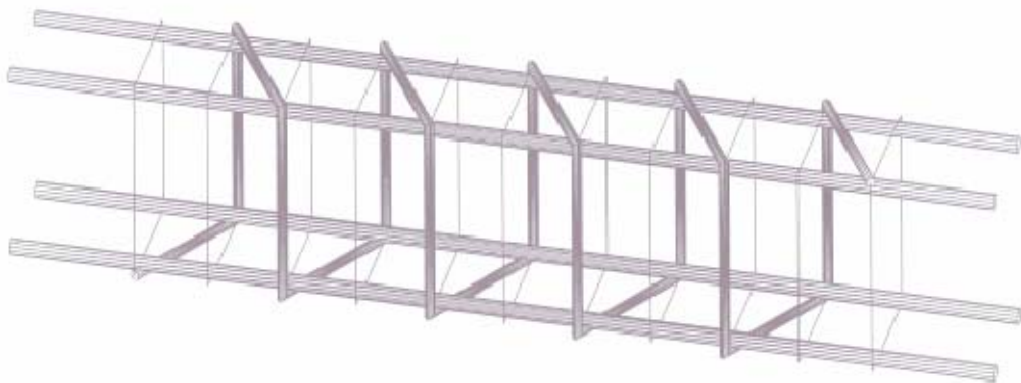


DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA EDILE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Flavia Fascia, Chiara De Marinis, Giovanni Pisanti, Renato Iovino

**La staffa continua a bracci verticali
e passo variabile
per le strutture in c.a.**



SCHNELL S.p.A.

Questo lavoro è il risultato di una ricerca condotta dal Dipartimento di Ingegneria Edile dell'Università degli Studi di Napoli Federico II per conto della SCHNELL S.p.A.

Gruppo di ricerca

Prof. ing. Renato Iovino, responsabile scientifico
Prof. arch. Flavia Fascia, direttore DINE
Dott. ing. Chiara De Marinis,
Dott. ing. Giovanni Pisanti,

Il lavoro è stato redatto dagli autori in stretta collaborazione e con unità concettuale. Pur tuttavia sono da attribuire

a Renato Iovino il capitolo 4
a Flavia Fascia il capitolo 5

I capitoli 2 e 3 sono stati elaborati, rispettivamente, da Giovanni Pisanti e Chiara De Marinis, dottorandi in "Ingegneria delle Costruzioni" presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II.

Ringraziamenti

Schnell S.p.A. intende ringraziare il gruppo di ricerca del Dipartimento di Ingegneria Edile dell'Università degli Studi di Napoli Federico II guidati dal Prof. Renato Iovino per aver sviluppato l'argomento relativo a questo nuovo prodotto con competenza e passione.

Intendiamo ringraziare l'Ing. Antonmassimo Galluccio per aver concepito il principio della staffa continua a bracci verticali ed aver partecipato attivamente al processo d'industrializzazione di questa idea.

Ringraziamo infine l'Ing. Massimo Montemarani per aver creduto nel progetto e Mirko Guazzarotti Direttore Tecnico di Schnell per aver guidato il team tecnico di Schnell S.p.A.

Presentazione

Schnell S.p.A., leader nel settore delle macchine automatiche per la lavorazione del ferro per c.a. ha iniziato a studiare nel 2004 una nuova forma di staffa: “*la staffa continua a bracci verticali a passo variabile*” convinta che ciò rappresentasse una importante innovazione nel settore.

La realizzazione industriale di questa idea innovativa ha incontrato notevoli difficoltà, ma il lavoro del team tecnico di Schnell S.p.A. ha finalmente portato alla realizzazione di “Spirex” che viene presentata in questo studio del Dipartimento di Ingegneria Edile dell’Università degli Studi di Napoli Federico II di Napoli.

Lo studio si rivolge principalmente ai professionisti ingegneri, architetti, geometri; ed illustra i molteplici vantaggi della staffa continua “Spirex” rispetto a quelle tradizionali.

Ci piace evidenziare – tra le tante ragioni a vantaggio della nuova staffa continua Spirex – quanto detto in conclusione a pag. 71 :

“... A tutti questi vantaggi *misurabili* se ne deve però aggiungere *uno non sempre misurabile*, ma che costituisce la principale ragione per consigliare l'utilizzo della staffa continua Spirex rispetto alle staffe tradizionali.

Questo vantaggio aggiuntivo e decisivo è rappresentato dalla certezza che il numero e la posizione delle staffe sia quella richiesta dal progetto. Questa certezza è sicuramente ottenuta con l’uso della staffa continua Spirex indipendentemente dalla diligenza delle maestranze e dal livello di controllo in cantiere, non sempre agevole, da parte del direttore dei lavori. Questa certezza comporta tranquillità per il progettista/direttore dei lavori; sicuri che tutte le staffe siano presenti e distanziate esattamente come da progetto. Indipendentemente da tutti gli altri notevoli vantaggi tecnologici, economici ed ambientali discussi in questo studio, riteniamo questo ultimo vantaggio della certezza, il più grande e decisivo fattore per spingerci a consigliare l’adozione della staffa continua Spirex in luogo di quelle tradizionali.

Simone Rupoli
(Direttore generale)
Schnell S.p.A.

1. LA STAFFA TRADIZIONALE E IL SISTEMA SCHNELL

Tradizionalmente, le staffe sono realizzate con tondini di ferro sagomati in modo da formare rettangoli disposti nei piani normali all'asse della trave. Ai tratti verticali, *bracci*, è affidato il compito di resistere all'azione di taglio; ai tratti orizzontali, invece, quello fondamentale di *chiudere* la staffa e di confinare il calcestruzzo. I sistemi tradizionali, però, non consentono la realizzazione della staffa perfettamente continua nel proprio piano, poiché in almeno un vertice della staffa tradizionale è necessario prevedere, per motivi tecnologici legati al montaggio delle gabbie di armatura, un'interruzione, con conseguenti ganci e sovrapposizioni.

Il sistema innovativo presentato dall'azienda italiana Schnell s.p.a.¹, azienda leader nel settore della progettazione e produzione di macchine per la lavorazione del ferro, è quello della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile*, denominata Spirex, capace di soddisfare le esigenze di progettisti, imprese e maestranze.

Il sistema prevede la realizzazione di tutte le staffe di un'intera trave, o pilastro, con un unico continuo tondino di ferro sagomato a formare bracci verticali, come per il sistema tradizionale, anche a passo variabile, mentre quelli orizzontali (uno o entrambi) vengono inclinati per distanziare tra loro i singoli bracci realizzando il passo assegnato dal progettista della struttura.

La staffa continua, così sagomata, viene quindi compattata, legata ed etichettata per associarla univocamente alla trave, o pilastro, di appartenenza, all'interno della cui cassaforma, liberata dalle legature, riprende fedelmente il passo previsto da progetto.

Si ottengono indubbi vantaggi nell'utilizzare le staffe Spirex per tutta la *filiera* di produzione :

- per il progettista/direttore dei lavori, per la corretta disposizione e l'esatto numero delle spire;
- per l'impresa, per una riduzione sostanziale dei tempi di posa in opera con relativi vantaggi economici;
- per l'impresa, per una riduzione sostanziale del peso di ferro dell'armatura trasversale delle strutture in c.a. con relativi vantaggi economici;

¹ Schnell S.p.A., via Borghetto, 2 – Zona ind. San Liberio – 61030 Montemaggiore al M. (PU) Italia www.schnell.it

- per le maestranze, per una notevole riduzione dei rischi durante la posa in opera delle staffe per l'assenza di ganci, uncini, piegature, bordi taglienti e sbavature dei tagli;
- per il sagomatore, per una riduzione dei rischi insiti nella lavorazione dei tondini;
- per il responsabile della sicurezza, per uno stoccaggio in cantiere più ordinato e pulito;
- per l'azienda di lavorazione e assemblaggio delle gabbie per c.a., per minori oneri di trasporto;
- per l'ambiente, per una riduzione delle emissioni di CO₂ dovute alla produzione e lavorazione del ferro.

La *staffa continua a bracci verticali e passo variabile*, proposta dalla Schnell S.p.A., si caratterizza per le molteplici economie che la rendono certamente da preferire al sistema tradizionale di staffatura delle strutture in c.a., sia prefabbricate che realizzate in opera.

L'utilizzo del nuovo tipo di *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* implica notevoli vantaggi sia in termini economici che di inquinamento ambientale; infatti, si ha una riduzione di energia utilizzata per la produzione di acciaio nel settore edile, riduzione di emissioni di CO₂ derivante dalla produzione e lavorazione del ferro, riduzione temporale della mano d'opera impegnata nel montaggio delle staffe, riduzione di infortuni per gli operai relativi ai rischi intrinseci nella posa in opera della carpenteria metallica delle strutture in c.a.

Dal punto di vista strutturale le prove, *condotte dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Firenze presso il Laboratorio Strutture*, hanno dimostrato che la disposizione a *spirale* della staffatura conferisce alla trave *capacità prestazionali almeno pari a quelle offerte dalla staffatura tradizionale* sia nelle fasi precedenti alla rottura che in prossimità del carico ultimo, ed un comportamento migliore nei confronti della resistenza residua a taglio successiva al superamento del taglio ultimo.

Il progettista pertanto potrà utilizzare *la staffa continua a bracci verticali e passo variabile* in sostituzione della staffatura tradizionale certo di applicare un prodotto equivalente dal punto di vista teorico, ma migliore e più sicuro nella reale applicazione di cantiere.

2. IL RUOLO DELLE STAFFE NELLE STRUTTURE IN C.A.

Sebbene l'analisi del comportamento di una trave in c.a. soggetta a flessione e taglio sia ancora oggi oggetto di diverse interpretazioni, è consuetudine ormai dimensionare le armature a taglio riferendosi quasi sempre alla classica trattazione di Ritter-Mörsch (1902). Secondo questa teoria, il modello resistente di riferimento è quello desunto dal comportamento post-fessurativo dell'elemento (Fig. 2.1), che porta a schematizzare la trave come una struttura reticolare ideale, le cui aste sono:

- il corrente compresso, costituito dal calcestruzzo in compressione;
- il corrente teso, costituito dall'armatura longitudinale in trazione;
- le aste compresse, formate dai conci compressi di calcestruzzo;
- le aste tese, formate dalle armature trasversali (staffe e/o ferri piegati).

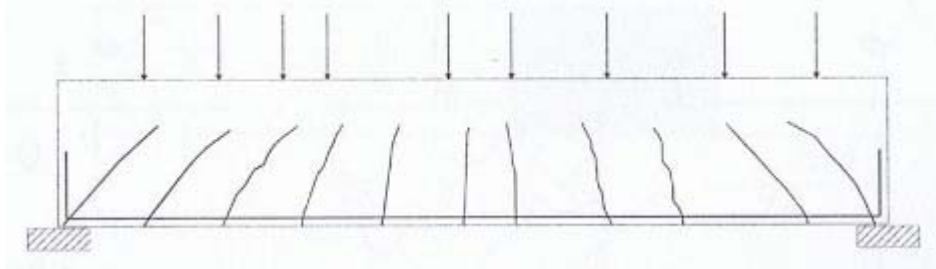


Fig. 2.1 – Quadro fessurativo

Il quadro fessurativo definisce così direttamente le bielle compresse, delimitate dalla presenza delle fessure inclinate che, partendo dal lembo inferiore dell'elemento (fibre tese), si propagano fino all'altezza dell'asse neutro, oltre il quale c'è il corrente compresso.

L'armatura inferiore, invece, rappresenta il corrente teso mentre le armature trasversali (aste tese) completano la schematizzazione e quindi l'equilibrio della struttura reticolare (Fig. 2.2).

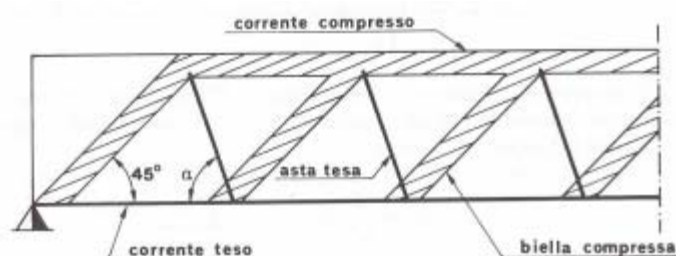


Fig. 2.2 – Schematizzazione secondo la teoria di Ritter-Mörsch

L'equilibrio dei nodi, considerati come cerniere, permette di calcolare gli sforzi a cui sono soggetti tutti gli elementi e di dimensionare le armature trasversali, soprattutto per contenere il valore delle tensioni nel calcestruzzo entro i limiti di legge.

L'ipotesi posta a base della trattazione di Ritter-Mörsch, che trascura completamente la resistenza a trazione del calcestruzzo, porta a concludere che un concio di trave non possa offrire alcuna resistenza a taglio senza un'adeguata armatura trasversale. In realtà, ricerche sperimentali condotte hanno dimostrato la concomitanza di più meccanismi resistenti che contribuiscono ad assorbire gli sforzi taglienti:

- *ingranamento degli inerti*, per effetto della forza che si trasmette attraverso una superficie fessurata per scorrimento relativo dei due lembi opposti;
- *effetto spinotto*, che si verifica per effetto della resistenza offerta dall'armatura longitudinale inferiore in corrispondenza dello scorrimento relativo tra le facce di una fessura;
- *effetto arco*, mediante formazione di un sistema arco-tirante per travi alte e con forte armatura longitudinale.

Ma le stesse prove sperimentali hanno mostrato che il modello della travatura reticolare ideale rappresenta un'accettabile schematizzazione del comportamento a taglio di travi in c.a., sia nel caso in cui la crisi per cedimento delle bielle compresse avvenga con armatura in fase elastica sia che si trovi in fase di snervamento.

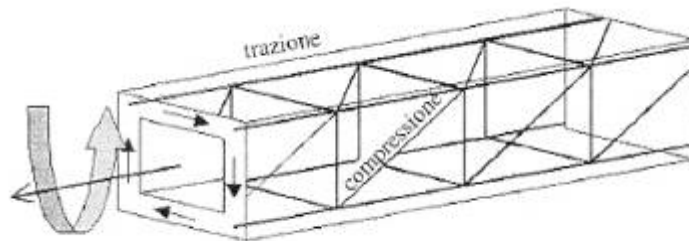


Fig. 2.3 – Schematizzazione del comportamento a torsione

Un modello del tutto analogo a quello di Ritter-Mörsch può essere, inoltre, impiegato anche per valutare gli sforzi tangenziali che agiscono in una trave in c.a. per effetto di un momento torcente. Fin quando questi valori risultano inferiori al valore τ_{c0} si ammette che il solo calcestruzzo sia in grado di fronteggiare la sollecitazione torcente, ma quando il valore τ_{c0} viene superato (senza però superare il valore τ_{c1}) il comportamento resistente cambia completamente, si formano fessure inclinate di 45° che si sviluppano a spirale lungo le superfici della trave, reagisce solo un anello perimetrale di calcestruzzo e vengono chiamate in causa le armature metalliche. Su ogni parete dell'elemento tubolare a parete sottile così individuato si ipotizza quindi un traliccio isostatico con aste inclinate di 45° (Fig. 2.3).

Il ruolo delle staffe nelle armature di travi e pilastri in c.a. non si esaurisce nell'assorbire sforzi dovuti a taglio e torsione, bensì, al primario ruolo statico si affiancano altri aspetti tecnologici e meccanici non meno importanti. Da un punto di vista tecnologico la presenza delle staffe permette di conservare immutate le posizioni delle armature longitudinali sia durante la fase di getto del calcestruzzo che durante la sua vibrazione e pistonatura; mentre da un punto di vista meccanico la limitazione delle lunghezze libere di inflessione dei tondini longitudinali compressi (nei pilastri) con il vincolo offerto dalla presenza dell'armatura trasversale riduce fenomeni di instabilità.

Nei pilastri, inoltre, la staffa viene sollecitata a trazione per effetto della dilatazione trasversale dell'elemento soggetto a compressione, contribuendo così ad aumentarne sia la resistenza che la duttilità, ed esercitando un'azione di *confinamen-*

to sul calcestruzzo compresso. Se l'aumento di resistenza per effetto dello stato triassiale indotto non è molto elevato, di sicuro l'aumento della duttilità è più evidente potendosi in fase plastica verificare maggiori dilatazioni trasversali, tali da far risentire maggiormente dell'effetto benefico dovuto alla presenza delle staffe (Fig. 2.4).

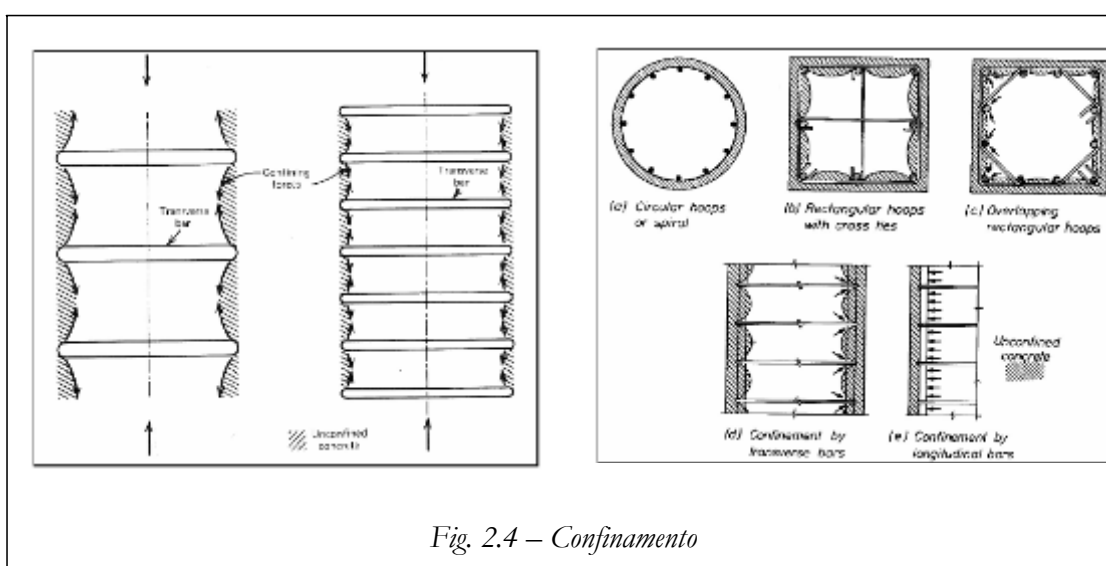


Fig. 2.4 – Confinamento

2.1 Il sistema tradizionale

Nel sistema tradizionale è consuetudine adottare due tipologie di armatura:

- con ferri dritti, ferri di parete e staffe;
- ferri sagomati e staffe.

Il primo sistema prevede tondini longitudinali filanti senza sagomature, (ad eccezione della prima e dell'ultima piega a 90° per il loro fissaggio), disposti lungo il perimetro della sezione trasversale. In particolare, per le travi vengono disposte le armature dimensionate in funzione dei momenti flettenti ai lati inferiore e superiore, mentre lungo i lati verticali della sezione vengono posizionati ferri filanti di parete, dimensionati in funzione di sforzi dovuti a taglio e torsione.

2. Il ruolo delle staffe nelle strutture in c.a.

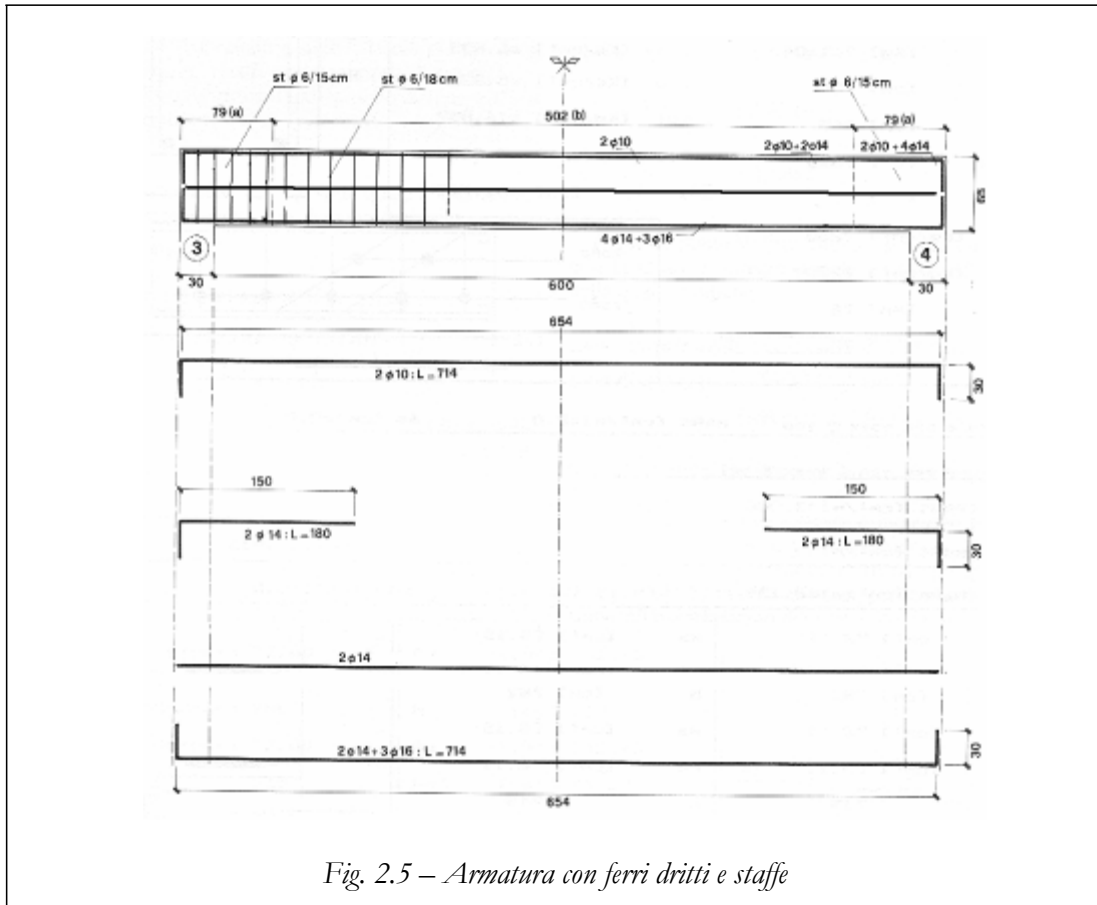


Fig. 2.5 – Armatura con ferri dritti e staffe

Completano la gabbia le armature trasversali realizzate con staffe a passo opportunamente calcolato, realizzando in tal modo un graticcio spaziale di tondini a campi rettangolari più o meno fitti a seconda della maggior o minor sollecitazione agente sull'elemento strutturale (Fig. 2.5).

Nel secondo caso, invece, i tondini longitudinali vengono sagomati con pieghe a 45° e a 135° passando da una sezione all'altra della trave, in tal modo lo stesso tondino reagisce a trazione nella sezione in corrispondenza delle fibre tese inferiori e poi anche in corrispondenza delle fibre tese superiori. Ovvero, in corrispondenza di un'inversione del diagramma del momento flettente si ha una sagomatura che porta il tondino dalla un lato all'altro della sezione corrente.

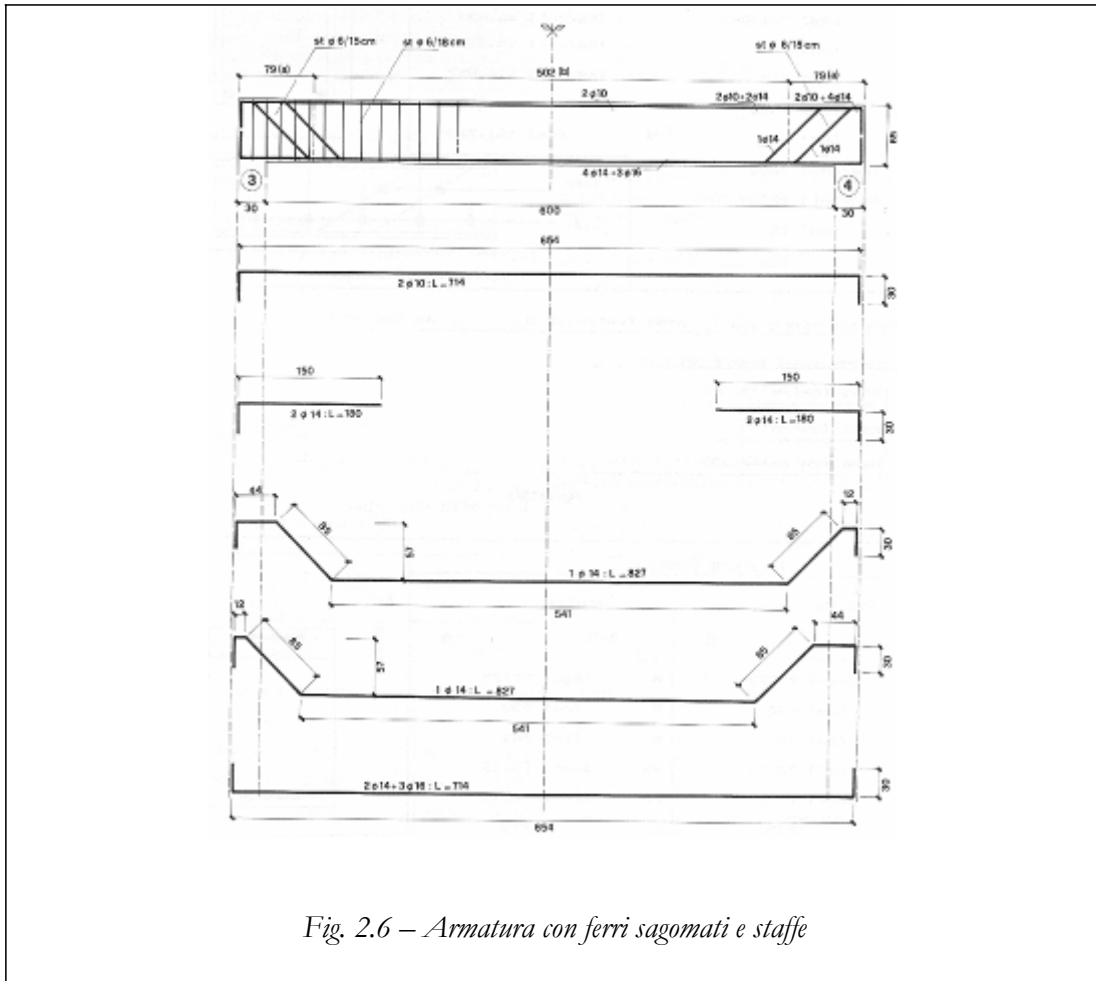


Fig. 2.6 – Armatura con ferri sagomati e staffe

Inoltre, la piega a 45° consente anche di considerare il tratto obliquo del tondino per l'equilibrio della travatura reticolare ideale nel modello di Ritter-Mörsch (aste diagonali tese) (Fig. 2.6).

Le staffe, in questo caso, completano il modello in numero sicuramente inferiore rispetto alla tipologia precedente. In ogni caso le normative tecniche prescrivono di affidare un cospicuo contributo degli sforzi da taglio alle staffe, sottolineando il ruolo fondamentale che esse rivestono nel comportamento globale dell'elemento in c.a., anche per la presenza degli altri fenomeni visti al paragrafo precedente.

2. Il ruolo delle staffe nelle strutture in c.a.

Le differenze tra le due tipologie di armatura consistono nella facilità e velocità di realizzazione del primo tipo (ferri dritti), con conseguente impiego di maggior ferro, e nella miglior distribuzione e ottimizzazione dell'armatura nel secondo tipo (ferri sagomati), con conseguente richiesta di maggior mano d'opera. Nel secondo caso, infatti, riuscendo a disporre l'armatura in modo da *assecondare* meglio le linee isostatiche di trazione, il comportamento globale della trave risulta migliore e con l'impiego di una minore quantità di armatura; d'altro canto il minor tempo richiesto per la sagomatura e la facilità di esecuzione fanno preferire spesso, nella pratica realizzativa, la tipologia con ferri dritti a quella con ferri sagomati.

2.2 Il sistema Schnell: staffa continua a bracci verticali e passo variabile

La SCHNELL S.p.A. ha creato un nuovo tipo di armatura trasversale in acciaio, la *staffa continua a bracci verticali e passo variabile*. Tale sistema prevede un unico tondino che avvolge l'armatura longitudinale della struttura senza interruzione dell'acciaio e con una variazione del passo lungo l'asse trasversale dell'elemento, se richiesto (Fig. 2.7).

Questo nuovo tipo di staffa garantisce le caratteristiche meccaniche e sismiche previste dalla normativa vigente con una geometria innovativa in cui i tratti orizz-

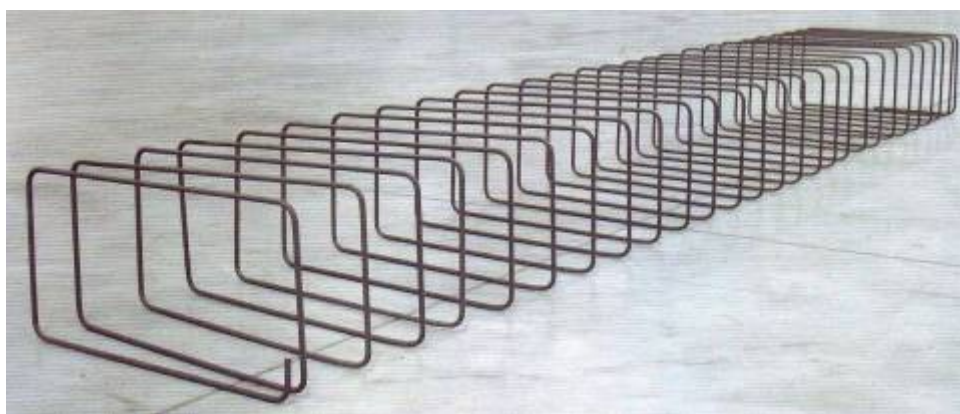


Fig. 2.7 – Staffa continua a bracci verticali e passo variabile

zontali e verticali si susseguono senza alcuna interruzione. I bracci verticali sono ortogonali alle armature principali longitudinali, mentre i tratti orizzontali sono piegati nella terza dimensione in modo tale da determinare un divario tra i due bracci verticali contigui, determinando così il passo della staffa che può essere sia costante che variabile per rispondere alle esigenze di progetto nelle zone critiche, in prossimità degli estremi in cui le staffe sono più fitte, ed in mezzera dove sono più rade (Fig. 2.8).

Il braccio verticale è definito da 2 tronchetti perfettamente ortogonali ai ferri filanti longitudinali, inferiore e superiore, ai quali si agganciano in modo da garantire una corretta legatura.

I tratti orizzontali congiungono le estremità dei 2 tronchetti frontisti sfalsati.

Il rispetto del passo delle staffe imposto dalla progettazione è garantito da un software dedicato al computer che controlla la macchina Spirex (Fig. 2.9).

L'acciaio proveniente da una bobina, viene raddrizzato, per poi essere piegato tramite servo-motori elettrici nei diversi piani con l'inclinazione prevista da progetto. Il programma di gestione nella Spirex presiede a tutte le fasi della produzione:

1. elaborazione per lo sviluppo del tondino dalla bobina alla staffa;
2. trasformazione dalla staffa alla *staffatura continua*, con definizione delle staffe di testata (staffe-dima, di tipo piano);
3. taglio della *staffa continua*, secondo la lunghezza della trave da armare e comunque per uno sviluppo tale da non superare il peso massimo richiesto dalla committenza;
4. impacchettamento della staffatura e legatura del pacchetto.

La *staffa continua*, in particolare, uscendo dalla macchina viene raccolta da un apposito sistema automatico sincronizzato, viene compattata, trattenuta con idonea legatura e corredata di targhetta con specifiche indicazioni quali, ad esempio: cantiere, posizione in carpenteria, diametro, peso, ecc.

La compattazione riduce gli ingombri a vantaggio della movimentazione e dello stoccaggio, sia in stabilimento che in cantiere.

Le staffe arrivano in cantiere in pacchetti che possono essere facilmente movimentate (Fig. 2.10, Fig. 2.11). Dopo aver posizionato il pacchetto all'interno della cassaforma e disposti i filanti richiesti dal progetto, si fissa una delle staffe-dima a

2. Il ruolo delle staffe nelle strutture in c.a.

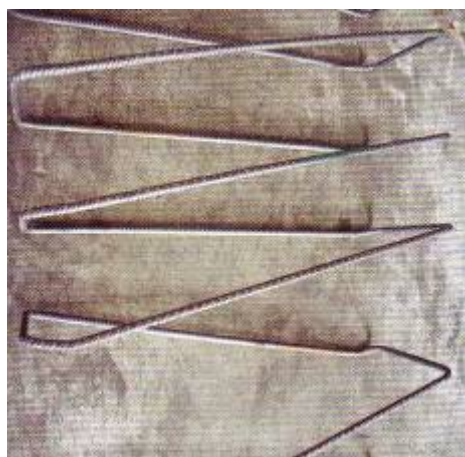


Fig. 2.8 – Staffa continua con passo variabile



Fig. 2.9 – Precisione del passo



Fig. 2.10 – Staffa continua in pacchetti



Fig. 2.11 – Staffa continua in pacchetti

filo pilastro e si procede alla semplice apertura della *staffa continua*. La *staffa continua* si dispone, così, spontaneamente nella cassaforma e sviluppa tutti i suoi giri secondo il passo predefinito dal progettista. Restano solo da fissare i tondini longitudinali nella corretta posizione.

Spirex – La staffa continua a bracci verticali e passo variabile

La divergenza dei tratti orizzontali determina due tipi di *staffe continue*:

a) schema a “M”: la staffa presenta entrambi i tratti orizzontali, superiore e inferiore, piegati nella terza dimensione e divergenti fra loro; i due bracci verticali restano paralleli fra di loro, ortogonali all’armatura longitudinale, ma non più complanari, come nel tipo tradizionale, ma sfalsati di metà passo (Fig. 2.12), con ottimizzazione del confinamento e della distribuzione dei bracci verticali deputati all’assorbimento di tutto o parte dello sforzo di taglio;

b) schema a “N”: la staffa presenta uno dei due tratti orizzontali piegato nella terza dimensione e l’altro risulta complanare ai due bracci verticali (Fig. 2.13).



Fig. 2.12 – Schema ad “M”

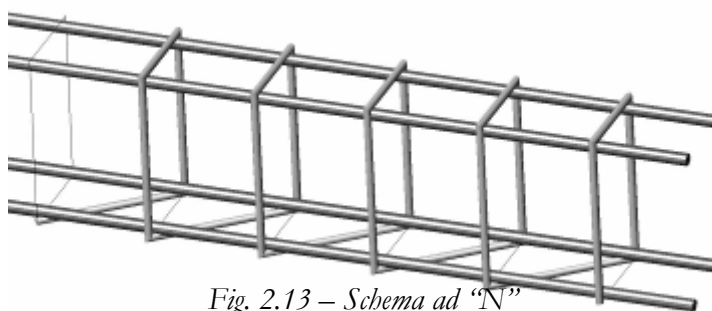


Fig. 2.13 – Schema ad “N”

2. Il ruolo delle staffe nelle strutture in c.a.

La *staffatura continua* può essere utilizzata:

- in tratti lineari per armare trasversalmente travi e pilastri (Fig. 2.14);
- in tratti curvi per armare trasversalmente archi o elementi curvi (Fig. 2.15);
- in tracciati particolari come per forme allungate ad “L” (Fig. 2.16), ad “S” (Fig. 2.17) e a “T”;
- per la realizzazione di centine tralicciate in c.a. nelle opere provvisorie dello scavo delle gallerie.



Fig. 2.14 – Staffe nelle travi



Fig. 2.15 – Staffe negli archi



Fig. 2.16 – Staffe nelle travi ad “L”

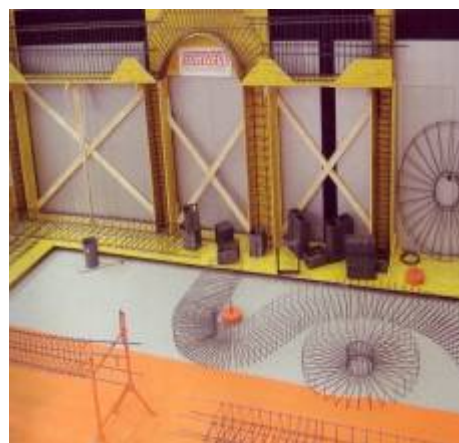


Fig. 2.17 – Staffe forme ad “S”

Il montaggio in cantiere dell'armatura con *staffa continua* avviene secondo le seguenti fasi:

1. prelievo dell'armatura dell'elemento strutturale da realizzare imballata dalla sede di deposito (Fig. 2.18). La *staffa continua* è individuata univocamente tramite il codice di riferimento di progetto impresso sulle targhette di riconoscimento (Fig. 2.19);
2. trasporto presso la sede dell'elemento strutturale da realizzare;
3. posizionamento dell'armatura ancora chiusa all'interno della cassaforma e fissaggio di una delle staffe-dima agli estremi (Fig. 2.20);
4. apertura della *staffa continua* sagomata all'interno delle casseforme tra i ferri d'attesa; la *staffa continua*, liberata dalla legatura, torna elasticamente alla configurazione originaria di progetto assicurando la presenza dell'esatto numero di staffe a metro lineare nell'elemento strutturale (Fig. 2.21);
5. fissaggio dei ferri di armatura longitudinale.



Fig. 2.18 – Staffe imballate in deposito



Fig. 2.19 – Targhetta di riconoscimento



Fig. 2.20 – Montaggio armatura



Fig. 2.21 – Montaggio armatura

2. Il ruolo delle staffe nelle strutture in c.a.



Fig. 2.22 – Staffa aperta nella cassaforma

La *staffatura continua* è di facile installazione, così la laboriosa piegatura, distanziatura e successiva chiusura di staffe del metodo tradizionale, si risolve nella semplice estensione della *staffa continua* sagomata in azienda. In tal modo le operazioni di un singolo operaio sono il trasporto e l'apertura della *staffa continua*, e non è più necessaria la presenza in cantiere di operai specializzati che sagomano i ferri dell'armatura trasversale. Inoltre, l'operaio, semplicemente allungando la *staffa continua* all'interno delle dimensioni imposte dalle casseforme e dai ferri d'attesa, non può commettere errori di misura e si ritrova automaticamente a rispettare il passo richiesto (Fig. 2.22).

Con staffe di tipo tradizionale spesso si costringe gli operai a lavorare in un intricato intreccio di ferri per posizionare esattamente l'armatura trasversale ed effettuare la loro corretta chiusura. Il passo delle staffe, che può variare da pochi centimetri a qualche decimetro, obbliga gli operai ad infilare le braccia all'interno di spazi estremamente ridotti, assumendo posizioni ergonomicamente scorrette anche per la posizione della gabbia a quota inferiore al piano di calpestio.

Con questa nuova soluzione si eliminano tali problemi poiché vi sono solo due estremi e quindi solo due ganci da dover fissare, riducendo in tal modo, il rischio di infortuni, il tempo di posa in opera e di conseguenza anche i costi. Inoltre, le maestranze non devono più piegare il ferro, preoccuparsi di scegliere diametri giusti, imporre un passo o mettere il giusto numero di elementi in ogni tronco di trave, disporre le staffe con i ganci in zona compressa. Le maestranze potranno lavo-



Fig. 2.23 – Staffe tradizionali



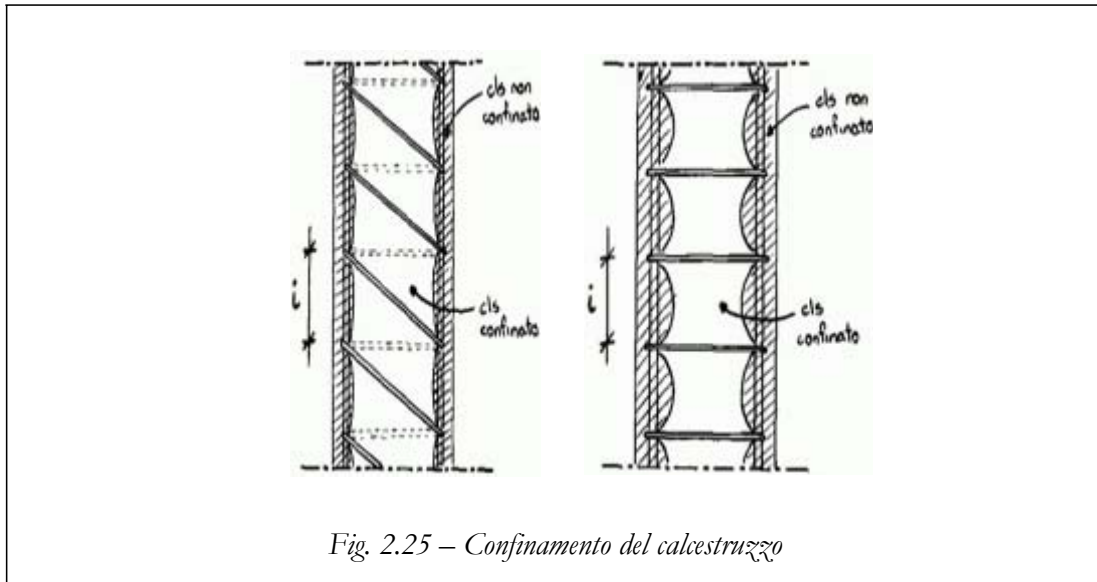
Fig. 2.24 – Staffe tradizionali

rare con le braccia all'interno della gabbia della armatura in modo più spedito con semplificazione delle operazioni e con riduzione di possibili errori di esecuzione manuale e con una notevole riduzione del rischio di taglio dovuto alla sostanziale eliminazione delle zona taglienti in corrispondenza dell'estremità del gancio ottenuto per tranciatura.

Per ogni elemento, trave o pilastro, arriva in cantiere un unico pacchetto, sintesi di tutti i ferri trasversali richiesti, con relativa etichetta contenente tutte le informazioni che lo caratterizzano univocamente e lo collegano al corrispondente elemento della struttura. Il codice di identificazione di progetto, le esatte dimensioni della geometria e del diametro del tondino di ferro, oltre al peso del singolo pacchetto, danno facili ed immediate informazioni che garantiscono un rapido ed esatto controllo. Con l'armatura trasversale spiraleica non si determina alcun spreco di ferro derivante dai tagli in opera dei tondini, né spreco per la sovrapposizione dei ganci per la chiusura della singola staffa, ed inoltre non saranno presenti in cantiere cumuli di ferro in eccesso, come spesso accade (Figg. 2.23, 2.24).

Un ulteriore aspetto di rilevante interesse derivante da tale sistema è il confinamento del calcestruzzo nelle strutture portanti, infatti il *grado di confinamento* risultante dalle staffe continue del sistema SCHNELL è, a parità di passo dell'armatura, *maggiore* rispetto a quello derivante dalla staffatura di tipo tradizionale grazie all'effetto conferito dalla continuità del tondino, così come evidenziato

2. Il ruolo delle staffe nelle strutture in c.a.



nella letteratura scientifica. L'inclinazione dei tratti orizzontali della *staffa continua* incrementa, inoltre, il contributo al confinamento delle barre longitudinali (Fig. 2.25).

Un altro vantaggio derivante dall'uso di *staffe continue* è visibile dall'analisi del legame "Tensione - Deformazione", infatti, lo stato tensionale triassiale indotto dalla staffatura spiraleica migliora il comportamento meccanico del calcestruzzo compresso. Poiché il confinamento del calcestruzzo incrementa in una certa misura la tensione di rottura del materiale, si determina un notevole aumento della sua deformazione ultima che si traduce in un sensibile incremento di duttilità del materiale (Fig. 2.26).

Un altro aspetto importante è legato alla "lunghezza di ancoraggio" dei ferri " l_a ": nel metodo tradizionale si richiede una sovrapposizione dei ferri o una lunghezza di ancoraggio per un singolo ferro, di diametro Φ , pari a:

$$l_a = \frac{\sigma_{fd} \cdot \Phi}{4\tau_{ad}}$$

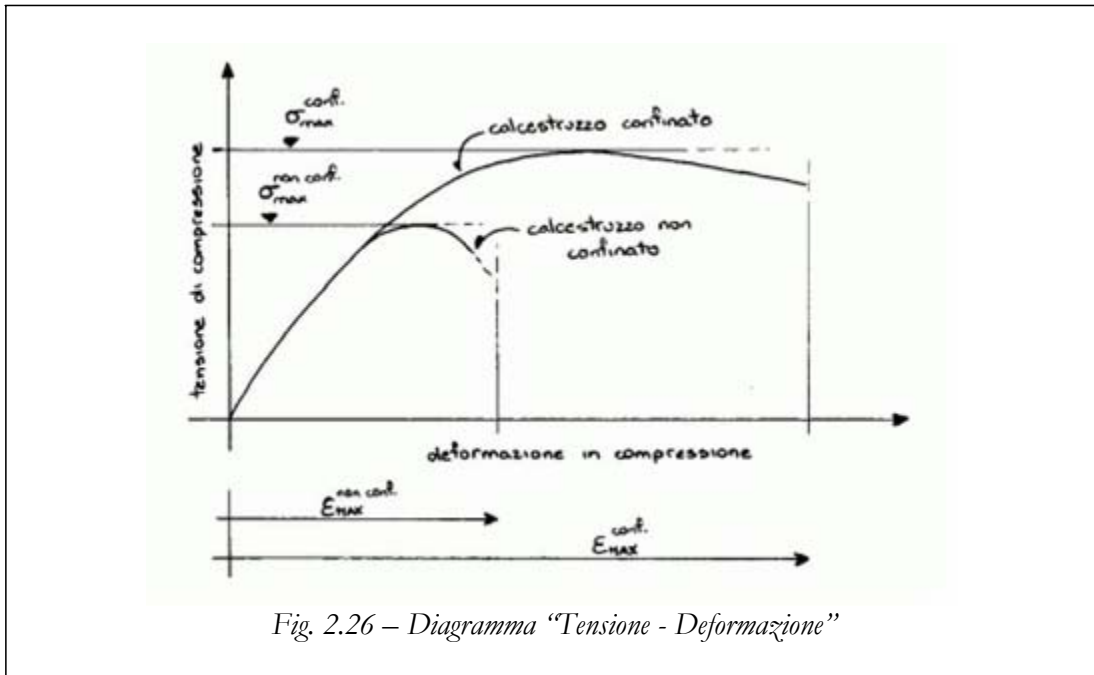


Fig. 2.26 – Diagramma "Tensione - Deformazione"

con il metodo Schnell tale problema non esiste poiché l'intera estensione della *staffa continua* coincide con la lunghezza di ancoraggio.

3. LA POSA IN OPERA

Al fine di confrontare l'armatura di un elemento strutturale con staffe tradizionali con quella di un elemento che utilizza la *staffa continua a bracci verticali e passo variabile*, si esaminano le procedure di montaggio della gabbia metallica tipo per elementi costruttivi ricorrenti: trave emergente, trave a spessore e trave rovescia di fondazione.

3.1 Il sistema tradizionale

La trave emergente

Per immediatezza si comincia ad osservare il procedimento per una trave emergente con sezione trasversale rettangolare armata con ferri longitudinali lungo i lati corti per resistere agli sforzi dovuti ai momenti flettenti positivi e negativi e con ferri di parete e staffe per assorbire gli sforzi dovuti ai momenti torcenti e al taglio.

Predisposte le casseforme sulla base dei grafici di carpenteria, si procede al taglio e alla sagomatura dei ferri, preparati al tavolo dei ferraioli o forniti direttamente in cantiere da sagomatori esterni, ma seguendo in ogni caso le distinte dei ferri.

In genere la tipologia di staffa tradizionale più diffusa è quella che si compone di un unico pezzo chiuso in un vertice con ganci ripiegati a 135° (errore grossolano, quanto frequente, è la ripiegatura dei ganci a 90° invece che a 135°) e prolungati per almeno 10 volte il diametro della staffe (Fig. 3.1).

L'evidente svantaggio di questo sistema risiede nella legatura dei ganci che viene realizzata (o dovrebbe essere realizzata) per garantire la *chiusura* della staffa, ma che di fatto viene affidata alle mani di maestranze non sempre attente a questi importanti dettagli.

La posa in opera avviene posizionando tutte le staffe di una trave addossate ad un suo estremo per poi essere distanziate, secondo il passo di progetto, dopo aver montato i ferri longitudinali.

A questo punto, mentre al tavolo dei ferraioli è quasi completa la sagomatura di tutte le staffe nel caso di sagomatura in cantiere, si riporta su un ferro di spigolo (superiore per comodità) con il gessetto il passo delle staffe letto dai grafici, al fine

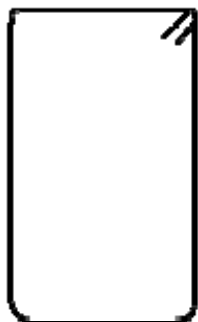


Fig. 3.1 – Staffa tradizionale



Fig. 3.2 – Viene segnato il passo delle staffe



Fig. 3.3 – Vengono posizionate le staffe sui segni

di posizionare poi velocemente tutte le altre staffe della trave (Figg. 3.2, 3.3).

È importante precisare che tutte le staffe non devono essere appoggiate direttamente sulla cassaforma (errore grossolano quanto comune) bensì vanno opportunamente sollevate impiegando idonei distanziatori per garantire il copriferro di progetto.

3. La posa in opera

In realtà durante le fasi di montaggio l'intera gabbia di armatura viene tenuta rialzata fuori dalla cassaforma e poi calata in posizione per poter procedere più speditamente e soprattutto per risolvere problemi di interferenze e sovrapposizioni (Fig. 3.4).

Il montaggio dell'armatura prosegue disponendo tutti i ferri longitudinali inferiori ed i ferri di parete che, per la loro particolare posizione, vanno subito legati ad un numero sufficiente di staffe per mantenere la propria posizione.



Fig. 3.4 – La gabbia di armatura resta sollevata fuori dalla cassaforma durante il montaggio



Fig. 3.5 – I bracci non sono verticali

L'ultima fase consiste nella legatura di tutte le staffe ed è la più delicata perché spesso viene sottovalutata la sua fondamentale funzione di garantire le immutate posizioni di tutti gli elementi dell'armatura durante la fase di getto. Spesso accade, soprattutto impiegando calcestruzzo vibrato, che per mancanza di idonee legature o a causa di legature eseguite male, le staffe si spostino durante il getto e i bracci delle stesse non risultino più verticali, minando così le ipotesi di base del comportamento a taglio del graticcio di Morsch (fig. 3.5).

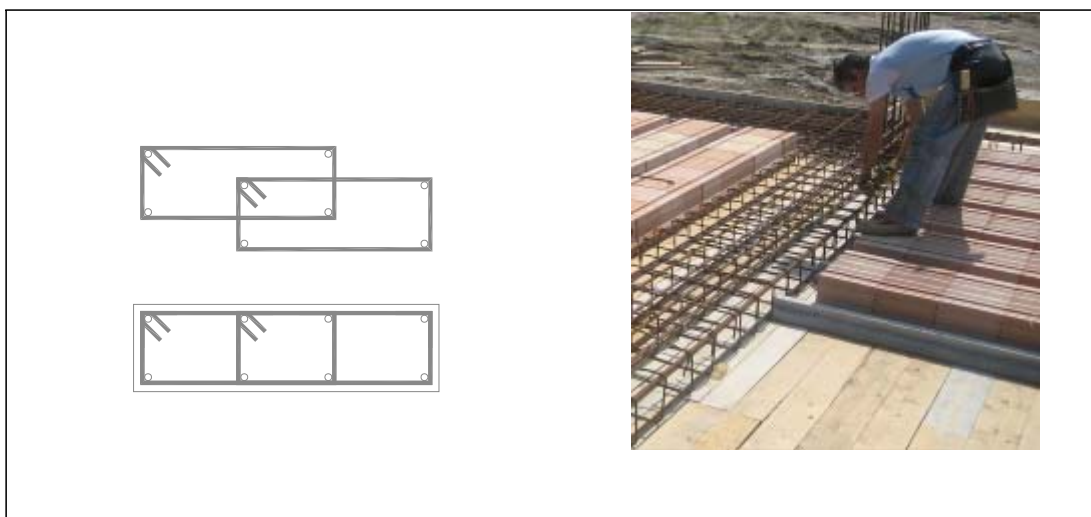


Fig. 3.6 – Staffe chiuse a quattro bracci con ganci a 135°

Fig. 3.7 – Staffe chiuse a quattro bracci in opera

La trave a spessore

Nella sezione corrente delle travi a spessore l'altezza è uguale allo spessore del solaio (da cui il nome dell'elemento strutturale), per cui dimensionare la trave rispetto ai carichi significa definire la larghezza della sezione e naturalmente la sua armatura. Il ruolo e gli effetti dovuti alla presenza delle staffe continuano ad essere quelli fin qui descritti.

La sostanziale differenza rispetto alle travi emergenti risiede nel diverso comportamento a torsione della sezione rettangolare allungata delle travi a spessore, meno adatta a reagire ai momenti torcenti rispetto alla più compatta sezione della trave emergente.

Del resto, però, la maggior larghezza della sezione consente di impiegare staffe con più bracci, che rappresentano la loro parte resistente.

Le staffe a più bracci vengono realizzate in genere in due modi: nel primo caso, il tondino viene sagomato a formare rettangoli che non hanno però, questa volta, la forma della sezione della trave, bensì hanno larghezze minori in modo da poter disporre più staffe sovrapposte nello stesso piano normale all'asse della trave; nel secondo caso, negli stabilimenti di lavorazione e di preassemblaggio delle gabbie d'armatura, viene prodotta una staffa a quattro bracci in un unico ferro senza soluzioni di continuità e quindi con soli due ganci di sovrapposizione e da legare (Figg. 3.6 e 3.7).

3.2 Il sistema Schnell: staffa continua a bracci verticali e passo variabile

La trave emergente

In una generica trave in c.a., di tipo emergente, l'armatura è costituita da ferri longitudinali inferiori, superiori e di parete, e ferri trasversali, staffe, a singolo registro o doppio registro.

Si analizza il procedimento di una trave emergente con sezione trasversale rettangolare armata con 4 tondini agli spigoli, ferri aggiuntivi lungo i lati corti (per resistere agli sforzi dovuti ai momenti flettenti positivi e negativi) e ferri di parete e staffe (per assorbire gli sforzi dovuti ai momenti torcenti ed al taglio).

Durante la posa in opera di staffe di tipo tradizionale per una trave, gli operai sono costretti a montare i ferri in uno spazio ridotto, con conseguente difficoltà di movimenti e possibili incidenti (Fig. 3.8).

Con il sistema Schnell la posa in opera dell'armatura di una trave è facile ed immediata: si posiziona, infatti, il pacchetto della *staffa continua* ancora chiuso, si infilano i ferri longitudinali, si apre la staffa che si stabilizza come previsto da progetto, si fissano gli estremi, ed infine si ferma il tondino con legature.

In presenza di condizioni particolari si può montare la gabbia dell'armatura della trave in cantiere e poi la si pone nella struttura. Le operazioni sono le stesse precedentemente illustrate, e tale gabbia può essere inserita sia dalla parte superiore della cassaforma che dalla parte laterale (Fig. 3.9).

La trave a spessore

In una trave a spessore in c.a. l'armatura trasversale di tipo tradizionale è costituita da due staffe (staffe a 4 bracci) che si sovrappongono nella zona centrale della sezione trasversale della trave, ne consegue che durante la loro posa in opera, gli operai devono compiere le operazioni di montaggio per ogni passo per due volte, in condizioni di lavoro non agevoli.

Con il metodo Schnell la posa in opera è notevolmente ridotta, poiché si saggoma un unico tondino corrispondente alle due staffe del metodo tradizionale, quindi si posiziona il pacchetto della staffa ancora chiuso, si infilano i ferri longitudinali, si apre la staffa che si dispone nella posizione di progetto, si fissano gli estremi, ed infine si ferma il tondino con qualche legatura (Figg. 3.10 e 3.11).



Fig. 3.8 – Metodo tradizionale



Fig. 3.9 – Montaggio gabbia metallica con staffa Spirex

In questo caso anche la quantità di ferro impiegato è notevolmente minore rispetto al metodo tradizionale, ed inoltre, anche il getto di calcestruzzo è agevolato per la minore presenza di ferro.

Il pilastro

In un generico pilastro in c.a. l'armatura è costituita da ferri longitudinali e ferri trasversali, staffe e tiranti a quinconi. In particolare le staffe influenzano notevolmente le caratteristiche di resistenza dei pilastri. Infatti, l'armatura trasversale di tale elemento strutturale ha tre compiti: fornire un'adeguata resistenza alle azioni taglianti, assicurare il confinamento del calcestruzzo, contenere la lunghezza libera di inflessione dei ferri verticali.

3. La posa in opera



Fig. 3.10 – Staffa continua Spirex in trave a spessore



Fig. 3.11 – Staffa continua Spirex a quattro bracci

In presenza di sollecitazioni eccezionali le staffe di tipo tradizionale possono aprirsi e non assolvere più alla funzione di contenimento dei ferri longitudinali e, ancora, provocare il rigonfiamento del copriferro di calcestruzzo con la sua conseguente espulsione.

Nel pilastro, lungo il suo asse verticale, vi è un infittimento delle staffe in prossimità delle zone critiche dei nodi strutturali, come richiesto da normativa, per cui con le staffe tradizionali, si determina un fitto groviglio di ganci di chiusura all'interno della cassaforma che può ostacolare il getto di calcestruzzo ed il suo assestamento, con la possibilità di presenza di vuoti all'interno del pilastro.

La presenza dei ganci di chiusura in corrispondenza dello spigolo, infatti, viene in genere falsato passando da una staffa alla successiva per evitare di avere un intero spigolo *debole* per il pilastro. In questo modo, però, lo spazio libero per il getto del calcestruzzo all'interno del pilastro si riduce sensibilmente, soprattutto per pilastri di piccole sezioni, ma ancor più importante è l'aumento della probabilità di segregare gli inerti che, incontrando ostacoli durante il getto, tendono a distribuirsi in modo non omogeneo lungo l'altezza del pilastro (Fig. 3.12). Con la staffa Spirex, invece, gli ostacolo per l'assestamento del calcestruzzo nella cassaforma risultano quasi inesistenti (Fig. 3.13).

Con il metodo Schnell, la posa in opera della *staffa continua* ha lo stesso procedimento delle travi, con l'unica differenza che la *staffa continua* si apre in verticale: si posiziona il pacchetto della *staffa continua* ancora chiuso, si infilano i ferri longitudinali, si apre la *staffa continua* che si stabilizza come previsto da progetto, si fissano gli estremi, ed infine si ferma il tondino con alcune legature.

Di conseguenza un operaio può lavorare con le braccia all'interno della gabbia della armatura in modo più spedito e sicuro per l'assenza di bordi taglienti o sbavature dei tagli dei tondini di ferro. In tal modo le operazioni si semplificano e non lasciano spazio ad errori di esecuzione manuale o incidenti e riducono drasticamente il rischio di segregazione del calcestruzzo durante il getto.

Il nodo

Il nodo trave-pilastro svolge nelle strutture in c.a. un ruolo di particolare importanza, spesso sottovalutata, nei confronti della dissipazione delle azioni sismiche, soprattutto in relazione alla gerarchia delle resistenze che vuole la formazione di cerniere plastiche all'estremo della trave prima che alla testa del pilastro.

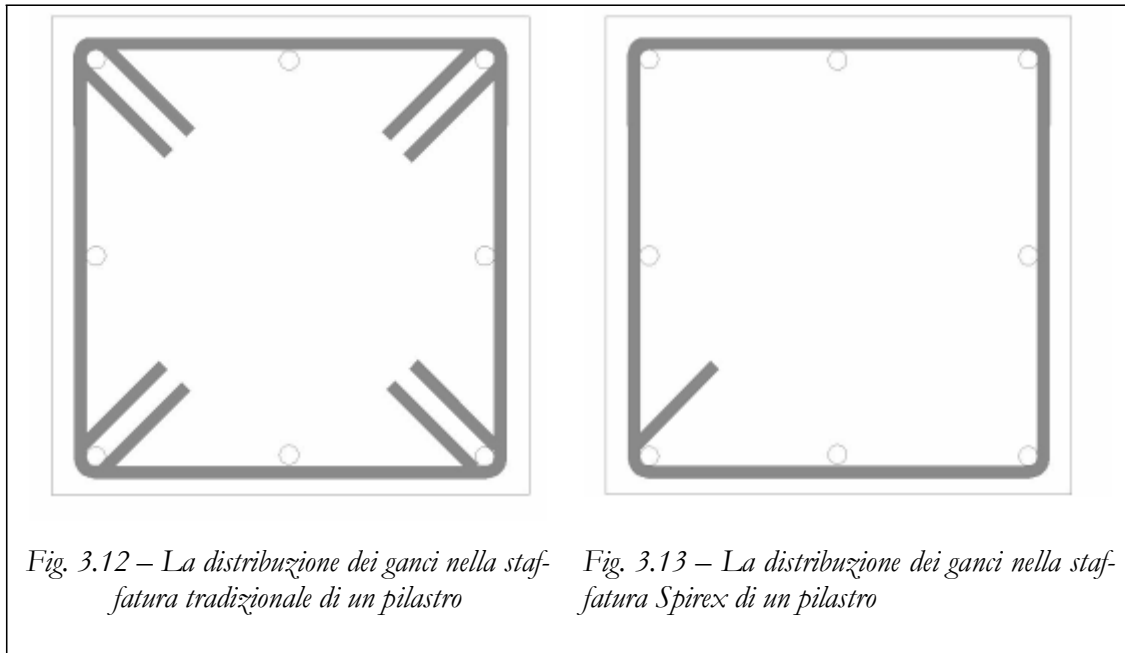


Fig. 3.12 – La distribuzione dei ganci nella staffatura tradizionale di un pilastro

Fig. 3.13 – La distribuzione dei ganci nella staffatura Spirex di un pilastro

Per creare la duttilità richiesta al nodo occorre disporre staffe chiuse nel macroelemento di intersezione tra pilastro e travi, dove tra l'altro sono già presenti sovrapposizioni e interferenze tra ferri longitudinali.

Per ovviare all'evidente difficoltà esecutiva delle staffe per il nodo nel metodo tradizionale queste vengono scomposte in due tratti ad "U" (*cravatte*), infilati più comodamente e poi sovrapposti per due lati.

L'applicazione della staffa Spirex trova nel nodo la sua applicazione migliore in termini di facilità di montaggio, garanzia della continuità e del confinamento del calcestruzzo, riduzione di tempi, rischi e costi.

È sufficiente, infatti, sagomare una piccola spirale, limitatamente al nodo, disporla ancora legata al centro del nodo (Fig. 3.14), per poter agevolmente montare tutti i ferri delle travi concorrenti nel nodo stesso, quindi lasciare stendere la spirale semplicemente spezzando le legature.

Le staffe si disporranno automaticamente nel nodo (complice la ridotta lunghezza del tratto da ricoprire) garantendo numero e passo delle spire, ma soprattutto realizzando una staffatura continua e senza ganci per tutta l'altezza del nodo (Fig. 3.15).

Spirex – La staffa continua a bracci verticali e passo variabile



Fig. 3.14 – La staffa spirex per il nodo, ancora impacchettata in posizione centrale



Fig. 3.15 – L'armatura del nodo con la staffa spirex

La trave rovescia di fondazione

In una generica trave rovescia di fondazione in c.a. l'armatura è costituita da ferri longitudinali inferiori e superiori, ferri di parete, e ferri trasversali, staffe, a singolo registro o doppio registro. In particolare, l'armatura trasversale di tipo tradizionale è costituita da due staffe (staffe a 4 bracci) che si sovrappongono nella zona centrale della sezione trasversale a "T" della trave, con la conseguenza che durante la loro posa in opera gli operai devono compiere le operazioni di montaggio per ogni passo per due volte, in spazi limitati (Fig. 3.16).

Con il metodo Schnell la posa in opera è notevolmente ridotta, poiché si saggoma un solo tondino che corrisponde alle due staffe del metodo tradizionale. Per il montaggio si posiziona il pacchetto della staffa ancora chiuso, si infilano i ferri longitudinali, si apre la staffa che si dispone nella posizione di progetto, si fissano gli estremi, ed infine si ferma il tondino con delle legature.

In questo caso anche la quantità di ferro impiegato è minore rispetto il metodo tradizionale, ed inoltre, anche il getto di calcestruzzo è agevolato per la minore presenza di ferro (Fig. 3.17).

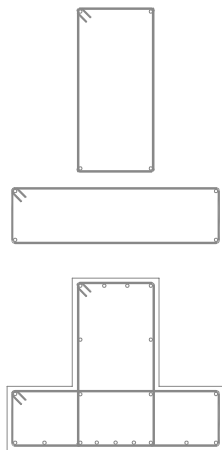


Fig. 3.16 – Staffa tradizionale



Fig. 3.17 – Sistema Schnell

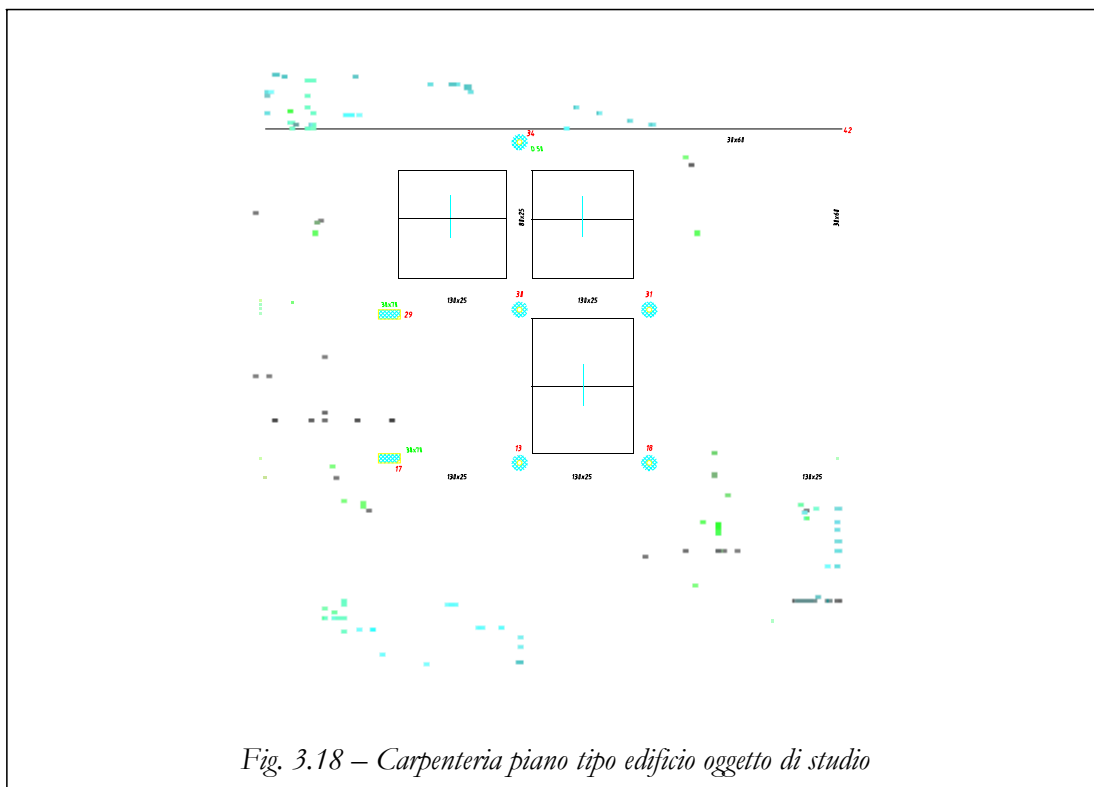


Fig. 3.18 – Carpenteria piano tipo edificio oggetto di studio

3.3 I tempi di posa in opera

Analizzando il processo di montaggio in cantiere della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* e confrontandolo con quello delle staffe tradizionali, si deduce una riduzione temporale nella posa in opera utilizzando il nuovo sistema Schnell.

Al fine di rendere questi due sistemi confrontabili, in termini di tempo di posa in opera, si procede con l'analizzare il montaggio delle staffe per travi emergenti e travi a spessore con entrambi i metodi, per una porzione di impalcato (Fig. 3.18)

Le fasi di posa in opera di staffe di tipo tradizionale, in generale, sono le seguenti:

1. predisporre le casseforme sulla base dei grafici di carpenteria, procedere al taglio e alla sagomatura dei ferri, preparati al tavolo dei ferraioli o forniti direttamente in cantiere da sagomatori esterni;

3. La posa in opera

2. sagomate le staffe si dispongono tutte addossate ad un estremo della trave;
3. si alloggianno i ferri longitudinali inferiori e superiori, che verranno rialzati dalla cassaforma (per le travi emergenti);
4. si segna il passo delle staffe su un ferro longitudinali e, quindi, si posizionano le stesse rispettando il passo di progetto;
5. il montaggio dell'armatura prosegue disponendo tutti i ferri longitudinali inferiori ed i ferri di parete che, per la loro particolare posizione, vanno subito legati ad un numero sufficiente di staffe per mantenere la propria posizione;
6. l'ultima fase consiste nel posizionamento della gabbia di armatura nella cassaforma con i distanziatori e nella legatura di tutte le staffe; questa è la fase più delicata perché spesso viene sottovalutata la sua fondamentale funzione di garantire le immutate posizioni di tutti gli elementi dell'armatura durante la fase di getto.

Nelle Tabelle 3.1 e 3.2 si riportano i tempi di montaggio per alcuni elementi costruttivi di cui alla carpenteria di Figura 3.18, come dalle rilevazioni effettuate nel cantiere di test¹.

Trave emergente 9-10 e 5-6	Peso gabbia	Operai im- piegati	Tempo di posa in opera intera armatura	Quantità di armatura mon- tata
[m]	[kg]	[n°]	[minuti]	[kg/h squadra]
0.30x0.60x2.95	87	3	44	
0.30x0.60x3.75	110	3	38	
Σ	197	3	82	144

Tabella 3.1 – Metodo tradizionale di posa in opera di staffe per una trave emergente

Trave a spessore 21-22	Peso gabbia	Operai im- piegati	Tempo di posa in opera intera armatura	Quantità di armatura mon- tata
[m]	[kg]	[n°]	[minuti]	[kg/h squadra]
0.80x0.25x16.34	728	3	179	244

Tabella 3.2 – Metodo tradizionale di posa in opera di staffe per una trave a spessore

¹ Cantiere per la costruzione di n. 2 corpi di fabbrica identici adibiti ad attività commerciale alla via Caracciolo – S. Eustacchio, Comune di Mercato San Severino (SA)

Il montaggio dell'armatura a *staffa continua* in cantiere avviene secondo le seguenti fasi:

1. prelievo dell'armatura dell'elemento strutturale da realizzare imballata dalla sede di deposito; la staffa è individuata univocamente tramite il codice di riferimento di progetto impresso sulle targhette di riconoscimento;
2. trasporto presso la sede dell'elemento strutturale da realizzare;
3. posizionamento dell'armatura ancora chiusa all'interno della cassaforma e fissaggio di uno degli estremi;
4. inserimento dei ferri longitudinali inferiori, di parete e superiori;
5. apertura della *staffa continua* sagomata all'interno delle casseforme tra i ferri d'attesa; la *staffa continua*, liberata del cavetto, torna elasticamente alla configurazione originaria di progetto assicurando la presenza dell'esatto numero di staffe a metro lineare nell'elemento strutturale;
6. fissaggio dei ferri di armatura longitudinale negli spigoli.

Nelle Tabelle 3.3 e 3.4 si riportano i tempi di montaggio per alcuni elementi costruttivi di cui alla carpenteria di Figura 3.18, come dalle rilevazioni effettuate nei cantieri di test.

Trave emergente 39-40 e 41-42	Peso gabbia	Operai im- piegati	Tempo di posa in opera intera armatura	Quantità di armatura mon- tata
[m]	[kg]	[n°]	[minuti]	[kg/h squadra]
0.30x0.60x2.95	85	3	16	
0.30x0.60x5.25	119	3	13	
Σ	204	3	29	422
<i>Tabella 3.3 – Metodo Schnell di posa in opera di staffe per una trave emergente</i>				

Trave a spessore 28-32	Peso gabbia	Operai im- piegati	Tempo di posa in opera intera armatura	Quantità di armatura mon- tata
[m]	[kg]	[n°]	[minuti]	[kg/h squadra]
0.80x0.25x17.95	740	3	89	499
<i>Tabella 3.4 – Metodo Schnell di posa in opera di staffe per una trave emergente</i>				

Dal confronto fra l'uso di staffe tradizionali e *staffe continue a bracci verticali e passo variabile* si deduce una riduzione di tempo, di notevole entità, nella posa in opera della carpenteria di un edificio; infatti si passa da 144 – 244 kg/h montati da una squadra tipo formata da tre posatori a 422 – 499 [kg/h squadra] per il nuovo *Sistema Schnell*. Pertanto con il *Sistema Schnell* per le travi emergenti la produttività oraria aumenta, mediamente, del 290%, mentre per le travi a spessore si ha un aumento di produttività del 200%.

3.4 Riduzione dei costi di mano d'opera

L'analisi del processo di montaggio in cantiere della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* e delle staffe tradizionali, evidenzia una riduzione temporale nella posa in opera utilizzando il nuovo metodo Schnell. Tale riduzione comporta, di conseguenza, un risparmio di mano d'opera impiegata in termini di tempo, di numero di operai e qualifica di questi ultimi e, quindi, di costi.

Al fine di rendere questi due sistemi confrontabili in termini di tempo di costi si procede con l'analizzare il montaggio delle staffe per gli elementi costruttivi già esaminati nel § 3.3.

Nelle Tabelle 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 sono indicati i tempi di montaggio, la mano d'opera impiegata e il costo per i suddetti elementi costruttivi per il metodo tradizionale.

Trave emergente 9-10 e 5-6	Operai impiegati	Qualifica operai	Tempo di po- sa in opera	Costo Operaio ²	Costo Totale Operai
[m]	[n°]		[minuti]	[€/h]	[€]
	1	specializzato	82	25.62	35,01
	1	qualificato	82	23.78	32,50
	1	comune	82	21.44	29,30
Costo squadra					96,81
<i>Tab. 3.5 – Metodo tradizionale di posa in opera di staffe per una trave emergente</i>					

² Dati aggiornati ad ottobre 2008, Provincia di Napoli

Trave a spessore 21-22	Operai impiegati	Qualifica operai	Tempo di posa in ope- ra	Costo Operaio	Costo Totale Operai
[m]	[n°]		[minuti]	[€/h]	[€]
	1	specializzato	179	25.62	76,43
	1	qualificato	179	23.78	70,94
	1	comune	179	21.44	63,96
Costo squadra					211,33
<i>Tab. 3.6 – Metodo tradizionale di posa in opera di staffe per una trave a spessore</i>					

Di seguito si riportano le tabelle contenenti i tempi di montaggio e la mano d'opera impiegata per i suddetti elementi costruttivi per *staffe continue a bracci verticali e passo variabile*.

Trave emergente 39-40 e 41-41	Operai impiegati	Qualifica operai	Tempo di posa in ope- ra	Costo Operaio	Costo Totale Operai
[m]	[n°]		[minuti]	[€/h]	[€]
	1	specializzato	29	25.62	12,38
	1	qualificato	29	23.78	11,49
	1	comune	29	21.44	10,36
Costo squadra					34,23
<i>Tab. 3.7 – Metodo Schnell di posa in opera di staffe continue per una trave emergente</i>					

Trave a spessore 28-32	Operai impiegati	Qualifica operai	Tempo di posa in ope- ra	Costo Operaio	Costo Totale Operai
[m]	[n°]		[minuti]	[€/h]	[€]
	1	specializzato	89	25.62	38,00
	1	qualificato	89	23.78	35,27
	1	comune	89	21.44	31,80
Costo squadra					105,07
<i>Tab. 3.8 – Metodo Schnell di posa in opera di staffe continue per una trave a spessore</i>					

4. RISPARMIO DI MATERIALE

La *staffa continua a bracci verticali e passo variabile*, Spirex, si caratterizza per le molteplici economie che la rendono certamente da preferire al sistema tradizionale di staffatura delle strutture in c.a., sia prefabbricate che realizzate in opera.

L'armatura degli elementi strutturali in c.a. con *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* comporta, in particolare, economia di materiale impiegato, risparmio energetico, riduzione di inquinamento ambientale, riduzione di impegno temporale della mano d'opera, riduzione dei rischi per gli operai.

Un altro vantaggio, certamente non secondario, è legato alla precisione del passo della staffatura con *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* che può consentire una progettazione del passo delle staffe più precisa in assenza del rischio legato all'approssimazione del posizionamento delle staffe tradizionali da parte della mano d'opera. Inoltre la *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* garantisce l'effettivo impiego di staffe chiuse che assicura un livello di confinamento del calcestruzzo certamente superiore a quello che compete alle staffe tradizionali che fanno affidamento sulla *legatura* dei ganci per ottenere la *staffa chiusa*.

4.1 Risparmio di materiale per elementi strutturali

Il confronto tra il quantitativo di tondini di ferro richiesto nel sistema tradizionale di staffatura delle strutture in c.a. e quello richiesto nella staffatura con il sistema Schnell, ha consentito di evidenziare il risparmio che si ottiene con la *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* rispetto alla staffa tradizionale. Il confronto è stato condotto per le travi, emergenti e a spessore, per i pilastri e per le travi di fondazione.

4.1.1 Le travi

Occorre distinguere tra le travi emergenti, armate con staffe a due bracci, e le travi a spessore, armate con staffe a quattro bracci.

Per le travi emergenti è stato esaminato il sistema tradizionale con staffe chiuse con ganci (Fig. 3.1), mentre per le travi a spessore è stato preso in considerazione il sistema con staffe a 4 bracci formate da coppie di staffe a due bracci (Fig. 3.6).

La trave emergente

Per le travi emergenti è stata presa in considerazione la tipologia di sezione rettangolare, comunemente impiegata nelle costruzioni edilizie:

- la sezione con base $B=30$ cm e altezza H variabile tra 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 cm.

Travi 30xH

Per staffe $\phi 10$, con passo variabile da 8 a 20 cm, e per le travi 30xH, l'impiego della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* del tipo M (Fig. 2.12) comporta, rispetto alla staffa tradizionale, un risparmio di materiale, in termini di peso, variabile dal 18,53% al 6,57% (Fig. 4.1).

Lo studio delle regressioni matematiche delle curve di cui alla Figura 4.1, ha consentito di ricavare le espressioni matematiche che permettono di valutare il risparmio percentuale, in termini di peso di materiale impiegato, della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* rispetto alla staffa tradizionale.

In particolare, si può applicare la relazione polinomiale del secondo ordine:

$$\Delta P\% = K_1 \cdot p^2 + K_2 \cdot p + K_3 \quad [4.1]$$

nella quale

p è il passo espresso in [cm]

per determinare il risparmio $\Delta P\%$ in funzione dell'altezza della trave e del passo delle staffe.

Per la trave 30xH, i parametri K_1 , K_2 e K_3 sono indicati nella Tabella 4.1.

La relazione [4.1] è caratterizzata da un indice¹ di correttezza $R^2=1$.

¹ La precisione esatta di una regressione matematica rispetto ai valori sperimentali corrisponde ad un valore di $R^2=1$.

4. Risparmio di materiale

H	K ₁	K ₂	K ₃
30	-0,008	-0,037	19,40
40	-0,007	-0,028	16,26
50	-0,006	-0,022	13,90
60	-0,005	-0,018	12,28
70	-0,0045	-0,015	10,94
80	-0,004	-0,013	9,867
90	-0,0035	-0,012	8,983
100	-0,003	-0,010	8,246

Tabella 4.1 – Valori di K₁, K₂ e K₃ per il calcolo di ΔP% per le staffe continue ϕ10 rispetto alle staffe tradizionali

Nella Figura 4.1 è riportata la rappresentazione grafica della variazione di ΔP% in funzione del passo, per le travi 30x30, 30x40, 30x50, 30x60, 30x70, 30x80, 30x90 e 30x100 cm.

Il risparmio percentuale in peso della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* rispetto alla staffa tradizionale, varia dal valore massimo di 18,53%, per la trave 30x30 e staffa ϕ 10 passo 8 cm, al valore minimo di 6,57%, per la trave 30x100 e staffa ϕ 10 passo 20 cm.

In particolare il risparmio medio, per passo da 8 a 20 cm, vale:

- trave 30x30 $\Delta P\%_{med} = 17,00\%$
- trave 30x40 $\Delta P\%_{med} = 14,30\%$
- trave 30x50 $\Delta P\%_{med} = 12,34\%$
- trave 30x60 $\Delta P\%_{med} = 10,85\%$
- trave 30x70 $\Delta P\%_{med} = 9,69\%$
- trave 30x80 $\Delta P\%_{med} = 8,75\%$
- trave 30x90 $\Delta P\%_{med} = 7,97\%$
- trave 30x100 $\Delta P\%_{med} = 7,32\%$

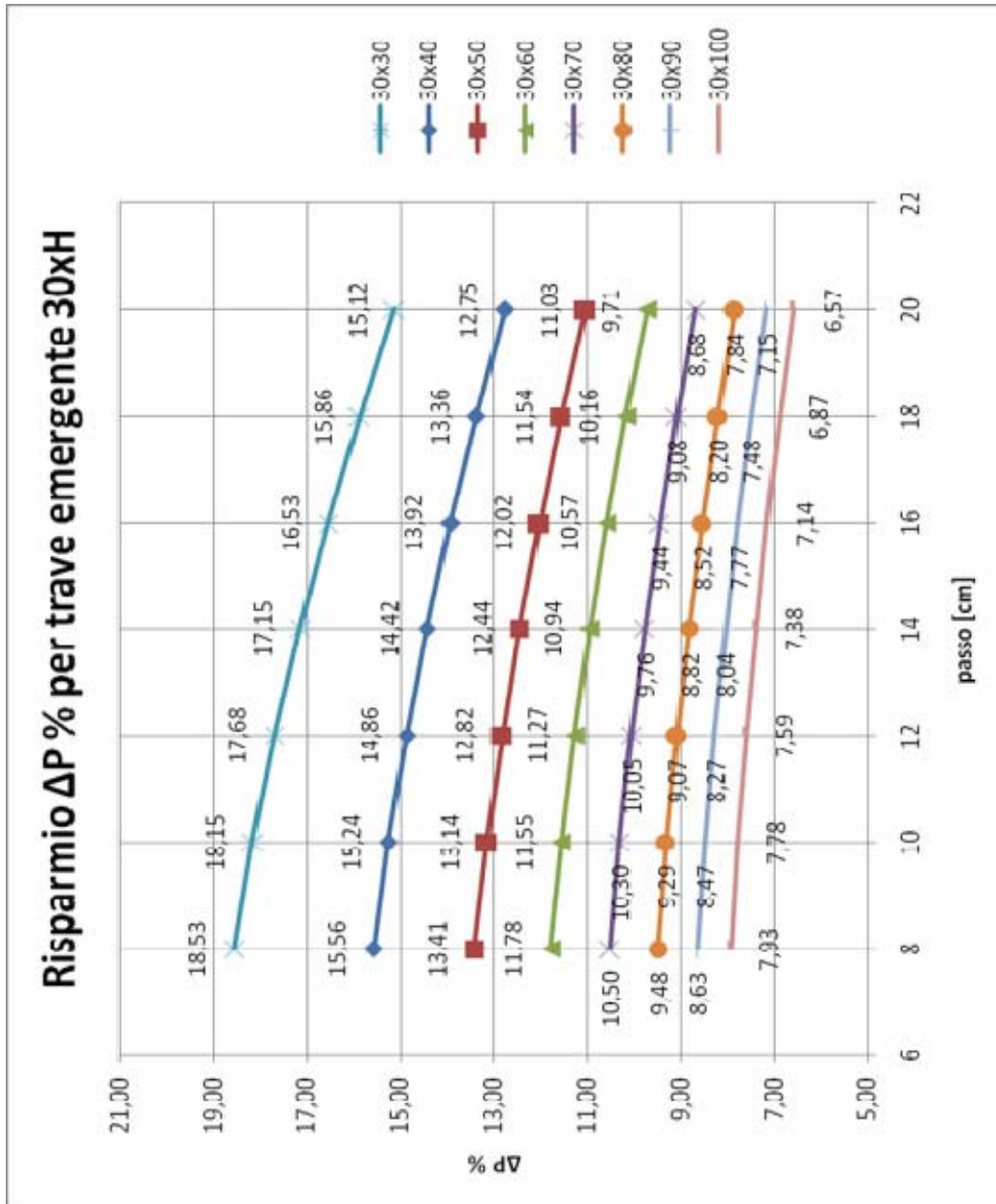
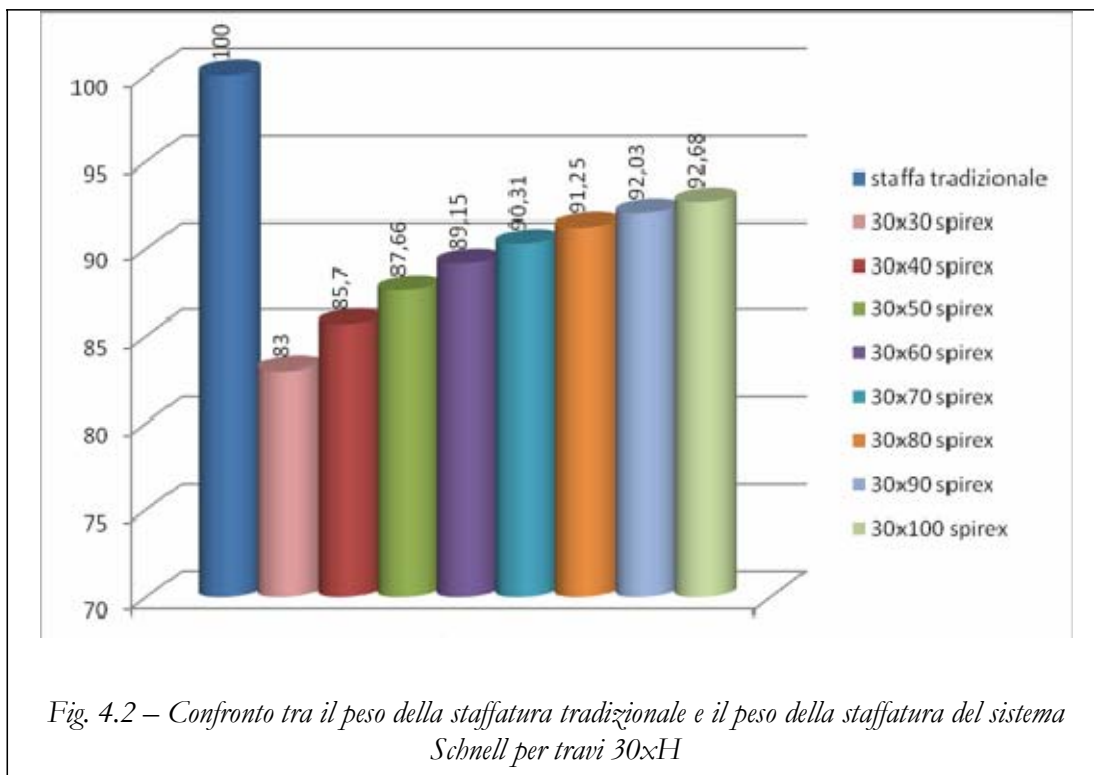


Fig. 4.1 – Risparmio percentuale in peso di staffe continue a bracci verticali e passo variabile $\phi 10$ per travi 30xH

Nella Figura 4.2 è riportato il confronto tra il peso della staffatura con staffe tradizionali ϕ 10 e il peso della staffatura con *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* ϕ 10 per travi 30xH.

In particolare, assunto pari a 100 il peso delle staffe tradizionali, è possibile leggere, anche visivamente, il risparmio in peso che si ottiene con le *staffe continue a bracci verticali e passo variabile* della Schnell.



La trave a spessore

Per le travi a spessore è stata presa in considerazione una tipologia di sezione rettangolare, comunemente impiegate nelle costruzioni edilizie:

- la sezione con altezza H=25 cm e larghezza B variabile tra 40, 60, 80, 100 e 120 cm.

Travi Bx25

Per staffe ϕ 10 a 4 bracci, con passo variabile da 8 a 20 cm, e per le travi Bx25, l'impiego della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* del tipo M comporta, rispetto alla staffa tradizionale, un risparmio di materiale, in termini di peso, variabile dal 20,58% al 8,42% (Fig. 4.3).

Anche per la trave a spessore, lo studio delle regressioni matematiche delle curve di cui alla Figura 4.3, ha consentito di ricavare le espressioni matematiche che consentono di valutare il risparmio percentuale, in termini di peso di materiale impiegato, della doppia *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* rispetto alla doppia staffa tradizionale.

In particolare, si può ancora applicare la relazione polinomiale del secondo ordine [4.1]:

$$\Delta P\% = K_1 \cdot p^2 + K_2 \cdot p + K_3$$

nella quale

p è il passo espresso in [cm]

per determinare il risparmio $\Delta P\%$ in funzione della larghezza della trave e del passo delle staffe.

Per la trave Bx25, i parametri K_1 , K_2 e K_3 sono indicati nella Tabella 4.2.

La relazione [4.1], anche in questo caso, è caratterizzata da un indice di correttezza $R^2=1$.

Nella Figura 4.3 è riportata la rappresentazione grafica della variazione di $\Delta P\%$ in funzione del passo, per le travi 40x25, 60x25, 80x25, 100x25 e 120x25 cm.

Il risparmio percentuale in peso della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* rispetto alla staffa tradizionale, varia dal valore massimo di 20,58%, per la trave 40x25 e staffa ϕ 10 passo 8 cm, al valore minimo di 8,42%, per la trave 120x25 e staffa ϕ 10 passo 20 cm.

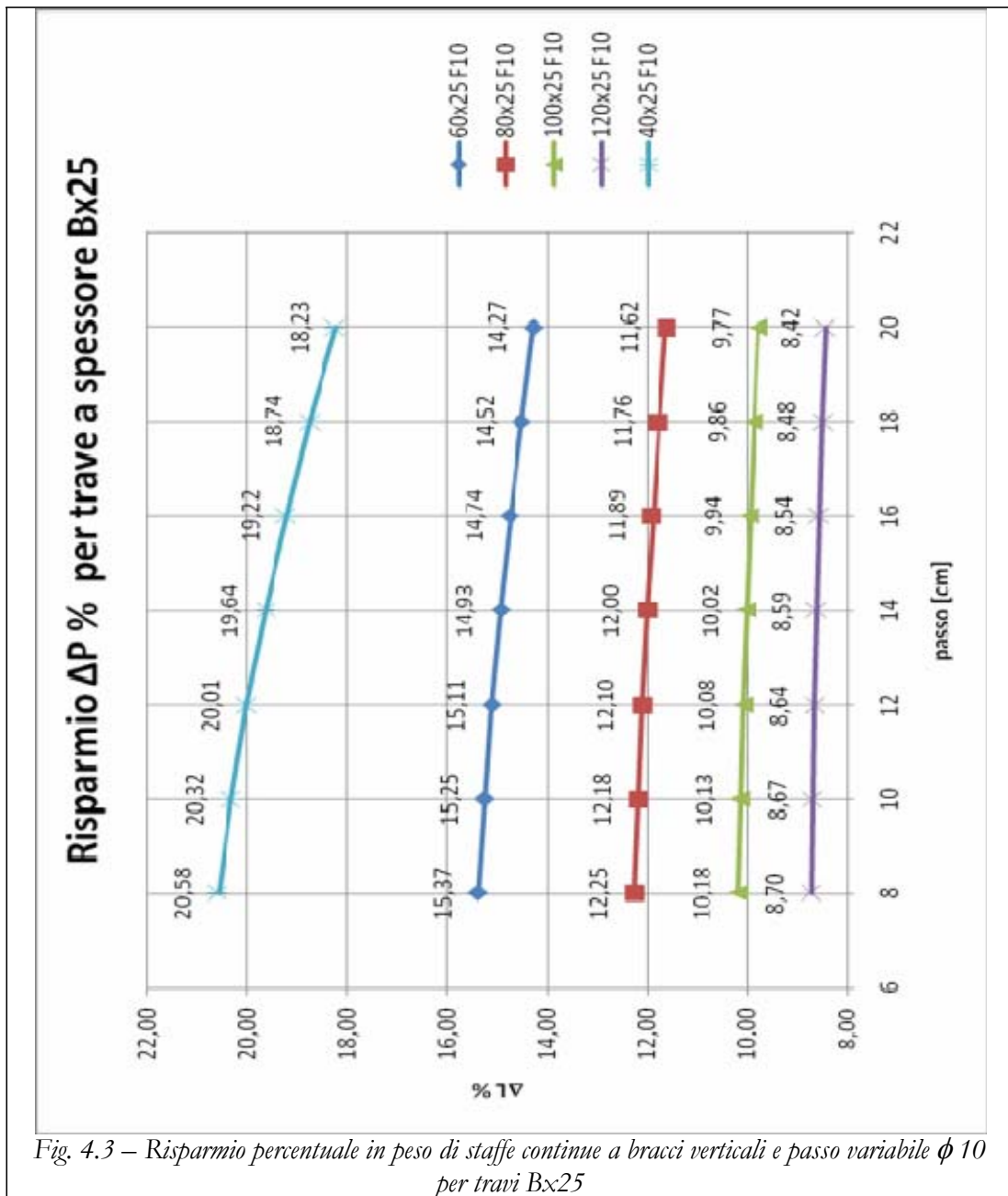


Fig. 4.3 – Risparmio percentuale in peso di staffe continue a bracci verticali e passo variabile ϕ 10 per travi Bx25

Spirex – La staffa continua a bracci verticali e passo variabile

B	K₁	K₂	K₃
40	-0,0060	-0,015	21,12
60	-0,0030	-0,003	15,60
80	-0,0015	-0,001	12,37
100	-0,0010	-0,0006	10,25
120	-0,0005	-0,0002	8,76

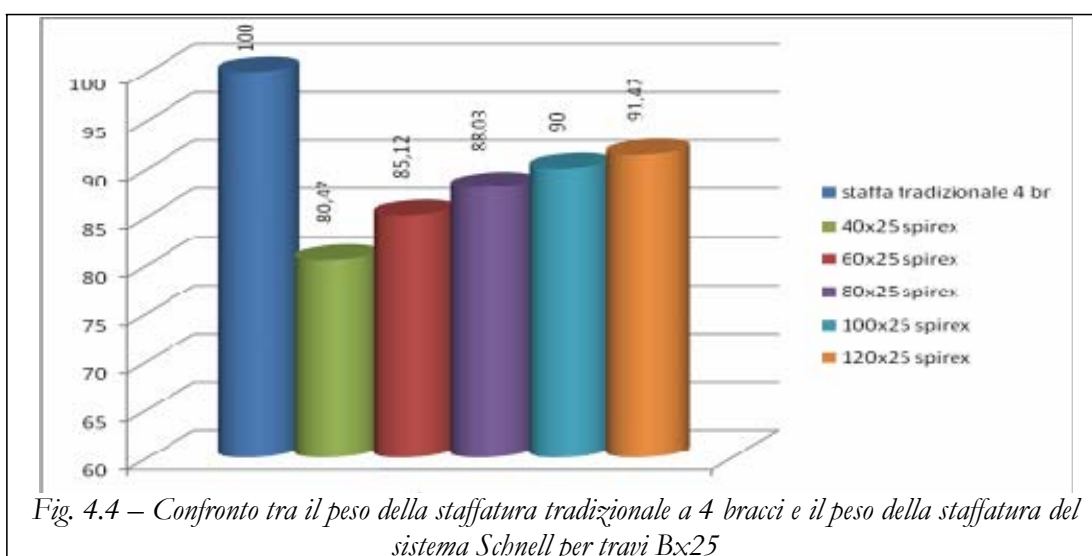
Tabella 4.2 – Valori di K₁, K₂ e K₃ per il calcolo di ΔP% per le staffe continue φ10 rispetto alle staffe tradizionali

In particolare il risparmio medio, per passo da 8 a 20 cm, vale:

- trave 40x25 ΔP%_{omed} = 19,53%
- trave 60x25 ΔP%_{omed} = 14,88%
- trave 80x25 ΔP%_{omed} = 11,97%
- trave 100x25 ΔP%_{omed} = 10,00%
- trave 120x25 ΔP%_{omed} = 8,58%

Nella Figura 4.4 è riportato il confronto tra il peso della staffatura con staffe tradizionali φ10 a 4 bracci e il peso della staffatura Spirex per travi Bx25.

Assunto pari a 100 il peso delle staffe tradizionali, è possibile leggere, anche visivamente il risparmio in peso che si ottiene con le *staffe Spirex* della Schnell.



4.1.2 I pilastri

Con riferimento a pilastri in c.a., di sezione rettangolare $L_1 \times L_2$, sono stati calcolati:

- lo sviluppo lineare, per metro di pilastro, delle staffe tradizionali, L_{st} , per il diametro ϕ 10 e passi 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20 cm;
- lo sviluppo lineare, per metro di pilastro, delle *staffe continue a bracci verticali e passo variabile*, L_{sp} , per il diametro ϕ 10 e passi 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20 cm;
- il risparmio di tondino in termini di lunghezza $\Delta L = L_{st} - L_{sp}$;
- il risparmio percentuale di tondino in termini di peso $\Delta P\%$.

Nelle Figure 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 sono riportati l'andamento delle curve $\Delta P\% = f(L_2)$ per pilastri con L_1 pari a 30, 40, 50, 60 cm, e staffa ϕ 10 passo 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20 cm.

Anche per i pilastri, lo studio delle regressioni matematiche delle curve di cui alla Figure 4.5 ÷ 4.11, ha consentito di ricavare le espressioni matematiche che consentono di valutare il risparmio percentuale, in termini di peso di materiale impiegato, della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* ϕ 10 rispetto alla staffa tradizionale ϕ 10.

In particolare, per determinare il risparmio percentuale si possono applicare le relazioni polinomiali:

- per pilastri $30 \times L_2$ cm

$$\Delta P\% = (0,142 \cdot p - 10,01) \cdot \ln L + (-0,761 \cdot p + 54,61) \quad [4.2]$$

- per pilastri $40 \times L_2$ cm

$$\Delta P\% = (0,08 \cdot p - 7,619) \cdot \ln L + (-0,445 \cdot p + 42,95) \quad [4.3]$$

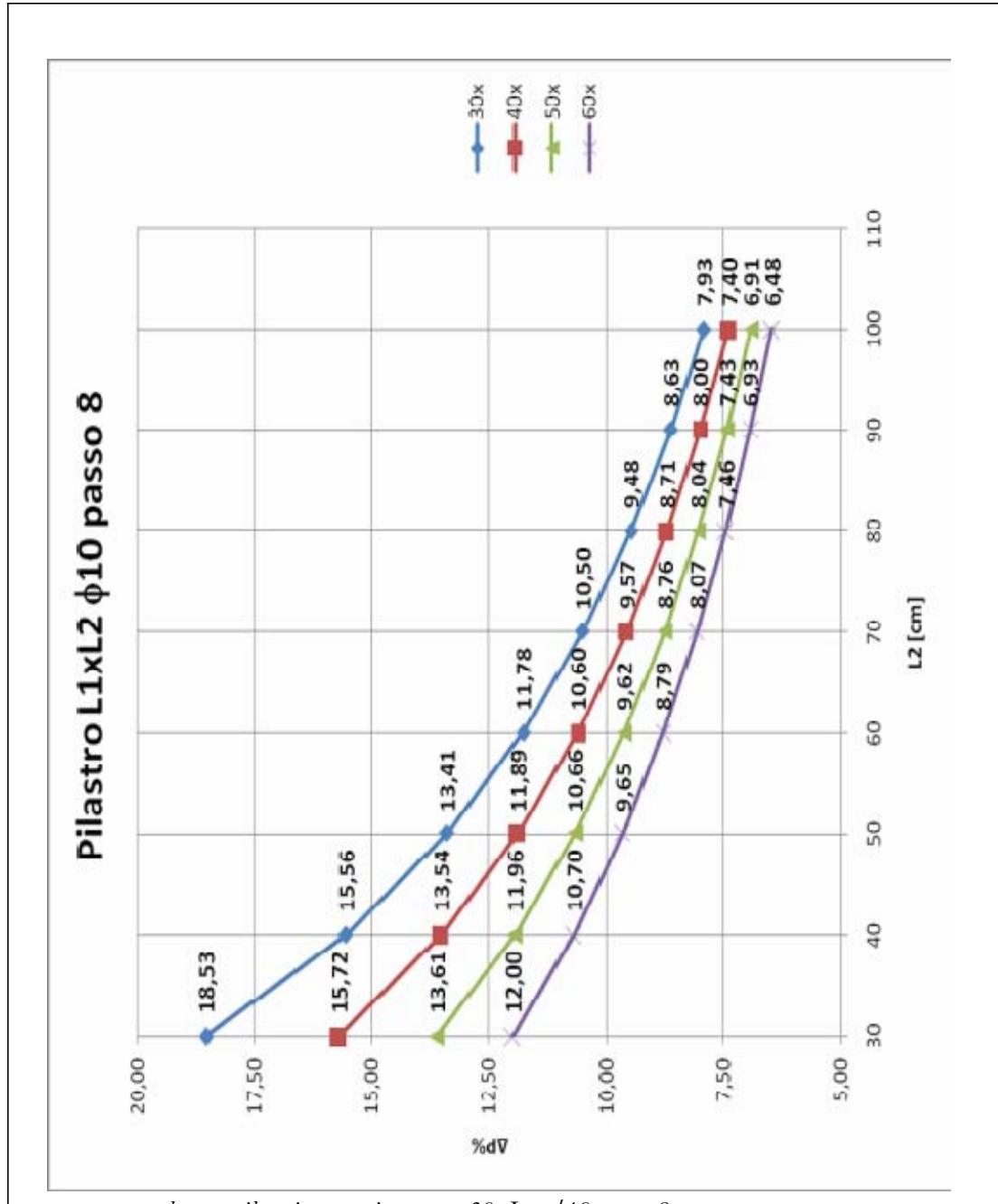
- per pilastri $50 \times L_2$ cm

$$\Delta P\% = (0,05 \cdot p - 6,027) \cdot \ln L + (-0,288 \cdot p + 35,07) \quad [4.4]$$

- per pilastri $60 \times L_2$ cm

$$\Delta P\% = (0,034 \cdot p - 4,91) \cdot \ln L + (-0,198 \cdot p + 29,41) \quad [4.5]$$

nelle quali p [cm] è il passo.



le, per pilastri con sezione retta $30 \times L_2$, $\phi 10$ passo 8 cm
 Fig. 4.5 – Risparmio percentuale in peso della staffa continua Spirex rispetto alla staffa tradiziona-

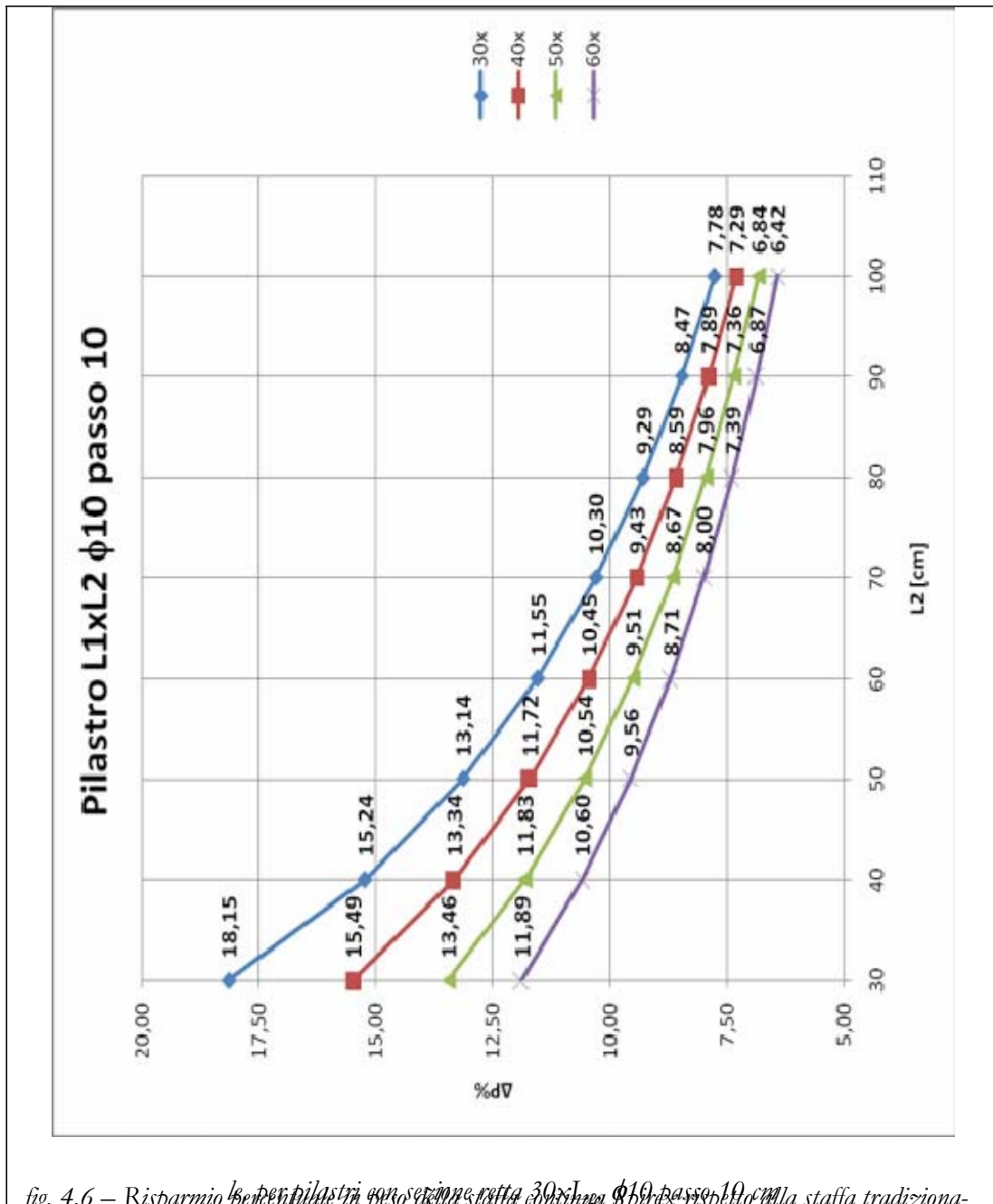


fig. 4.6 – Risparmio per pilastri per sezione 30×30 cm $\phi 10$ passo 10 cm la staffa tradizionale

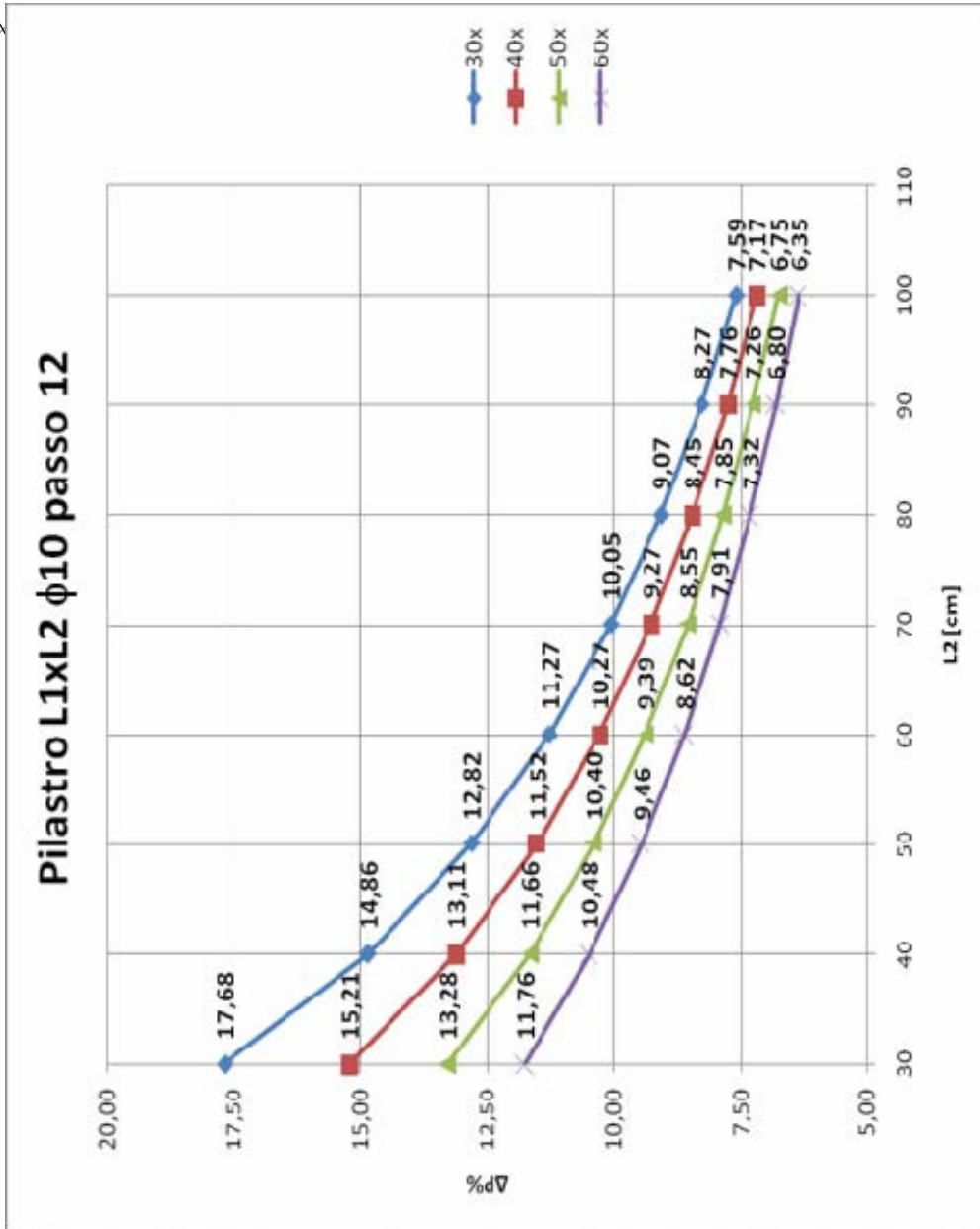


Fig. 4.7 – Risparmio per pilastri in sezione staffa ϕ 10 e passo 12 con Spirex rispetto alla staffa tradizionale

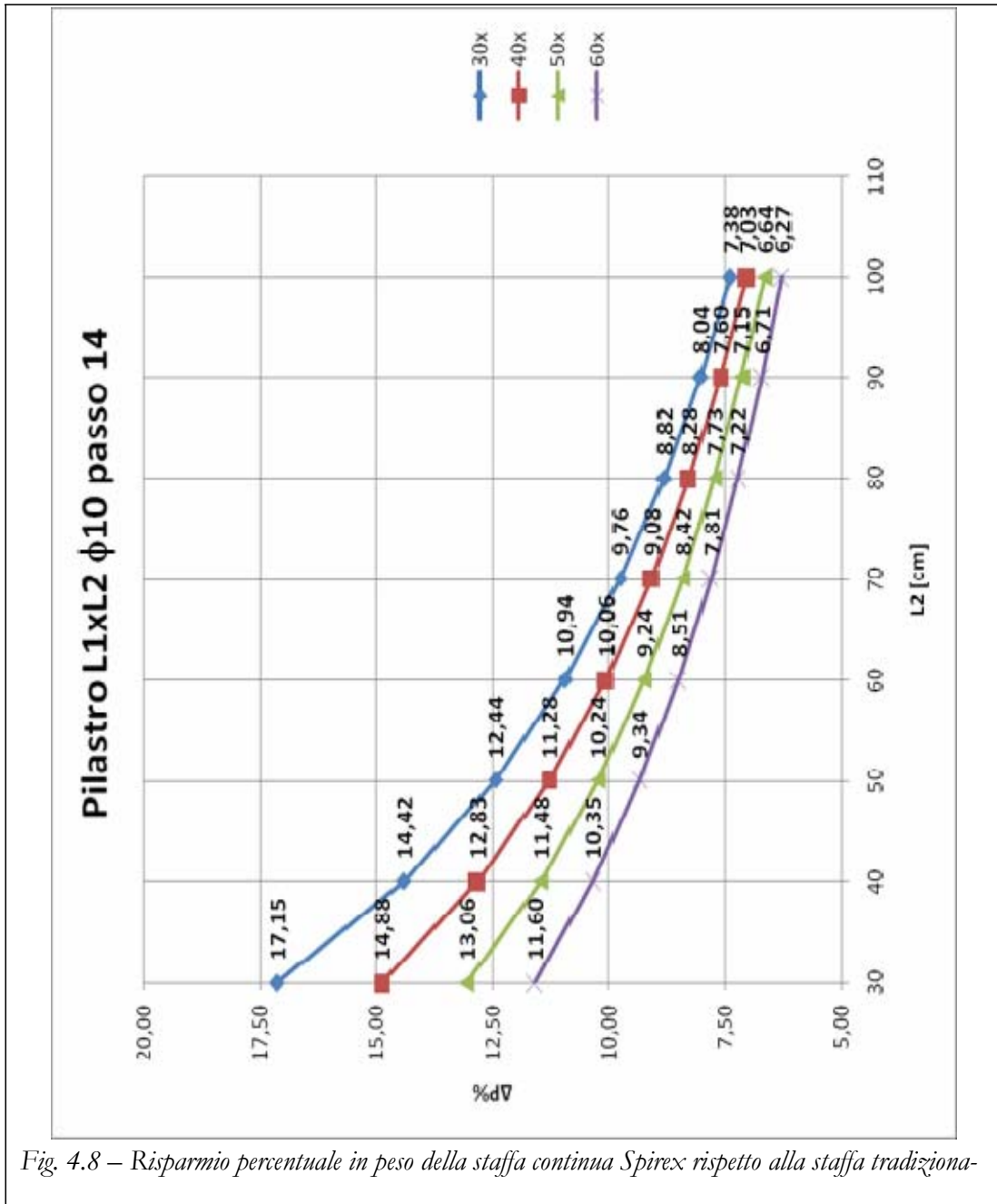


Fig. 4.8 – Risparmio percentuale in peso della staffa continua Spirex rispetto alla staffa tradizionale, per pilastri con sezione retta 30xL₂, ϕ 10 passo 14 cm

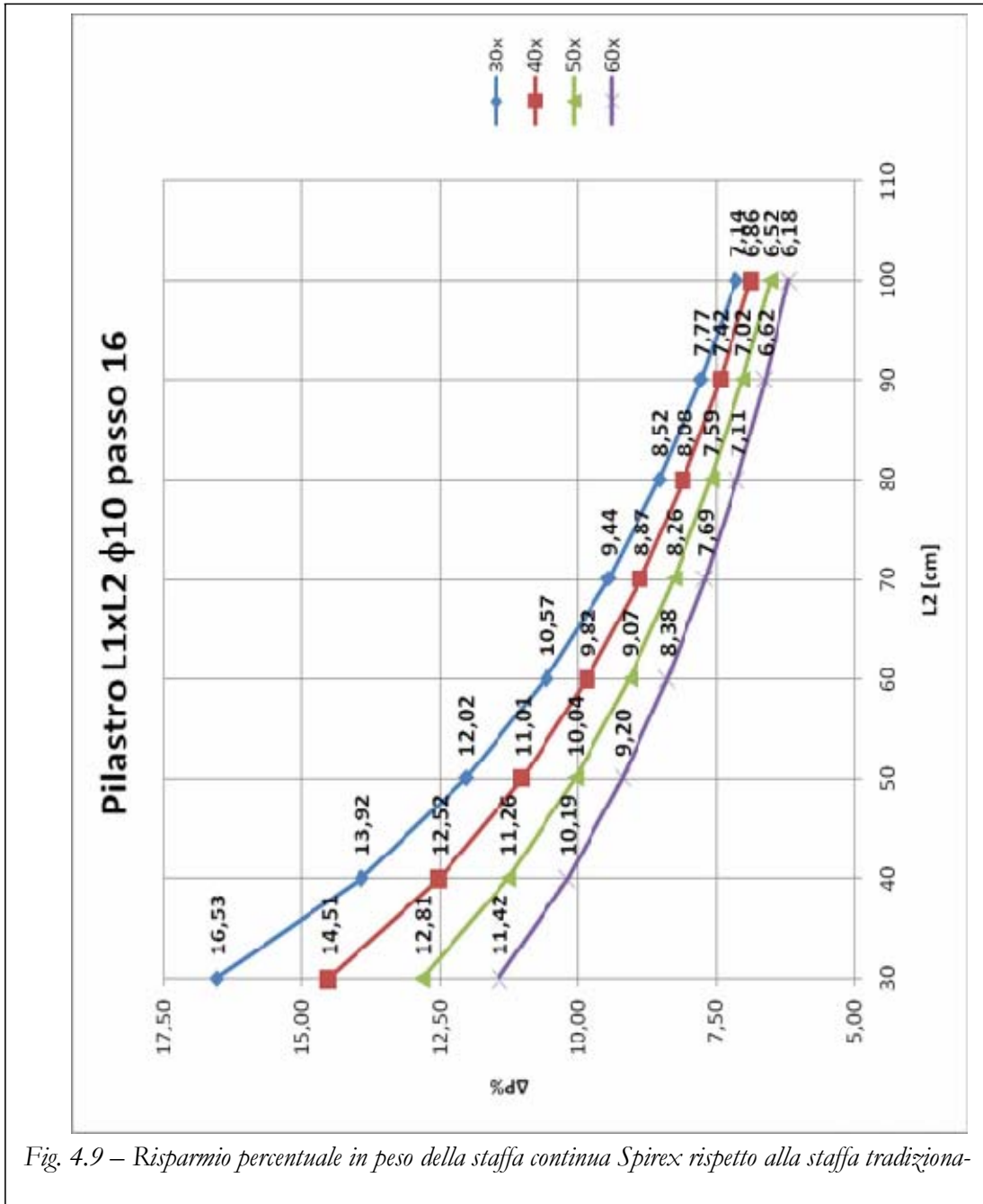


Fig. 4.9 – Risparmio percentuale in peso della staffa continua Spirex rispetto alla staffa tradizionale,

per pilastri con sezione retta $30 \times L_2$, $\phi 10$ passo 16 cm

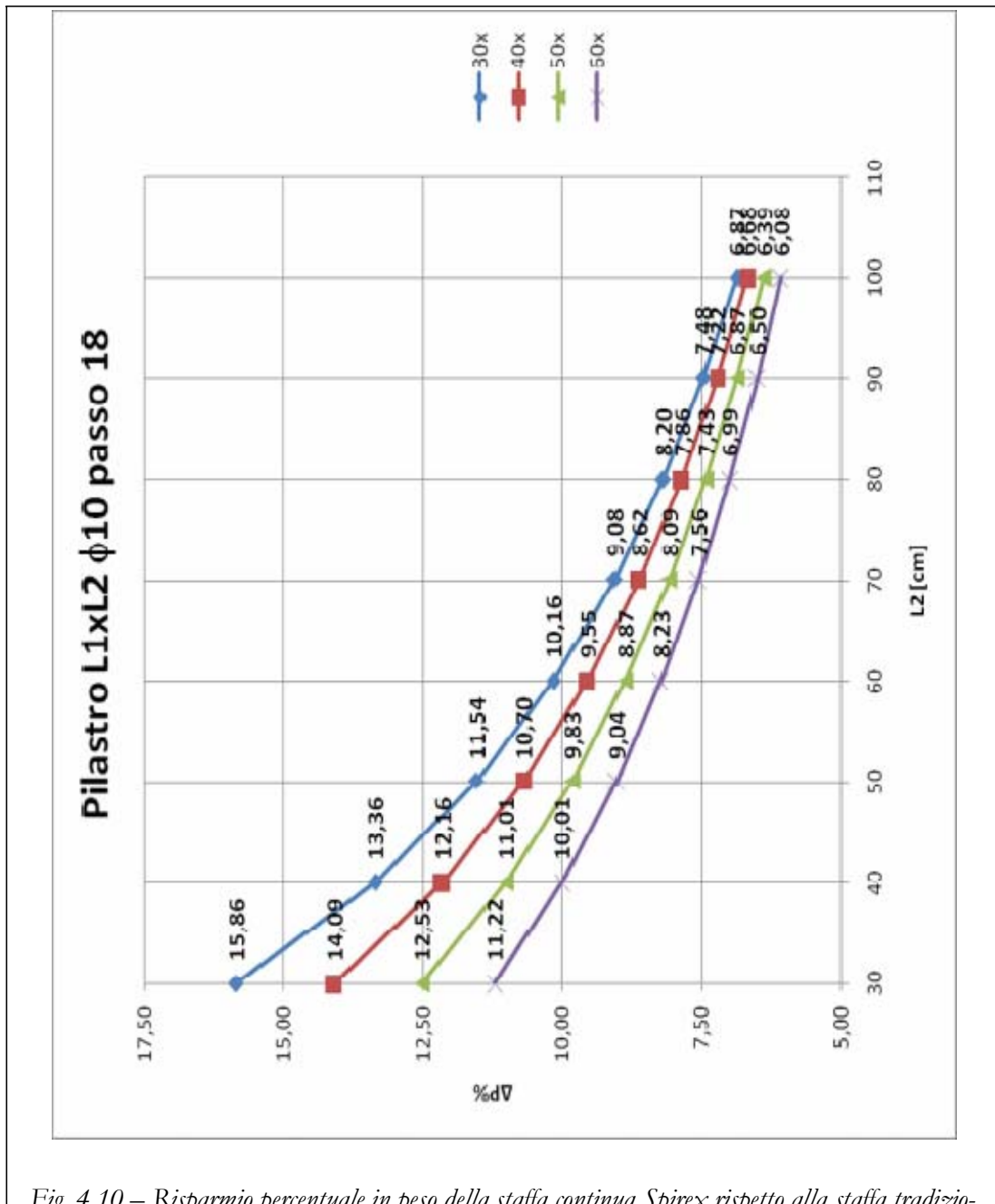


Fig. 4.10 – Risparmio percentuale in peso della staffa continua Spirex rispetto alla staffa tradizionale, per pilastri con sezione retta $30 \times L_2$, $\phi 10$ passo 18 cm

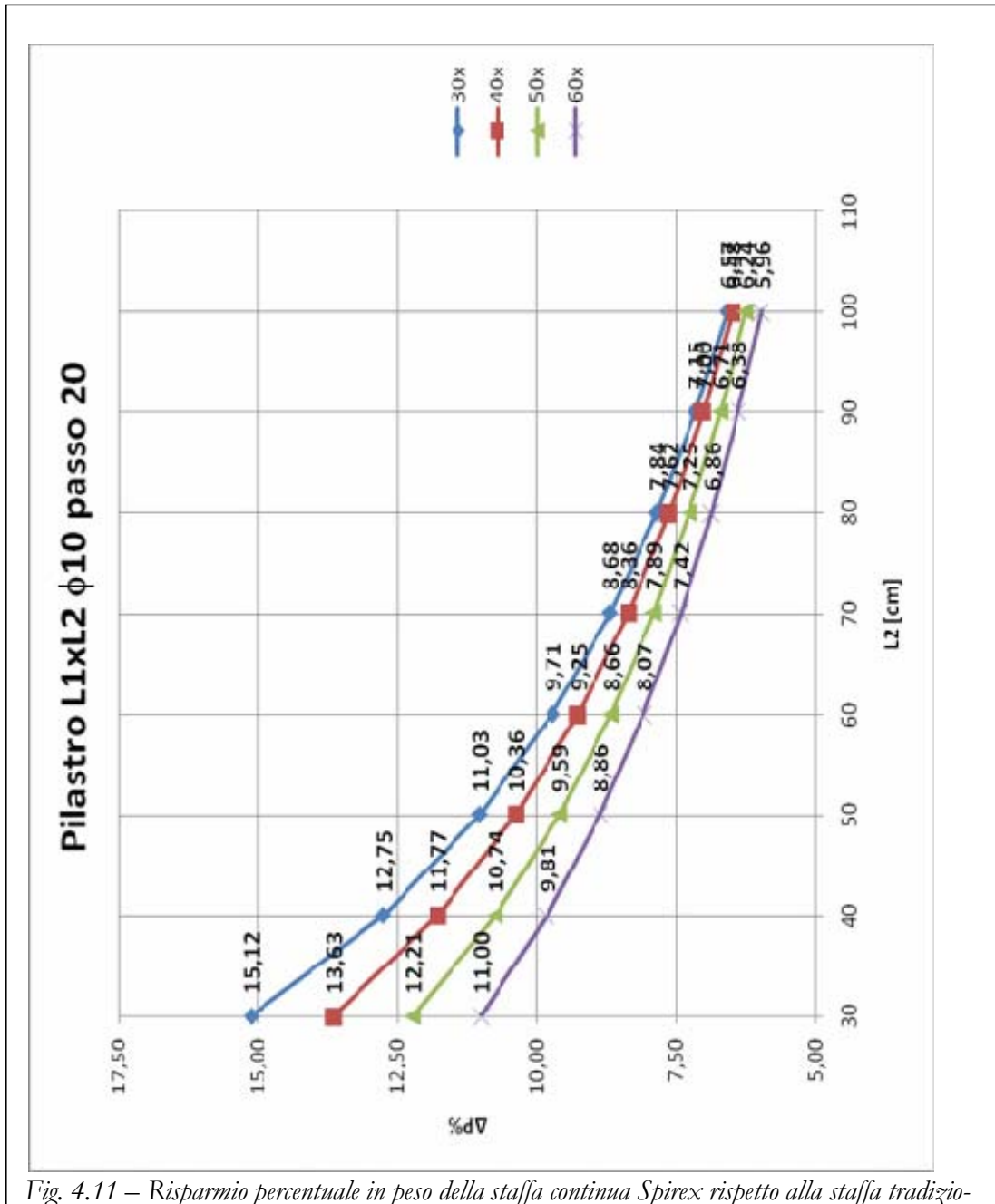


Fig. 4.11 – Risparmio percentuale in peso della staffa continua Spirex rispetto alla staffa tradizionale, per pilastri con sezione retta 30xL₂, φ10 passo 20 cm

4. Risparmio di materiale

Per le relazioni [4.2] ÷ [4.5] i coefficienti di regressione R^2 corrispondenti risultano sempre maggiore di 0,98.

Il risparmio percentuale in peso della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* ϕ 10 rispetto alla staffa tradizionale, varia dal valore massimo di 18,53%, per il pilastro 30x30 passo 8 cm, al valore minimo di 5,96%, per il pilastro 60x100 passo 20 cm.

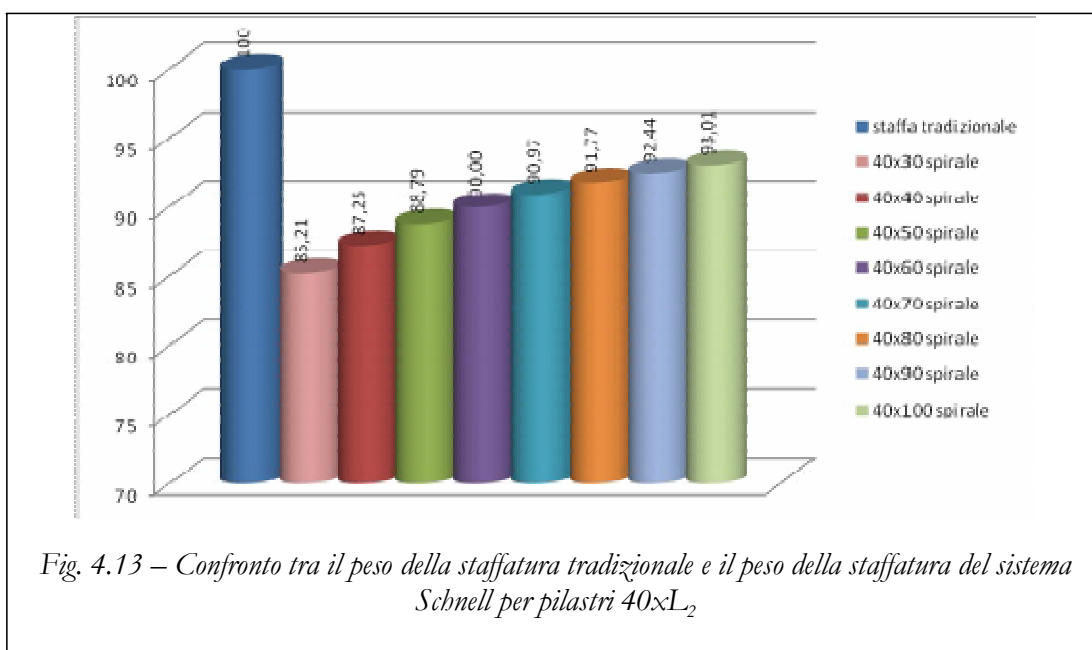
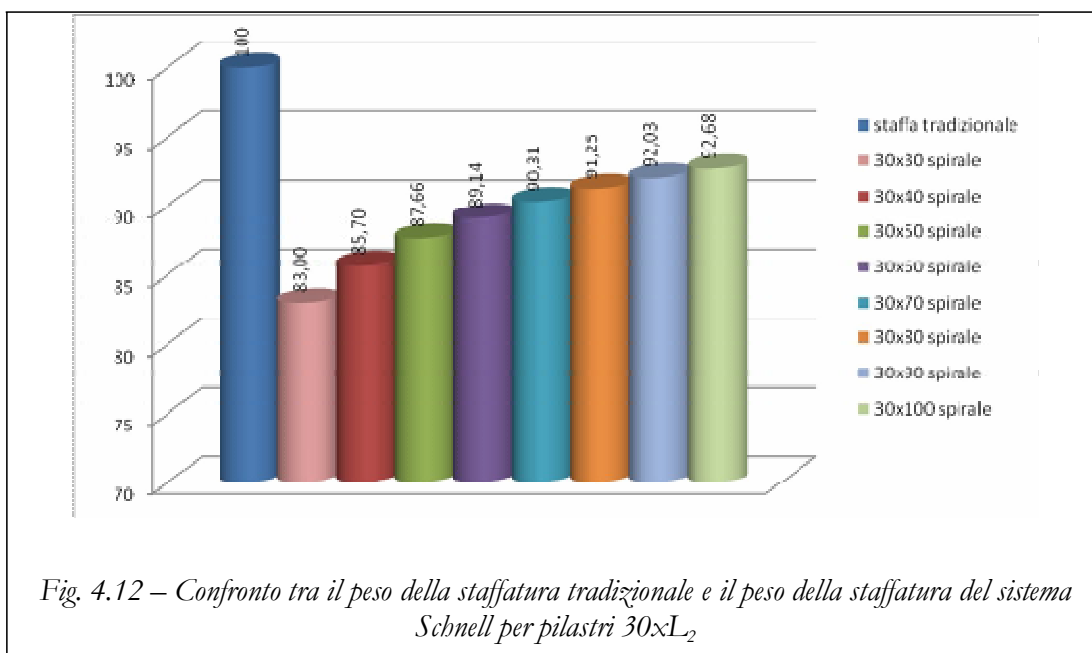
In particolare il risparmio medio, per passo da 8 a 20 cm, per i pilastri 30xL è riportato nella Tabella 4.3.

pilastro	$\Delta P\%_{med}$	pilastro	$\Delta P\%_{med}$	pilastro	$\Delta P\%_{med}$	pilastro	$\Delta P\%_{med}$
30x30	10,25	40x30	14,79	50x30	12,99	60x30	11,56
30x40	14,30	40x40	12,75	50x40	11,42	60x40	10,31
30x50	12,34	40x50	11,21	50x50	10,19	60x50	9,30
30x60	10,85	40x60	10,00	50x60	9,19	60x60	8,47
30x70	9,69	40x70	9,03	50x70	8,38	60x70	7,78
30x80	8,75	40x80	8,23	50x80	7,69	60x80	7,19
30x90	7,97	40x90	7,56	50x90	7,11	60x90	6,69
30x100	7,32	40x100	6,99	50x100	6,61	60x100	6,25

Tab. 4.3 – Risparmio percentuale medio, in termini di peso, delle staffe continue a bracci verticali e passo variabile ϕ 10 rispetto alle staffe tradizionali

Nelle Figure 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15 sono riportati i confronti tra il peso della staffatura con staffe tradizionali ϕ 10 e il peso della staffatura con *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* ϕ 10 per pilastri, rispettivamente, 30xL₂, 40xL₂, 50xL₂ e 60x L₂ cm.

In particolare, assunto pari a 100 il peso delle staffe tradizionali, è possibile leggere, anche visivamente il risparmio in peso che si ottiene con le *staffe continue a bracci verticali e passo variabile* della Schnell.



4. Risparmio di materiale

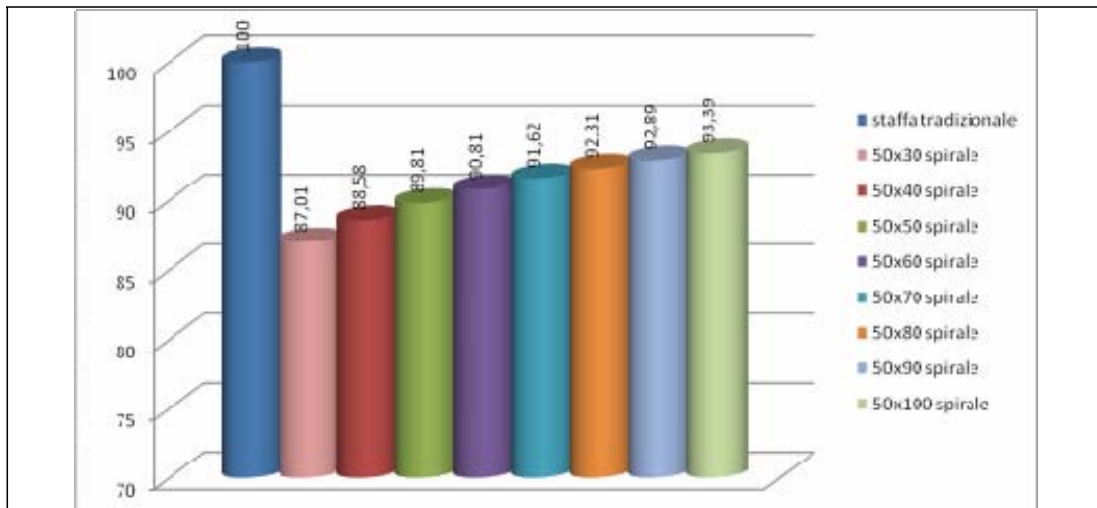


Fig. 4.14 – Confronto tra il peso della staffatura tradizionale e il peso della staffatura del sistema Schnell per pilastri 50xL₂

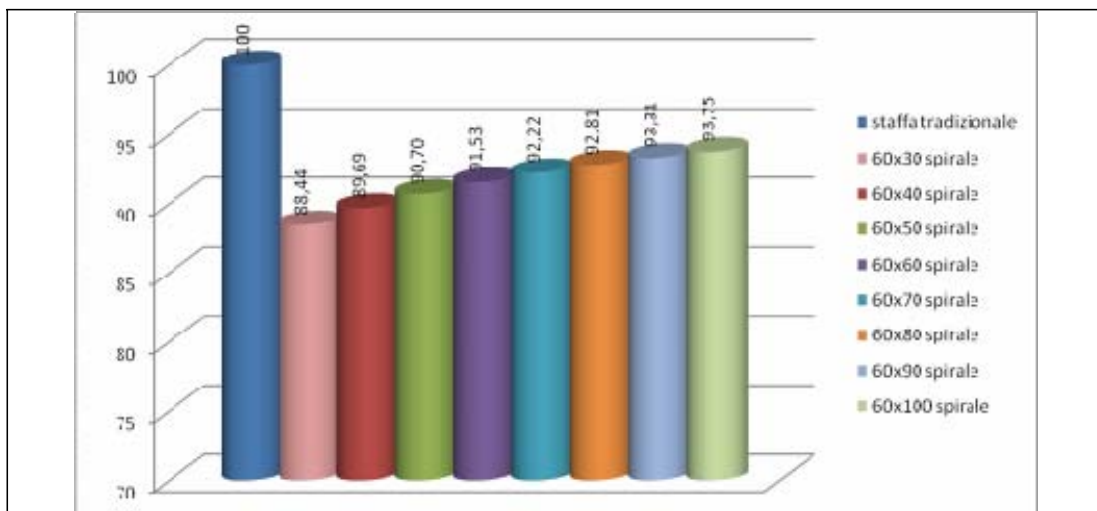


Fig. 4.15 – Confronto tra il peso della staffatura tradizionale e il peso della staffatura del sistema Schnell per pilastri 60xL₂

4.1.3 Le travi di fondazione

Con riferimento alle travi di fondazione in c.a., di sezione a T rovescia con base $B_1 \times H_1$ e anima $B_2 \times H_2$, sono stati calcolati:

- lo sviluppo lineare, per metro di trave, delle staffe tradizionali, L_{st} , per vari diametri e passi;
- lo sviluppo lineare, per metro di trave, delle staffe a spirale a passo spezzato, L_{sp} , per vari diametri e passi;
- il risparmio di tondino in termini di lunghezza $\Delta L = L_{st} - L_{sp}$;
- il risparmio percentuale di tondino in termini di peso $\Delta P\%$.

Per le travi rovesce sono state prese in considerazione due tipologie, comunemente impiegate nelle costruzioni edilizie:

- Tipo 1 sezione con base 140x50 cm e anima 50x140 cm;
- Tipo 2 sezione con base 130x40 cm e anima 40x130 cm;

Per staffe $\phi 10$, con passo variabile da 8 a 20 cm, e per le travi con sezione tipo 1 e tipo 2, l'impiego della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* del tipo M comporta, rispetto alla staffa tradizionale, un risparmio di materiale, in termini di peso, variabile dal 6,03% al 4,88% (Fig. 4.16).

Lo studio delle regressioni matematiche delle curve di cui alla Figura 4.16, ha consentito di ricavare le espressioni matematiche che consentono di valutare il risparmio percentuale, in termini di peso di materiale impiegato, della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* rispetto alla staffa tradizionale.

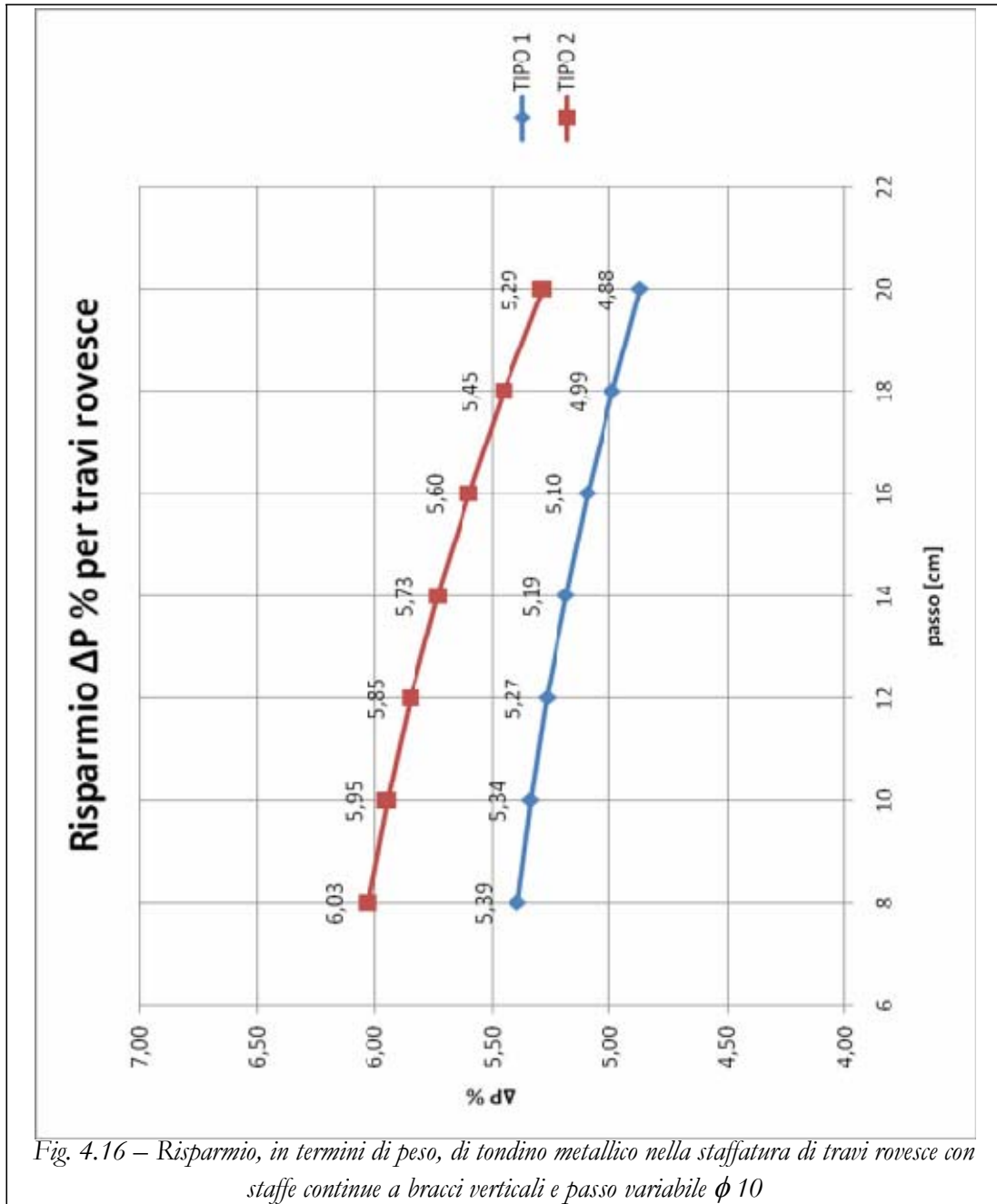
In particolare, si può applicare ancora la relazione polinomiale [4.1] del secondo ordine:

$$\Delta P\% = K_1 \cdot p^2 + K_2 \cdot p + K_3$$

nella quale

p è il passo espresso in [cm].

4. Risparmio di materiale



Per le travi tipo 1 e 2, i valori dei parametri K_1 , K_2 e K_3 sono riportati nella Tabella 4.4.

trave	K_1	K_2	K_3
Tipo 1	-0,002	-0,003	6,187
Tipo 2	-0,001	-0,001	5,501

Tab. 4.4 – Parametri K_i per la valutazione del risparmio percentuale, in termini di peso, delle staffe continue a bracci verticali e passo variabile ϕ 10 rispetto alle staffe tradizionali

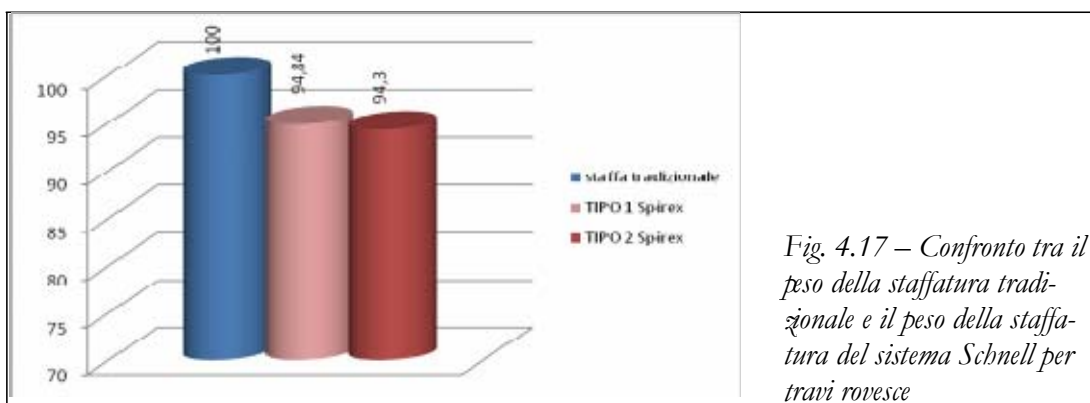
Per tutti i valori di K_i il coefficiente di regressione R^2 corrispondente risulta uguale ad 1.

Il risparmio percentuale in peso della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile ϕ 10* rispetto alla staffa tradizionale, varia dal valore massimo di 6,03%, per la trave tipo 2 passo 8 cm, al valore minimo di 4,88%, per la tipo 1 passo 20 cm.

Il risparmio medio, per passo da 8 a 20 cm, per i due tipi di trave rovescia è:

- Tipo 1 $\Delta P\%_{med} = 5,16\%$
- Tipo 2 $\Delta P\%_{med} = 5,70\%$

Nella Figura 4.17 sono riportati i confronti tra il peso della staffatura con staffe tradizionali ϕ 10 e il peso della staffatura con *staffa continua a bracci verticali e passo variabile ϕ 8* per i due tipi di trave rovescia.



5. I VANTAGGI DEL SISTEMA SCHNELL

aspetti statico, energetico, ambientale, rischi sul lavoro, trasporto

L'utilizzo del nuovo tipo di *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* implica notevoli vantaggi sia in termini economici che di inquinamento ambientale; infatti, si ha una riduzione di energia utilizzata per la produzione di acciaio nel settore edile, riduzione di emissioni di CO₂ derivante dalla produzione e lavorazione del ferro, riduzione temporale della mano d'opera impegnata nel montaggio delle staffe, riduzione di infortuni per gli operai relativi ai rischi intrinseci nella posa in opera della carpenteria metallica delle strutture in c.a.

5.1 Aspetto statico

Presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Firenze sono state effettuate analisi sperimentali e numeriche al fine di valutare le eventuali differenze di comportamento di travi rettangolari con armatura tradizionale ed armatura con *staffa continua a bracci verticali e passo variabile*, nei confronti del carico ultimo per taglio e per flessione. Scopo della ricerca è stato quello di evidenziare possibili differenze sia nei valori dei carichi ultimi raggiunti sia nelle modalità di collasso, attraverso la realizzazione di prove a rottura su diversi campioni di trave.

Nel seguito si riporta la sintesi della relazione
Prove sperimentali e modelli numerici per la definizione del comportamento a rottura di travi rettangolari con staffatura a spirale
a cura di

Gianni Bartoli, Luciano Galano, Alberto Antonelli, Daniela Saracini
Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Firenze

“Presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Firenze sono state effettuate analisi sperimentali e numeriche al fine di valutare i livelli prestazionali raggiunti in travi in c.a. ordinario con diverse disposizioni della staffatura.

In particolare, si sono analizzate le eventuali differenze di comportamento di

travi rettangolari con armatura “classica” ed armatura a “spirale”, nei confronti del carico ultimo per taglio e per flessione. Scopo della ricerca è stato quello di evidenziare possibili differenze sia nei valori dei carichi ultimi raggiunti sia nelle modalità di collasso, attraverso la realizzazione di prove a rottura su diversi campioni di trave.

Nei casi indagati si è utilizzata una staffatura a spirale continua “Spirex”; al contrario della spirale che viene utilizzata come armatura in elementi a sezione circolare (pilastri o pali di fondazione, ad esempio), caratterizzata da un passo “continuo” e caratteristiche geometriche uniformi lungo lo sviluppo della stessa, la spirale utilizzata nel caso di armatura di travi rettangolari presenta caratteristiche leggermente diverse. La spirale è infatti costituita da un’armatura continua che si configura come una linea “spezzata” nello spazio, in quanto occorre fornire comunque alla trave la resistenza a taglio richiesta, e quindi è stato scelto di mantenere l’andamento verticale in alcuni degli elementi (i “bracci” della staffa); di conseguenza, si ha alternanza di elementi a sviluppo verticale (i bracci appunto) ed elementi di collegamento ancora rettilinei ma disposti su piani inclinati rispetto ai consueti piani ortogonali all’asse della trave.

La particolare conformazione dell’armatura porta alla creazione, procedendo verso la rottura a taglio dell’elemento strutturale, di meccanismi di rottura che, in teoria, potrebbero presentare anche andamenti diversi dai consueti meccanismi “piani” di analisi (si pensi ad esempio al traliccio di Mörsch, che descrive il comportamento attraverso l’introduzione di schemi reticolari piani, isostatici o iperstatici), per la presenza di piani di disposizione della staffatura (ossia dei piani che contengono i bracci verticali) con normale non più parallela all’asse della trave stessa. Il ricorso alla sperimentazione (ed alla successiva modellazione numerica) si è quindi reso necessario per valutare quanto questa differenza geometrica potesse influire nelle modalità di rottura dell’elemento esaminato.

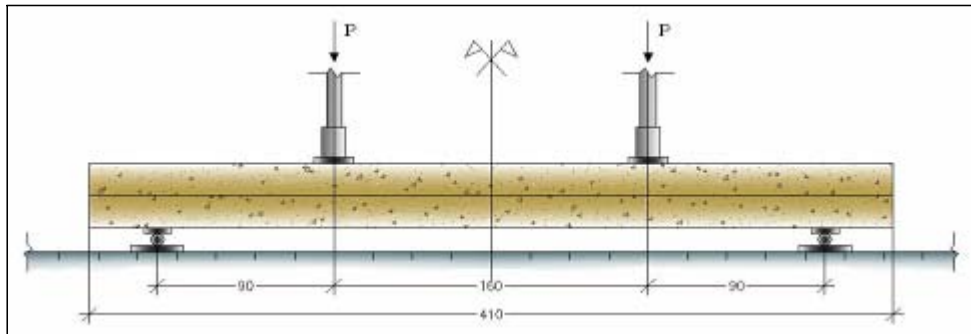
Le travi esaminate presentano una sezione rettangolare di 23 x 36 cm (base x altezza) e una lunghezza di 410 cm; in totale sono stati realizzati sei provini, con le stesse caratteristiche meccaniche ma con diversa disposizione di armatura, classificati secondo il seguente schema:

- TA: n. 2 travi con rottura per taglio (T) e staffe “tradizionali” (A): TA1 e TA2

5. I vantaggi del sistema Schnell

- TB: n. 2 travi con rottura per taglio (T) e staffe “a spirale” (B): TB1 e TB2
- FA: n. 1 trave con rottura per flessione (F) e staffe “tradizionali” (A): FA
- FB: n. 1 trave con rottura per flessione (F) e staffe “a spirale” (B): FB

Nelle prime 4 travi (con tipologia TA o TB) la disposizione di una forte armatura longitudinale (percentuale di armatura tesa pari a $\rho = 2,10\%$) consente di giungere, al crescere del carico, ad una rottura per taglio della trave. La seconda tipologia (travi tipo FA o FB) presenta una debole armatura longitudinale ($\rho_s = 0,82\%$), dello stesso ordine di grandezza di quella disposta nelle travi usualmente impiegate, al fine di avere una prima valutazione delle eventuali implicazioni dettate dalla diversa modalità di staffatura nella rottura per flessione. Entrambe le tipologie di travi sono state provate sia con una disposizione di staffe “ordinaria” che con una disposizione di staffe a “spirale”. Le prove sono state condotte presso il Laboratorio Strutture dell’Università di Firenze, disponendo le travi sul banco di prova, secondo lo schema riportato nella Figura seguente, con lo schema di prova a flessione su 4 punti, utilizzando una distanza fra gli attuatori pari a 160 cm, lasciando una zona di possibile rottura a taglio pari a 90 cm (circa 3 volte l’altezza utile della sezione), ottenendo una distanza tra gli appoggi di 340 cm. I carichi di prova (P1 e P2) sono stati generati mediante due attuatori idraulici.



Nel corso delle prove sono state rilevate le seguenti grandezze fisiche:

- le forze generate dagli attuatori idraulici (P_1 e P_2);
- lo spostamento verticale mediante trasduttori di spostamento Penny+Giles tipo HLP190 con fondo scala 25 mm e 100 mm, posti in mez-

zeria, in prossimità degli appoggi, ed in corrispondenza dei punti di applicazione del carico;

- la deformazione nel calcestruzzo mediante trasduttori di spostamento tipo Ω TML PI-2-50 con fondo scala 2 mm. Per le deformazioni a compressione e a trazione del calcestruzzo, nella zona a momento costante, sono stati posti 2 trasduttori in mezzzeria, all'intradosso e all'estradosso della trave; per le deformazioni in direzione diagonale sono stati usati 4 trasduttori posti nelle zone a taglio costante;

- la deformazione nelle barre di acciaio mediante estensimetri a variazione di resistenza HBM 3/120/LY41, base di misura 3 mm. Un estensimetro è stato posto nella mezzzeria di una delle barre tese longitudinali, mentre altri 6 estensimetri sono stati disposti sulle staffe nella zona della trave a taglio costante, a metà e ad un quarto dell'altezza delle staffe (gli estensimetri sono stati posti alternativamente su uno o sull'altro braccio della staffa).

I dati di prova sono stati registrati con continuità mediante un sistema di acquisizione ed elaborazione dati gestito da un computer. Tutte le prove sono state effettuate nelle stesse condizioni, utilizzando una procedura di avanzamento in controllo di spostamento, con un valore di incremento dello spostamento dei punti di controllo (posizione degli attuatori) pari a 4 mm/min.

Il confronto tra i risultati ottenuti nel corso della sperimentazione ha permesso di osservare che:

- gli andamenti del tratto elastico e pseudo-elastico fino al valore del carico ultimo sono coincidenti nei quattro casi di travi che hanno manifestato rottura per taglio;

- il valore del taglio ultimo nelle travi TA e TB non è sostanzialmente influenzato dalla tipologia di disposizione dell'armatura, nei limiti della inevitabile variabilità dei risultati sperimentali;

- il valore del taglio ultimo risulta praticamente coincidente con quello determinato preliminarmente per via analitica (pari a $P_{tot}=P_1+P_2=354$ kN) utilizzando le procedure proposte da diverse normative (ACI, Eurocodice 2 e D.M. 1996);

- la modalità di rottura è stata la stessa nelle quattro travi analizzate (rottura per schiacciamento della biella compressa del calcestruzzo con acciaio teso

in campo elastico ed escursioni in campo plastico per l'acciaio delle staffe);

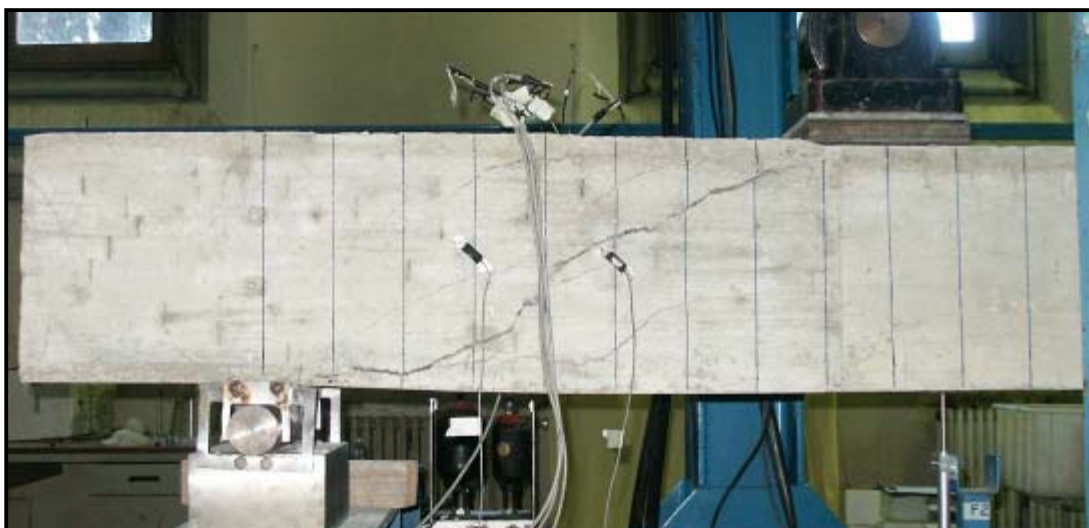
- la distribuzione delle fessure a rottura è sostanzialmente coincidente, forse con una minore concentrazione di fessure nel caso di staffe a spirale (travi TB);
- il ramo “softening” successivo al carico massimo mostra una maggiore consistenza nel caso di staffatura a “spirale” rispetto a quella tradizionale, ossia si hanno valori maggiori del taglio residuo;
- le due travi con debole armatura longitudinale (FA e FB) hanno mostrato una rottura per flessione, con valori del momento ultimo paragonabili nei due casi indagati: per questa tipologia di prova, comunque, occorrerà procedere ad una sperimentazione aggiuntiva in modo da disporre di più risultati e procedere ad un maggior controllo degli stessi.

Le modellazioni numeriche, eseguite con modelli spaziali definiti attraverso l'utilizzo del codice numerico DIANA ed analisi non lineari, hanno confermato l'evidenza sperimentale, attribuendo alle due tipologie valori del carico ultimo assolutamente paragonabili e comportamenti analoghi sia in fase di carico che successivamente alla rottura.

L'analisi dei risultati sperimentali e numerici consente di trarre le seguenti conclusioni:

- la disposizione a “spirale” della staffatura conferisce alla trave capacità prestazionali almeno pari a quelle offerte dalla staffatura tradizionale, non osservandosi fenomeni particolari di comportamento né nelle fasi precedenti alla rottura né in prossimità del carico ultimo;
- le travi con staffatura a “spirale” presentano un comportamento migliore nei confronti della resistenza residua a taglio successiva al superamento del taglio ultimo;
- i modelli di calcolo proposti dalle attuali normative per la valutazione del taglio ultimo possono essere utilizzati in entrambi i casi e forniscono valori attendibili circa i valori attesi del massimo carico sopportabile dalla trave.”

Spirex – La staffa continua a bracci verticali e passo variabile



Fessurazione nella trave al raggiungimento del carico massimo



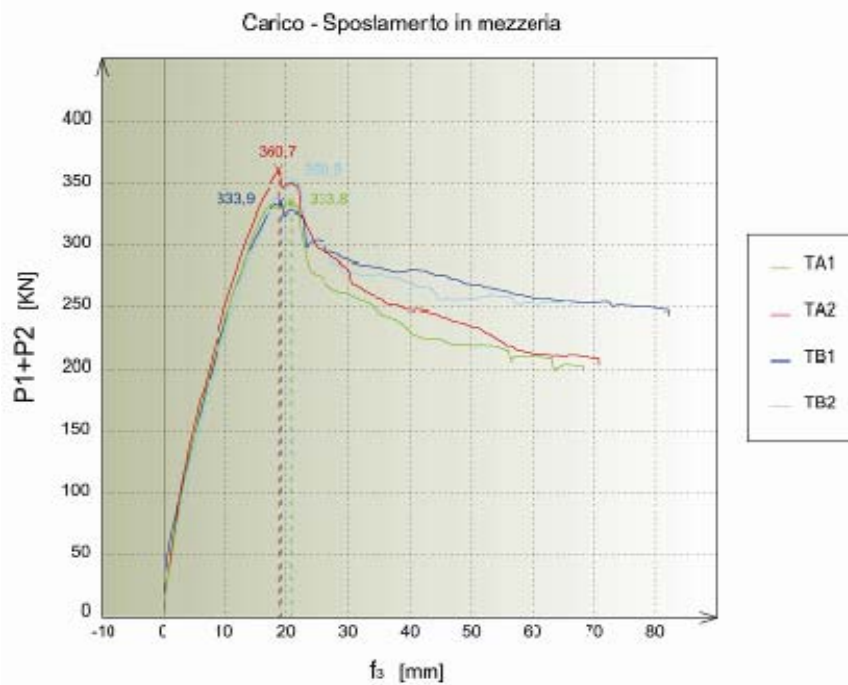
Fessurazione nella trave al termine della prova

5. I vantaggi del sistema Schnell



Deformata della trave al termine della prova

Travi a Taglio



Confronto dei dia- grammi forza totale - spo- stamento in mezzeria per le travi di tipo TA e TB

Confinamento del calcestruzzo

Il grado di confinamento risultante dalle staffe del *Sistema Schnell* è, a parità di passo dell'armatura, maggiore rispetto a quello derivante dalla staffatura di tipo tradizionale grazie all'effetto conferito dalla continuità del tondino.

L'inclinazione dei tratti orizzontali della spirale incrementa, inoltre, il contributo al confinamento delle barre longitudinali.

Legame Tensione - Deformazione

Un altro vantaggio derivante dall'uso di staffe a spirale è visibile dall'analisi del legame *Tensione - Deformazione*, infatti, lo stato tensionale triassiale indotto dalla staffatura spirale migliora il comportamento meccanico del calcestruzzo compresso. Poiché il confinamento del calcestruzzo incrementa in una certa misura la tensione di rottura del materiale, si determina un notevole aumento della sua deformazione ultima che si traduce in un sensibile incremento di duttilità del materiale.

5.2 Risparmio energetico

La produzione di una tonnellata di tondino di acciaio comporta, mediamente, un consumo in termini energetici di 800 KWh. L'impiego delle *staffe continue a bracci verticali e passo variabile* determina, in base a quanto calcolato nel § 4.1, un risparmio, in termini di peso di acciaio, variabile da un valore massimo di 18,53 kg per ogni 100 kg di staffe tradizionali (per le travi 30x30 armate con staffe ϕ 10 passo 8 cm) ad un valore minimo di 5,96 kg per ogni 100 kg di staffe tradizionali (per i pilastri 60x100 armati con staffe ϕ 10 passo 20 cm).

Nelle Tabelle 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 sono riportati i valori del risparmio energetico medio che si consegue, per i casi esaminati nel § 4.1, impiegando le *staffe continue a bracci verticali e passo variabile* in sostituzione delle staffe tradizionali.

Per un edificio che si sviluppa su tre impalcati, con una carpenteria tipo di 100 m² (Fig. 5.1), organizzata con travi emergenti 30x50 e con trave a spessore di spina 60x25 con staffe ϕ 10 passo medio 14 cm, e con pilastri 30x40 alti m 3,00 con staffe ϕ 10 passo medio 14 cm, con la fondazione formata da una doppia orditura ortogonale di travi rovesce tipo 2¹, con staffe ϕ 10 passo medio 14 cm, l'impiego

¹ Cfr. § 4.1.3

5. I vantaggi del sistema Schnell

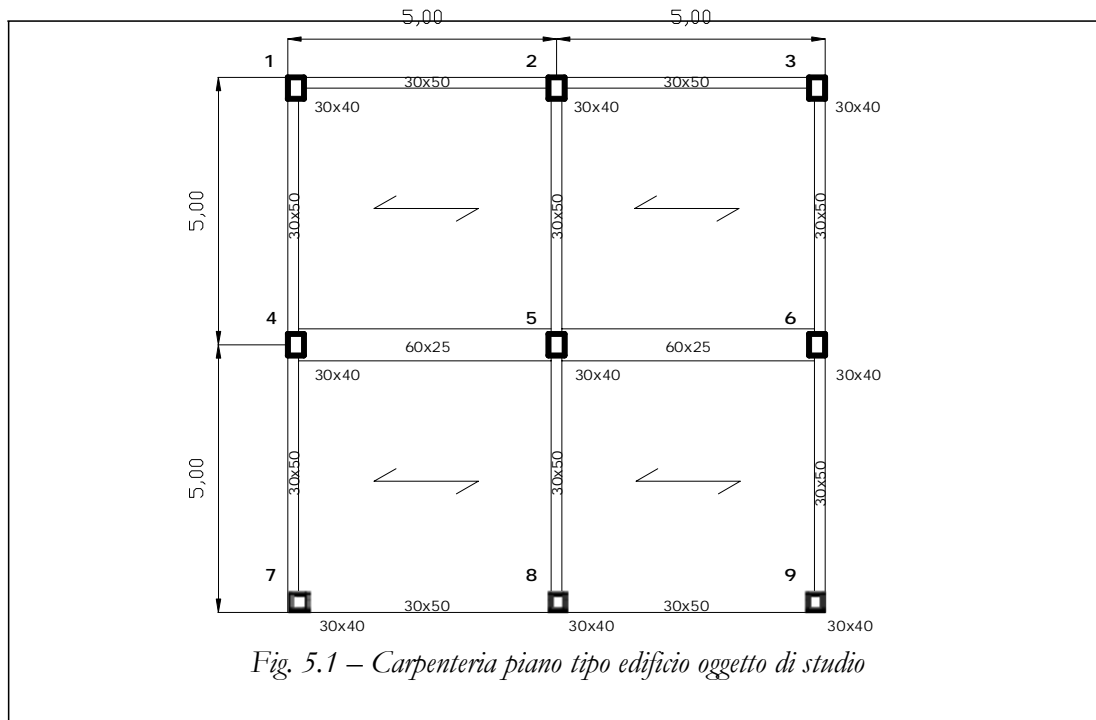


Fig. 5.1 – Carpenteria piano tipo edificio oggetto di studio

di staffe continue a bracci verticali e passo variabile comporta un risparmio energetico complessivo di 286,00 KWh rispetto all'impiego delle staffe tradizionali (Tab. 5.5).

Pertanto, l'impiego delle staffe continue a bracci verticali e passo variabile comporta un risparmio medio di circa 1,00 KWh per metro quadrato d'impalcato.

Trave emergente	KWh risparmiati per ogni 100 kg di staffe tradizionali	Trave emergente	KWh risparmiati per ogni 100 kg di staffe tradizionali
30x30 staffe ϕ 10	13,60	30x70 staffe ϕ 10	7,75
30x40 staffe ϕ 10	11,44	30x80 staffe ϕ 10	7,00
30x50 staffe ϕ 10	9,87	30x90 staffe ϕ 10	6,38
30x60 staffe ϕ 10	8,68	30x100 staffe ϕ 10	5,86

Tab. 5.1 – KWh risparmiati con le staffe continue a bracci verticali e passo variabile per ogni 100kg di staffe tradizionali per le travi emergenti

Spirex – La staffa continua a bracci verticali e passo variabile

Trave a spessore	KWh risparmiati per ogni 100 kg di staffe tradizionali	Trave a spessore	KWh risparmiati per ogni 100 kg di staffe tradizionali
40x25 staffe ϕ 10	15,62	100x25 staffe ϕ 10	8,00
60x25 staffe ϕ 10	11,90	120x25 staffe ϕ 10	6,86
80x25 staffe ϕ 10	9,58		

Tab. 5.2 – KWh risparmiati con le staffe continue a bracci verticali e passo variabile per ogni 100kg di staffe tradizionali per le travi a spessore

Pilastro	KWh risparmiati per ogni 100 kg di staffe tradizionali	Trave a spessore	KWh risparmiati per ogni 100 kg di staffe tradizionali
30x(30 ÷ 100) staffe ϕ 10	8,82	50x(30 ÷ 100) staffe ϕ 10	7,36
40x(30 ÷ 100) staffe ϕ 10	8,06	60x(30 ÷ 100) staffe ϕ 10	6,76

Tab. 5.3 – KWh risparmiati con le staffe continue a bracci verticali e passo variabile per ogni 100kg di staffe tradizionali per i pilastri

Trave rovescia	KWh risparmiati per ogni 100 kg di staffe tradizionali	Trave rovescia	KWh risparmiati per ogni 100 kg di staffe tradizionali
Tipo 1 staffe ϕ 10	4,13	Tipo 2 staffe ϕ 10	4,56

Tab. 5.4 – KWh risparmiati con le staffe continue a bracci verticali e passo variabile per ogni 100kg di staffe tradizionali per le travi rovesce

Elemento strutturale	Sviluppo elemento strutturale	Sviluppo staffe $\phi 10$ passo 14 cm per metro di elemento	Consumo staffe $\phi 10$	$\Delta P\%$	Risparmio con staffe Spirex	Risparmio energetico
	[m]	[cm/m]	[kg]		[kg]	[KWh]
travi rovesce tipo 2	72,00	4914,29	2183,12	5,73	125,09	100,07
travi 30x50	150,00	1171,43	1084,16	12,44	134,89	107,89
travi 60x25	15,00	1695,24	156,89	14,93	23,42	18,74
pilastrini 30x40	81,00	1028,57	514,05	14,42	74,13	59,30
Σ					357,53	286,00

Tab. 5.5 – Risparmio energetico per un edificio a tre piani di 100m² con l'uso delle staffe continue a bracci verticali e passo variabile

5.3 Riduzione inquinamento ambientale

La produzione e lavorazione del ferro sono strettamente connesse al problema delle emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera, fenomeno che, come è noto, aggrava notevolmente l'effetto serra.

La Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici delle Nazioni Unite (UNFCCC) ed il Protocollo di Kyoto definiscono un quadro normativo internazionale sui cambiamenti climatici come conseguenza dell'effetto serra e pone attenzione anche al settore della produzione e trasformazione dei metalli ferrosi e degli impianti di produzione di ghisa e di acciaio. I principali produttori di acciaio nel mondo stanno realizzando programmi di ricerca finalizzati a ridurre nell'atmosfera le emissioni di CO₂ (*Emission Trading System*).

È stato assegnato ad ogni Paese una quota massima di emissione, che poi i singoli governi ripartiscono fra i vari settori. Le emissioni di anidride carbonica prodotte dalle industrie italiane nel 2007², pari a 226,4 milioni di tonnellate, sono ri-

² Dati aggiornati al 07/07/2008 sui dati della Commissione Europea (CITL)

sultate superiori di 25,4 milioni di tonnellate rispetto il valore limite consentito, pari a 201,0 milioni di tonnellate. Il settore in testa alla produzione di emissioni è quello termoelettrico, dopo del quale nella classifica dei comparti industriali a maggiore impatto sul clima vengono il settore del cemento, della raffineria, e la produzione di acciaio.

Fino al tetto assegnato le emissioni sono gratuite, chi sfora deve comprare il diritto ad emettere la anidride carbonica in eccesso, e lo si può fare acquistandolo da chi, avendo risparmiato rispetto alla sua quota, si trova in credito. In Italia si è sempre nella condizione di dover acquistare tale diritto ad emettere l'anidride carbonica in eccesso. Tale sfornamento, quindi, non è solo un problema ambientale ma anche economico, in quanto le quote di CO₂ vengono acquistate ad un prezzo pari a € 27,00 - € 28,00 a tonnellata.

In questo contesto ben si inserisce la riduzione di ferro utilizzato per realizzare *staffe continue a bracci verticali e passo variabile* della *Schnell*, da cui deriva un risparmio di energia, e quindi, di emissioni di CO₂ nell'atmosfera.

Considerato che il settore della grande siderurgia incide sul tetto assegnato all'Italia con un'emissione pari a 13,9 milioni di tonnellate, pari circa al 6% delle emissioni totali (su 226,4 milioni di tonnellate), un risparmio della quantità di acciaio prodotto per realizzare la struttura di un elemento portante in c.a. aiuterebbe a diminuire la quantità di CO₂ prodotta con un duplice vantaggio:

- tutela dell'ambiente: diminuzione delle emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera;
- risparmio economico: derivante sia da una minore quantità di acciaio prodotto, sia per un minor acquisto da parte dell'Italia di tonnellate di CO₂ prodotte in eccesso rispetto la soglia limite.

Utilizzando le *staffe continue a bracci verticali e passo variabile* per l'armatura trasversale delle travi e dei pilastri si determina un risparmio medio di ferro pari al 14,00% di quello utilizzato con staffe di tipo tradizionale. Questa economia per l'ambiente significa, quindi, risparmiare l'energia necessaria a fondere e formare circa 140.000 tonnellate di acciaio (ovvero il 14% di 1.000.000 tonnellate di tondino usato in Italia per staffatura).

5.4 Riduzione rischi infortuni per gli operai

La staffa continua a bracci verticali e passo variabile riduce i rischi di infortuni per gli

operai durante la posa in opera delle staffe nelle strutture in cemento armato. Infatti, con staffe di tipo tradizionale gli operai sono costretti a lavorare in un intricato intreccio di ferri per posizionare esattamente l'armatura trasversale ed effettuare la loro corretta chiusura, con conseguente difficoltà di movimenti e possibili incidenti.

Con il sistema Schnell la posa in opera dell'armatura di una trave è facile ed immediata. Infatti, un operaio può lavorare con le braccia all'interno della gabbia metallica in modo più spedito e sicuro per l'assenza di bordi taglienti o sbavature dei tagli dei tondini di ferro; in tal modo le operazioni si semplificano e non lasciano spazio ad errori di esecuzione manuale o incidenti. Inoltre, con la *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* vi sono solo due estremi e quindi solo due legature di chiusura da dover realizzare, riducendo in tal modo, il rischio di infortuni per gli operai.

La riduzione del rischio per gli operai aumenta per travi a "T" ed a "L" per le quali si sagoma un unico tondino corrispondente alle due staffe del metodo tradizionale, quindi si posiziona il pacchetto della staffa ancora chiuso, si infilano i ferri longitudinali, si apre la staffa che si dispone nella posizione di progetto, si fissano gli estremi, ed infine si ferma il tondino con dei ganci. Con il metodo tradizionale, invece, gli operai devono compiere le operazioni di montaggio per ogni passo per due volte in spazi limitati. Inoltre, l'assenza di tagli e di pieghe a 135° per la realizzazione dei ganci di chiusura costituisce un altro aspetto che riduce la possibilità di infortuni per gli operai durante la lavorazione.

Con l'utilizzo dell'armatura spirale Schnell si riduce notevolmente anche il rischio di incidenti derivanti dal disordine presente in cantiere. Infatti, le staffe arrivano chiuse in pacchetti sotto forma di *valigetta*, assicurando pulizia ed ordine e rispettando così le disposizioni in materia di sicurezza sul lavoro nei cantieri edili presenti nel Decreto Legislativo n°81 del 14.01.2008.

La conformazione a *pacchetto* della staffa a spirale, inoltre, consente il suo trasporto all'interno del cantiere limitando il rischio di infortuni per gli operai nel cantiere, in quanto non è necessario l'uso di gru o di altri sistemi di sollevamento, limitando il pericolo di caduta dall'alto di materiale.

Nel caso in cui si effettui il taglio e la sagomatura in cantiere dei ferri per le staffe, i rischi per gli operai sono notevolmente maggiori rispetto al caso in cui si usino solo staffe Schnell, considerando i rischi insiti nelle suddette lavorazioni.

Spirex – La staffa continua a bracci verticali e passo variabile

Inoltre, l'assenza di uncini, limita la possibilità di taglio o graffi agli operai durante la loro posa in opera, essendo questi di forma particolare e dovendo posizionarli nel ridotto spazio della gabbia metallica.

5.5 Trasporto

Durante il trasporto dallo stabilimento di produzione al cantiere, considerato il minimo ingombro dei singoli pacchetti, si trasportano un maggior numero di *staffe continue a bracci verticali e passo variabile* rispetto alle staffe di tipo tradizionale, che spesso costituiscono un groviglio di ferro che, in conclusione, occupa più spazio e può essere pericoloso.

Una trave preassemblata ingombra quanto il corrispondente di ben 15 pacchetti Spirex legati. Con l'uso di Spirex il limite per il trasporto diviene il peso e non più il volume.

La conformazione a *pacchetto* consente il trasporto in unica soluzione dell'intero impalcato di un edificio e l'agevole raggiungimento di cantieri situati anche in zone disagiate.

Per ogni elemento arriva in cantiere un unico pacchetto, sintesi di tutti i ferri trasversali richiesti, con relativa etichetta contenente tutte le informazioni che lo caratterizzano univocamente e lo collegano al corrispondente elemento della struttura. Il codice di identificazione di progetto, le esatte dimensioni della geometria e del diametro del tondino di ferro, oltre al peso del singolo pacchetto, danno facili ed immediate informazioni che garantiscono un rapido ed esatto controllo.

6. CONCLUSIONI

In questo studio si è analizzato un particolare tipo di armatura trasversale in acciaio per le strutture in c.a., la *staffa continua a bracci verticale e passo variabile*, costituita da un solo tondino che avvolge l'armatura longitudinale senza interruzione dell'acciaio.

Dalle analisi effettuate si evince che questa nuova tipologia di staffa garantisce le caratteristiche meccaniche richieste dalla normativa vigente e, inoltre, avvalendosi di una tecnologia e geometria innovativa, presenta migliori caratteristiche tecnologiche rispetto le staffe di tipo tradizionale.

Il progettista potrà pertanto continuare ad usare i consueti strumenti di calcolo, certo che l'utilizzo in cantiere della staffa continua Spirex potrà solo migliorare le prestazioni delle strutture in c.a. a tutto beneficio dei coefficienti di sicurezza.

Tali risultati si sono ottenuti analizzando i seguenti aspetti:

- posa in opera
- risparmio di materiale
- risparmio energetico
- riduzione inquinamento ambientale
- riduzione infortuni per gli operai
- facilità di trasporto.

In particolare, le analisi condotte consentono di affermare quanto di seguito riportato.

1. Dal confronto fra l'uso di staffe tradizionali e *staffe continue a bracci verticali e passo variabile* si deduce una riduzione di tempo nella posa in opera della staffatura della carpenteria di un edificio. In particolare, si passa da una produttività della squadra tipo di posatori¹ di 144 kg/h, per le travi emergenti, e di 244 kg/h, per le travi a spessore, alle produttività corrispondenti di 422 kg/h e 499 kg/h per il nuovo *Sistema Schnell*.

¹ La squadra tipo di posatori considerata è formata da un operaio specializzato, da un operaio qualificato e da uno comune.

2. Per le travi emergenti, il risparmio percentuale in peso della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* rispetto alla staffa tradizionale, varia dal valore massimo di 18,53%, per la trave 30x30 e staffa ϕ 10 passo 8 cm, al valore minimo di 6,57%, per la trave 30x100 e staffa ϕ 10 passo 20 cm.
3. Per le travi a spessore, il risparmio percentuale in peso della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* rispetto alla staffa tradizionale, varia dal valore massimo di 20,58%, per la trave 60x25 e staffa ϕ 10 passo 8 cm, al valore minimo di 8,42%, per la trave 120x25 e staffa ϕ 10 passo 20 cm.
4. Per i pilastri, il risparmio percentuale in peso della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* ϕ 10 rispetto alla staffa tradizionale, varia dal valore massimo di 18,53%, per il pilastro 30x30 passo 8 cm, al valore minimo di 5,96%, per il pilastro 60x100 passo 20 cm.
5. Per le travi di fondazione, per staffe ϕ 10, con passo variabile da 8 a 20 cm, e per le travi con sezione tipo 1 (sezione con base 140x50 cm e anima 50x140 cm), e tipo 2 (sezione con base 130x40 cm e anima 40x130 cm), l'impiego della *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* del tipo M comporta, rispetto alla staffa tradizionale, un risparmio percentuale in peso di materiale, variabile dal valore massimo di 6,03%, per la trave tipo 2 passo 8 cm, al valore minimo di 4,88%, per la tipo 1 passo 20 cm.
6. Per un edificio che si sviluppa su tre impalcati, con una carpenteria tipo di 100 m², organizzata con travi emergenti 30x50 e con trave a spessore di spina 60x25 con staffe ϕ 10, e con pilastri 30x40 alti m 3,00 con staffe ϕ 10, l'impiego di *staffe continue a bracci verticali e passo variabile* comporta un risparmio energetico complessivo di 286,00 KWh rispetto all'impiego delle staffe tradizionali. Pertanto, l'impiego delle staffe continue Spirex comporta un risparmio medio di circa 1,0 KWh per metro quadrato d'impalcato.
7. Utilizzando le *staffe continue a bracci verticali e passo variabile* per l'armatura trasversale delle travi e dei pilastri, si determina mediamente un risparmio di

6. Conclusioni

ferro in tondini pari al 14,00% di quello utilizzato con staffe di tipo tradizionale. Per l'ambiente significa, quindi, risparmiare l'energia necessaria a fondere e formare circa 140.000 tonnellate di acciaio (mediamente il 14,00% di 1.000.000 tonnellate di tondino usato per staffatura).

8. Tutte le economie evidenziate nei punti 1 – 7 aumentano notevolmente (di circa il doppio) se si confronta la *Staffa Spirex* con le staffe ad U con cappellotto² che trovano ancora largo impiego in molte realtà.
9. Con il sistema Schnell la posa in opera dell'armatura di una trave è facile ed immediata. Infatti, un operaio può lavorare con le braccia all'interno della gabbia metallica in modo più spedito e sicuro per l'assenza di bordi taglienti o sbavature dei tagli dei tondini di ferro; in tal modo le operazioni si semplificano e non lasciano spazio ad errori di esecuzione manuale o incidenti. Inoltre, con la *staffa continua a bracci verticali e passo variabile* vi sono solo due estremi e quindi solo due legature di chiusura da dover realizzare, riducendo in tal modo, il rischio di infortuni per gli operai.
10. Durante il trasporto dallo stabilimento di produzione al cantiere, considerato il minimo ingombro dei singoli pacchetti, si trasportano un maggior numero di *staffe continue a bracci verticali e passo variabile* rispetto alle staffe di tipo tradizionale, che spesso costituiscono un groviglio di ferro che, in conclusione, occupa più spazio e può essere pericoloso. Una trave preassemblata ingombra quanto il corrispondente di circa 15 pacchetti Spirex legati. Con l'uso di Spirex il limite per il trasporto diviene il peso e non più il volume.
11. L'applicazione della staffa Spirex trova nel nodo la sua applicazione miglio-

² La tipologia di staffa tradizionale ancora molto diffusa in alcune realtà è quella che si compone di due pezzi: uno ad "U" costituito dal lato corto inferiore orizzontale della sezione e dai due bracci verticali (parte della staffa che reagisce a taglio), e l'altro, chiamato solitamente *cappellotto*, che completa la staffa per il lato corto superiore orizzontale. Le due parti così sagomate vengono disposte nelle loro posizioni definitive in fasi successive e quindi legate tra loro in corrispondenza di ganci ripiegati a 135° (errore grossolano, quanto frequente, è la ripiegatura dei ganci a 90° invece che a 135°) e prolungati per almeno 10 volte il diametro della staffa

re in termini di facilità di montaggio, garanzia della continuità e del confinamento del calcestruzzo, riduzione di tempi, rischi e costi. È sufficiente, infatti, sagomare una piccola spirale, limitatamente al nodo, disporla ancora legata al centro del nodo per poter agevolmente montare tutti i ferri delle travi concorrenti nel nodo stesso, quindi lasciare stendere la spirale semplicemente spezzando le legature.

A tutti questi vantaggi *misurabili* se ne deve però aggiungere *uno non sempre misurabile*, ma che costituisce un importante motivo per consigliare l'utilizzo della staffa continua Spirex rispetto alle staffe tradizionali. Questo vantaggio aggiuntivo è rappresentato dalla *certezza* che il numero e la posizione delle staffe sia quella richiesta dal progetto. Questa certezza è sicuramente ottenuta con l'uso della staffa continua Spirex indipendentemente dalla diligenza delle maestranze e dal livello di controllo in cantiere, non sempre agevole, da parte del direttore dei lavori. Questa certezza comporta tranquillità per il progettista/direttore dei lavori, sicuri che tutte le staffe siano presenti e distanziate esattamente come da progetto.

Indipendentemente da tutti gli altri notevoli vantaggi tecnologici, economici ed ambientali discussi in questo studio, si ritiene questo ultimo vantaggio della *certezza*, il più grande e decisivo fattore per consigliare l'adozione della staffa continua Spirex.