

IL RAGGIO DI CURVATURA NELLE BARRE PER CEMENTO ARMATO, ALLA LUCE DELLE PRESCRIZIONI DELL'EC2

GIOVANNA CONCU, Università di Cagliari
BARBARA DE NICOLO, Università di Cagliari
MONICA VALDES, Università di Cagliari

SUMMARY

In order to avoid damage to the reinforcement (bending cracks in the bar), EUROCODE 2 define the minimum permissible mandrel diameters, f_{min} .

In order to avoid failure of the concrete inside the bend of the bar, the mandrel diameter, should be increased: a mathematical expression for calculation of mandrel diameters is presented at p.8.3 of the Code.

In this paper, the clauses of EC2 have been applied to the reinforcement of a beam of civil building.

Tensile stress in the bended bars and concrete compressive stress inside the bend have been calculated. Results are analyzed and discussed.

1. INTRODUZIONE

La presenza di pieghe nelle barre è molto frequente nelle strutture di calcestruzzo armato e non solo nelle armature a taglio. Le pieghe sono presenti in molti nodi strutturali (trave-pilastro, trave a ginocchio, ecc.) e in generale nei casi di strutture curve o a sezione variabile. Pertanto gli aspetti connessi con la piegatura delle barre non devono essere trascurati in fase di progettazione, ma devono essere attentamente valutati e tenuti in conto, per le implicazioni che possono avere nei confronti del corretto funzionamento della sezione in calcestruzzo armato.

La piegatura deve essere effettuata meccanicamente a freddo, a velocità moderata, in modo tale da assicurare una curvatura regolare alla parte piegata [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Le operazioni di piegatura non devono danneggiare l'acciaio né il calcestruzzo: raggi di curvatura troppo piccoli possono creare microcricche nell'acciaio durante la piegatura; nel calcestruzzo possono verificarsi fenomeni fessurativi e schiacciamento a seguito delle eccessive pressioni che si verrebbero a creare in corrispondenza della piega. Inoltre la resistenza della barra ricurva è ridotta dalle tensioni residue prodotte dalle operazioni di piegatura [8].

Non è poi da sottovalutare la riduzione della lunghezza della barra a seguito della piegatura, che può provocare errori di posa in opera, come ad esempio la riduzione dell'interferro (in presenza di staffe), o la diminuzione della lunghezza di ancoraggio.

La Norma Europea propone i raggi minimi dei mandrini per la salvaguardia dell'acciaio, ed una formula per il calcolo del diametro minimo per la salvaguardia del calcestruzzo.

I valori che si ottengono dall'applicazione della formula, sono innumerevoli e differenti anche a parità di diametro della barra, a causa dell'elevato numero dei parametri da cui dipende. Ciò può causare problemi nella fase di realizzazione delle sagome, soprattutto se si opera all'interno di un impianto di presagomatura.

2. MANDRINI DI PIEGATURA E PRESCRIZIONI NORMATIVE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M.14.09.2005) [2] non forniscono regole precise riguardo le modalità di esecuzione della piegatura, né danno indicazioni sui controlli da eseguire per verificare l'integrità della barra dopo la piegatura.

La norma europea UNI EN 1992-1-1 [1], nella parte relativa ai dettagli costruttivi delle armature per cemento armato (Cap. 8 - p.8.3), è invece molto più dettagliata a riguardo. Al fine di salvaguardare l'acciaio durante le fasi di piegatura, i diametri minimi dei mandrini non devono superare i valori raccomandati, riportati in Tab. 1 e Tab. 2 rispettivamente per barre e fili, e per barre piegate saldate e reti piegate dopo la saldatura. Per salvaguardare il calcestruzzo nei confronti dello schiacciamento, oltre al rispetto del diametro minimo del mandrino devono essere rispettate altre due condizioni:

- l'ancoraggio della barra non necessita di una lunghezza superiore a 5ϕ oltre l'estremità della piegatura (Fig.1);

- la barra non è disposta in un bordo ed è presente una barra trasversale di diametro $\geq \Phi$ all'interno della piegatura (Fig. 2).

Diametro barra (mm)	Diametro minimo del mandrino (mm)
$\leq \Phi 16$	4 Φ
$> \Phi 16$	7 Φ

Tabella 1. Diametro dei mandrini per barre e fili

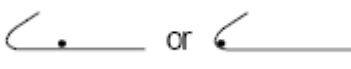
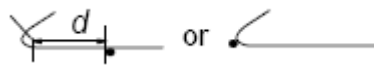
Diametro minimo del mandrino (mm)	
 or 	
5 Φ	$d \geq 3 \Phi$: 5 Φ $d < 3 \Phi$: 3 Φ saldatura interna alla piegatura: 3 Φ
Nota: Il diametro del mandrino per saldature interne alla piegatura può essere ridotto a 5 Φ se la saldatura è eseguita in accordo con l'Appendice B della Norma Europea di riferimento EN ISO 17660.	

Tabella 2. Diametro del mandrino per barre piegate saldate e reti piegate dopo saldatura

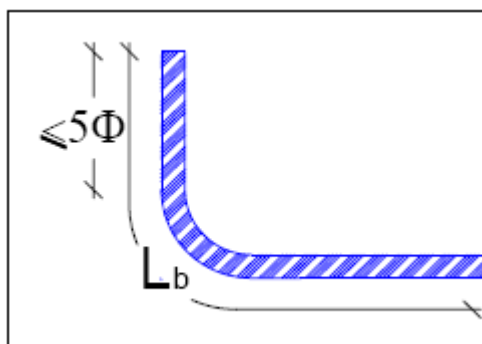


Figura 1. Piegatura per ancoraggio

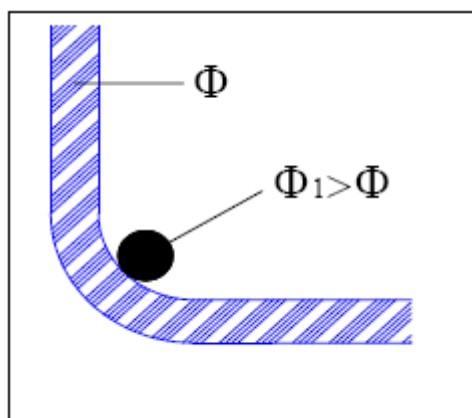


Figura 2. Barra trasversale interna alla piegatura

È chiaro che queste prescrizioni non sempre sono verificate per tutte le armature che necessitano di una piegatura; in questi casi la Norma [1] propone una formula per calcolare il diametro minimo del mandrino di piegatura, che assicuri l'integrità dell'acciaio e del calcestruzzo:

$$\Phi_{m,\min} = F_{bt} \cdot [(1/a_b) + (1/2\phi)] f_{cd} \quad (1)$$

dove:

- F_{bt} è la forza di trazione, allo stato limite ultimo, applicata alla barra o a un gruppo di

barre in contatto tra loro all'inizio della piegatura;

- a_b è la metà della distanza fra i baricentri delle barre (o del gruppo di barre) perpendicolari al piano di piegatura (se la barra è adiacente alla faccia dell'elemento si assume $a_b = c + \phi/2$);
- f_{cd} è la resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo;
- ϕ è il diametro della barra in considerazione.

In generale, i fenomeni indotti nel calcestruzzo costringono all'impiego di diametri di mandrino ben maggiori di quelli necessari per la sola salvaguardia dell'acciaio, quindi quanto prescritto per l'acciaio è sicuramente verificato da quanto si richiede per il calcestruzzo [8].

3. TENSIONI NEL CALCESTRUZZO IN PROSSIMITÀ DELLE PIEGHE

La presenza di pieghe nelle armature (ancoraggi, ferri piegati, ecc.), può essere causa di punte di tensione nel calcestruzzo, con successivo indebolimento o formazione di fessure. Ciò è dovuto al fatto che l'armatura accumula parte delle tensioni dovute agli sforzi agenti sulle strutture e le scarica nel calcestruzzo tramite l'aderenza.

Per ovviare a questo fenomeno è buona norma, a parità di area di armatura, distribuire la tensione in maniera più uniforme impiegando barre di piccolo diametro. Così facendo si evita di far scaricare la tensione dell'acciaio su un'area ridotta di calcestruzzo e si distribuiscono le tensioni stesse in modo uniforme lungo l'intera sezione (si avranno un numero maggiore di microfessure con apertura minore).

In prossimità di una piega di una barra tesa, la gran parte delle tensioni nel calcestruzzo sono dovute al raggio di curvatura della barra, che è causa di tensioni di compressione rivolte verso l'interno della piega (Fig. 3); perciò il raggio minimo di piegatura di una barra (quindi il diametro dei mandrini utilizzati per la piegatura delle armature) deve essere tale da ridurre al minimo queste pressioni.

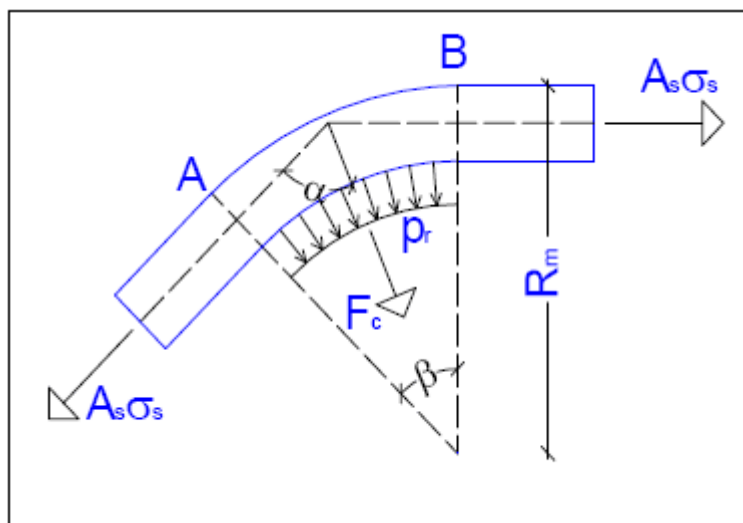


Figura 3. Risultante delle pressioni nel calcestruzzo

In generale, la risultante delle pressioni nel calcestruzzo in corrispondenza della piega dell'armatura vale: (Fig. 3)

$$F_c = 2 \cdot A_s \cdot \sigma_s \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

con:

A_s = area della sezione della barra piegata

σ_s = tensione agente nell'armatura

α = angolo tra la risultante delle trazioni nella barra e la risultante delle pressioni nel calcestruzzo.

La pressione radiale uniforme, riferita all'asse circolare della piegatura può essere espressa come [8, 9, 10]:

$$P_r = F_s/R_m \quad (3)$$

dove:

F_s = forza di trazione nell'armatura, valutata alla S.L.U;

R_m = raggio del mandrino di piegatura.

Di conseguenza, la compressione nel calcestruzzo, ripartita su una larghezza pari al diametro della barra, vale:

$$\sigma_c = P_r/\phi = F_s/\phi \cdot R_m \quad (4)$$

È evidente che quanto più piccolo è il raggio di curvatura tanto maggiore sarà la pressione nel calcestruzzo. Essa diventa ancor più pericolosa quando assume il carattere di spinta a vuoto, cioè quando l'interno della piega contiene solo il ricoprimento del calcestruzzo. In questi casi è indispensabile equilibrare tali spinte con apposite armature trasversali (staffe), oppure garantire l'ancoraggio separato dei due tronchi di barra [8].

4. ESEMPIO DI APPLICAZIONE DELLE PRESCRIZIONI DELLA EN 1992-1-1

Le prescrizioni dell'EC2 sono state applicate alla travatura intermedia di un comune edificio per civile abitazione, al fine di valutare, per le differenti situazioni progettuali presenti, le implicazioni del rispetto di tale clausola, sia dal punto di vista della presagomatura delle barre che degli adempimenti del progettista.

Sono stati verificati i diametri dei mandrini di piegatura necessari per le varie sagome e le tensioni nel calcestruzzo in corrispondenza delle pieghe.

La struttura presa in esame è costituita da una trave con due mensole di estremità, la cui geometria è schematizzata nella Figura 4 e in Tabella 3.

Le resistenze di calcolo dei materiali sono riportate in Tabella 4.

	Sezione (m)	Luce (m)
Trave	0,25 · 0,45	6,00
Mensola	0,25 · 0,35	1,50

Tabella 3. Geometria delle sezioni della trave

Calcestruzzo		Acciaio	
Rck 30 N/mm ²		B450C	
f _{cd}	15,8 N/mm ²	f _{yd}	391 N/mm ²

Tabella 4. Resistenze di calcolo dei materiali

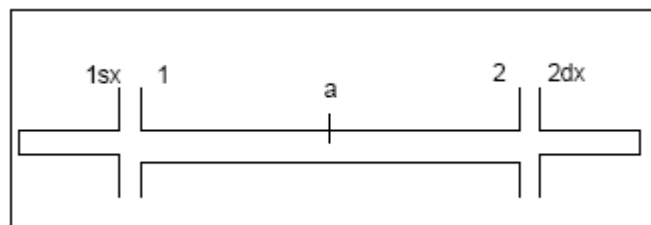


Figura 4. Schema della trave analizzata

La risoluzione della struttura ha portato alla determinazione, per la combinazione di carico allo S.L.U., delle azioni interne e delle armature, riepilogate in Tabella 5. La disposizione delle armature viene effettuata secondo lo schema di Figura 5: gli ancoraggi delle barre sono realizzati per sovrapposizione, solo nelle sezioni terminali si prevede una piega a 90°.

Sezione	M _d (kNm)	V _d (kN)	A _s richiesta	A _s usata (mm ²)	A' _s richiesta	A' _s usata (mm ²)
---------	-------------------------	------------------------	-----------------------------	--	------------------------------	---

			(mm ²)		(mm ²)	
1sx	- 64,76	86,34	620	770 (5Φ14)	231	308 (2Φ14)
1	- 98,22	138,73	712	770 (5Φ14)	370	462 (3Φ14)
a	136,60	-	990	1090 (3Φ14+2Φ20)	-	308 (2Φ14)
2	- 98,22	138,73	712	770 (5Φ14)	370	462 (3Φ14)
2dx	- 64,76	86,34	620	770 (5Φ14)	231	308 (2Φ14)

Tabella 5. Armature di progetto nelle principali sezioni della trave esaminata

La crisi delle sezioni avviene, in "campo 3", dove il calcestruzzo ha raggiunto la deformazione ultima e l'acciaio è in campo plastico, ma duttile.

In questa situazione sono state calcolate le tensioni presenti nel calcestruzzo in prossimità della piega a 45° dei ferri piegati e in corrispondenza della piega a 90° dell'armatura inferiore della trave principale.

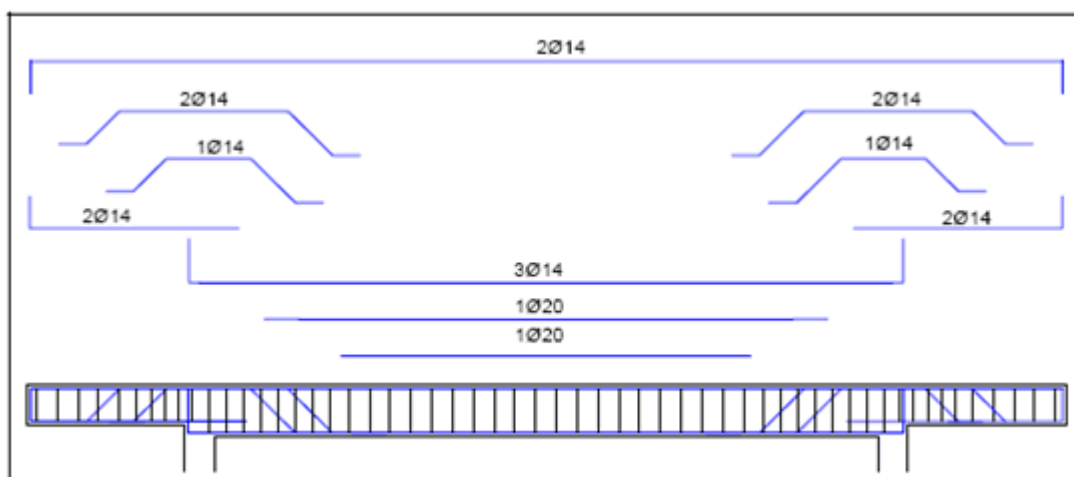


Figura 5. Armature di progetto

Sono state trascurate le pieghe terminali degli sbalzi dove, per le tensioni molto basse presenti, sono sufficienti i diametri minimi prescritti.

4.1 VERIFICHE PUNTUALI

4.1.1. Piega a 45°

La forza di trazione agente nella singola barra $\Phi 14$, è pari a $F_{bt} = 60,21$ kN (l'acciaio è snervato), per cui nel calcestruzzo, per la (2), la forza di compressione è $F_c = 46,0$ kN. Lungo lo sviluppo dell'arco di piegatura della barra, ipotizzato con un raggio di curvatura standard pari a 4Φ [1], si genera una compressione radiale $\sigma_c = 153,60$ N/mm², ben al di sopra della resistenza di progetto. Poiché non sono rispettati i requisiti contemplati dall'EC2 [1], per i quali non è necessario il controllo del diametro del mandrino, occorre applicare la formula della stessa norma per calcolare il diametro minimo del mandrino necessario per riportare le tensioni del calcestruzzo entro valori accettabili. Le barre in esame non si trovano in corrispondenza di un bordo della sezione, perciò nel calcolo, si deve fare riferimento all'interasse delle staffe, in questo caso pari a $i = 150$ mm. I calcoli, eseguiti con la (1), portano ad un diametro minimo di mandrino $\Phi_{m,min} = 187,05$ mm, pari a circa 13Φ .

4.1.2. Piega a 90°

In questo caso l'armatura, che è sollecitata da un'azione di trazione pari al taglio, è ancora in campo elastico, con $\sigma_s = 300 \text{ N/mm}^2$.

per contro, nel calcestruzzo, nella piega, supposta sempre con un raggio di curvatura pari a 4Φ , si genera una sollecitazione di compressione pari a $\sigma_c = 118,0 \text{ N/mm}^2$, ancora superiore alla resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo.

Dall'applicazione della (1) in questo caso si ottengono addirittura due diametri minimi: uno per le barre disposte lungo il bordo della sezione ($\Phi_{m,\min} = 188,3 \text{ mm} \sim 13,5\Phi$), l'altro per le barre più interne ($\Phi_{m,\min} = 143,65 \text{ mm} \sim 10\Phi$).

Da osservare che le barre sono del medesimo diametro e sollecitate dalla stessa azione di trazione.

4.1.3. Analisi dei risultati

Dagli esempi presi in esame sono scaturiti, per un medesimo diametro, tre differenti diametri di piegatura; ma il loro numero aumenta se si modificano le tensioni di sollecitazione o semplicemente variano i copriferri o l'interasse delle staffe.

Inoltre, sono state analizzate solo due tipologie di pieghe, per una normale trave a sezione rettangolare, ma la casistica è assai più vasta se si considera la molteplicità di sagome possibili nelle strutture in calcestruzzo armato.

Per evitare di eseguire così tanti calcoli e poter utilizzare il raggio di curvatura minimo, si sarebbe potuto incrementare il numero di barre nella sezione a parità di area d'acciaio, per ridurre il livello tensionale su ciascuna.

Ma inserire un maggior numero di ferri nella sezione non è sempre possibile o semplice, perché è nello stesso tempo necessario il rispetto delle dimensioni minime dell'interferro e del copriferro che potrebbe portare anche a variare le dimensioni geometriche della sezione. Di conseguenza occorrerà riprogettare la sezione allo Stato limite ultimo e di esercizio con notevole incremento di lavoro. In ogni caso, per il progettista è inevitabile una maggiore onerosità di calcoli e di specifiche sugli elaborati grafici in quanto è necessario indicare, per ogni singola barra, il diametro di piegatura da utilizzare.

Questa molteplicità di valori produrrebbe non pochi problemi alla sagomatura industrializzata delle armature, che sarebbe così depauperata della sua specificità: la standardizzazione.

5. ANALISI CRITICA DELLA FORMULA DELL'EUROCODICE

Al fine di valutare le differenze, rispetto ai diametri di piegatura minimi prescritti, sono stati calcolati, applicando la formulazione dell'EC2 (1), i diametri minimi di mandrino necessari, al variare del diametro della barra, nelle seguenti situazioni:

- Piegatura a 90° su bordo della sezione
- Piegatura a 90° interna
- Piegatura a 45° su bordo
- Piegatura a 45° interna

Tutti i casi sono stati analizzati considerando un calcestruzzo $R_{ck} 30 \text{ N/mm}^2$ e un acciaio d'armatura B450C, con copriferro pari 28 mm e interasse fra le staffe di 150 mm.

In Figura 6 è mostrata la variazione del diametro minimo del mandrino, al variare del diametro della barra, secondo la formula (1) dell'EC2, espressa in forma adimensionale ($k = \Phi_m / \Phi$), nei differenti casi analizzati.

Dai risultati ottenuti si evidenzia che in generale, le pieghe a 45° risultano le più penalizzate, perché richiedono un raggio di curvatura maggiore per garantire che il calcestruzzo non venga schiacciato.

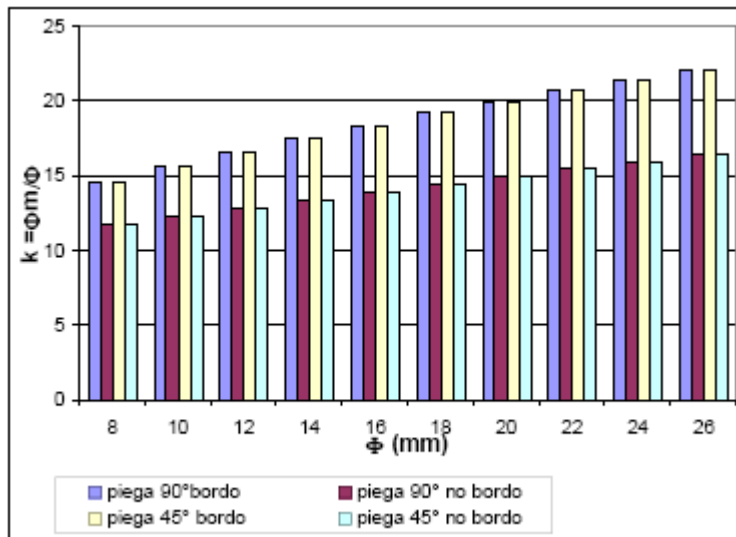


Figura 6. Valori del diametro minimo del mandrino secondo la formula dell'EC2

Si può osservare che non esiste differenza, a parità di posizione della barra nella sezione e di passo fra le staffe, tra piega a 90° e piega a 45°, ma c'è una netta variazione dei diametri minimi necessari, solo se si passa dal bordo sezione all'interno.

Questa differenza è dovuta probabilmente al fatto che la formula (1) vuole tenere conto delle elevate pressioni trasversali di trazione che si generano in corrispondenza del copriferro [9] e che possono generare spinte a vuoto e quindi distacchi locali del calcestruzzo, non essendo compensate da barre adiacenti (Figura 7).

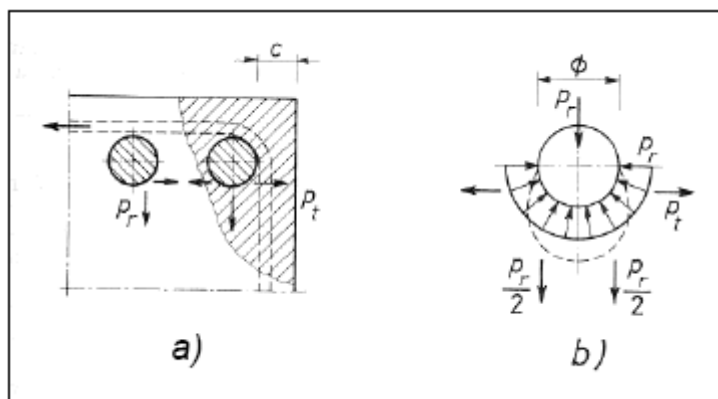


Figura 7. Pressioni trasversali di trazione nel copriferro, in corrispondenza della piega

Trattandosi di sollecitazioni estremamente pericolose, appare giustificato l'aumento del diametro di piegatura delle barre, al fine di ridurne il valore.

Se poi la zona compressa in prossimità della piega è costituita dal solo copriferro, occorre limitare maggiormente le pressioni disponendo una ulteriore armatura trasversale, generalmente staffe, oppure ancorando separatamente i due tratti con differente inclinazione. (Figura 8).

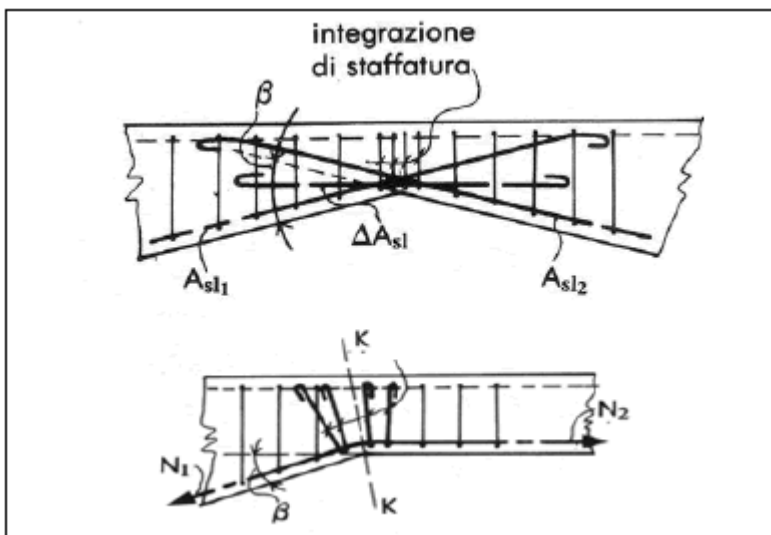


Figura 8. Esempi di staffatura integrativa

I raggi di curvatura necessari per barre interne sono decisamente inferiori a quelli necessari per barre in prossimità del bordo della sezione: la riduzione % del diametro minimo del mandrino per le barre interne alla sezione, rispetto a quelle sul bordo, rimane comunque costante e indipendente dal tipo di piega, come mostra la Figura 9. In relazione al diametro della barra la variazione si attesta fra il 19% e il 25,5%. Le stesse differenze percentuali si mantengono anche al variare della resistenza del calcestruzzo, che influenza solo il valore iniziale del diametro del mandrino, ma non sono sensibili al variare del diametro della barra (Figura 10).

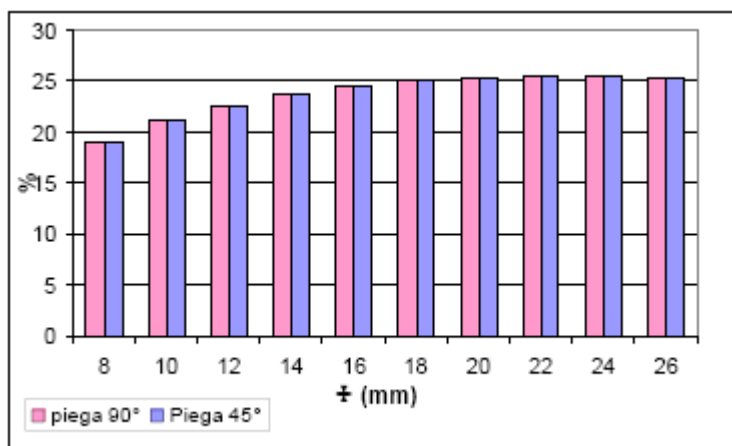


Figura 9. Riduzione % del diametro minimo del mandrino per barre interne rispetto a barre sul bordo

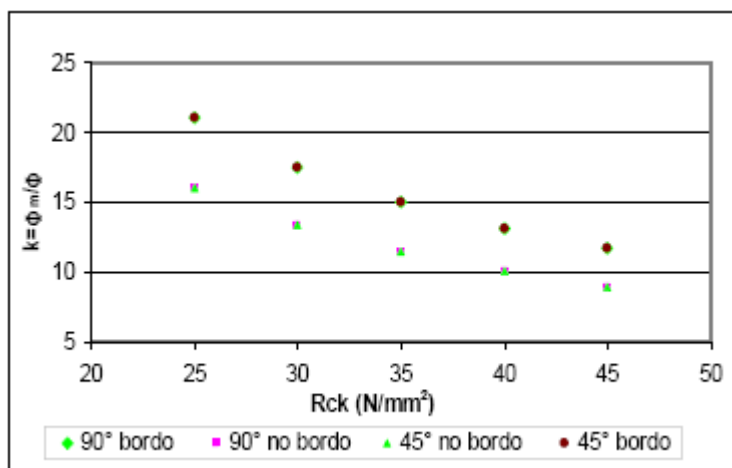


Figura 10. Variazione del diametro minimo di piegatura con la resistenza del calcestruzzo (secondo EC2)

Ancora una volta si può notare che non c'è differenza fra piega a 90° e piega a 45°: l'unica discriminante è la posizione della barra nella sezione di calcestruzzo.

La probabilità per il progettista di dover eseguire il calcolo del diametro del mandrino di piegatura è molto alta, anche per strutture semplici e con azioni di calcolo non particolarmente elevate, in quanto i valori minimi dei diametri di piegatura, 4Φ e 7Φ prescritti dall'EC2 per non danneggiare l'armatura, sono utilizzabili, senza danni per il calcestruzzo, solo per sollecitazioni di trazione molto basse.

La Figura 11 riporta i valori della massima azione di trazione che l'armatura può sopportare in corrispondenza della piega, con i diametri minimi di piegatura, senza causare lo schiacciamento del calcestruzzo; i valori sono differenziati al variare del tipo di piega.

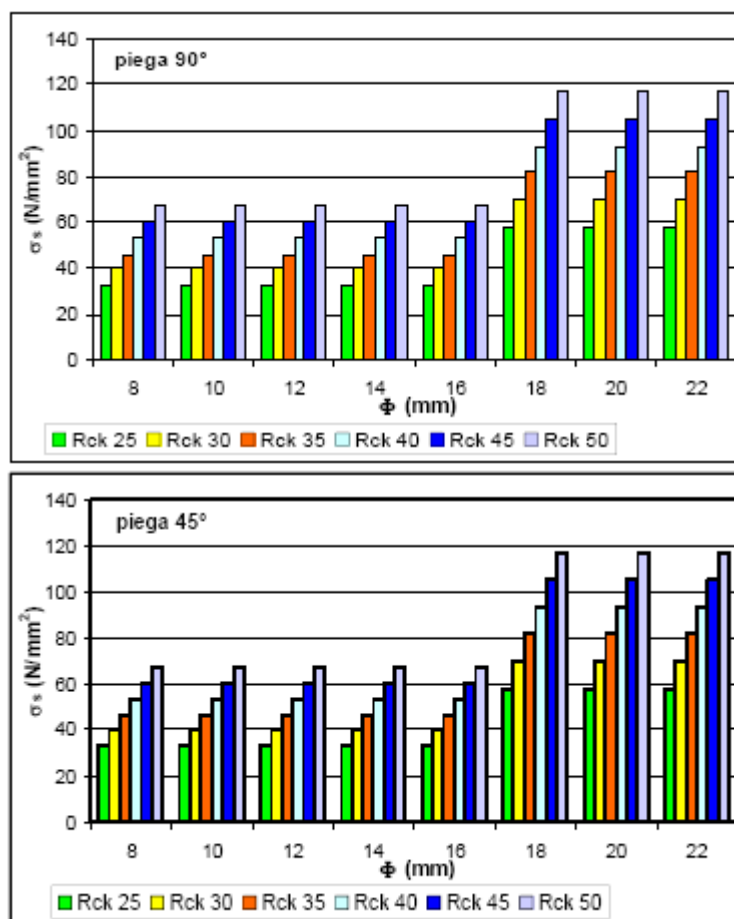


Figura 11. Massimi sforzi di trazione nell'armatura senza rottura per schiacciamento del calcestruzzo con i diametri minimi di piegatura

Affinché l'acciaio possa essere sfruttato al massimo, e nel contempo il calcestruzzo non arrivi a rottura per schiacciamento in corrispondenza della piega, i raggi di curvatura devono essere opportunamente aumentati.

I diametri che derivano dalla formulazione dell'EC2, pur maggiorati rispetto ai valori minimi, non appaiono tuttavia sufficienti alla salvaguardia del calcestruzzo; nell'esempio numerico visto in precedenza, le pressioni nel calcestruzzo, calcolate per la barra $\Phi 14$ con la (4), sono risultate rispettivamente pari a $44,0 \text{ N/mm}^2$ per il diametro di mandrino $\Phi_m = 187,05 \text{ mm}$ e $41,40 \text{ N/mm}^2$ per il diametro $\Phi_m = 143,65 \text{ mm}$.

Per riportare le pressioni nel calcestruzzo a valori inferiori alla resistenza di progetto, per la piega a 90° della barra sollecitata con una trazione di 300 N/mm^2 , sarebbe necessario incrementare il diametro di piegatura fino a $\Phi_m = 267 \text{ mm}$, pari a 19Φ , mentre per la piega a 45°, dove l'acciaio è già in campo plastico, occorrerebbe un diametro di piegatura pari a 39Φ ($\Phi_m = 546 \text{ mm}$). La Figura 12 mostra le pressioni che si sviluppano nel calcestruzzo, in corrispondenza della piega di una barra $\Phi 14$ piegata con diametro di piegatura calcolato con la formula (1) dell'EC2, al variare della resistenza di progetto f_{cd} del calcestruzzo, del tipo di piega e della posizione della barra nella sezione. Il calcolo in questo caso è stato eseguito ipotizzando la massima azione di trazione nell'acciaio.

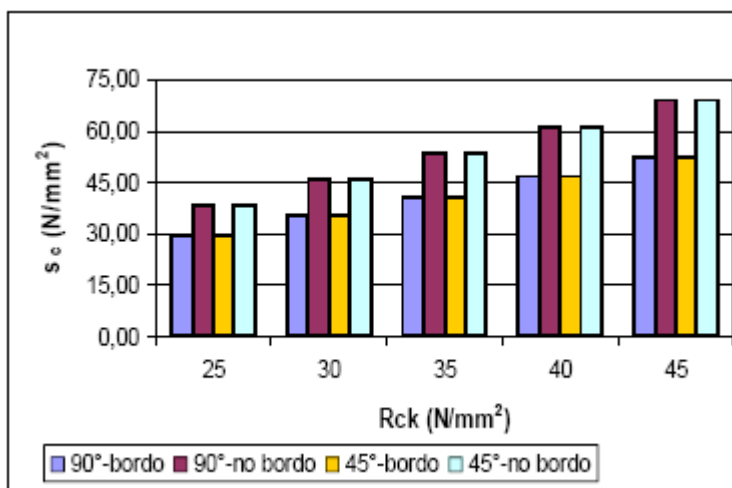


Figura 12. Compressionsi nel calcestruzzo in una piega eseguita con diametro di mandrino calcolato secondo l'EC2

Si può osservare che le pressioni raggiunte nel calcestruzzo non sono compatibili con i normali valori delle resistenze di progetto, quindi, anche i valori proposti dall'EC2 con la formula (1) andrebbero aumentati, al fine di riportare le compressioni all'interno della piega a valori accettabili.

La letteratura tecnica [8, 9] suggerisce valori del raggio di curvatura non inferiori a $10/15\Phi$.

In Figura 13 sono infine riportati i diametri minimi di piegatura (espressi in forma adimensionale) per i quali, allo S.L.U, l'acciaio è in grado di raggiungere la tensione di snervamento senza che il calcestruzzo superi la resistenza di progetto, in corrispondenza della piega. Non esiste differenza di comportamento al variare del tipo di piega: la pressione nel calcestruzzo è funzione del solo diametro della barra e della forza che essa è in grado di sopportare.

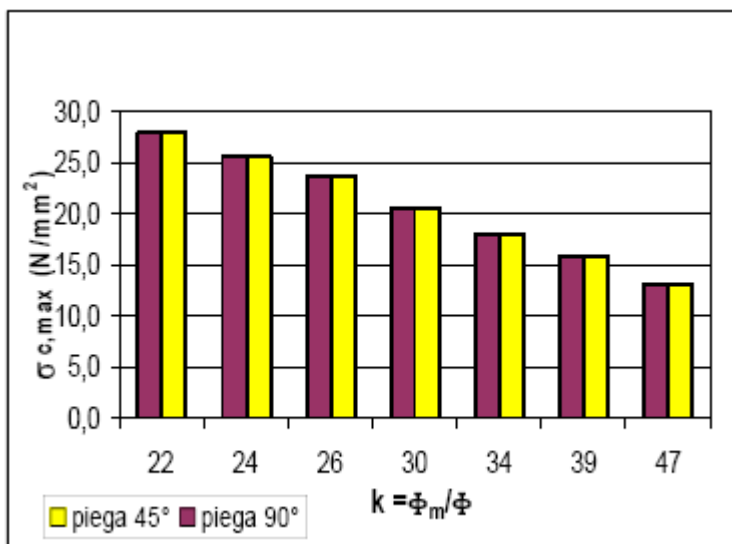


Figura 13. Diametri di piegatura necessari al raggiungimento del campo plastico nell'acciaio

Per un calcestruzzo di media resistenza ($R_{ck} 35 \text{ N/mm}^2$), la piegatura delle barre deve essere eseguita impiegando un mandrino di diametro almeno pari a 34Φ , se si vuole salvaguardare l'integrità del calcestruzzo nella piega, e quindi il corretto funzionamento dell'intera sezione.

I diametri minimi di 4Φ e 7Φ non sempre sono impiegabili in pratica, in quanto le pressioni che si generano nella piega non sono compatibili con le normali resistenze del calcestruzzo, a meno che le tensioni di trazione nelle barre siano molto basse.

6. CONCLUSIONI

In questo lavoro sono state analizzate le problematiche connesse all'applicazione delle

prescrizioni dell'EC2 sulla piegatura delle barre nel calcestruzzo armato. La norma fornisce le indicazioni per determinare il diametro minimo di piegatura al fine di non danneggiare né l'acciaio né il calcestruzzo.

I valori dei raggi di curvatura che si ottengono sono innumerevoli, soprattutto se ricorrono le condizioni per l'applicazione della formula per il controllo del diametro del mandrino.

La formulazione proposta dall'EC2 fornisce risultati differenti anche per barre che, pur avendo lo stesso tasso di lavoro e lo stesso diametro, si trovano in posizione differente all'interno della sezione. Le barre sul bordo sono sempre più penalizzate e necessitano di un raggio di piegatura maggiore. Queste differenze possono provocare serie difficoltà nella posa in opera delle barre che, anche a parità di sagoma, avrebbero già predefinita una posizione nella sezione dell'elemento strutturale; inoltre l'onerosità dei calcoli per il progettista aumenterebbe a dismisura, anche per strutture di modeste dimensioni.

Una così vasta gamma di diametri di piegatura mal si concilia con la presagomatura industrializzata delle barre, perché costringerebbe a molteplici cambi dei mandrini all'interno della lavorazione di uno stesso diametro.

Dagli esempi numerici presentati è stato messo in evidenza che la formulazione proposta dall'EC2 per il calcolo del diametro di piegatura delle barre comporta la necessità di una grande attenzione e di conseguenza una notevole mole di lavoro per il progettista, affinché sia salvaguardata l'integrità del calcestruzzo, in quanto molto spesso, dai nostri calcoli, non è risultato un diametro di mandrino atto ad evitare il superamento della resistenza a compressione del calcestruzzo all'interno della piega.

Sarebbe pertanto auspicabile un riesame di tale formula, viste le difficoltà operative che essa comporta. Sarebbe opportuno l'inserimento di nuovi gruppi di diametri di mandrino, impiegabili nelle diverse situazioni descritte, che garantiscano la limitazione delle pressioni nel calcestruzzo; in questo modo si potrebbe trovare il giusto compromesso fra l'esigenza degli impianti di presagomatura di ridurre al minimo i cambi dei diametri dei mandrini con quella del progettista di evitare ulteriori calcoli per le singole armature presenti nella struttura.

Il problema è aperto e la soluzione non è univoca, a causa dei numerosi fattori da cui dipende.

La casistica analizzata in questo lavoro è stata limitata a due soli tipi di piega, ma essa è molto più vasta data la varietà delle tipologie di strutture in calcestruzzo armato.

Occorrono sicuramente ulteriori studi per approfondire il problema, in collaborazione anche con le aziende che operano nel settore della presagomatura industrializzata.

Si auspica infine che anche nella Norma Italiana sia presto inserita una clausola che specifichi i diametri minimi dei mandrini da impiegare per la realizzazione delle pieghe nelle armature, oltre a delle regole pratiche per la disposizione corretta delle armature trasversali in prossimità delle pieghe, al fine di garantire in ogni situazione la salvaguardia sia dell'acciaio che del calcestruzzo.

7. BIBLIOGRAFIA

[01] UNI EN 1992-1-1, "Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.", 2005.

[02] D.M. 14.09.2005, "Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n. 222 del 23.09.2005, S.O. n. 159 - 2005.

[03] B. De Nicolò, L. Pani, "Il Manuale della Presagomatura" Stampa Arti Grafiche Pisano, Cagliari, pp.75, ottobre 2002.

[04] B. De Nicolò, "Giunzioni ed ancoraggi nel cemento armato. Normativa, realtà progettuale e costruttiva" Conferenza SAIE 2002: La presagomatura dell'acciaio per cemento armato. Le proposte dei sagomatori. Bologna 19 ottobre 2002.

[05] B. De Nicolò, L. Pani, "Progettazione esecutiva di una struttura in cemento armato. Normativa tecnica", COSTRUZIONIDUE, Ed. la fiaccola srl, Milano, aprile-maggio 2003, pp. 76-85.

[06] F. LEONHARDTH, E. MONNIG, "C.A. e C.A.P. Calcolo di progetto e Tecniche costruttive. Vol.I. Le basi del dimensionamento nelle costruzioni in cemento armato", Ed. ETS, 1978.

[07] F. LEONHARDTH, E. MONNIG, " C.A. e C.A.P. Calcolo di progetto e tecniche costruttive Vol. 3. L'armatura nelle costruzioni in cemento armato. Statica, tecnologia, tipologia", ISBN 88 2140 5419, Ed. ETS, 1977.

[08] **A. Migliacci, F. Mola**, "Progetto agli stati limite delle strutture in c.a., parte seconda", Masson Italia Editori, Milano, 1985.

[09] **L. SANTARELLA**, "Il Cemento Armato. La Tecnica e la Statica" 21a edizione, ISBN 88-203-2086-X, HOEPLI Editore, 1994.

[10] **O. BELLUZZI**, "Scienza delle costruzioni" ISBN 8806 01250 6, Ed. Zanichelli, 1940.

Contatti con gli autori:

Giovanna Concu: g.concu@tiscali.it

Barbara De Nicolo: denicolo@unica.it

Monica Valdés: moni.valdes@tiscali.it