

Prima esercitazione progettuale

---

# Progetto di un solaio laterocementizio

Lezione del 27/10/2015:

---

Costruzione della distinta delle armature

## - Caratteristiche dei Materiali

Per la scelta delle caratteristiche dei materiali bisogna attenersi alle prescrizioni del D.M. 14.01.2008.

In particolari si consideri:

### - Calcestruzzo di classe C25/30

$$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 30 \times 0.83 = 24.90 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck} \cdot 0.85}{\gamma_c} = \frac{24.90 \cdot 0.85}{1.5} = 14.11 \text{ MPa}$$

### - Acciaio B450C

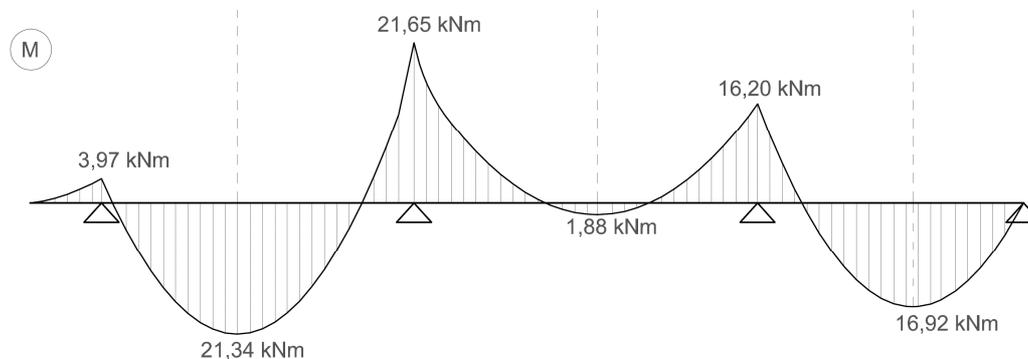
$$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{sd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1.15} = 391.30 \text{ MPa}$$

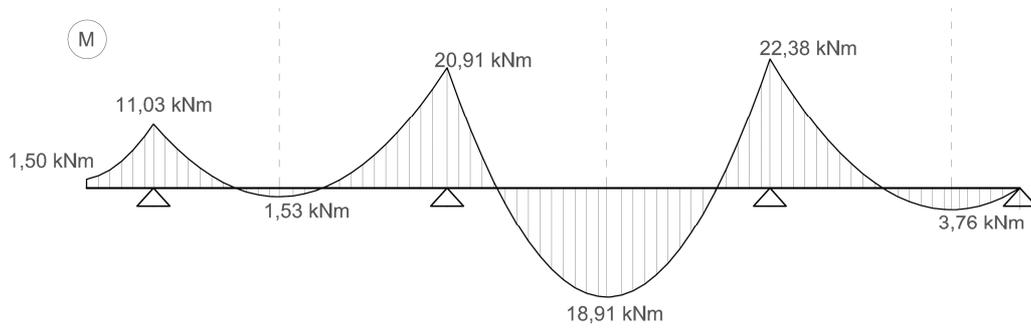
## - Involuppo dei momenti e del taglio allo SLU

Al termine della fase di analisi delle sollecitazioni si ottengono i diagrammi del momento per le 4 combinazioni di carico allo SLU e, dopo gli aggiustamenti, il diagramma di involuppo del momento.

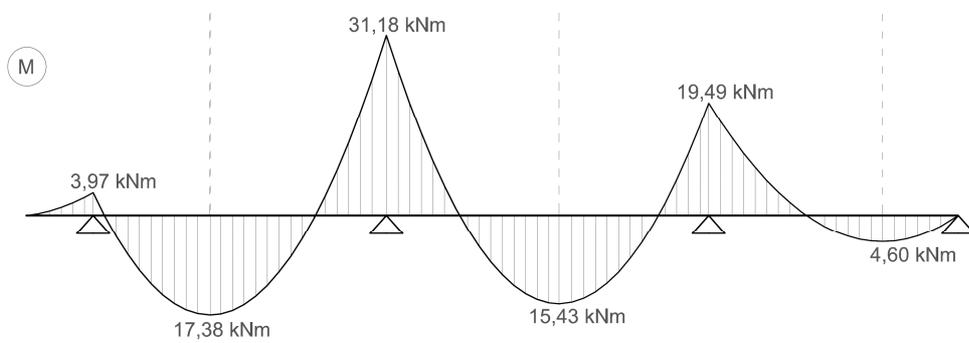
### Combinazione 1 SLU



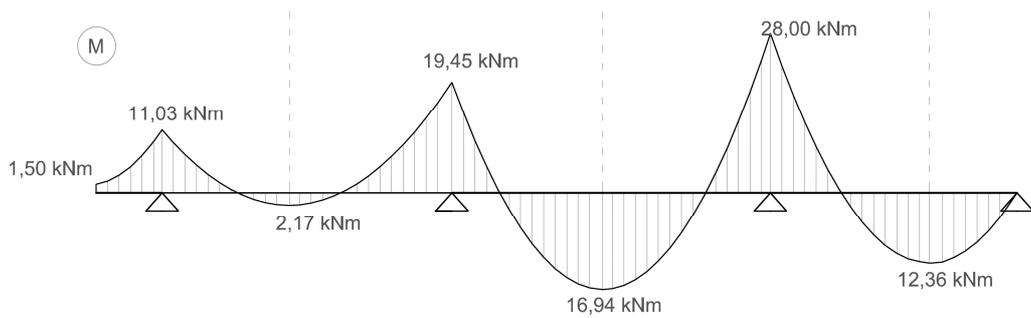
**Combinazione 2 SLU**



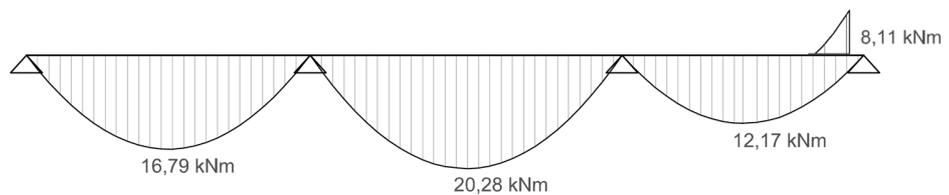
**Combinazione 3 SLU**



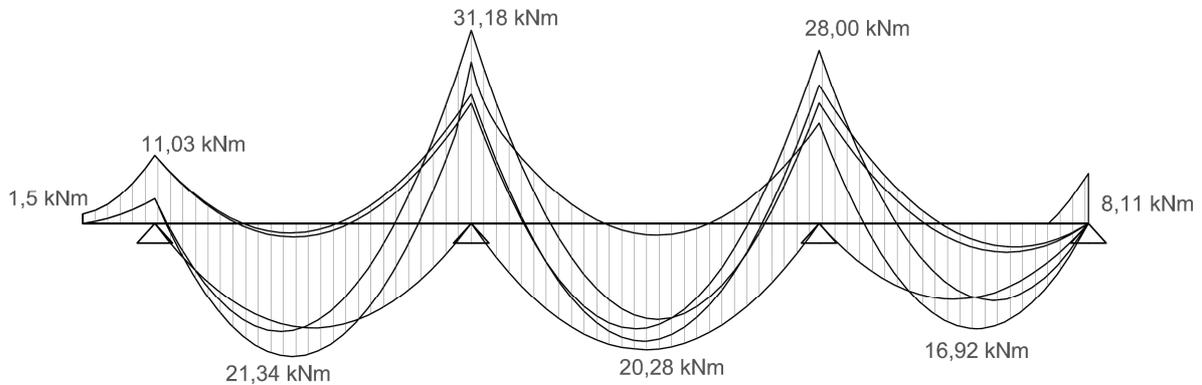
**Combinazione 4 SLU**



**Aggiustamenti**



**Involuppo del Momento Flettente**

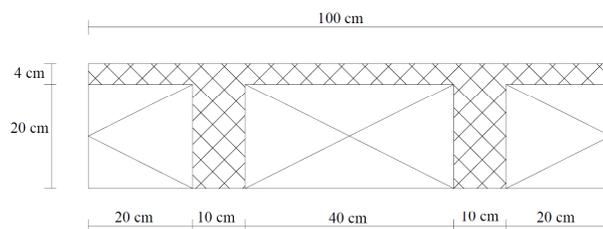


**- Progetto delle armature a flessione**

Il progetto delle armature a flessione parte dalla determinazione dell'armatura minima necessaria nelle sezioni caratterizzate dal massimo momento flettente.

Come è possibile osservare dal diagramma tale situazione si verifica nelle sezioni di appoggio e in prossimità della mezzeria delle campate.

Nel progettare le armature occorre tener ben presente la sezione reagente del solaio che assume dimensioni differenti in funzione del segno della sollecitazione così come di seguito riportato:



Si osserva quindi che la base della sezione assume valore 100 cm nel caso di momento positivo (si assume l'ipotesi che l'asse neutro abbia una profondità minore dello spessore della soletta) e 20 cm quando il momento è negativo.

Si può procedere quindi a progettare le armature con un metodo semplificato di tipo tabellare.

Per facilitare le operazioni da eseguire possibile quindi passare alla costruzione della seguente tabella:

Sezione	Momento [kNm]	Base [cm]	$r_u$		
Appoggio A	-11.03	20	...		
Campata AB	21.34	100	...		
	-	20	...	Eventuale Momento negativo in campata	
Appoggio B	-31.18	20	...		
Campata BC	20.28	100	...		
	-	20	...		
Appoggio C	-28.00	20	...		
Campata CD	16.92	100	...		
	-	20	...		
Appoggio D	-8.11	20	...		

Il parametro  $r_u$  si determina come segue:

$$r_u = \frac{h}{\sqrt{M_{sd}/b}}$$

dove  $M_{sd}$  è il momento sollecitante espresso in kgcm,  $b$  è la base di calcolo in cm della sezione e  $h$  l'altezza totale del solaio (nel caso in esame 24 cm).

Sezione	Momento [kNm]	Base [cm]	$r_u$	$\xi$	$\zeta$
Appoggio A	-11.03	20	0.3232		
Campata AB	21.34	100	0.5195		
	-	20	...		
Appoggio B	-31.18	20	0.1922		
Campata BC	20.28	100	0.5329		
	-	20	...		
Appoggio C	-28.00	20	0.2028		
Campata CD	16.92	100	0.5835		
	-	20	...		
Appoggio D	-8.11	20	0.3769		

I valori dei due parametri possono desumersi da tabella

$\xi = y_c/h$	$f_{cd}' = 132 \text{ daN/cm}^2$		$f_{sd} = 3304 - 3826 \text{ daN/cm}^2$		$d'/h = 0.10$					
	$\rho = 0$		$\rho = 0.25$		$\rho = 0.50$		$\rho = 0.75$		$\rho = 1.00$	
	$r_u$	$\zeta$	$r_u$	$\zeta$	$r_u$	$\zeta$	$r_u$	$\zeta$	$r_u$	$\zeta$
0.100	0.4204	0.8645	0.4204	0.8645	0.4204	0.8645	0.4204	0.8645	0.4204	0.8645
0.110	0.3865	0.8606	0.3829	0.8593	0.3792	0.8581	0.3754	0.8569	0.3717	0.8557
0.120	0.3586	0.8566	0.3517	0.8542	0.3446	0.8519	0.3373	0.8496	0.3298	0.8473
0.130	0.3353	0.8524	0.3254	0.8492	0.3151	0.8459	0.3044	0.8427	0.2931	0.8394
0.140	0.3158	0.8482	0.3031	0.8441	0.2896	0.8401	0.2753	0.8361	0.2601	0.8321
0.150	0.2993	0.8438	0.2838	0.8391	0.2672	0.8345	0.2493	0.8298	0.2298	0.8252
0.160	0.2853	0.8392	0.2671	0.8341	0.2473	0.8291	0.2255	0.8240	0.2011	0.8190
0.170	0.2732	0.8345	0.2524	0.8292	0.2293	0.8240	0.2033	0.8187	0.1730	0.8135
0.180	0.2627	0.8296	0.2392	0.8244	0.2127	0.8192	0.1819	0.8139	0.1443	0.8087
0.190	0.2535	0.8247	0.2272	0.8198	0.1971	0.8148	0.1609	0.8098	0.1131	0.8048
0.200	0.2452	0.8198	0.2162	0.8153	0.1822	0.8108	0.1397	0.8063	0.0753	0.8018
0.209	0.2387	0.8154	0.2072	0.8115	0.1696	0.8077	0.1202	0.8038	0	0
0.210	0.2379	0.8148	0.2065	0.8111	0.1690	0.8074	0.1197	0.8037	0	0
0.220	0.2312	0.8097	0.2005	0.8073	0.1640	0.8049	0.1161	0.8024	0	0
0.230	0.2252	0.8046	0.1951	0.8035	0.1594	0.8023	0.1128	0.8012	0	0
0.240	0.2205	0.8002	0.1910	0.8001	0.1559	0.8001	0.1103	0.8000	0	0
0.250	0.2166	0.7960	0.1875	0.7970	0.1530	0.7980	0.1081	0.7990	0	0
0.275	0.2079	0.7856	0.1796	0.7892	0.1463	0.7928	0.1032	0.7964	0	0
0.300	0.2004	0.7752	0.1728	0.7814	0.1406	0.7876	0.0990	0.7938	0	0
0.325	0.1938	0.7648	0.1669	0.7736	0.1355	0.7824	0.0953	0.7912	0	0
0.350	0.1881	0.7544	0.1616	0.7658	0.1310	0.7772	0.0920	0.7886	0	0
0.375	0.1829	0.7440	0.1570	0.7580	0.1270	0.7720	0.0890	0.7860	0	0
0.400	0.1784	0.7336	0.1528	0.7502	0.1234	0.7668	0.0863	0.7834	0	0
0.425	0.1743	0.7232	0.1490	0.7424	0.1201	0.7616	0.0839	0.7808	0	0
0.450	0.1706	0.7128	0.1456	0.7346	0.1171	0.7564	0.0816	0.7782	0	0
0.475	0.1673	0.7024	0.1424	0.7268	0.1144	0.7512	0.0796	0.7756	0	0
0.500	0.1643	0.6920	0.1396	0.7190	0.1119	0.7460	0.0777	0.7730	0	0
0.525	0.1615	0.6816	0.1370	0.7112	0.1096	0.7408	0.0760	0.7704	0	0
0.550	0.1590	0.6712	0.1345	0.7034	0.1074	0.7356	0.0744	0.7678	0	0
0.575	0.1568	0.6608	0.1323	0.6956	0.1054	0.7304	0.0728	0.7652	0	0
0.600	0.1547	0.6504	0.1303	0.6878	0.1036	0.7252	0.0714	0.7626	0	0
0.621	0.1531	0.6417	0.1287	0.6813	0.1021	0.7209	0.0703	0.7604	0	0

tra le tabelle

finali del Vol 1B

del testo del prof.

Faella occorre

scegliere quella

corrispondente a

$d'/d = 0.10$

(sezioni basse

come il solaio in

oggetto) e

$\rho = 0.00$

(semplice

armatura)

La scelta della tabella avviene considerando la resistenza del calcestruzzo  $f'_{cd}$  e quella dell'acciaio  $f_{sd}$  utilizzato nel calcolo. In questo caso non essendo disponibile una tabella per le esatte caratteristiche che si stanno utilizzando si sceglie la tabella con le caratteristiche dei materiali più prossime.

In tale tabella si entra con il valore di  $r_u$  e si leggono il corrispondenti valori di  $\xi$  e  $\zeta$ . Nel caso di valori intermedi di  $r_u$  si può procedere per interpolazione lineare.

$\xi = y_c/h$	$\rho = 0$		$\rho = 0.25$		$\rho = 0$
	$r_u$	$\zeta$	$r_u$	$\zeta$	$r_u$
0.100	0.4204	0.8645	0.4204	0.8645	0.4204
0.110	0.3865	0.8606	0.3829	0.8593	0.3792
0.120	0.3586	0.8566	0.3517	0.8542	0.3446
0.130	0.3353	0.8524	0.3254	0.8492	0.3151
0.140	0.3158	0.8482	0.3031	0.8441	0.2896
0.150	0.2993	0.8438	0.2838	0.8391	0.2672
0.160	0.2853	0.8392	0.2671	0.8341	0.2473
0.170	0.2732	0.8345	0.2524	0.8292	0.2293
0.180	0.2627	0.8296	0.2392	0.8244	0.2127

$r_u = 0.3232$

$$\xi = \xi^- + \left[ \frac{r_u - r_u^-}{r_u^+ - r_u^-} \cdot (\xi^+ - \xi^-) \right] = 0.140 + \left[ \frac{0.3232 - 0.3158}{0.3353 - 0.3158} \cdot (0.130 - 0.140) \right] = 0.1362$$

$$\zeta = \zeta^- + \left[ \frac{r_u - r_u^-}{r_u^+ - r_u^-} \cdot (\zeta^+ - \zeta^-) \right] = 0.8482 + \left[ \frac{0.3232 - 0.3158}{0.3353 - 0.3158} \cdot (0.8524 - 0.8482) \right] = 0.8498$$

Sezione	Momento [kNm]	Base [cm]	$r_u$	$\xi$	$\zeta$
Appoggio A	-11.03	20	0.3232	0.1362	0.8498
Campata AB	21.34	100	0.5195	0.1000	0.900
	-	20	...	...	...
Appoggio B	-31.18	20	0.1922	0.3200	0.7640
Campata BC	20.28	100	0.5329	0.1000	0.900
	-	20	...	...	...
Appoggio C	-28.00	20	0.2028	0.290	0.7800
Campata CD	16.92	100	0.5835	0.100	0.900
	-	20	...	...	...
Appoggio D	-8.11	20	0.3769	0.115	0.8590

per valori di  $r_u$  eccessivamente grandi si utilizza  $\xi = 0.100$  e  $\zeta = 0.900$ .

Determinati quindi i valori di  $\zeta$  è possibile calcolare l'armatura minima da inserire nelle sezioni significative come segue:

$$A_s = \frac{M_{Sd}}{\zeta \cdot h \cdot f_{sd}} = \frac{11030 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{0.8498 \cdot 240 \text{ mm} \cdot 391.30 \text{ N/mm}^2} = 138.35 \text{ mm}^2 = 1.38 \text{ cm}^2 \text{ (esempio di calcolo sezione A)}$$

Sezione	$A_s$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_{s, \text{travetto}}$ [cm <sup>2</sup> ]	Armatura	$A_{s, \text{travetto Effettiva}}$ [cm <sup>2</sup> ]
Appoggio A	1.38	0.69	1 $\emptyset$ 12	1.13
Campata AB	3.12	1.56	2 $\emptyset$ 12	2.26
	-	...		
Appoggio B	6.20	3.10	3 $\emptyset$ 12	3.39
Campata BC	3.39	1.70	2 $\emptyset$ 12	2.26
	-	...		
Appoggio C	5.41	2.71	3 $\emptyset$ 12	3.39
Campata CD	2.37	1.19	2 $\emptyset$ 12	2.26
	-	...		
Appoggio D	1.24	0.62	1 $\emptyset$ 12	1.13

Armatura per la fascia di 1 metro (nelle sezioni AB, B, BC .... il valore  $p$  stato inserito a puro scopo si esempio e non scaturisce dai calcoli precedenti)

Nella fascia di 1 metro sono presenti 2 travetti, l'armatura per singolo travetto è pari a  $A_s / 2$ .

L'armatura di calcolo deve essere equiparata all'area dei tondini di acciaio disponibili in commercio

L'area effettivamente inserita deve essere maggiore dell'area richiesta dal singolo travetto.

#### Regole per la scelta dei diametri:

- è preferibile adottare tondini dello stesso diametro (o al massimo due diametri diversi) a scelta tra  $\emptyset 10$ ,  $\emptyset 12$ ,  $\emptyset 14$  (si consiglia di utilizzare combinazioni di  $\emptyset 10$  e  $\emptyset 14$ , oppure solo  $\emptyset 12$ );
- il numero massimo di tondini è di 2 in campata e 3 in appoggio;
- è buona norma prevedere sempre almeno 2 tondini nelle sezioni di massima sollecitazione.

## - Tracciamento della distinta delle armature

### DISTINTA DELLE ARMATURE

A partire dalle armature progettate nelle sezioni significative del solco, bisogna ora trovarne una disposizione tale da soddisfare le verifiche in tutte le sezioni.

Si tratta, dunque, di una ulteriore - l'ultima - operazione di progetto nella quale bisogna decidere dimensioni e disposizione dell'armatura lungo l'asse ~~del solco~~ dei travetti del solaio.

Il procedimento sarà condotto con riferimento al momento resistente  $M_{rd}$  della sezione e bisognerà che l'armatura sia disposta in maniera che risulti

$$|M_{rd}| \geq |M_{sd}|$$

per ogni sezione del solaio.

Il momento sollecitante  $M_{sd}$  è noto sezione per sezione sulla base dell'involuppo delle sollecitazioni.

Quanto al momento resistente  $M_{rd}$  (allo S.L.U.) esso dipende dalle caratteristiche della sezione e da quelle dell'armatura. ~~Per questo~~  
In fase di progetto, non avendo ancora

deciso quale sia l'armatura che sarà disposta sezione per sezione, si condurranno valutazioni semplificate del momento resistente  $M_{Rd}$  riferendosi sempre a sezioni semplicemente armate. Allo stesso modo, in maniera semplificata (ed a vantaggio di sicurezza), si trascura la presenza di fasce piene e/o semipiene. In questo modo è possibile calcolare il momento resistente delle sezioni - sostanzialmente rettangolari - in funzione delle armature che vi si trovano. Una valutazione semplificata del momento resistente allo S.L.U. è la seguente

$$M_{Rd} = 0.85 \cdot h \cdot f_{cd} \cdot A_s \quad (1)$$

nella quale cioè si è posto  $\xi = 0.85$  a prescindere dalla profondità dell'asse neutro  $\xi$ . Dalla (1) si può trarre una valutazione del momento resistente con esclusivo riferimento all'armatura; essendo la (1) una ~~relazione~~ relazione LINEARE rispetto ad  $A_s$ , ha senso pensare che la resistenza flessionale di una certa sezione si ottiene sommando i contributi dovuti ai diversi tonnellaggi di armatura.

Per ognuna delle sezioni significative

allora, è possibile valutare il contributo a  $M_{Rd}$  fornito da ognuno dei tondini.

I valori così ottenuti possono essere sommati a partire dal seguente valore

numerico

$$M_{Rd} = 0.85 \cdot 260 \cdot 391 \cdot 2 \cdot 113 = \text{Nmm}$$

altezza solaio 26

area di  $1\phi 12$  nel travetto

$$M_{Rd} = 19.53 \text{ KNm}$$

per 2 perchè in il momento è calcolato per la fascia di 1 metro dove ci sono due travetti

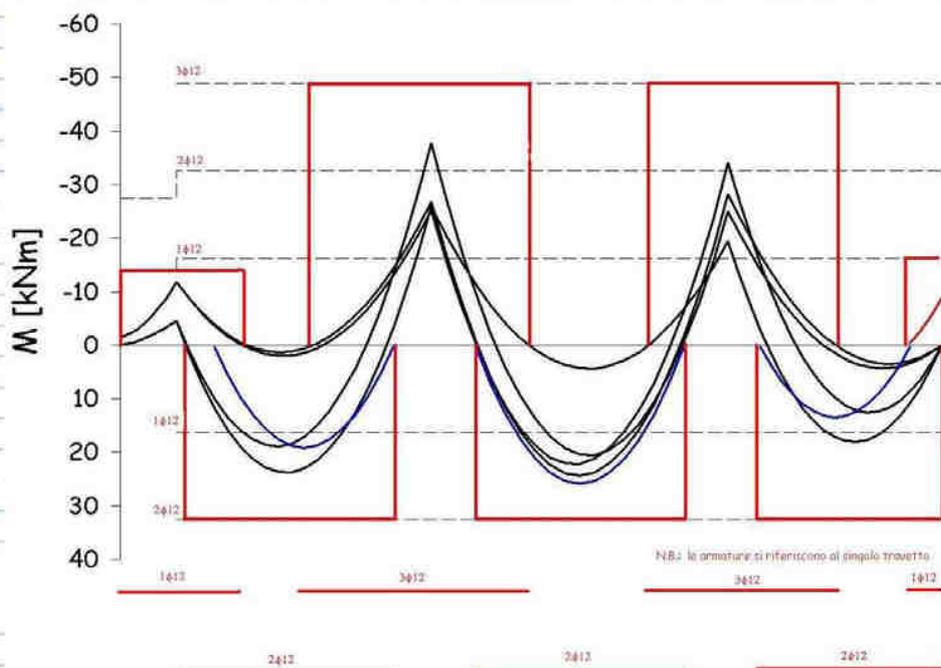
che rappresenta il momento resistente di una sezione di altezza  $h=26$  cm armata con  $1\phi 12$  per travetto (dunque  $A_s = 2 \cdot 1,13 \text{ cm}^2$ )

Attesa la linearità della (1), il momento resistente  $M_{Rd}$  allo S.L.U. ~~si può~~ della sezione si può ottenere - in maniera ragionevolmente approssimata - moltiplicando il ~~termine~~  $M_{Rd}^{1\phi 12}$  per i sommando il valore  $M_{Rd}^{1\phi 12}$  tante volte quanti sono i tondini calcolati nella sezione di riferimento.

Ovviamente, per lo sbalzo tale valore sarà il seguente

$$M_{Rd, sb} = 0.85 \cdot 220 \cdot 391 \cdot 2 \cdot 113 = 16.53 \text{ KNm}$$

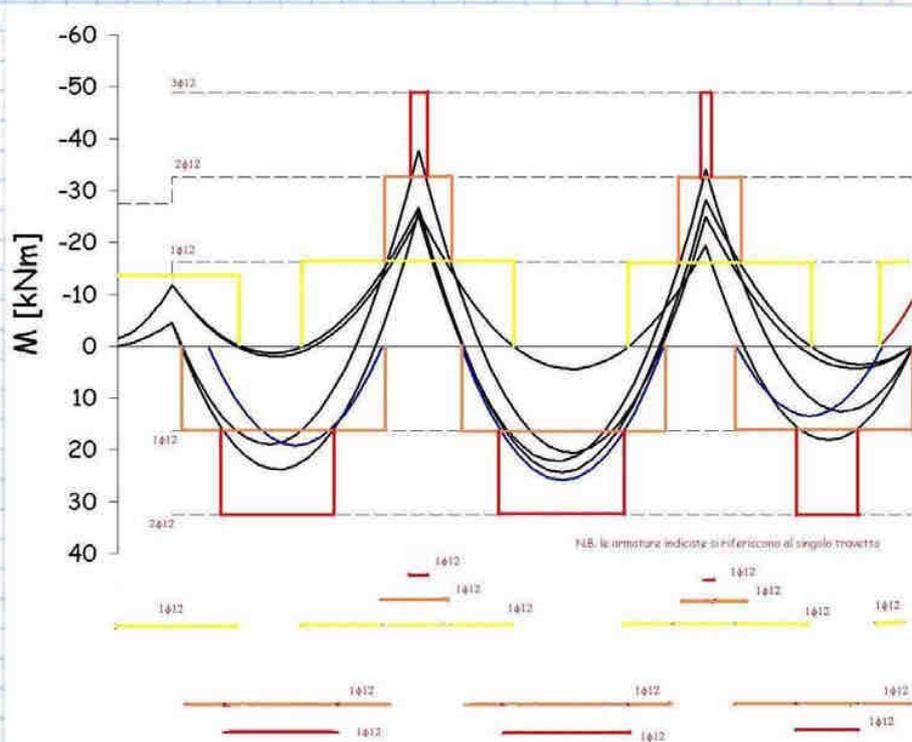
Avendo progettato l'armatura per tutte le sezioni significative della campata e degli appoggi, la più semplice disposizione delle armature si ottiene estendendo ~~le~~ i fondoni calcolati in campata lungo tutto il tratto a momento positivo e tutti i fondoni calcolati in corrispondenza dell'appoggio per il tratto in cui il momento rimane negativo.



Operando in questo modo è garantito il soddisfacimento della disuguaglianza

$$|M_{sd}| \leq |M_{rd}|$$

che rappresenta la verifica allo stato SLS per flessione del solaio. Tuttavia questa soluzione può essere, in linea di principio, migliorata riducendo l'estensione dei fondoni e rendendo più "aderenti" il diagramma dei momenti resistenti a quello dei momenti sollecitanti.



Δ partire da questa soluzione è possibile ottenere quella finale osservando le seguenti ~~regole~~ "regole" derivanti da limitazioni normative o da esigenze pratiche:

- in ogni campata deve essere presente almeno un fondino (la normativa prevede una armatura minima pari a  $0.07 H \text{ cm}^2$  al metro);  $0.07 \times 26 \text{ cm} = 1.82 \text{ cm}^2$  (nella fascia di 1 metro) =  $0.91 \text{ cm}^2$  a travetto
- dove è possibile, ~~si~~ si possono avere fondini posti nella parte superiore e quelli presenti nella parte inferiore.

In questo caso si dice che il fondo è "SAGOMATO"



- vanno di norma eseguite al massimo due sagomature.
- a partire dalla sezione di interruzione tonica del fondino bisogna prevedere una lunghezza di ancoraggio dello stesso che può essere assunta come segue

$$L_d = \begin{cases} 35\phi & \text{ancoraggio in zona compressa} \\ 70\phi & \text{ancoraggio in zona tesa} \end{cases}$$

- le sovrapposizioni tra fondini possono

esser dimensionate come gli ancoraggi.  
 Applicando tali "principi" si ottiene la  
 seguente soluzione cui corrisponde il  
~~una~~ diagramma approssimato dei  
 momenti resistenti allo SLU rappresentato  
 nella figura.

