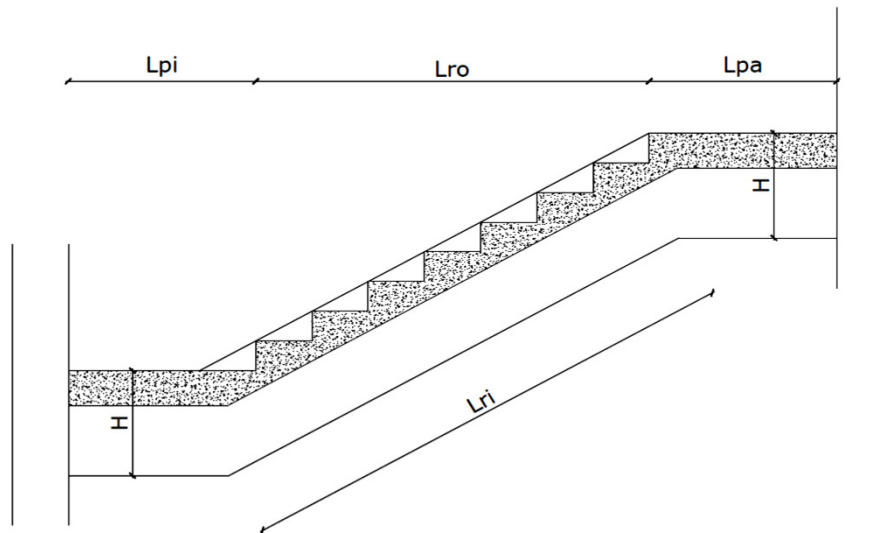


## CALCOLO AGLI S.L.U. DI SCALA CON TRAVE A GINOCCHIO E GRADINI A SBALZO

*Inserire descrizione. Es.: La scala sarà realizzata con trave sagomata a ginocchio e gradini a sbalzo. La rampa è costituita da pianerottolo di partenza e pianerottolo d'arrivo e da un n° 10 gradini che si sviluppano lungo la parte inclinata. ....*



### Caratteristiche dei materiali

Calcestruzzo C25/30 ▼

Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck} =$	<b>30,0</b> N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck} =$	24,9 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di progetto a compressione	$f_{cd} =$	14,1 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione semplice (assiale)	$f_{ctm} =$	2,56 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk} =$	1,79 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di progetto a trazione	$f_{ctd} =$	1,19 N/mm <sup>2</sup>
Tensione tangenziale di aderenza di calcolo acciaio - cls	$f_{bd} =$	2,69 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico del calcestruzzo	$E_{cm} =$	31447,16 N/mm <sup>2</sup>
Peso unitario del calcestruzzo armato	$\gamma_{cls} =$	25,0 KN/mc

Acciaio B450C ▼

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} =$	450,0 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	$f_{vd} =$	391,3 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico acciaio	$E_s =$	200000,0 N/mm <sup>2</sup>

### Caratteristiche geometriche

Alzata:	$a =$	0,17 m
Pedata:	$p =$	0,30 m
Peso unitario materiale pedata e pianerottoli (marmo, legno, etc.)		27,00 KN/mc
Spessore materiale pedata e pianerottoli (marmo, legno, etc.)		0,02 m
Peso unitario malta pedata e pianerottoli		14,00 KN/mc
Spessore malta pedata e pianerottoli		0,02 m
Peso unitario materiale alzata (marmo, legno, etc.)		27,00 KN/mc
Spessore materiale alzata (marmo, legno, etc.)		0,02 m
Peso unitario malta alzata		14,00 KN/mc
Spessore malta alzata		0,02 m
Peso unitario intonaco intradosso rampa e pianerottoli		14,00 KN/mc

Spessore intonaco intradosso rampa e pianerottoli		0,02 m
Peso distribuito ringhiera		0,60 KN/m
Numero gradini della rampa:	n =	10
Lunghezza rampa sul piano orizzontale:	Lro =	3,00 m
Lunghezza rampa inclinata	Lri =	3,45 m
Larghezza rampa:	Br =	1,20 m
Lunghezza pianerottolo di arrivo:	Lpa =	1,20 m
Lunghezza pianerottolo di partenza:	Lpi =	1,20 m
Larghezza pianerottoli:	Bp =	2,60 m
Spessore pianerottoli:		0,15 m
Fascia occupata all'intradosso da un gradino:	b =	0,34 m
Copriferro	c =	0,02 m
Spessore soletina:	s =	0,05 m
Angolo di inclinazione rampa:	$\alpha =$	29,54 °
Altezza della sezione della trave a ginocchio:	H =	0,60 m
Base della sezione della trave a ginocchio:	B =	0,30 m
Sovraccarico variabile distribuito verticale		4,00 KN/mq
Carico concentrato orizzontale agente alla distanza di m. 1,00	Pr =	1,50 KN

### CALCOLO DEL GRADINO

#### Analisi dei carichi

Peso proprio:	$G_{1k} =$	1,07 KN/m
Carico permanente:	$G_{2k} =$	1,08 KN/m
Sovraccarico accidentale:	$Q_{1k} =$	1,20 KN/m
Altri carichi distribuiti	$G_{3k} =$	0,00 KN/m

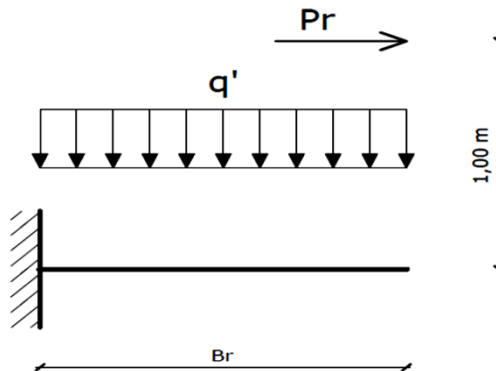
Carico distribuito agente sul gradino:

$$q_d = 1,3 G_{1k} + 1,5 (G_{2k} + G_{3k}) + 1,5 Q_{1k} = 4,81 \text{ KN/m}$$

$$q'_d = q_d \cos \alpha = 4,19 \text{ KN/m}$$

#### Sollecitazioni

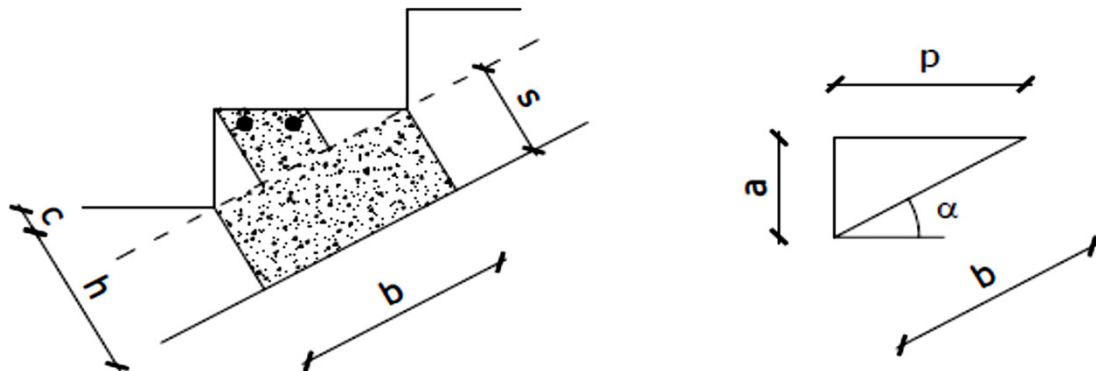
Per la determinazione del momento flettente e del taglio si considera uno schema rappresentato da una mensola incastrata all'estremità e soggetta al carico  $q'$  distribuito ed al carico orizzontale  $Pr$  della ringhiera agente ad una distanza di m. 1,00 dall'asse orizzontale della mensola.



Momento flettente all'incastro:	$M_i =$	4,51 KNm
Taglio:	$T_i =$	5,02 KN

## Armatura

Il calcolo dell'armatura del gradino viene fatto considerando il gradino e la soletta come una sezione a T.



dati:

b = larghezza ala sezione a T	0,34 ml.
s = spessore ala sezione a T	0,05 ml.
c = copriferro	0,02 ml.
h = altezza utile sezione a T	0,18 ml.

Armatura a flessione  $A_f = 0,72 \text{ cm}^2$

L'armatura longitudinale effettiva inferiore si rileva dalla seguente tabella in funzione dei diametri scelti:

	$\phi 10$	$\phi 12$	$\phi 14$	$\phi 16$	$\phi 18$	$\phi 20$
numero ferri	2	0	0	0	0	0

Totale  $A_{f,m,eff} = 1,57 \text{ cm}^2$

Si dispongono almeno due ferri del diametro scelto di cui uno sagomato a molla e l'altro a moncone.

## Verifica a taglio

$$k = 1 + (200/h)^{0,5} \leq 2,00$$

$$= 2,12$$

quindi  $k = 2,00$

$$v_{min} = 0,035 k^{1,5} f_{ck}^{0,5}$$

$$= 0,493984$$

$$\rho_l = A_f / (b h)$$

$$= 0,002559$$

quindi  $\rho_l = 0,002559$

$$\sigma_{cp} = N_{ed} / A_c$$

$$= 0 \text{ (in assenza di compressione)}$$

con  $N_{ed}$  sforzo di compressione e  $A_c$  armatura a compressione.

La resistenza al taglio si valuta con l'espressione:

$$V_{rd} = \max \{ [0,18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \sigma_{cp}] b_w h; (v_{min} + 0,15 \sigma_{cp}) b_w h \}$$

$$V_{rd} = 30,30 \text{ KN}$$

>

$$V_{ed} = 5,02 \text{ KN}$$

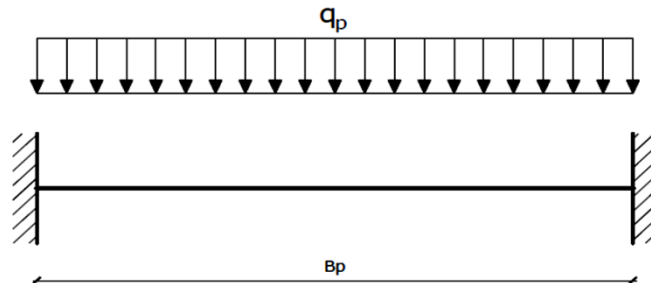
VERIFICATO

Si dispone inoltre un'armatura di ripartizione costituita da staffe  $\phi 8/\text{cm}$ . 20 sagomate in modo da realizzare un collegamento tra i gradini adiacenti.

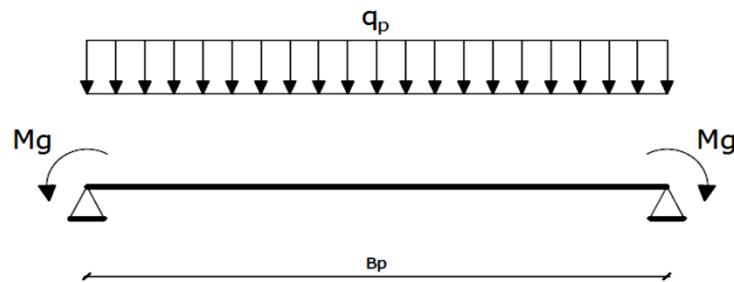
## CALCOLO DEL PIANEROTTOLO

Per il calcolo del pianerottolo si fanno le seguenti due ipotesi:

*Pianerottolo flessibile* (vincolo ad incastro con le travi a ginocchio):



*Pianerottolo rigido* (in grado di assorbire il momento torcente indotto dai gradini sulla trave a ginocchio):



Il calcolo del pianerottolo si conduce considerando gli schemi di trave sopra riportati, di larghezza unitaria:

### **Analisi dei carichi**

Peso proprio:	$G_{1k} =$	3,75 KN/m
Carico permanente:	$G_{2k} =$	1,10 KN/m
Sovraccarico accidentale:	$Q_{1k} =$	4,00 KN/m
Altri carichi distribuiti	$G_{3k} =$	0,00 KN/m

Carico distribuito agente sul pianerottolo:

$$q_p = 1,3 G_{1k} + 1,5 (G_{2k} + G_{3k}) + 1,5 Q_{1k} = 12,53 \text{ KN/m}$$

Momento flettente agente all'incastro (indotto dai gradini della rampa):

$$M_g = M_i n / L_{ro} = 15,05 \text{ KNm}$$

### **Sollecitazioni**

Momento flettente all'incastro del pianerottolo:	$M_{p1} =$	7,06 KNm
Momento flettente in mezzeria del pianerottolo:	$M_{p2} =$	19,12 KNm
Taglio massimo all'incastro del pianerottolo	$V_{ed} =$	16,28 KN

## Armatura

dati:

Altezza utile della sezione:  $h = 0,13 \text{ m}$ .  
Larghezza della sezione:  $b = 1,00 \text{ m}$ .

Sezione di mezzzeria:  $Af_m = M_{p2} / (0,9 h f_{yd}) = 4,18 \text{ cm}^2$

Sezione di incastro:  $Af_i = M_{p1} / (0,9 h f_{yd}) = 1,54 \text{ cm}^2$

L'armatura longitudinale effettiva inferiore si rileva dalla seguente tabella in funzione dei diametri scelti:

	$\phi 10$	$\phi 12$	$\phi 14$	$\phi 16$	$\phi 18$	$\phi 20$
numero ferri	0	0	3	0	0	0
lungh. ancor. (cm)	0	0	51	0	0	0

**Totale  $Af_{m,eff} = 4,62 \text{ cm}^2$**

L'armatura longitudinale effettiva superiore si rileva dalla seguente tabella in funzione dei diametri scelti:

	$\phi 10$	$\phi 12$	$\phi 14$	$\phi 16$	$\phi 18$	$\phi 20$
numero ferri	0	0	3	0	0	0
lungh. ancor. (cm)	0	0	51	0	0	0

**Totale  $Af_{i,eff} = 4,62 \text{ cm}^2$**

Si disporrà inoltre una rete elettrosaldata  $\phi 8/\text{cm}$ . 25x25 all'intradosso e all'estradosso.

## Verifica a taglio

$$k = 1 + (200/h)^{0,5} \leq 2,00$$

$$= 2,54 \quad \text{quindi } k = 2,00$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{1,5} f_{ck}^{0,5}$$

$$= 0,493984$$

$$\rho_l = Af / (b_w h)$$

$$= 0,003552 \quad \text{quindi } \rho_l = 0,003552$$

$b_w = 1,00 \text{ m}$ . (larghezza unitaria della sezione)

$$\sigma_{cp} = N_{ed} / A_c$$

$$= 0 \text{ (in assenza di compressione)}$$

con  $N_{ed}$  sforzo di compressione e  $A_c$  armatura a compressione.

La resistenza al taglio si valuta con l'espressione:

$$V_{rd} = \max \{ [0,18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \sigma_{cp}] b_w h; (v_{\min} + 0,15 \sigma_{cp}) b_w h \}$$

$$V_{rd} = 64,52 \text{ KN}$$

>

$$V_{ed} = 16,28 \text{ KN}$$

VERIFICATO

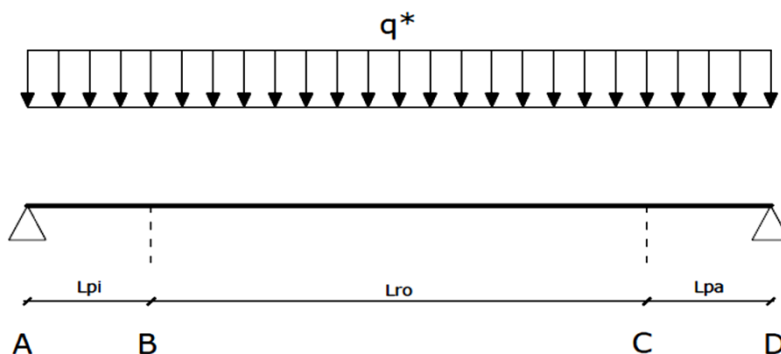
La trave a ginocchio è soggetta, oltre ai carichi verticali costituiti dal peso proprio, dall'azione dei pianerottoli e dalla presenza di eventuale muratura di tamponamento, anche al momento torcente indotto dai gradini a sbalzo da essa.

Si procede quindi prima al progetto a flessione e taglio e successivamente al progetto a torsione.

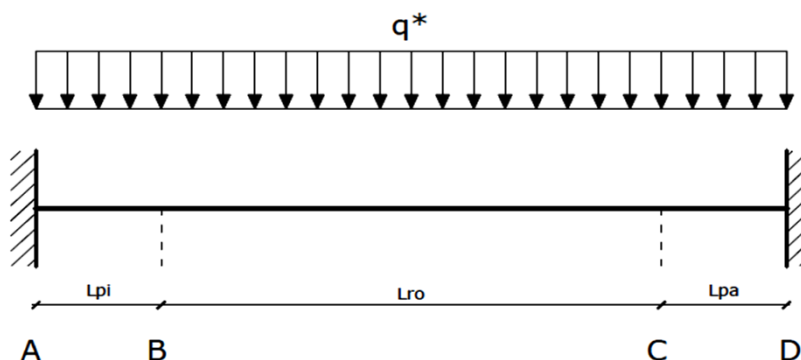
**Flessione e taglio**

Si fanno le seguenti due ipotesi:

*Trave appoggiata con momento ridotto in mezzera:*



*Trave incastrata:*



Il carico verticale  $q^*$  si assume uniformemente ripartito.

**Analisi dei carichi dovuti ai gradini della rampa**

Peso proprio trave a ginocchio:	$G_1 =$	4,50 KN/m
Carico permanente dovuto ai gradini:	$G_2 =$	16,75 KN/m
Altri carichi distribuiti	$G_3 =$	0,00 KN/m

Carico totale distribuito dovuto ai gradini:

$$q_r = 1,3 G_1 + G_{2k} + 1,5 G_3 = 22,60 \text{ KN/m}$$

**Analisi dei carichi dovuti ai pianerottoli**

Peso proprio trave a ginocchio:	$G_1 =$	4,50 KN/m
Carico permanente dovuto ai pianerottoli:	$G_2 =$	13,57 KN/m
Altri carichi distribuiti	$G_3 =$	0,00 KN/m

Carico totale distribuito dovuto ai pianerottoli:

$$q_p = 1,3 G_1 + G_{2k} + 1,5 G_3 = 19,42 \text{ KN/m}$$

Si assume un carico medio uniformemente distribuito dovuto alla rampa ed ai pianerottoli:

$$q^* = (q_r + q_p) / 2 = 21,01 \text{ KN/m}$$

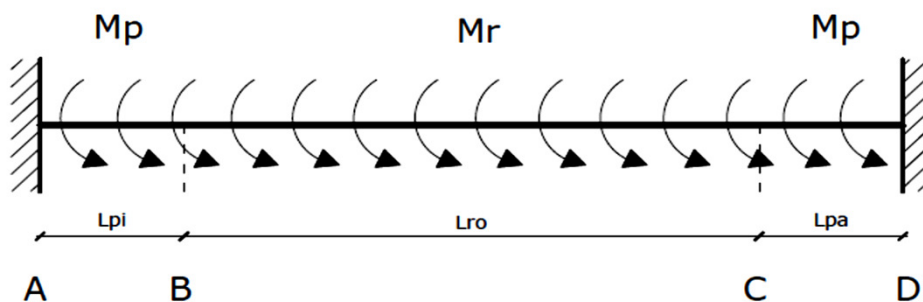
**Sollecitazioni di flessione e taglio dovute al carico  $q^*$**

Momento flettente all'incastro della trave:	$M_{tA} =$	51,05 KNm
Momento flettente in mezzeria della trave:	$M_{tm} =$	61,26 KNm
Taglio massimo all'incastro della trave	$V_{tdA} =$	56,72 KN
Taglio massimo all'estremità della rampa	$V_{tdC} = V_{tdB} =$	31,51 KN

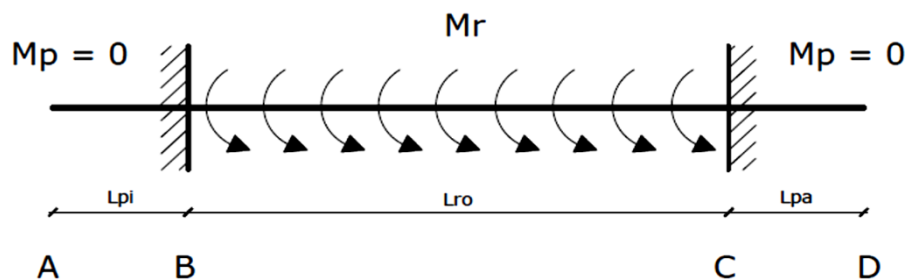
**Torsione**

Si fanno le seguenti due ipotesi:

*Trave rigida e pianerottoli flessibili*



*Pianerottoli rigidi e trave flessibile*



**Sollecitazioni di torsione dovute a  $M_p$  e  $M_r$**

Momento torcente distribuito dovuto ai gradini:	$M_r =$	15,05 KNm/ml
Momento torcente distribuito dovuto ai pianerottoli:	$M_p =$	7,06 KNm/ml
Momento torcente incastro pianerottolo di partenza (1° schema)	$M_{tA} =$	26,81 KNm
Momento torcente incastro pianerottolo di arrivo (1° schema)	$M_{tD} =$	26,81 KNm
Momento torcente max dovuto ai gradini (1° schema)	$M_{tB} = M_{tC} =$	22,57 KNm
Momento torcente incastro pianerottolo di partenza (2° schema)	$M_{tA} =$	0,00 KNm
Momento torcente incastro pianerottolo di arrivo (2° schema)	$M_{tD} =$	0,00 KNm
Momento torcente max dovuto ai gradini (2° schema)	$M_{tB} = M_{tC} =$	22,57 KNm

### Armatura a flessione

Sezione di mezzzeria:

$$A_{sm} = M_{l2} / (0,9 h_t f_{vd}) = 3,00 \text{ cm}^2$$

Sezione di incastro:

$$A_{si} = M_{t1} / (0,9 h_t f_{vd}) = 2,50 \text{ cm}^2$$

L'armatura longitudinale effettiva inferiore si rileva dalla seguente tabella in funzione dei diametri scelti:

	$\phi 10$	$\phi 12$	$\phi 14$	$\phi 16$	$\phi 18$	$\phi 20$
numero ferri	0	0	3	0	0	0
lungh. ancor. (cm)	0	0	51	0	0	0

$$\text{Totale } A_{sm,eff} = 4,62 \text{ cm}^2$$

L'armatura longitudinale effettiva superiore si rileva dalla seguente tabella in funzione dei diametri scelti:

	$\phi 10$	$\phi 12$	$\phi 14$	$\phi 16$	$\phi 18$	$\phi 20$
numero ferri	0	0	2	0	0	0
lungh. ancor. (cm)	0	0	51	0	0	0

$$\text{Totale } A_{si,eff} = 3,08 \text{ cm}^2$$

### Verifica dell'altezza della sezione della trave

dati:

Larghezza della sezione

$$B = 300 \text{ mm}$$

Altezza della sezione

$$H = 600 \text{ mm}$$

Copriferro

$$c = 20 \text{ mm}$$

Spessore della sezione efficace

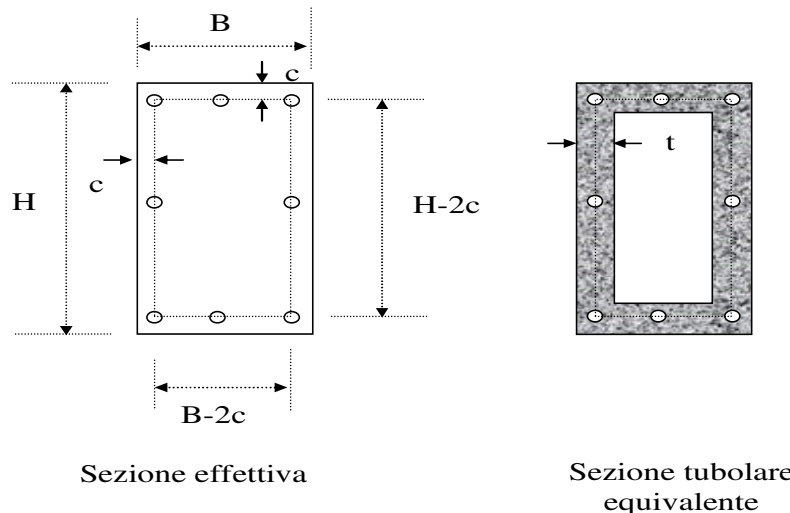
$$t = 43 \text{ mm}$$

Perimetro della sezione efficace

$$pe = 1627 \text{ mm}$$

Area della sezione efficace

$$Ae = 142878 \text{ mm}^2$$



Per verificare il comportamento a traliccio (bielle compresse) deve risultare:

$$(V_{td}/V_{Rcd}) + (M_t/T_{Rcd}) \leq 1$$

dove:

$V_{td}$  = valore di calcolo dello sforzo di taglio agente

$$= 56,72 \text{ KN}$$

$M_t$  = valore di calcolo del momento torcente agente (pianerottoli)

$$= 26,81 \text{ KNm}$$

$M_t$  = valore di calcolo del momento torcente agente (rampa)

$$= 22,57 \text{ KNm}$$



$V_{Rcd}$ = Resistenza di calcolo a taglio-compressione del cls d'anima per un'inclinazione delle bielle di $45^\circ$ ( $\cotg \theta=1$ )	=	552,41 KN
$T_{Rcd}$ = Resistenza di calcolo a torsione del calcestruzzo per un'inclinazione delle bielle di $45^\circ$ ( $\cotg \theta=1$ )	=	43,68 KNm
$V_{Rcd}$ = Resistenza di calcolo a taglio-compressione del cls d'anima per un'inclinazione delle bielle di $21,80^\circ$ ( $\cotg \theta=2,5$ )	=	441,93 KN
$T_{Rcd}$ = Resistenza di calcolo a torsione del calcestruzzo per un'inclinazione delle bielle di $21,80^\circ$ ( $\cotg \theta=2,5$ )	=	34,94 KNm

$$(V_{td}/V_{Rcd}) + (M_t/T_{Rcd}) = \mathbf{0,90} \quad \text{VERIFICATO}$$

L'altezza della sezione della trave a ginocchio è sufficiente.

### **Armatura longitudinale a torsione**

L'armatura longitudinale a torsione (ferri parete) si determina con l'espressione:

$$Al_{t,\text{pianerottoli}} = (M_t pe) / (2 Ae f_{vd} \tan \theta) = 3,90 \text{ cmq}$$

$$Al_{t,\text{rampa}} = (M_t pe) / (2 Ae f_{vd} \tan \theta) = 3,28 \text{ cmq}$$

dove si pone  $\tan \theta = 1$  (inclinazione delle bielle compresse a  $45^\circ$ ).

L'armatura longitudinale effettiva (ferri parete) si rileva dalla seguente tabella in funzione dei diametri scelti:

	$\phi 10$	$\phi 12$	$\phi 14$	$\phi 16$	$\phi 18$	$\phi 20$
<b>numero ferri</b>	0	0	3	0	0	0

**Totale  $Al_{t,\text{eff. pianerottoli}} = 4,62 \text{ cmq}$**

	$\phi 10$	$\phi 12$	$\phi 14$	$\phi 16$	$\phi 18$	$\phi 20$
<b>numero ferri</b>	0	0	3	0	0	0

**Totale  $Al_{t,\text{eff. rampa}} = 4,62 \text{ cmq}$**

### **Armatura trasversale a torsione in corrispondenza dei pianerottoli di partenza e arrivo**

L'armatura trasversale a torsione (staffe) si determina con la seguente espressione:

$$As/s = Al_{t,\text{eff}}/pe \tag^2 \theta = 2,84 \text{ cmq/m}$$

dove s è il passo delle staffe e  $\tag \theta = 1$ .

### **Armatura trasversale a taglio in corrispondenza dei pianerottoli di partenza e arrivo**

L'armatura trasversale a taglio (staffe) si determina con la seguente espressione:

$$Asw/s = V_{td}/(0,9 d f_{yd}) \tag \theta = 2,78 \text{ cmq/m}$$

dove  $s$  è il passo delle staffe e  $\text{tag } \theta = 1$ .

Armatura trasversale totale a torsione e taglio:  $As/s + Asw/s = 5,62 \text{ cmq/m}$

Le travi devono prevedere armatura trasversale costituita da staffe con sezione complessiva non inferiore a  $As = 1,5 b_w \text{ mmq/m}$  essendo  $b_w$  lo spessore minimo dell'anima in mm, con un minimo di tre staffe al metro e comunque passo non superiore a 0,8 volte l'altezza utile della sezione.

$$As = 1,5 b_w = 4,50 \text{ cmq/m}$$

Per cui l'armatura trasversale deve risultare: **As,totale = 5,62 cmq/m**

Utilizzando staffe  $\phi 8$ , la cui area è pari a 0,50 cmq, il passo minimo delle staffe a torsione e taglio risulta:

$$s_{\min} = 8,90 \text{ cm} \quad \text{e pertanto si adotterà} \quad \mathbf{s_{\min} = 8,00 \text{ cm}}$$

### ***Armatura trasversale a torsione in corrispondenza della rampa inclinata***

L'armatura trasversale a torsione (staffe) si determina con la seguente espressione:

$$As/s = A_l / p_e \text{ tag}^2 \theta = 2,84 \text{ cmq/m}$$

dove  $s$  è il passo delle staffe e  $\text{tag } \theta = 1$ .

### ***Armatura trasversale a taglio in corrispondenza della rampa inclinata***

L'armatura trasversale a taglio (staffe) si determina con la seguente espressione:

$$Asw/s = V_{tdB} / (0,9 d f_{yd}) \text{ tag } \theta = 1,54 \text{ cmq/m}$$

dove  $s$  è il passo delle staffe e  $\text{tag } \theta = 1$ .

Armatura trasversale totale a torsione e taglio:  $As/s + Asw/s = 4,38 \text{ cmq/m}$

Le travi devono prevedere armatura trasversale costituita da staffe con sezione complessiva non inferiore a  $As = 1,5 b_w \text{ mmq/m}$  essendo  $b_w$  lo spessore minimo dell'anima in mm, con un minimo di tre staffe al metro e comunque passo non superiore a 0,8 volte l'altezza utile della sezione.

$$As = 1,5 b_w = 4,50 \text{ cmq/m}$$

Per cui l'armatura trasversale deve risultare: **As,totale = 4,50 cmq/m**

Utilizzando staffe  $\phi 8$ , la cui area è pari a 0,50 cmq, il passo minimo delle staffe a torsione e taglio risulta:

$$s_{\min} = 11,11 \text{ cm} \quad \text{e pertanto si adotterà} \quad \mathbf{s_{\min} = 11,00 \text{ cm}}$$

**RELAZIONE DI CALCOLO**

La tipologia di scala con trave a ginocchio e gradini a sbalzo è una struttura in cemento armato in cui la rampa è costituita da gradini a sbalzo soggetti a flessione deviata e taglio, da una trave sagomata a ginocchio soggetta a flessione, taglio e torsione ed in cui i pianerottoli sono generalmente appoggiati ai tratti piani della trave a ginocchio e soggetti a flessione e taglio.

Il software effettua il calcolo del gradino a sbalzo e dei pianerottoli determinando le sollecitazioni agenti e calcolando le armature necessarie. Effettua infine il calcolo della trave a ginocchio a flessione, taglio e torsione con determinazione delle armature necessarie a tali sollecitazioni.

Il calcolo viene effettuato con il metodo degli stati limite ultimi ai sensi del D.M. 17/01/2018 (N.T.C. 2018).

I carichi agenti su ciascun elemento strutturale vengono ricavati da apposite analisi e combinati secondo quanto previsto dalla normativa in vigore.

**Calcolo del gradino**

Il calcolo del gradino viene effettuato considerando lo schema di mensola incastrata all'estremità, soggetta ad un carico distribuito linearmente ed ad un carico orizzontale (effetto della ringhiera).

Il momento flettente ed il taglio sono dati rispettivamente dalle espressioni:

$$M_i = q' \cdot Br^2/2 + Pr \cdot 1,00$$

$$T_i = q' \cdot Br/2$$

dove  $q'$  è il carico distribuito verticale agente sul gradino,  $Pr$  è il carico concentrato orizzontale dovuto alla ringhiera agente ad un metro dall'asse orizzontale e  $Br$  è la lunghezza del gradino.

Il calcolo dell'armatura viene fatto considerando il gradino e la soletta come una sezione a T, la cui armatura longitudinale a flessione si ricava dalla seguente espressione:

$$A_f = M_i / (0,9 \cdot h \cdot f_{vd})$$

dove  $h$  è l'altezza utile della sezione a T e  $f_{vd}$  è la resistenza di calcolo dell'acciaio impiegato.

La verifica a taglio della sezione è soddisfatta se risulta:

$$V_{rd} \geq V_{ed}$$

dove  $V_{ed} = T_i$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente e  $V_{rd}$  è la resistenza di calcolo a taglio:

$$V_{rd} = \max \{ [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \rho_{cp}] \cdot b_w \cdot h; (v_{min} + 0,15 \sigma_{cp}) b_w h \}$$

con:

$$k = 1 + (200/h)^{0,5} \leq 2$$

$$\rho_l = A_f / (b \cdot h) \quad \text{dove } b \text{ è la larghezza dell'ala della sezione a T.}$$

$f_{ck}$  = resistenza caratteristica cilindrica a compressione

$\gamma_c$  = coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo

$\rho_{cp}$  =  $N_{ed}/A_c$  = tensione media di compr. sezione (=0 in assenza di compressione).

$b_w$  = larghezza minima della sezione a T

$h$  = altezza utile della sezione a T.

## Calcolo del pianerottolo

Il calcolo del pianerottolo viene effettuato considerando lo schema di trave di larghezza unitaria incastrata alle estremità, soggetta ad un carico distribuito linearmente.

Il calcolo si conduce per le due ipotesi di: pianerottolo flessibile e pianerottolo rigido.

Si considerano le seguenti sollecitazioni massime relative ai due schemi di calcolo suddetti, rispettivamente per il momento flettente all'incastro ed in mezzzeria del pianerottolo:

$$M_{p1} = q_p \cdot Bp^2/12$$

$$M_{p2} = q_p \cdot Bp^2/12 + Mg$$

dove  $q_p$  è il carico distribuito verticale agente sul pianerottolo,  $Mg$  è il momento dovuto ai gradini e  $Bp$  è la lunghezza del pianerottolo.

Il taglio massimo all'incastro del pianerottolo è dato da:

$$V_{ed} = q_p Bp / 2$$

Il calcolo dell'armatura viene fatto considerando il pianerottolo come una sezione rettangolare di larghezza unitaria, la cui armatura longitudinale a flessione si ricava dalle seguenti espressioni:

$$A_{fm} = M_{p2} / (0,9 \cdot h \cdot f_{yd})$$

$$A_{fi} = M_{p1} / (0,9 \cdot h \cdot f_{yd})$$

dove  $A_{fm}$  è l'armatura in mezzzeria e  $A_{fi}$  quella all'incastro e  $f_{yd}$  è la resistenza di calcolo dell'acciaio.

La lunghezza di ancoraggio dei ferri longitudinali si ricava dalla seguente espressione per ciascun diametro di ferro adoperato:

$$l_a = \phi/4 \cdot f_{yd}/f_{bd}$$

con  $\phi$  diametro impiegato e  $f_{bd}$  resistenza tangenziale di aderenza di calcolo acciaio-calcestruzzo.

La verifica a taglio della sezione è soddisfatta se risulta:

$$V_{rd} \geq V_{ed}$$

dove  $V_{ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente e  $V_{rd}$  è la resistenza di calcolo a taglio:

$$V_{rd} = \max \{ [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \rho_{cp}] \cdot b \cdot h; (v_{min} + 0,15 \rho_{cp}) \cdot b \cdot h \}$$

con:

$$k = 1 + (200/h)^{0,5} \leq 2$$

$$\rho_l = A_f / (b \cdot h) \quad \text{dove } b = 1,00 \text{ m è la larghezza della sezione ed } h \text{ l'altezza.}$$

$f_{ck}$  = resistenza caratteristica cilindrica a compressione

$\gamma_c$  = coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo

$\rho_{cp}$  =  $N_{ed}/A_c$  = tensione media di compr. sezione (=0 in assenza di compressione).

$$v_{min} = 0,035 k^{1,5} f_{ck}^{0,5}$$

## Calcolo della trave a ginocchio

La trave a ginocchio è sottoposta, oltre ai carichi verticali costituiti dal peso proprio e dalla presenza di eventuale muratura di tamponamento, all'azione dei pianerottoli ed anche al momento torcente indotto dai gradini a sbalzo da essa.

Si procede dapprima al calcolo a flessione e taglio nelle due ipotesi di trave appoggiata agli estremi

con momento ridotto in mezzeria e trave incastrata agli estremi, con asse orizzontale.

Si assume un carico verticale  $q^*$  uniformemente distribuito lungo la trave, calcolato come media dei valori dei carichi agenti sui pianerottoli e sulla rampa inclinata.

Si considerano le seguenti sollecitazioni massime relative ai due schemi di calcolo suddetti, rispettivamente per il momento flettente all'incastro ed in mezzeria della trave:

$$M_{tA} = q^* \cdot (L_{pi} + L_{pa} + L_{ro})^2 / 12 \qquad M_{tm} = q^* \cdot (L_{pi} + L_{pa} + L_{ro})^2 / 10$$

dove  $q^*$  è il carico uniformemente distribuito,  $L_{pi}$  è la lunghezza del pianerottolo di partenza,  $L_{pa}$  è la lunghezza del pianerottolo di arrivo e  $L_{ro}$  è la lunghezza della rampa sul piano orizzontale.

Il taglio viene calcolato rispettivamente all'incastro dei pianerottoli e al nodo pianerottolo-rampa:

$$V_{tdA} = q^* \cdot (L_{pi} + L_{pa} + L_{ro}) / 2 \qquad V_{tdB} = V_{tdC} = q^* \cdot L_{ro} / 2$$

Per il calcolo a torsione si fanno le due ipotesi di trave rigida e pianerottoli flessibili e trave flessibile e pianerottoli rigidi, con asse della trave sempre orizzontale.

Il carico agente sulla trave è costituito dal momento torcente indotto dai pianerottoli e dal momento torcente indotto dai gradini, rispettivamente:

$$M_r = n \cdot M_i / L_{ro} \qquad M_p = M_{p1}$$

dove  $n$  è il numero di gradini della rampa,  $M_i$  il momento flettente all'incastro del gradino e  $L_{ro}$  è la lunghezza della rampa sul piano orizzontale.  $M_{p1}$  è il momento flettente del pianerottolo sulla trave.

Le sollecitazioni di torsione generate dai carichi suddetti sulla trave a ginocchio sono date da:

Schema di trave rigida e pianerottoli flessibili:

Momento torcente incastro pianerottolo di partenza:	$M_{tA} = (M_p \cdot L_{pi}) / 2 + M_{tB}$
Momento torcente incastro pianerottolo di arrivo:	$M_{tD} = (M_p \cdot L_{pi}) / 2 + M_{tC}$
Momento torcente dovuto ai gradini:	$M_{tB} = M_{tC} = (M_r \cdot L_{ro}) / 2$

Schema di trave flessibile e pianerottoli rigidi:

Momento torcente incastro pianerottolo di partenza:	$M_{tA} = 0$
Momento torcente incastro pianerottolo di arrivo:	$M_{tD} = 0$
Momento torcente dovuto ai gradini:	$M_{tB} = M_{tC} = (M_r \cdot L_{ro}) / 2$

### Verifica dell'altezza della sezione della trave

Per quanto riguarda la crisi a causa del calcestruzzo, la resistenza massima di una membratura soggetta a torsione e taglio è limitata dalla resistenza delle bielle compresse di calcestruzzo.

Per non eccedere tale resistenza deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$(V_{td} / V_{Rcd}) + (M_t / T_{Rcd}) \leq 1$$

dove:  $V_{td}$  = valore di calcolo dello sforzo di taglio agente  
 $M_t$  = valore di calcolo del momento torcente agente dovuto ai pianerottoli  
 $M_r$  = valore di calcolo del momento torcente agente dovuto alla rampa

$V_{Rcd}$  = resistenza di calcolo a taglio-compressione del cls d'anima per un'inclinazione delle bielle di  $45^\circ$  ( $\cotg \theta = 1$ ) e di  $21,80^\circ$  ( $\cotg \theta = 2,5$ )

$T_{Rcd}$  = resistenza di calcolo a torsione del cls per un'inclinazione delle bielle di  $45^\circ$  ( $\cotg \theta = 1$ ) e di  $21,80^\circ$  ( $\cotg \theta = 2,5$ )

I valori delle suddette resistenze di calcolo si ricavano dalle seguenti espressioni:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot B \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \theta)$$

$$T_{Rcd} = 2 \cdot Ae \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \cotg \theta / (1 + \cotg^2 \theta)$$

dove:  $B$  = larghezza minima della sezione (in mm)  
 $d$  = altezza utile della sezione (in mm)  
 $\alpha_c$  = coefficiente maggiorativo (pari a 1 per membrature non compresse)  
 $f'_{cd}$  = resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd} = 0,5 f_{cd}$ )  
 $\alpha$  = inclinazione armatura trasversale rispetto all'asse della trave (si pone  $\cotg \alpha = 1$ )  
 $q$  = inclinazione dei puntoni rispetto all'asse (si pone  $\cotg q = 1$  per bielle a  $45^\circ$ )  
 $Ae$  = area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico  
 $t$  = spessore della sezione cava

L'armatura a flessione viene calcolata sia nella sezione di mezzeria della trave che agli incastri:

$$A_{sm} = M_{t2} / (0,9 \cdot ht \cdot f_{vd})$$

$$A_{si} = M_{t1} / (0,9 \cdot ht \cdot f_{vd})$$

dove:  $ht$  = altezza utile della trave  
 $f_{vd}$  = resistenza di calcolo dell'acciaio

L'armatura effettiva longitudinale a flessione, sia superiore che inferiore, si ricava dalla tabella dei ferri, una volta scelto il diametro ed il numero dei ferri da impiegare.

L'armatura longitudinale a torsione (ferri pareti) si determina con la seguente espressione da applicare sia per le sezioni agli incastri che per quelle in mezzeria:

$$A_{lt} = (M_t \cdot pe) / (2 \cdot Ae \cdot f_{vd} \cdot \tan \theta)$$

dove:  $pe$  = perimetro medio del nucleo resistente  
 $Ae$  = area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico  
 $\tan \theta = 1$  (bielle compresse inclinate a  $45^\circ$ )

L'armatura effettiva longitudinale a torsione, nei pianerottoli e nella rampa, si ricava dalla tabella dei ferri, una volta scelto il diametro ed il numero dei ferri da impiegare.

L'armatura trasversale a torsione e taglio (staffe), sia nei pianerottoli che nella rampa, si ricava rispettivamente dalle seguenti espressioni:

$$A_s/s = A_{lt,eff} / (pe \cdot \tag^2 \theta)$$

$$A_{sw}/s = V_{td} / (0,9 \cdot d \cdot f_{vd}) \tag \theta$$

dove:  $A_s$  = armatura trasversale a torsione  
 $s$  = passo delle staffe  
 $pe$  = perimetro medio del nucleo resistente  
 $A_{sw}$  = area dell'armatura trasversale a taglio  
 $V_{td}$  = taglio massimo all'incastro della trave

$d$  = altezza utile della sezione della trave  
 $f_{vd}$  = resistenza di calcolo dell'acciaio  
Tag  $\theta = 1$  (bielle compresse inclinate a  $45^\circ$ )

L'armatura trasversale totale a flessione e taglio è data quindi da:

$$A_s/s + A_{sw}/s$$

Le travi devono prevedere comunque armatura trasversale minima costituita da staffe di sezione complessiva non inferiore a  $A_s = 1,5 bw \text{ mm}^2/\text{m}$ , essendo  $bw$  lo spessore minimo dell'anima della trave in mm, con un minimo di tre staffe al metro e comunque passo non superiore a 0,8 volte l'altezza utile della sezione.

In base alle risultanze del calcolo e delle indicazioni della normativa si determina il passo minimo delle staffe costituenti l'armatura trasversale della trave in corrispondenza dei pianerottoli e lungo la rampa.