

Verifica e Progetto armatura di un soffitto latero-cementizio  
 (Esercitazione 7/11/05)

Una procedura schematica di progetto dell'armatura dei travetti di un soffitto in latero-cemento prevede due passi:

- calcolo dei tondi necessari nelle sezioni critiche;
- disposizione pratica dei tondi d'armatura;

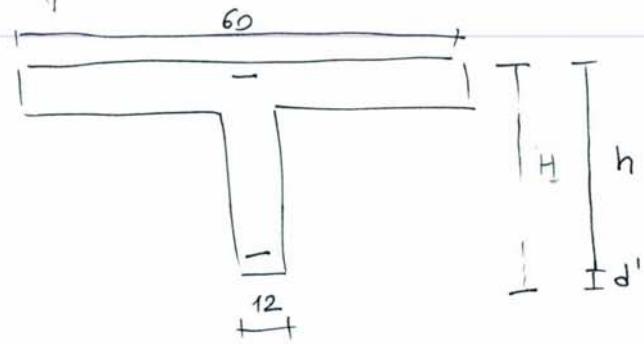
Occuperemo della prima fase, supponendo di aver effettuato l'analisi dei carichi per una fascia di 1,2 metri di soffitto, cioè per una sezione che contiene due travetti. Si intende sottolineare, dunque, come l'armatura calcolata andrà divisa per due, riferendosi al singolo travetto.

Il calcolo che faremo sarà condotto nell'ambito del metodo delle "tensioni ammissibili", in base al quale deve risoltare:

$$\begin{cases} \sigma_{c,\max} \leq \bar{\sigma}_c \\ \sigma_{s,\max} \leq \bar{\sigma}_s \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{il materiale considerato sarà} \\ \text{calcestruzzo R}_{ck} 250 : \bar{\sigma}_c = 60 + \frac{250-150}{4} = \\ = 85 \text{ Kg/cm}^2 \end{array}$$

$$\text{acciaio FeB 38K} : \bar{\sigma}_s = 2200 \text{ Kg/cm}^2$$

La sezione resistente del soffitto, in questa fase, è già stata predimensionata, utilizzando la relazione  $H \geq L_{\max}/25$ . Tale disposizione è pensata per limitare le deformazioni del soffitto, e "come", "generalmente", anche le specifiche di resistenza.

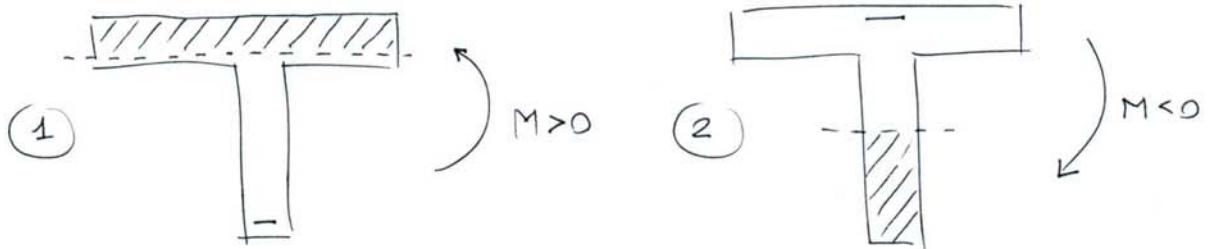


Supponiamo, quindi,  
di avere noto:

$$H, h, d'$$

(1)

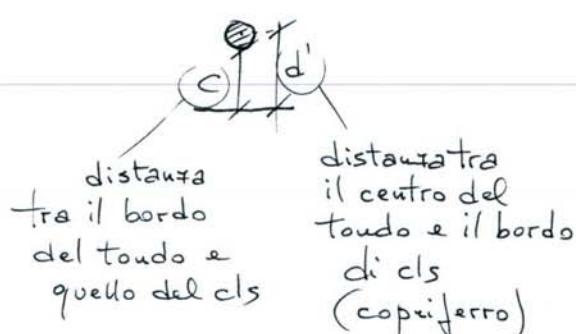
Analizziamo il comportamento della sezione nel caso di momento positivo (fibre tese inferiori) e negativo (fibre tese superiori)



Nel caso (1) l'asse neutro può tagliare sia l'ala che l'anima della sezione, nella prima eventualità meccanicamente la sezione resistente si comporta come fossa rettangolare di base  $b = 60 \text{ cm}$ . Nella seconda eventualità, a rigore, la sezione non è più rettangolare, si intende la sezione reagente, seppure se ne discosta in maniera trascurabile fornendo la parte di anima reagente un contributo limitato all'inertzia.

Nel caso (2), invece, l'asse neutro taglia sempre l'anima, per cui la sezione è "meccanicamente" rettangolare, e differisce da quella precedente solo per il limitato valore della base.

Per quanto attiene al copriferro "d'" da considerare in fase di progetto, si consideri che la normativa prescrive:



$\left\{ \begin{array}{l} c \geq 0,8 \text{ cm} \\ c \geq 2 \text{ cm} \end{array} \right.$  nel caso di ambienti aggressivi  
 nel calcolo si utilizzerà questa prescrizione, utilizzando  
 $d' = 3 \text{ cm}$

(2)

Nello stato in cui ci troviamo si suppone di aver calcolato gli insiluppi delle diverse sollecitazioni  $M$  e  $T$ , per gli schemi di carico (4 in totale) che forniscono gli sforzi minimi e massimi. Si hanno a disposizione, dunque, diagrammi che sezione per sezione permettono di individuare momento massimo e minimo agente. Si individuano le cosiddette "sezioni critiche", in cui si hanno i massimi (campana) e minimi (appoggio) valori del momento e si procede al calcolo dell'armatura.

Per il calcolo dell'area dei tondi si utilizza la nota relazione

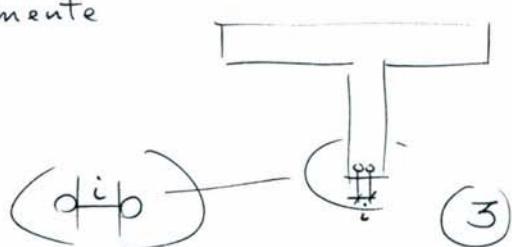
$$A_{s,\min} = \frac{M}{(\bar{\ell} h) \sigma_s}$$

è il braccio della coppia interna, che generalmente ha un valore molto vicino a  $0.9h$

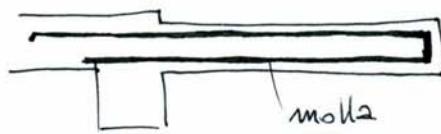
L'area così ottenuta va trasformata in "tondi d'armatura", con la regola pratica di utilizzare uno, massimo due, "registri" per l'armatura da rullo dal  $\phi 10$  al  $\phi 14$  (in casi particolari anche  $\phi 16$ ).

La disposizione delle armature così individuate deve tenere presente di una serie di regole pratiche:

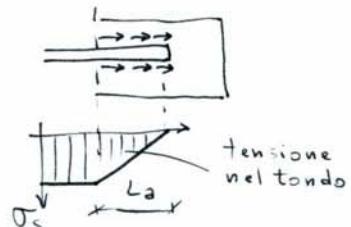
- la lunghezza del singolo tondo non eccede mai i 12 metri;
- le armature vanno preferibilmente ancorate in zona compressa, per cui le armature inferiori si ancorano sempre in corrispondenza degli appoggi
- la normativa prevede una distanza interferro "i" non inferiore ai 2 cm, il che equivale a non poter avere più di 3 ferri inferiormente nel travetto



- allo scopo di ottimizzare il numero di tondi è opportuno predisporre un certo numero di ferri "sagomati", ovvero che la sezione sia nella parte inferiore che superiore del travetto seguendo l'andamento dei momenti agenti. La sagomatura viene effettuata con un angolo di  $45^\circ$ .
- nello sbalzo si utilizza un ferro detto "molla" che lavora contemporaneamente sia inferiormente che superiormente



- i tondi vanno prolungati oltre la sezione in cui devono resistere per una lunghezza detta "di ancoraggio", pari a 30-55 volte il diametro del tondo stesso (tale lunghezza può salire a 50 volte il diametro nel caso di ancoraggio in zona tesa). Tale lunghezza aggiuntiva serve per trasmettere le tensioni dal tondo al calcestruzzo. La sagomatura migliora le condizioni di ancoraggio.



Una volta effettuata l'operazione di disposizione dei ferri di armatura, si dovrà procedere alla verifica delle sezioni che, chiaramente, non può limitarsi alle sezioni critiche, ma va compiuta su tutte le sezioni.

A talo scopo sono particolarmente utili i concetti di "momento resistente" del calcestruzzo, dell'armatura e dell'intera sezione

Def:

Si dice "momento resistente del c.s." in una sezione in.c.a., il momento che determina nel calcestruzzo tensioni uguali a quelle ammissibili del materiale.

$$M = M_{rc} \rightarrow \sigma_{c,max} = \bar{\sigma}_c$$

Analogamente si dice "momento resistente dell'armatura" in una sezione in.c.a., il momento che determina nell'armatura tensioni uguali a quelle ammissibili:

$$M = M_{rs} \rightarrow \sigma_{s,max} = \bar{\sigma}_s$$

Si dice momento resistente della sezione il minimo tra momento resistente del calcestruzzo e dell'armatura

$$M_r = \min(M_{rc}, M_{rs})$$

tale valore rappresenta il momento oltre cui la sezione risulta non verificata alle tensioni ammissibili.

Il calcolo dei momenti resistenti è operazione semplice, avendo a questo punto nota la geometria di tutte le sezioni.

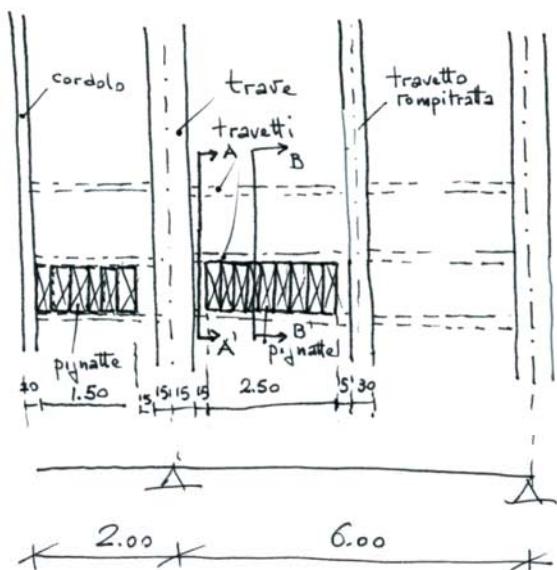
In particolare:

$$\boxed{M_{rc} = \frac{I_n \bar{\sigma}_c}{y_c}} \quad , \quad \boxed{M_{rs} = \frac{I_n \bar{\sigma}_s}{n(h-y_c)}}$$

Perché la geometria sia nota, non solo in termini di armatura presente, è opportuno in questa fase "organizzare" uno schema di carpenteria del solaio, ovvero organizzare numero e posizione dei laterizi per ogni campo di solaio

(5)

Per chiarire il problema si riporta un esempio in cui si ci limita ad una campata e allo sbalzo, di luce pari a 6 metri e 2 metri.



La prima considerazione da fare è che l'appoggio, rappresentativo di una trave, è considerato "puntiforme", mentre la trave ha una certa base di appoggio, che nell'esempio si considera pari a 30 cm. Tale base riduce la lunghezza effettiva del solaio a 5.70 m (si tolgono 15 cm da una parte

e 15 cm dall'altra). Per luci oltre i 5 metri, inoltre, è opportuno, al fine di limitare la flessibilità del solaio, aggiungere un travetto parallelo alle travi d'appoggio, detto "rompitratta", e posizionato al centro della campata. Per tale travetto si utilizza qui una base di 30 cm. Lo spazio per mettere le pignatte si riduce, così, a 5.40 m, di cui 2.70 m a sinistra del rompitratta ed altrettanti a destra.

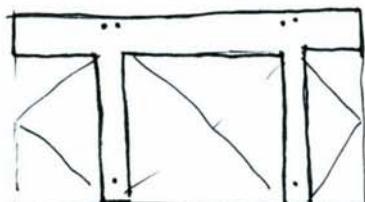
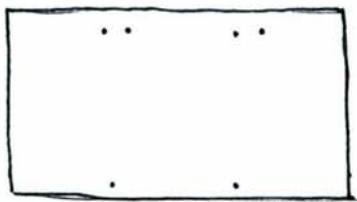
Considerando pignatte di dimensioni in pianta  $48 \times 25$  cm, ed essendo quest'ultima la direzione parallela ai travetti, in 2.70 m si riescono a mettere in opera 10 pignatte con un residuo di 20 cm che si possono distribuire tra i 2 lati del campo (lato trave e lato rompitratta). Nell'esempio 15 cm si mettono lato trave e 5 cm lato rompitratta.

Chiaramente a destra del travetto non è tratta la disposizione delle pifiatte è identica, come è identica tra ogni coppia di travetti (per direzza il disegno mostra un'unica fascia da laterali).

Passando allo sbalzo, oltre ai 15 cm relativi alla trave, c'è da togliere la larghezza di un cordolo in c.a. d'estremità che nel caso in esame è stata scelta sui 20 cm. Restano 1.65 m in cui si ponono disporre 6 pifiatte con un residuo di 15 cm che si aggiungono dalla parte della trave.

Nel caso del progetto del solaio assegnato come tema d'anno, il ragionamento ivi riportato dovrà essere eseguito per tutte le campate e gli sbalzi presenti.

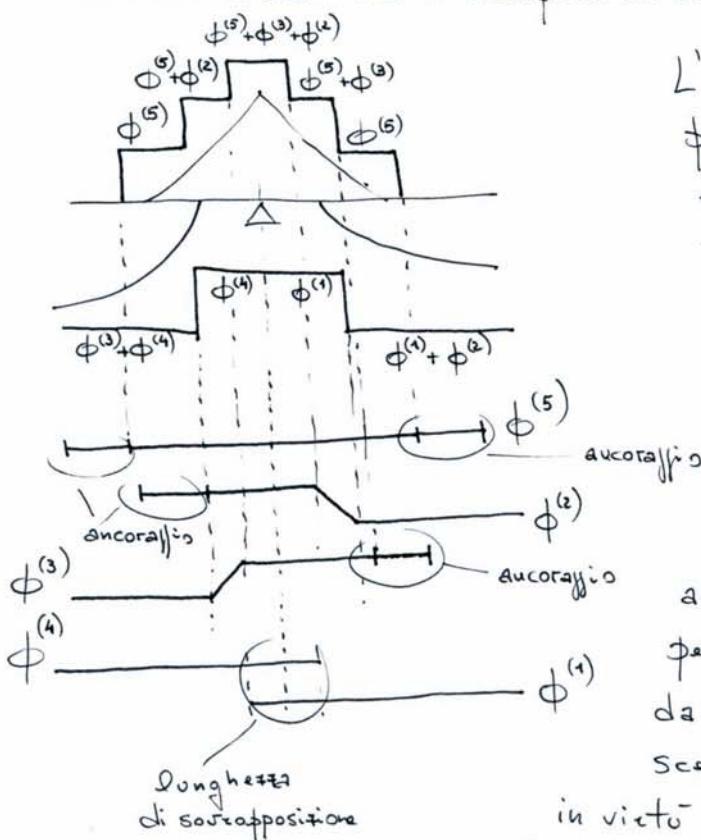
Una volta aver elaborato lo schema di carpenteria si rende conto che una fascia intorno all'one della trave, ovvero alla posizione degli appoggi nello schema statico, è costituita interamente da calcestruzzo. Con riferimento alla figura si riportano di seguito le due sezioni A-A' e B-B'



Il fatto che in corrispondenza degli appoggi la sezione sia piena è importante in termini di resistenza. Infatti in appoggio le fibre inferiori sono compresse, per cui la presenza di una maggiore quantità di calcestruzzo permette di incrementare sensibilmente il valore di  $M_{rc}$

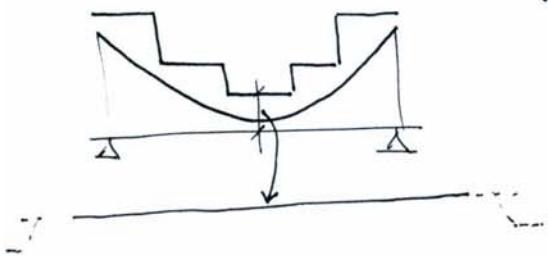
Dunque la geometria della sezione resistente non cambia solo al variare dell'armatura, ma anche tutto le sotto che si modifica la geometria della sezione di calcestruzzo reagente. Di ciò si deve tenere conto quando in fase di verifica si tracciano i diagrammi del momento resistente.

Operazione che merita un minimo di approfondimento è quella relativa alla scelta dei punti di sagomatura in corrispondenza degli appoggi. Supponiamo per ragionare di avere un appoggio in cui servono  $3\phi 12$  tra 2 campate in cui servono  $2\phi 12$



L'idea per sagomare le armature può essere la seguente. Un ferro sotto ovunque conviene sempre tenerlo, magari mettendo in opera 2 ferri diversi nelle 2 campate e ancorandoli con la giusta lunghezza di sovrapposizione in zona compresa. Sull'appoggio devi avere necessariamente 3 ferri per man mano che mi allontano da esso i ferri necessari scendono prima a 2, poi a 1, in virtù del fatto che diminuisce il momento agente. Dunque non tutti i ferri necessari devono coprire tutto il tratto con fibre tese superiori (ne basta uno, nel nostro caso  $\phi^{(5)}$ ), per cui essi possono essere arrestati e ancorati in punti tali da fare in modo che il momento resistente resti maggiore di quello agente.

Mentre il momento agente si riduce sulle fibre superiori allontanandosi dall'appoggio, esso aumenta sulle fibre inferiori. Dunque un ferro che "ha terminato il suo compito" nelle fibre superiori può essere utilmente sagomato e portato nelle fibre inferiori (tanti  $\phi^{(2)}$  e  $\phi^{(3)}$ ). La regola pratica vuole che i tondi si tengano in campata il più possibile prima di essere sagomati (infatti  $\phi^{(2)} \cdot \phi^{(3)}$  assorbono l'ultimo salto di momento resistente). I ferri  $\phi^{(2)} \cdot \phi^{(3)}$  hanno 3 funzioni, infatti assorbono: trazioni in campata, trazioni all'appoggio e taglio nel tratto sagomato (si capira' fra qualche lezione). Si noti che c'è uno sfasamento tra il punto in cui un sagomato lavora nelle fibre inferiori e quello in cui lavora nelle fibre superiori, questo perché nel tratto sagomato il ferro si considera non resistente. È possibile che vi siano campate in cui una condizione di carico determini fibre terze superiori dappertutto, in



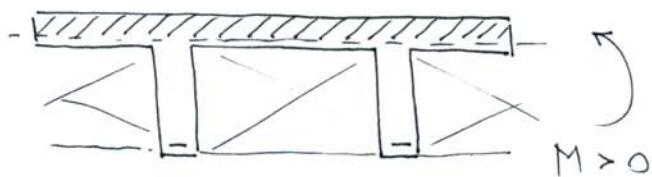
tal caso è necessario avere un ferro superiore su tutta la campata.

È evidente che l'utilizzo di un unico registro facilita la progettazione di ferri sagomati

(i diametri dei ferri alle fibre superiori e inferiori devono essere uguali)

Tornando al tracciamento dei momenti resistenti per effettuare la verifica, nota la distinta, l'operazione si può compiere individuando tutte le sezioni resistenti diverse (per geometria delle armature e del calcestruzzo resistente) e calcolando i valori di  $M_{rc}$  ed  $M_{rs}$ .

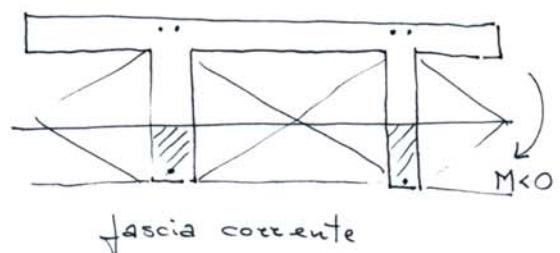
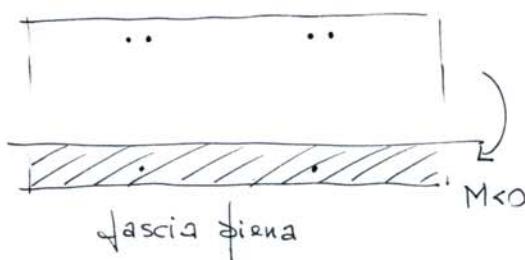
Nel caso di momento positivo, la sezione prevede fibre compresse superiori, li dove c'è abbondanza di calcestruzzo, escludoci la soletta.



Nelle condizioni di progetto utilizzate ciò corrisponde ad avere un  $M_{rc}^{(+)} > M_{rs}^{(+)}$  per cui si ci limiterà a

calcolare e rappresentare il momento resistente delle armature escludendo questo in tutte le sezioni coincidente con quello della sezione.

Al contrario nel caso di momento agente negativo, sono da distinguere i due casi di "fascia piena" in corrispondenza degli appoggi, e di "fascia corrente" in campata



Nel primo caso la situazione è analoga all'eventualità di momento positivo, essendo il calcestruzzo resistente con una base pari a 120 cm.

In tale situazione, dunque, il problema di resistenza riguarderà la sola armatura in zona tesa.

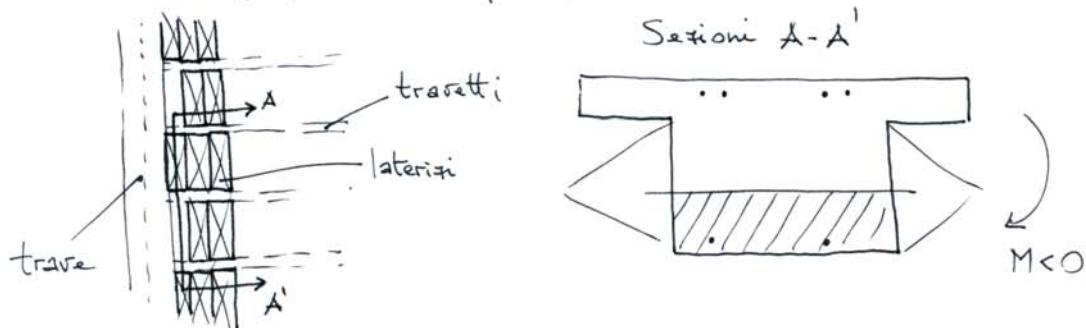
Nel secondo caso, invece, il calcestruzzo resistente ha una sezione resistente ridotta, per cui non è assolutamente detto che il momento resistente della sezione sia quello dell'armatura. Nel caso ciò non avvenga, ovvero sia:

$$M_r = \min(M_{rc}, M_{rs}) = M_{rc}$$

(10)

non è possibile intervenire sull'armatura per migliorare significativamente il momento resistente del calcestruzzo. Inoltre si sottolinea che la progettazione ha avuto come scopo il dimensionamento delle armature, nulla, dunque, si è fatto in relazione al contributo del calcestruzzo.

E' così probabile che nella sezione vicina all'appoggio in cui si passa da fascia piena a quella corrente, il valore del momento agente sia maggiore di quello resistente del calcestruzzo, e la corrispondente sezione resistente sia non sottoposta alle tensioni ammissibili. La soluzione a tale problema, nel caso si presentasse, è quello di mettere in opera una prima fascia di laterizi in cui il laterizio, rispetto alla fascia corrente, sia alternativamente presente e assente ("fascia semipiena")

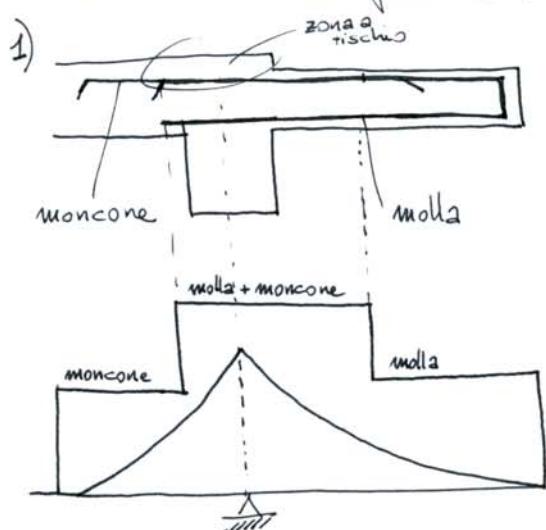


Ciò permette di incrementare la quantità di calcestruzzo in zona compresa, con relativo incremento del momento resistente del calcestruzzo. Chiaramente nel momento in cui il momento resistente della "fascia corrente" diventa maggiore del momento agente, la "fascia semipiena" teoricamente non serve più.

Vedremo successivamente che la sua estensione può essere incrementata ulteriormente per problemi legati al taglio.

Dunque il  $M_{rc}$  varia in maniera sostanziale quando varia la base della sezione reale, mentre subisce modifiche meno sensibili al variazione dell'armatura in compressione, e ancora meno al variazione dell'armatura in trazione.

Un ultimo tema su cui riflettere è relativo allo sbalzo. Spesso in corrispondenza di quest'ultimo la sezione viene ribassata. Si ha così altezze diverse tra le sezioni, l'armatura deve, perciò, risultare continua, cioè mantenere la stessa altezza utile. Già sappiamo che viene utilizzato un ferro detto "molla" che lavora anche nelle fibre

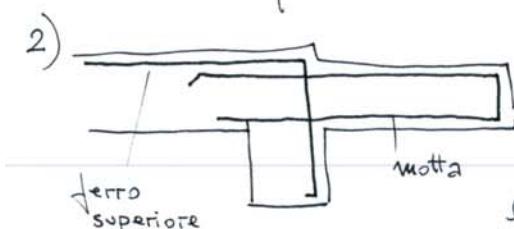


inferiori, cioè per due motivi principali:

1. "infibolare la massa di calcestruzzo"
2. prevedere una eventuale inversione delle fibre tese (sisma)

Sulle fibre superiori la sola molla in genere non è sufficiente, per cui si mette in opera anche uno o più monconi. Tale monconi quando entrano nelle campate (nel grafico a sinistra della trave) sono costretti a lavorare con un'altezza utile minore rispetto a quella potenziale, dovendo interessare anche lo sbalzo.

Questa è una possibile soluzione, se si vuole la maggiore altezza utile, si può piegare il ferro di campata nella trave. Quest'ultima soluzione è più complicata dal punto di vista tecnologico, ha però il vantaggio di portare l'armatura in una zona che invece nella soluzione



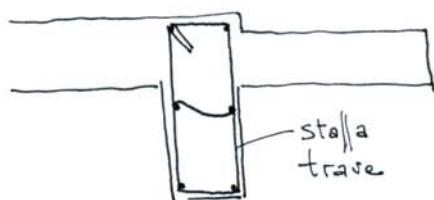
sfruttare

questa è una possibile soluzione, se si vuole la maggiore altezza utile, si può piegare il ferro di campata nella trave. Quest'ultima soluzione è più complicata dal punto di vista tecnologico, ha però il vantaggio di portare l'armatura in una zona che invece nella soluzione

1) resta non armata, con conseguente rischio di fessurazione.

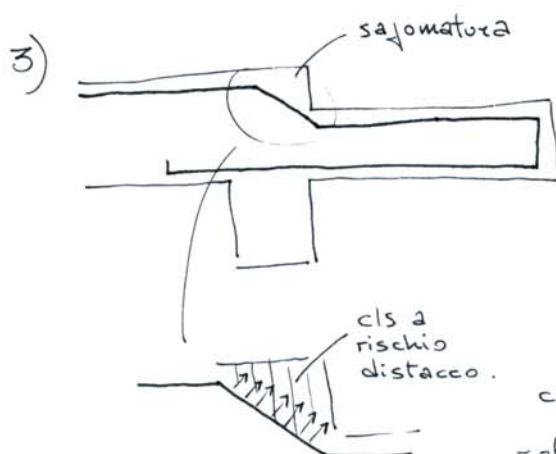
Ecco il motivo per il quale nel caso si scelga la soluzione  
 1) è buona norma inserire una barra longitudinale superiore  
 in modo da "cucire" la zona incrinata alla sezione reagente.

Si tenga presente che tutte queste considerazioni rientrano nell'  
 ambito delle "norme non scritte", dei procedimenti di tipo  
 cautelativo, tanto è vero che la zona in oggetto non è realmente  
 "squamata" per la presenza dell'armatura della trave, ed in



particolare della staffatura  
 della trave, che riduce  
 nella pratica l'importanza  
 del tema citato

Esiste, infine, una terza soluzione che si può considerare  
 intermedia fra le due finora viste e che cerca di sfruttare la  
 massima altezza utile da entrambi i lati. Essa prevede l'impiego



di tondi caratterizzati da una  
 certa sagomatura in corrispondenza  
 della variazione d'altezza della  
 sezione, in modo da ottimizzare la  
 resistenza. Questa soluzione  
 prevede una sagomatura con un angolo  
 ridotto che risolve i problemi dei  
 casi precedenti, essa, però, è caratteriz-  
 zata da un altro difetto.

L'armatura nella zona della sagomatura è tesa, essa tende a  
 sfilarsi dal calcestruzzo e per far ciò in corrispondenza della  
 sagomatura agisce con una pressione laterale sul calcestruzzo.  
 Tale pressione può prima favorire e poi addirittura portare  
 al distacco la parte di cls interessata

Tra le 3 soluzioni presentate nella pratica corrente la 1) è quella più utilizzata, premunendosi di armare la parte superiore in corrispondenza del gradino.