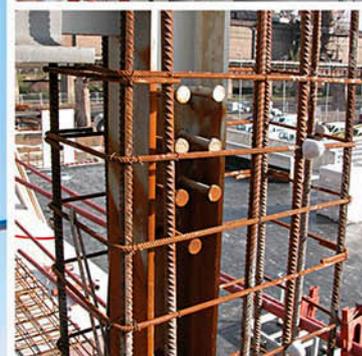
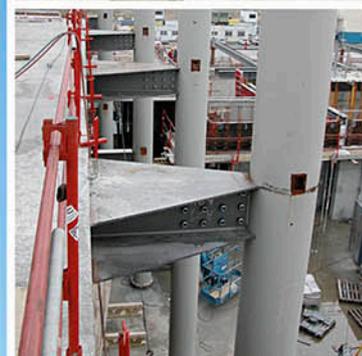


PROGETTAZIONE DI STRUTTURE COMPOSTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO

Scheda sul sito >

secondo gli Eurocodici e le Norme Tecniche per le Costruzioni

Emidio Nigro, Antonio Bilotta



PROGETTAZIONE DI STRUTTURE COMPOSTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO

secondo gli Eurocodici
e le Norme Tecniche per le Costruzioni

Emidio Nigro, Antonio Bilotta

Collana Acciaio

serie Monografie

5

Emidio Nigro, Antonio Bilotta

PROGETTAZIONE DI STRUTTURE COMPOSTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO

ISBN 978-88-579-0108-4

© 2011 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686 - fax 091525738

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: novembre 2011

Nigro, Emidio <1965->

Progettazione di strutture composte acciaio-calcestruzzo / Emidio Nigro, Antonio Bilotta.

- Palermo : D. Flaccovio, 2011.

ISBN 978-88-579-0108-4

I. Strutture in acciaio-calcestruzzo – Progettazione.

I. Bilotta, Antonio <1983->.

624.1821 CDD-22

SBN PAL0236925

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

In copertina: **Lussemburgo, Sede Dexia**

Committente: **Dexia B.I.L.**

Progetto architettonico: **Vasconi Associés Architects, Jean Petit Architects**

Progetto strutturale: **Simon & Christiansen, Bollinger & Grohmann, Luxplan**

Facciate trasparenti: **Gartner Permasteelisa**

Facciate in acciaio: **Arval ArcelorMittal**

Consulenti per la facciata: **AMP**

Foto: ©**Vasconi Associés (foto principale)**, ©**ArcelorMittal (foto di cantiere)**

Una pubblicazione:



Fondazione Promozione Acciaio

Via Vivaio, 11

20122 Milano – Italia

Tel. 02.86313020

Fax. 02.86313031

www.promozioneacciaio.it

Autori:

Emidio Nigro

Antonio Bilotta

Un particolare ringraziamento va a tutti i Soci di Fondazione Promozione Acciaio



Indice

Premessa	pag. XIII
Prefazione	» XV
1. Tipologie strutturali, materiali e criteri di verifica	
1.1. Premessa	» 2
1.2. Le strutture composte acciaio-calcestruzzo	» 2
1.2.1. I vantaggi del sistema composto acciaio-calcestruzzo	» 6
1.2.2. L'esempio della First City Tower.....	» 8
1.3. Tipologie di strutture composte acciaio-calcestruzzo	» 12
1.3.1. Solette	» 12
1.3.2. Travi	» 15
1.3.3. Colonne	» 18
1.3.4. Telai.....	» 22
1.4. I materiali strutturali: acciaio e calcestruzzo	» 28
1.4.1. I legami costitutivi sperimentali	» 28
1.4.2. I legami costitutivi per il calcolo.....	» 29
1.5. Criteri di verifica	» 32
1.5.1. Il metodo semi-probabilistico agli stati limite.....	» 33
1.5.2. Le azioni e le combinazioni di carico per stato limite ultimo e di servizio	» 34
1.5.3. Effetti delle azioni.....	» 36
2. Solette composte	
2.1. Premessa	» 40
2.2. Cenni sull'instabilità locale in laminati piani	» 40
2.2.1. Instabilità locale per tensioni normali	» 42
2.2.2. Instabilità locale per azioni tangenziali	» 47
2.3. Generalità sul calcolo delle solette composte	» 48
2.3.1. Raccomandazioni normative.....	» 50
2.3.1.1. Spessore minimo delle lamiere grecate	» 50
2.3.1.2. Spessore della soletta e armatura	» 50
2.3.1.3. Inerti	» 51
2.3.1.4. Requisiti degli appoggi	» 51
2.3.2. Azioni e combinazioni di carico.....	» 52
2.3.2.1. Lamiera grecata utilizzata come cassero nella fase di costruzione	» 52
2.3.2.2. Soletta composta	» 54
2.3.3. Resistenze di calcolo.....	» 54
2.4. Verifiche della lamiera grecata nella fase di costruzione	» 55
2.4.1. Verifica a flessione	» 55
2.4.2. Verifica a taglio della lamiera	» 55
2.4.3. Verifica allo stato limite di inflessione	» 56
2.5. Verifiche allo stato limite ultimo della soletta composta	» 56
2.5.1. Calcolo della resistenza a flessione	» 58
2.5.1.1. Momento flettente positivo.....	» 58
2.5.1.2. Momento flettente negativo.....	» 61
2.5.2. Calcolo della resistenza allo scorrimento longitudinale.....	» 63
2.5.2.1. Il metodo $m-k$	» 63
2.5.2.2. Il metodo dell'interazione parziale.....	» 65
2.5.2.3. Metodi a confronto	» 67
2.5.2.4. Solette con ancoraggio alle estremità.....	» 70
2.5.3. Calcolo della resistenza a taglio	» 71
2.5.4. Calcolo della resistenza al punzonamento ed effetti locali	» 73

2.5.4.1. Verifica a punzonamento	»	73
2.5.4.2. Effetti locali	»	74
2.5.5. Interazione tra flessione, taglio e scorrimento	»	77
2.5.5.1. Crisi per flessione	»	77
2.5.5.2. Crisi per taglio	»	78
2.5.5.3. Crisi per scorrimento	»	78
2.6. Stato limite di servizio della soletta composta	»	79
2.6.1. Fessurazione del calcestruzzo	»	79
2.6.2. Stato limite di deformabilità (inflessione).....	»	80
2.6.2.1. Fessurazione e tension stiffening	»	83
3. Travi composte		
3.1. Premessa	»	88
3.2. Classificazione e resistenza delle sezioni composte	»	89
3.2.1. Classificazione delle sezioni	»	89
3.2.2. Resistenza delle sezioni	»	95
3.3. Effetti viscosi del calcestruzzo	»	98
3.3.1. Richiami di teoria della viscoelasticità lineare	»	99
3.3.2. Valutazione delle deformazioni viscosi	»	102
3.3.3. Metodo EM	»	105
3.3.4. Metodo AAEM	»	106
3.3.5. Metodo AAEM semplificato	»	109
3.4. Travi composte isostatiche	»	110
3.4.1. Verifica a flessione	»	113
3.4.1.1. Calcolo del momento resistente mediante il metodo plastico	»	117
3.4.1.2. Criteri di progetto	»	120
3.4.2. Verifica a taglio	»	122
3.4.3. Stato limite di servizio	»	125
3.4.3.1. Valutazione delle tensioni a breve e lungo termine.....	»	125
3.4.3.2. Valutazione degli effetti del ritiro	»	127
3.4.3.3. Verifiche allo stato limite di servizio mediante l'analisi elastica.....	»	131
3.5. Travi composte iperstatiche.....	»	138
3.5.1. Calcolo del momento resistente mediante il metodo plastico	»	138
3.5.2. Generalità sull'analisi strutturale	»	141
3.5.2.1. Analisi lineare elastica.....	»	142
3.5.2.2. Analisi non lineare e redistribuzione dei momenti.....	»	143
3.5.2.3. Analisi plastica.....	»	147
3.5.3. Analisi lineare elastica con redistribuzione dei momenti	»	152
3.5.3.1. Analisi non lineare semplificata	»	155
3.5.3.2. Coefficiente di redistribuzione dei momenti – Analisi parametrica	»	158
3.5.3.3. Coefficiente di redistribuzione dei momenti – Formulazione semplificata	»	161
3.5.4. Osservazioni riepilogative sul progetto agli stati limite di travi continue mediante l'analisi lineare con redistribuzione dei momenti	»	163
3.5.4.1. Stato limite ultimo	»	163
3.5.4.2. Stato limite di servizio.....	»	166
3.5.5. Effetti iperstatici dovuti al ritiro	»	171
3.5.6. Verifiche agli stati limite di servizio	»	171
3.5.6.1. Stato limite di deformabilità e limitazione delle tensioni in esercizio	»	171
3.5.6.2. Stato limite di fessurazione	»	172
3.6. Connessione acciaio-calcestruzzo	»	174
3.6.1. Tipologie e classificazione dei connettori	»	176
3.6.2. Resistenza del sistema di connessione	»	179
3.6.3. Il calcolo elastico del sistema di connessione	»	187
3.6.4. Il calcolo plastico del sistema di connessione (trave isostatica).....	»	189

3.6.5. Il calcolo plastico del sistema di connessione (travi iperstatiche).....	» 193
3.6.6. Il calcolo del sistema di connessione parziale	» 195
3.6.7. Travi composte acciaio-calcestruzzo con connessione deformabile.....	» 198
3.6.7.1. Modello analitico di trave composta con connessione deformabile.....	» 198
3.6.7.2. Analisi strutturale di travi composte con connessione lineare.....	» 201
3.6.7.3. Calcolo delle inflessioni in travi composte con parziale interazione per le verifiche allo stato limite di servizio	» 205
3.6.7.4. Calcolo delle inflessioni di travi composte con connessione deformabile a comportamento lineare o non lineare	» 207
3.7. Instabilità flessio-torsionale di travi composte	» 211
3.7.1. Generalità	» 211
3.7.2. Verifica semplificata senza calcolo diretto.....	» 213
3.7.3. Verifica analitica di instabilità flessio-torsionale di travi continue composte con sezioni di classe 1, 2 e 3.....	» 214
3.7.3.1. Verifica della sola trave metallica.....	» 214
3.7.3.2. Verifica della trave metallica vincolata alla soletta	» 217
3.8. Regole di progettazione e dettagli costruttivi	» 221
4. Colonne composte	
4.1. Premessa	» 226
4.2. Requisiti geometrici delle colonne composte	» 226
4.3. Richiami sull'instabilità di elementi compressi	» 227
4.4. Analisi strutturale ed effetti dell'ordine	» 231
4.4.1. Effetti del secondo ordine globali	» 231
4.4.2. Imperfezioni geometriche	» 234
4.4.3. Effetti del secondo ordine locali e verifica degli elementi strutturali	» 235
4.5. Capacità portante delle colonne composte.....	» 237
4.5.1. Capacità portante allo stato limite ultimo di colonne composte	» 238
4.5.1.1. Metodo generale di verifica.....	» 239
4.5.1.2. Metodo semplificato	» 246
4.5.2. Verifica di resistenza a compressione e instabilità della colonna.....	» 246
4.5.3. Verifica di resistenza a presso-flessione.....	» 250
4.5.3.1. Costruzione del dominio di interazione (N_u, M_u) con il metodo semplificato	» 250
4.5.3.2. Verifica a presso-flessione retta	» 256
4.5.3.3. Verifica a presso-flessione deviata.....	» 257
4.5.4. Verifica di resistenza a taglio e interazione taglio-momento.....	» 259
4.5.5. Verifica di resistenza nei confronti dello scorrimento	» 260
5. Esempio di progetto di una struttura composta acciaio-calcestruzzo adibita ad autorimessa	
5.1. Premessa	» 265
5.2. Normative di riferimento	» 266
5.3. Caratteristiche dei materiali	» 266
5.3.1. Calcestruzzo – C20/25	» 267
5.3.1.1. Deformazione libera da ritiro	» 267
5.3.1.2. Coefficiente di viscosità	» 268
5.3.2. Acciaio per barre d'armatura – B450C	» 268
5.3.3. Acciaio da carpenteria metallica – S275	» 269
5.3.4. Connettori a piolo muniti di testa (tipo Nelson)	» 269
5.3.5. Bulloni ad alta resistenza (classe 8.8)	» 270
5.4. Combinazioni di carico	» 270
5.5. Solaio	» 271
5.5.1. Analisi dei carichi	» 273
5.5.1.1. Fase di getto	» 273
5.5.1.2. Fase di utilizzo.....	» 274

5.5.2. Verifiche in fase di costruzione	» 275
5.5.2.1. Stato limite di servizio: verifica di deformabilità	» 275
5.5.2.2. Stato limite ultimo: verifica di resistenza a flessione	» 276
5.5.2.3. Stato limite ultimo: verifica di resistenza a taglio	» 277
5.5.3. Verifiche in fase di utilizzo	» 277
5.5.3.1. Stato limite ultimo: verifica di resistenza a flessione	» 277
5.5.3.2. Stato limite ultimo: verifica di resistenza a taglio	» 278
5.5.3.3. Stato limite ultimo: verifica di resistenza a scorrimento	» 280
5.5.3.4. Stato limite ultimo: verifica di resistenza a punzonamento	» 280
5.5.3.5. Stato limite di servizio: verifica a fessurazione	» 285
5.5.3.6. Stato limite di servizio: verifica di deformabilità	» 285
5.6. Trave secondaria.....	» 289
5.6.1. Dimensionamento	» 289
5.6.2. Analisi dei carichi.....	» 292
5.6.3. Verifiche allo stato limite ultimo	» 293
5.6.3.1. Verifica di resistenza a flessione	» 293
5.6.3.2. Verifica di resistenza a taglio	» 294
5.6.3.3. Verifica di resistenza a scorrimento e progetto dei connettori	» 294
5.6.4. Verifiche allo stato limite di servizio	» 297
5.6.4.1. Calcolo delle tensioni e delle frecce	» 297
5.7. Trave principale.....	» 301
5.7.1. Analisi dei carichi	» 304
5.7.2. Progetto della sezione	» 305
5.7.2.1. Progetto della sezione in campata	» 308
5.7.2.2. Progetto dell'armatura	» 309
5.7.3. Stato limite ultimo	» 311
5.7.3.1. Calcolo dei momenti resistenti plastici	» 311
5.7.3.2. Verifica della classe della sezione.....	» 312
5.7.3.3. Verifica di resistenza a taglio	» 313
5.7.3.4. Verifica di instabilità flessio-torsionale.....	» 314
5.7.3.5. Rivalutazione delle sollecitazioni elastiche.....	» 318
5.7.3.6. Verifica del coefficiente di redistribuzione.....	» 318
5.7.3.7. Resistenza a flessione	» 320
5.7.3.8. Resistenza a scorrimento	» 320
5.7.4. Stati limiti di esercizio	» 322
5.7.4.1. Verifica di deformabilità	» 322
5.7.4.2. Verifica delle tensioni	» 325
5.8. Colonne.....	» 327
5.8.1. Verifica del campo di applicazione del metodo di progetto semplificato	» 330
5.8.2. Calcolo delle sollecitazioni	» 332
5.8.2.1. Carichi verticali e sforzo normale di compressione.....	» 332
5.8.2.2. Carichi orizzontali e sollecitazione flettente	» 334
5.8.3. Verifiche di resistenza a presso-flessione.....	» 338
5.8.3.1. Dominio di resistenza di presso-flessione retta N-M.....	» 338
5.8.4. Valutazione effetti del II ordine globali	» 340
5.8.5. Valutazione degli effetti delle imperfezioni	» 341
5.8.6. Valutazione effetti II ordine locali	» 342
5.8.7. Verifica a taglio	» 347
5.8.8. Verifiche degli spostamenti allo stato limite di danno	» 347
5.8.9. Progetto armatura trasversale, verifica duttilità.....	» 348
Sagomario	» 349
Bibliografia	» 410

Premessa

L'avvento del calcestruzzo agli inizi del secolo scorso ha consentito la realizzazione di strutture in cui il nuovo materiale dotato di una notevole resistenza alla compressione viene affiancato all'acciaio caratterizzato da un'ottima resistenza a trazione.

Se da una parte le strutture in calcestruzzo armato hanno consentito di sfruttare la collaborazione statica dei due materiali complementari, dall'altra le strutture composte acciaio-calcestruzzo rappresentano senza dubbio la soluzione costruttiva capace di coniugarne in modo ottimale le caratteristiche. Un ruolo fondamentale in tal senso è stato ricoperto dal connubio fra la ricerca scientifica e l'evoluzione tecnologica nell'ambito delle connessioni fra elementi di acciaio e calcestruzzo: sistemi di connessione realizzati mediante procedimenti costruttivi semplici e rapidi consentono, infatti, di garantire un buon collegamento anche per elevati livelli di sollecitazione senza comportare un oneroso aggravio economico.

Al continuo progresso della tipologia strutturale contribuiscono, inoltre, le possibilità di razionalizzare le cassetture per il getto di calcestruzzo sia attraverso l'uso di laminati piani di acciaio (in genere pressopiegati) con getto di calcestruzzo collaborante per gli orizzontamenti, che utilizzando profili di acciaio cavi per la realizzazione di colonne composte. Infine, le buone prestazioni alle alte temperature rendono il sistema composto acciaio-calcestruzzo una soluzione strutturale ottimale nei casi in cui è necessario effettuare la verifica di sicurezza strutturale nei confronti dell'incendio, ormai classificato tra le azioni dalle Norme tecniche per le costruzioni.

Il presente volume fornisce le conoscenze e gli strumenti operativi alla base della progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo seguendo un approccio moderno e aggiornato alle normative nazionali e internazionali più recenti ovvero conforme alle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (D.Min.II.TT. 14/01/2008) e agli *Eurocodici*. Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si adottano pertanto i criteri del metodo semiprobabilistico agli stati limite, detto di primo livello, basati sul confronto tra la resistenza degli elementi strutturali e l'effetto delle azioni, con l'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza.

Nella scrittura del volume si è voluto perseguire l'obiettivo di coniugare impostazione didattica e finalità operative con contenuti scientifici e aggiornamento normativo. Ci si rivolge, dunque, sia agli studenti delle scuole di Ingegneria e Architettura che si affacciano al mondo della progettazione strutturale sia ai professionisti che sentono la necessità di aggiornarsi su nuove metodologie di calcolo e indicazioni normative.

Per quanto riguarda i contenuti, il capitolo 1 presenta le principali tipologie di strutture composte acciaio-calcestruzzo, le ipotesi assunte per le caratteristiche meccaniche dei materiali e i criteri di verifica adottati nei capitoli successivi.

Il capitolo 2 illustra le principali fasi e metodiche del calcolo delle solette composte acciaio-calcestruzzo. Si fa riferimento innanzitutto alla soletta non collaborante con la lamiera grecata, ovvero a una condizione tipica della fase di getto dell'impalcato e meno frequentemente caratteristica della condizione di esercizio. Particolare attenzione è stata rivolta alla scelta operativa di utilizzare la lamiera grecata con funzione di cassaforma autoportante, in presenza e assenza di puntelli provvisori. Inoltre, si illustrano le verifiche di resistenza e deformabilità delle solette collaboranti, con particolare attenzione ai sistemi di interfaccia che impediscono scorrimenti relativi tra acciaio e calcestruzzo garantendone la collaborazione.

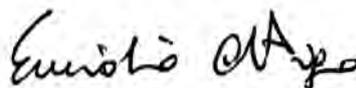
Il capitolo 3 è dedicato alla tipologia costruttiva di trave composta acciaio-calcestruzzo, per la realizzazione sia di travi principali che secondarie. In primis, sono trattati in dettaglio i principali metodi di progetto e verifica delle travi composte isostatiche, con riferimento sia all'analisi elastica che plastica delle sezioni composte. La trattazione viene poi estesa alle travi composte continue, con richiami ai vari metodi applicabili per il calcolo delle sollecitazioni. Sono inoltre affrontati aspetti particolari, di non agevole analisi teorica, legati al comportamento delle singole parti componenti e dei sistemi di connessione. In particolare, nel definire i metodi di progetto e verifica riportati nelle moderne normative nazionali ed europee a valle delle numerose attività teorico-sperimentali del mondo scientifico, si presenta: una trattazione approfondita del comportamento reologico del calcestruzzo, dovuto alla viscosità e al ritiro, i cui effetti sono influenzati dalla solidarizzazione con la parte metallica, indenne da tale fenomenologia nei livelli usuali di sollecitazione; un richiamo alle principali problematiche di instabilità locale delle parti metalliche che spesso influenzano il dimensionamento di flange e anime delle travi, specialmente su schemi a trave continua, dove le zone sollecitate a momento negativo presentano piattabande e anime fortemente compresse e non vincolate; un approfondimento sulle metodologie di verifica dei connettori soggetti a stati di sollecitazione complessi, caratterizzati da forti concentrazioni di tensione e conseguenti ridistribuzioni plastiche.

Il capitolo 4 è dedicato al sistema costruttivo delle colonne composte acciaio-calcestruzzo, basato sull'accoppiamento dei profili di acciaio con il calcestruzzo, al fine di sfruttare in modo ottimale le caratteristiche dei due materiali impiegati e ottenere maggiori capacità di resistenza e duttilità, sia rispetto alle sezioni in calcestruzzo armato che a quelle in acciaio. Si esaminano inoltre le procedure di calcolo delle colonne composte alla luce di quanto riportato nelle normative vigenti; in particolare, viene presentato il loro comportamento strutturale, indicando i fattori che lo governano e le implicazioni progettuali che ne derivano. La trattazione è arricchita da brevi richiami sull'instabilità delle colonne in genere (calcestruzzo armato, acciaio e acciaio-calcestruzzo) e sulla valutazione degli effetti del secondo ordine.

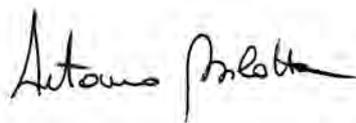
Il volume si conclude con il capitolo 5 dedicato all'applicazione operativa dei concetti teorici illustrati nei capitoli precedenti attraverso un esempio di progetto di una struttura composta acciaio-calcestruzzo monopiano eseguito con il metodo semiprobabilistico agli stati limite ai sensi delle NTC 2008.

Gli autori desiderano ringraziare l'ingegnere Giuseppe Cefarelli per il contributo fornito attraverso discussioni critiche e approfondimenti puntuali su numerosi aspetti della tematica trattata nel volume e gli ingegneri Anna Ferraro e Domenico Sannino per la preziosa collaborazione nella stesura del capitolo 5.

Prof. Emidio Nigro
Università degli Studi di Napoli Federico II



Ing. Antonio Bilotta
Università degli Studi di Napoli Federico II



Prefazione

Il volume *Progettazione di strutture composte acciaio-calcestruzzo* è parte di una collana di manuali dedicata alla progettazione e costruzione in acciaio, realizzata da Fondazione Promozione Acciaio a partire dall'anno 2008. Il progetto editoriale della Fondazione intende fornire al professionista una serie di pubblicazioni tecniche utili e soprattutto pratiche per l'approccio e l'approfondimento della progettazione in acciaio. Si ringraziano a tal proposito i componenti dei gruppi di lavoro che operano all'interno di Fondazione Acciaio, formati da esperti progettisti e professori universitari. I più importanti sono la *Commissione Sismica per le Costruzioni in Acciaio*, la *Commissione per la Sicurezza delle Costruzioni in Acciaio in caso d'Incendio* e la *Commissione per le Costruzioni in Acciaio Ecosostenibili*, che toccano temi prioritari per le costruzioni metalliche: l'efficienza dell'acciaio in zona sismica, la sicurezza di fronte all'incendio e l'eco-compatibilità del materiale. Di recente istituzione è inoltre il *Gruppo di lavoro Normative*, creato alla luce delle nuove responsabilità introdotte dalla normativa di settore.

Le commissioni hanno un ruolo di primo piano nell'insegnamento e nella promozione delle soluzioni costruttive in acciaio, curando la realizzazione delle monografie tecniche e l'organizzazione di qualificati corsi di progettazione.

Sono già state pubblicate, all'interno della collana *Acciaio*, edita dalla Fondazione, le monografie tecniche: *Acciai strutturali, prodotti e sistemi di unione*; *Analisi di una soluzione monopiano con il metodo plastico*; *Edifici monopiano in acciaio ad uso industriale e Progettazione di strutture in acciaio secondo le NTC e gli Eurocodici – basi concettuali ed esempi di calcolo*.

Il presente manuale, quinto della già menzionata collana, affronta le problematiche relative alle strutture composte acciaio-calcestruzzo, analizzandone i vantaggi e fornendo un quadro completo, dettagliato e fedele alle nuove normative, il cui monitoraggio è attività fondamentale per Fondazione Promozione Acciaio.

Fondazione Promozione Acciaio è sostenuta dai maggiori produttori d'acciaio italiani ed europei e da altri importanti rappresentanti della filiera tra cui trasformatori, centri di servizio, costruttori metallici, nonché progettisti, uniti dallo scopo di promuovere l'impiego di acciaio nelle costruzioni e infrastrutture.

Il progetto della Fondazione è quello di mettere al servizio degli operatori del settore delle costruzioni italiano gli investimenti dei propri soci, sviluppando un'azione costante di comunicazione, informazione e supporto verso professionisti, studenti universitari, committenti pubblici e privati sulle possibilità e i vantaggi offerti dalle soluzioni in acciaio.

Nascono così numerosi progetti culturali e di insegnamento dedicati sia al mondo accademico che al settore professionale; tali iniziative vanno dall'organizzazione di convegni e corsi formativi, alla realizzazione di diverse iniziative editoriali, di cui il presente volume costituisce una significativa testimonianza, all'aggiornamento del portale www.promozioneacciaio.it.

Il nostro auspicio è che la collana *Acciaio* possa contribuire a una maggiore conoscenza delle opere in acciaio, capaci di distinguersi per gli elevati standard qualitativi offerti e altri importanti vantaggi quali la sostenibilità ambientale, la rispondenza ai requisiti di antisismicità, la funzionalità, le potenzialità architettoniche, la rapidità costruttiva e la semplicità di messa in opera.

I ringraziamenti da parte di Fondazione Promozione Acciaio per questo volume vanno a tutti gli associati ed in particolar modo agli autori del volume: il prof. Emidio Nigro, docente di Tecnica delle Costruzioni presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II e l'ing. Antonio Bilotta, assegnista di Ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale della medesima Università.

Simona Maura Martelli
Direttore Generale
Fondazione Promozione Acciaio

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Simona Maura Martelli". The signature is written in a cursive, flowing style with some loops and flourishes.

1

Tipologie strutturali, materiali e criteri di verifica

1.1. Premessa

L'avvento del calcestruzzo agli inizi del secolo scorso ha consentito la realizzazione di strutture in cui il nuovo materiale dotato di una notevole resistenza alla compressione viene affiancato all'acciaio caratterizzato da un'ottima resistenza a trazione.

Se da una parte le strutture in calcestruzzo armato hanno consentito di sfruttare la collaborazione statica dei due materiali complementari, dall'altra le strutture composte acciaio-calcestruzzo rappresentano senza dubbio la soluzione costruttiva capace di coniugarne in modo ottimale le caratteristiche. Un ruolo fondamentale in tal senso è stato ricoperto dal connubio fra la ricerca scientifica e l'evoluzione tecnologica nell'ambito delle connessioni fra elementi di acciaio e calcestruzzo: sistemi di connessione realizzati mediante procedimenti costruttivi semplici e rapidi consentono, infatti, di garantire un buon collegamento anche per elevati livelli di sollecitazione senza comportare un oneroso aggravio economico. Al continuo progresso della tipologia strutturale contribuiscono, infine, le possibilità di razionalizzare le cassetture per il getto di calcestruzzo sia attraverso l'uso di laminati piani di acciaio (in genere pressopiegati) con getto di calcestruzzo collaborante per gli orizzontamenti, che utilizzando profili di acciaio cavi per la realizzazione di colonne composte.

Il presente volume tratta i principali aspetti della progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo seguendo una linea concettuale conforme alle recenti *Norme Tecniche per le Costruzioni* (D.Min.II.TT. 14/01/2008) e agli *Eurocodici*. Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si adottano pertanto i criteri del metodo semiprobabilistico agli stati limite basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza, applicabili nella generalità dei casi; con tale metodo, detto *di primo livello*, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. In particolare, si utilizzano i valori dei coefficienti di sicurezza parziali relativi alle azioni e alle resistenze dedotti dalle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni e, laddove necessario, si fa riferimento agli Eurocodici.

Nel testo i riferimenti alle Norme Tecniche per le Costruzioni sono indicati con la sigla NTC 2008, mentre i riferimenti agli Eurocodici EN1991, EN1992, EN1993, EN1994 sono indicati rispettivamente anche con le sigle EC1, EC2, EC3, EC4.

1.2. Le strutture composte acciaio-calcestruzzo

Ad oggi la combinazione più significativa e consolidata dei materiali da costruzione è quella che unisce profili in acciaio ed elementi in calcestruzzo armato con tondini in ferro. Le applicazioni più frequenti si adottano per edifici a più piani (si veda figura 1.2) o edifici ad uso commerciale (si veda si veda figura 1.3), fabbriche e capannoni industriali (si vedano le figure 1.4 e 1.5), ponti (si vedano

1. Tipologie strutturali, materiali e criteri di verifica

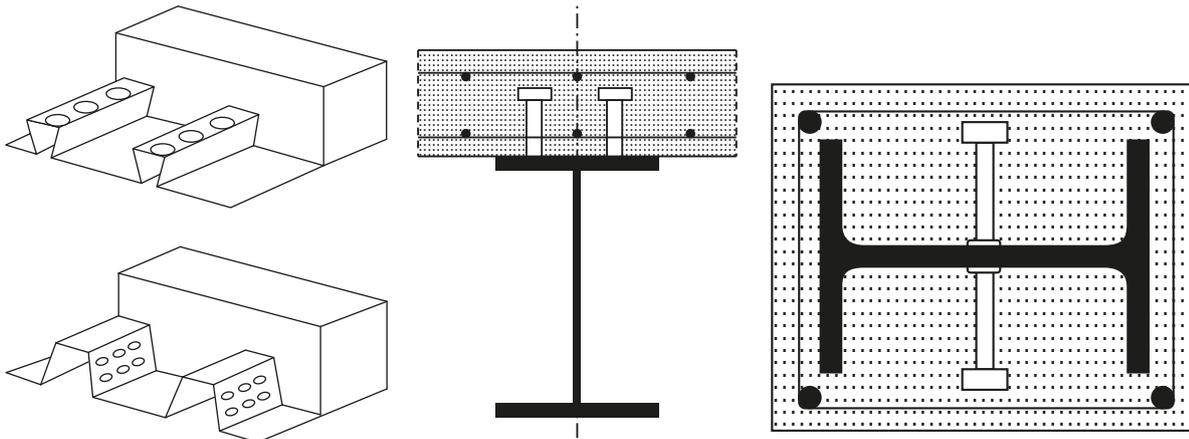


Figura 1.1 - Solette, travi e colonne composte acciaio-calcestruzzo.



Figura 1.2 - Edificio multipiano a Roma.

4

le figure 1.6 e 1.7). Tali materiali, seppur molto differenti, sono completamente compatibili e l'un l'altro complementari: hanno quasi la stessa espansione termica, presentano un'ottima combinazione in termini di caratteristiche meccaniche (il calcestruzzo efficiente in compressione e l'acciaio in trazione); in più, il calcestruzzo offre all'acciaio protezione contro la corrosione e un idoneo isolamento termico per le alte temperature prodotte dagli incendi, nonché un contributo alla riduzione dei problemi di instabilità, con particolare riferimento a instabilità di tipo locale o latero-torsionale. Infine, è opportuno osservare che in paesi ad alto rischio sismico, quali ad esempio il Giappone, la struttura a telaio in elementi composti acciaio-calcestruzzo armato (si veda figura 1.8) è divenuta ormai il sistema standard per gli edifici alti, in quanto la tipologia strutturale è particolarmente adatta a resistere a carichi di tipo ciclico, tipici di eventi tellurici, che richiedono resistenza e duttilità elevate.



Figura 1.3 - Edificio commerciale multipiano a Londra.



Figura 1.4 - Stabilimento produzione auto in Germania.

È opinione diffusa che l'ulteriore sviluppo degli edifici intelaiati in acciaio dipende in gran parte dall'impiego delle costruzioni in elementi composti. Purtroppo questi due importanti materiali da costruzione, acciaio e calcestruzzo, sono promossi da due diversi settori industriali in diretta concorrenza l'un con l'altro, per cui spesso risulta non facile promuoverne il migliore utilizzo.

1. Tipologie strutturali, materiali e criteri di verifica

5



Figura 1.5
*Stabilimento produttivo
a Collegno (to).*

Nel seguito vengono sintetizzati i principali vantaggi che si riescono a conseguire con sistemi strutturali composti.



Figura 1.6 - *Ponte di attraversamento di un torrente in Val Sugana (Trentino – Italia).*



Figura 1.7 - *Ponte a travata.*



Figura 1.8
*Edificio a telai in elementi
composti in Giappone.*

1.2.1. I vantaggi del sistema composto acciaio-calcestruzzo

Un sistema strutturale “composto” ottimale è quello che sfrutta al meglio le prestazioni di entrambi i materiali, in un sistema strutturale realmente unificato che consenta di superare gli inconvenienti di ciascun materiale preso singolarmente.

I principali vantaggi dell'acciaio sono:

- l'elevato rapporto resistenza/peso, che porta a una significativa riduzione delle azioni in fondazione;
- la duttilità del materiale, che si rende utile soprattutto in zona sismica;
- la possibilità di utilizzare facilmente impalcati con lamiera grecate autoportanti e getti di completamento in calcestruzzo;
- la possibilità di realizzare grandi luci;
- la velocità di costruzione;
- la facilità di modifiche strutturali e di integrazioni successive.

Dalla parte del calcestruzzo invece si possono annoverare:

- l'ottimo comportamento a compressione, esaltato dai calcestruzzi ad alta re-

sistenza di utilizzo sempre maggiore, che consentono di progettare elementi caratterizzati da sezioni trasversali più contenute;

- i contenuti problemi di instabilità e deformabilità dovuti alla maggiore rigidità degli elementi;
- le buone prestazioni in condizioni di incendio;
- la modellabilità degli elementi strutturali.

L'unione di tali caratteristiche intrinseche per ciascun materiale consente di definire in maniera semplice i principali vantaggi strutturali delle strutture composte, ovvero:

- le ottime prestazioni statiche in termini di resistenza, rigidità e duttilità delle membrature composte;
- la riduzione delle problematiche di instabilità locale e globale;
- le ottime prestazioni in caso di incendio;
- la buona velocità di costruzione.

I singoli elementi composti, quali travi, pilastri e solette, sono caratterizzati da elevata qualità e resistenza, ma sono anche relativamente costosi, soprattutto se ci si riferisce a edifici con piccole distanze tra le colonne, travi di luce inferiore ai 10 m e carichi sostanzialmente bassi. Viceversa, la costruzione di solai e travi composte è altamente competitiva se le campate sono di 12, 15 o addirittura 20 m, ovvero nei casi in cui vi è la necessità di ridurre il numero di colonne per facilitare la creazione di ambienti *open space* e soprattutto garantire flessibilità nella pianificazione della disposizione degli uffici.

A tal riguardo la figura 1.9 mostra tre esempi di edifici realizzati con elementi composti acciaio-calcestruzzo: la figura 1.9a mostra un tipico edificio con uffici su entrambi i lati del corridoio interno, le cui pareti sono definite dalle posizioni delle colonne interne; la figura 1.9b mostra una struttura con campate di grandi dimensioni e quindi libera dalla presenza di colonne interne in maniera da consentire un'elevata flessibilità architettonica; infine la struttura in figura 1.9c è caratterizzata da un maggior numero di travi, distinte in principali e secondarie, ma anche da un numero ridotto di colonne che consente di aumentare la superficie a disposizione per le aperture/vetrature sull'esterno.

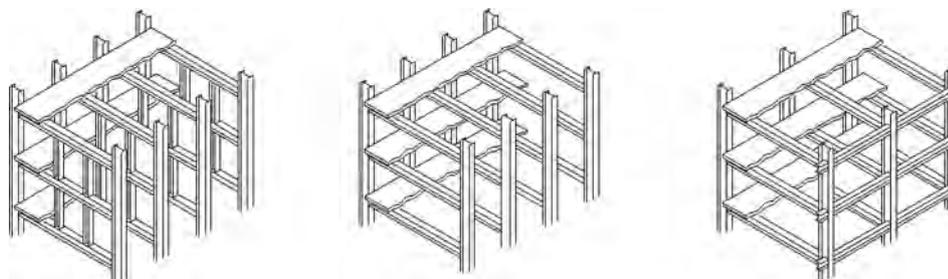


Figura 1.9 - Schemi di edifici a telaio: a-b) non sismo-resistenti; c) sismo-resistenti.

8

Un ulteriore vantaggio, tipico delle strutture costruite con elementi in acciaio, è legato alla possibilità di forare l'anima dei profili metallici, in zone del profilo non eccessivamente cimentate in un ruolo resistente (si veda figura 1.10), che consentono un'organizzazione più razionale e meno invasiva degli impianti, estremamente importante per quegli edifici destinati ad accogliere attività produttive o attività di fornitura di servizi, tra cui gli ambienti pubblici.



Figura 1.10
*Esempio di travi composte
con fori per impianti.*

D'altra parte l'uso di profili in acciaio laminato, lamiere metalliche ed elementi composti prefabbricati velocizza le operazioni di posa in opera ed, in presenza di giunti economici da produrre in stabilimento e semplici da montare in loco, consente di ottenere la massima efficienza ed economia. I tempi necessari per la costruzione di un edificio in calcestruzzo armato gettato in opera sono, infatti, abbastanza elevati se confrontati con quelli degli edifici in acciaio, specialmente se i componenti in acciaio sono geometricamente definiti in stabilimento e portati in cantiere per essere solamente assemblati. La velocità di costruzione ha ovviamente un effetto significativo sui costi di realizzazione degli edifici e, spesso, tempi ridotti di posa in opera diventano un prerequisito basilare per l'aggiudicazione di una gara d'appalto.

1.2.2. L'esempio della First City Tower

Costruire con elementi composti in acciaio e calcestruzzo ha vissuto una rinascita nel corso del 1980, dall'unione di nuovi concetti progettuali e dettagli costruttivi. Un esempio storicamente significativo, che mostra la sensibilità, del committente da una parte e del progettista dall'altra, nei confronti di tale problematica è ben rappresentato dalla documentazione del progetto di un edificio alto, la First City Tower (un piano sotterraneo e 49 piani fuori terra), realizzato a Houston in Texas agli inizi degli anni '80 dello scorso secolo (Taranath, 1982). Il caso studio è brevemente presentato per due motivi: in primo luogo, l'edificio raccoglie già tutte le principali e più consolidate combinazioni di costruzione composta acciaio-

1. Tipologie strutturali, materiali e criteri di verifica

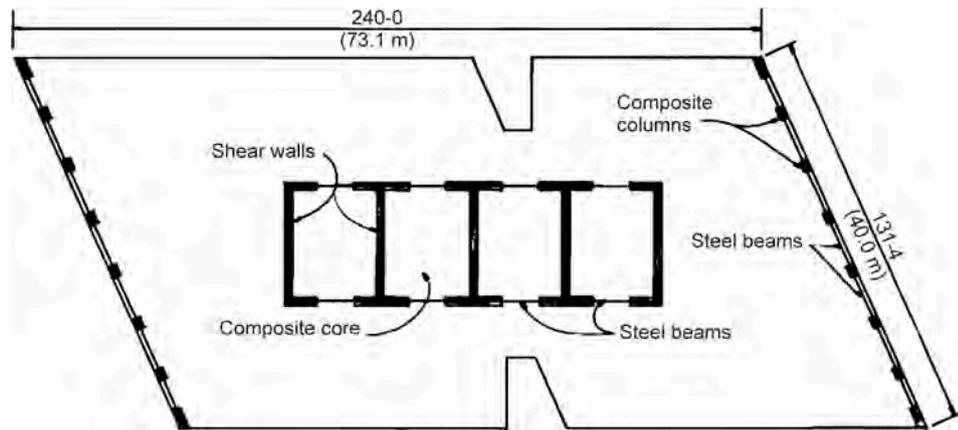


Figura 1.11 - Disposizione dei setti centrali e dei telai di bordo per le azioni orizzontali (Taranath, 1982).

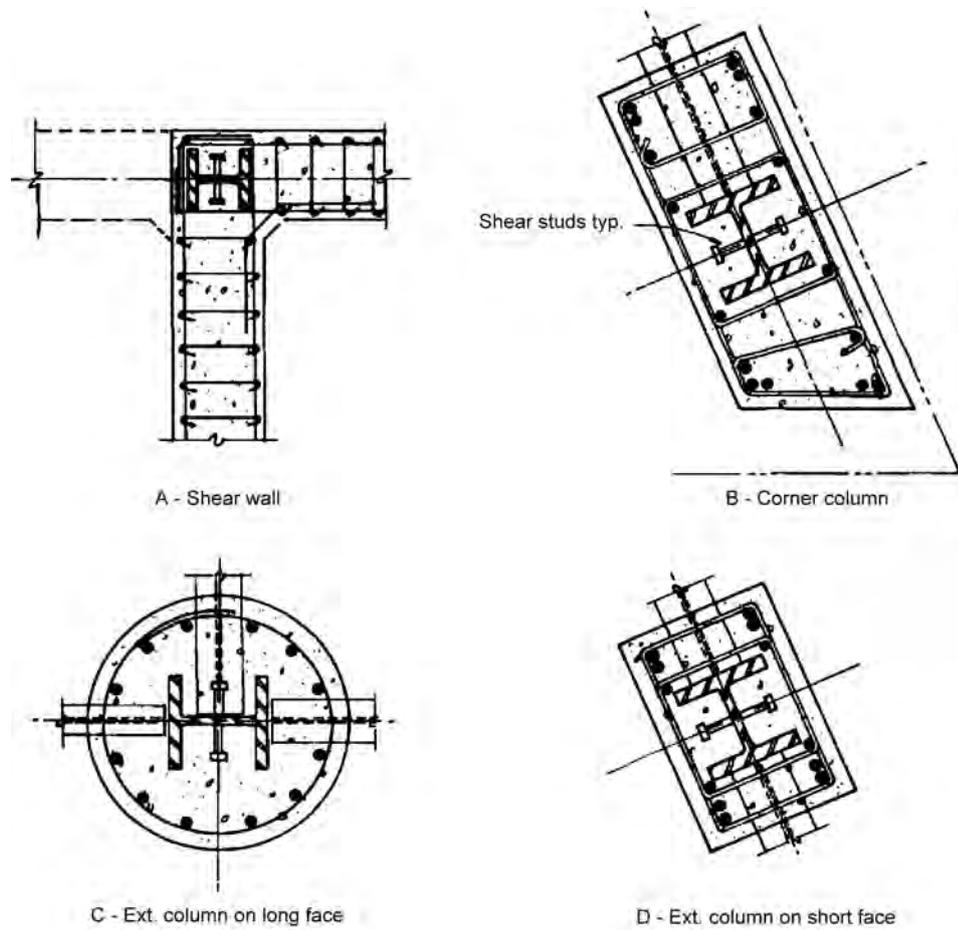


Figura 1.12 - Principali tipologie di elementi composti acciaio-calcestruzzo utilizzati per la realizzazione degli elementi strutturali verticali dell'edificio (Taranath, 1982).

10

calcestruzzo, nonostante le successive evoluzioni nel settore tecnologico abbiano consentito ulteriori miglioramenti. In secondo luogo, nella struttura realizzata appaiono in maniera chiara i principi di progettazione e l'accuratezza dei dettagli costruttivi adottati, che hanno apportato una notevole economia nel costo totale dell'edificio, operando sia sulla riduzione della quantità di acciaio utilizzato per il telaio strutturale che sull'accelerazione del processo di costruzione dell'opera. Il sistema strutturale realizzato ha combinato i pregi della velocità di costruzione di un telaio in acciaio convenzionale e della rigidità intrinseca del calcestruzzo utilizzato per la realizzazione di setti armati, che costituiscono il nucleo centrale dell'edificio, e dei telai con colonne e travi composte, alle estremità dello stesso (si vedano le figure 1.11 e 1.12). La principale funzione di setti centrali e telai di bordo è quella di offrire resistenza alle azioni di tipo orizzontale in entrambe le direzioni principali della pianta dell'edificio, siano esse dovute al vento, spesso determinanti nel progetto di un edificio alto, o al sisma.

Si parte, infatti, dall'idea di realizzare una struttura in acciaio auto-portante in fase di costruzione, che si estende "nuda" per un predeterminato numero di piani (nel caso specifico 10) e successivamente viene rivestita in alcune sue parti con getti di calcestruzzo (in particolare la realizzazione dei setti del nucleo centrale). La sequenza delle principali fasi di realizzazione della struttura sono sintetizzate in figura 1.13.

Dopo il completamento del sistema di fondazione, inizia la realizzazione della struttura in acciaio. Per evitare di dover attendere la fase di getto del calcestruzzo per la realizzazione delle pareti di taglio, vengono utilizzati elementi in acciaio di

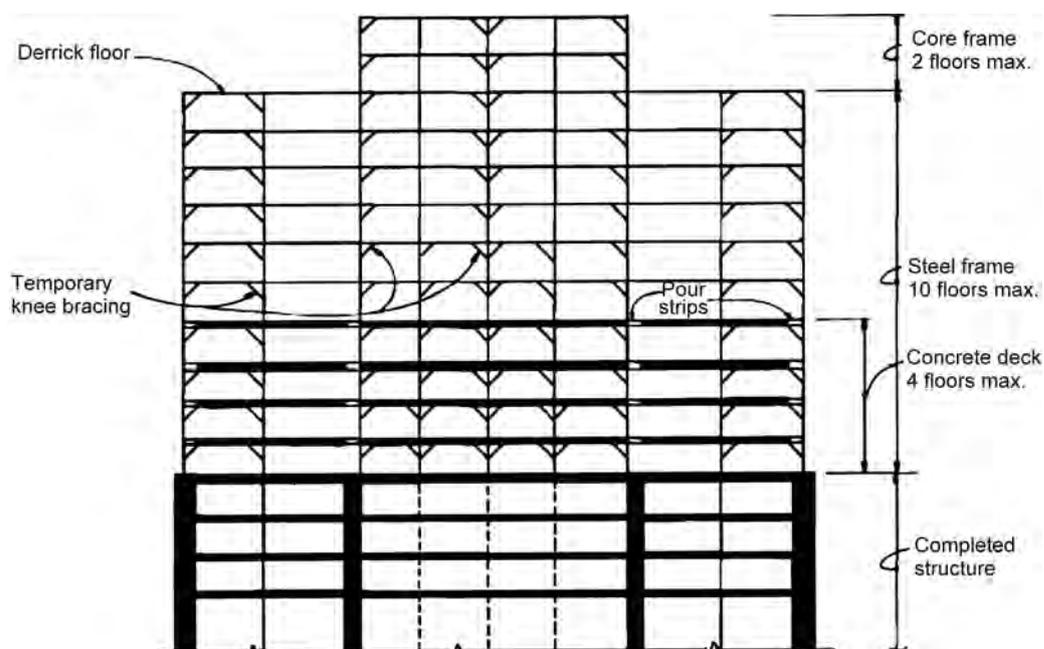


Figura 1.13 - Fasi di costruzione (Taranath, 1982).

piccole dimensioni, con funzione temporanea di controvento, in corrispondenza dell'intersezione tra le flange delle travi e le pareti di taglio.

Le colonne esterne in acciaio collaborano, nella configurazione definitiva, con il nucleo interno, costituito dai profili di acciaio rivestiti di calcestruzzo, al fine di assorbire le azioni orizzontali: pertanto, i pilastri utilizzati sono di dimensioni notevoli, che variano da $455 \times 418 \text{ mm}^2$, 551 kg/m , alla base dell'edificio, a $356 \times 254 \text{ mm}^2$, 101 kg/m , alla sommità.

Viceversa le dimensioni delle colonne in acciaio incorporate all'interno dei setti dipendono essenzialmente dalla distanza tra l'ultimo impalcato realizzato in acciaio e l'impalcato fino al quale vengono completate le parti in calcestruzzo; tale distanza rappresenta, infatti, la parte di struttura ancora nuda, per la quale le colonne devono essere in grado di sostenere i carichi esterni.

Ovviamente, la realizzazione di queste parti metalliche può procedere spedita senza essere interrotta dalle operazioni di getto dei setti e delle colonne composte, che si può articolare in quattro fasi distinte.

Una prima fase prevede la realizzazione dei solai su più impalcati al fine di facilitare le operazioni necessarie, da una parte all'elevazione in altezza dello scheletro metallico, dall'altra alla posa in opera delle armature complementari e al getto del calcestruzzo nelle pareti centrali e nelle colonne esterne. Facendo riferimento all'impalcato già realizzato, la seconda fase prevede il getto delle pareti sottostanti e la terza fase il getto degli elementi sovrastanti tale impalcato, ovve-

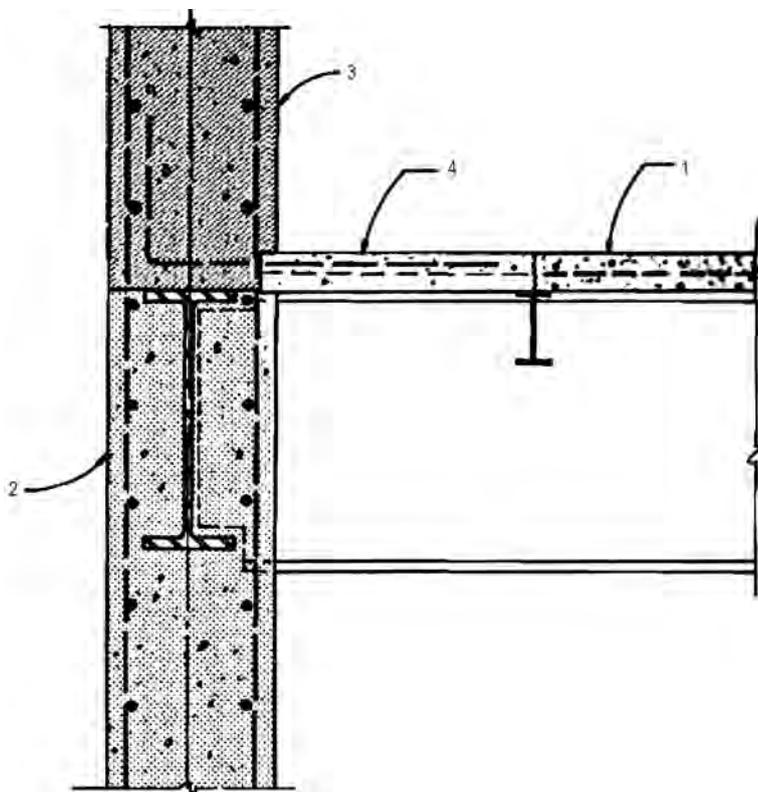


Figura 1.14
Sequenza costruttiva
dei setti di taglio
(Taranath, 1982).

12

ro sottostanti l'impalcato superiore che nel frattempo viene realizzato. Infine, la quarta fase consiste nel completamento dei getti degli impalcati, laddove si era reso necessario lasciare appositi spazi per la realizzazione degli elementi verticali. Grazie a questi spazi è possibile anche riutilizzare ad ogni piano la cassaforma realizzata al piano sottostante facendola semplicemente scorrere.

Con la corretta sequenza delle diverse maestranze, la costruzione dei setti di taglio e delle colonne composte può avvenire a un ritmo pari alla velocità di realizzazione di un edificio in acciaio convenzionale, che nel caso specifico della realizzazione della First City Tower, era di due piani a settimana.

Ovviamente, senza entrare nello specifico, tutte le varie operazioni sono eseguite a valle di opportune analisi che tengono conto delle problematiche di cedimenti differenziali dovuti ad accorciamenti delle colonne ed eventualmente a movimenti del piano di fondazione durante le diverse fasi costruttive: in sostanza, è necessario un adeguato progetto delle fasi costruttive, come anche le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) espressamente prevedono.

1.3. Tipologie di strutture composte acciaio-calcestruzzo

Nel presente paragrafo sono brevemente descritte le principali tipologie degli elementi costruttivi base che caratterizzano una struttura composta acciaio-calcestruzzo, per ciascuno dei quali si effettua nei capitoli successivi una trattazione più approfondita.

1.3.1. Solette

Gli antenati delle attuali solette composte possono essere considerati i solai eterogenei realizzati mediante l'impiego di pesanti voltine o l'uso di tavelle in laterizio (si veda figura 1.15a-b) accoppiate a putrelle di acciaio, frequentemente utilizzati per l'orditura degli orizzontamenti nella prima parte del secolo scorso.

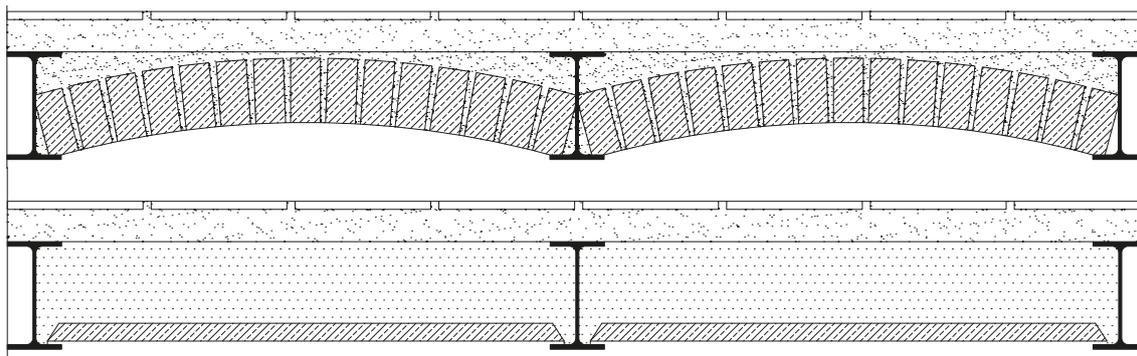


Figura 1.15 - Sezioni trasversali di solai metallici tradizionali.

Nelle costruzioni metalliche e nelle costruzioni composte acciaio-calcestruzzo moderne diventa sempre più frequente l'uso di solai costituiti da lamiera ondulata o grecata (figura 1.16), ovvero laminati metallici in genere, sulle quali viene effettuato il getto di calcestruzzo per realizzare le solette composte acciaio-calcestruzzo.



Figura 1.16 - Lamiera metalliche pronte per la posa in opera a mano.

In tale tipologia strutturale la lamiera metallica assolve a una doppia funzione:

- durante la fase di getto la lamiera serve da cassero autoportante, capace di sopportare sia il peso del calcestruzzo e dell'armatura che i carichi agenti in fase di costruzione;
- dopo la maturazione del calcestruzzo la lamiera collabora strutturalmente con il calcestruzzo mediante diversi possibili tipi di connessione, costituendo in parte o in tutto l'armatura metallica del solaio composto.

14

L'altezza di un solaio composto varia in genere da 100 a 150 mm con luci da 2,5 a 3,0 m per solai non puntellati durante la fase di costruzione; tale luce può essere maggiore se sono previsti puntelli provvisori nella fase di costruzione. L'altezza della lamiera è in genere variabile da 45 a 80 mm e lo spessore varia da 0,7 a 1,5 mm. Dentellature o bugnature sono realizzate nella lamiera per aumentare l'aderenza tra acciaio e calcestruzzo e consentire la collaborazione tra le due parti che compongono l'elemento strutturale (si veda figura 1.17).

Il collegamento all'interfaccia acciaio-calcestruzzo può essere continuo oppure localizzato (d'estremità) (cfr. EC4 1-1, 9.1.2).

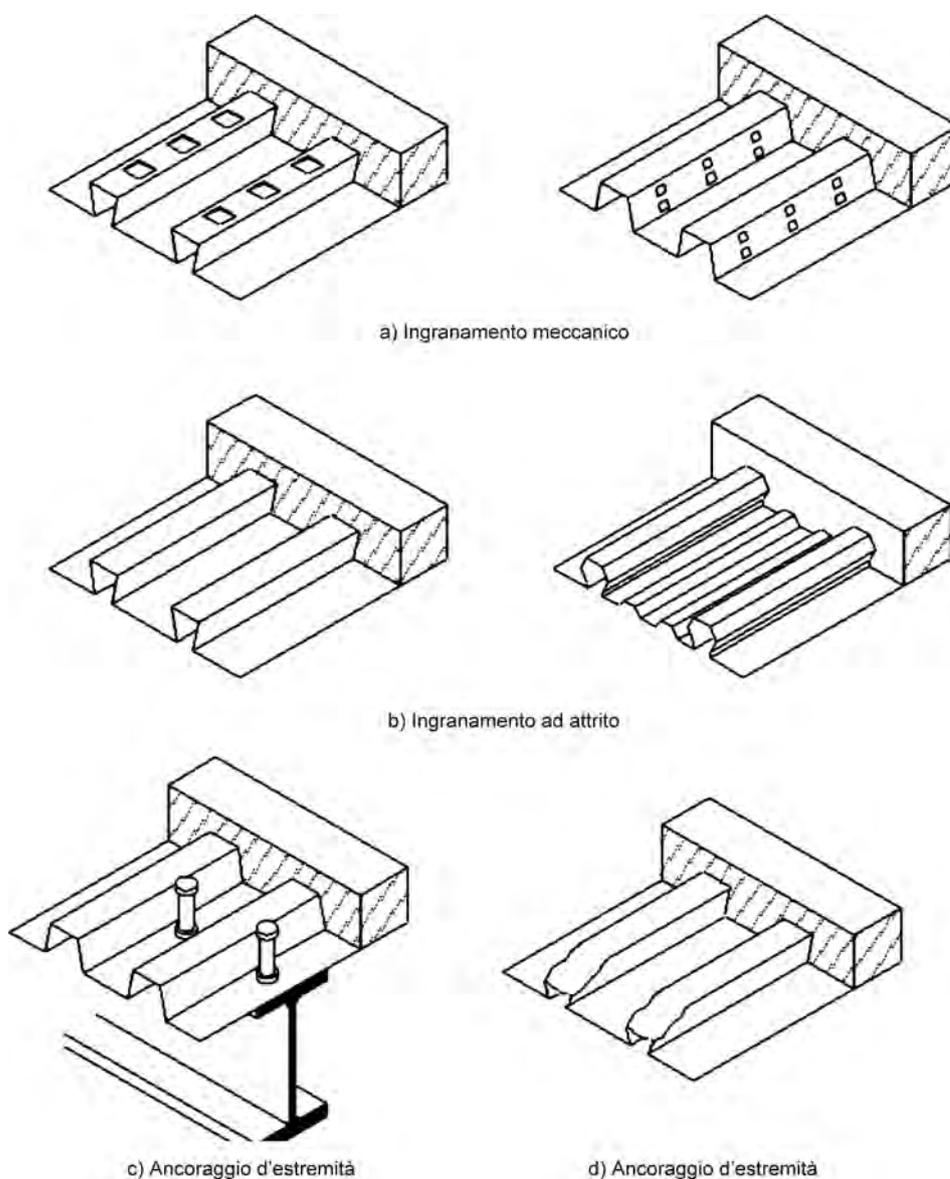


Figura 1.17 - Sistemi di connessione lamiera-calcestruzzo in solette composte.

Il collegamento continuo può essere:

- ad ingranamento meccanico (figura 1.17a): bugnature e risalti sulla lamiera;
- ad ingranamento ad attrito (figura 1.17b): particolari sagomature delle nervature, come angoli rientranti, che sotto carico determinano sforzi normali mutui che garantiscono l'attrito tra il calcestruzzo e la lamiera;
- ad aderenza con una rete di tondini saldata all'estradosso della lamiera.

Il collegamento localizzato è caratterizzato da ancoraggi di estremità quali:

- connettori (figura 1.17c);
- nervature deformate alle estremità (figura 1.17d).

In generale è preferibile il collegamento continuo.

Spesso, nella progettazione e realizzazione delle solette con laminati piani sono previste anche armature metalliche aggiuntive, costituite, ad esempio, da reti metalliche nella soletta o da barre disposte nelle nervature (figura 1.18), con funzione di ripartizione dei carichi, di riduzione del fenomeno di fessurazione del calcestruzzo e di integrazione delle armature tese superiori a seconda se sono adottati schemi statici isostatici (solette semplicemente appoggiate sulle travi secondarie) o iperstatici (solette continue su più travi secondarie).

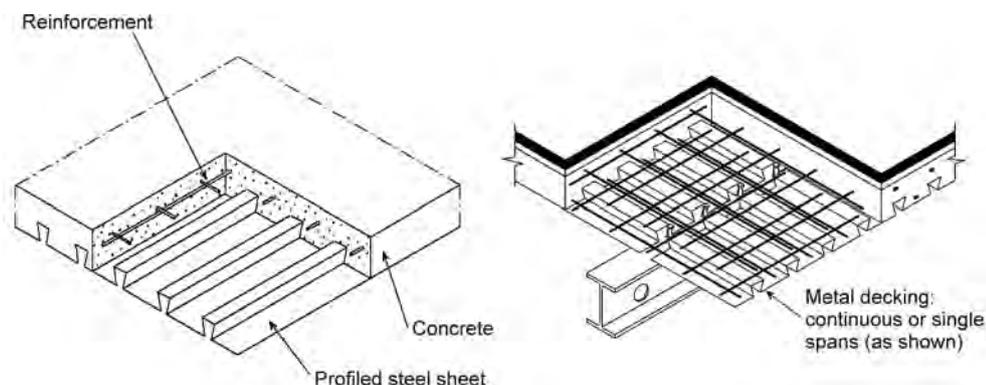


Figura 1.18 - Tipologie di solette composte.

1.3.2. Travi

Le travi composte acciaio-calcestruzzo si ottengono dall'unione di profili metallici, generalmente a doppio T, e solette di calcestruzzo armato o composte. L'introduzione di tale tipologia costruttiva è legata all'evoluzione (anni 1935-45) della precedente tecnica che vedeva la soletta assolvere soltanto a compiti di struttura secondaria, costituendo l'impalcato, senza collaborare alla funzione statica delle travi principali.

Il comportamento "composto" della trave è infatti assicurato dalla connessione profilo-soletta, in genere costituita da connettori a taglio, capaci di trasferire

lo sforzo di scorrimento longitudinale tra profilo e soletta, trascurando l'effetto dell'aderenza all'interfaccia tra le due parti. In particolare si ha:

- *connessione completa*, quando i connettori sono in grado di assorbire la massima forza di scorrimento che si può avere tra profilo metallico e calcestruzzo (determinabile con equazioni di equilibrio plastico);
- *connessione parziale*, quando i connettori sono in numero tale da garantire solo l'assorbimento dello scorrimento corrispondente alle massime sollecitazioni di progetto nella trave.

Le travi composte sono frequentemente adoperate nei ponti, dove al crescere delle luci le soluzioni in precompresso con travi prefabbricate diventano non perseguibili, a causa delle dimensioni degli elementi da trasportare, o antieconomiche, se si adotta la precompressione in loco. Le travi composte sono anche adoperate in fabbricati civili, specialmente nel caso di opere a destinazione pubblica, in presenza di luci non usuali, e in tutti i casi in cui si vogliono conseguire risultati significativi in termini di resistenza e leggerezza.

Le tipologie più diffuse di travi composte sono rappresentate in figura 1.19:

- a) trave composta classica con profili in acciaio e soletta sovrastante in calcestruzzo armato o composta acciaio-calcestruzzo;
- b) trave composta *partially encased*, avente il profilo metallico parzialmente rivestito di calcestruzzo (nelle zone comprese tra le flange del profilo);
- c) trave in acciaio totalmente o parzialmente inglobata nella soletta (sistema *slim floor*).

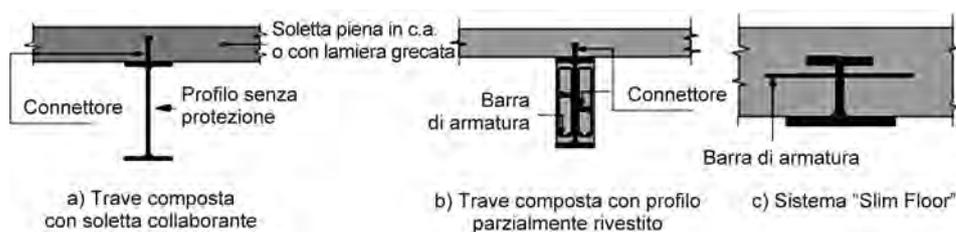


Figura 1.19 - Tipologie di travi composte.

La tipologia a) rappresenta la soluzione più diffusa di trave composta e, nel caso notevole di travi semplicemente appoggiate, anche la soluzione più razionale, in quanto il profilo è soggetto prevalentemente a sforzi di trazione, con conseguente riduzione delle problematiche di instabilità locale e globale, mentre la soletta di calcestruzzo è sollecitata a compressione, con tensioni di trazione limitate al più alle fibre inferiori della stessa (figura 1.20).

La tipologia b) (*partially encased*), molto usata in Europa, trae la sua giustificazione dall'obiettivo di migliorare la resistenza al fuoco della membratura grazie alla protezione che il calcestruzzo, in virtù della sua bassa conducibilità termica,

1. Tipologie strutturali, materiali e criteri di verifica



Figura 1.20 - Travi composte edificio multifunzione a Rovereto (TN).



Figura 1.21 - Travi composte partially encased: getto del calcestruzzo in stabilimento.

e offre “naturalmente” al profilo di acciaio. Dal punto di vista costruttivo, è possibile realizzare con facilità il getto di calcestruzzo in stabilimento o a piè d’opera, utilizzando le stesse flange del profilo come cassaforma, e successivamente posare in opera la trave composta già completa della parte in calcestruzzo, salvo le parti terminali necessarie per il collegamento con gli altri elementi strutturali (figura 1.21). La tipologia c) (*slim floor*) presenta un comportamento meccanico ancora più favorevole in condizioni di incendio (Nigro et al., 2009), in quanto l’anima e la flangia superiore del profilo beneficiano di una protezione pressoché totale garantita dal calcestruzzo, mentre la flangia inferiore è esposta all’incendio principalmente su un solo lato.

1.3.3. Colonne

Le colonne composte acciaio-calcestruzzo presentano notevoli vantaggi tecnologici e strutturali sia rispetto alle membrature di solo acciaio che a quelle in calcestruzzo armato; infatti, il sistema costruttivo è basato sull’accoppiamento di profili di acciaio con il calcestruzzo, al fine di sfruttare in modo ottimale le caratteristiche dei due materiali impiegati. Le più comuni tipologie di sezioni composte acciaio-calcestruzzo sono:

- colonne di tipo completamente rivestite di calcestruzzo (*fully encased column*): sono costituite da un profilo, in genere a doppio T, immerso completamente nel calcestruzzo con armature aggiuntive e staffe in quantità minima, a meno di particolari esigenze statiche (figura 1.22);
- colonne di tipo parzialmente rivestite di calcestruzzo (*partially encased column*): sono costituite da un profilo di forma varia immerso solo parzialmente nel calcestruzzo, con armature longitudinali e staffe di completamento (figura 1.23);

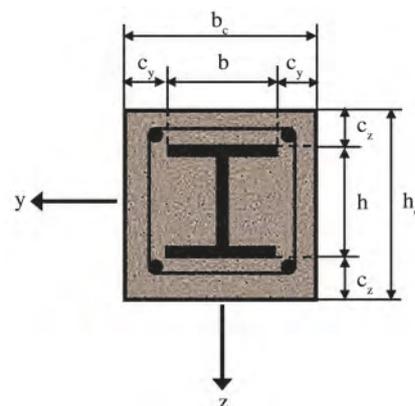


Figura 1.22 - Fully encased column.

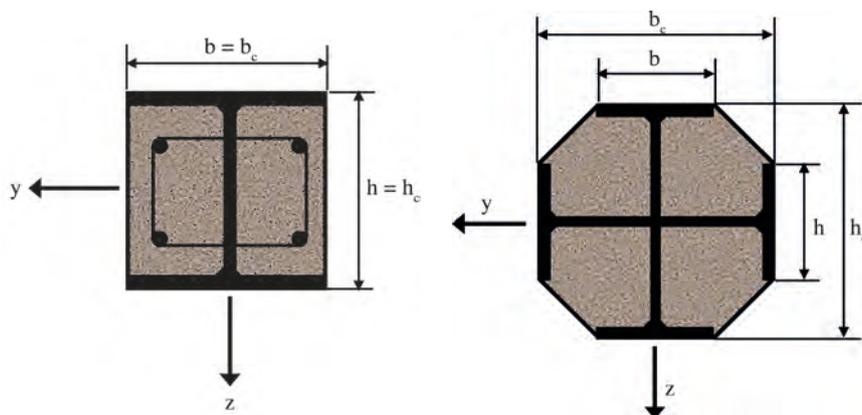


Figura 1.23
Partially encased column.

1. Tipologie strutturali, materiali e criteri di verifica

c) colonne di tipo tubolare riempite di calcestruzzo (concrete filled column): sono costituite da profili cavi, scatolari o tubolari, in acciaio riempiti di calcestruzzo con eventuali armature e/o profilo metallico interni (figura 1.24).

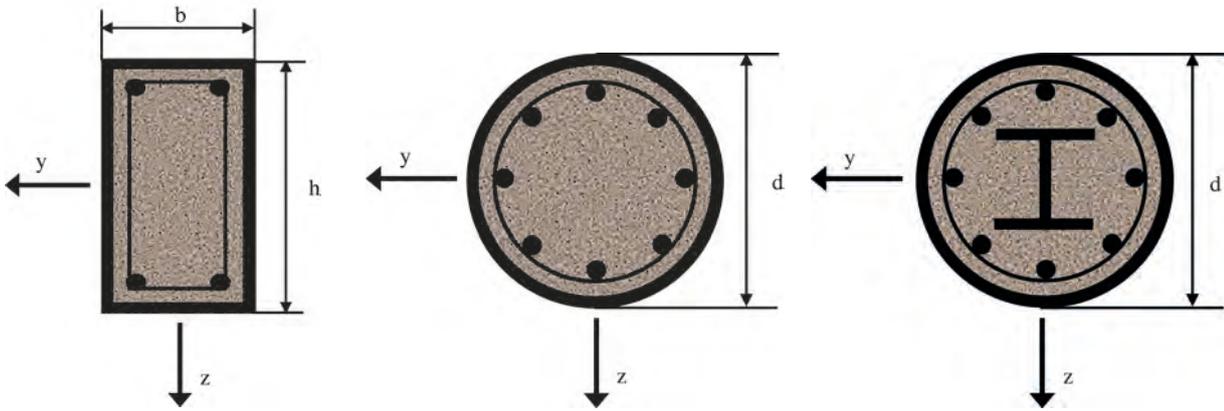


Figura 1.24 - Concrete filled column.

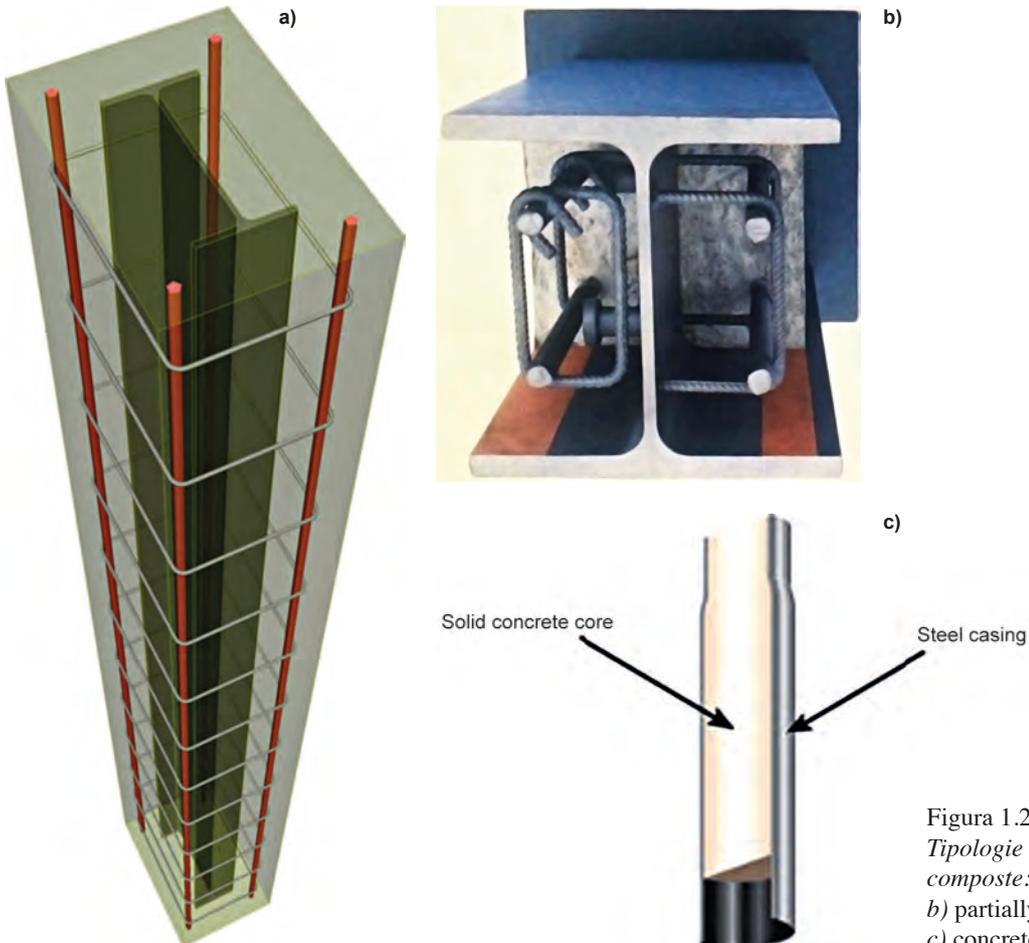


Figura 1.25
Tipologie di colonne
composte: a) fully encased;
b) partially encased;
c) concrete filled.

Oltre alle differenze in termini di comportamento strutturale, le tipologie di colonne si distinguono principalmente per le modalità costruttive.

Nel caso di colonne di tipo *filled* si dispone il profilo in situ, di solito per un'altezza di due o tre piani, si esegue il getto di calcestruzzo, opportunamente additivato per ridurre i problemi di distacco dall'acciaio connessi al ritiro, direttamente nel tubolare con l'ausilio del tubo (proboscide) e si vibra il getto dall'esterno, mediante vibrator che si fanno scorrere sulla parete esterna del profilo.

Con i profili parzialmente rivestiti, invece, al getto in opera si preferisce spesso quello in stabilimento; il profilo viene disposto in posizione orizzontale, senza la necessità di utilizzare casseforme, ma avvalendosi di pannelli di chiusura in corrispondenza delle testate (come per le travi mostrate in figura 1.21); dapprima si getta la metà superiore e poi, dopo la presa e l'inizio dell'indurimento, si ruota il profilo di 180° intorno al suo asse longitudinale e si effettua il getto di riempimento nell'altra metà.

Il getto delle colonne *fully encased* avviene con le tradizionali tecniche delle colonne in calcestruzzo armato (si veda figura 1.25a e figura 1.26). Tuttavia, anche nel caso di sezioni *fully encased* è possibile effettuare il getto fuori opera disponendo il profilo in una cassaforma orizzontale; è ovviamente necessario disporre dei distanziatori per evitare che armature e profilo tocchino il fondo della cassaforma, in modo da assicurare il prescritto spessore di copriferro. Si ricorda, infine, che nel caso di elementi realizzati fuori opera è necessario lasciare opportuni vani terminali per realizzare i collegamenti fra le parti di acciaio degli elementi sovrapposti.



Figura 1.26 - Colonna con connettori edificio multipiano per uffici in Lussemburgo.