

Giuseppe Prete
Vincenzo Dipaola
Francesca Prete

**LE STRUTTURE COMPOSTE
ACCIAIO-CALCESTRUZZO
NELLE COSTRUZIONI
EDILIZIE**

Teoria – Pratica – Applicazioni



Copyright © MMIX
ARACNE editrice S.r.l.

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

via Raffaele Garofalo, 133 A/B
00173 Roma
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-2883-4

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: novembre 2009

Indice

1. INTRODUZIONE	pag.	1
2. MORFOLOGIA DI MEMBRATURE E CONNESSIONI STRUTTURALI	“	3
3. PROPRIETÀ DEI MATERIALI	“	15
3.1 Acciaio strutturale	“	15
3.2 Calcestruzzo	“	16
3.3 Acciaio d'armatura	“	18
4. AZIONI, COMBINAZIONI DEI CARICHI E RESISTENZE DI CALCOLO	“	19
4.1 Sicurezza agli SLU	“	20
4.2 Sicurezza agli SLS	“	27
5. TRAVI COMPOSTE	“	31
5.1 Procedimenti costruttivi	“	31
5.2 Basi di calcolo per l'analisi statica	“	34
5.3 Analisi globale elastica della struttura	“	40
5.4 Analisi globale elastica con redistribuzione	“	44
5.5 Analisi globale plastica	“	45
5.6 Analisi locale elastica delle sezioni	“	46
5.7 Analisi locale plastica delle sezioni	“	47
5.8 Verifiche agli stati limite ultimi	“	57
5.9 Verifiche agli stati limite di servizio	“	60
5.10 Calcolo dei connettori	“	68
5.11 Regole pratiche di progettazione ed esecuzione	“	79
6. COLONNE COMPOSTE	“	85
6.1 Metodologie di progettazione	“	86
6.2 Metodo di progetto semplificato a compressione e pressoflessione	“	87
6.3 Resistenza allo scorrimento per azioni tangenziali	“	101
6.4 Modalità costruttive	“	103
6.5 Appendice	“	105
7. SOLETTE COMPOSTE	“	111
7.1 Analisi di azioni e sollecitazioni	“	112
7.2 Verifica della lamiera grecata utilizzata come cassero	“	115
7.3 Verifica della soletta composta agli stati limite	“	115
7.4 Modalità costruttive	“	122

8. RESISTENZA AL FUOCO	pag.125
8.1 Colonne	“ 125
8.2 Travi	“ 126
8.3 Solette	“ 126
9. APPLICAZIONI	“ 127
9.1 Criteri generali di dimensionamento iniziale	“ 127
9.2 Esempio n. 1: Trave appoggiata con soletta piena	“ 129
9.3 Esempio n. 2: Trave appoggiata con soletta composta	“ 135
9.4 Esempio n. 3: Trave continua a due campate con soletta piena	“ 143
9.5 Esempio n. 4: Colonna a sezione quadrata completamente rivestita	“ 154
10. TRAVI COMPOSTE A CONNESSIONE DISCONTINUA	“ 163
10.1 Impostazione del problema statico	“ 164
10.2 Analisi elastica agli SLS	“ 166
10.3 Analisi plastica agli SLU	“ 167
10.4 Analisi limite locale	“ 170
10.5 Esempi applicativi	“ 174
11. TRAVI CON PROFILI METALLICI INGLOBATI NEL CALCESTRUZZO	“ 181
11.1 Impostazione dell'analisi statica	“ 184
11.2 Analisi elastica a flessione	“ 186
11.3 Analisi rigido-plastica a flessione	“ 188
11.4 Analisi a taglio	“ 191
11.5 Analisi agli SLS	“ 194
11.6 Parametri caratteristici e limitazioni dimensionali	“ 194
11.7 Esempi applicativi	“ 196
BIBLIOGRAFIA	“ 201

1. INTRODUZIONE

Per strutture composte acciaio-calcestruzzo si intendono quelle membrature costituite da acciaio per carpenteria e da calcestruzzo armato normale o precompresso, componenti opportunamente solidarizzati tra loro in modo da formare un sistema complessivo che funziona staticamente in modo monolitico in tutte, o in parte, le fasi di vita della costruzione.

La trattazione si riferisce alla progettazione di strutture composte per opere di ingegneria civile, con particolare riguardo agli edifici, rappresentate da **travi, colonne, solette**. Le strutture miste acciaio-clc occupano attualmente un posto di rilievo nell'industria delle costruzioni: se è vero che esse trovano prevalente applicazione nel settore delle travi da ponte, è altrettanto vero che nell'ambito dell'edilizia civile e industriale risultano ormai ampiamente affermate le soluzioni tecniche che impiegano travi di impalcato e solai in formazione mista, con soletta piena o con utilizzo di lamiere grecate, e sempre più spesso anche colonne composte in cui il calcestruzzo funge da rivestimento o da riempimento del profilo metallico.

Il motivo di questo crescente interesse è legato principalmente ad aspetti tecnici ed economici. Le strutture composte risultano infatti competitive e frequentemente più convenienti rispetto sia alle strutture in acciaio che a quelle in c.a. perché rispondono a due requisiti fondamentali:

- **sul piano statico** consentono di ottenere elementi strutturali con caratteristiche di resistenza ottimali, in virtù della perfetta complementarità delle proprietà meccaniche dei due materiali coinvolti, ciascuno dei quali può essere sfruttato nel modo ad esso più congeniale;
- **sul piano economico** consentono di limitare il peso dell'acciaio (che è il materiale più costoso) e di ridurre i tempi di costruzione nonché i costi della manodopera grazie all'adozione di processi produttivi di prefabbricazione.

Al di fuori del citato complesso di strutture miste tradizionali, gli ultimi capitoli del testo sono dedicati alla trattazione di due particolari tipologie di membrature composte acciaio-clc quali le "travi a connessione discontinua", note in letteratura tecnica come **stub-girder system**, e le "travi con profili d'acciaio inglobati nel calcestruzzo armato". Sono sistemi strutturali destinati specificamente alla realizzazione di impalcati per edifici civili la cui concezione originaria risale a non pochi anni addietro e che attualmente, dopo aver attraversato un periodo di scarso interesse, sembrano riproporsi con rinnovato slancio

scientifico e applicativo. Il recente notevole sviluppo registrato da queste tematiche, specie in campo internazionale, grazie all'odierno elevato livello di progresso tecnologico sia in termini di processi esecutivi che di metodologie di calcolo, non è stato tuttavia in grado, a tutt'oggi, di produrre al riguardo un efficace assetto normativo.

Si auspica pertanto che la formulazione offerta in questa sede, basata su studi teorici e applicativi condotti in materia dagli scriventi, possa fornire tra l'altro un utile contributo in tale direzione.

Per l'aspetto normativo generale il presente testo si ispira essenzialmente ai principi e ai metodi operativi della codificazione europea, segnatamente dell'Eurocodice 4. Sui temi specifici delle azioni di progetto e dei livelli prestazionali di sicurezza dei materiali, va comunque precisato che le indicazioni dell'EC4 sono state qui armonizzate, ove diverse, con le prescrizioni cogenti della recente Normativa nazionale (NTC 2008) costituita dal Testo Unico aggiornato delle "Norme tecniche per le costruzioni" promulgato con D.M. 14/01/2008, che ha parzialmente modificato ed integrato le precedenti norme di settore costituite dalle Istruzioni CNR 10016/2000 e che è stato seguito dalle relative Istruzioni applicative contenute nella Circolare Ministeriale del 02/02/2009.

2. MORFOLOGIA DI MEMBRATURE E CONNESSIONI STRUTTURALI

Si descrivono le principali forme costruttive di:

- travi composte
- colonne composte
- solette piene e composte
- connettori
- collegamenti trave-trave, trave-colonna, solaio-colonna.

• Tipi di travi composte

In Fig. 2-1 sono illustrati alcuni esempi di travi miste, con profilo metallico prevalentemente a parete piena ma possibilmente anche a traliccio; l'eventuale rivestimento parziale in cls della sezione a parete piena di acciaio assicura la stabilità all'imbozzamento dell'anima e aumenta la resistenza al fuoco.

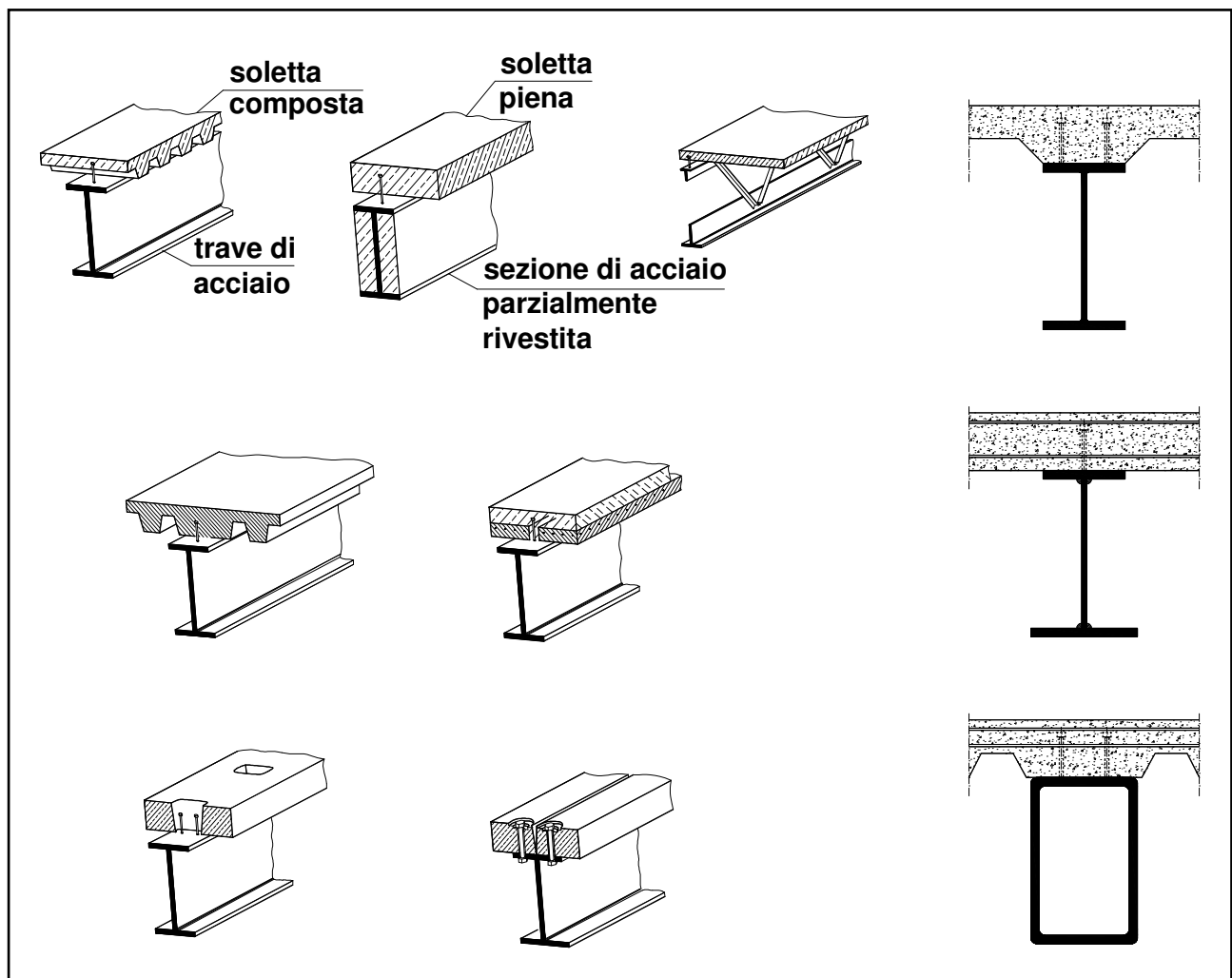


Fig. 2-1

La solidarizzazione tra profilo in acciaio e soletta in cls avviene per il tramite di appositi elementi metallici, detti **connettori**, i quali impediscono totalmente o parzialmente lo scorrimento mutuo tra i materiali a contatto assorbendo di conseguenza il taglio longitudinale necessario per il comportamento misto. Essi sono costituiti prevalentemente da **pioli**, ma sono previste anche altre tipologie dettagliatamente illustrate più avanti.

- **Tipi di colonne composte**

Le colonne composte possono essere realizzate in genere secondo gli schemi di Fig. 2-2; si tratta in sostanza di due distinte tipologie:

- I. con profilo metallico a **sezione aperta**, di solito a I, totalmente o parzialmente rivestito di cls armato;
- II. con profilo metallico a **sezione cava, riempito** di cls semplice o armato.

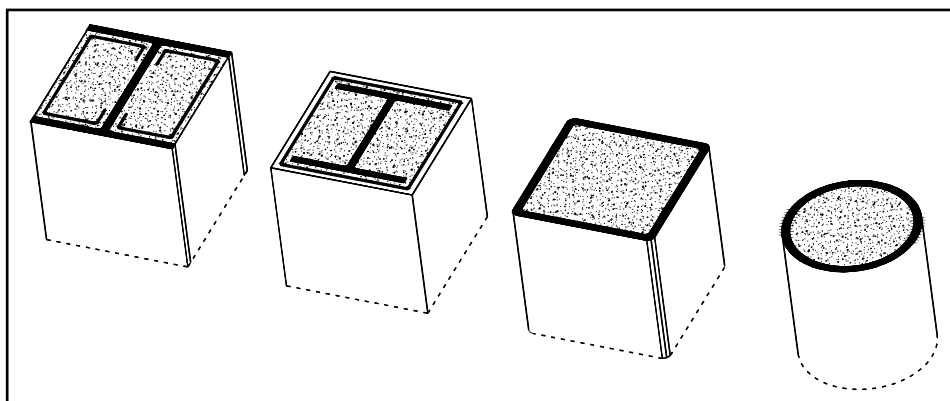


Fig. 2-2

Nel primo caso può farsi uso o meno dei connettori, mentre nel secondo caso sono sempre esclusi; in assenza di connettori la collaborazione statica resta affidata all'aderenza e all'attrito tra acciaio e cls, esaltata dall'eventuale effetto di confinamento.

- **Tipi di solette**

Le solette atte a formare travi miste acciaio-cls si distinguono nelle due principali categorie (Fig. 2-3):

- I. **solette piene in calcestruzzo**, gettate in situ oppure prefabbricate in pannelli pieni o alveolari; oppure semiprefabbricate in lastre o travetti tralicciati con getto di completamento in opera; oppure, infine, costituite dalle fasce piene di estremità dei tradizionali solai latero-cementizi;
- II. **solette composte con lamiera grecata e calcestruzzo**, le quali costituiscono già di per sé un solaio misto acciaio-cls grazie alla speciale forma della lamiera grecata che può presentare **apposite bugnature** nelle pareti subverticali oppure **nervature a**

profilo rientrante, elementi idonei a realizzare la collaborazione statica tra lamiera (essenzialmente soggetta a trazione) e cls (essenzialmente soggetto a compressione); sono generalmente continue su più appoggi, ma spesso vengono calcolate come semplicemente appoggiate alle travi.

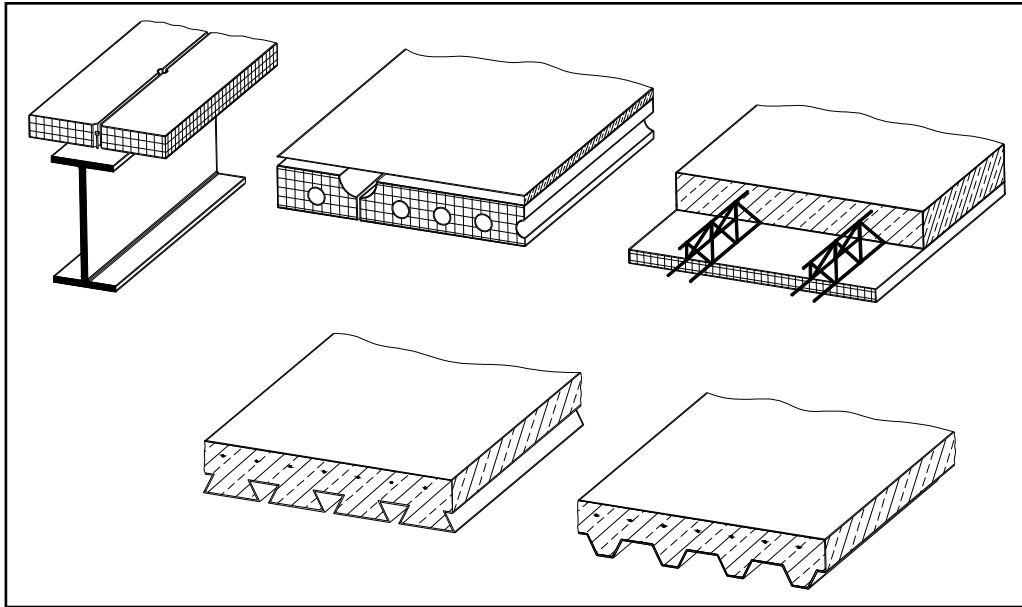


Fig. 2-3

- **Tipi di connettori**

Sono dispositivi destinati ad assicurare la trasmissione degli sforzi di scorrimento tra acciaio e calcestruzzo, che vengono fissati al profilo metallico mediante saldatura, bullonatura o chiodatura, ed ancorati nel conglomerato.

Le diverse tipologie di connettori possono essere classificate nelle seguenti categorie in base al loro particolare funzionamento statico, riferito specificamente alle travi:

- I. **connettori a taglio**, come pioli con o senza testa, tondi semplici e uncinati, spezzoni di profilati o di barre piene, elementi sagomati a freddo;
- II. **connettori a staffa**, che possono essere lineari, sagomati a uncino o a cappio, ecc.;
- III. **connettori composti**, costituiti dall'associazione di connettori a taglio e a staffa;
- IV. **connettori ad attrito**, con impiego di bulloni ad alta resistenza.

In ogni caso deve essere garantita una corretta trasmissione delle azioni di scorrimento curando la disposizione e l'orientazione dei connettori in modo da evitare "l'effetto cuneo" con conseguente pericolo di rottura del cls.

I dispositivi di connessione devono inoltre essere atti ad impedire il distacco verticale della soletta in cls dalla sottostante trave metallica (per vibrazioni, azioni dinamiche, ecc.).

Si descrivono più in dettaglio le singole categorie.

I. **Connettori a taglio**: si distinguono in **elastici** (I/A) e **rigidi** (I/B) e funzionano essenzialmente a flessione e taglio riprendendo la pressione frontale esercitata dalla spinta del cls per trasferirla al profilo metallico; vengono preferibilmente impiegati quando le tensioni principali nel cls risultano pressoché parallele all'asse della trave, ossia quando lo spessore della soletta è modesto rispetto all'altezza totale della trave mista.

I/A – I **connettori elastici, duttili e non**, sono i più utilizzati in assoluto (Fig. 2-4) e consistono in **pioli** con testa (tipo NELSON, i più comuni) o senza testa (tipo PHILIPS), oppure in tondi uncinati o con alcuni elementi ripiegati ad occhiello; nel caso di travi miste in cui la soletta risulta composta con lamiera grecata, al fine di evitare la preventiva onerosa foratura della lamiera, sono diffusamente impiegati speciali connettori (Fig. 2-5), del tipo ad L sagomati a freddo (modello HILTI) oppure formati da comuni pioli NELSON presaldati ad una piastrina di base (modello TECNARIA), aventi in comune la caratteristica di essere fissati alla sottostante trave metallica mediante chiodi applicati in opera direttamente sulla lamiera grecata.

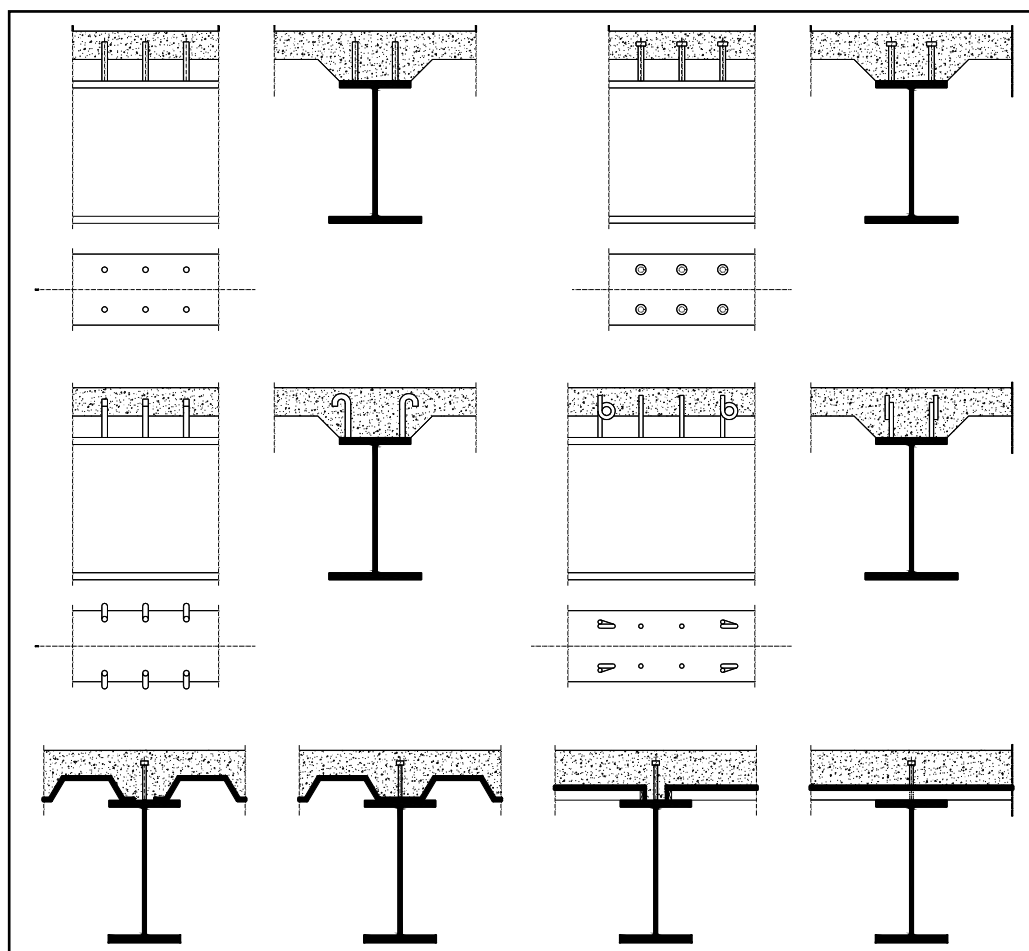


Fig. 2-4

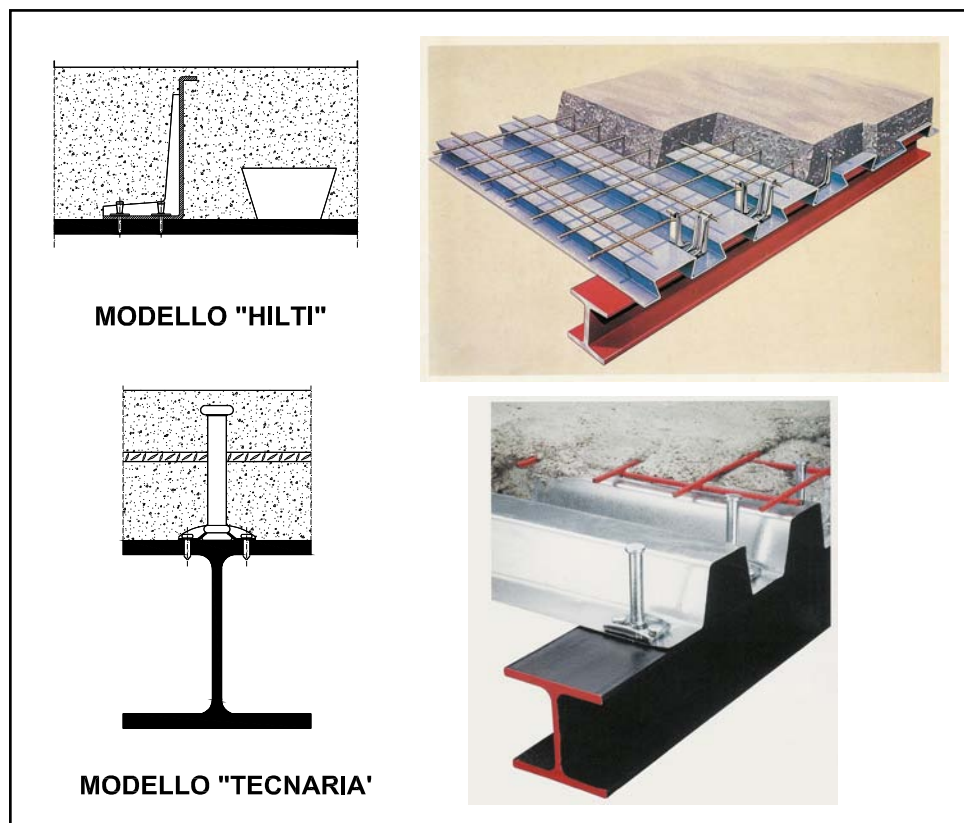


Fig. 2-5

I/B – I **connettori rigidi**, detti anche **a pressione**, sono costituiti da spezzoni di barre piene o di profilati a caldo (C, L, T), corredati eventualmente da “anelli” di ancoraggio per impedire il sollevamento della soletta (Fig. 2-6), i quali devono possedere una rigidità tale da poter ritenere che, allo stato limite ultimo, la pressione del calcestruzzo risulti uniformemente distribuita sulla loro superficie frontale. Presentando una più elevata resistenza specifica rispetto ai connettori elastici, se ne preferisce l'impiego quando vi è la necessità pratica di aumentare il passo dei dispositivi, come accade sovente nel caso di solette prefabbricate.

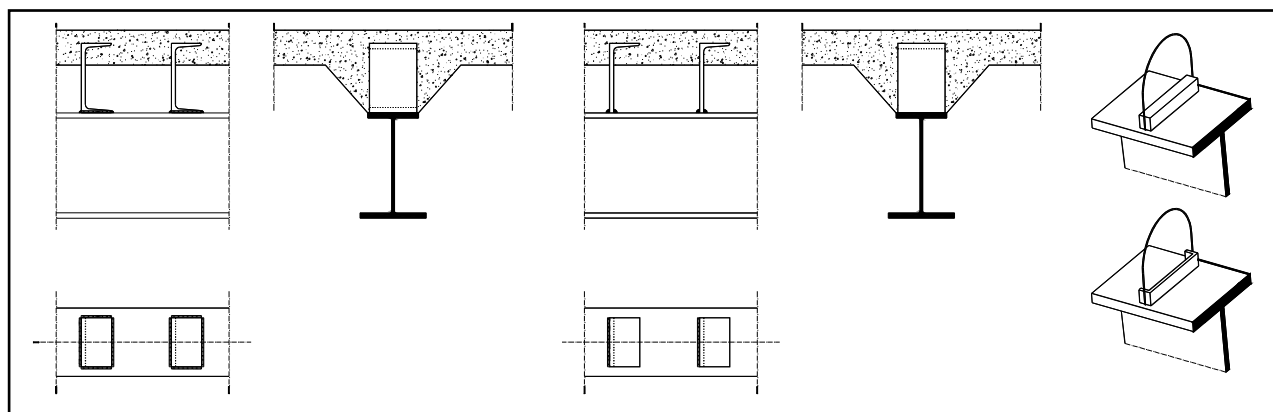


Fig. 2-6

II. **Connettori a staffa:** sono di solito del tipo “ad uncino” o “a cappio” e funzionano per aderenza col cls disponendosi con un’inclinazione α di circa 45° nel piano verticale rispetto all’estradosso della trave metallica (Fig. 2-7). Le staffe riprendono le tensioni principali di trazione indotte dallo sforzo di scorrimento agente a livello del piano di contatto acciaio-cls e le trasmettono per aderenza al conglomerato; le corrispondenti tensioni di compressione vengono assorbite direttamente dal cls attraverso un sistema di bielle compresse con uno schema a traliccio di MÖRSCH.

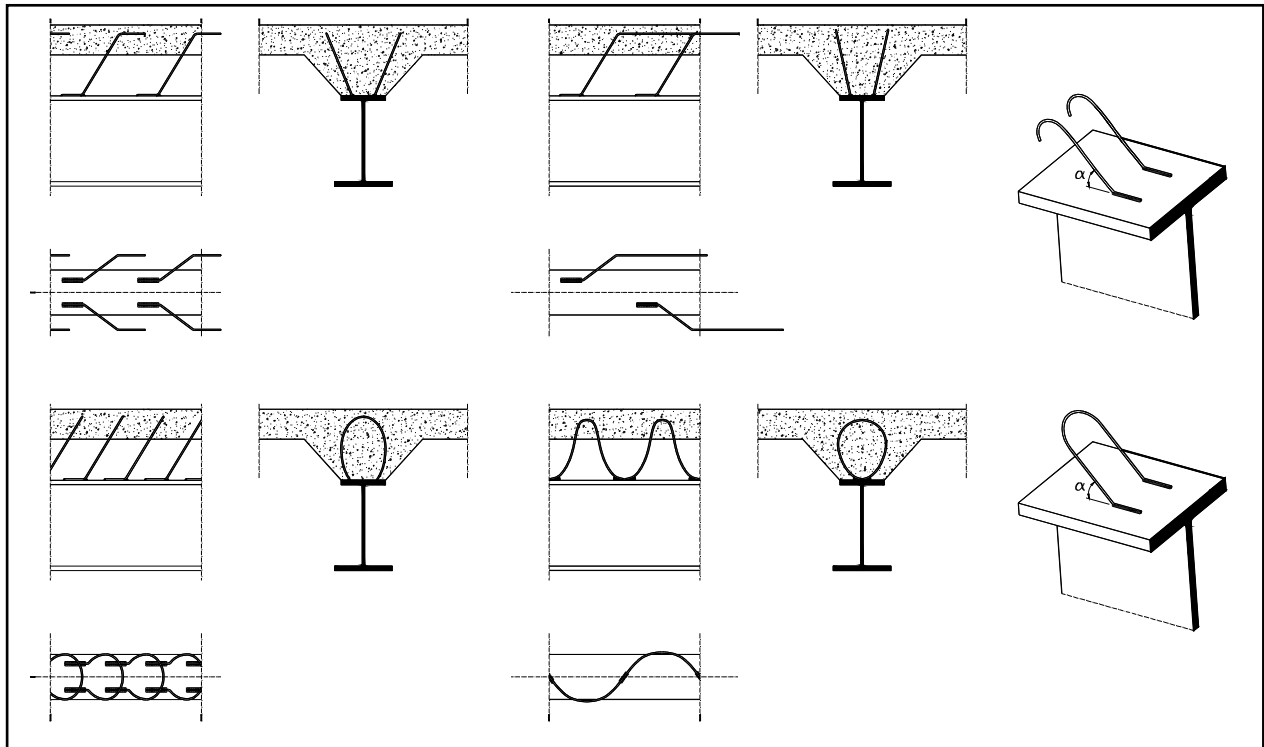


Fig. 2-7

L'impiego di tali connettori è pertanto particolarmente adatto ed efficace quando lo spessore della soletta è notevole rispetto all'altezza totale della trave mista, sicché gli sforzi principali di trazione al contatto acciaio-cls abbiano una marcata inclinazione sul piano orizzontale (30° :- 50°).

III. **Connettori composti:** sono quelli ottenuti combinando opportunamente connettori a taglio, dei tipi rigidi, con staffe di ancoraggio (Fig. 2-8). Si realizzano in tal modo schemi a T, a ferro di cavallo, a pressione con uncino o con cappio, ecc.; la presenza delle staffe, tra l'altro, consente un sicuro ancoraggio nel cls capace di impedire il sollevamento della soletta dalla trave di acciaio che i connettori a taglio da soli non sono in grado di evitare. Trovano conveniente applicazione in presenza di sollecitazioni particolarmente elevate.

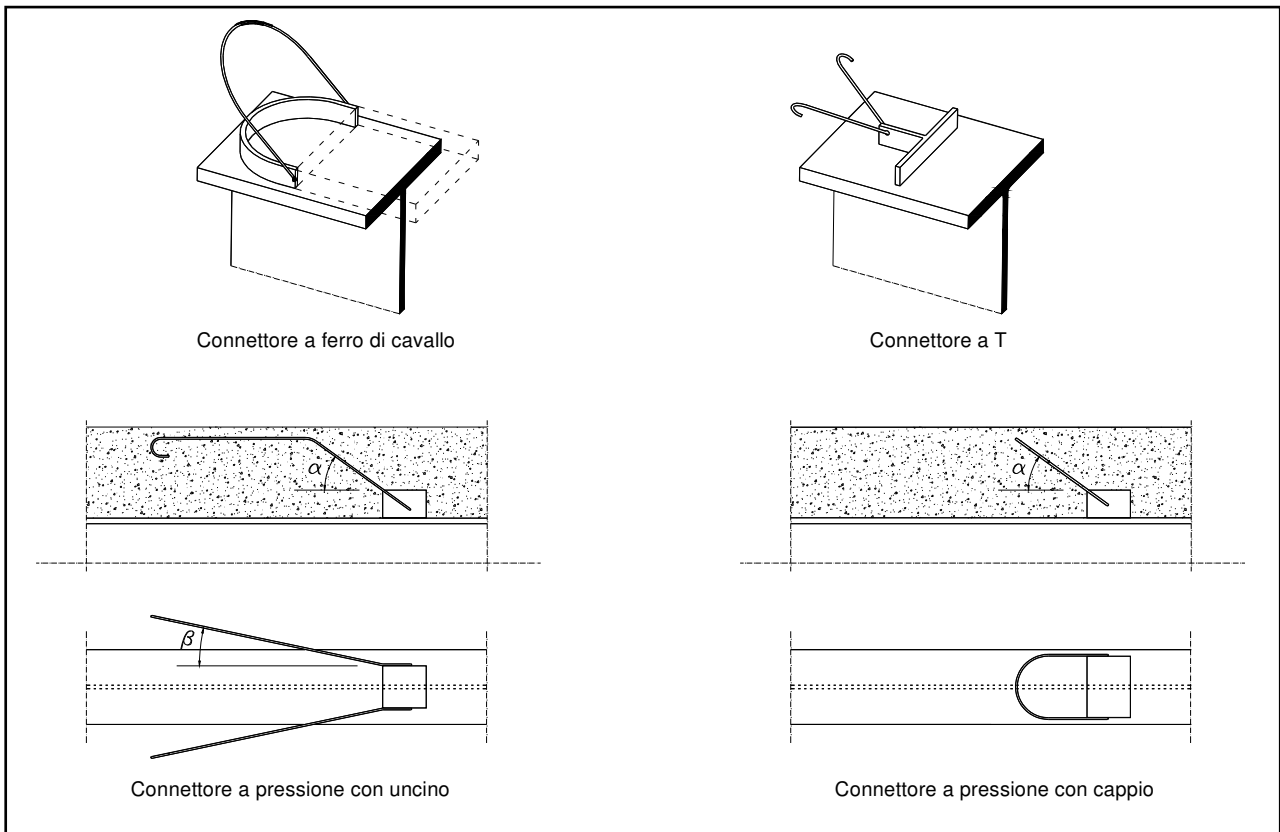


Fig. 2-8

IV. **Connettori ad attrito:** si realizzano con impiego di coppie di bulloni pretesi ad alta resistenza (Fig. 2-9). Tale soluzione, che spesso richiede l'aggiunta di armature "a spirale" per il "frettaggio" del cls, rappresenta certamente quella costruttivamente più onerosa, oltre che la più penalizzante per la resistenza della trave metallica (a causa dei fori); la sua applicazione resta pertanto limitata a determinati casi di travi miste con solette prefabbricate.

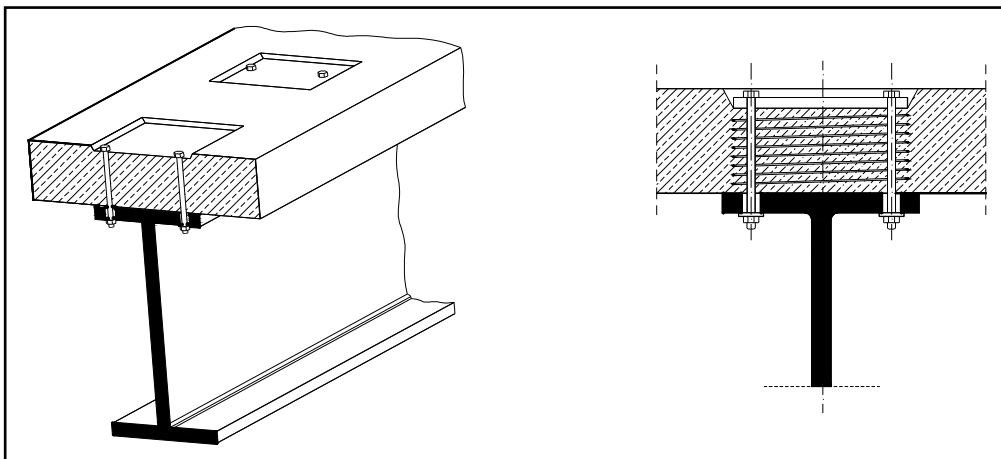


Fig. 2-9

Il **fissaggio** dei connettori alla trave di acciaio viene eseguito con i seguenti **sistemi**:

- **saldatura diretta “a scintillio”**, con pressione all’arco elettrico senza metallo d’apporto mediante una speciale pistola saldatrice, per i connettori a piolo (Fig. 2-10);

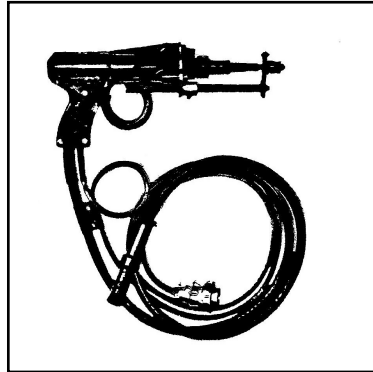


Fig. 2-10

- **saldatura comune “a cordoni d’angolo”** per i connettori a taglio di tipo rigido, per i connettori a staffa e per quelli composti;
- **bullonatura ad A.R.** per i connettori ad attrito;
- **chiodatura automatica**, effettuata con una speciale pistola chiodatrice, per i connettori a taglio costituiti da elementi a L profilati a freddo o da pioli con piastrina di base fissati per mezzo di chiodi sparati (Fig. 2-11).

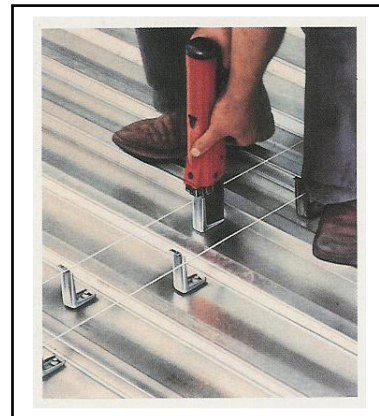
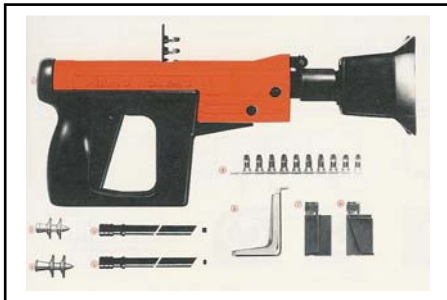


Fig. 2-11

• **Tipi di collegamenti**

Nei sistemi intelaiati che costituiscono l’ossatura degli edifici la presenza di membrature composte acciaio-cls comporta la realizzazione di diversi tipi di **collegamenti strutturali** potenziali: trave/trave, trave/colonna, colonna/colonna, colonna/solaio, ecc.

Questi vanno dimensionati in base ai richiesti requisiti progettuali di rigidità e di resistenza, ossia come nodi cerniera, rigidi o semirigidi ed a totale o parziale ripristino di resistenza.

Nelle figure che seguono si illustrano alcuni esempi di possibili soluzioni costruttive:

- connessioni **trave composta/colonna** e **trave composta/trave secondaria** per realizzare **nodi cerniera** (Fig. 2-12);

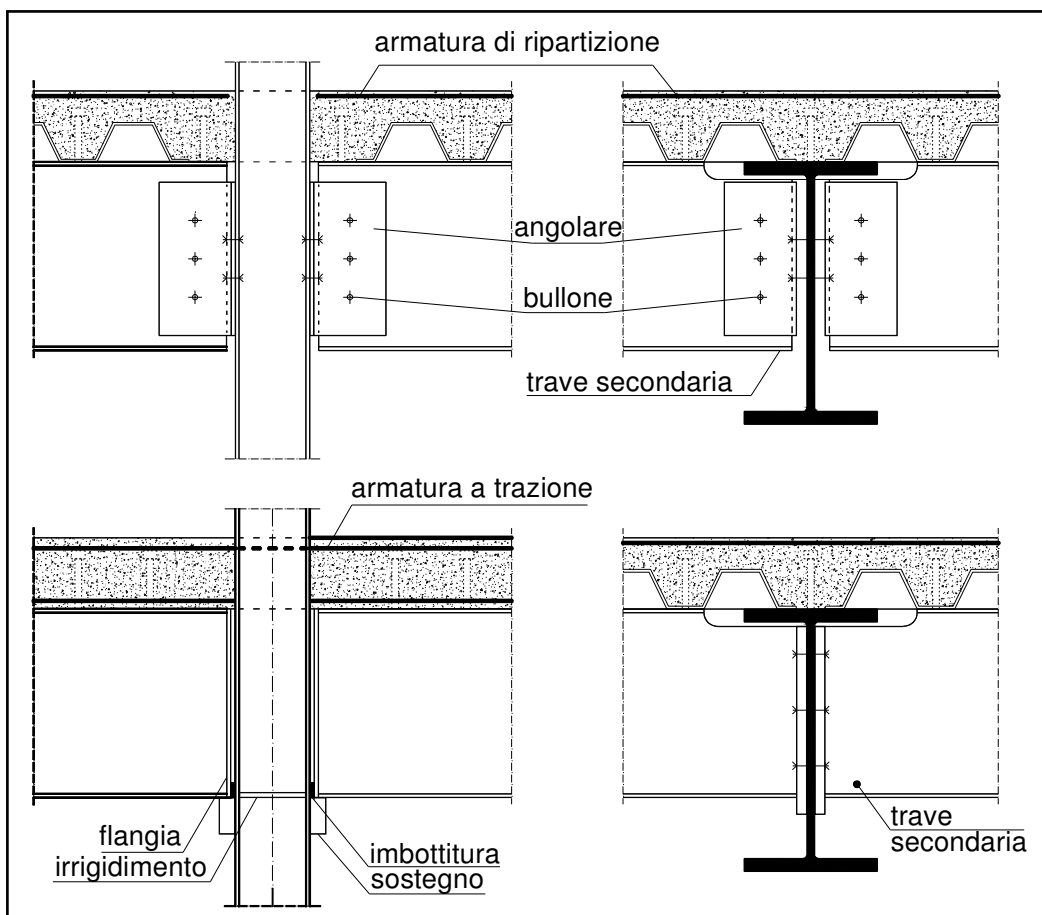


Fig. 2-12

- connessione **trave composta/colonna** per realizzare un **nodo rigido** (Fig. 2-13);

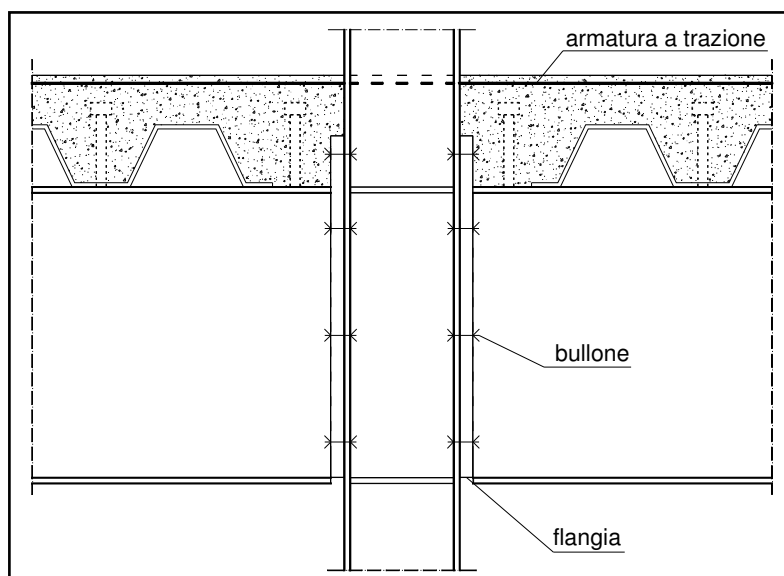


Fig. 2-13

- connessioni **trave/colonna composta** per conseguire **nodì incernierati** (Fig. 2-14);

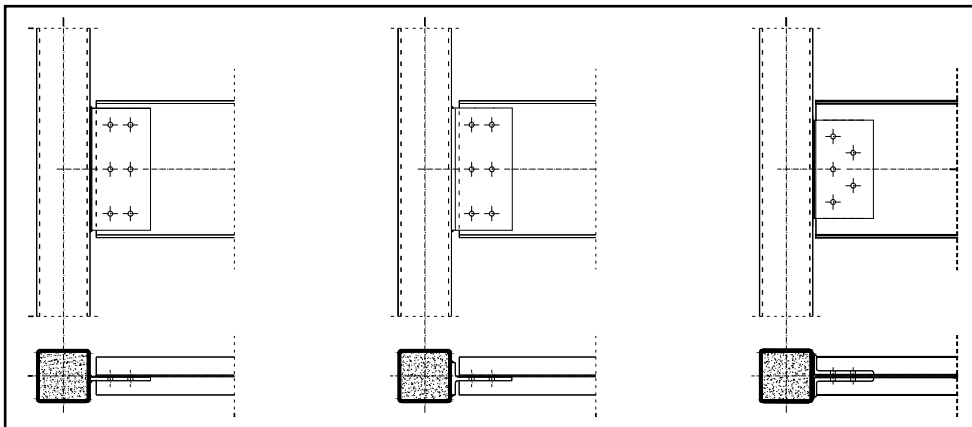


Fig. 2-14

- connessioni **trave/colonna composta**, con attacco sulla sola faccia anteriore della colonna o anche su quella posteriore, rispettivamente compatibili con un **nodo semirigido** (ovvero per un momento modesto) e con un **nodo rigido** (ovvero per un momento elevato) (Fig. 2-15);

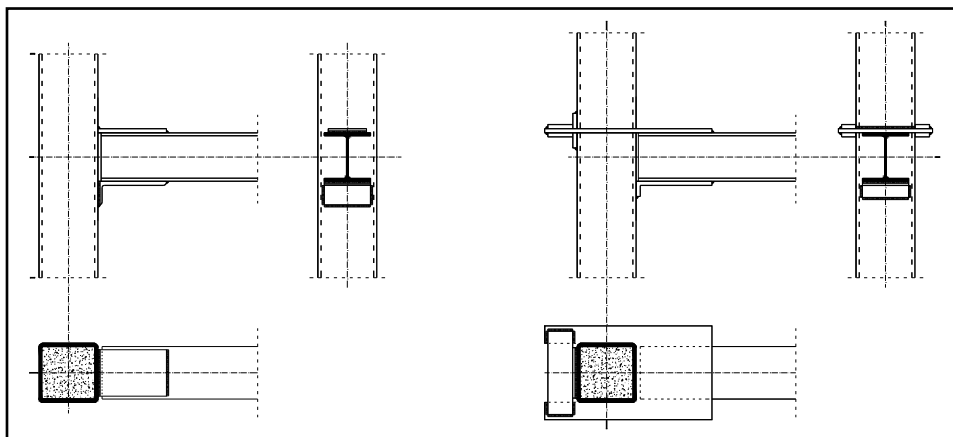


Fig. 2-15

- connessione **colonna composta/colonna composta** per una **giunzione di continuità** (Fig. 2-16);

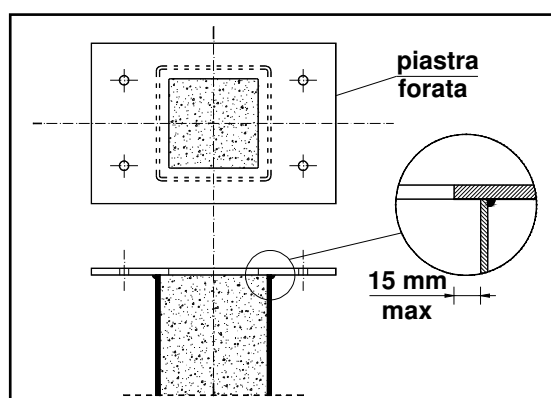


Fig. 2-16

- connessioni dirette tra **colonna composta** e **soffitto in c.a.**, tra cui si distinguono anche interessanti sistemi brevettati (Figg. 2-17, 2-18, 2-19, 2-20).

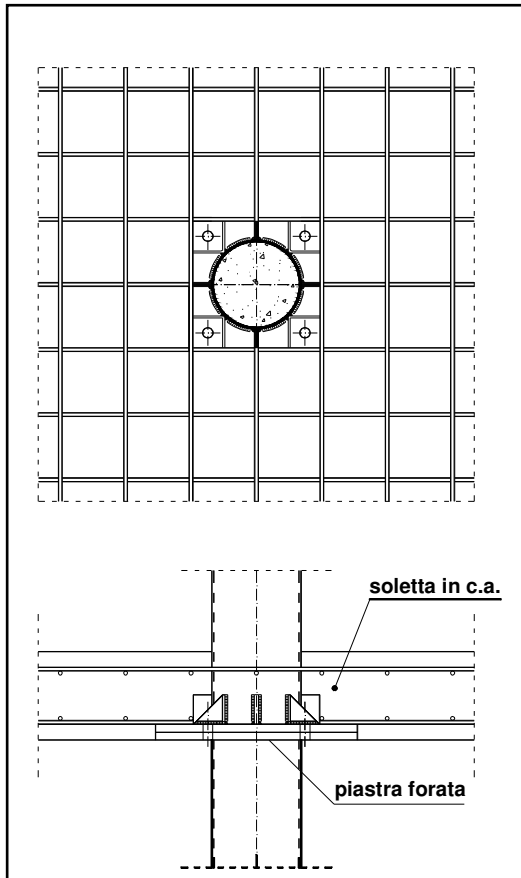


Fig. 2-17

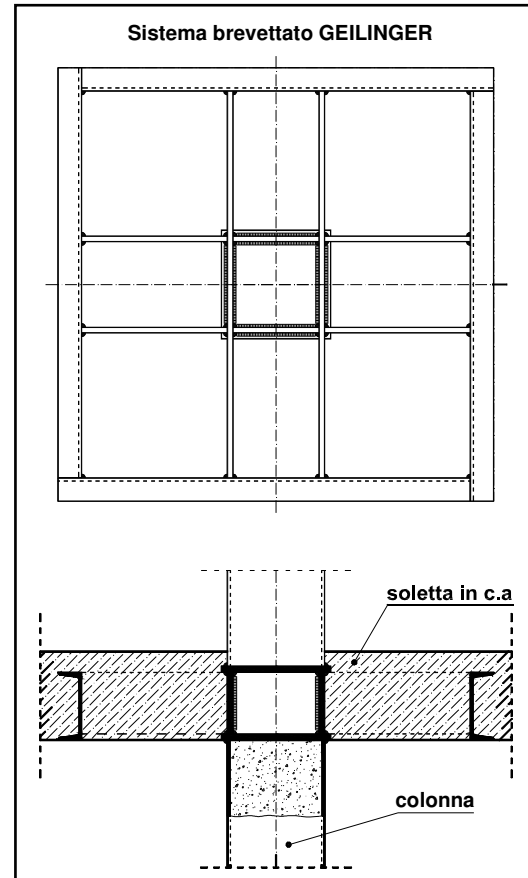


Fig. 2-18

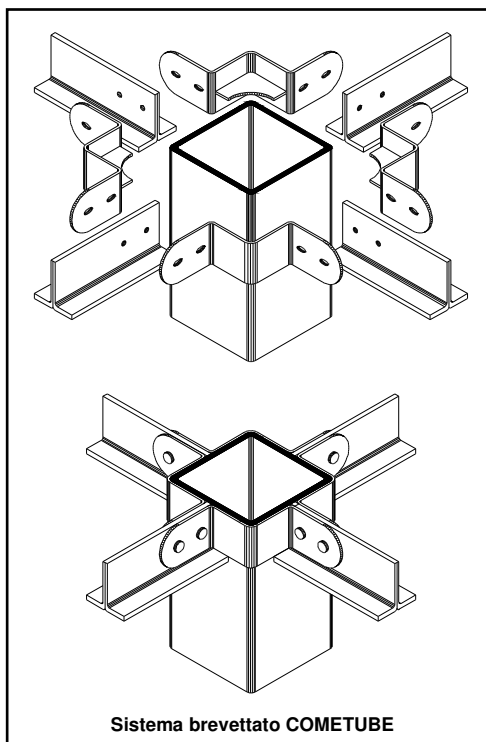


Fig. 2-19

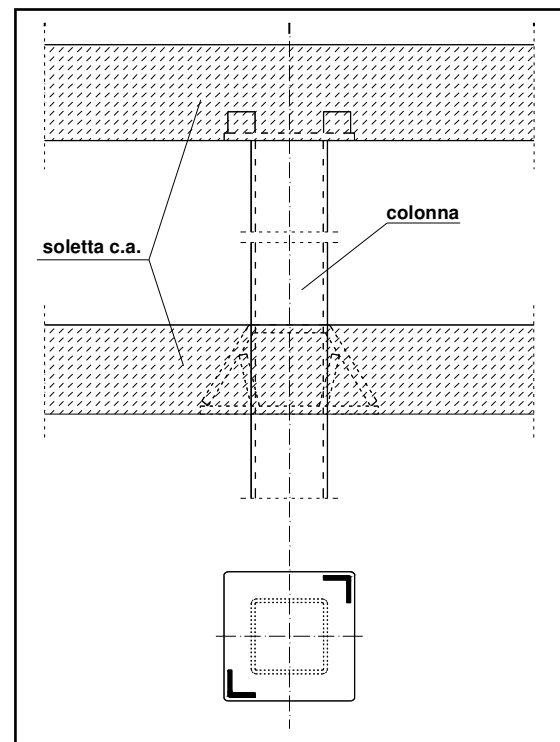


Fig. 2-20