

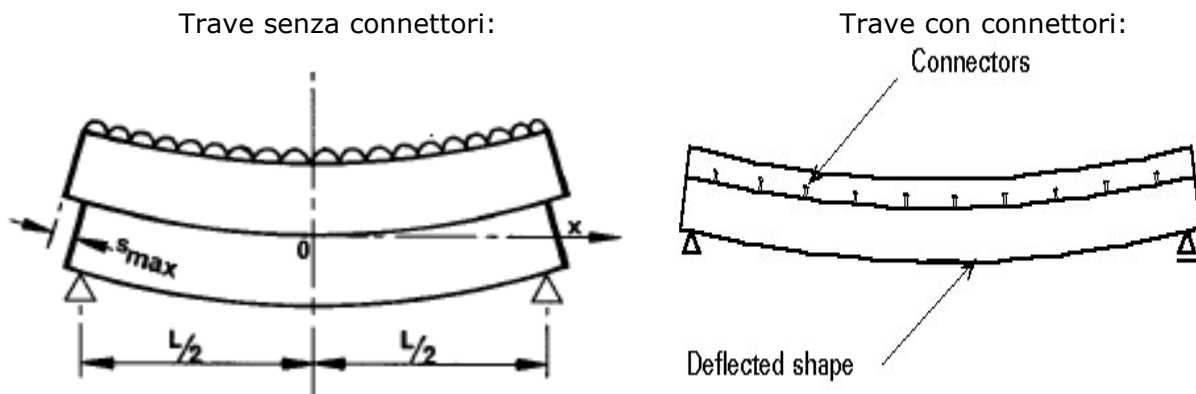
## TEORIA

### **Principio di funzionamento**

*Come funziona questo metodo di intervento? Perché con i connettori una soletta di calcestruzzo dovrebbe migliorare le caratteristiche del solaio?*

#### 1) Punto di vista delle deformazioni.

Una trave in acciaio sormontata da una soletta in calcestruzzo non connessa si inflette; tra i due materiali si crea uno scorrimento. I connettori impediscono che si generi tale scorrimento; l'inflessione della trave in acciaio risulta contrastata dalla rigidità della soletta in calcestruzzo.



#### 2) Punto di vista delle tensioni nei materiali.

In una trave in acciaio inflessa la metà inferiore della trave risulta tesa e la metà superiore compressa.

In una trave mista acciaio e calcestruzzo la parte superiore (in calcestruzzo) risulta compressa e la parte inferiore (in acciaio) risulta tesa.

Questa distribuzione delle tensioni risulta ottimale per i due materiali in quanto sfrutta al meglio le caratteristiche dei materiali.

- Il calcestruzzo ha alti valori di resistenza a compressione e bassi a trazione e nella trave mista risulta prevalentemente compresso.
- L'acciaio risulta prevalentemente teso, per cui si evitano problemi di instabilità delle parti compresse.

### **Cos'è una trave mista acciaio e calcestruzzo**

Una trave mista è composta da una soletta in calcestruzzo (che può essere piena, composta o prefabbricata) connessa ad una trave in acciaio sottostante.

La soletta genericamente si appoggia a due travi parallele e il suo dimensionamento è dettato dalla distanza tra le travi e dal carico portato.

Per le costruzioni non composte la trave è progettata per portare da sola i carichi agenti sul solaio e il peso del solaio stesso. La soletta viene realizzata comunque per costituire il solaio tra due travi.

Il funzionamento della trave mista ben dimensionata è semplice: la trave in acciaio fa da parte tesa, la soletta in calcestruzzo da parte compressa e i connettori impediscono lo scorrimento reciproco.

## **Programma di calcolo Tecnaria Acciaio e Calcestruzzo**

Il programma permette il calcolo della trave mista con i connettori Tecnaria. E' scaricabile gratuitamente dal sito della Tecnaria, ma il progettista che lo usa rimane responsabile dei calcoli eseguiti.

### **Schema statico: trave in semplice appoggio**

Lo schema statico che generalmente si adotta è quello di trave in semplice appoggio. Si elencano in seguito i vantaggi e gli svantaggi di questo schema statico rispetto alla scelta di trave continua su più campate.

Vantaggi:

- ) unioni tra travi più semplice ed economiche;
- ) solo una piccola parte dell'anima della trave è in compressione, l'ala superiore è vincolata dalla soletta, così la resistenza non è limitata da effetti di instabilità di parti in acciaio;
- ) il momento flettente sollecitante e il taglio sono staticamente determinati e non sono influenzati da fessurazioni, viscosità, ritiro;
- ) non c'è interazione tra il comportamento di campate adiacenti;
- ) il calcestruzzo è compresso;
- ) l'analisi globale e il progetto sono più semplici e veloci.

Svantaggi:

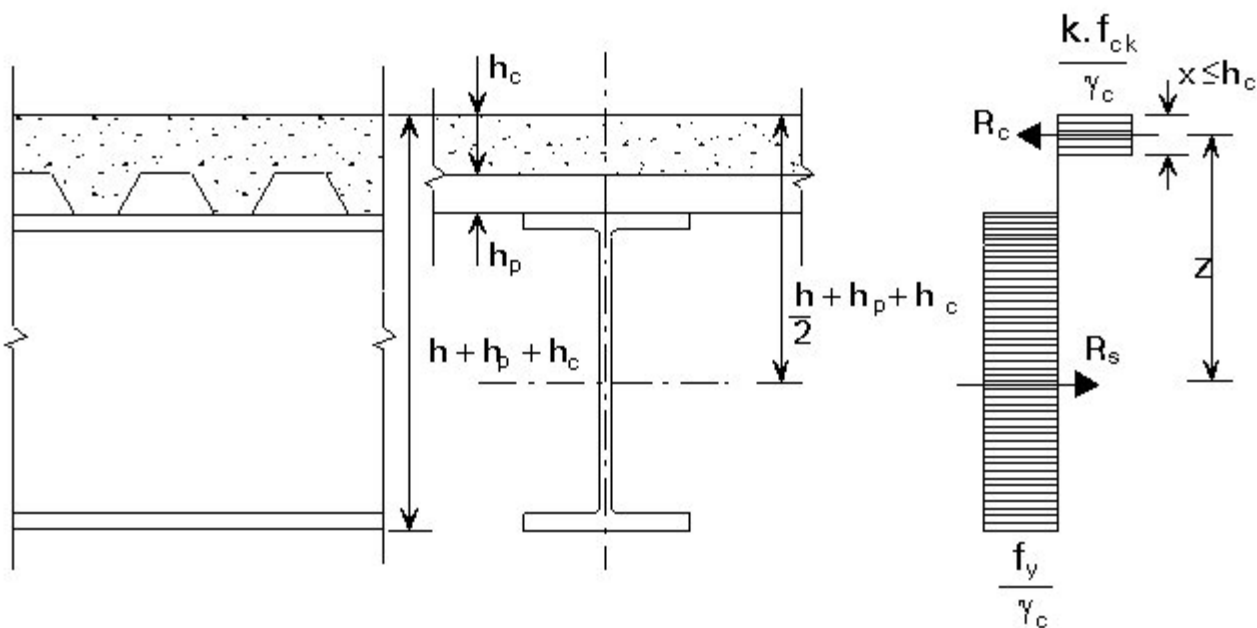
- ) inflessione in campata maggiore;
- ) spessori totali della sezione maggiori.

### **Calcolo della resistenza di una trave mista**

#### *Calcolo plastico*

Se la snellezza della trave in acciaio lo consente, e se l'acciaio della trave è di tipo duttile, il calcolo della resistenza allo stato limite ultimo può essere fatto in base alla teoria plastica. In questo tipo di calcolo l'intera sezione dei materiali risulta sollecitata al limite di snervamento.

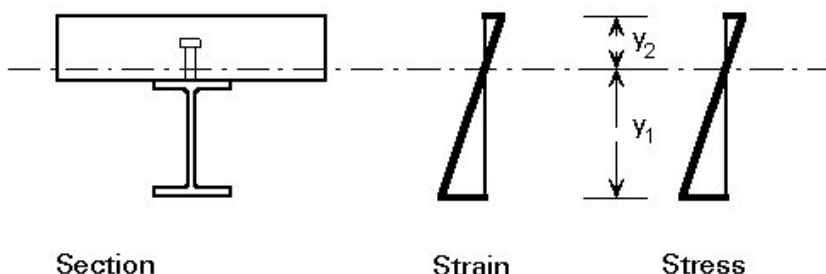
Se i connettori sono di tipo duttile è permesso ridistribuire lo sforzo di taglio che devono assorbire e disporli con spaziatura uniforme lungo la trave.



### Calcolo elastico

In questo caso la resistenza ultima della trave è data dal raggiungimento del limite di snervamento della fibra più sollecitata. La resistenza ultima è inferiore, ma si ritiene che nei casi di restauro ove non si conoscono completamente le caratteristiche meccaniche dei materiali sia più corretto fare riferimento a questo calcolo.

La distribuzione dei connettori in questo caso sarà senza redistribuzione di sforzi tra i connettori.



### Calcolo della connessione

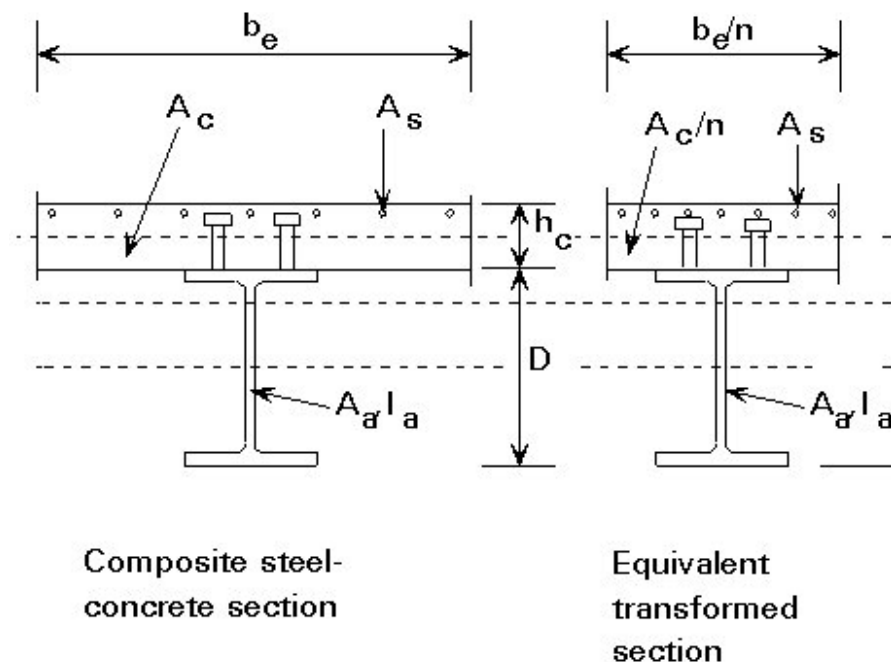
La connessione deve garantire la capacità di trasferire lo scorrimento tra acciaio e calcestruzzo. Nel caso di resistenza ultima plastica si definisce come completo ripristino di resistenza il numero di connettori per il quale la rottura avverrà per carenza lato acciaio o lato calcestruzzo.

Il numero di connettori per il completo ripristino è generalmente elevato, per questo motivo usualmente ci si riferisce al parziale ripristino della resistenza, per il quale si mettono i connettori necessari non a trasferire gli sforzi massimi possibili tra i due materiali, ma gli effettivi sforzi dati dai carichi.

### Calcolo della deformata di una trave mista

Per calcolare l'inerzia della sezione mista si fa riferimento al metodo dell'omogenizzazione.

In pratica si riduce la larghezza di calcestruzzo del rapporto  $n$  tra il modulo elastico dell'acciaio e quello del calcestruzzo. Si ottiene così una sezione tutta di acciaio per la quale si calcola l'inerzia.



Secondo l'Eurocodice 4, se i connettori sono meno della metà rispetto a quelli del completo ripristino di resistenza oppure se la tensione del connettore alla combinazione dei carichi di servizio è minore del carico di rottura del connettore, la freccia sarà influenzata dal ridotto numero di connettori. Se non ci sono connettori ovviamente l'inerzia è quella della sola trave in acciaio.

## **Qual è il giusto limite da assumere per la deformata?**

Si premette che il calcolo dell'inflessione di una trave è puramente convenzionale: infatti effetti come quelli dati dal ritiro e dalla viscosità del calcestruzzo, dal parziale ripristino di resistenza, dall'irrigidimento dato dalle finiture e quello dato dai vincoli sono non prevedibili analiticamente. In ogni caso la verifica sulla deformabilità è spesso dimensionante nelle strutture acciaio e calcestruzzo a meno che non vi prevedano adeguate contro-frecce in fase di costruzione.

Le ultime versioni delle normative (Eurocodice e Norme Tecniche per le Costruzioni) non riportano più dei limiti numerici, ma scrivono che il progettista (in accordo con il committente) deve valutare in base all'utilizzo del solaio il corretto limite di deformata del solaio.

I valori di deformata da limitare sono 2:

- ) delta max (vedasi fig. 4.1 seguente) che corrisponde alla deformata totale dovuta a tutti i carichi a tempo infinito e
- ) delta 2 che corrisponde alla deformata dovuta ai soli carichi variabili e agli effetti viscosi dovuti dei permanenti.

Si tenga presente che delta max influenza principalmente l'aspetto estetico del solaio e che non è generalmente percepito dagli utilizzatori se è contenuto entro il limite di  $L/250$ .

Se il solaio viene controsoffittato o se il pavimento ha opportune fughe la letteratura consiglia  $L/200$ .

Delta 2 misura invece gli spostamenti verticali che la trave può avere nel tempo per la presenza non costante dei carichi variabili e per la viscosità del calcestruzzo.

Questa deformata può portare danni alle finiture portate se queste sono di tipo rigido. Quindi in presenza di tramezze in laterizio o di pavimenti marmorei è consigliato limitare questo valore. Se non vengono predisposti opportuni giunti e fughe è bene limitare questo valore per lo meno a  $L/300$  o a  $L/500$  per finiture fragili.

Si riportano i limiti indicati dalle norme nelle versioni precedenti a quelle attuali per le strutture in solo acciaio (Eurocodice 3 UNI ENV 1993-1-1 e del DM 9/01/1996) e quelli indicati nella bozza del 27/07/2007 delle nuove norme tecniche, in qualità di riferimento italiano più aggiornato. Si noti che tale riferimento corrisponde alle indicazioni presenti nella versione provvisoria dell'EC3, sembra quindi che anche in Italia si adotteranno le stesse indicazioni di deformabilità accettate all'estero.

Tali indicazioni sono le seguenti.

### *Eurocodice 3 EN 1993 - Controllo degli spostamenti. Valori Limite*

(1) I valori limite degli spostamenti verticali dati nel seguito sono illustrati facendo riferimento alla trave semplicemente appoggiata mostrata nella fig. 4.1, nella quale:

$$\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$$

dove:

$\delta_{\max}$  è la freccia nello stato finale riferita alla linea retta congiungente i supporti;

$\delta_0$  è la pre-monta iniziale (controfreccia) della trave nella condizione statica (stato (0));

$\delta_1$  è la variazione dell'inflessione della trave dovuta ai carichi permanenti immediatamente dopo l'applicazione dei carichi (stato (1));

$\delta_2$  è la variazione dell'inflessione della trave dovuta all'applicazione dei carichi variabili più eventuali deformazioni, variabili nel tempo, causate dai carichi permanenti (stato (2)).

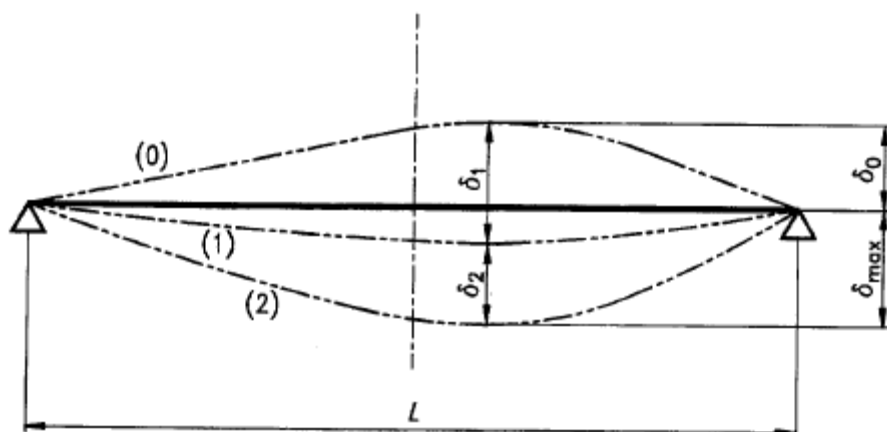


Fig. 4.1 - Inflessioni da prendere in considerazione

(2) Per gli edifici, i limiti raccomandati per gli spostamenti verticali sono forniti nel prospetto 4.1, nel quale  $L$  è la luce della trave. Per le travi a mensola la lunghezza  $L$  da considerare è il doppio della lunghezza dello sbalzo della mensola.

Prospetto 4.1 - Valori limite raccomandati per gli spostamenti verticali

Condizioni	Limiti (vedere fig. 4.1)	
	$\delta_{\max}$	$\delta_2$
Coperture in genere	$L / 200$	$L / 250$
Coperture praticate frequentemente da personale diverso da quello della manutenzione	$L / 250$	$L / 300$
Solai in generale	$L / 250$	$L / 300$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$L / 250$	$L / 350$
Solai che supportano colonne (a meno che lo spostamento sia stato incluso nella analisi globale per lo stato limite ultimo)	$L / 400$	$L / 500$
Dove $\delta_{\max}$ può compromettere l'aspetto dell'edificio	$L / 250$	--

## **Effetti della viscosità**

Per tener conto della viscosità del calcestruzzo nel calcolo della freccia a tempo infinito si considera un modulo elastico del calcestruzzo dimezzato (secondo le indicazioni delle norme). Per la freccia chiamata delta 1 si utilizza  $E_{cm}$ , per la freccia delta 2 invece si considera ancora  $E_{cm}/2$ .

## **Effetti del ritiro**

Una soletta di calcestruzzo in ambiente secco senza vincoli può accorciarsi per effetto del ritiro di 0.03 % della sua lunghezza (3 mm su 10 m).

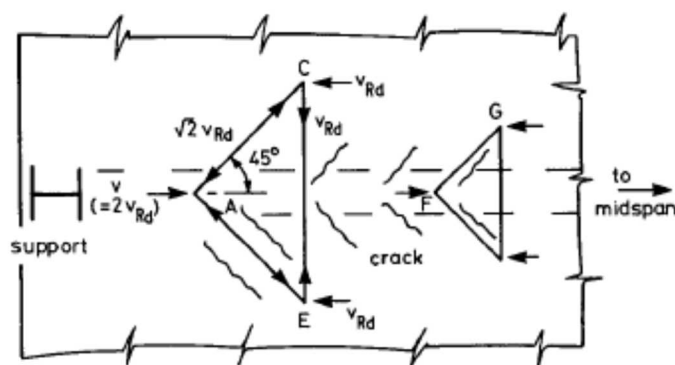
In una trave composta la soletta è vincolata alla trave in acciaio così il ritiro sarà inferiore.

Le forze che si generano sui connettori agiscono in direzione opposta a quelle dovute ai carichi e quindi possono essere trascurate. Ma l'accorciamento della soletta porta ad una inflessione della trave. Le norme per travi aventi  $L/h < 20$  e calcestruzzi non alleggeriti permettono di ignorare questo effetto.

Visto che l'effetto del ritiro si sviluppa nel tempo viene mitigato dalla viscosità del calcestruzzo.

## **Calcolo dell'armatura**

Per armatura della soletta si intende quella perpendicolare alla direzione della trave. Questa serve a rendere l'intera soletta di calcestruzzo collaborante con la trave tramite un meccanismo tipo puntone tirante.



## **Puntelli**

Una trave non puntellata durante getto e la maturazione del calcestruzzo è una trave non composta per la componente di carico dovuta al peso proprio. Quindi i benefici della connessione in termini di resistenza e rigidezza sono "ridotti". La trave in prima fase acquisirà delle tensioni interne e delle deformazioni che si andranno a sommare a quelle della fase mista.

## **Interventi in zona sismica**

Il solaio ha principalmente il compito di portare i carichi verticali senza collassate e senza deformarsi eccessivamente. Nel caso di fabbricato in zona sismica le azioni sismiche verticali vanno considerate solo se vi sono elementi di lunghezza maggiore o uguale a 20 m, o se vi sono sbalzi, elementi precompressi, travi che sostengono colonne o strutture isolate alla base.

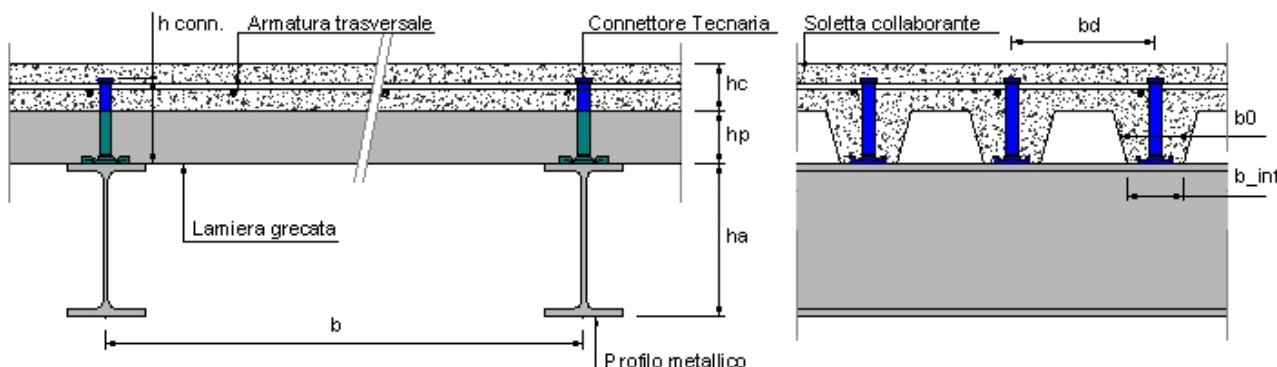
Quindi nella maggior parte dei casi le azioni verticali sono quelle statiche.

Il requisito del solaio nel calcolo antisismico è quello di essere rigido nel proprio piano per poter trasmettere gli sforzi taglianti inerziali alle strutture verticali e di essere a queste adeguatamente collegate.

## ASPETTI PRATICI - NUOVE REALIZZAZIONI

### ***Tipiche soluzioni per solai nuovi***

*Solaio con lamiera grecata collaborante.*

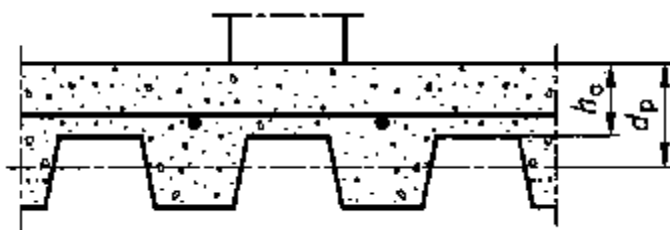


Questo tipo di solaio è molto diffuso in quanto è particolarmente economico, leggero (quindi adatto in zona sismica), veloce e semplice da realizzare.

Il solaio è quindi formato dai seguenti elementi:

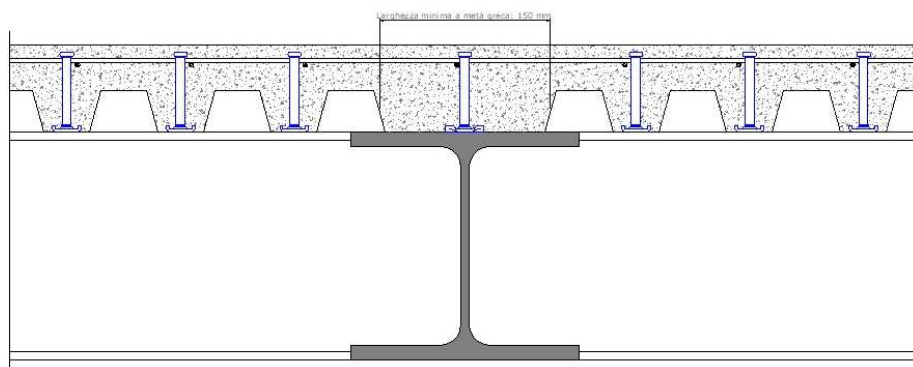
-) Soletta in c.a. collaborante con la lamiera grecata tramite le bugnature superficiali della lamiera: il dimensionamento della lamiera, della soletta e dell'eventuale armatura aggiuntiva si fa in base alla distanza tra le travi e al carico portato (si veda tabelle produttori di lamiere grecate).

La lamiera costituisce il cassero per la fase di getto del calcestruzzo e in fase finale costituisce l'armatura che lavora a trazione.



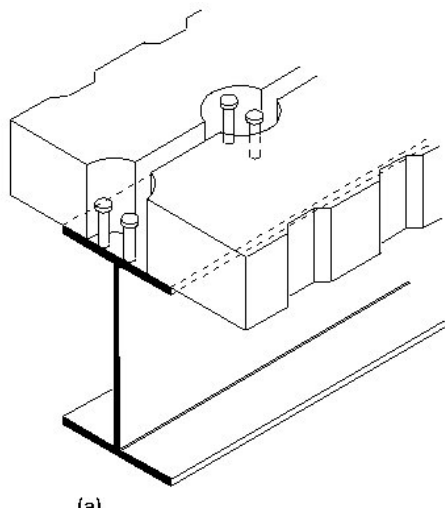
-) Trave secondaria in acciaio e calcestruzzo che regge la lamiera e la soletta. La connessione avviene tramite connettori posizionati entro le greche della lamiera.

-) Trave principale che porta le travi secondarie. Anche questa può essere connessa alla soletta.



### *Solaio con lastre prefabbricate*

La soluzione è analoga alla precedente con la differenza che le lastre in c.a. prendono il posto della lamiera grecata. Questa soluzione permette interassi maggiori, a fronte di un peso a mq maggiore.





## ***Connessione in presenza di lamiera grecata***

La resistenza allo scorrimento del connettore determinata su soletta piena va ridotta di un il coefficiente riduttivo  $k$  relativo alla geometria della lamiera grecata e all'altezza del connettore.

$$k_t = 0,7 \cdot b_0 \cdot (h_{sc} - h_p) / h_p^2 / \sqrt{n_r}.$$

ove  $N_r$  è il numero di connettori a piolo disposti in una nervatura, nel calcolo non può superare 2,  $b_0$  è la larghezza media della nervatura,  $h_{sc}$  l'altezza del connettore fissato,  $h_p$  è l'altezza della lamiera grecata.

La versione definitiva En1994 dell'eurocodice dà dei limiti superiori al  $k$  per i connettori a piolo saldati a seconda che la saldatura avvenga previa foratura della lamiera o attraverso la lamiera stessa,

## ***Che interasse scelgo tra le travi?***

L'interasse è dipendente dal dimensionamento della struttura che costituisce il solaio nello spazio tra le travi. Nel caso di soletta con lamiera grecata l'interasse è di solito compreso tra i 150 cm e i 250 cm. Con qualche attenzione esecutiva si può arrivare anche ad interassi maggiori.

## ***Che spessore scelgo per il calcestruzzo?***

Lo spessore del calcestruzzo è determinato sia dal dimensionamento del solaio collaborante con la lamiera grecata sia dal dimensionamento della trave mista acciaio calcestruzzo.

Per la trave mista è importante che lo spessore di calcestruzzo permetta l'utilizzo di un connettore alto (almeno 90 mm per le lamiere tipo Hi -Bond 55), cosa questa che permette al progettista di utilizzare una elevata resistenza allo scorrimento per singolo connettore.

## ***Quanti connettori ci vogliono circa per m2?***

Per un solaio nuovo con lamiera grecata indicativamente sono necessari circa 3 conn /m2 per le travi secondarie e altri 2 conn/m2 per connettere le travi principali.

Queste quantità possono però fortemente cambiare in base al dimensionamento delle travi miste.

In caso di restauro ove le travi hanno interasse 80 – 100 cm l'incidenza media risulta essere di circa 5-6 conn/m2.