

u-bootbeton®



U-BOOT® DESIGN PROCESS

**Guida al predimensionamento di piastre
alleggerite con U-Boot® Beton**

daliform

GROUP

Building Innovation © Creatori dell'Iglù®

MADE IN ITALY



DALIFORM GROUP
Tel. +39 0422 2083

UFFICIO COMMERCIALE ITALIA
info@daliform.com

EXPORT DEPARTMENT
export@daliform.com

UFFICIO TECNICO
tecnico@daliform.com

INTRODUZIONE	4
ESEMPIO PRATICO PREDIMENSIONAMENTO	5
1. Predimensionamento	5
2. Dati di Input	5
3. Determinazione tipologia di alleggerimento	6
4. Check: controllo sul punzonamento	7
5. Determinazione zone piene e zone alleggerite	8
6. Determinazione delle sollecitazioni di progetto	8
7. Definizione armature nelle zone alleggerite	13
8. Verifica delle zone piene (funghi)	15
9. Dettagli d'armatura tipici	16
CONCLUSIONI	18

Nel campo dell'ingegneria strutturale, le piastre svolgono un ruolo fondamentale nella costruzione di edifici e infrastrutture in genere. Grazie ai numerosi vantaggi, come l'elevata rigidità e la semplicità costruttiva, il loro utilizzo si è ampiamente diffuso, diventando un punto di riferimento nella progettazione e realizzazione di impalcati.

Il principale svantaggio delle piastre piene è il loro peso considerevole, che diventa un fattore limitante all'aumentare delle luci tra gli elementi verticali. Ne segue lo sviluppo di piastre alleggerite dapprima con blocchi di polistirene successivamente sostituiti con *casseri di plastica riciclata* come **U-Boot® Beton**, creando una struttura che mantiene tutte le caratteristiche e i punti di forza di una soletta piena, riducendo considerevolmente il peso.

L'impiego dei casseri U-Boot® Beton consente di realizzare solai a piastra senza ricorrere all'utilizzo di travi emergenti, potendo così confinare gli elementi strutturali orizzontali all'interno dello spessore del solaio. Sommergendo i casseri U-Boot® Beton nel getto di calcestruzzo si ottiene la formazione di due solette piane all'intradosso e all'estradosso, di dimensione variabile grazie ai piedini conici elevatori.

Gli appositi distanziatori permettono inoltre di creare con facilità ed estrema precisione il graticcio di nervature mutualmente ortogonali, interconnesse tra loro nei due sensi, che collegano le solette piane all'intradosso e all'estradosso.



Lo scopo di questo documento, è quello di poter restituire, mediante anche uno specifico esempio di calcolo, un approccio pratico alla progettazione di solai a piastra alleggeriti. L'obiettivo è quindi poter supportare il progettista che intende utilizzare questa tipologia di impalcato rispetto a soluzioni più tradizionali quali telai e solai monodirezionali, o più semplicemente per il passaggio tra solette monolitiche a piastre alleggerite.

Seguirà quindi un'analisi di tutte le principali fasi della progettazione, partendo da alcuni semplici regole per un corretto predimensionamento fino ad arrivare ai necessari accorgimenti per la disposizione delle armature e dei dettagli costruttivi.

Nel processo, assume notevole importanza il *software gratuito* **U-Boot® Beton Design Software**, disponibile sul sito Daliform previa

registrazione. Questo documento fornirà tutti i consigli pratici per sfruttare al meglio le potenzialità del software all'interno del processo di progettazione.

1. PREDIMENSIONAMENTO

Una volta analizzato il progetto e definite le strutture verticali, è possibile procedere al predimensionamento dell'orizzontamento. Per questo, come per le travi, i solai monodirezionali e le solette monolitiche, si può adottare un valore iniziale basato sul rapporto tra la luce massima e lo spessore. Nello specifico, si può considerare un rapporto di $L/27$, che, in relazione ad altre soluzioni, risulta essere un ottimo compromesso:

Elemento strutturale	Dimensioni preliminari
Travi	$L/10$
Solai a piastra monolitica	$L/25$
Solai a piastra alleggerita	$L/27$

Il rapporto geometrico chiaramente può dipendere da altri fattori, come si vedrà nei paragrafi successivi anche per la scelta dell'alleggerimento di riferimento. Nello specifico, già in questa fase è possibile considerare eventuali accorgimenti sullo spessore se note delle particolari condizioni di progetto (es. classe di resistenza al fuoco, specifiche esposizioni ambientali o condizioni di carico).

2. DATI DI INPUT

In relazione all'esempio che verrà sviluppato nei paragrafi successivi, si riportano di seguito i dati rilevanti ai fini del corretto dimensionamento del solaio a piastra alleggerita con casseri U-Boot® Beton:

- Luce massima tra i pilastri 8 x 8 m
- Carico permanente 2 kN/mq
- Accidentale 3 kN/mq
- Dimensione dei pilastri 40 x 40 cm
- Classe di calcestruzzo C25/30
- Resistenza al fuoco R60
- Classe di esposizione XC2
- Riferimento normativo: Eurocodice 2

Considerando un valore di primo tentativo pari a $L_{\max}/27$, si ottiene:

$$800/27=29,6 \text{ cm} \rightarrow 30 \text{ cm.}$$

3. DETERMINAZIONE TIPOLOGIA DI ALLEGGERIMENTO

Fissato lo spessore da 30 cm dobbiamo scegliere lo spessore delle solette minimo, l'altezza dell'alleggerimento e l'interasse fra i casseri. Per la scelta della tipologia di alleggerimento è possibile utilizzare il programma gratuito **U-Boot® Beton Design Software**.

Per inserire le caratteristiche della sezione, si può procedere in due modi:

- 1) **Input libero:** inserimento libero di tutte le grandezze della sezione
- 2) **Input semplificato:** selezione delle possibili soluzioni proposte per l'altezza complessiva di riferimento

La dimensione della soletta, dipende direttamente dal minimo copriferro delle barre, che a sua volta varia in base alla classe di esposizione prevista ed eventuali richieste di prestazioni al fuoco.

Per l'esempio proposto, con prestazione al fuoco R60 e classe di esposizione XC2, risulta sufficiente un copriferro da 3 cm (EN 1992-1-1-2004).

In questo, si fa un'ipotesi di utilizzare una maglia d'armatura base \varnothing 12 mm, da cui lo spessore minimo della soletta che garantisce la trasmissione degli sforzi di aderenza risulta:

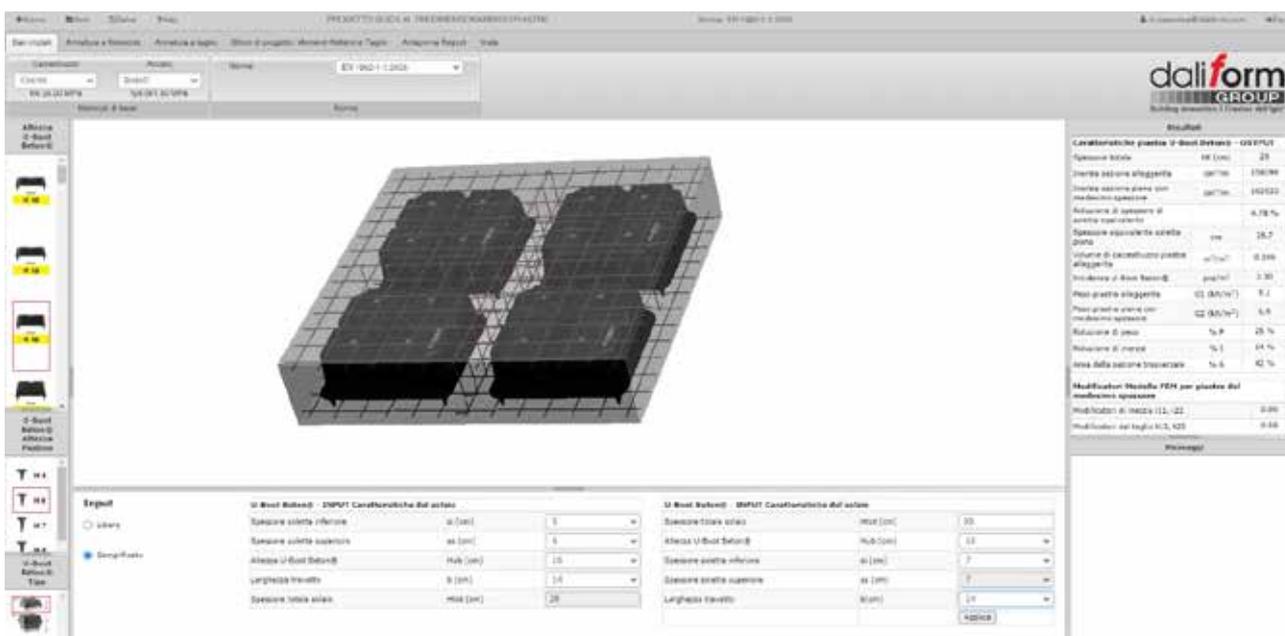
$$S_{min} = C_{min} + 2 \cdot \varnothing + C_{(min,b)} = 3 + 2,4 + 1,2 = 6,6 \text{ cm}$$

Si utilizza quindi uno spessore delle solette da 7 cm.

Per determinare la larghezza della nervatura, si può in prima battuta considerare un valore che garantisca un rapporto tra altezza del solaio e larghezza della nervatura che varia tra 2 e 2.5; nel nostro caso possiamo considerare:

$$H/2,2 \text{ quindi in questo caso: } 30 \text{ cm} / 2,2 = 13,6 \text{ cm} \rightarrow 14 \text{ cm.}$$

Avendo determinato tutti i parametri di una delle possibili soluzioni per alleggerire una piastra da 30 cm, si procede con la definizione della sezione tipo all'interno software:



Schermata iniziale di U-Boot® Beton Design Software. Nella ribbon bar si possono distinguere le schede, organizzate da sinistra a destra nelle successive fasi di sviluppo del processo. In basso l'interfaccia relativa all'input delle caratteristiche della sezione, selezionabili in forma libera o semplificata mentre nella colonna di destra vi sono i risultati relativi alle caratteristiche della piastra U-Boot® e ai modificatori per modello FEM. In basso a destra infine, vi è la box con eventuali warnings su quanto inserito.

U-Boot Beton® - INPUT Caratteristiche del solaio

Spessore totale solaio	Htot (cm)	30
Altezza U-Boot Beton®	Hub (cm)	16
Spessore soletta inferiore	si (cm)	7
Spessore soletta superiore	ss (cm)	7
Larghezza travetto	b(cm)	14
		Applica

INPUT caratteristiche del solaio

Grazie all'interfaccia proposta per l'input nella versione semplificata, è possibile definire le caratteristiche della sezione alleggerita del solaio, partendo dallo spessore totale. Una volta ottenuta l'altezza totale, è possibile definire lo spessore della soletta inferiore, da cui il software automaticamente propone una soluzione per l'alleggerimento da utilizzare e per lo spessore della soletta superiore.

4. CHECK: CONTROLLO SUL PUNZONAMENTO

Uno dei criteri di dimensionamento delle piastre piene, e conseguentemente delle piastre alleggerite è la verifica a punzonamento; è utile, quindi, effettuare un controllo che confermi la correttezza dello spessore scelto.

Ipotizziamo di alleggerire il 70% del solaio; dal software on line è possibile ricavare il peso proprio delle zone alleggerite per la soluzione scelta:

Caratteristiche piastra U-Boot Beton® - OUTPUT		
Spessore totale	Ht (cm)	30
Inerzia sezione alleggerita	cm ⁴ /m	200165
Inerzia sezione piena con medesimo spessore	cm ⁴ /m	225000
Riduzione di spessore di soletta equivalente		3.86 %
Spessore equivalente soletta piena	cm	28.8
Volume di calcestruzzo piastra alleggerita	m ³ /m ²	0.229
Incidenza U-Boot Beton®	pcs/m ²	2.30
Peso piastra alleggerita	G1 (kN/m ²)	5.6
Peso piastra piena con medesimo spessore	G2 (kN/m ²)	7.4
Riduzione di peso	% P	24 %
Riduzione di inerzia	% I	11 %
Area della sezione trasversale	% A	39 %
Modificatori Modello FEM per piastre del medesimo spessore		
Modificatori di inerzia i11, i22		0.89
Modificatori del taglio t13, t23		0.61
Modificatore del peso		0.76

OUTPUT: Caratteristiche della piastra U-Boot®

Presente nella colonna destra della schermata iniziale del software, in questa finestra è possibile ricavare i dati essenziali per poter procedere con il calcolo strutturale. In effetti, come evidenziato, si può ricavare il peso della zona alleggerita nonché la riduzione rispetto ad una piastra piena di equivalente spessore. Vengono poi calcolati e restituiti i valori dei modificatori d'inerzia da utilizzare nelle fasi successive del progetto, all'interno del programma di calcolo.

Il peso medio della piastra risulta quindi:

$$P_m = 5,6 \cdot 0,7 + 7,4 \cdot 0,3 = 6,14 \text{ kN/m}^2$$

Nota: al fine di calcolare un valore di P_{ed} di primo tentativo, si ipotizza 70% dell'area alleggerita e 30% piena (valori tipici di questa tipologia strutturale).

È possibile quindi valutare la V_{ed} sul pilastro:

$$P_{ed} = (1,3 \cdot 6,14 + 1,3 \cdot 2 + 1,5 \cdot 3) \cdot (8 \cdot 8) = 965 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = \frac{(\beta \cdot P_{ed})}{(U_i \cdot d)} = \frac{(1,15 \cdot 965)}{(16 \cdot 25,8)} = 2,69 \frac{N}{mm^2}$$

La massima resistenza a taglio/punzonamento sul perimetro di controllo risulta:

$$V_{rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$$

Con $v=0,5$ fino a classe C70/85

Quindi:

$$V_{rd,max} = 2,83 \frac{N}{mm^2} > V_{ed}$$

per cui lo spessore scelto è idoneo.

5. DETERMINAZIONE ZONE PIENE E ZONE ALLEGGERITE

Il principio di base è che la dimensione della zona piena sia minimo pari a 2 volte l'altezza utile, e comunque il perimetro di verifica U_{out} sia intero alla zona piena (EC2 6.4.5 (4)). Segue:

$$U_{out} = \frac{\beta \cdot V_{ed}}{v_{rd,c} \cdot d} = 712,64 \text{ cm}$$

Ne deriva una larghezza minima della zona piena C maggiore di 227 cm.

Con l'interasse da 66 cm, una dimensione plausibile della zona piena potrebbe essere:

$$C = l \cdot n_{ub} + T = 66 \cdot 4 + 14 = 278 \text{ cm} > 227 \text{ cm}$$

Nota: In generale, si può ricavare C anche partendo dalla luce massima, considerando un'estensione del fungo di circa il 35%:

$$C = 0,35 \cdot L_{max} = 0,35 \cdot 800 = 280 \text{ cm} \approx 278 \text{ cm}$$

6. DETERMINAZIONE DELLE SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Il comportamento di una piastra alleggerita sotto l'azione dei carichi verticali può essere simulato e studiato in diversi modi, in maniera più o meno semplificata. Nell'esempio che segue e per le analisi strutturale, uno dei riferimenti principali è quello di modellare gli elementi in software fem come "plate" bidirezionali.

Tale tipologia di modellazione risulta la più semplice e veloce ed i risultati sono facilmente analizzabili; è necessario, tuttavia, porre attenzione alla schematizzazione delle zone alleggerite ed alla gestione dei risultanti nelle zone più critiche (passaggio zone piene-alleggerite e nodi sui supporti verticali).

Per tenere conto della presenza di vuoti nella piastra, sarà necessario impostare alcuni modificatori alla matrice di peso,

oppure in alternativa assegnare alla zona alleggerita un materiale con proprietà modificate nel peso e nel modulo elastico. Questa differenza varia in generale da software a software e pertanto non è possibile generalizzare una soluzione; la qualità dei risultati comunque non ha effetto rispetto alla tipologia di modificatori utilizzati.

Per la determinazione dei parametri per la modifica delle zone alleggerite, si utilizza **U-Boot® Beton Design Software** che fornisce, dopo aver inserito le caratteristiche della sezione alleggerita, i parametri da utilizzare per la schematizzazione dell'elemento "plate".

Caratteristiche piastra U-Boot Beton® - OUTPUT			
Altezza totale	H _t	[cm]	30
Inerzia sezione alleggerita		[cm ⁴ /m]	200.165
Inerzia sezione piena con medesimo spessore		[cm ⁴ /m]	225.000
Riduzione percentuale di spessore			3,86 %
Spessore equivalente soletta piena		[cm]	28,84
Volume di calcestruzzo piastra alleggerita		[m ³ /m ²]	0,23
Incidenza U-Boot Beton®		[pcs/m ²]	2,30
Peso piastra alleggerita	G ₁	[kN/m ²]	5,61
Peso piastra piena con medesimo spessore	G ₂	[kN/m ²]	7,36
Riduzione di peso		% P	23,77
Riduzione di inerzia		% I	11,04
Area della sezione trasversale		% A	38,80
Modificatori modello FEM per piastre del medesimo spessore			
Modificatori di inerzia I11, I22		I11, I22	0,89
Modificatori del taglio T13, T23		T13, T23	0,61
Modificatori del peso			0,76

Parametro	Valore
Name	C25/30 ALLEGGERITO (EN1992-2)
Type	Concrete
Unit mass [kg/m ³]	1900
E mod [MPa]	2,8014e+04
Poisson - nu	0.2
G mod [MPa]	0,8000e+04
fck(28) [MPa]	25,00
fcm(28) [MPa]	33,00
fcm(28) - fck(28) [MPa]	8,00
fctm(28) [MPa]	2,28
fctk 0,05(28) [MPa]	1,60
fctk 0,95(28) [MPa]	2,97

Esempio di inserimento dei parametri modificati all'interno di un software di calcolo. In questo caso in cui è stato utilizzato SCIA Engineering, si procede con la creazione di un materiale fittizio da assegnare alle zone alleggerite della piastra. Nello specifico si evidenziano le modifiche al peso per unità di volume, al modulo elastico (E) ed ai parametri relativi alla resistenza a trazione del materiale: fctm, fctk

Come si vede dalla tabella riepilogativa sopra riportata, tipica dell'inserimento di un materiale in un programma di calcolo, i modificatori FEM ricavati dal U-Boot® Beton Design Software si utilizzano per la modifica dei parametri:

$$E_{mod} = E \cdot i11 = 31476 \cdot 0,89 = 28014 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{ub} = 2500 \cdot 0,76 = 1900 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{mod} = G \cdot T13 = 13115 \cdot 0,61 = 8000 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm, mod} = f_{ctm} \cdot 0,89 = 2,56 \cdot 0,89 = 2,28 \text{ MPa}$$

Inseriti gli opportuni parametri alle zone dove presenti gli alleggerimenti, si può gestire il modello di calcolo esattamente come una piastra piena, andando quindi a ricavare le sollecitazioni di calcolo. Di seguito gli estratti per il momento e taglio di progetto per l'esempio proposto nella presente guida.

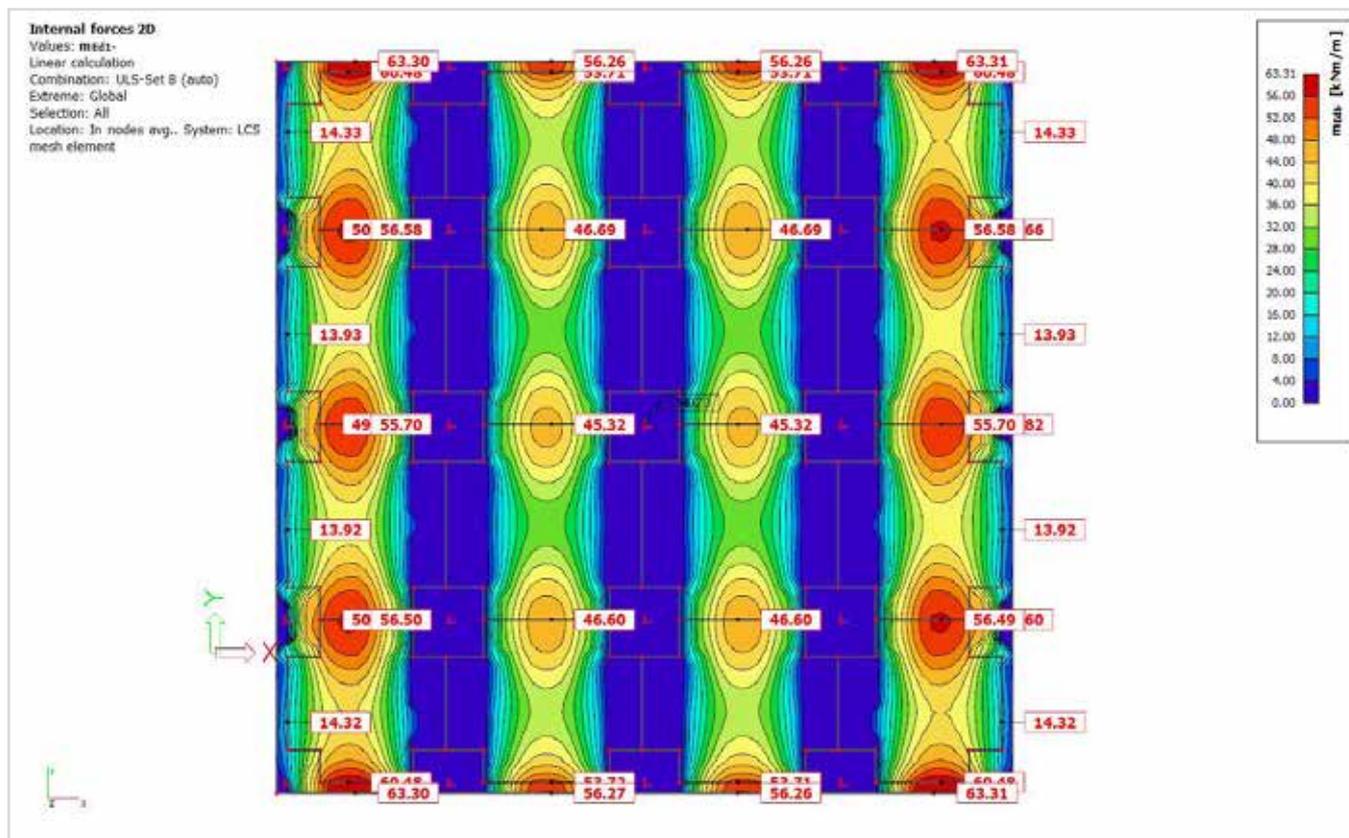


Figura 1 M_{ed} inferiore X

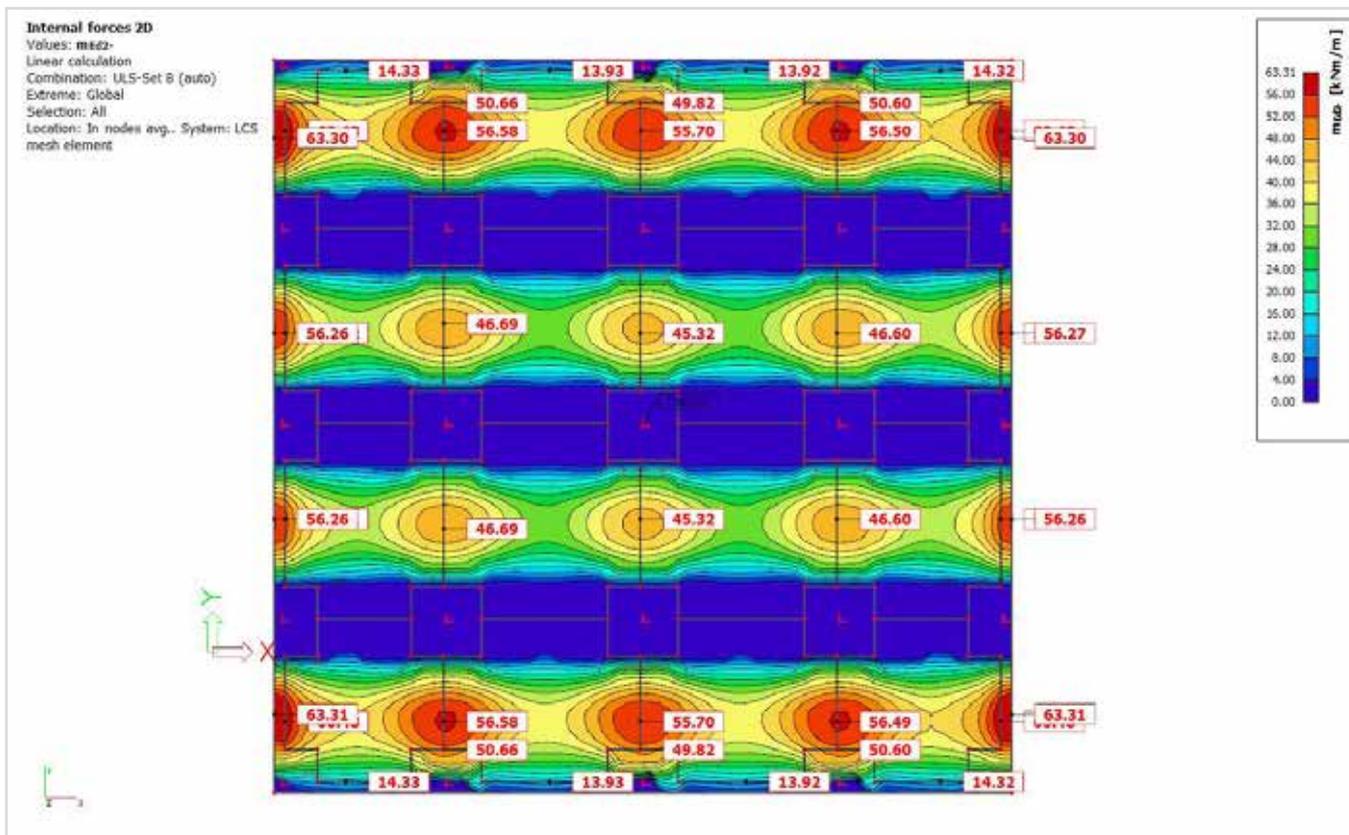


Figura 2 M_{ed} inferiore Y

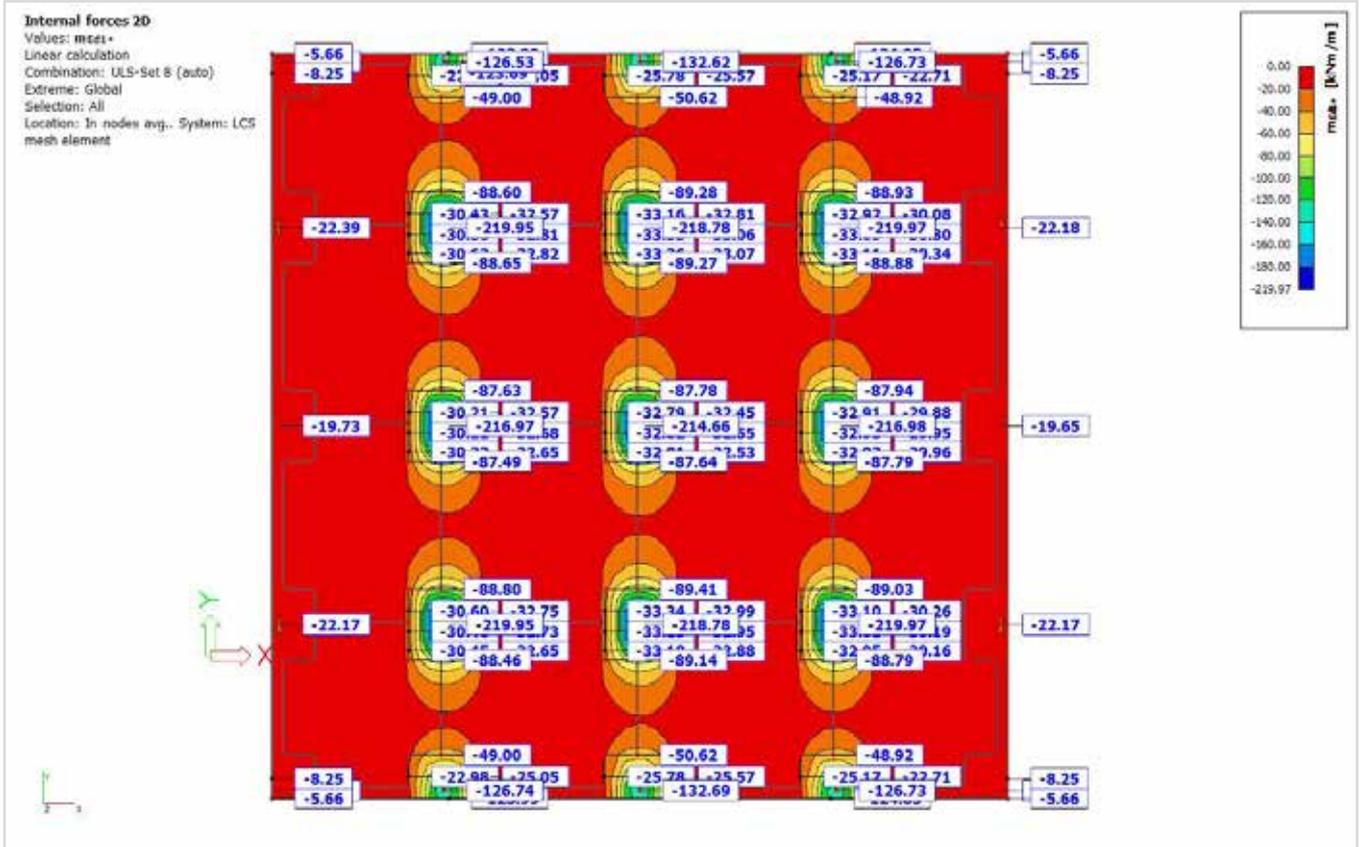


Figura 3 M_{ed} superiore X

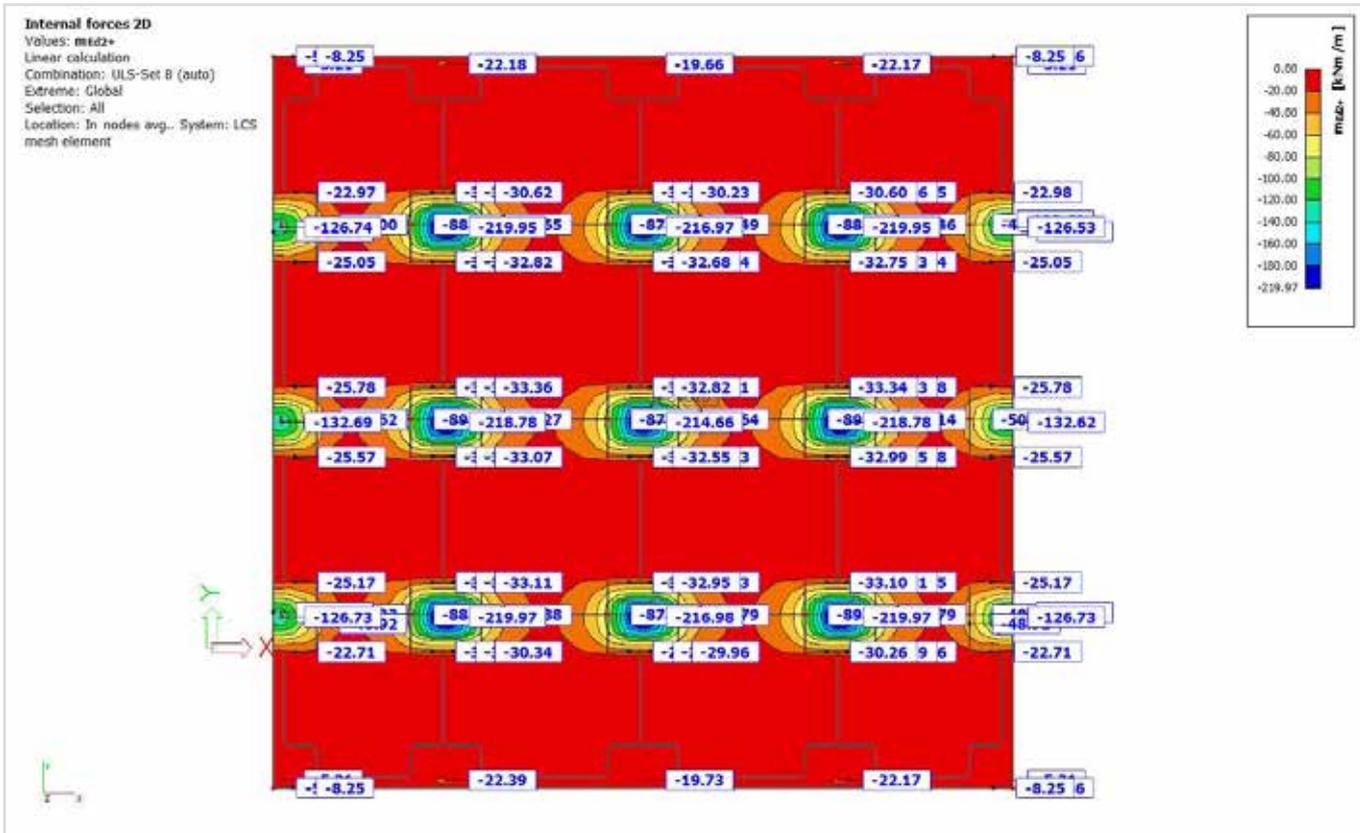


Figura 4 M_{ed} superiore Y

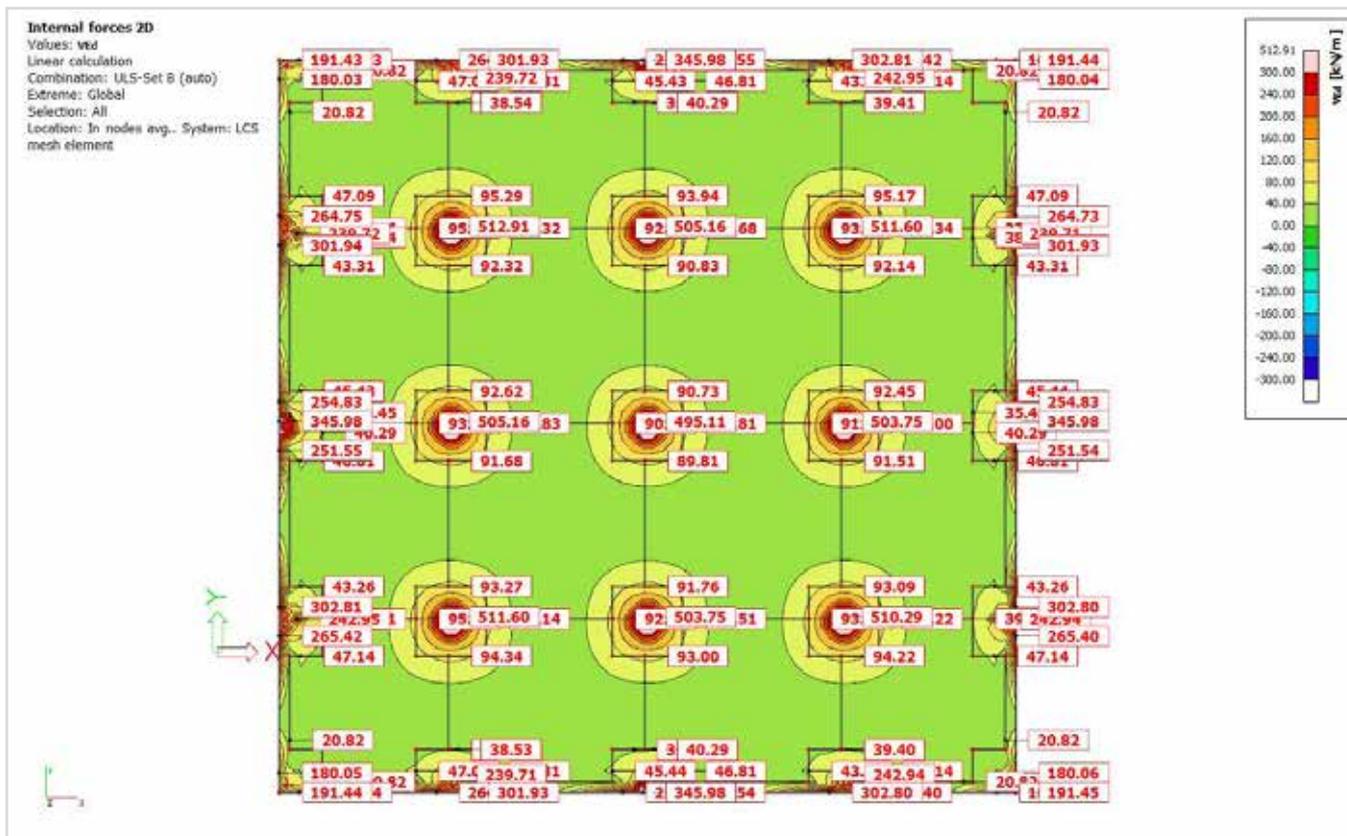


Figura 5 taglio sollecitante V_{ed}

A sommario delle precedenti immagini, si riporta una tabella riepilogativa dei valori massimi sollecitanti suddivisi per zone:

		Med X	Med Y	Ved
		kNm/m	kNm/m	kNm/m
Campata alleggerita	Inferiore	64	64	94
Zona alleggerita	Superiore	90	90	94
Zona piena	Superiore	220	220	

7. DEFINIZIONE ARMATURE NELLE ZONE ALLEGGERITE

Una volta definiti i valori massimi delle sollecitazioni di progetto, come per il progetto di qualsiasi elemento strutturale, è necessario dimensionare le armature di rinforzo che permettono di verificare la sezione.

Anche in questo caso, si può utilizzare l'U-Boot® Beton Design Software, che, in maniera semplice ed intuitiva, permette di eseguire un dimensionamento delle armature necessarie.

In relazione all'esempio proposto, si procede come di seguito:

- Armatura diffusa inferiore e superiore: Φ 12 mm passo 20 cm;
- Integrazioni inferiori (se necessario): Φ 10 mm a passo 20 cm,
- Integrazioni superiori (se necessario): 2 barre di Φ 16 mm per nervatura (armatura posta all'interna dei travetti);
- Armatura al taglio: barre singole piegate (spille) Φ 10 mm a passo 20 cm

Le armature integrative a flessione, sia inferiori che superiori andranno posizionate solamente nelle porzioni di piastra in cui la resistenza della sola armatura di base risulta non sufficiente.

Per le armature al taglio, le spille andranno posizionate solamente nelle zone in cui la resistenza senza armatura specifica non risulti sufficiente.

The screenshot shows the software interface for reinforcement design. At the top, there are tabs for 'Armatura a flessione' and 'Armatura a taglio'. Below the tabs, there are input fields for reinforcement diameter and spacing for both top and bottom reinforcement. The main area displays a 3D model of a slab with reinforcement bars. Below the model is a table titled 'CALCOLO MOMENTI RESISTENTI'.

Tipo di integrazione	N° di barre a travetto	SLU con sola armatura base / SLU con armatura base e integrazioni	Momento resistente		Armatura					
			M (kNm/m)	M (ft/m)	K (mm)	C (cm) from axis	Φ (mm)	v^t	A_s (cm ² /m)	Ricoprimento (cm)
			Momento resistente positivo direzione 1-1							
		SLU con sola armatura base	57.33	57.63	28.76	3.63	12.00	5.00	5.45	OK
Armatura diffusa	0	SLU con armatura base e integrazioni	92.34	61.07	34.58	3.33	10	5.00	9.58	OK
			Momento resistente positivo direzione 2-2							
		SLU con sola armatura base	57.34	57.65	24.28	4.83	12.00	5.00	5.45	OK
Armatura diffusa	0	SLU con armatura base e integrazioni	89.45	59.04	40.20	4.72	10	5.00	9.58	OK
			Momento resistente negativo direzione 1-1							
		SLU con sola armatura base	57.33	57.63	28.76	3.63	12.00	5.00	5.45	OK
Armatura a trave	2	SLU con armatura base e integrazioni	105.54	69.66	38.33	6.25	16	3.03	11.78	OK
			Momento resistente negativo direzione 2-2							
		SLU con sola armatura base	57.34	57.65	24.28	4.83	12.00	5.00	5.45	OK
Armatura a trave	2	SLU con armatura base e integrazioni	99.84	65.90	43.94	7.80	10	3.03	11.78	OK

U-Boot® Beton Design Software - fase 2: settaggio delle armature flessionali di progetto.

Nella scheda relativa all'armatura a flessione e all'armatura al taglio è possibile inserire tutte le tipologie di armature da prevedere, sia diffuse che come integrazioni. Automaticamente viene calcolato il valore di momento resistente per le direzioni principali di calcolo 1-1 e 2-2, considerando che le armature si possono inserire in maniera diversa nelle due direzioni.

Oltre al diametro ed al passo delle barre, in questa fase viene restituito anche un controllo sul ricoprimento e sul rispetto del copriferro.

Armatura base soletta inferiore	Φ12-200X200	8.65 cm ² /m	Armatura base soletta superiore	Φ12-200X200	8.65 cm ² /m
Copriferro inferiore C ₁ (cm)	3.0		Copriferro superiore C ₂ (cm)	3.0	
Input armatura Ø base					

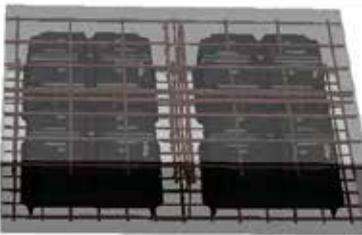
Nella barra in alto, è possibile settare in maniera semplice l'armatura diffusa nelle solette inferiori e superiori, impostando il copriferro di progetto.

CALCOLO MOMENTI RESISTENTI							
Tipo di integrazione	Nr. di barre a travetto	SLU con sola armatura base / SLU con armatura base e integrazioni	Momento resistente			Armatura	
			Mr (kNm/m)	Mr (kNm)	X (mm)	C (cm) from axis	Ø (mm)
Momento resistente positivo direzione 1-1							
		SLU con sola armatura base	57.33	37.83	28.76	3.60	12.00
Armatura diffusa	0	SLU con armatura base e integrazioni	92.54	61.07	34.58	3.50	10
Momento resistente positivo direzione 2-2							
		SLU con sola armatura base	57.34	37.85	34.25	4.80	12.00
Armatura diffusa	0	SLU con armatura base e integrazioni	89.45	59.04	40.20	4.70	10
Momento resistente negativo direzione 1-1							
		SLU con sola armatura base	57.33	37.83	28.76	3.60	12.00
Armatura a travetto	2	SLU con armatura base e integrazioni	105.54	69.66	38.33	6.20	16
Momento resistente negativo direzione 2-2							
		SLU con sola armatura base	57.34	37.85	34.25	4.80	12.00
Armatura a travetto	2	SLU con armatura base e integrazioni	99.84	65.90	43.94	7.80	16

Nella finestra in basso si inseriscono le eventuali integrazioni da inserire nella zona alleggerita. Le integrazioni possono essere di due tipologie: diffuse o a travetto. Questo a seconda del diametro delle barre necessario e di conseguenza per il rispetto del copriferro e del ricoprimento. Il software fornisce come output il valore del momento resistente positivo e negativo distinto nelle due direzioni principali del calcolo.

Passo armatura a taglio: S 200 mm Diametro armatura a Taglio: Ø 10 mm

Armatura a taglio



Caratteristiche geometriche della sezione trasversale			Riduzione di taglio con rinforzo		
Sezione minima trasversale con travetti	b_w	140 mm	Angolo puntone compresso	β	25.18 deg
Interasse travetti	l	0.65 m	Coeficiente puntone compresso	$\cot(\beta)$	2.04
Altezza utile	d	370.0 mm	Area a taglio staffa singola	A_{sv}	76.52 mm ²
Numero di barre a trazione	n	3 m ²	Area a taglio totale	A'_{sv}	76.52 mm ²
Diametro delle barre	ϕ	12.00 mm	Coefficiente η	η	0.50
Rapporto di armatura	ρ	0.0095	Resistente di progetto dei rinforzi rotati	$V_{rd,rot}$	7.00 kN/mm ²
Resistenza a taglio senza armatura			Resistente a taglio armatura trasversale	$V_{Rd,sv}$	87.21 kN
α	$k \cdot \alpha \cdot \rho \cdot f_{yk} / f_{td}$	1.00	Resistente a taglio bella compressa	$V_{Rd,c}$	87.21 kN
Vite	$V_{Rd,sv}$	0.848	Valore resistente di progetto del taglio	V_{Rd}	87.21 kN
Resistenza a taglio senza armatura	$V_{Rd,c}$	24.57 kN		V_{Rd}	132.14 kN/m
	V_{Rd}	25.85 kN/m		V_{Rd}	13474 kg/m
	V_{Rd}	1758.00 kg/m			

U-boot beton design software - fase 3: settaggio delle armature a taglio di progetto.

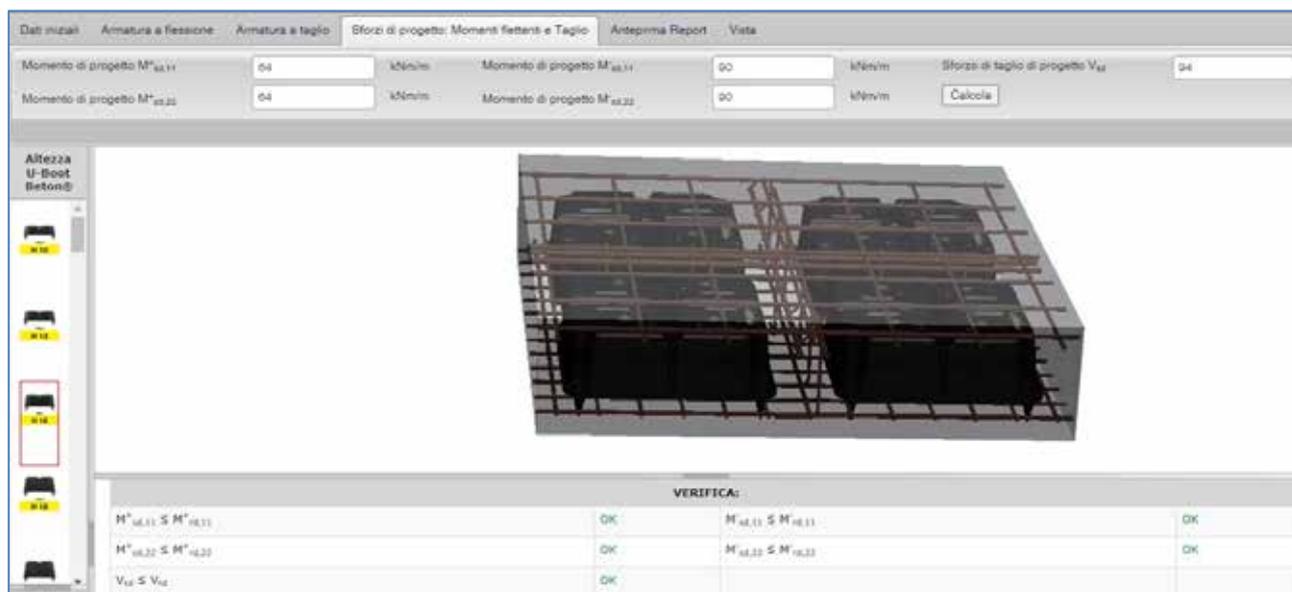
In questa finestra, similmente a quanto fatto per le armature a flessione, si vanno a inserire i rinforzi per il taglio. Il software permette l'inserimento di armature tipiche al taglio ovvero barre piegate con ganci ("spille") a cui può essere definito il passo e il diametro. Nella parte bassa, si ottiene l'output relativo ai valori di taglio resistente della sezione senza armatura al taglio ($V_{rd,c}$) e con specifica armatura ($V_{rd,s}$).

Passo armatura a taglio: S 200 mm Diametro armatura a Taglio: Ø 10 mm

Armatura a taglio

Nella barra in alto, si va a definire il passo dell'armatura, ovvero la distanza in mm tra due barre successive e il diametro delle stesse.

Una volta inserite le armature a flessione e taglio per le zone alleggerite si procede all'inserimento delle sollecitazioni ricavate dalla modellazione della piastra e si procede alla verifica della sezione:



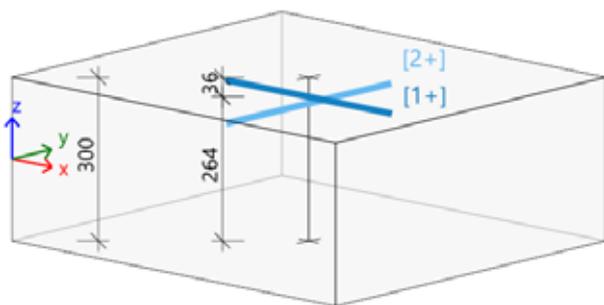
U-Boot® Beton Design Software - fase 4: verifica di sezione.

Nella quarta scheda, dopo aver settato le armature nei passaggi precedenti, si va a confrontare le azioni sollecitanti con i valori resistenti al fine di verificare se le armature previste sono sufficienti o meno. I valori sollecitanti da considerare in questo caso, saranno i massimi valori relativi alle sole zone alleggerite.

8. VERIFICA DELLE ZONE PIENE (FUNGHI)

Per quanto riguarda la flessione massima negativa e punzonamento, essendo all'interno della zona piena si opera come per una piastra piena.

Plate S1	h=300 mm
EC EN 1992-1-1:2004/AC:2008	Node 1492/1491 [X= 25,318, Y=1,452, Z=0,000 m]



Concrete: C25/30(EN1992-2)

Bi-linear stress-strain diagram

Exposure class: XC3

Cover: 30 mm

Reinforcement: B 450C

Bi-linear with an inclined top branch

[1+] $\phi 12,0/200 + \phi 18,0/100$

[2+] $\phi 12,0/200 + \phi 18,0/100$

Design width: $b = 1.0 \text{ m}$

Longitudinal reinforcement

Designed reinforcement layers (in direction from the member local x axis):

	Basic		Additional		α [°]	$A_{s,min}$ [mm ²]	$A_{s,ult}$ [mm ²]	$\Delta A_{s,ser}$ [mm ²]	$A_{s,req}$ [mm ²]	$A_{s,prov}$ [mm ²]	$A_{s,max}$ [mm ²]	$s_{min}(cl)$ [mm]	s_{max} [mm]	Status
	User	Auto	User	Auto										
[1+]	$\phi 12,0/200$	$\phi 18,0/100$	---	---	0,0	397	2686	---	2686	3110	12000	57	67	OK
[2+]	$\phi 12,0/200$	$\phi 18,0/100$	---	---	90,0	379	2847	---	2847	3110	12000	≥ 37	≤ 400	OK
									0,90%	1,04%		≥ 37	≤ 400	
									0,95%	1,04%		≥ 37	≤ 400	

Ultimate limit state (ULS)

Bending with/without axial force (in direction of the reinforcement layers)

Case	α_s [°]	$d_{s,ref}$ [mm]	m_{Ed} [kNm]	n_{Ed} [kN]	d [mm]	x [mm]	z [mm]	F_{Ed} [kN]	F_{sd} [kN]	$A_{s,ult}$ [mm ²]
[1+] ULS-Set B (auto)/2	0,0	$\phi 12$	-219,85	251,48	264,0	64,0	239,1	-799,5	1051,0	2686
[2+] ULS-Set B (auto)/2	90,0	$\phi 12$	-219,85	251,48	252,0	69,0	225,2	-862,5	1113,9	2847

ULS-Set B (auto)/2	1.30*LC1+1.30*LC2+1.50*LC3
--------------------	----------------------------

Figura 8 Verifica a flessione momento negativo zona piena

Verifica punzonamento:

Punching case	Punching shape	$UC_{vRd,max}$ [-]	$UC_{vRd,c}$ [-]	Shear reinforcement perimeters	$UC_{vRd,cs}$ [-]	$UC_{Asw,det}$ [-]	UC [-] Check
Internal column	Rectangle (400;400)	0,75	1,27	3x 11Ø10(radial) 120+2x140=400	0,85	0,93	0,93 OK, BUT

Calcestruzzo:

Punching case β [-]	Punching shape	V_{Ed} [kN] ΔV_{Ed} [kN]	Plate h [mm]	Material f_{cd} [MPa]	d_{eff} [mm] ρ_l [%]	u_0 [m] u_1 [m]	$V_{Ed,u0}$ [MPa] $V_{Ed,u1}$ [MPa]	$V_{Rd,max}$ [MPa] $V_{Rd,c}$ [MPa]	$UC_{vRd,max}$ [-] $UC_{vRd,c}$ [-]
Internal column 1,15	Rectangle (400;400)	971,32 0,00	Ceiling 300,00	C25/30(EN1992-2) 16,67	258,00 1,21	1,600 4,842	2,71 0,89	3,60 0,70	0,75 1,27

Armatura:

Shear reinforcement perimeters	u_{out} [m] a_{out} [mm]	$s_{t,u1}$ [mm] $s_{t,out}$ [mm]	Control perimeters (distance/capacity)	Material $f_{ywd,ef}$ [MPa]	$A_{sw,req}$ [mm ²] $A_{sw1,min}$ [mm ²]	A_{sw} [mm ²] $A_{sw,tot}$ [mm ²]	$V_{Rd,cs}$ [MPa] $K_{max}V_{Rd,c}$ [MPa]	$UC_{vRd,cs}$ [-] $UC_{Asw,det}$ [-]
3x 11Ø10(radial) 120+2x140=400	6,165 728	374 374	516/85%	B 450C 314,5	528 31	864 2592	1,13 1,05	0,85 0,93

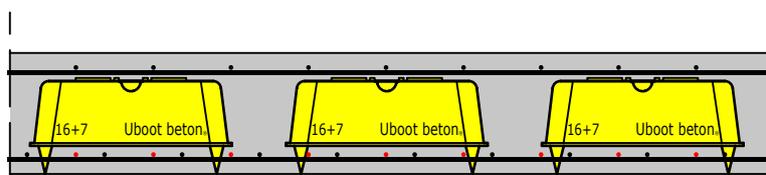
La soluzione alleggerita proposta risulta quindi verificata.

9. DETTAGLI D'ARMATURA TIPICI

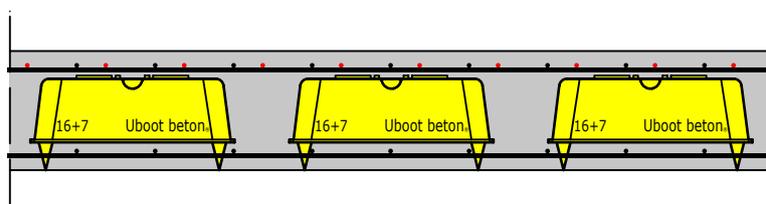
Terminata l'analisi strutturale, e definite le armature necessarie a soddisfare le verifiche a flessione, taglio e punzonamento, si devono riportare i dettagli esecutivi per la realizzazione in cantiere.

Nella definizione dei dettagli d'armatura delle zone alleggerite, si dovrà tenere in considerazione della presenza dei casseri in plastica e si vuole fornire di seguito alcuni accorgimenti e suggerimenti tipici da applicare in questa fase.

Armatura a flessione



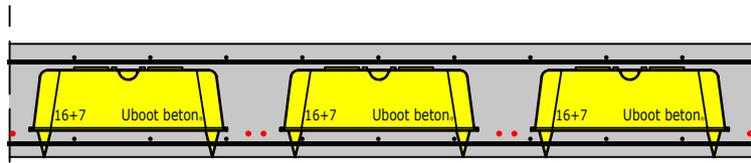
Dettaglio 1 - Armatura flessionale con integrazioni di pari diametro nella soletta inferiore



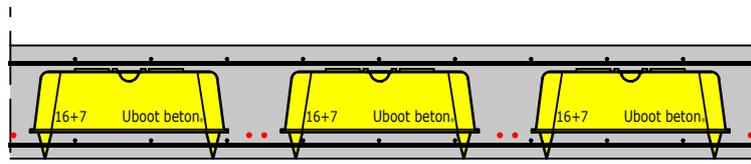
Dettaglio 2 - Armatura flessione con integrazioni di pari diametro nella soletta superiore

Nella definizione delle armature a flessione all'interno delle zone alleggerite con casseri U-Boot® Beton, è necessario porre particolare attenzione ai diametri delle barre per il rispetto del copriferro minimo e del ricoprimento delle barre.

Laddove l'armatura di base non sia sufficiente per garantire il soddisfacimento delle verifiche, sarà necessario posizionare le integrazioni, che a seconda del diametro delle barre, potranno essere posizionate o nelle solette inferiori e superiori (dettagli 1 e 2) oppure all'interno dei travetti (dettagli 3 e 4).

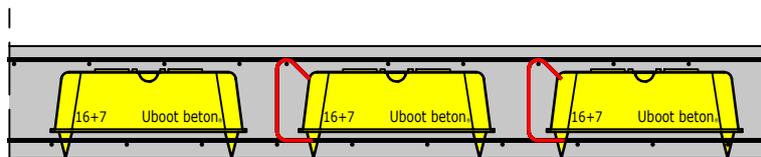


Dettaglio 3 - Armatura flessionale con integrazioni nei travetti

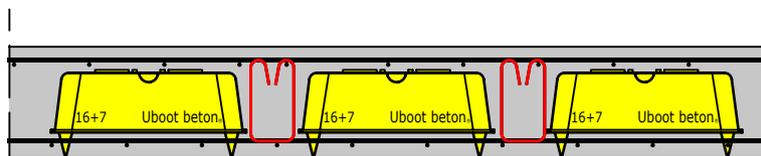


Dettaglio 4 - Armatura flessionale con integrazioni nei travetti

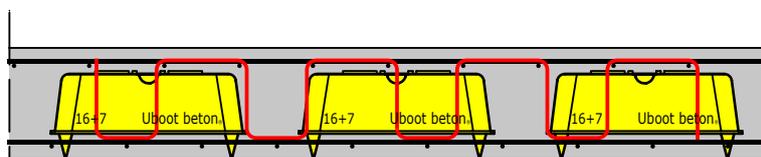
Armatura al taglio



Dettaglio 5 - Armatura a taglio con barre piegate ("spille")



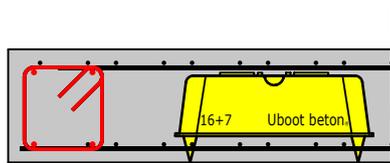
Dettaglio 6 - Armatura a taglio con staffe



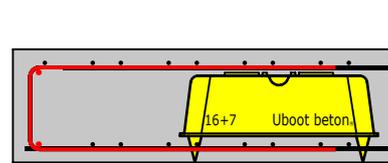
Dettaglio 6 - Armatura a taglio con barre piegate a greca

Nelle zone alleggerite dove si rende necessaria l'integrazione di specifiche armature per gli sforzi di taglio, si può procedere sostanzialmente in 3 modi. Il primo (Dettaglio 5) è quello di inserire delle spille nei travetti, quindi armature con 1 braccio a passo definito da calcolo. In alternativa si possono posizionare delle tipiche staffe (Dettaglio 6), legate all'armatura di base. Una terza possibilità è quella di utilizzare delle greche prelavate, che si possono appoggiare all'armatura di base superiore rendendo molto veloce questa fase in cantiere.

Cordoli e forometrie



Dettaglio 7 - Armatura di bordo: cordolo



Dettaglio 8 - Armatura di bordo: forchetta

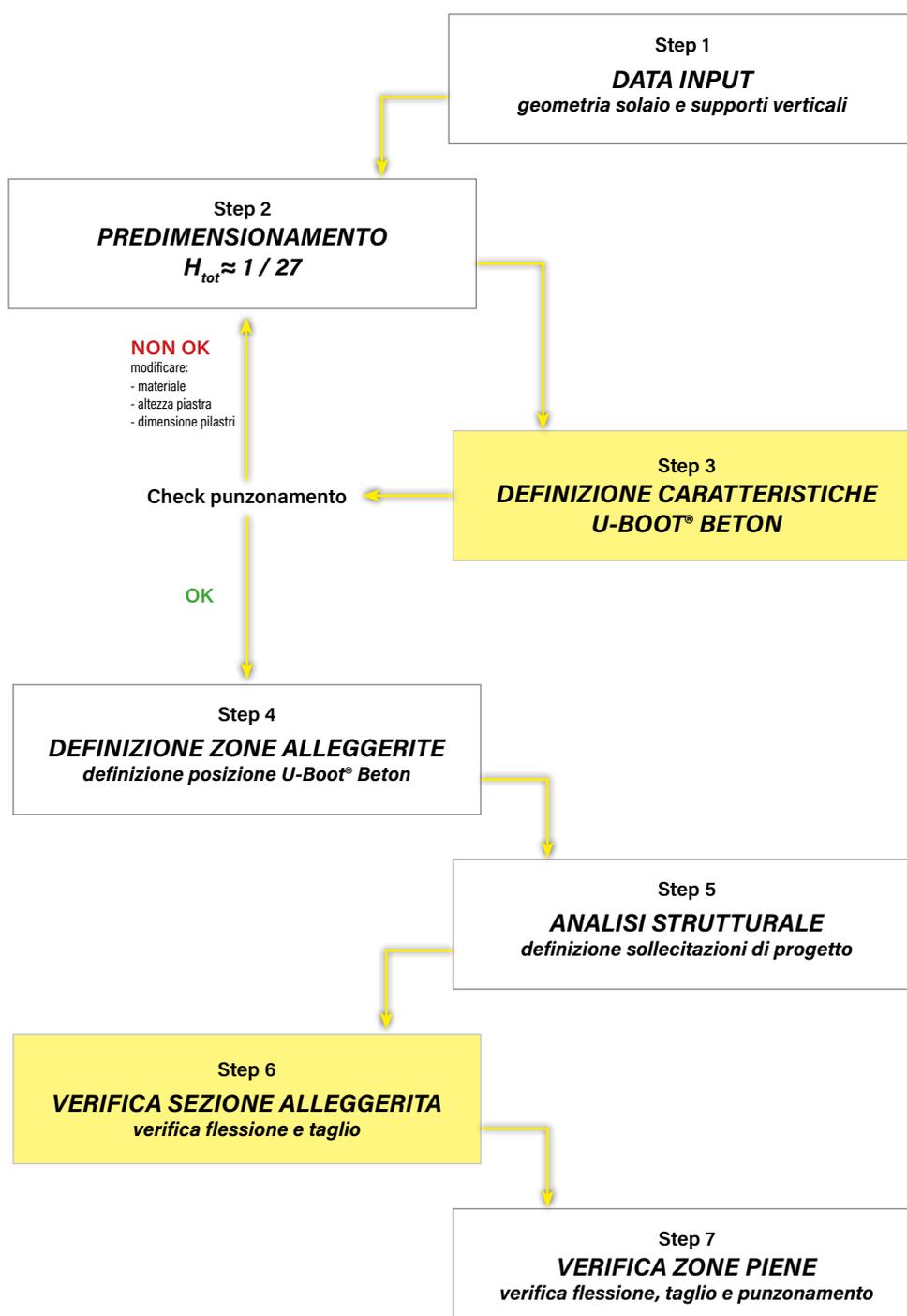
Nella progettazione e realizzazione di piastre, siano esse piene o alleggerite, un aspetto rilevante è quello delle armature per forometrie e cordoli. Dettagli tipici e comunemente utilizzati sono quelli relativi a staffe con correnti oppure a forcette a "C" con correnti.

CONCLUSIONI

L'uso delle piastre alleggerite con U-Boot® Beton non solo migliora le prestazioni strutturali, ma contribuisce anche a una costruzione più sostenibile ed economicamente vantaggiosa, rispondendo alle esigenze moderne di efficienza e rispetto ambientale.

Con questa guida si vuole restituire all'ampia platea di progettisti che vuole sfruttare i vantaggi di questa metodologia costruttiva, andando a definire i passi principali del progetto di predimensionamento e progettazione.

Per riassumere tutto il processo, si propone il seguente diagramma di flusso:



*le caselle in giallo prevedono l'utilizzo di U-Boot®
Beton Design Software



www.daliform.com



Tel. +39 0422 2083 - Fax +39 0422 800234
export@daliform.com - www.daliform.com
Via Postumia Centro, 49 - 31040
Gorgo al Monticano (TV) - Italy



Certified Management System UNI EN ISO 9001,
UNI EN ISO 14001, UNI EN ISO 45001, SA 8000

Partner of
GBC Italy

Rating di legalità: ★★+

