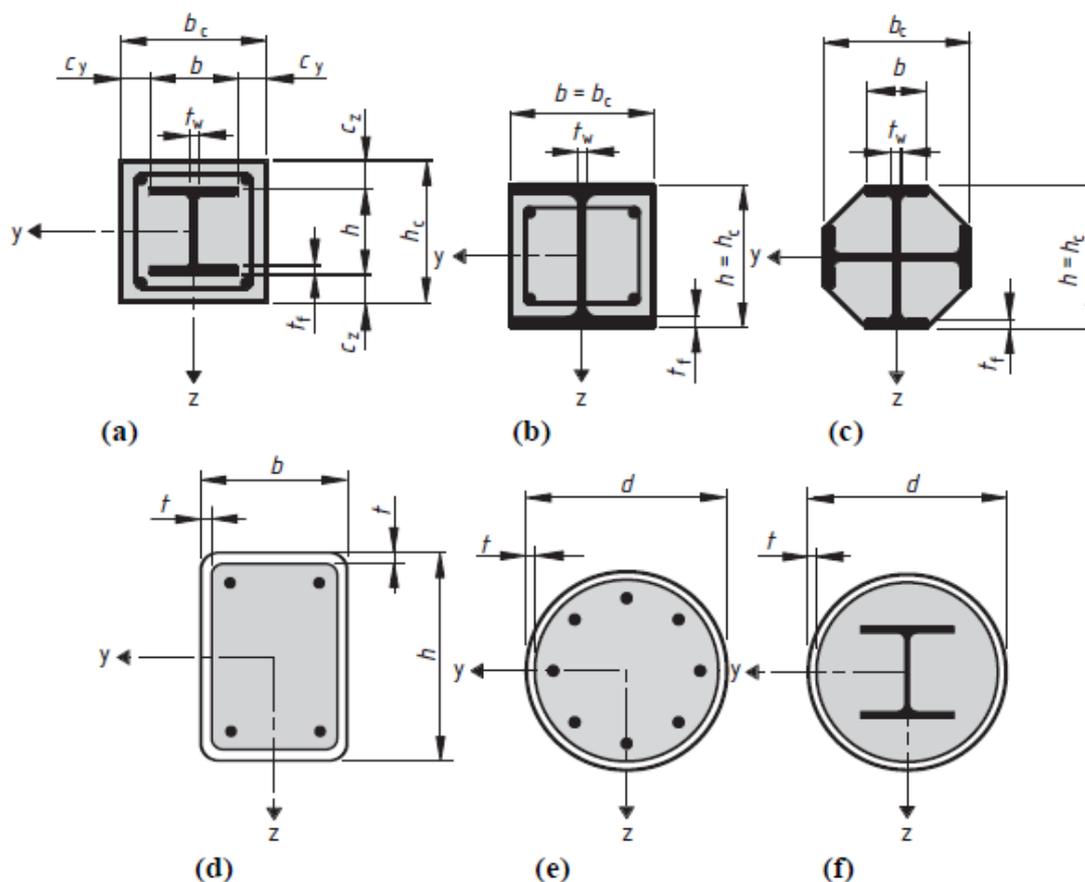


### 3 Colonne e strutture composte

#### 3.1 Introduzione

Le colonne composte acciaio-calcestruzzo sono ottenute considerando la possibile collaborazione tra un profilo metallico ed una parte di calcestruzzo che rivesta completamente o parzialmente lo rivesta completamente o che ne sia tenuto. La Figura 3.1 mostra diverse tipologie di sezioni per colonne composte acciaio-calcestruzzo.



**Figura 3.1: diverse tipologie di sezione per travi composte**

In particolare si distinguono le sezioni classificabili come segue:

- sezioni completamente rivestite di calcestruzzo (Figura 3.1a);
- sezioni parzialmente rivestite di calcestruzzo (Figura 3.1b, c);
- sezioni scatolari rettangolari riempite di calcestruzzo (Figura 3.1d, e);
- sezioni circolari cave riempite di calcestruzzo (Figura 3.1f).

In generale, si possono progettare e realizzare sezioni di vario tipo, 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.

Le colonne o le membrature composte di qualsiasi sezione trasversale devono essere verificate rispetto ai seguenti aspetti:

- resistenza ad azione normale, flessione e taglio;
- resistenza all'instabilità locale secondo le limitazioni in termini di snellezza locale delle parti metalliche;
- aspetti relativi all'applicazione dei carichi;
- resistenza di scorrimento all'interfaccia tra acciaio e calcestruzzo ed eventuale progettazione di appositi dispositivi per assicurarne la connessione.

Nei paragrafi che seguono verranno esposti i punti fondamentali della progettazione di colonne composte acciaio-calcestruzzo, adottando il Metodo Semi-Probabilistico agli Stati Limite secondo quanto specificato dai seguenti documenti normativi nazionali:

- D.M. M.I.T.T. 14/01/2008: *Approvazione del nuovo testo sulle nuove Norme Tecniche*, Supplemento Ordinario n.30 alla Gazzetta Ufficiale n.29 del 4 febbraio 2008 (NTC – D.M. 14/01/2008, nel seguito);
- Circolare 2 febbraio 2009 contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27;
- C.N.R. 10016/2000: "Travi composte in acciaio e calcestruzzo: istruzioni per l'impiego nelle costruzioni".

Per gli aspetti eventualmente non coperti dalla normativa nazionale si farà riferimento alle prescrizioni degli Eurocodici, ed in particolare ai due seguenti documenti:

- UNI EN 1994 1-1: Design of composite steel and concrete structures - Part 1.1: General rules and rules for buildings
- UNI ENV 1993 1-3: General rules – Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting.

## 3.2 Simboli

I simboli utilizzati nel presente paragrafo sono elencati nel seguito:

- $b_c$  larghezza della parte in calcestruzzo;
- $h_c$  altezza della parte in calcestruzzo;
- $f_{ck}$  il valore caratteristico della resistenza cilindrica di compressione del calcestruzzo;
- $f_{sk}$  il valore caratteristico della tensione di snervamento dell'acciaio delle barre;
- $f_{ak}$  il valore caratteristico della tensione di snervamento dell'acciaio da carpenteria metallica;

Quanto alle grandezze relative alle altre caratteristiche meccaniche dei materiali si adotta la medesima simbologia prevista dalla Norma Tecnica per le Costruzioni.

### 3.3 Materiali e classificazione delle sezioni

I materiali che possono essere impiegati per la realizzazione della soletta e della trave metallica sono i medesimi generalmente utilizzati per la realizzazione di membrature in cemento armato o metalliche. Si rimanda, dunque, a testi e normative relativi a tali sistemi strutturali per la descrizione di tali materiali e delle loro proprietà meccaniche.

Anche per le costruzioni composte acciaio-calcestruzzo, la gamma degli acciai da carpenteria normalmente impiegabili è stata estesa dall'acciaio S235 fino all'acciaio S460. Per poter applicare le procedure di calcolo che verranno esposte nel seguito, il calcestruzzo ordinario deve avere classe non inferiore a C20/25 né superiore a C50/60. Problematiche specifiche, riguardanti la compatibilità delle deformazioni, riducono l'efficacia di calcestruzzi a maggiore resistenza per i quali vanno condotti studi più approfonditi.

L'effetto di instabilità locale si può trascurare in colonne completamente rivestite (Figura 3.1a) ed in colonne con altri tipi di sezione se sono rispettati i limiti geometrici riportati nella seguente Figura 3.2

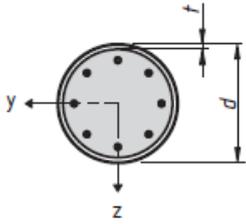
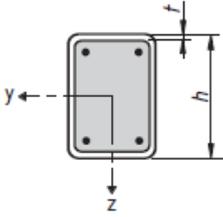
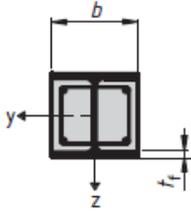
Cross-section	Max (d/t), max (h/t) and max (b/t)
Circular hollow steel sections 	$\max (d/t) = 90 \frac{235}{f_y}$
Rectangular hollow steel sections 	$\max (h/t) = 52 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$
Partially encased I-sections 	$\max (b/t_f) = 44 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

Figura 3.2: limiti geometrici inerenti la sensibilità a fenomeni di instabilità locale (EN 1994-1-1, Tabella 6.3)

### 3.4 Definizione di grandezze meccaniche significative

Nell'analisi e nella verifica di colonne compresse giocano un ruolo di notevole rilievo due parametri meccanici alla cui definizione sono dedicati i due seguenti sotto-paragrafi.

### 3.4.1 Contributo meccanico dell'acciaio

Il cosiddetto “contributo dell'acciaio”  $\delta$  rappresenta la porzione della resistenza assiale di progetto  $N_{pl,Rd}$  attribuibile al profilo metallico in condizioni di completa interazione tra calcestruzzo ed acciaio. Di conseguenza tale parametro è definito dal seguente rapporto:

$$\delta = \frac{A_a f_{ad}}{N_{pl,Rd}}, \quad (3.1)$$

nella quale:

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{ad} + A_s f_{sd} + A_c f_{cd}, \quad (3.2)$$

definendo l'area di calcestruzzo  $A_c$  al netto delle aree (quantitativamente rilevanti) dell'acciaio di barre e profilo:

$$A_c = b_c h_c - A_a - A_s. \quad (3.3)$$

Per le colonne composte si assume che generalmente il valore del contributo meccanico del profilo metallico sia compreso entro i seguenti limiti:

$$0,2 \leq \delta \leq 0,9. \quad (3.4)$$

### 3.4.2 Snellezza non dimensionale

$$N_{cr,E} = \frac{\pi^2 EI}{L_0^2}, \quad (3.5)$$

$$EI_{eff} = E_a I_a + E_s I_s + K_e E_{cm} I_c, \quad (3.6)$$

dove

- $K_e$  è un fattore di correzione essenzialmente legato alla possibile riduzione della rigidezza del calcestruzzo per effetto della fessurazione (si assume generalmente  $K_e=0,6$ );
- $I_a$ ,  $I_s$  e  $I_c$  sono i momenti d'inerzia delle sezioni in acciaio da carpenteria, per barre e del calcestruzzo.

L'effetto dei carichi di lunga durata sulle possibili deformazioni differite della parte in calcestruzzo si può considerare tenendo conto di un valore efficace del modulo di elasticità del calcestruzzo definito come segue:

$$E_{c,eff} = E_{cm} \cdot \frac{1}{1 + \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}} \varphi_t}, \quad (3.7)$$

dove  $N_{G,Ed}$  rappresenta il valore di calcolo della parte sforzo normale dovuto alle azioni permanenti e  $\phi_t$  è il coefficiente di viscosità definito in funzione del tempo  $t$  di verifica e  $t_0$  di applicazione dei carichi, oltre che degli altri parametri che hanno effetto sullo sviluppo delle deformazioni viscosi nel calcestruzzo (perimetro esposto, umidità relativa, ecc.).

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_p} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr,E}}}, \quad (3.8)$$

### 3.5 Analisi strutturale

$$EI_{eff,II} = K_o \cdot [E_a I_a + E_s I_s + K_{e,II} E_{cm} I_c], \quad (3.9)$$

dove

- $K_{e,II}$  è un fattore di correzione essenzialmente legato alla possibile riduzione della rigidità del calcestruzzo per effetto della fessurazione (si assume generalmente  $K_{e,II}=0,5$ );
- $K_o$  è un fattore di calibrazione della relazione (3.6) e può essere generalmente considerato pari a 0,9.

Gli effetti del secondo ordine possono essere trascurati nell'analisi quando l'analisi il valore del moltiplicatore critico  $\alpha_{cr}$ , valutato con riferimento alla rigidità flessionale delle colonne definita dall'equazione (3.6) risulta maggiore di 10.

L'influenza delle imperfezioni geometriche e meccaniche possono essere considerate tenendo conto di una imperfezione geometrica equivalente. Indicazioni sull'entità di tali imperfezioni equivalenti possono essere desunte dallo schema riportato nella Figura 3.7 in funzione della lunghezza  $L$  della colonna e della forma della sezione composta.

Per le verifiche della singola colonna l'effetto delle imperfezioni può considerarsi amplificando le azioni flettenti derivanti da una analisi del primo ordine tramite il seguente fattore di amplificazione (magnification factor)

$$k = \frac{\beta}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,eff}}} \geq 1,0, \quad (3.10)$$

dove

- $N_{cr,eff}$  è lo sforzo normale critico euleriano valutato considerando la rigidità flessionale definita dalla (3.6) ed una luce libera di inflessione pari alla lunghezza della colonna  $L$ ;

- $\beta$  è un fattore di equivalenza del diagramma del momento rispetto alla condizione di momento uniforme (lo schema nella Figura 3.3).

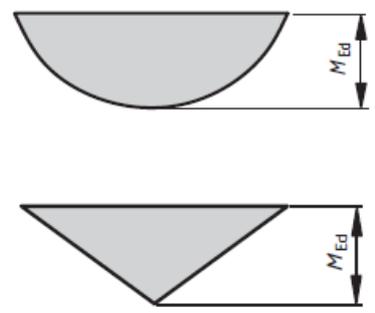
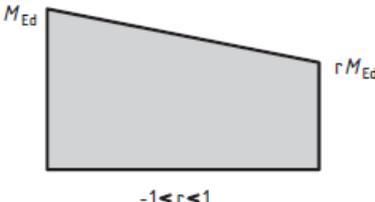
Moment distribution	Moment factors $\beta$	Comment
	First-order bending moments from member imperfection or lateral load:  $\beta = 1,0$	$M_{Ed}$ is the maximum bending moment within the column length ignoring second-order effects
	End moments:  $\beta = 0,66 + 0,44r$  but $\beta \geq 0,44$	$M_{Ed}$ and $r M_{Ed}$ are the end moments from first-order or second-order global analysis

Figura 3.3: Valori del fattore  $\beta$  per la verifica di stabilità

### 3.6 Resistenza delle sezioni: lo SLU per tensioni normali

#### 3.6.1 Metodo generale

$$b_{\text{eff}} = b_0 + b_{e1} + b_{e2} \quad , \quad (3.11)$$

#### 3.6.2 Metodo semplificato

Un metodo semplificato per la valutazione della resistenza a flessione delle sezioni composta può esse

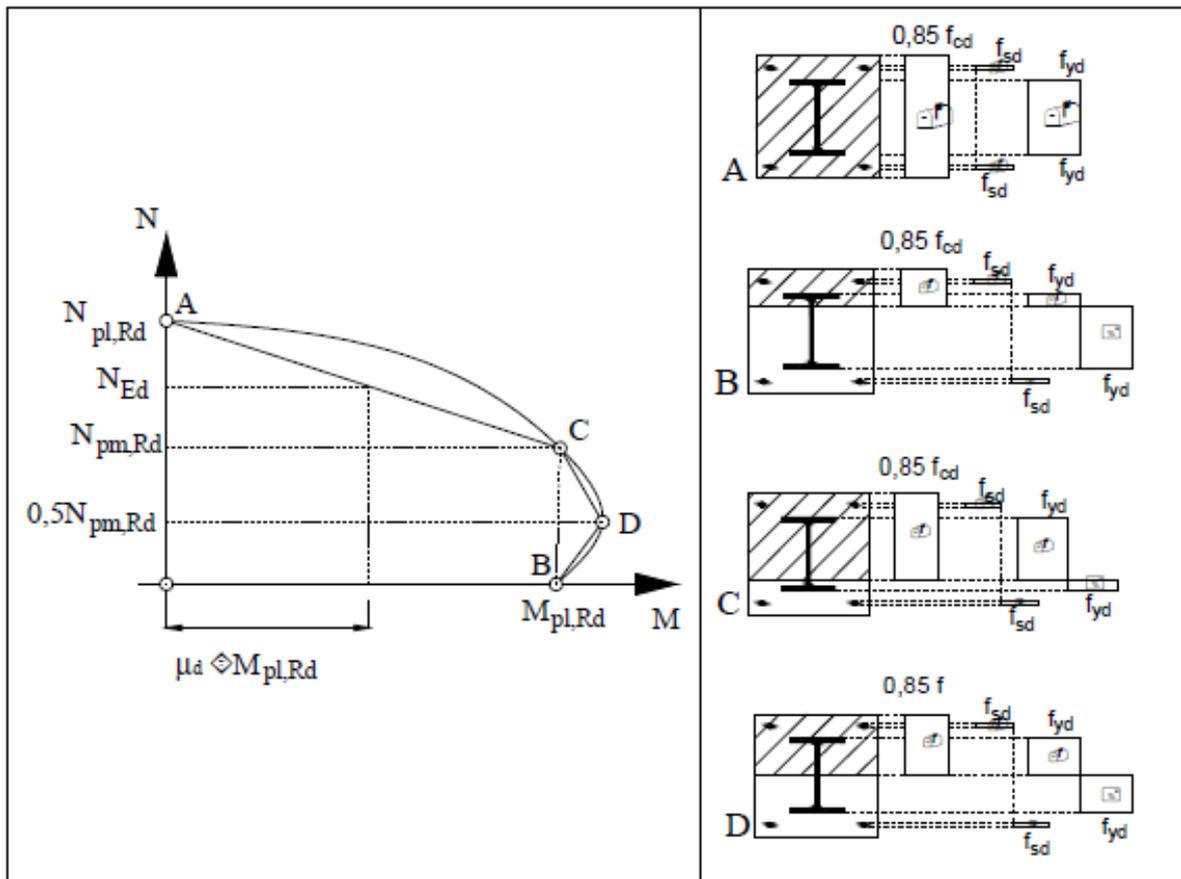


Figura 3.4: Metodo semplificato per il tracciamento di domini N-M

### 3.6.3 Cenni al caso delle colonne tubolari riempite di calcestruzzo

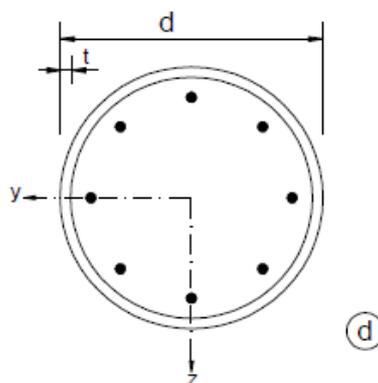


Figura 3.5: Sezione di profilo tubolare riempito di calcestruzzo

### 3.7 Resistenza delle sezioni: lo SLU per taglio

### 3.8 Tensioni di interfaccia e connessione a taglio

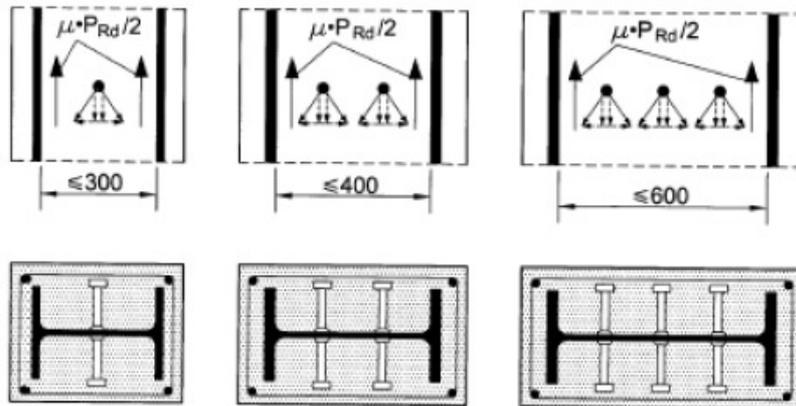


Figura 3.6: Possibile disposizione dei connettori a taglio

### 3.9 La stabilità delle membrature

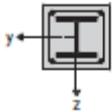
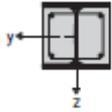
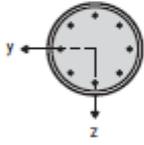
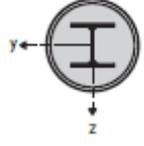
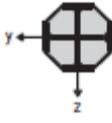
Cross-section	Limits	Axis of buckling	Buckling curve	Member imperfection
concrete encased section 		y-y	b	$L/200$
		z-z	c	$L/150$
partially concrete encased section 		y-y	b	$L/200$
		z-z	c	$L/150$
circular and rectangular hollow steel section 	$\rho_2 \leq 3\%$	any	a	$L/300$
	$3\% < \rho_2 \leq 6\%$	any	b	$L/200$
circular hollow steel sections with additional I-section 		y-y	b	$L/200$
		z-z	b	$L/200$
partially concrete encased section with crossed I-sections 		any	b	$L/200$

Figura 3.7: Valori del fattore  $\beta$  per la verifica di stabilità

### 3.10 Cenni sulle unioni trave-colonna

#### 3.10.1 Classificazione in termini di rigidezza

#### 3.10.2 Classificazione in termini di resistenza

## **3.11 Stati Limite di Esercizio**

### **3.11.1 Aspetti relativi ai metodi di verifica ed analisi**

## **3.12 Rassegna di prescrizioni normative**

Nel presente paragrafo vengono passate in rassegna le principali prescrizioni relative ai dettagli costruttivi per colonne composte. Tali prescrizioni sono tratte dalla NTC – D.M. 14/01/2008 e risultano sostanzialmente coerenti con la corrispondente normativa nazionale (Eurocodice 4, EN 1994 1-1).

### **3.12.1 Materiali**

Per le caratteristiche degli acciai (strutturali, da lamiera grecata e da armatura) utilizzati nelle strutture composte di acciaio e calcestruzzo si deve fare riferimento alle caratteristiche meccaniche ed alle procedure di qualificazione prescritte nel paragrafo 11 della NTC – D.M. 14/01/2008.

### **3.12.2 Indicazioni relative al copriferro**

Al fine di realizzare condizioni di omogeneità ed isotropia dell'elemento strutturale composto, ipotesi di base per l'applicazione degli usuali procedimenti di analisi e verifica, si devono rispettare le seguenti limitazioni relative alle dimensioni dei copri ferri del profilo metallico e delle barre di armatura:

- 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.

### **3.12.3 Minimi di armatura**

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 (come quelle rappresentate nella Figura 3.1d, e, f) non si pongono particolari limiti inferiori sul rapporto minimo di armatura metallica.

### 3.12.4 Altre prescrizioni

## 3.13 Esempio di calcolo

## 3.14 Bibliografia

- R. P. Johnson: Composite Structures of Steel and Concrete - Volume 1: Beams, Slabs, Columns, and Frames for Buildings, Blackwell Scientific Publications, Second Edition (Oxford, UK);
- D. J. Oehlers, M. A. Bradford (1995): Composite steel and concrete structural members : fundamental behaviour, Kidlington, Oxford, U.K. ; Tarrytown, N.Y. : Pergamon, 1995.

## 3.15 Glossario

Nel seguito si elencano una serie di termini ed espressioni della letteratura anglosassone relative alla teoria ed alla progettazione delle solette composte acciaio-calcestruzzo:

<i>Connecting device</i>	dispositivo di connessione;
<i>Headed stud</i>	pioli con testa;
<i>Profiled steel sheeting</i>	lamiera grecata;

# Appunti sulle Colonne Composte Acciaio-Calcestruzzo

3	Colonne e strutture composte.....	1
3.1	Introduzione.....	1
3.2	Simboli .....	2
3.3	Materiali e classificazione delle sezioni .....	3
3.4	Definizione di grandezze meccaniche significative .....	3
3.4.1	Contributo meccanico dell'acciaio .....	4
3.4.2	Snellezza non dimensionale.....	4
3.5	Analisi strutturale .....	5
3.6	Resistenza delle sezioni: lo SLU per tensioni normali .....	6
3.6.1	Metodo generale .....	6
3.6.2	Metodo semplificato .....	6
3.6.3	Cenni al caso delle colonne tubolari riempite di calcestruzzo.....	7
3.7	Resistenza delle sezioni: lo SLU per taglio.....	8
3.8	Tensioni di interfaccia e connessione a taglio.....	8
3.9	La stabilità delle membrature .....	8
3.10	Cenni sulle unioni trave-colonna.....	9
3.10.1	Classificazione in termini di rigidezza.....	9
3.10.2	Classificazione in termini di resistenza .....	9
3.11	Stati Limite di Esercizio .....	10
3.11.1	Aspetti relativi ai metodi di verifica ed analisi .....	10
3.12	Rassegna di prescrizioni normative.....	10
3.12.1	Materiali.....	10
3.12.2	Indicazioni relative al copriferro.....	10
3.12.3	Minimi di armatura .....	10
3.12.4	Altre prescrizioni .....	11
3.13	Esempio di calcolo .....	11
3.14	Bibliografia.....	11
3.15	Glossario.....	11