

4.3 COSTRUZIONI COMPOSTE DI ACCIAIO - CALCESTRUZZO

Le presenti norme si applicano a costruzioni civili e industriali con strutture composte in acciaio e calcestruzzo per quanto attiene ai requisiti di resistenza, funzionalità, durabilità, robustezza, ed esecuzione.

Le strutture composte sono costituite da parti realizzate in acciaio per carpenteria e da parti realizzate in calcestruzzo armato (normale o precompresso) rese collaboranti fra loro con un sistema di connessione appropriatamente dimensionato.

Per tutto quanto non espressamente indicato nel presente capitolo, per la progettazione strutturale, l'esecuzione, i controlli e la manutenzione deve farsi riferimento ai precedenti §§ 4.1 e 4.2 relativi alle costruzioni di calcestruzzo armato ed alle costruzioni di acciaio, rispettivamente.

4.3.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La valutazione della sicurezza è condotta secondo i principi fondamentali illustrati nel Cap. 2.

I requisiti richiesti di resistenza, funzionalità, durabilità e robustezza si garantiscono verificando il rispetto degli stati limite ultimi e degli stati limite di esercizio della struttura, dei componenti strutturali e dei collegamenti descritti nella presente norma.

In aggiunta a quanto indicato in §§ 4.1 e 4.2, la sicurezza strutturale deve essere controllata per gli stati limite indicati nel seguito.

4.3.1.1 Stati limite ultimi

Stato limite di resistenza della connessione acciaio – calcestruzzo, al fine di evitare la crisi del collegamento tra elementi in acciaio ed elementi in calcestruzzo con la conseguente perdita del funzionamento composto della sezione.

4.3.1.2 Stati limite di esercizio

Stato limite di esercizio della connessione acciaio – calcestruzzo, al fine di evitare eccessivi scorrimenti fra l'elemento in acciaio e l'elemento in calcestruzzo durante l'esercizio della costruzione.

4.3.1.3 Fasi costruttive

Le fasi costruttive, quando rilevanti, devono essere considerate nella progettazione, nell'analisi e nella verifica delle strutture composte.

4.3.2 ANALISI STRUTTURALE

Il metodo di analisi deve essere coerente con le ipotesi di progetto.

L'analisi deve essere basata su modelli strutturali di calcolo appropriati, a seconda dello stato limite considerato.

Occorre considerare nell'analisi e nelle verifiche gli effetti del ritiro e della viscosità del calcestruzzo e delle variazioni di temperatura.

4.3.2.1 Classificazione delle sezioni

La classificazione delle sezioni composte è eseguita secondo lo schema introdotto per le sezioni in acciaio in § 4.2.3. Nel calcolo si possono adottare distribuzioni di tensioni plastiche o elastiche per le classi 1 e 2, mentre per le classi 3 e 4 si debbono utilizzare distribuzioni di tensioni elastiche.

In particolare, per le sezioni di classe 1 e 2, l'armatura di trazione A_s in soletta, posta all'interno della larghezza collaborante ed utilizzata per il calcolo del momento plastico, deve essere realizzata con acciaio B450C e rispettare la condizione

$$A_s \geq \rho_s \cdot A_c$$
$$\rho_s = \delta \frac{f_{yk}}{235} \frac{f_{ctm}}{f_{sk}} \sqrt{\frac{1}{1 + h_c / (2z_0)}} + 0,3 \leq \delta \frac{f_{yk}}{235} \frac{f_{ctm}}{f_{sk}} \quad (4.3.1)$$

dove A_c è l'area della piattabanda di calcestruzzo, f_{ctm} è la resistenza media di trazione del calcestruzzo, f_{yk} e f_{sk} sono la resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio di struttura e di quello d'armatura rispettivamente, h_c è lo spessore della soletta di calcestruzzo, z_0 è la distanza tra il baricentro della soletta di calcestruzzo non fessurata e il baricentro della sezione composta non fessurata, δ è pari ad 1 per le sezioni in classe 2 e a 1,1 per le sezioni in classe 1.

4.3.2.2 Metodi di analisi globale

Gli effetti delle azioni possono essere valutati mediante l'analisi globale elastica anche quando si consideri la resistenza plastica, o comunque in campo non-lineare delle sezioni trasversali.

L'analisi elastica globale deve essere utilizzata per le verifiche agli stati limite di esercizio, introducendo opportune correzioni per tenere conto degli effetti non-lineari quali la fessurazione del calcestruzzo, e per le verifiche dello stato limite di fatica.

Per sezioni di classe 3 e 4 si debbono considerare esplicitamente gli effetti della sequenza di costruzione e gli effetti della viscosità e del ritiro.

Gli effetti del trascinarsi da taglio e dell'instabilità locale devono essere tenuti in debito conto quando questi influenzino significativamente l'analisi.

4.3.2.2.1 Analisi lineare elastica

In questo tipo di analisi si devono tenere in conto, per quanto possibile, i fenomeni non-lineari, quali la viscosità e la fessurazione, gli effetti della temperatura e le fasi costruttive.

Per costruzioni poco sensibili ai fenomeni del secondo ordine e quindi non suscettibili di problemi di stabilità globale, è possibile tenere in conto la viscosità nelle travi di impalcato sostituendo l'area delle porzioni in calcestruzzo, A_c , con aree equivalenti ridotte in ragione del coefficiente di omogeneizzazione n calcolato per breve e lungo termine. Salvo più precise valutazioni, il modulo di elasticità del calcestruzzo per effetti a lungo termine può essere considerato pari al 50% del suo valore medio istantaneo, E_{cm} .

Per tenere in conto la fessurazione delle travi composte è possibile utilizzare due metodi.

Il primo consiste nell'effettuare una prima analisi "non fessurata" in cui l'inerzia omogeneizzata di tutte le travi è pari a quella della sezione interamente reagente, EJ_1 . Individuate, alla conclusione dell'analisi, le sezioni soggette a momento flettente negativo, nelle quali si hanno fenomeni di fessurazione, si esegue una seconda analisi "fessurata". In tale analisi la rigidezza EJ_1 è assegnata alle porzioni di trave soggette a momento flettente positivo, mentre la rigidezza fessurata ottenuta trascurando il calcestruzzo teso, EJ_2 , è assegnata alle porzioni di trave soggette a momento flettente negativo. La nuova distribuzione delle rigidezze e delle sollecitazioni interne è utilizzata per le verifiche agli stati limite di servizio ed ultimo.

Il secondo metodo, applicabile alle travi continue in telai controventati in cui le luci delle campate

non differiscono tra loro di più del 60%, considera una estensione della zona fessurata all'estremità di ogni campata, caratterizzata da rigidità EJ_2 , pari al 15% della luce della campata; la rigidità EJ_1 è assegnata a tutte le altre zone.

La rigidità delle colonne deve essere assunta pari al valore indicato in § 4.3.5.2 della presente norma.

Gli effetti della temperatura devono essere considerati nel calcolo quando influenti. Tali effetti possono solitamente essere trascurati nella verifica allo stato limite ultimo, quando gli elementi strutturali siano in classe 1 o 2 e quando non vi siano pericoli di instabilità flesso-torsionale.

Il momento flettente ottenuto dall'analisi elastica può essere ridistribuito in modo da soddisfare ancora l'equilibrio tenendo in conto gli effetti del comportamento non-lineare dei materiali e tutti i fenomeni di instabilità.

Per le verifiche allo stato limite ultimo, ad eccezione delle verifiche a fatica, il momento elastico può essere ridistribuito quando la trave composta è continua o parte di un telaio controventato, è di altezza costante, non vi è pericolo di fenomeni di instabilità.

Nel caso di travi composte parzialmente rivestite di calcestruzzo, occorre anche verificare che la capacità rotazionale sia sufficiente per effettuare la ridistribuzione, trascurando il contributo del calcestruzzo a compressione nel calcolo del momento resistente ridotto nella situazione ridistribuita.

La riduzione del massimo momento negativo non deve eccedere le percentuali indicate nella Tab. 4.3.I.

Tabella. 4.3.I *Limiti della ridistribuzione del momento negativo sugli appoggi.*

Classe della sezione	1	2	3	4
Analisi "non-fessurata"	40	30	20	10
Analisi "fessurata"	25	15	10	0

Se si utilizzano profili di acciaio strutturale di grado S355 o superiore la ridistribuzione può essere fatta solo con sezioni di classe 1 e classe 2, e non deve superare il 30% per le analisi "non fessurate" ed il 15% per le "analisi fessurate".

4.3.2.2 Analisi plastica

L'analisi plastica può essere utilizzata per eseguire le verifiche allo stato limite ultimo quando:

- tutti gli elementi sono in acciaio o composti acciaio-calcestruzzo;
- quando i materiali soddisfano i requisiti indicati in § 4.3.3.1;
- quando le sezioni sono di classe 1;
- quando i collegamenti trave-colonna sono a completo ripristino di resistenza plastica e sono dotati di adeguata capacità di rotazione o di adeguata sovraresistenza.

Inoltre, nelle zone in cui è supposto lo sviluppo delle deformazioni plastiche (cerniere plastiche), è necessario

- che i profili in acciaio siano simmetrici rispetto al piano dell'anima,
- che la piattabanda compressa sia opportunamente vincolata,
- che la capacità rotazionale della cerniera plastica sia sufficiente.

4.3.2.3 Analisi non lineare

L'analisi non lineare deve essere eseguita secondo le indicazioni in § 4.2.3.3.

I materiali devono essere modellati considerando tutte le loro non-linearità e deve essere tenuto in

conto il comportamento della connessione a taglio tra gli elementi delle travi composte.

L'influenza delle deformazioni sulle sollecitazioni interne deve essere tenuta in conto, rappresentando opportunamente le imperfezioni geometriche.

4.3.2.3 Larghezze efficaci

La distribuzione delle tensioni normali negli elementi composti, deve essere determinata o mediante una analisi rigorosa o utilizzando nel calcolo la larghezza efficace della soletta.

La larghezza efficace, b_{eff} , di una soletta in calcestruzzo può essere determinata mediante l'espressione

$$b_{eff} = b_0 + b_{e1} + b_{e2}, \quad (4.3.2)$$

dove b_0 è la distanza tra gli assi dei connettori e $b_{ei} = \min(L_c/8, b_i)$ è il valore della larghezza collaborante da ciascun lato della sezione composta (vedi fig. 4.3.1).

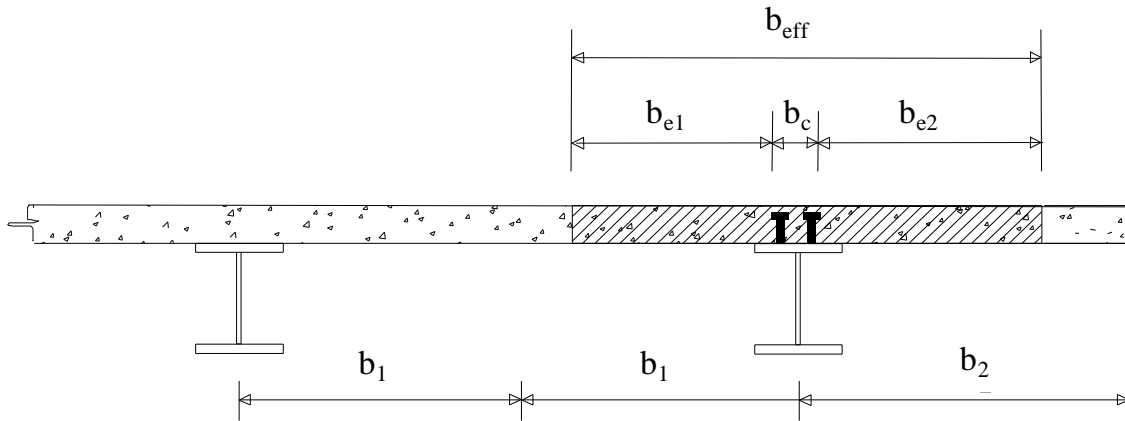


Figura 4.3.1. - Definizione della larghezza efficace b_{eff} e delle aliquote b_{ei} .

L_c nelle travi semplicemente appoggiate è la luce della trave, nelle travi continue è la distanza indicata in fig. 4.3.2.

Per gli appoggi di estremità la formula diviene

$$b_{eff} = b_0 + \beta_1 b_{e1} + \beta_2 b_{e2}, \quad (4.3.3)$$

dove $\beta_i = \left(0,55 + 0,025 \cdot \frac{L_c}{b_{ei}} \right) \leq 1,0$.

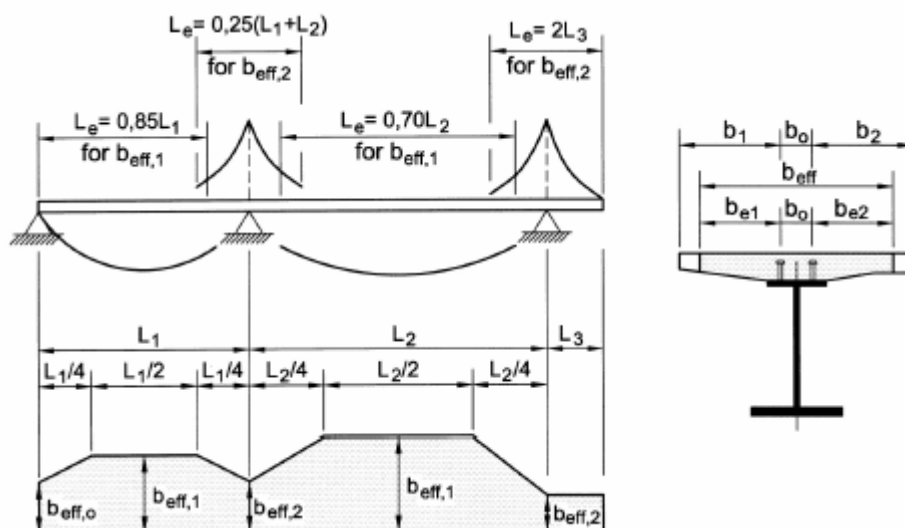


Figura 4.3.2 - Larghezza efficace, b_{eff} e luci equivalenti, L_e , per le travi continue

4.3.2.4 Effetti delle deformazioni

In generale, è possibile effettuare:

- l'analisi del primo ordine, imponendo l'equilibrio sulla configurazione iniziale della struttura;
- l'analisi del secondo ordine, imponendo l'equilibrio sulla configurazione deformata della struttura.

Gli effetti della geometria deformata (effetti del secondo ordine) devono essere considerati se essi amplificano significativamente gli effetti delle azioni o modificano significativamente il comportamento strutturale. L'analisi del primo ordine può essere utilizzata quando l'incremento delle sollecitazioni dovuto agli effetti del secondo ordine è inferiore al 10%. Tale condizione è ritenuta soddisfatta se

$$\alpha_{cr} \geq 10, \quad (4.3.4)$$

dove α_{cr} è il fattore amplificativo dei carichi di progetto necessario per causare fenomeni di perdita della stabilità dell'equilibrio elastico.

Per i telai il valore di α_{cr} può essere calcolato utilizzando l'espressione valida per le costruzioni in acciaio di cui al punto § 4.2.3.4.

4.3.2.5 Effetti delle imperfezioni

Nell'analisi strutturale si deve tenere conto, per quanto possibile, degli effetti delle imperfezioni.

A tal fine possono adottarsi adeguate imperfezioni geometriche equivalenti, a meno che tali effetti non siano inclusi implicitamente nel calcolo della resistenza degli elementi strutturali.

Si devono considerare nel calcolo:

- le imperfezioni globali per i telai o per i sistemi di controvento;
- le imperfezioni locali per i singoli elementi strutturali.

Nell'ambito dell'analisi globale della struttura, le imperfezioni degli elementi composti soggetti a compressione possono essere trascurate durante l'esecuzione dell'analisi del primo ordine. Le imperfezioni degli elementi strutturali possono essere trascurate anche nelle analisi al secondo ordine se

$$\bar{\lambda} \leq 0,5 \cdot \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{Ed}}}, \quad (4.3.5)$$

dove $\bar{\lambda}$ è la snellezza adimensionale dell'elemento, calcolata in § 4.3.5.2, $N_{pl,Rk}$ è la resistenza a compressione caratteristica dell'elemento, ovvero ottenuta considerando tutte le resistenze dei materiali senza coefficienti parziali di sicurezza e N_{Ed} è lo sforzo assiale di progetto.

Gli effetti delle imperfezioni globali devono essere tenuti in conto secondo quanto prescritto per le strutture in acciaio al punto § 4.2.3.5 della presente norma.

Le imperfezioni, rappresentate da una curvatura iniziale delle colonne composte e delle membrature composte in genere, sono già considerate nelle curve della Tab. 4.3.III. Per le travi di impalcato le imperfezioni sono riportate nella formula di verifica nei riguardi dell'instabilità flessione-torsionale.

Per gli elementi in acciaio le imperfezioni sono già considerate nelle formule di verifica per l'instabilità riportate in § 4.2.4.1.3 della presente norma.

4.3.3 RESISTENZE DI CALCOLO

La resistenza di calcolo dei materiali f_d è definita mediante l'espressione:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}, \quad (4.3.6)$$

dove f_k è la resistenza caratteristica del materiale.

In particolare, nelle verifiche agli stati limite ultimi si assume

γ_C (calcestruzzo) = 1,5 ;

γ_A (acciaio da carpenteria) = 1,05 ;

γ_S (acciaio da armatura) = 1,15 ;

γ_V (connessioni) = 1,25 .

Nelle verifiche agli stati limite di esercizio si assume $\gamma_M = 1$.

Nelle verifiche in situazioni di progetto eccezionali si assume $\gamma_M = 1$.

Si assumono per i differenti materiali (acciaio da carpenteria, lamiera grecata, acciaio da armatura, calcestruzzo, ecc.) le resistenze caratteristiche f_k definite nel Cap. 11 delle presenti norme. Nella presente sezione si indicano con f_{yk} , f_{sk} , f_{pk} e f_{ck} , rispettivamente, le resistenze caratteristiche dell'acciaio strutturale, delle barre d'armatura, della lamiera grecata e del calcestruzzo.

4.3.3.1 Materiali

4.3.3.1.1 Acciaio

Per le caratteristiche degli acciai (strutturali, da lamiera grecata e da armatura) utilizzati nelle strutture composte di acciaio e calcestruzzo si deve fare riferimento al § 11.3 delle presenti norme.

Le prescrizioni generali relative alle saldature, di cui al § 11.3 delle presenti norme, si applicano integralmente. Particolari cautele dovranno adottarsi nella messa a punto dei procedimenti di saldatura degli acciai con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica (per i quali può farsi utile riferimento alla norma UNI EN 10025-5:2005).

Per le procedure di saldatura dei connettori ed il relativo controllo si può fare riferimento a normative consolidate.

Nel caso si utilizzino connettori a piolo, l'acciaio deve rispettare le prescrizioni di cui al § 11.3.4.7.

4.3.3.1.2 Calcestruzzo

Le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo devono risultare da prove eseguite in conformità alle

indicazioni delle presenti norme sulle strutture di cemento armato ordinario o precompresso.

Nei calcoli statici non può essere considerata né una classe di resistenza del calcestruzzo inferiore a C20/25 né una classe di resistenza superiore a C60/75; per i calcestruzzi con aggregati leggeri, la cui densità non può essere inferiore a 1800 kg/m^3 , le classi limite sono LC20/22 e LC55/60.

Per classi di resistenza del calcestruzzo superiori a C45/55 e LC 40/44 si richiede che prima dell'inizio dei lavori venga eseguito uno studio adeguato e che la produzione segua specifiche procedure per il controllo qualità.

Qualora si preveda l'utilizzo di calcestruzzi con aggregati leggeri, si deve considerare che i valori sia del modulo di elasticità sia dei coefficienti di viscosità, ritiro e dilatazione termica dipendono dalle proprietà degli aggregati utilizzati; pertanto i valori da utilizzare sono scelti in base alle proprietà del materiale specifico.

Nel caso si utilizzino elementi prefabbricati, si rinvia alle indicazioni specifiche delle presenti norme.

4.3.4 TRAVI CON SOLETTA COLLABORANTE

4.3.4.1 Tipologia delle sezioni

Le sezioni resistenti in acciaio delle travi composte, fig. 4.3.3, si classificano secondo i criteri di cui in § 4.2.3.1.

Qualora la trave di acciaio sia rivestita dal calcestruzzo, le anime possono essere trattate come vincolate trasversalmente ai fini della classificazione della sezione purché il calcestruzzo sia armato, collegato meccanicamente alla sezione di acciaio e in grado di prevenire l'instabilità dell'anima e di ogni parte della piattabanda compressa nella direzione dell'anima.

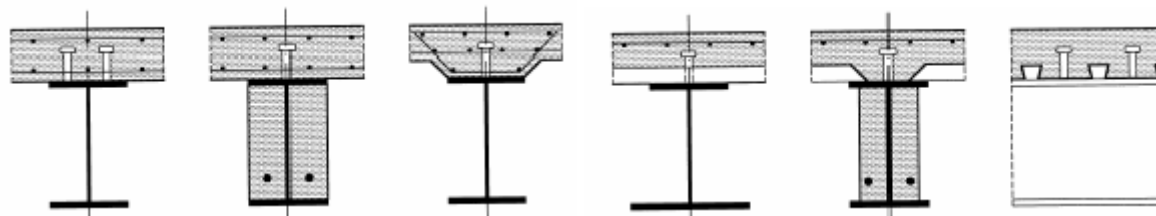


Figura 4.3.3 - Tipologie di sezione composte per travi..

4.3.4.2 Resistenza delle sezioni

Il presente paragrafo tratta sezioni composte realizzate con profili ad I o H e soletta collaborante. Metodi e criteri di calcolo per la determinazione delle caratteristiche resistenti di sezione di travi composte rivestite possono essere trovate nel § 6.3 della UNI EN1994-1-1.

In ogni caso, l'applicazione di un metodo di analisi elasto-plastico basato su procedure numeriche consente di definire la resistenza di sezioni di qualunque forma, a patto di tenere conto in modo completo del comportamento di ogni parte della sezione composta.

4.3.4.2.1 Resistenza a flessione

Il momento resistente della sezione composta può essere ricavato utilizzando differenti metodi: elastico, applicabile a qualunque tipo di sezione e limitato al comportamento lineare dei materiali, plastico, quando la sezione è di classe 1 o 2; elasto-plastico, applicabile a qualunque tipo di sezione.

La lamiera grecata utilizzata per la realizzazione dei solai collaboranti e disposta con le greche parallelamente all'asse del profilo in acciaio non deve essere considerata nel calcolo del momento

resistente.

4.3.4.2.1.1 Metodo elastico

Il momento resistente elastico è calcolato sulla base di una distribuzione elastica delle tensioni nella sezione. Si deve trascurare il contributo del calcestruzzo teso. Il momento resistente elastico, M_{el} , è calcolato limitando le deformazioni al limite elastico della resistenza dei materiali: f_{cd} per il calcestruzzo, f_{yd} per l'acciaio strutturale e f_{sd} per le barre d'armatura.

4.3.4.2.1.2 Metodo plastico

Il momento resistente, $M_{pl,Rd}$, si valuta nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane, assumendo una configurazione delle tensioni nella sezione equilibrata. L'armatura longitudinale in soletta si assume plasticizzata, così come la sezione di acciaio. A momento positivo, la sezione efficace del calcestruzzo ha una tensione di compressione pari $0,85f_{cd}$, fornendo una risultante di compressione che tiene conto del grado di connessione a taglio. La resistenza del calcestruzzo a trazione è trascurata.

4.3.4.2.1.3 Metodo elasto-plastico

Il momento resistente della sezione è ricavato attraverso una analisi non-lineare in cui sono impiegate le curve tensioni-deformazioni dei materiali. E' assunta la conservazione delle sezioni piane. Il metodo è applicabile a sezioni di qualunque classe; è necessario quindi tenere in conto tutte le non linearità presenti, gli eventuali fenomeni di instabilità e il grado di connessione a taglio.

Un tale metodo di calcolo, essendo generale, può essere direttamente applicato anche a sezioni composte rivestite, Fig. 4.3.3.

4.3.4.2.2 Resistenza a taglio

La resistenza a taglio verticale della trave metallica, $V_{c,Rd}$, può essere determinata in via semplificativa come indicato in § 4.2.4.1.2. Per la soletta in cemento armato dovranno comunque eseguirsi le opportune verifiche.

4.3.4.3 Sistemi di connessione acciaio – calcestruzzo

Nelle strutture composte si definiscono sistemi di connessione i dispositivi atti ad assicurare la trasmissione delle forze di scorrimento tra acciaio e calcestruzzo.

Per le travi, sull'intera lunghezza devono essere previsti connettori a taglio ed armatura trasversale in grado di trasmettere la forza di scorrimento tra soletta e trave di acciaio, trascurando l'effetto dell'aderenza tra le due parti.

Il presente paragrafo si applica unicamente a connettori che possono essere classificati come "duttili" così come esposto in § 4.3.4.3.1, caratterizzati da una capacità deformativa sufficiente per consentire una distribuzione uniforme delle forze di scorrimento tra soletta e trave allo stato limite ultimo.

Quando le sezioni di solo acciaio sono compatte (classe 1 e 2, secondo quanto definito ai §§ 4.2.3.1. e 4.3.4.1.) e sono progettate utilizzando il metodo plastico, si può utilizzare una connessione a taglio a parziale ripristino di resistenza solo se il carico ultimo di progetto è minore di quello che potrebbe essere sopportato dallo stesso elemento progettato con connessioni a completo ripristino di resistenza. In questo caso il numero di connettori deve essere determinato mediante una teoria che tenga conto sia del parziale ripristino sia della capacità deformativa dei connettori. Il grado di connessione η è inteso, perciò, come il rapporto tra il numero dei connettori che assicurano il

completo sviluppo del momento resistente plastico della sezione composta, n_f , ed il numero effettivo di connessioni a taglio presenti, n .

Le diverse tipologie dei connettori possono essere classificate secondo le seguenti categorie:

- connessioni a taglio;
- connessioni a staffa;
- connessioni composte da connettori a taglio e a staffa;
- connessioni ad attrito.

Nel presente paragrafo sono esposti metodi di calcolo per connessioni a taglio che impiegano pioli con testa in cui la trazione agente sul singolo connettore a taglio risulta minore di 1/10 della sua resistenza ultima.

4.3.4.3.1 Connessioni a taglio con pioli

4.3.4.3.1.1 Disposizione e limitazioni

I connettori a piolo devono essere duttili per consentire l'adozione di un metodo di calcolo plastico; tale requisito si ritiene soddisfatto se essi hanno una capacità deformativa a taglio superiore a 6 mm. Precisazioni e limitazioni ulteriori, in particolare relative alle travate da ponte e alla distanza tra i pioli, possono essere ricavate da normative di comprovata validità.

4.3.4.3.1.2 Resistenza dei connettori

La resistenza di calcolo a taglio di un piolo dotato di testa, saldato in modo automatico, con collare di saldatura normale, posto in una soletta di calcestruzzo piena può essere assunta pari al minore dei seguenti valori

$$P_{Rd,a} = 0,8 f_t (\pi d^2 / 4) / \gamma_V \quad (4.3.7)$$

$$P_{Rd,c} = 0,29 \alpha d^2 (f_{ck} E_c)^{0,5} / \gamma_V \quad (4.3.8)$$

dove

γ_V è il fattore parziale definito al § 4.3.3.

f_t è la resistenza a rottura dell'acciaio del piolo (comunque $f_t \leq \text{MPa}$),

f_{ck} è la resistenza cilindrica del calcestruzzo della soletta,

d è il diametro del piolo, compreso tra 16 e 25 mm;

h_{sc} è l'altezza del piolo dopo la saldatura, non minore di 3 volte il diametro del gambo del piolo;

$$\alpha = 0,2 (h_{sc} / d + 1) \text{ per } 3 \leq h_{sc} / d \leq 4, \quad (4.3.9 a)$$

$$\alpha = 1,0 \quad \text{per } h_{sc} / d > 4. \quad (4.3.9 b)$$

Nel caso di solette con lamiera grecata la resistenza di calcolo dei connettori a piolo, calcolata per la soletta piena, deve essere convenientemente ridotta.

Per lamiera disposta con le greche parallelamente all'asse del profilo, la resistenza della connessione a taglio è moltiplicata per il fattore riduttivo

$$k_1 = 0,6 \cdot b_0 \cdot (h_{sc} - h_p) / h_p^2 \leq 1,0, \quad (4.3.10)$$

dove h_{sc} è l'altezza del connettore, minore di $h_p + 75\text{mm}$, e h_{sc} , h_p e b_0 sono indicati in Fig.4.3.4(a).

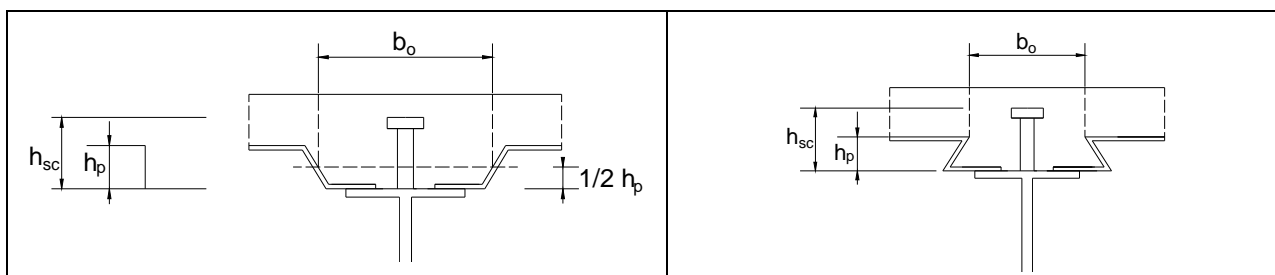


Figura 4.3.4(a) *Disposizione della lamiera grecata rispetto al profilo in acciaio.*

Se le greche sono orientate trasversalmente al profilo in acciaio (fig. 4.3.4(b)), il fattore riduttivo è

$$k_t = 0,7 \cdot b_o \cdot (h_{sc} - h_p) / h_p^2 / \sqrt{n_r}, \quad (4.3.11)$$

dove n_r è il numero dei pioli posti dentro ogni greca. Il valore di k_t deve essere sempre inferiore ai valori riportati nella Tab. 4.3.II; l'espressione di k_t è valida se $h_p \leq 85\text{mm}$ e $b_o \geq h_p$ e con connettori di diametro massimo pari a 20 mm nel caso di saldatura attraverso la lamiera e pari a 22 mm nel caso di lamiera forata.

Tabella. 4.3.II *Limiti superiori del coefficiente k_t .*

Numero di pioli per greca	Spessore della lamiera	Connettori con $\phi \leq 20\text{mm}$ e saldati attraverso la lamiera	Lamiera con fori e pioli saldati sul profilo – diametro pioli 19 o 22 mm
Nr=1	$\leq 1,0$	0,85	0,75
	$> 1,0$	1,0	0,75
Nr=2	$\leq 1,0$	0,70	0,60
	$> 1,0$	0,8	0,60

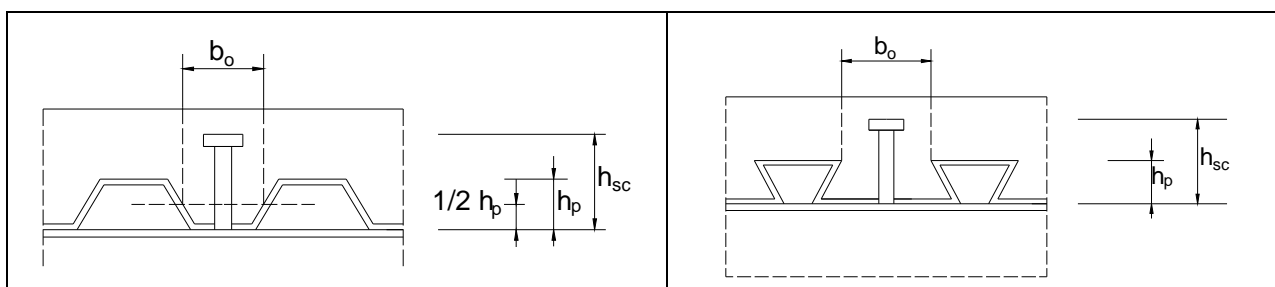


Figura 4.3.4(b) *Disposizione della lamiera grecata rispetto al profilo in acciaio.*

4.3.4.3.2 *Altri tipi di connettori*

Per altri tipi di connettori, quali connettori a pressione, uncini e cappi, connettori rigidi nelle solette piene, la resistenza a taglio si deve valutare secondo normative di comprovata validità.

4.3.4.3.3 *Valutazione delle sollecitazioni di taglio agenti sul sistema di connessione*

Ai fini della progettazione della connessione, la forza di scorrimento per unità di lunghezza può essere calcolata impiegando la teoria elastica o, nel caso di connettori duttili, la teoria plastica.

Nel caso di analisi elastica, le verifiche devono essere condotte su ogni singolo connettore.

Per connessioni duttili a completo ripristino, la massima forza totale di scorrimento di progetto, V_{Id} che deve essere contrastata da connettori distribuiti tra le sezioni critiche, si determina con equazioni di equilibrio plastico.

Se si utilizza per le sezioni trasversali la teoria elastica, anche la forza di scorrimento per unità di lunghezza deve essere calcolata utilizzando la teoria elastica, considerando l'aliquota di taglio che agisce dopo che la connessione si è attivata. Le proprietà statiche della sezione trasversale devono essere uguali a quelle utilizzate nel calcolo delle tensioni normali.

4.3.4.3.4 *Dettagli costruttivi della zona di connessione a taglio*

Il copriferro al di sopra dei connettori a piolo deve essere almeno 20 mm. Lo spessore del piatto a cui il connettore è saldato deve essere sufficiente per l'esecuzione della saldatura e per una efficace trasmissione delle azioni di taglio. La distanza minima tra il connettore e il bordo della piattabanda cui è collegato deve essere almeno 20 mm.

L'altezza complessiva del piolo dopo la saldatura deve essere almeno 3 volte il diametro del gambo del piolo, d . La testa del piolo deve avere diametro pari ad almeno $1,5 d$ e spessore pari ad almeno $0,4 d$. Quando i connettori a taglio sono soggetti ad azioni che inducono sollecitazioni di fatica, il diametro del piolo non deve eccedere 1,5 volte lo spessore del piatto a cui è collegato. Quando i connettori a piolo sono saldati sull'ala, in corrispondenza dell'anima del profilo in acciaio, il loro diametro non deve essere superiore a 2,5 volte lo spessore dell'ala.

Quando i connettori sono utilizzati con le lamiere grecate per la realizzazione degli impalcati negli edifici, l'altezza nominale del connettore deve sporgere non meno di 2 volte il diametro del gambo al di sopra della lamiera grecata. L'altezza minima della greca che può essere utilizzata negli edifici è di 50 mm.

4.3.4.3.5 *Armatura trasversale*

L'armatura trasversale della soletta deve essere progettata in modo da prevenire la rottura prematura per scorrimento o fessurazione longitudinale nelle sezioni critiche della soletta di calcestruzzo a causa delle elevate sollecitazioni di taglio create dai connettori. L'armatura deve essere dimensionata in modo da assorbire le tensioni di scorrimento agenti sulle superfici "critiche" di potenziale rottura, a-a, b-b, c-c, d-d, esemplificate in Fig. 4.3.5.

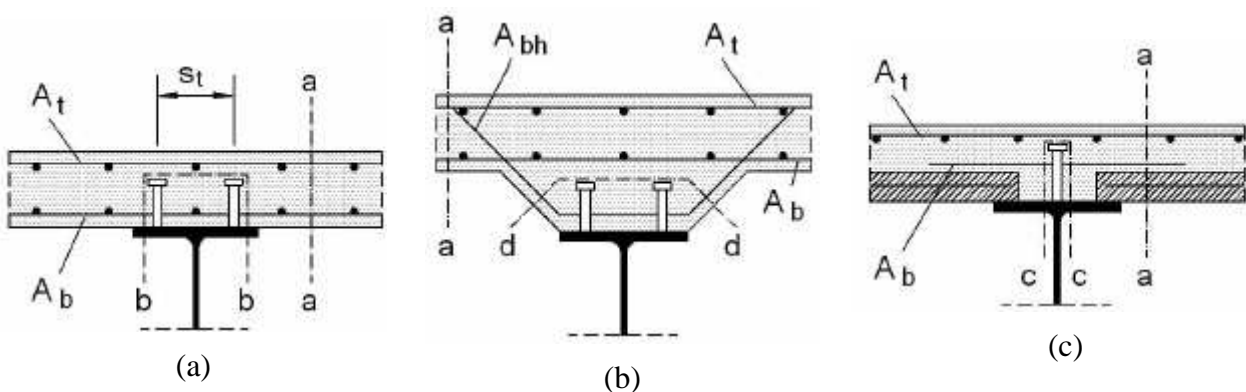


Figura 4.3.5 - *Tipiche superfici di collasso a taglio nelle piattabande di calcestruzzo.*

La sollecitazione di taglio agente lungo le superfici critiche deve essere determinata coerentemente con le ipotesi di calcolo assunte per la determinazione della resistenza della connessione.

L'area di armatura trasversale in una soletta piena non deve essere minore di 0,002 volte l'area del calcestruzzo e deve essere distribuita uniformemente. In solette con lamiera grecata aventi nervature parallele o perpendicolari all'asse della trave, l'area dell'armatura trasversale non deve essere minore di 0,002 volte l'area del calcestruzzo della soletta posta al di sopra dell'estradosso della lamiera grecata e deve essere uniformemente distribuita.

4.3.4.4 Modalità esecutive

Le modalità esecutive devono essere conformi alle indicazioni della normativa consolidata.

4.3.4.5 Spessori minimi

Per gli elementi di acciaio della struttura composta valgono le regole stabilite al § 4.2.9.1. delle presenti norme.

Nelle travi composte da profilati metallici e soletta in c.a. lo spessore della soletta collaborante non deve essere inferiore a 50 mm e lo spessore della piattabanda della trave di acciaio cui è collegata la soletta non deve essere inferiore a 5 mm.

4.3.5 COLONNE COMPOSTE

4.3.5.1 Generalità e tipologie

Si considerano colonne composte soggette a compressione centrata, presso-flessione e taglio, costituite dall'unione di profili metallici, armature metalliche e calcestruzzo, con sezione costante:

- (a) sezioni completamente rivestite di calcestruzzo;
- (b) sezioni parzialmente rivestite di calcestruzzo;
- (c) sezioni scatolari rettangolari riempite di calcestruzzo;
- (d) sezioni circolari cave riempite di calcestruzzo.

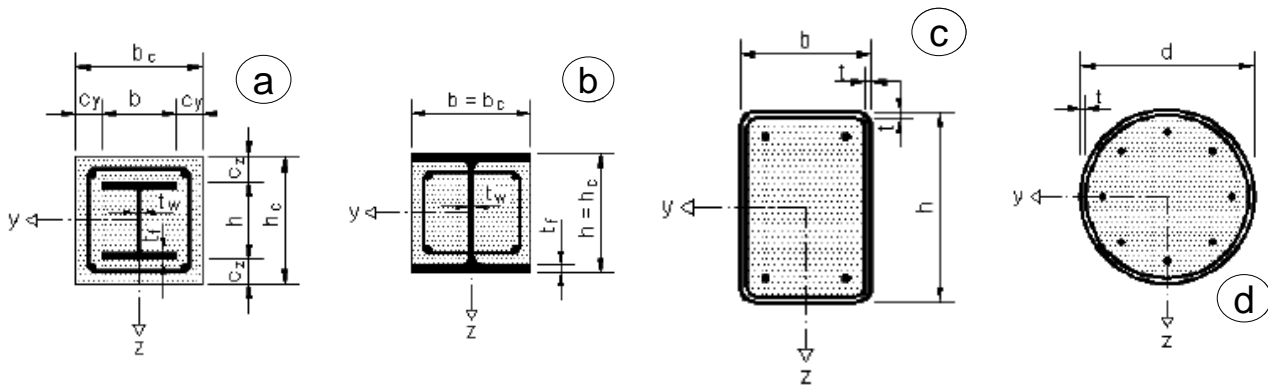


Figura 4.3.6 - Tipi di sezioni per colonne composte, trattate nel presente paragrafo .

In generale è possibile concepire qualunque tipo di sezione trasversale, in cui gli elementi in acciaio e in calcestruzzo sono assemblati in modo da realizzare qualunque tipo di forma. Il progetto e le verifiche di tali elementi strutturali va eseguito utilizzando procedure numeriche affidabili che tengano in conto le non-linearità dei materiali e dei sistemi di connessione, i fenomeni di ritiro e viscosità, le non linearità legate alle imperfezioni.

Nel seguito vengono fornite indicazioni per verificare le colonne composte più comuni, vedi fig. 4.3.6, che rispettano i seguenti requisiti:

1. la sezione è doppiamente simmetrica;
2. il contributo meccanico di armatura δ , definito in § 4.3.5.2, è compreso tra 0,2 e 0,9;
3. la snellezza adimensionale $\bar{\lambda}$, definita in § 4.3.5.2, è inferiore a 2,0;
4. per le sezioni interamente rivestite, fig. 4.3.6 (a), i copriferri massimi che si possono considerare nel calcolo sono $c_y=0,4 \cdot b$ e $c_z=0,3 \cdot h$;
5. il rapporto tra l'altezza h_c e la larghezza b_c della sezione deve essere $0,2 \leq h_c/b_c \leq 5,0$.

Nei criteri di verifica, inoltre, si deve distinguere il caso in cui le sollecitazioni siano affidate

interamente alla struttura composta dal caso in cui la costruzione venga realizzata costruendo prima la parte in acciaio e poi completandola con il calcestruzzo.

4.3.5.2 Rigidezza flessionale, snellezza e contributo meccanico dell'acciaio

Il contributo meccanico del profilato in acciaio è definito dalla formula

$$\delta = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_a} \cdot \frac{1}{N_{pl,Rd}}, \quad (4.3.12)$$

dove con A_a è indicata l'area del profilo in acciaio e con $N_{pl,Rd}$ la resistenza plastica a sforzo normale della sezione composta, definita in § 4.3.5.3.1.

La rigidezza flessionale istantanea della sezione composta, EJ_{eff} , da utilizzarsi per la definizione del carico critico euleriano è data dalla formula

$$(EJ)_{eff} = E_a J_a + E_s J_s + k_e E_{cm} \cdot J_c, \quad (4.3.13)$$

dove k_e è un fattore correttivo pari a 0,6, mentre J_a , J_s e J_c sono i momenti di inerzia rispettivamente del profilo in acciaio, delle barre d'armature e del calcestruzzo ed E_{cm} è il modulo elastico istantaneo del calcestruzzo. La snellezza adimensionale della colonna è definita come

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}}, \quad (4.3.14)$$

dove N_{cr} è il carico critico euleriano definito in base alla rigidezza flessionale efficace della colonna composta e $N_{pl,Rk}$ è il valore caratteristico della resistenza a compressione dato da

$$N_{pl,Rk} = A_a \cdot f_{yk} + 0,85 \cdot A_c \cdot f_{ck} + A_s \cdot f_{sk}. \quad (4.3.15)$$

In fase di verifica allo stato limite ultimo, invece, occorre tenere conto degli effetti del secondo ordine, cosicché il valore della rigidezza flessionale diventa

$$(EJ)_{eff,II} = k_0 \cdot (E_a J_a + E_s J_s + k_{e,II} E_{cm} \cdot J_c), \quad (4.3.16)$$

dove k_0 vale 0,9 e $k_{e,II}$ è assunto pari a 0,5.

Quando una colonna è particolarmente snella, oppure quando la costruzione richiede particolari livelli di sicurezza, è necessario considerare anche i fenomeni a lungo termine.

4.3.5.3 Resistenza delle sezioni

4.3.5.3.1 Resistenza a compressione della sezione

La resistenza plastica della sezione composta a sforzo normale può essere valutata, nell'ipotesi di completa aderenza tra i materiali, secondo la formula

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_a \cdot f_{yk}}{\gamma_a} + \frac{A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} + \frac{A_s \cdot f_{sk}}{\gamma_s}. \quad (4.3.17)$$

dove A_a , A_c , A_s sono, rispettivamente, le aree del profilo in acciaio, della parte in calcestruzzo e delle barre d'armatura. Nel caso in cui si adottino sezione riempite rettangolari o quadrate, (fig. 4.3.6 c), è possibile tenere in conto l'effetto del confinamento del calcestruzzo all'interno del tubo, considerando $\alpha_{cc}=1$. Per le colonne a sezione circolare riempite con calcestruzzo (fig.4.3.6 d) si può tenere in conto l'effetto del confinamento del calcestruzzo offerto dall'acciaio.

4.3.5.3.2 Resistenza a taglio della sezione

La sollecitazione di taglio V_{Ed} agente sulla sezione deve essere distribuita tra la porzione in acciaio e la porzione in calcestruzzo in modo da risultare minore o uguale della resistenza di ognuna delle due parti della sezione. In assenza di analisi più accurate il taglio può essere suddiviso utilizzando la seguente formula

$$\begin{aligned} V_{a,Ed} &= V_{Ed} \cdot \frac{M_{pl,a,Rd}}{M_{pl,Rd}} \\ V_{c,Ed} &= V_{Ed} - V_{a,Ed} \end{aligned} \quad (4.3.18)$$

dove $M_{pl,Rd}$ è il momento resistente della sezione composta mentre $M_{pl,a,Rd}$ è il momento resistente della sola sezione in acciaio. In generale la sollecitazione di taglio sulla parte in acciaio, $V_{a,Ed}$, non deve eccedere il 50% del taglio resistente della sola sezione in acciaio, $V_{c,Rd}$ (§ 4.2.4.1.2), per poterne così trascurare l'influenza sulla determinazione della curva di interazione N-M. In caso contrario è possibile tenerne in conto gli effetti (interazione taglio e flessione) riducendo la tensione di snervamento dell'anima (§ 4.2.4.1.2). Per semplicità è possibile procedere assegnando tutta l'azione di taglio V_{Ed} alla sola parte in acciaio.

4.3.5.4 Stabilità delle membrature

4.3.5.4.1 Colonne compresse

La resistenza all'instabilità della colonna composta è data dalla formula

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot N_{pl,Rd} \quad (4.3.19)$$

dove $N_{pl,Rd}$ è la resistenza definita in § 4.3.5.3.1 e χ è il coefficiente riduttivo che tiene conto dei fenomeni di instabilità, definito in funzione della snellezza adimensionale dell'elemento $\bar{\lambda}$ con la formula

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0, \quad (4.3.20)$$

dove $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$ e α è il fattore di imperfezione, ricavato dalla Tab. 4.3.III.

4.3.5.4.2 Instabilità locale

I fenomeni di instabilità locale possono essere ignorati nel calcolo delle colonne se sono rispettate le seguenti disuguaglianze:

$$\frac{d}{t} \leq 90 \cdot \frac{235}{f_y} \text{ per colonne circolari cave riempite;} \quad (4.3.21)$$

$$\frac{d}{t} \leq 52 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} \text{ per colonne rettangolari cave riempite;} \quad (4.3.22)$$

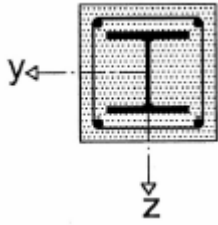
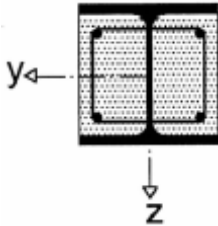
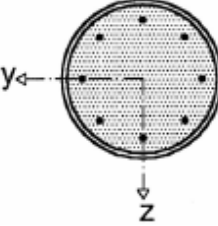
$$\frac{b}{t_f} \leq 44 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} \text{ per sezioni parzialmente rivestite;} \quad (4.3.23)$$

$$c \geq \max\left\{40\text{mm}; \frac{b}{6}\right\} \text{ per sezioni completamente rivestite;} \quad (4.3.24)$$

dove b e t_f sono rispettivamente la larghezza e lo spessore delle ali del profilo ad I o H; d e t sono

invece il diametro e lo spessore della sezione dei profili cavi; c è il copriferro esterno delle sezioni interamente rivestite.

Tabella. 4.3.III Curve di instabilità e fattori di imperfezione

Tipo sezione	Inflessione intorno all'asse	Curva di instabilità	
 (a)	y-y	b	
	z-z	c	
 (b)	y-y	b	
	z-z	c	
 (c)		a ($\rho_s < 3\%$)	
		b ($3\% < \rho_s < 6\%$)	
		$\rho_s = A_s/A_c$ (A_s area armature, A_c area calcestruzzo)	
Curva di instabilità	a	b	c
Fattore di imperfezione α	0,21	0,34	0,49

4.3.5.4.3 Colonne pressoinflesse

La verifica a presso-flessione della colonna composta è condotta controllando che

$$M_{Ed} \leq \alpha_M \cdot M_{pl,Rd}(N_{Ed}), \quad (4.3.25)$$

dove M_{Ed} , associato allo sforzo normale N_{Ed} , è il massimo valore del momento flettente nella colonna, calcolato considerando, se rilevanti, i difetti di rettilineità della colonna, vedi Tab. 4.3. III, e gli effetti del secondo ordine e $M_{pl,Rd}(N_{Ed})$ il momento resistente disponibile, funzione di N_{Ed} .

Il coefficiente α_M è assunto pari a 0,9 per gli acciai compresi tra le classi S235 ed S355, mentre per l'S420 e l'S460 è posto pari a 0,8.

Gli effetti dei fenomeni del secondo ordine possono essere tenuti in conto incrementando i momenti ottenuti dall'analisi elastica tramite il coefficiente amplificativo

$$k = \frac{\beta}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}}} \geq 1,0, \quad (4.3.26)$$

in cui N_{cr} è il carico critico euleriano e β è un coefficiente che dipende dalla distribuzione del momento flettente lungo l'asse dell'elemento.

Il coefficiente β è assunto pari ad 1, quando l'andamento del momento flettente è parabolico o triangolare con valori nulli alle estremità della colonna, ed è dato da

$$\beta = 0,66 + 0,44 \cdot \frac{M_{\max}}{M_{\min}} \geq 0,44 \quad (4.3.27)$$

quando l'andamento è lineare, con M_{\max} e M_{\min} i momenti alle estremità della colonna, concordi se tendono le fibre poste dalla stessa parte dell'elemento (se M è costante $M_{\max}=M_{\min}$ e $\beta=1,1$).

4.3.5.5 Trasferimento degli sforzi tra componente in acciaio e componente in calcestruzzo

La lunghezza di trasferimento degli sforzi tra acciaio e calcestruzzo non deve superare il doppio della dimensione maggiore della sezione trasversale oppure, se minore, un terzo dell'altezza della colonna.

Qualora, nel trasferimento degli sforzi, si faccia affidamento sulla resistenza dovuta all'aderenza ed all'attrito, il valore puntuale della tensione tangenziale può calcolarsi mediante un'analisi elastica in fase non fessurata. Il valore puntuale massimo non deve superare le tensioni tangenziali limite di aderenza fornite nel paragrafo successivo.

Se si realizza un collegamento meccanico, utilizzando connettori duttili di cui al § 4.3.4.3.1, si può effettuare una valutazione in campo plastico degli sforzi trasferiti, ripartendoli in modo uniforme fra i connettori.

Nelle sezioni parzialmente rivestite composte con profili metallici a doppio T, il calcestruzzo tra le ali deve essere collegato all'anima mediante staffe individuando un chiaro meccanismo di trasferimento tra il calcestruzzo e l'anima; in particolare le staffe devono essere passanti o saldate, oppure si devono inserire connettori.

4.3.5.5.1 Resistenza allo scorrimento fra i componenti

La resistenza allo scorrimento fra profili in acciaio e calcestruzzo è dovuta alle tensioni di aderenza, all'attrito all'interfaccia acciaio-calcestruzzo nonché al collegamento meccanico; la resistenza deve essere tale da evitare scorrimenti rilevanti che possano inficiare i modelli di calcolo considerati.

Nell'ambito del metodo di verifica agli stati limiti si può assumere una tensione tangenziale di progetto dovuta all'aderenza ed all'attrito, fino ai seguenti limiti:

- 0,3 MPa, per sezioni completamente rivestite;
- 0,55 MPa, per sezioni circolari riempite di calcestruzzo;
- 0,40 MPa, per sezioni rettangolari riempite di calcestruzzo;
- 0,2 MPa, per le ali delle sezioni parzialmente rivestite;
- 0 (zero), per l'anima delle sezioni parzialmente rivestite.

Se tali limiti vengono superati, l'intero sforzo va affidato a collegamenti meccanici. Il collegamento meccanico tra il profilo in acciaio a doppio T ed il calcestruzzo può essere realizzato mediante staffe saldate all'anima del profilo oppure passanti; un altro meccanismo di connessione può essere realizzato con pioli a taglio. In ogni caso è necessario definire un sistema di connessione dal chiaro funzionamento meccanico per il trasferimento delle sollecitazioni.

Qualora vi siano connettori a piolo sull'anima di sezioni in acciaio a doppio T o similari, le ali limitano l'espansione laterale del calcestruzzo incrementando la resistenza a taglio dei pioli. Questa resistenza aggiuntiva si può assumere pari a $\mu P_{Rd}/2$, vedi Fig. 4.3.7, su ogni ala per ogni fila di pioli, essendo P_{Rd} la resistenza del singolo connettore. Si può assumere $\mu=0,5$. Tali valori delle resistenze meccaniche sono considerati validi se la distanza tra le ali rispetta le limitazioni (vedi Fig. 4.3.7):

- 300 mm, se è presente un connettore per fila;
- 400 mm, se sono presenti due connettori per fila;

- 600 mm, se sono presenti tre o più connettori per fila.

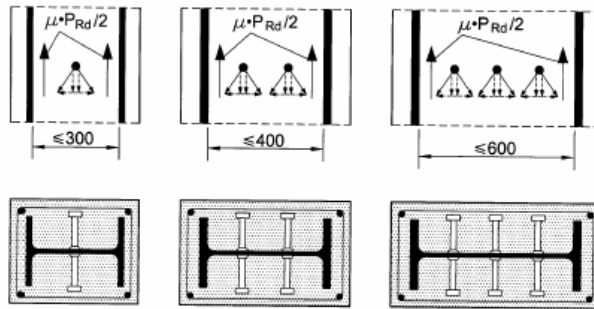


Figura 4.3.7 - Disposizione dei pioli per la connessione meccanica acciaio-calcestruzzo.

4.3.5.6 Copriferro e minimi di armatura

Si devono rispettare le seguenti limitazioni:

- il copriferro dell'ala deve essere non minore di 40 mm, né minore di 1/6 della larghezza dell'ala;
- il copriferro delle armature deve essere in accordo con le disposizioni relative alle strutture in cemento armato ordinario.

Le armature devono essere realizzate rispettando le seguenti indicazioni:

- l'armatura longitudinale, nel caso che venga considerata nel calcolo, non deve essere inferiore allo 0,3% della sezione in calcestruzzo;
- l'armatura trasversale deve essere progettata seguendo le regole delle strutture in cemento armato ordinario;
- la distanza tra le barre ed il profilo può essere inferiore a quella tra le barre oppure nulla; in questi casi il perimetro efficace per l'aderenza acciaio-calcestruzzo deve essere ridotto alla metà o a un quarto, rispettivamente;
- le reti elettrosaldate possono essere utilizzate come staffe nelle colonne rivestite ma non possono sostituire l'armatura longitudinale.

Nelle sezioni riempite di calcestruzzo generalmente l'armatura non è necessaria.

4.3.6 SOLETTE COMPOSTE CON LAMIERA GRECATA

Si definisce come composta una soletta in calcestruzzo gettata su una lamiera grecata, in cui quest'ultima, ad avvenuto indurimento del calcestruzzo, partecipa alla resistenza dell'insieme costituendo interamente o in parte l'armatura inferiore.

La trasmissione delle forze di scorrimento all'interfaccia fra lamiera e calcestruzzo non può essere affidata alla sola aderenza, ma si devono adottare sistemi specifici che possono essere:

- a ingranamento meccanico fornito dalla deformazione del profilo metallico o ingranamento ad attrito nel caso di profili sagomati con forme rientranti, (a) e (b), Fig. 4.3.8;
- ancoraggi di estremità costituiti da pioli saldati o altri tipi di connettori, purchè combinati a sistemi ad ingranamento (c), Fig. 4.3.8;
- ancoraggi di estremità ottenuti con deformazione della lamiera, purchè combinati con sistemi a ingranamento per attrito, (d) Fig. 4.3.8.

Occorre in ogni caso verificare l'efficacia e la sicurezza del collegamento tra lamiera grecata e calcestruzzo.

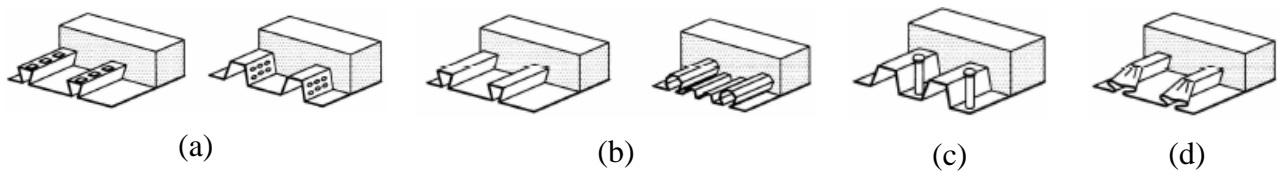


Figura 4.3.8 - Tipiche forme di connessione per ingranamento delle solette composte.

4.3.6.1 Analisi per il calcolo delle sollecitazioni

Nel caso in cui le solette siano calcolate come travi continue si possono utilizzare i seguenti metodi di analisi, già presentati nel paragrafo § 4.3.2.2:

- (a) analisi lineare con o senza redistribuzione;
- (b) analisi globale plastica, a condizione che, dove vi sono richieste di rotazione plastica, le sezioni abbiano sufficiente capacità rotazionale;
- (c) analisi elasto-plastica che tenga conto del comportamento non lineare dei materiali.

I metodi lineari di analisi sono idonei sia per gli stati limite ultimi, sia per gli stati limite di esercizio. I metodi plastici devono essere utilizzati solo nello stato limite ultimo.

Si può utilizzare, per lo stato limite ultimo, l'analisi plastica senza alcuna verifica diretta della capacità rotazionale se si utilizza acciaio da armatura B450C (di cui al § 11.3.2.1) e se le campate hanno luce minore di 3 m.

Se nell'analisi si trascurano gli effetti della fessurazione del calcestruzzo, i momenti flettenti negativi in corrispondenza degli appoggi interni possono essere ridotti fino al 30%, considerando i corrispondenti aumenti dei momenti flettenti positivi nelle campate adiacenti.

Una soletta continua può essere progettata come una serie di campate semplicemente appoggiate; in corrispondenza degli appoggi intermedi si raccomanda di disporre armature secondo le indicazioni del successivo § 4.3.6.3.1.

4.3.6.1.1 Larghezza efficace per forze concentrate o lineari

Forze concentrate o applicate lungo una linea parallela alle nervature della lamiera possono essere considerate ripartite su una larghezza b_m operando una diffusione a 45° sino al lembo superiore della lamiera, vedi Fig. 4.3.9, secondo la formula

$$b_m = b_p + 2(h_c + h_f) \quad (4.3.27)$$

dove b_p è la larghezza su cui agisce il carico, h_c è lo spessore della soletta sopra la nervatura e h_f è lo spessore delle finiture. Per stese di carico lineari disposte trasversalmente all'asse della greca si può utilizzare la medesima formula considerando come b_p l'estensione della linea di carico. Possono assumersi differenti larghezze efficaci b_m in presenza di differenti dettagli di armatura nella soletta così come indicato in § 7.3.2 della CNR10016/2000.

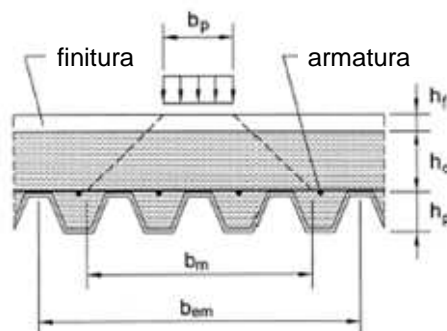


Figura 4.3.9 - Diffusione del carico concentrato.

4.3.6.2 Verifiche di resistenza allo stato limite ultimo

Si considereranno di regola le seguenti verifiche:

- resistenza a flessione;
- resistenza allo scorrimento;
- resistenza al punzonamento ed al taglio.

Ai fini della verifica allo scorrimento occorre conoscere la resistenza a taglio longitudinale di progetto $\tau_{u,Rd}$ tipica della lamiera grecata prevista, determinata secondo i criteri di cui al Cap. 11 delle presenti norme.

La resistenza di una soletta composta alle sollecitazioni di taglio-punzonamento è di regola valutata sulla base di una adeguata sperimentazione, condotta in modo da riprodurre le effettive condizioni della superficie di contatto tra lamiere e getto in calcestruzzo riscontrabili in cantiere.

Qualora si consideri efficace la sola lamiera grecata, attribuendo al calcestruzzo esclusivamente la funzione di contrasto all'imbozzamento locale, la resistenza può essere verificata in accordo con le indicazioni di normative di comprovata validità sui profilati sottili di acciaio formati a freddo.

4.3.6.3 Verifiche agli stati limite di esercizio

4.3.6.3.1 Verifiche a fessurazione

L'ampiezza delle fessure del calcestruzzo nelle regioni di momento negativo di solette continue deve essere calcolata in accordo col § 4.1.2.2.4.

Qualora le solette continue siano progettate come semplicemente appoggiate in accordo con il precedente § 4.3.6.1, la sezione trasversale dell'armatura di controllo della fessurazione non deve essere minore di 0,2% dell'area della sezione trasversale del calcestruzzo posta al di sopra delle nervature nelle costruzioni non puntellate in fase di getto, e di 0,4% dell'area della sezione trasversale del calcestruzzo posta al di sopra delle nervature per le costruzioni puntellate in fase di getto.

4.3.6.3.2 Verifiche di deformabilità

L'effetto dello scorrimento di estremità può essere trascurato se nei risultati sperimentali il carico che causa uno scorrimento di 0,5 mm è maggiore di 1,2 volte il carico della combinazione caratteristica considerata, oppure se la tensione tangenziale di scorrimento all'interfaccia è inferiore al 30% della tensione limite di aderenza $\tau_{u,Rd}$.

Il calcolo delle frecce può essere omesso se il rapporto tra luce ed altezza non supera i limiti indicati nel precedente § 4.1 relativo alle strutture di c.a. e risulta trascurabile l'effetto dello scorrimento di estremità.

4.3.6.4 Verifiche della lamiera grecata nella fase di getto

4.3.6.4.1 Verifica di resistenza

La verifica della lamiera grecata deve essere svolta in accordo con le indicazioni della normativa UNI EN1993-1-3 in materia di profilati sottili di acciaio formati a freddo. Gli effetti delle dentellature o delle bugnature devono essere opportunamente considerati nella valutazione della resistenza.

4.3.6.4.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

L'inflessione della lamiera sotto il peso proprio ed il peso del calcestruzzo fresco, escludendo i carichi di costruzione, non deve essere maggiore di $L/180$ o 20 mm, essendo L la luce effettiva della campata fra due appoggi definitivi o provvisori.

Tali limiti possono essere aumentati qualora inflessioni maggiori non inficino la resistenza o l'efficienza del solaio e sia considerato nella progettazione del solaio e della struttura di supporto il peso addizionale dovuto all'accumulo del calcestruzzo. Nel caso in cui l'inflessione dell'estradosso possa condurre a problemi legati ai requisiti di funzionalità della struttura, i limiti deformativi debbono essere ridotti.

4.3.6.5 Dettagli costruttivi

4.3.6.5.1 Spessore minimo delle lamiere grecate

Lo spessore delle lamiere grecate impiegate nelle solette composte non deve essere inferiore a 0,8 mm. Lo spessore della lamiera potrà essere ridotto a 0,7 mm quando in fase costruttiva vengano studiati idonei provvedimenti atti a consentire il transito in sicurezza di mezzi d'opera e personale.

4.3.6.5.2 Spessore della soletta

L'altezza complessiva h del solaio composto non deve essere minore di 80 mm. Lo spessore del calcestruzzo h_c al di sopra dell'estradosso delle nervature della lamiera non deve essere minore di 40 mm.

Se la soletta realizza con la trave una membratura composta, oppure è utilizzata come diaframma orizzontale, l'altezza complessiva non deve essere minore di 90 mm ed h_c non deve essere minore di 50 mm.

4.3.6.5.3 Inerti

La dimensione nominale dell'inerte dipende dalla più piccola dimensione dell'elemento strutturale nel quale il calcestruzzo è gettato.

4.3.6.5.4 Appoggi

Le solette composte sostenute da elementi di acciaio o calcestruzzo devono avere una larghezza di appoggio minima di 75 mm, con una dimensione di appoggio del bordo della lamiera grecata di almeno 50 mm.

Nel caso di solette composte sostenute da elementi in diverso materiale, tali valori devono essere portati rispettivamente a 100 mm e 70 mm.

Nel caso di lamiere sovrapposte o continue che poggiano su elementi di acciaio o calcestruzzo, l'appoggio minimo deve essere 75 mm e per elementi in altro materiale 100 mm.

I valori minimi delle larghezze di appoggio riportati in precedenza possono essere ridotti, in presenza di adeguate specifiche di progetto circa tolleranze, carichi, campate, altezza dell'appoggio e requisiti di continuità per le armature.

4.3.7 VERIFICHE PER SITUAZIONI TRANSITORIE

Per le situazioni costruttive transitorie, come quelle che si hanno durante le fasi della costruzione, dovranno adottarsi tecnologie costruttive e programmi di lavoro che non possano provocare danni

permanenti alla struttura o agli elementi strutturali e che comunque non possano riverberarsi sulla sicurezza dell'opera.

Le entità delle azioni ambientali da prendere in conto saranno determinate in relazione alla durata della situazione transitoria e della tecnologia esecutiva.

4.3.8 VERIFICHE PER SITUAZIONI ECCEZIONALI

Per situazioni progettuali eccezionali, il progetto dovrà dimostrare la robustezza della costruzione mediante procedure di scenari di danno per i quali i fattori parziali γ_M dei materiali possono essere assunti pari ai valori precisati per il calcestruzzo nel § 4.1.4 e per l'acciaio nel § 4.2.6.

4.3.9 RESISTENZA AL FUOCO

Le verifiche di resistenza al fuoco potranno eseguirsi con riferimento a UNI EN 1994-1-2, utilizzando i coefficienti γ_M (v. § 4.3.8) relativi alle combinazioni eccezionali.