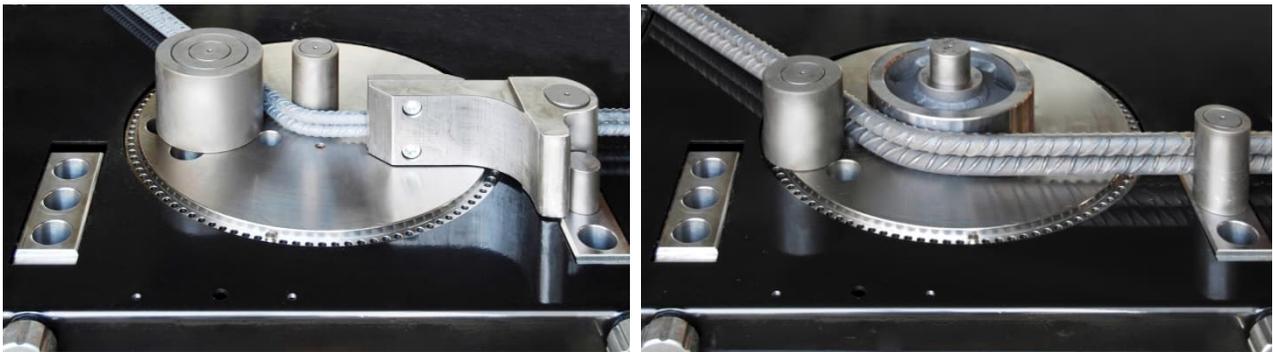


Curvatura delle barre di armatura in fase di calcolo

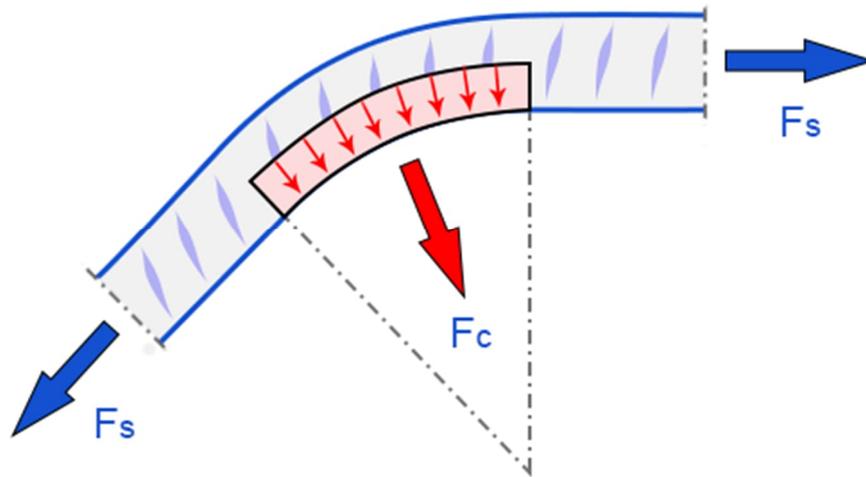
L'innovazione nei processi produttivi del settore edilizio mette al centro la fase di progettazione, soprattutto con l'introduzione di processi BIM che richiedono ai progettisti prototipazioni con alti livelli di dettaglio. Per seguire questa tendenza appare indispensabile considerare la piegatura delle barre di armatura con curvature corrette, anziché a spigolo vivo, anche nella fase di verifica strutturale e alcuni software sono in grado di gestirla da tempo.

Nel passato per affrontare la progettazione e la verifica di elementi in cemento armato manualmente, con carta e penna per capirci, si sono sempre introdotte molte semplificazioni e non si indugiava certo nel considerare barre di armatura piegate a spigoli vivi nei disegni esecutivi, con le relative conseguenze per collisioni, interferri, lunghezze di ancoraggio, bracci di forze interne, etc. Nella loro fabbricazione, però, era comunque necessario sagomarle curvandole in funzione del diametro, obbligando la barra a piegarsi attorno ad un mandrino di diametro opportuno.



Piegatura di barre d'armatura con macchine piegatrici Tecmor

Questa esigenza è imposta dalla normativa tecnica ed è dettata principalmente dalla necessità di evitare danneggiamenti dell'acciaio in fase di piegatura a freddo, incrudimento, concentrazioni di tensione e fessurazioni del calcestruzzo nelle zone vicine alla piega.



Effetto della curvatura barra sul calcestruzzo

Normativa

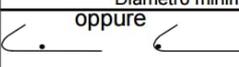
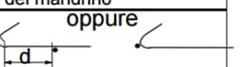
Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018) non forniscono riferimenti sulle curvature da considerare nelle piegature delle barre. Alcune indicazioni si trovano, invece, nella norma tecnica del '96 (DM 16/01/1996).

PROSPETTO 2-I

Tipo di acciaio		Fe B 38 k	Fe B 44 k
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk} N/mm ²	≥ 375	≥ 430
Tensione caratteristica di rottura	f_k N/mm ²	≥ 450	≥ 540
Allungamento A_5	%	≥ 14	≥ 12
	Piegamento a 180° su mandrino avente avente diametro D		
	fino a 12 mm	3Ø	4Ø
	oltre 12 mm fino a 18 mm	6Ø	8Ø
Per barre ad aderenza migliorata aventi Ø (*)	oltre 18 mm fino a 25 mm	8Ø	10Ø
	oltre 25 mm fino a 30 mm	10Ø	12Ø

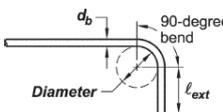
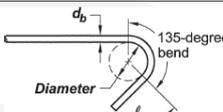
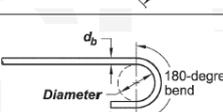


Altre norme danno indicazioni più dettagliate come ad esempio l'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1) e relativo annesso nazionale italiano.

Paragrafo	Riferimento	Parametro nazionale - valore o prescrizione -								
8.3 (2)	Nota	<p>Si adottano i valori $\phi_{m,min}$ raccomandati dati nel Prospetto 8.1N.</p> <p>Prospetto 8.1N: Diametro minimo del mandrino per evitare danni all'armatura</p> <p>a) per barre e fili</p> <table border="1"> <tr> <th>Diametro barra</th> <th>Diametro minimo del mandrino per Piegature, uncini, ganci (vedere Figura 8.1),</th> </tr> <tr> <td>$\phi \leq 16$ mm</td> <td>4ϕ</td> </tr> <tr> <td>$\phi > 16$ mm</td> <td>7ϕ</td> </tr> </table> <p>b) per barre piegate saldate e reti piegate dopo saldatura</p> <p>Diametro minimo del mandrino</p> <p>oppure  oppure </p> <table border="1"> <tr> <td>5ϕ</td> <td> $d \geq 3\phi$: 5ϕ $d < 3\phi$ o saldatura interna alla piegatura: 20ϕ </td> </tr> </table> <p>Nota: Il diametro del mandrino per saldatura interna alla piegatura può essere ridotta a 5ϕ se la saldatura è eseguita in accordo con l'Allegato B della norma prEN ISO 17660.</p>	Diametro barra	Diametro minimo del mandrino per Piegature, uncini, ganci (vedere Figura 8.1),	$\phi \leq 16$ mm	4ϕ	$\phi > 16$ mm	7ϕ	5ϕ	$d \geq 3\phi$: 5ϕ $d < 3\phi$ o saldatura interna alla piegatura: 20ϕ
Diametro barra	Diametro minimo del mandrino per Piegature, uncini, ganci (vedere Figura 8.1),									
$\phi \leq 16$ mm	4ϕ									
$\phi > 16$ mm	7ϕ									
5ϕ	$d \geq 3\phi$: 5ϕ $d < 3\phi$ o saldatura interna alla piegatura: 20ϕ									

Le norme americane (ACI 318-14), a questo proposito, sono invece assai dettagliate.

Table 25.3.2—Minimum inside bend diameters and standard hook geometry for stirrups, ties, and hoops

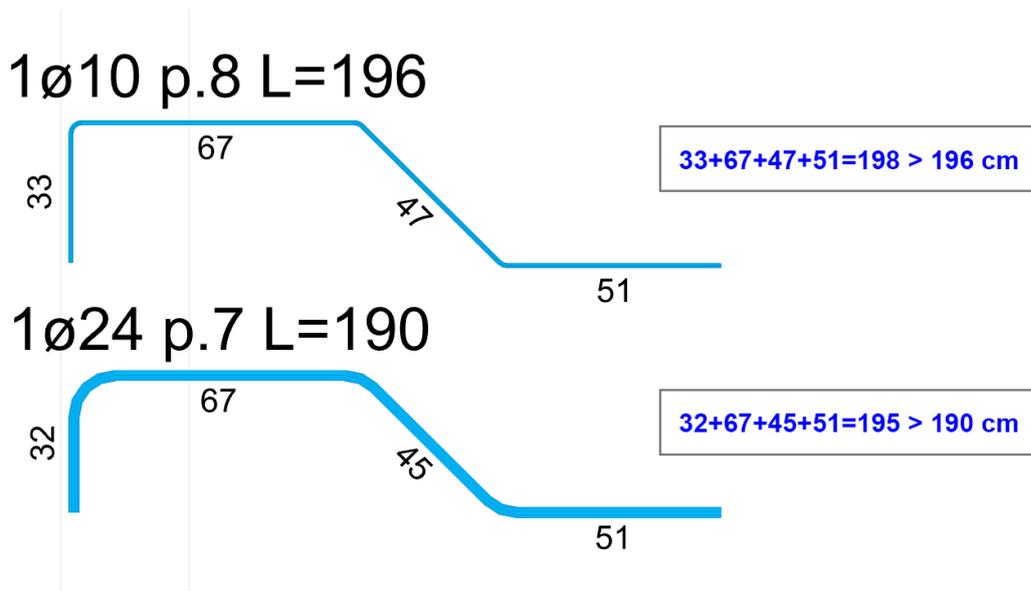
Type of standard hook	Bar size	Minimum inside bend diameter, in.	Straight extension ^[1] ℓ_{ext} , in.	Type of standard hook
90-degree hook	No. 3 through No. 5	$4d_b$	Greater of $6d_b$ and 3 in.	
	No. 6 through No. 8	$6d_b$	$12d_b$	
135-degree hook	No. 3 through No. 5	$4d_b$	Greater of $6d_b$ and 3 in.	
	No. 6 through No. 8	$6d_b$		
180-degree hook	No. 3 through No. 5	$4d_b$	Greater of $4d_b$ and 2.5 in.	
	No. 6 through No. 8	$6d_b$		



Influenze in verifiche con software di calcolo

I primi software di calcolo strutturale in grado di produrre disegni esecutivi non arrivavano a descrivere l'armatura fin nei dettagli della curvatura delle barre ma non è passato molto tempo prima di scorgerne lo sviluppo almeno nelle staffe. Apprezzare in un esecutivo la curvatura non vuol dire però averla considerata anche in fase di verifica. Ciò comporta, infatti, qualche problema in più rispetto a considerarla composta da tratti rettilinei.

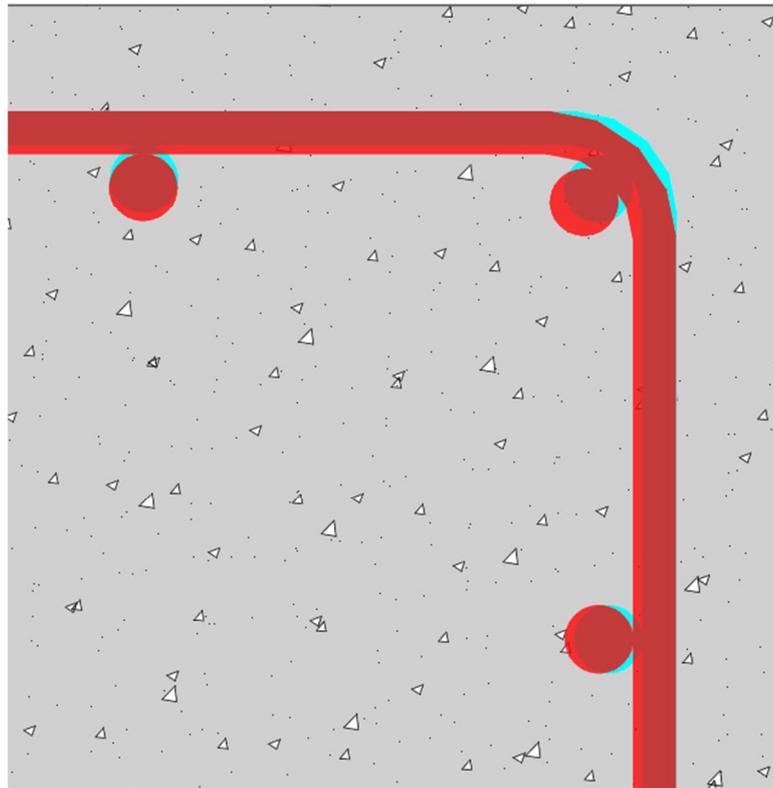
Una delle differenze tra barre con o senza curvature nelle pieghe è la loro diversa lunghezza, specialmente nel caso di grandi diametri. Un software di calcolo che considera una barra composta da più pezzi rettilinei, può calcolare la sua lunghezza in modo diverso da uno che la considera definita dalla polilinea d'asse e relative curvature, con ricadute nella produzione.



Quotature in un disegno esecutivo di Sismicad. Si evidenziano le differenze di lunghezza, in due barre di diametro diverso, rispetto alla somma delle lunghezze nominali dei singoli tratti rettilinei di cui sono costituite.

Come evidenziato nella figura precedente, per diametri maggiori la differenza di lunghezza totale della barra rispetto alle lunghezze nominali (riferite agli assi) dei singoli tratti è più evidente. Nella maggior parte dei casi, e per strutture comuni, questo è del tutto trascurabile ma nella posa in opera potrebbero potenzialmente essere causa di collisioni tra le barre o indurre a non rispettare il copriferro di calcolo.

C'è poi la questione legata alla curvatura delle staffe che obbliga, nelle zone di spigolo, a spostare le barre verso l'interno sia nelle travi che nei pilastri. Ad esempio, in un semplice pilastro il cambio di staffa da ø8 a ø10 comporta, a parità di copriferro, lo spostamento di tutte le barre longitudinali di 2mm ma per le barre di spigolo bisogna sommare altri 1,2mm legati alla differenza di curvatura della staffa.



Sovrapposizione armature in pilastro 30x30 nel caso di staffa $\varnothing 8$ (ciano) e $\varnothing 10$ (rosso):
a parità di copriferro, la curvatura della staffa impone alla barra di spigolo uno spostamento in verticale di 3,2 mm e non solo di 2 mm.

In questo caso l'effetto nel calcolo corrisponde ad una piccolissima variazione del momento resistente della sezione (una frazione di punto percentuale) ma in altri casi potrebbe essere di più.

Tutte queste differenze sono state valutate attraverso Sismicad, un software di calcolo strutturale ad elementi finiti in grado di gestire anche verifiche normative ed esecutivi di cemento armato, che consente una valutazione interattiva dei parametri di resistenza in funzione di quanto è stato più sopra esposto.

Elaborati grafici con software di calcolo

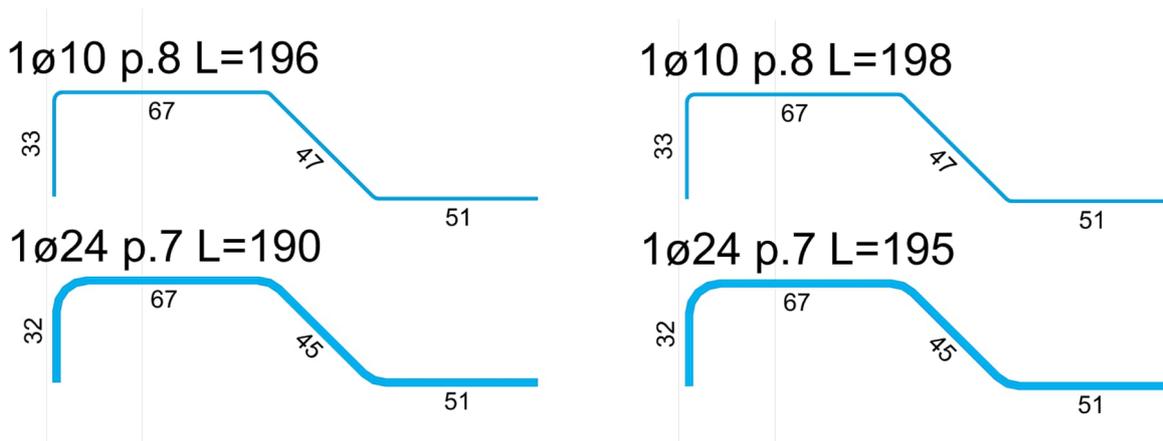
Gli elaborati grafici esecutivi un tempo venivano creati manualmente con tecnigrafi, righe, squadrette, matite, gomme (tante gomme), lamette da barba (chi ha disegnato con carta da lucido e inchiostro di china lo sa), etc. Successivamente con i computer ed il CAD sono cambiati i mezzi ma il metodo è rimasto praticamente lo stesso: si definiscono i dettagli indispensabili evitando il più possibile perdite di tempo. Le problematiche relative alle curvature alle barre di armatura sono spesso tralasciate, a meno dell'utilizzo di applicativi CAD specifici per il disegno ed il computo.



L'interesse nel gestire questi dettagli è sempre stato assai limitato anche in relazione alla necessità di produrre elaborati grafici su carta. Per intuibili motivi, ancora adesso non si possono stampare tavole in numero troppo elevato o con dimensioni ingestibili e le scale di rappresentazione normalmente adottate non consentono di apprezzare dettagli troppo piccoli, incompatibili con le tolleranze di posa tipiche dei cantieri italiani. Infatti, nell'esplosione dei ferri di una trave, elemento sul quale si concentrano tantissime attenzioni dei tecnici, prodotto in scala 1:50, una barra $\varnothing 14$ ha uno spessore nel disegno di 0,28mm, confrontabile con lo spessore di un tratto leggibile, e la differenza in una piega a 90° tra tratto curvo e spigolo vivo sarebbe ancora minore di quest'ultima grandezza.

Un software di calcolo che crea disegni esecutivi consente però di spingersi più avanti, visto che può avere il controllo tridimensionale della disposizione delle barre all'interno di una cassetta. Addirittura, in software di questo tipo si è arrivati a gestire particolari opzioni esclusivamente di disegno per garantire al singolo professionista di realizzare documenti adeguati a propri standard sia ingegneristici che formali.

Sismicad, ad esempio, può esporre le lunghezze delle barre tenendo conto o meno degli effetti legati alla curvatura degli angoli di piega.

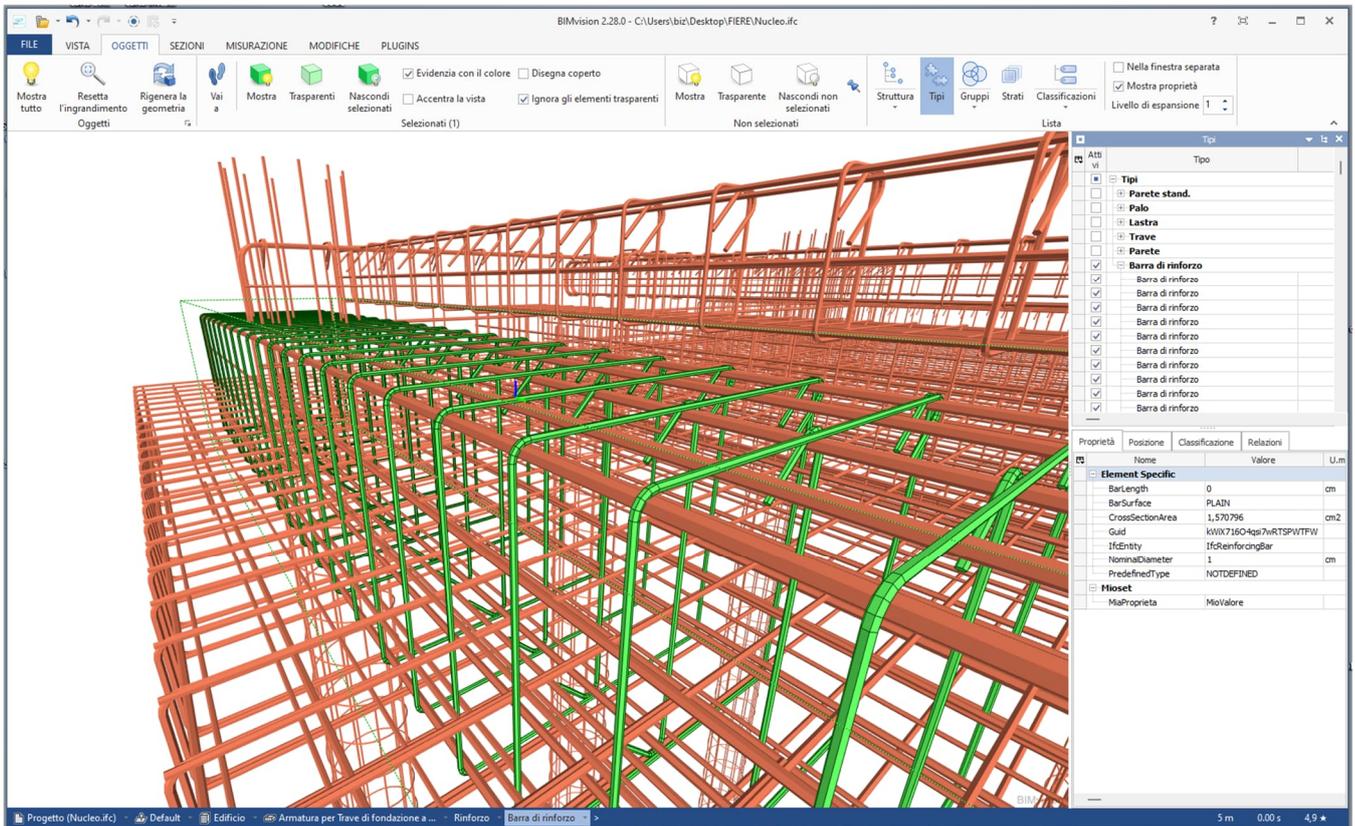


Quotatura delle barre considerando o meno l'opzione di lunghezza in funzione del diametro mandrino di piegatura con Sismicad

Progettazione in funzione del BIM

Nella gestione del processo progettuale, la fase di definizione degli elaborati grafici necessari per arrivare alla produzione dei manufatti viene chiamata "digital fabrication". Questa fase impone la definizione delle caratteristiche di un'opera attraverso documentazioni comprensibili e prive di ambiguità. Per comunicare queste informazioni, nel tempo si sono creati degli standard di comunicazione che prevedono notazioni, simbologie e semplificazioni: in pratica un linguaggio comune tra tecnici e costruttori.

I processi BIM possono richiedere di condividere tra tutti gli staff di progettazione livelli di dettaglio molto alti fino ad arrivare a quello chiamato comunemente "as built" (così come sarà costruito), utilizzando però nuovi standard che sfruttano la rappresentazione grafica tridimensionale.



Visualizzazione in Datacomp BIM Vision di un file IFC esportato da Sismicad

Appare evidente come nel digital fabrication sia necessario demandare al software l'automazione del maggior numero di operazioni possibili conservando la massima corrispondenza formale con la realtà realizzativa.

Per questo motivo Sismicad prevede l'esportazione attraverso file IFC (Industry Foundation Classes) anche delle armature tridimensionali progettate, dotate delle stesse curvature delle barre di armatura considerate in fase di verifica.

Conclusioni

L'argomento qui trattato è un esempio di come si siano sviluppati in questi ultimi anni i software di calcolo strutturale. Cose che tempo fa si consideravano troppo complicate da trattare in funzione dei vantaggi che apportavano, ora sono gestibili automaticamente e arrivano a caratterizzare i prodotti di riferimento del settore.

Le esigenze dettate dal BIM saranno sempre più numerose e sofisticate e, probabilmente, porteranno dei vantaggi competitivi ai costruttori che possono spostare nella fase di progettazione la gestione di problematiche finora gestite in cantiere, con minori costi globali.



I tecnici del calcolo strutturale si stanno già confrontando con nuovi metodi di lavoro ma non dovranno certo dimenticare il proprio ruolo, continuando ad usare i software che soddisfano al meglio quanto è richiesto dalla loro professione e che sono spesso già molto più sofisticati di quanto si pensi.

Concrete srl
Ing. Gianni Bizzotto