il calcolo di diaframmi incastrati al piede e muniti di un ancoraggio.

Il momento massimo che vale:

$$M_{\max} = m \cdot \lambda_a (H/10)^3 = 290 \cdot 0,66 \cdot (8/10)^3 = 98 \text{ tm/ml}$$

si verifica alla profondità:

$$H_m = h_M \cdot H = 1,32 \cdot 8 = 10,60 \text{ m.}$$

3.2. Diaframma con un ancoraggio (fig. 9).

Si considera lo stesso diaframma del caso precedente, ma munito di un ancoraggio posto a m 2,00 ($h_a \cdot H$) sotto il piano campagna.

Essendo ancora:

$$\lambda_r/\lambda_a = 16$$

e inoltre:

$$h_a = \frac{2}{8} = 0,25$$

si legge dalle figure 4, 5, 6, 7:

$$\begin{aligned} f &= 0,50 \\ m &= 48 \\ h_M &= 0,69 \\ a &= 24. \end{aligned}$$

Risulta pertanto necessaria una infissione

$$F = f H = 0,50 \cdot 8 = 4,00 \text{ m.}$$

Il momento massimo che vale:

$$M_{\max} = m \cdot \lambda_a (H/10)^3 = 48 \cdot 0,66 \cdot (8/10)^3 = 16,3 \text{ tm/ml}$$

si verifica alla profondità:

$$H_m = h_M \cdot H = 0,69 \cdot 8 = 5,52 \text{ m.}$$

La reazione in corrispondenza dell'ancoraggio vale:

$$A = a \cdot \lambda_a (H/10)^2 = 24 \cdot 0,66 (8/10)^2 = 10,2 \text{ t/ml.}$$

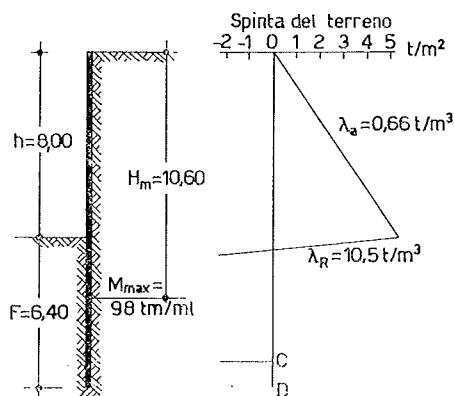


Fig. 8. - Diaframma a sbalzo - Esempio di calcolo.

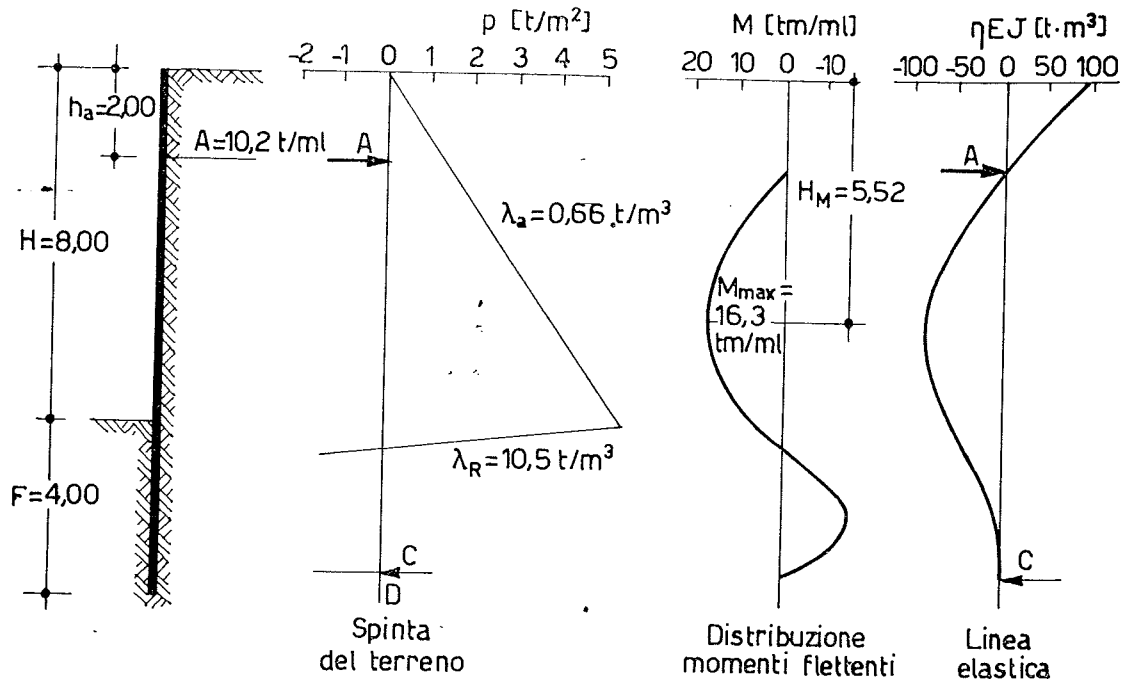


Fig. 9. - Diaframma con un ancoraggio - Esempio di calcolo.

Nella fig. 9 sono anche riportate la distribuzione dei momenti flettenti e la deformata del diaframma nel secondo esempio allo scopo di illustrare le ipotesi esposte al n. 3 riguardanti le condizioni di vincolo in C.

BIBLIOGRAFIA

- CAQUOT, A., KERISEL, J. (1948) - *Tables for the calculation of passive pressure, active pressure and bearing capacity of foundations*. Gauthier-Villars, Paris.
- GRUNDBAU TASCHNBUCH (1966) - Ernst und Sohn, Berlin.
- TERZAGHI, K. (1943) - *Theoretical soil mechanics*. Wiley, New York.

SUMMARY

Design graphs for free and anchored bulkheads.

The graphs of fig. 3 to 7 give adimensional coefficients for the calculation of the parameters necessary in the design of cantilevering or anchored diaphragms.

The graphs may be used in the case that the thrust and the resistance of the soil against the diaphragm have a triangular shape.

Numerical examples make clear the use of the graphs in practice.