PROGETTARE IL SERRAMENTO IN PVC

MARCO PIANA

I N D I C E

1) PARAMETRI DI PROGETTO

- MODULO ELASTICO
- MOMENTO DI INERZIA
- SOLLECITAZIONE UNITARIA
- RIGIDEZZA

2) IPOTESI DI CALCOLO

3) DIMENSIONAMENTO DELLE CERNIERE

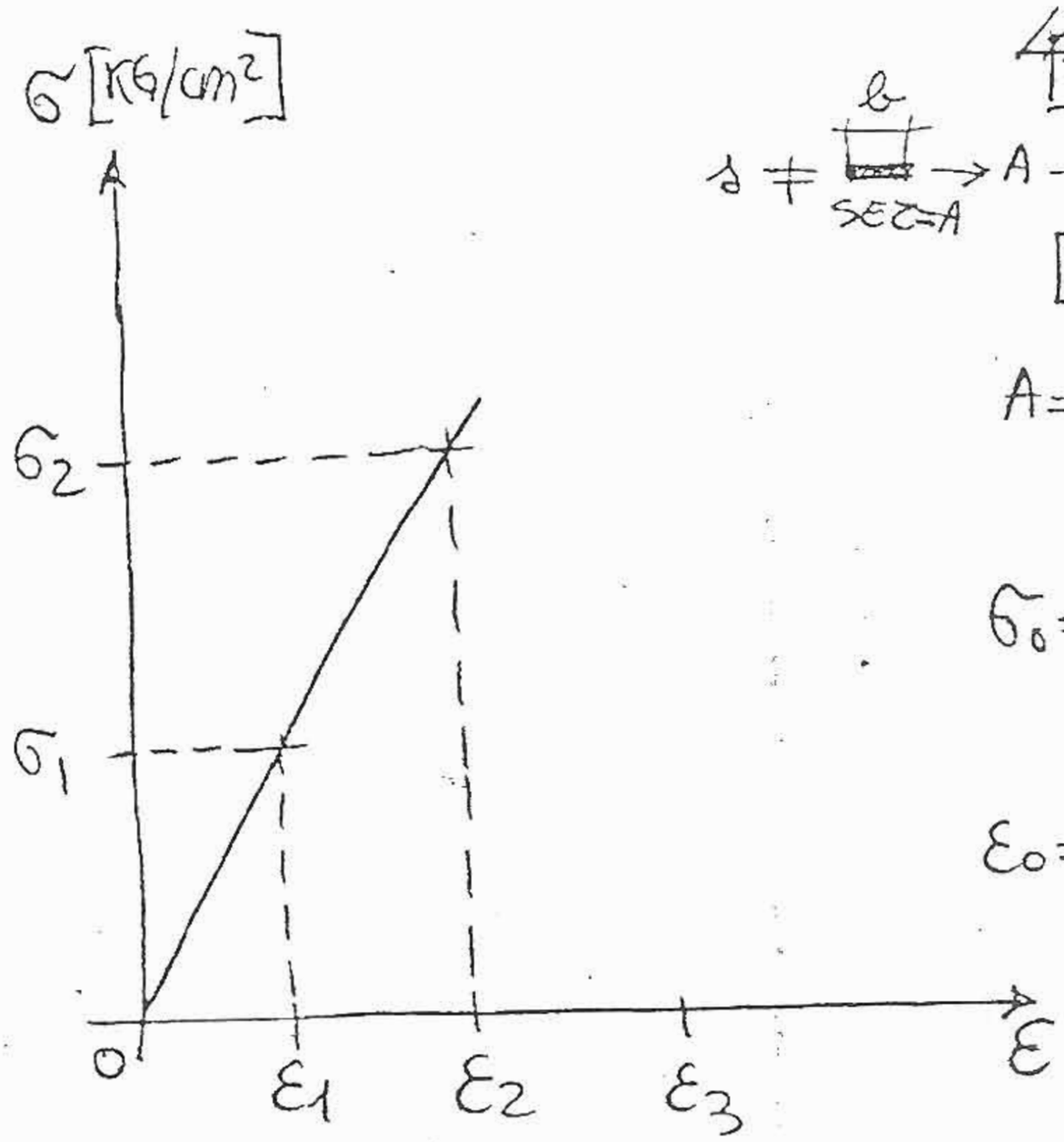
4) DILATAZIONI TERMICHE

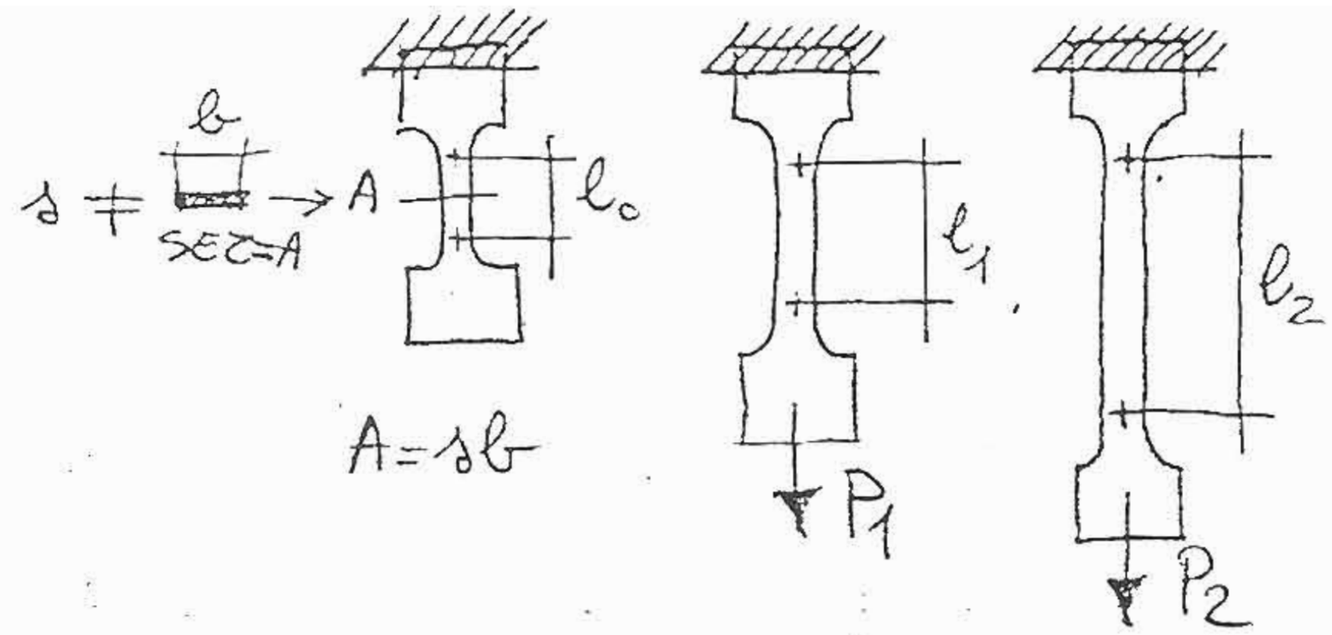
1) PARAMETRI DI PROGETTO

$\boxed{E}$ - MODULO ELASTICO

E' una caratteristica del materiale ed esprime il suo comportamento elastico quando viene sollecitato da forze di trazione o compressione.

Ogni materiale ha il suo modulo elastico.





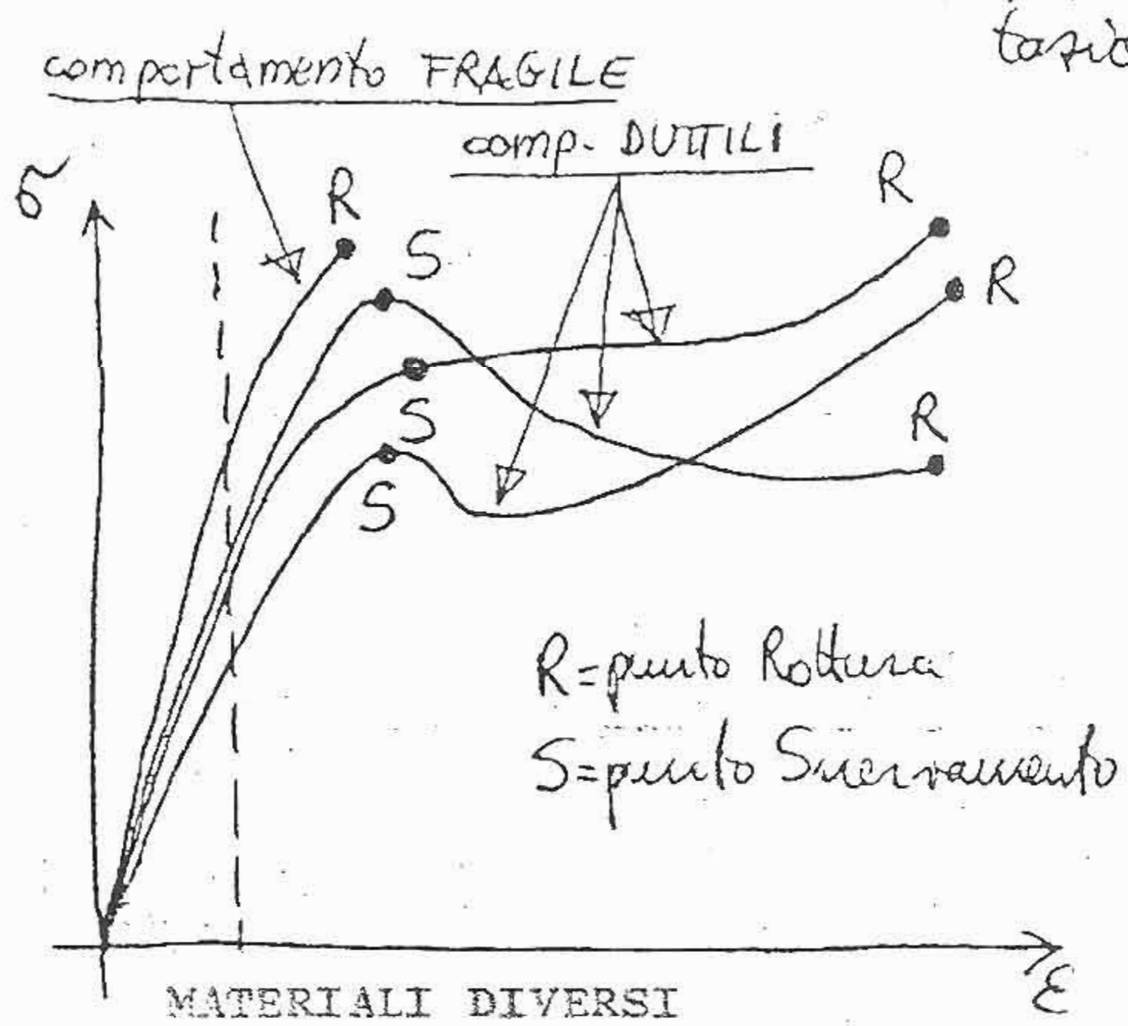
$A = s\,b$

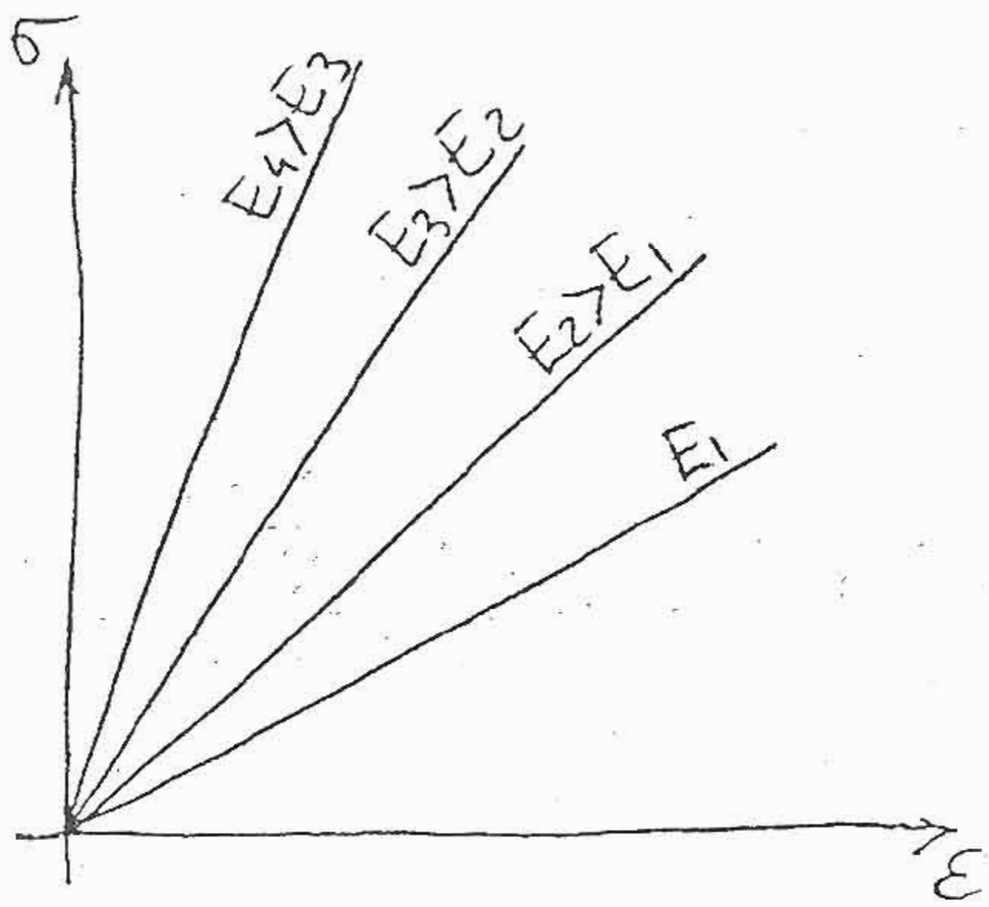
$\sigma_0 = 0 \qquad \sigma_1 = \frac{P_1}{A} \qquad \sigma_2 = \frac{P_2}{A}$ [KG/cm²]

$\varepsilon_0 = 0 \qquad \varepsilon_1 = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \qquad \varepsilon_2 = \frac{l_2 - l_0}{l_0}$

$$\frac{\sigma_1}{\varepsilon_1} = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2} = \frac{\sigma_3}{\varepsilon_3} = \dots\dots$$ costante per sollecitazioni base

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon}}$$

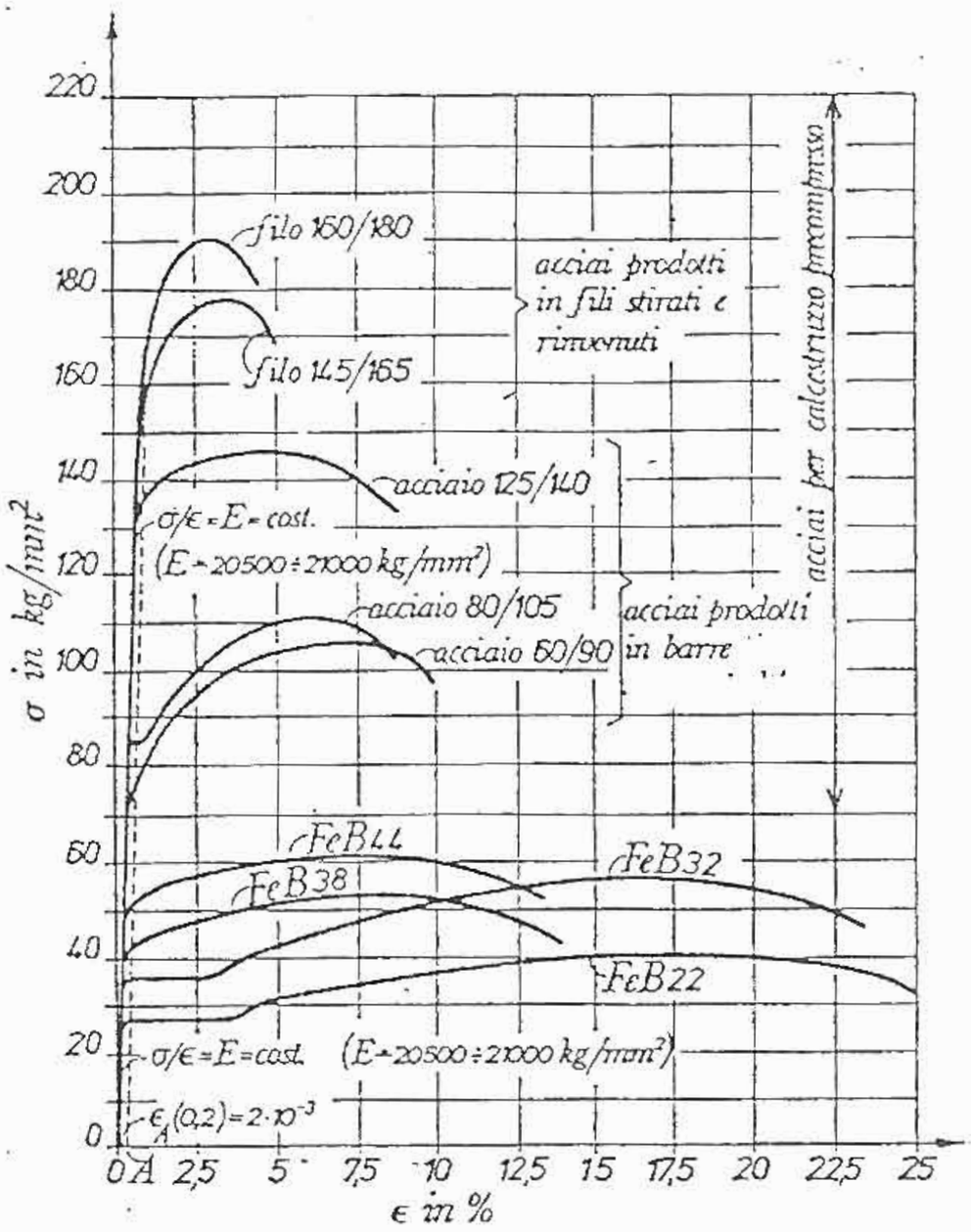


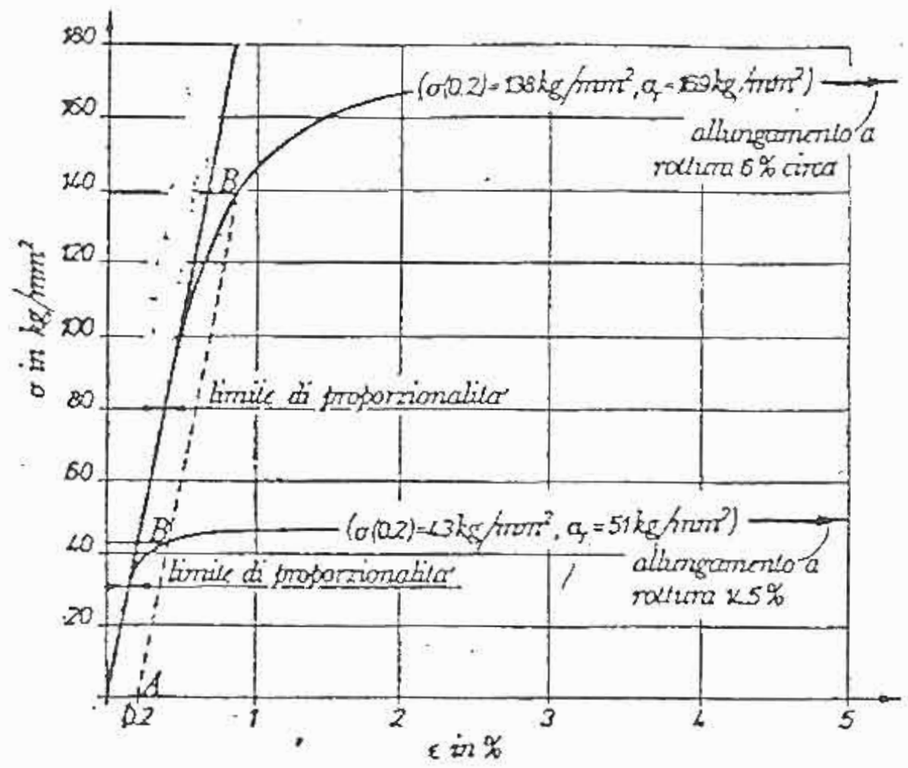


$$[KG/CM^2] = [KG/MM^2] \times 100$$

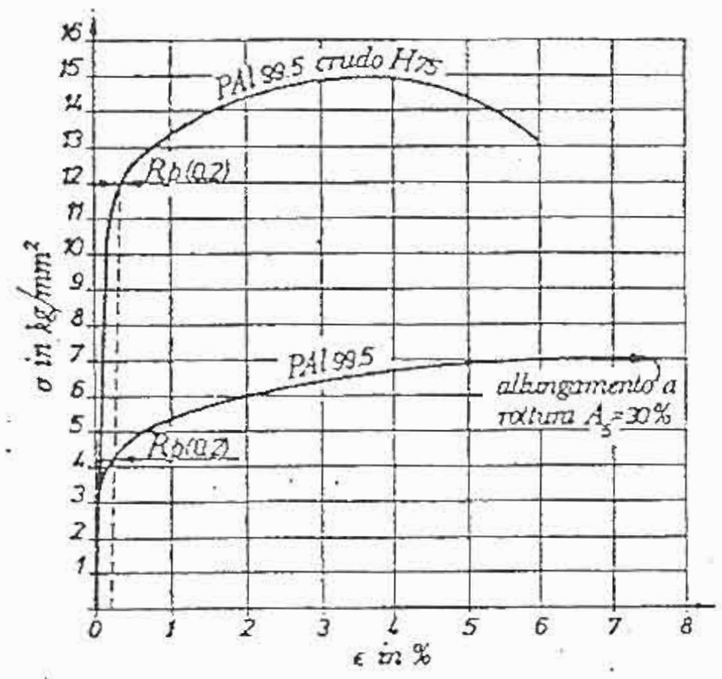
$$[KG/CM^2] = [N/MM^2] \times 10$$

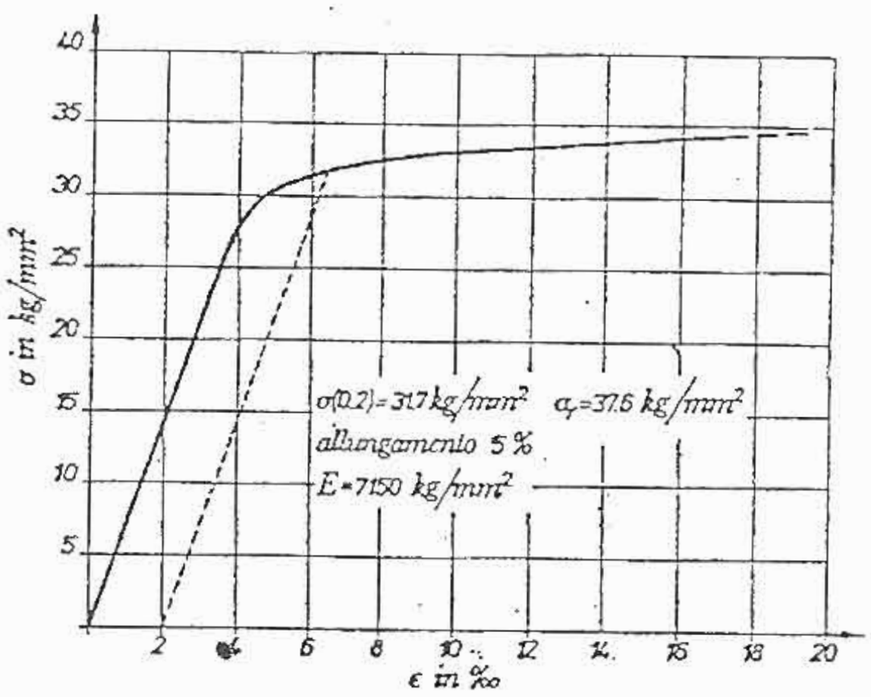
ACCIAI



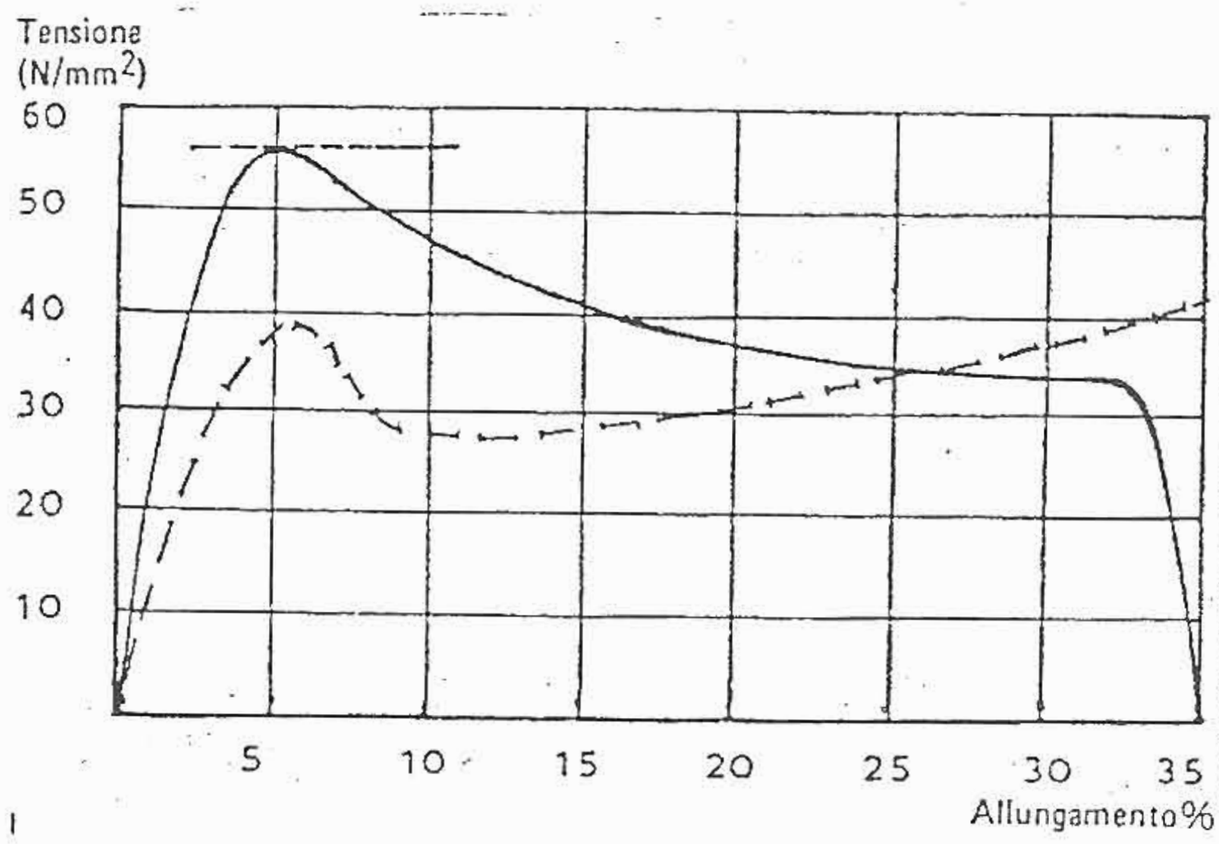


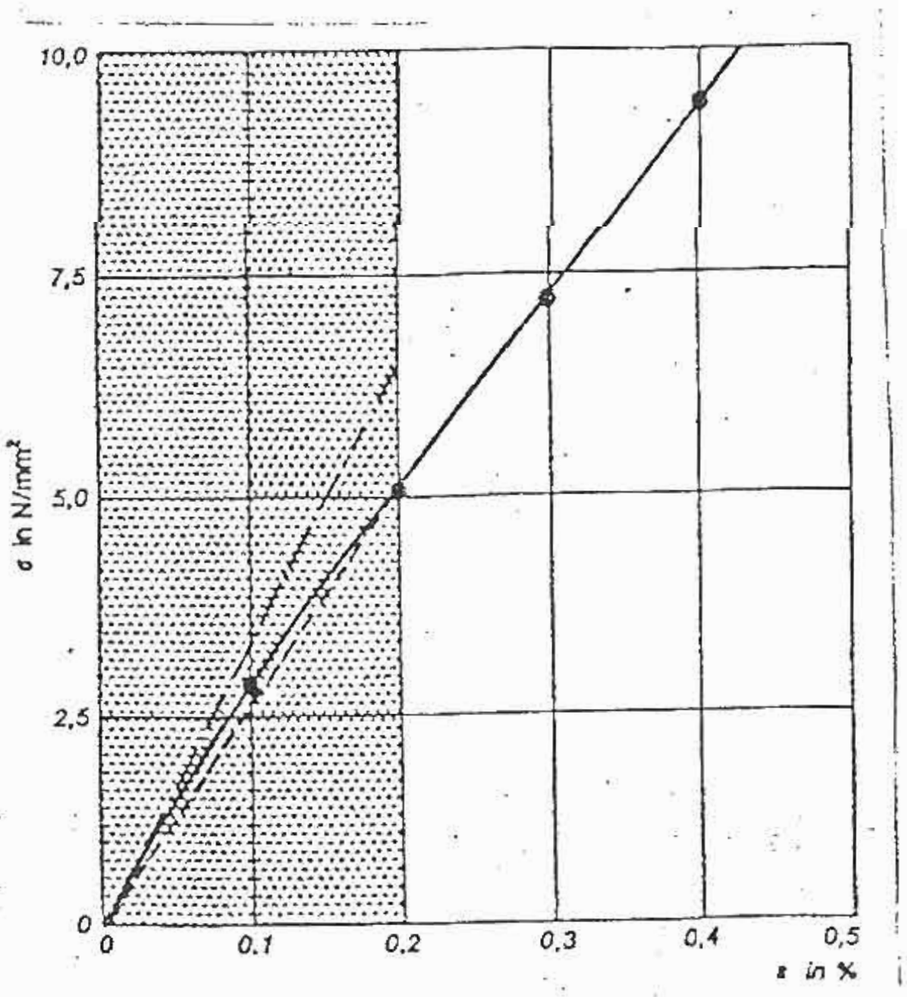
ALLUMINIO





P.V.C.





---- P.V.C. ANTIURTIZZATO

Il modulo elastico E è la sollecitazione [KG/cm²] che provocherebbe (in teoria) una deformazione pari al 100%.

Nessun materiale nella realtà resiste a sollecitazioni così elevate. Prima si raggiunge lo snervamento S, grandi deformazioni con carichi costanti o in diminuzione, a cui corrisponde una σ_S, poi si raggiunge la rottura R del provino a cui corrisponde una σ_R :

	SNERVAMENTO		ROTTURA	
	σ_S [KG/cm²]	E_S %	σ_R [KG/cm²]	E_R %
PVC ANTIURTIZZATO	380	5	430	160
PULTRUSO (comportam. fragile)	-	-	2500	0,5
ALLUMINIO DA CARPENTERIA	3100	0,2	3750	5
ACCIAIO DA CARPENTERIA	4300	0,2	5100	14

Le sollecitazioni ammissibili σ_{am} sono le massime che si accettano per motivi di sicurezza e si ottengono dividendo quelle di snervamento per opportuni coefficienti di sicurezza:

	σ_s	Coeff. sicur.	σ_{am} [KG/cm²]	ε_{am} %
PVC ANTIURTIZZATO	380	7	55	0,2
PULTRUSO	2500	5	500	0,1
ALLUMINIO DA CARPENTERIA	3100	3,5	900	-
ACCIAIO DA CARPENTERIA	4300	2,3	1900	-

I materiali duttili comunque si dimensionano più sovente sulla base delle deformazioni ammissibili piuttosto che sulla base delle sollecitazioni ammissibili σ_{am}.

Materiali utilizzati nei profili e nei rinforzi per infissi	Peso specifico: γ [KG/MC]		Modulo elastico: E [KG/cm²]	
PVC ANTIURTO	1400	1	28.000	1
LEGNO (ABETE)	800	0,57	100.000	3
PULTRUSO	1850	1,32	200.000	7
CALCESTRUZZO	2500	1,8	300.000	11
ALLUMINIO	2700	1,9	700.000	25
ACCIAIO	7850	5,6	2.100.000	75

$\boxed{J}$ - MOMENTO DI INERZIA

E' una caratteristica della forma geometrica della sezione di un profilo ed esprime il suo comportamento a flessione, qualunque sia il materiale che costituisce il profilo.

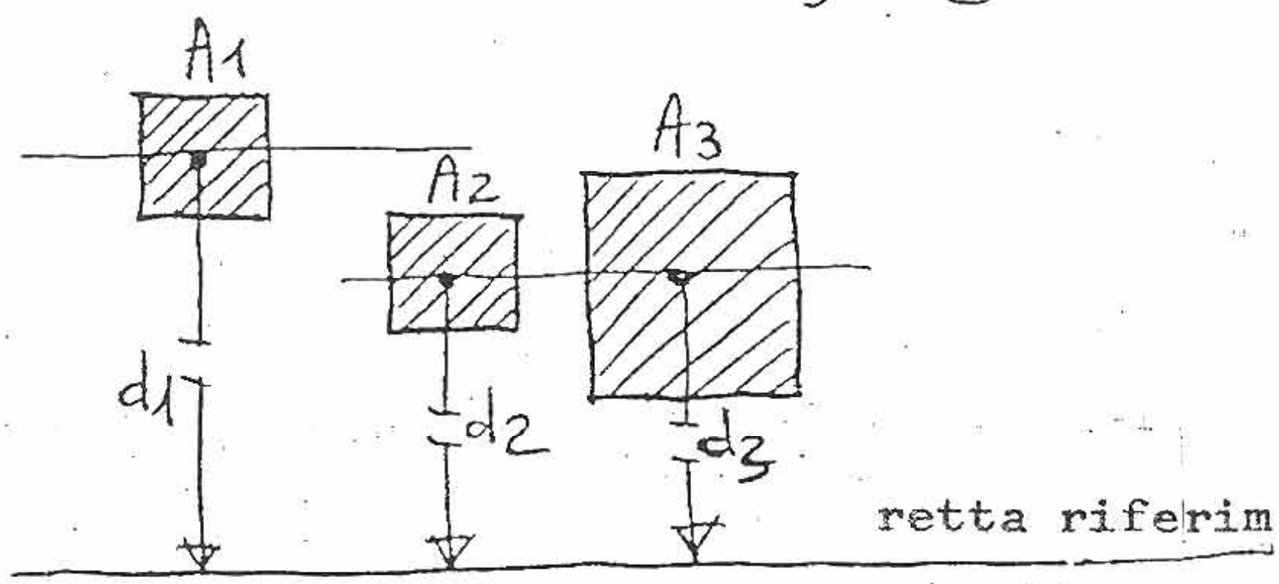
Esso si calcola sempre rispetto ad una linea di riferimento ed è il prodotto di una area (cm^2) per una distanza al quadrato (cm^2); infatti si misura in [cm^4]:

$A_1 = A_2 \qquad d_1 > d_2$

$d_2 = d_3 \qquad A_3 > A_2$

$J_1 > J_2$

$J_3 > J_2$

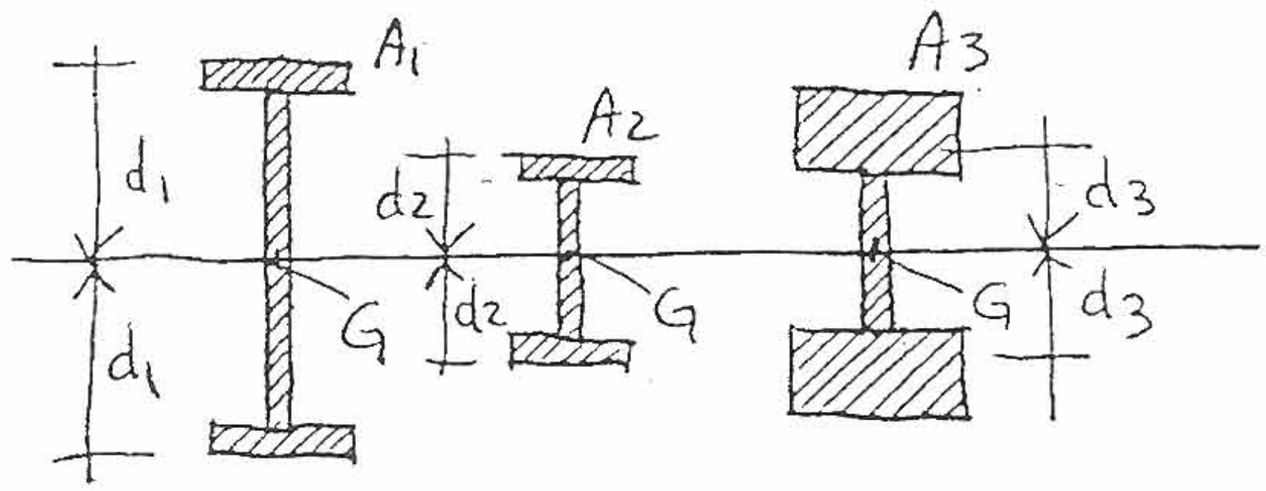


Nel caso di sezioni di profili il momento di inerzia J viene calcolato rispetto ad una retta che passa per il baricentro della sezione stessa:

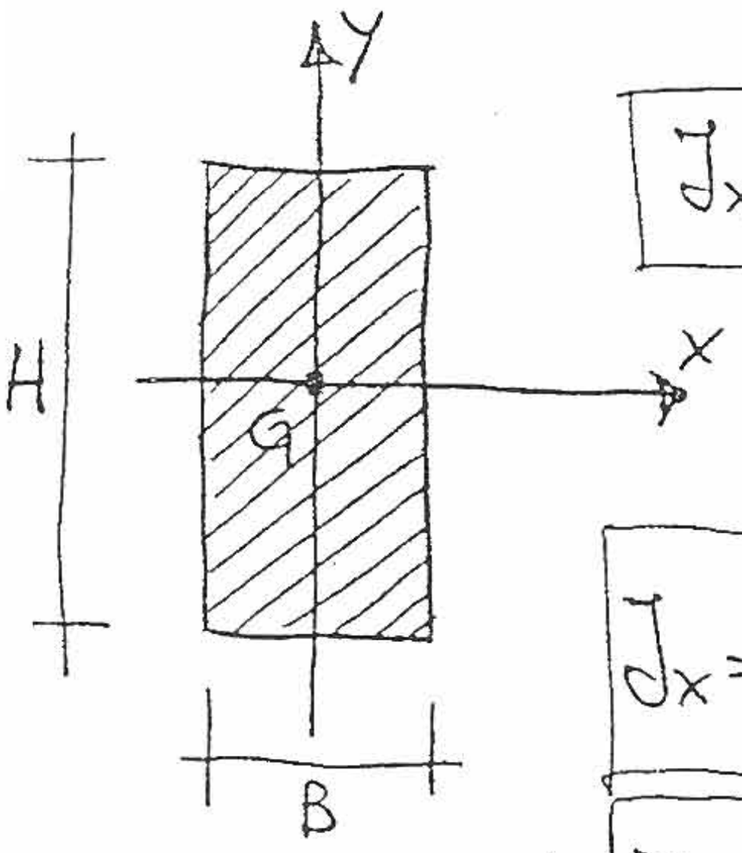
$J_1 > J_2$

$J_3 > J_2$

G = BARICENTRO



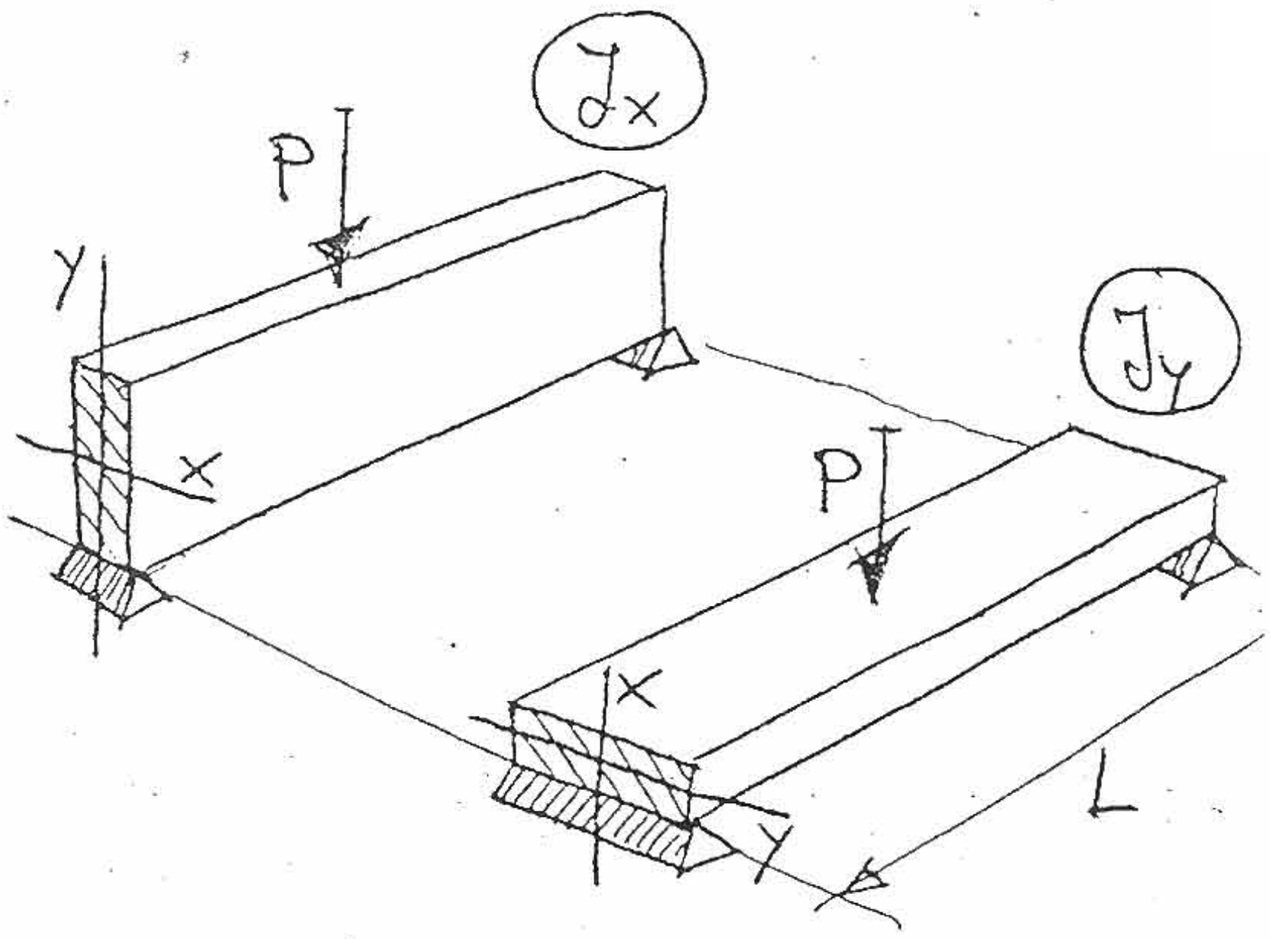
Solitamente i momenti di inerzia J che si calcolano sono due: uno rispetto alla retta X ed uno rispetto alla retta Y, che sono due rette tra di loro ortogonali (a 90°) che passano entrambe per il baricentro della sezione. Il momento di inerzia che quantifica la resistenza (dal punto di vista geometrico) di un profilo è quello calcolato rispetto alla retta baricentrica (X o Y) ortogonale alla direzione della sollecitazione.



$$J_x > J_y$$

$$J_x = \frac{BH^3}{12}$$

$$J_y = \frac{HB^3}{12}$$



STESSO MATERIALE

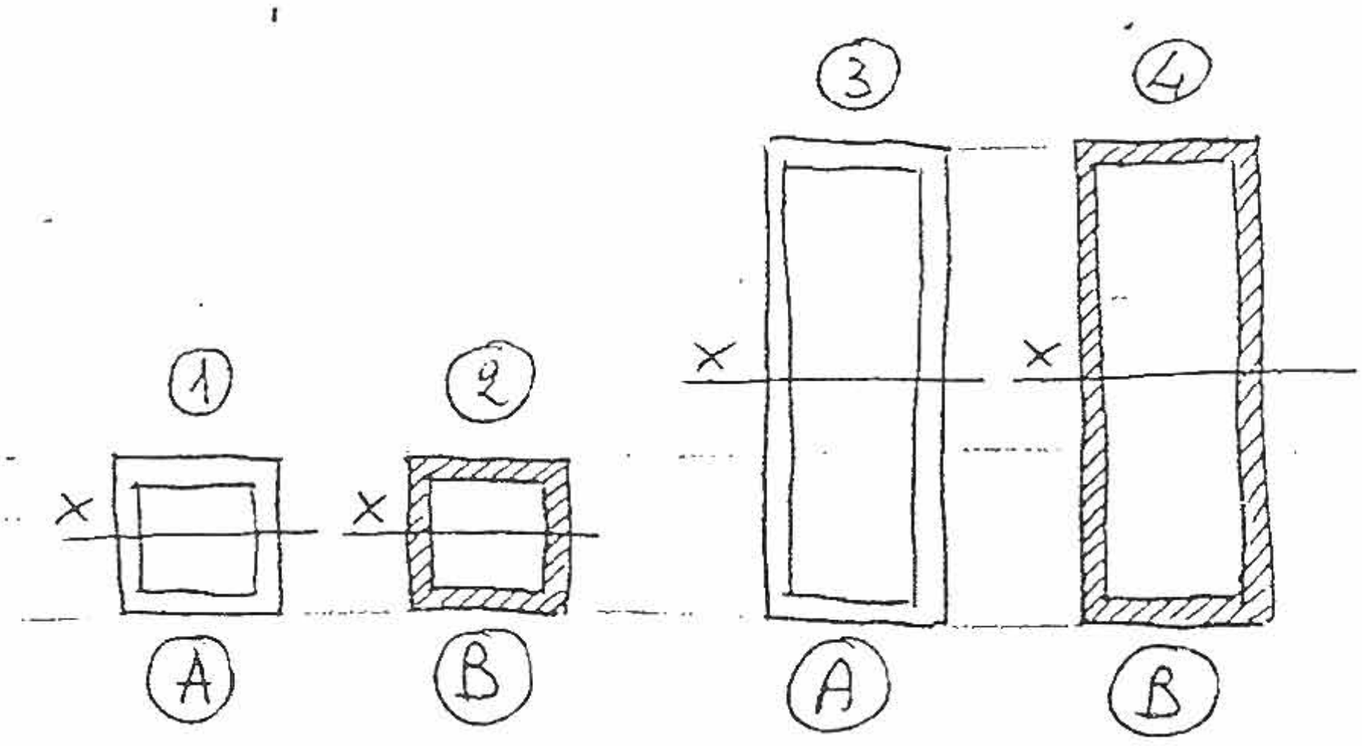
Il prodotto (EJ), modulo elastico E per il momento di inerzia J, identifica in assoluto la resistenza R del profilato:

(*) Es: $E_A = 200'000$

$E_B = 600'000$

$J_{1x} = 15 = J_{2x}$

$J_{3x} = 40 = J_{4x}$



$EJ =$ 3'000'000 9'000'000 8'000'000 24'000'000

$R_2 > R_3$

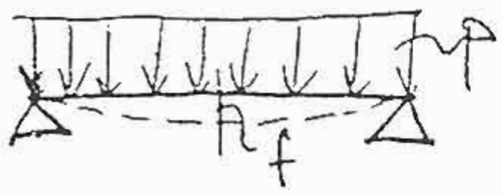
6 - SOLLECITAZIONE PER UNITA' DI SUPERFICIE DELLA SEZIONE

Si esprime in [KG/cm²] e vale, nel caso di profilo inflesso:

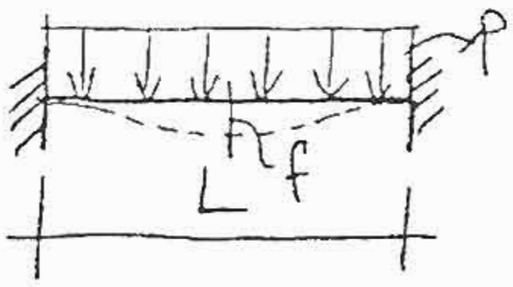
$$\boxed{\sigma = \frac{M}{W}} < \sigma_{am}$$

dove M è il momento flettente massimo

dove W è la rigidezza della sezione a flessione

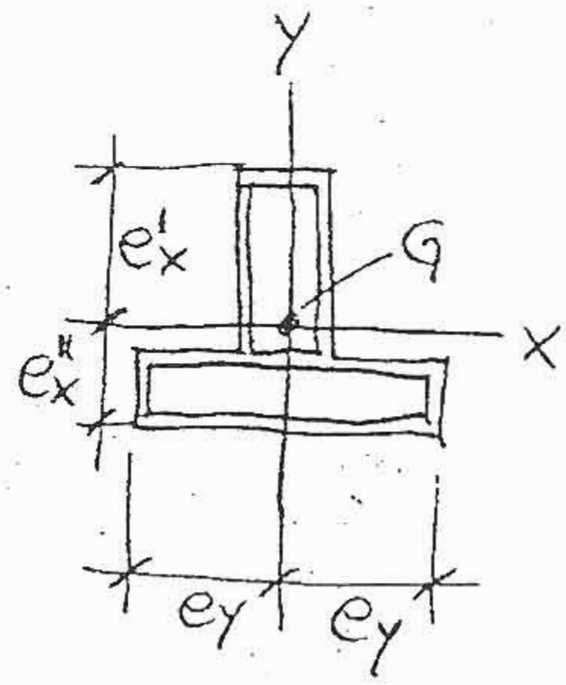


$$M = \frac{pL^2}{8} \qquad f = \frac{5}{384}\frac{pL^4}{EJ}$$



$$M = \frac{pL^2}{12} \qquad f = \frac{1}{384}\frac{pL^4}{EJ}$$

W - RIGIDEZZA ALLA FLESSIONE DELLA SEZIONE



$$W = \frac{J}{e}$$

dove e = max. fra e' ed e''

$$W_x = \frac{J_x}{e_x} \qquad W_y = \frac{J_y}{e_y}$$

2) IPOTESI DI CALCOLO

La sollecitazione che maggiormente preoccupa, nel caso di infissi esterni, è la spinta del vento, perpendicolare al piano delle ante.

L'infisso deve garantire che non vi siano infiltrazioni, di aria o di acqua, lungo il perimetro e che le eventuali inflessioni delle sue varie parti (in particolare il montante centrale di battuta, se si tratta di infisso a due ante) siano compatibili e sopportabili dai materiali che lo costituiscono.

Le ipotesi assunte pertanto sono due:

1) - Lungo il perimetro il numero delle cerniere, o dei punti di chiusura, deve essere tale che i movimenti tra l'anta mobile ed il telaio fisso (deformazioni sotto la spinta del vento) siano neutralizzabili dalla guarnizione ivi interposta. Poichè si ritiene che tutte le guarnizioni, usualmente adottate, siano in grado di sopportare uno spostamento massimo di un millimetro, senza pregiudicare la tenuta fra telaio mobile e telaio fisso, si è assunto tale valore come massimo assumibile. Il telaio fisso si ritiene vincolato in modo tale da potersi considerare infinitamente rigido.-

2) - Montanti fissi, montanti centrali di battuta, traversi, per i quali non esiste un problema di tenuta ma di resistenza meccanica, debbono deformarsi al massimo di una "freccia" tollerabile dal materiale più debole (vetro). Si è visto in più casi che è ammissibile una freccia massima pari a 1/300 della lunghezza del profilo (montante o traverso).-

DEFINIZIONI

Con riferimento alla figura (1) :

A = Larghezza dell'anta mobile maggiore o massima distanza fra i punti di chiusura in orizzontale (fra anta mobile e telaio fisso). [cm.]

B = Massima distanza fra le cerniere o punti di chiusura in verticale (fra anta mobile e telaio fisso). [cm.]

C = Distanza fra lo spigolo dell'anta e la cerniera (o punto di chiusura) più vicina ad esso in direzione verticale. [cm.]

h = Altezza del montante verticale. [cm.]

l = Lunghezza del traverso orizzontale. [cm.]

H = Altezza dell'infisso. [cm.]

L = Larghezza dell'infisso. [cm.]

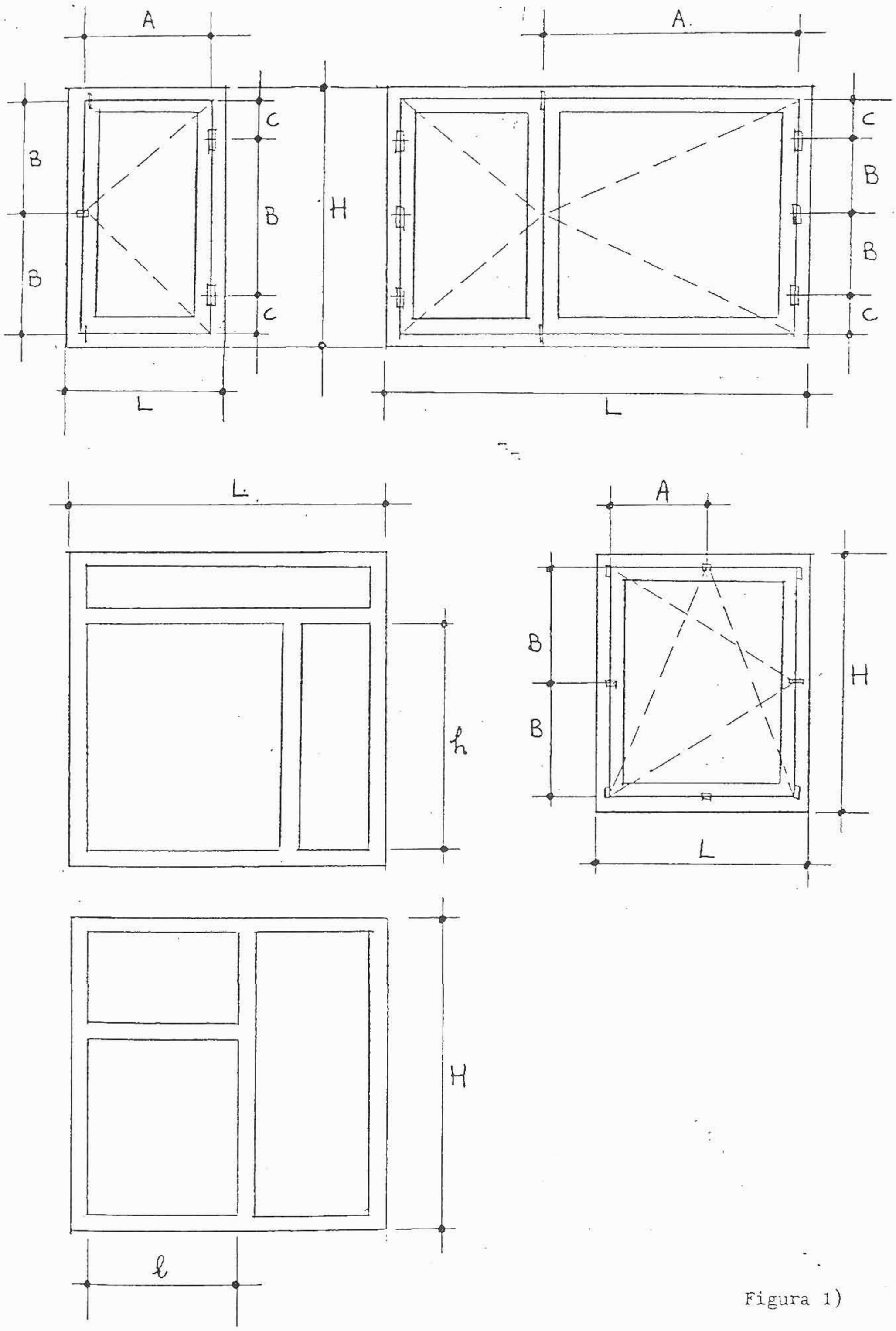


Figura 1)

q = Spinta del vento [KG/ML.]

V = Spinta del vento [KG/MQ.]

E = Modulo Elastico del materiale usato [KG/CM^2]

J = Momento di inerzia del profilo [CM^4]

f = deformazione (freccia) ammissibile [CM.]

Si ritengono validi tutti i postulati della "Scienza delle Costruzioni" e della "Tecnica delle Costruzioni".

RELAZIONI DI CALCOLO

(1) LUNGO I LATI VERTICALI (fig.2)

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q\,B^4}{E\,J} = \frac{q\,B^4}{E\,J} \cdot 0{,}013$$

ponendo : $f_{amm} \leqslant 1$ mm = 0,1 cm.

essendo : $q = V\,[KG/CM^2] \cdot \left(\frac{A}{2}\right)$ [CM]

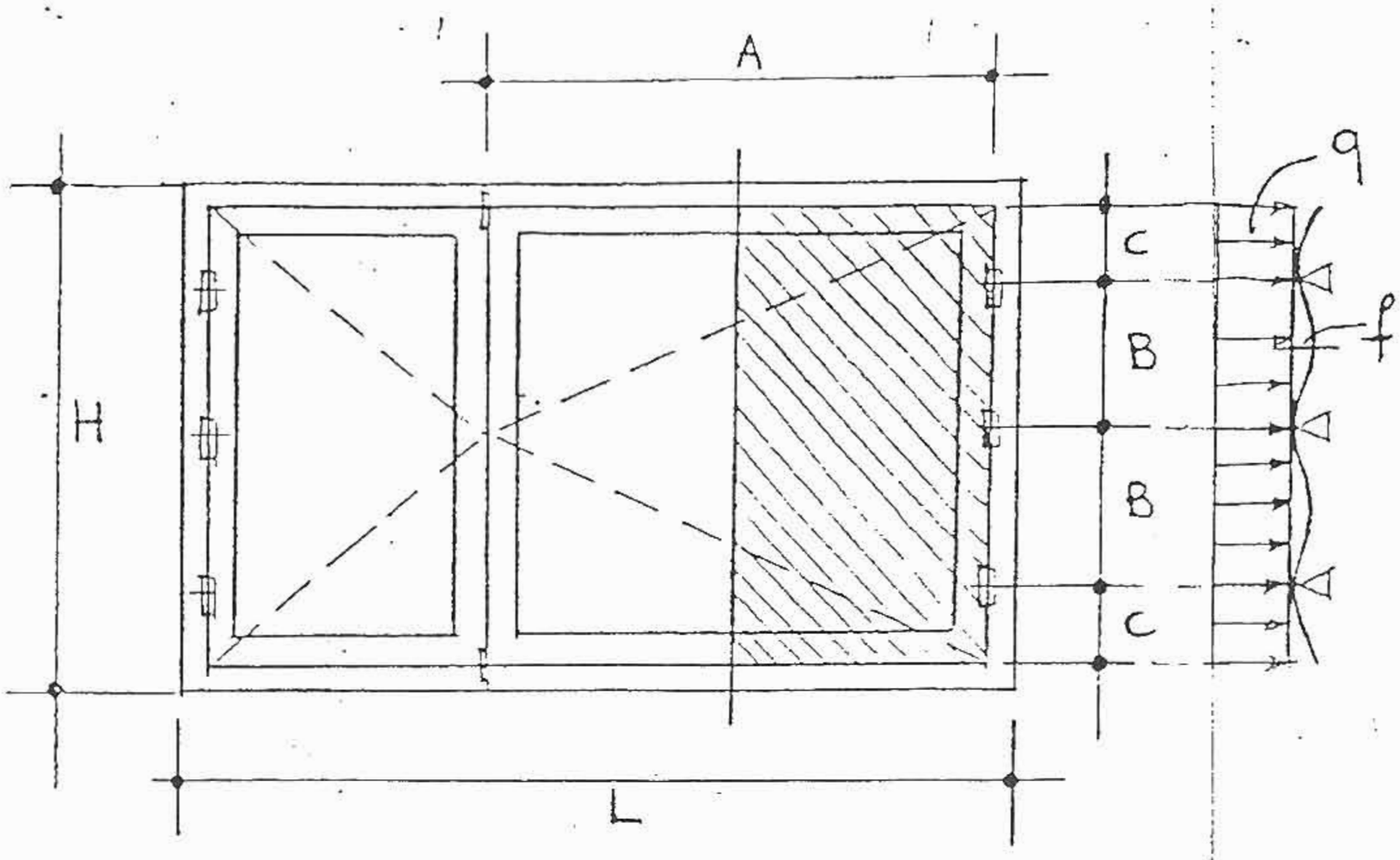
$q = \frac{V\,[KG/MQ]}{10.000} \cdot \left(\frac{A}{2}\right)$ [CM]

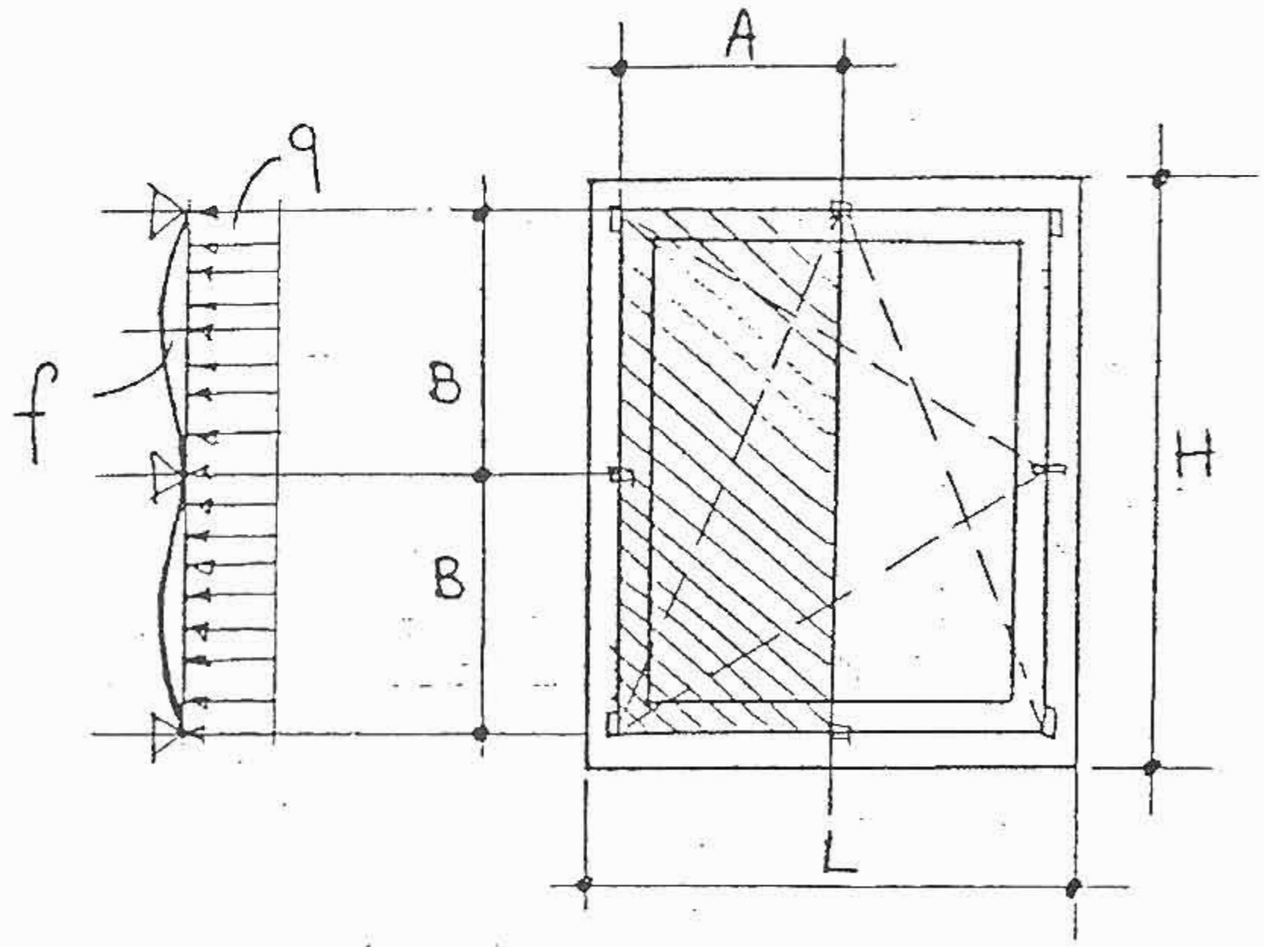
$$EJ \geqslant 0{,}13\ q\,B^4$$

$$EJ \geqslant \frac{0{,}13\ B^4}{10.000}\ \frac{AV}{2}$$

$$EJ \geqslant \frac{B^4}{160.000}\ AV$$

(1) $$\boxed{EJ \geqslant \left(\frac{B}{20}\right)^4 AV}$$ oppure $$\boxed{B \leqslant 20\ \sqrt[4]{\frac{EJ}{AV}}}$$





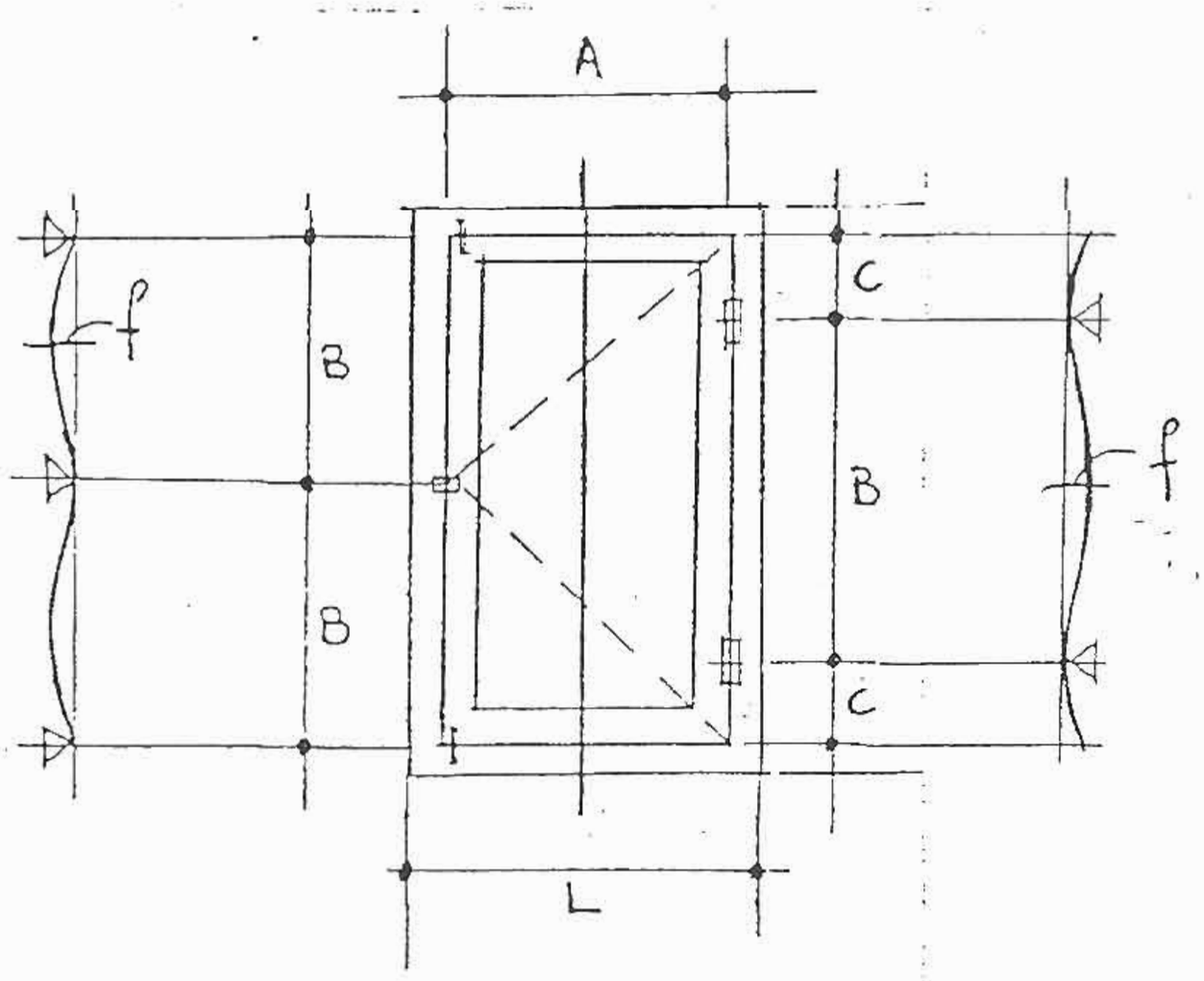


Figura 2)

(2) DISTANZA DALLO SPIGOLO (Fig.3)

$$f = \frac{1}{8} \cdot \frac{q\ C^4}{E\ J}.$$

Solo per questo caso imponiamo un vincolo più rigido:

$f_{amm} \leqslant 0{,}02$ CM.

essendo $q = \frac{V\ A}{2}$ [KG/MQ][CM.]

$$E\ J \geqslant \frac{1}{8}\ \frac{C^4}{20.000} \cdot \frac{A\ V}{0{,}02}$$

$$E\ J \geqslant \frac{C^4}{3200} \cdot A\ V$$

(2) $$\boxed{E\ J \geqslant \left(\frac{C}{7}\right)^4 A\ V}$$ oppure $$\boxed{C \leqslant 7 \sqrt[4]{\frac{E\ J}{A\ V}}}$$

(3) LUNGO I LATI ORIZZONTALI (Fig.4) Carico Triangolare

$$f = \frac{PA^4}{120} \cdot \frac{1}{E\ J}$$

$$E\ J = \frac{PA^4}{12}$$

ponendo $f_{amm} \leqslant 1$ mm $= 0{,}1$ cm.

Essendo $P = V\ [KG/CM^2] \left(\frac{A}{2}\right)$ CM.

$P = \frac{V\ [KG/MQ]}{10.000} \left(\frac{A}{2}\right)$ CM.

$$E\ J \quad \frac{V}{10.000} \left(\frac{A}{2}\right) \left(\frac{A^4}{12}\right)$$

$$E\ J \quad \frac{A^5}{240.000} \cdot V$$

(3) $$\boxed{E\ J \geqslant \left(\frac{A}{12}\right)^5 V}$$ oppure $$\boxed{A \leqslant 12 \sqrt[5]{\frac{E\ J}{V}}}$$

(4) **ALTEZZA DELL'INFISSO A DUE ANTE** (fig.5) (Montante Mobile)

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{qH^4}{E\,J}$$ ponendo $f_{amm} \leqslant H/300$

$$E\,J \geqslant 3{,}9\ q\ H^3$$ essendo $q = \frac{V}{10.000} \left(\frac{L}{2}\right)$ KG/MQ CM

$$E\,J \geqslant \frac{H^3\ VL}{5200}$$

(4) $$\boxed{E\,J \geqslant \left(\frac{H}{17}\right)^3 VL}$$ oppure $$\boxed{H \leqslant 17 \sqrt[3]{\frac{E\,J}{V\,L}}}$$

(5) **MONTANTI - TRAVERSI FISSI**

Nel caso in cui invece si voglia determinare la massima lunghezza ammissibile di un montante o traverso fisso (controtelaio fisso) le considerazioni da farsi sono le stesse, tranne che essendo i vincoli alle estremità, anzichè delle cerniere, dei semi-incastri, si ha:

(5) $$\boxed{E\,J \geqslant \left(\frac{h}{23}\right)^3 V\,L}$$ oppure $$\boxed{h \leqslant 23 \sqrt[3]{\frac{E\,J}{V\,L}}}$$

(6) $$\boxed{E\,J \geqslant \left(\frac{l}{23}\right)^3 V\,H}$$ oppure $$\boxed{l \leqslant 23 \sqrt[3]{\frac{E\,J}{V\,H}}}$$

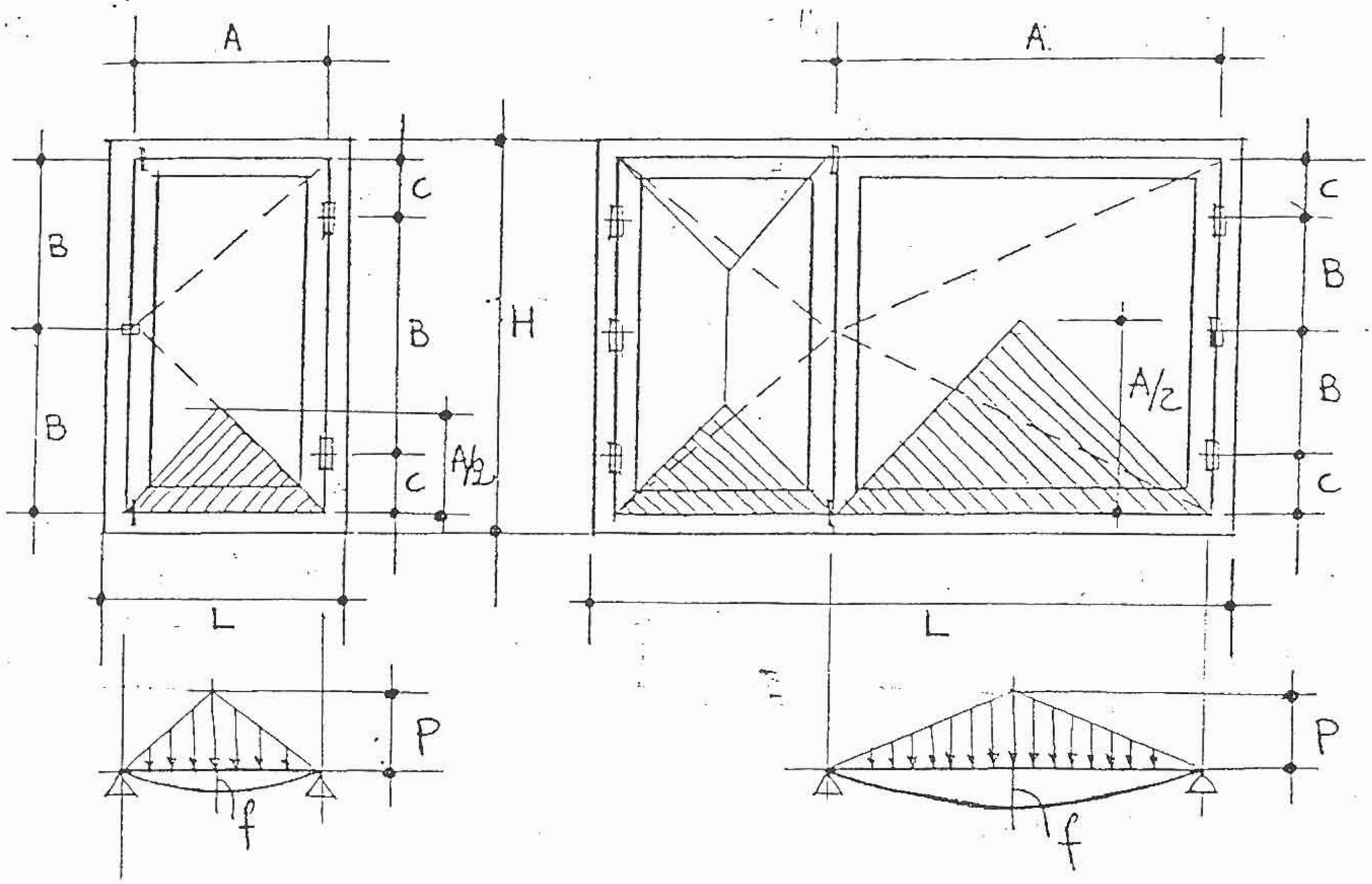


Figura 4)

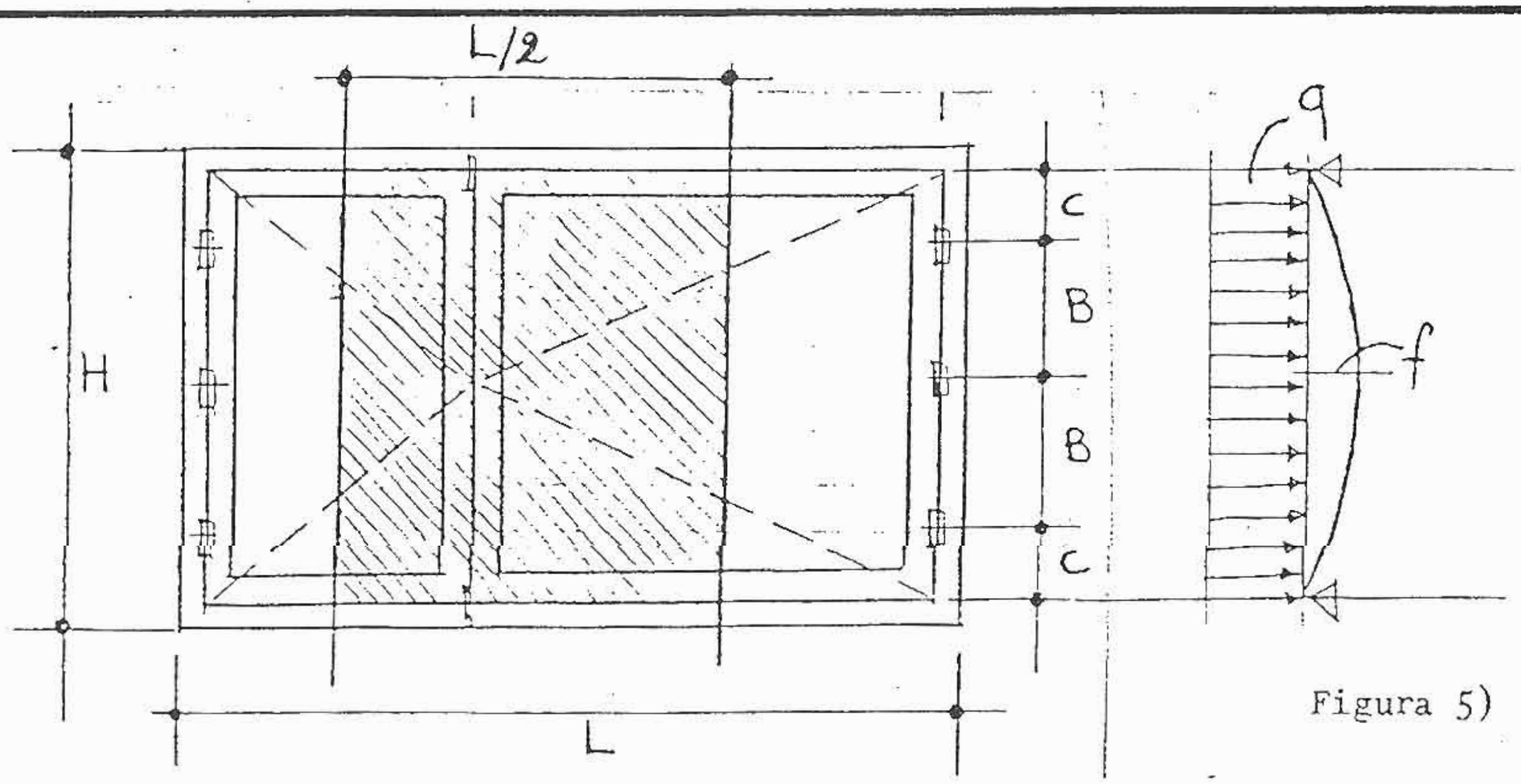


Figura 5)

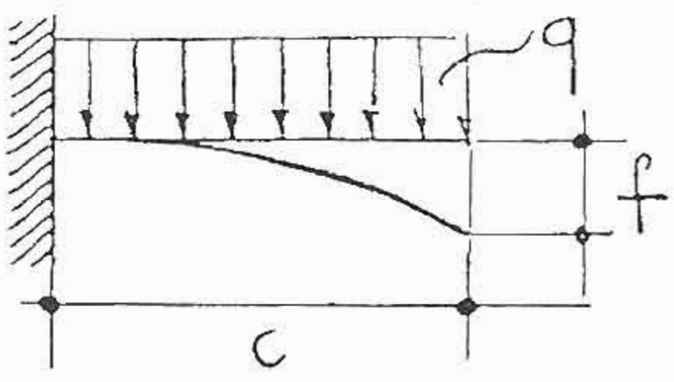


Figura 3)

CONCLUSIONI

Riassumendo in una unica tabella le uniche sei formule che servono si ha:

$E\,J \geqslant \left(\frac{A}{12}\right)^5 \cdot V$	Profilo del telaio mobile orizzontale
$E\,J \geqslant \left(\frac{B}{20}\right)^4 \cdot AV$	" " " " verticale
$E\,J \geqslant \left(\frac{C}{7}\right)^4 \cdot AV$	" " " " verticale
$E\,J \geqslant \left(\frac{H}{17}\right)^3 \cdot VL$	Montante del nodo centrale di battuta nei telai mobili
$E\,J \geqslant \left(\frac{h}{23}\right)^3 \cdot VL$	Montante fisso
$E\,J \geqslant \left(\frac{l}{23}\right)^3 \cdot VH$	Traverso fisso

Il prodotto EJ deve essere dichiarato dal fornitore degli infissi (nel caso in cui i materiali costituenti i profili fossero due o più di due, ad. es. Ferro + P.V.C., si sostituisce il prodotto EJ con $E_1 J_1 + E_2 J_2 + \ldots E_n J_n$).

Il valore di V deve essere fissato dal progettista in base all'ubicazione ed alla altezza dell'edificio, dopodichè tutte le altre dimensioni sono facilmente verificabili da chiunque (dal committente come dal capocantiere).-

Le formule stesse sono estremamente semplici ed è sufficiente l'uso di un qualunque calcolatore tascabile; sono inseribili in un capitolato prestazionale unitamente ad altri requisiti.

Si noti infine che la validità di tali formule non cambia al variare del materiale che si adotta (legno, alluminio, P.V.C., acciaio ecc.) nella realizzazione dell'infisso.-

Quello che cambia ovviamente è il Modulo Elastico "E" che dipende dal materiale ed il Momento di Inerzia "J" che dipende dalla geometria della sezione.-

Si riportano di seguito i valori indicativi del Modulo Elastico di alcuni materiali, abitualmente utilizzati nella realizzazione degli infissi:

P.V.C. antiurtizzato bianco	E	=	25.000	[KG/CM^2]
LEGNO (abete)	E	=	100.000	"
PULTRUSO	E	=	200.000	"
CALCESTRUZZO	E	=	300.000	"
ALLUMINIO	E	=	700.000	"
ACCIAIO	E	=	2100.000	"

Nel caso di infissi in P.V.C. è ovvio che il prodotto EJ da considerare nelle succitate formule è quello dei rinforzi in acciaio in essi opportunamente inseriti.

A tale proposito, si noti che le succitate formule possono essere agevolmente inserite, da parte dei produttori di serramenti in P.V.C., in qualunque programma gestibile da un Personal Computer, come immediata verifica dei rinforzi da inserire.

ESEMPIO:

Infisso a due ante in P.V.C.
Il montante centrale di battuta, ad ante chiuse, è costituito solitamente da tre profili (due "L" uguali ed uno diverso con sezione a "T" applicato per costituire la battuta) tutti rinforzabili con profili metallici.

Ipotesi:	V	=	120	[KG/MQ]
	L	=	190	[CM.]
	E Pvc	=	25.000	
	E Rinf.	=	2100.000	
	J Pvc	=	173	[CM.^{4}]
	J Rinf.T	=	4,74	"
	J Rinf.L	=	2,37	"

$$H\ max = 17 \sqrt[3]{\frac{E\ J}{V\ L}}$$

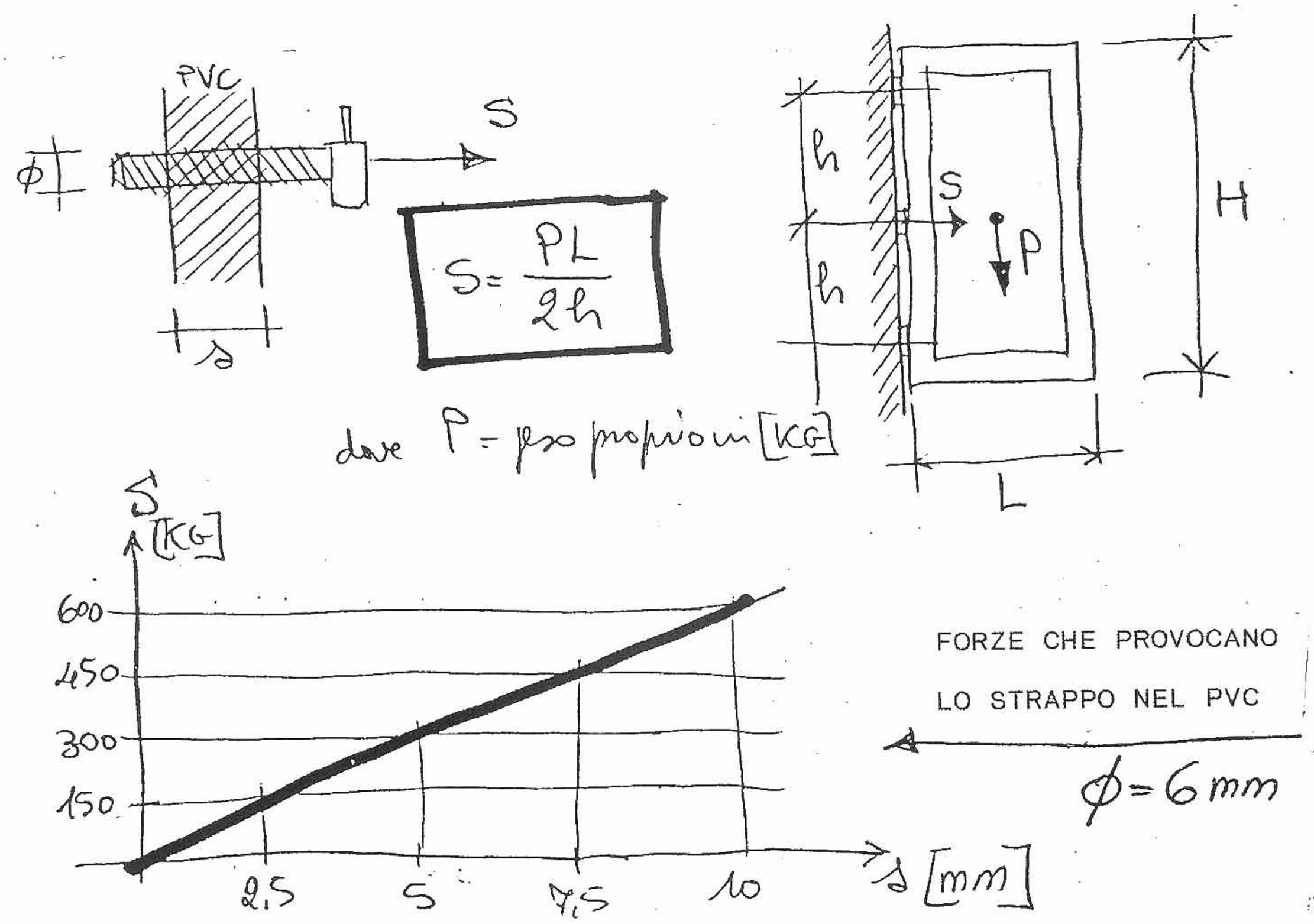
1)	Senza Rinforzi	:	H Max	=	99	[CM.]
2)	Rinforzando solo il prof. "T"	:	H Max	=	149	"
3)	" " anche un prof. "L"	:	H Max	=	164	"
4)	" " tutti i profili	:	H Max	=	177	"

3) <u>DIMENSIONAMENTO DELLE CERNIERE</u>

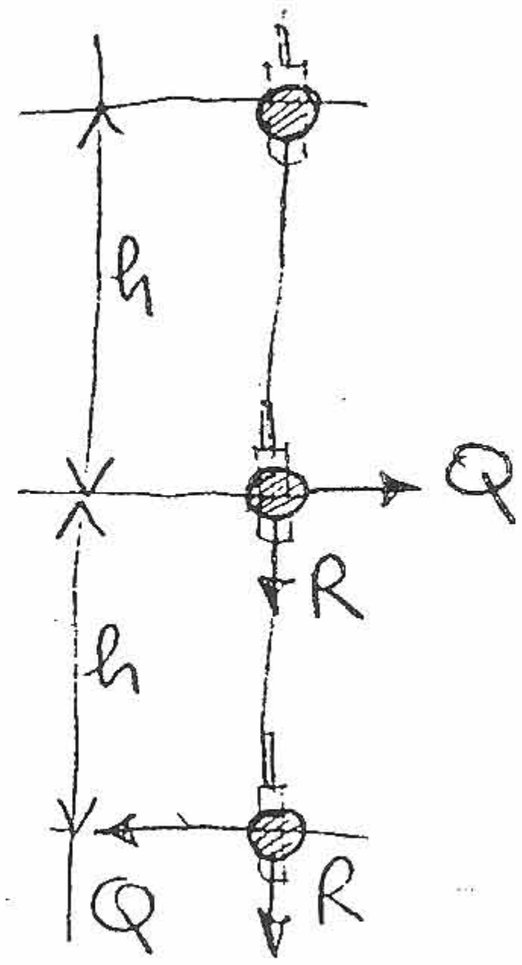
E' indispensabile che le cerniere vengano avvitate o su un profilo metallico oppure su almeno due ponti di PVC.

In questo ultimo caso le verifiche da fare, per ogni cerniera, sono due:

1 - STRAPPO



2 - SOLLECITAZIONI NEL PVC



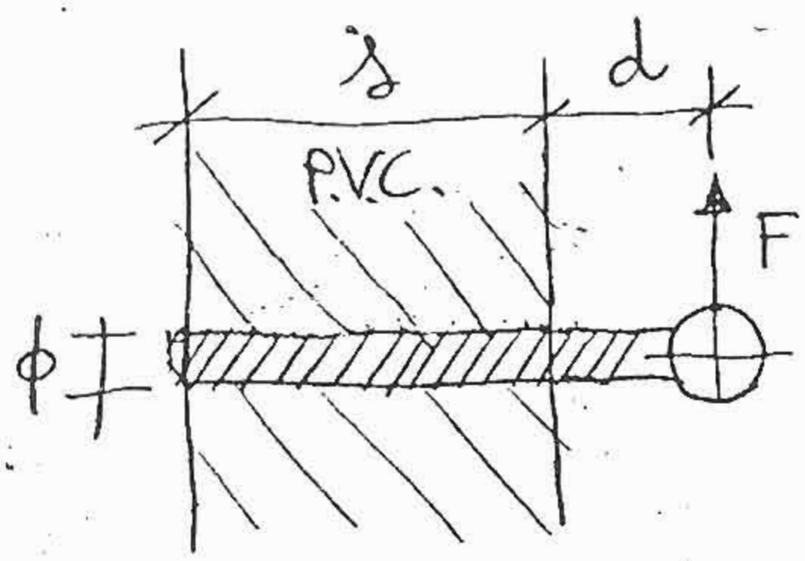
$$\boxed{Q = \frac{PL}{2h}}$$

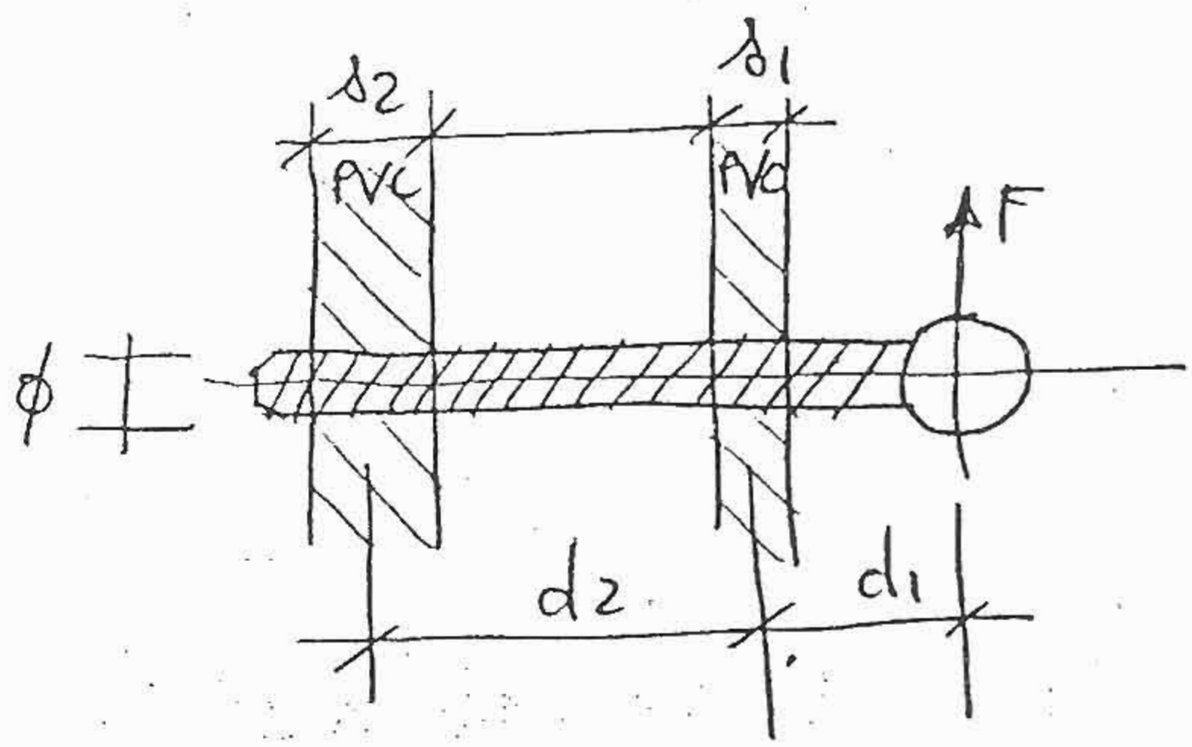
$$\boxed{R = \frac{P}{(n-1)}}$$

P = peso proprio

n = n° delle cerniere

Si considera la forza F = R + Q [KG] e si calcolano le sollecitazioni nel PVC con le seguenti formule:





$$\boxed{\sigma = \frac{3F}{\phi s^2}(s+d)}$$

$$\boxed{\sigma_1 = \frac{F}{s_1 \phi}\frac{(d_1+d_2)}{d_2}}$$

Occorre che in ogni caso sia:

$$\boxed{\sigma < \sigma_{s\ PVC}} = 380\,[KG/cm^2]$$

$$\boxed{\sigma_2 = \frac{F}{s_2 \phi}\frac{d_1}{(d_1+d_2)}}$$

dove F in [KG]
" d, s, ϕ in [cm]

(*) ESEMPIO: Finestra con vetro 4/6/4, L=80 cm, H=150 cm,
s=60 cm

$P = 30\ KG$

$$\left.\begin{aligned} S &= \frac{30 \cdot 0{,}8}{2 \cdot 0{,}6} = 20\ KG = Q \\ R &= 30/2 = 15\ KG \end{aligned}\right\} F = 35\ KG.$$

$$\sigma = \frac{3 \cdot 35}{0{,}6 \cdot 3^2}(3+0{,}5) = 68\ KG$$

Coefficiente di sicurezza $\frac{\sigma_s}{\sigma} = \frac{380}{68} = 6$ Accettabile data la eccezionalità delle ipotesi

4) DILATAZIONI TERMICHE

1 - La variazione di lunghezza di un profilo per variazione uniforme della temperatura dell'ambiente in cui è inserito è data dalla formula:

$$\boxed{\Delta L = \alpha L \Delta T}$$

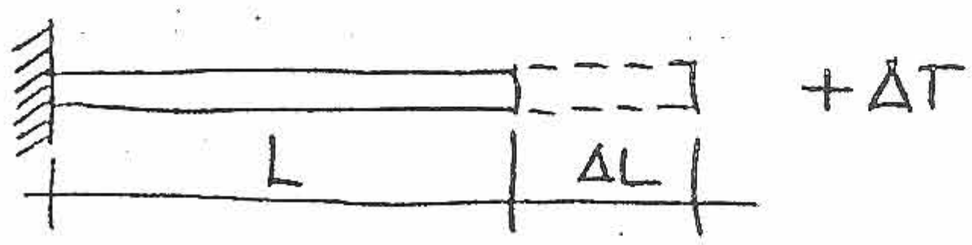
dove:

ΔL = variazione di lunghezza

L = lunghezza iniziale

ΔT = variazione di temperatura in °C

α = coefficiente di dilatazione lineare



	α	
LEGNO	0,000004	1
FERRO	0,000012	3
ALLUMINIO	0,000024	6
PULTRUSO	0,000010	2,5
PVC	0,000075	19

(*) ESEMPIO:
BARRA PVC, L=300 CM, ΔT=20°C —> ΔL=0,000075·300·20=0,42 CM

2 - Se invece si ha una variazione differenziata di temperatura fra interno ed esterno, si calcola l'inflessione del profilo con la seguente formula sperimentale:

$$\boxed{f = \frac{1}{2} \; \frac{\alpha \, \Delta T \, L^2}{8a}}$$

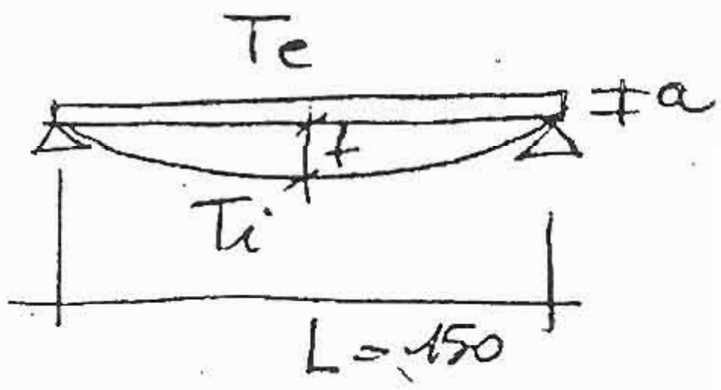
dove ΔT = differenza fra temperatura interna ed esterna

a = spessore del profilo

E' evidente che il solo PVC (non rinforzato) reagisce, rispetto agli altri materiali, in modo peggiore alle diverse temperature; tuttavia le deformazioni sono, in linea di massima accettabili. E' bene però ricorrere all'ausilio dei rinforzi.

(*) ESEMPIO: Ti = +20°C, Te = -10°C —> ΔT = 30°C–

$$f = \frac{1}{2} \; \frac{0{,}000075 \cdot 30 \cdot 150^2}{8 \cdot 6} = 0{,}5\,cm \leq \frac{L}{300}$$



NOTA:

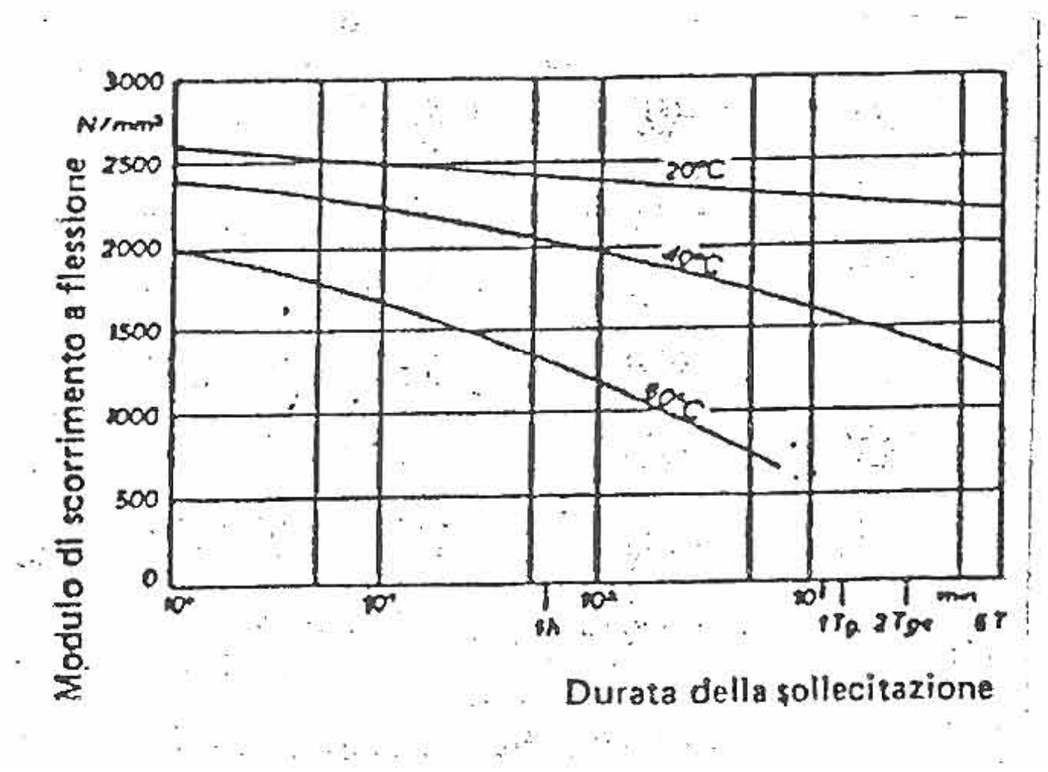
Tutte le formule riportate considerano il PVC di colore bianco sollecitato prevalentemente da spinte orizzontali come il vento (quindi di durata limitata) con modulo elastico

E = 25.000 ÷ 28.000 [KG/cm²].

Nel caso in cui si prevedano profili di colore scuro, nei quali la temperatura superficiale raggiunge temperature elevate, le predette formule valgono ancora con un modulo del PVC pari a

E = 18.000 ÷ 20.000 [KG/cm²].

Nel caso poi di sollecitazioni continuate nel tempo (come ad esempio le persiane sollecitate dal peso proprio) si registra anche una diminuzione ulteriore del valore del modulo elastico, secondo il diagramma riportato:



Quindi è bene considerare nelle formule già viste, nel caso di sollecitazioni che durano continuativamente per una giornata almeno, i seguenti valori di E:

E = 20.000 [KG/cm²] per PVC bianco

E = 17.000 [KG/cm²] per PVC colore chiaro

E = 7.000 [KG/cm²] per PVC colore scuro.

(su pc progett)