



# DIAGNOSI, PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE DI UN INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO SISMICO CON FRP SU UN CAPANNONE INDUSTRIALE PRIMA PARTE

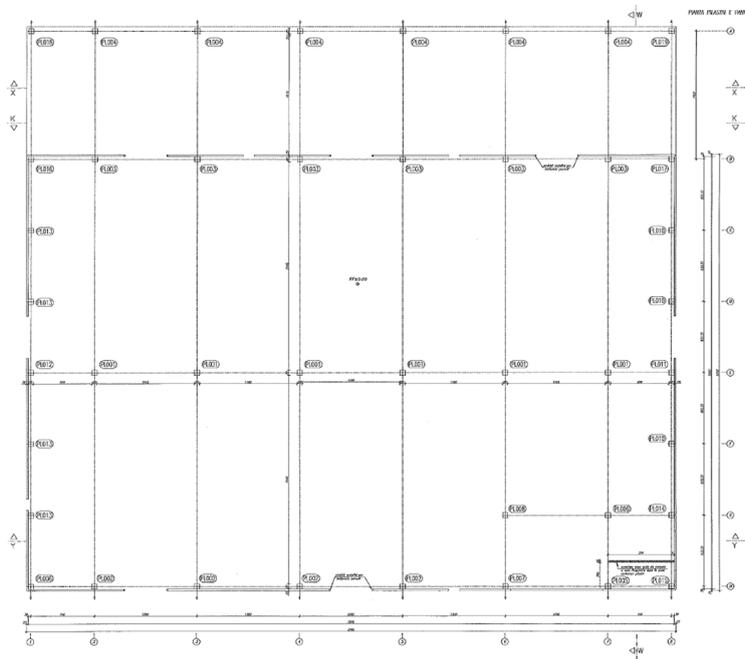
Il presente articolo tecnico, diviso in due parti, illustra l'intervento di miglioramento di due classi sismiche eseguito su un capannone industriale edificato nel 2002 sulle colline emiliane in prossimità di Porretta Terme (BO) e di proprietà della Società CAFFITALY SYSTEM SPA azienda leader nella produzione dei cialde per caffè; La struttura prefabbricata costituita da 40 pilastri ospita su 9000 mq una delicata produzione alimentare operativa in continuità 24 ore al giorno e 7 giorni alla settimana. Come tristemente noto molti episodi sismici hanno evidenziato la vulnerabilità degli edifici prefabbricati in c.a. e c.a.p, per lo più destinati ad attività industriali progettati e costruiti con l'applicazione dei criteri antisismici dell'epoca.

Dal punto di vista imprenditoriale, la vulnerabilità sismica si traduce in primis nella salvaguardia della sicurezza dei propri lavoratori, poi in quella del patrimonio aziendale che non è solo costituito dall'immobile, e dagli impianti produttivi, ma comprende anche concetti quali fermo produzione e perdita di quote di mercato.

Il focus di questo primo contributo è posto sulla fase progettuale dell'intervento, atta a migliorare di due classi sismiche la struttura mentre la seconda la parte verterà sugli aspetti esecutivi dell'intervento.

## LA STRUTTURA

La struttura portante a telaio in c.a. presenta plinti di fondazione a bicchiere su cui poggiano pilastri in c.a. prefabbricati collegati tra di loro da travi precomprese sia perimetrali che interne. La copertura del capannone è composta da tegoli prefabbricati e precompressi di due tipologie di sezione differenti. La copertura è stata realizzata con pannelli in lastrine fissate all'estremità dei tegoli. Le pareti di chiusura del capannone sono realizzate con pannelli prefabbricati vincolati ai pilastri in c.a. con squadrette, tipo HALFEN non efficaci agli spostamenti di ribaltamento indotte da possibili azioni sismiche. Tutti i pilastri in c.a. hanno sezione 60x60cm con altezze leggermente differenti tra di loro a seconda dell'allineamento considerato. L'armatura longitudinale in angolo  $\Phi 20$  e staffe  $\Phi 6/25$ ; nella parte inferiore sono presenti 3 barre longitudinali per ciascun angolo che si riducono fino ad 1 sola per ciascun angolo in sommità. Nel disegno qui sotto è riportata la pianta dello stabilimento



## LA VERIFICA DELLA VULNERABILITA' SISMICA

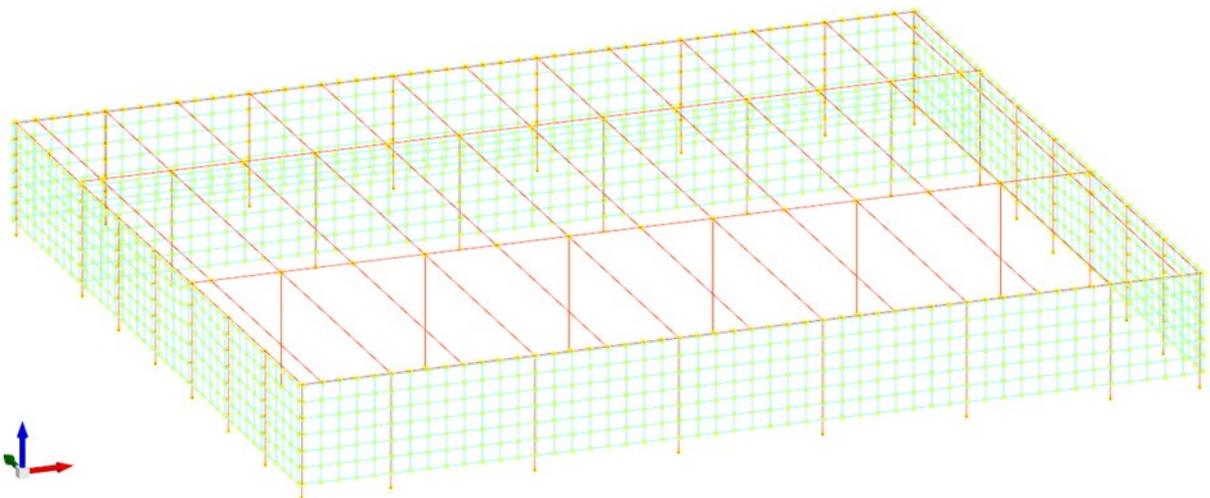
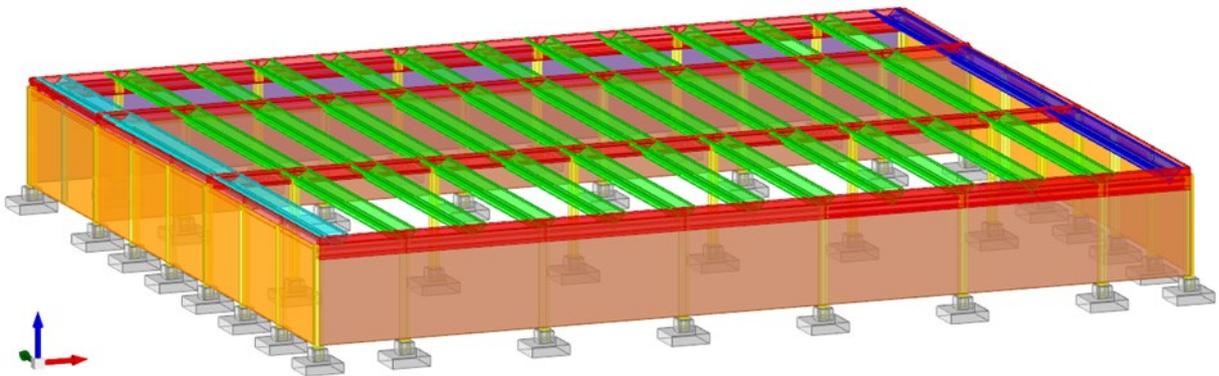
Si è partiti nell'analisi generale del capannone e dai disegni originali presenti. Successivamente si è cercato di verificare la qualità dei materiali che ne costituiscono la struttura partendo con un rilievo visivo e geometrico, per poi continuare con prove pacometriche, ultrasoniche e sclerometriche necessarie per individuare le proprietà meccaniche del calcestruzzo. In particolare, sono state identificate n°9 zone ed in ciascuna di esse sono state eseguite prove ultrasoniche con distanze pari a 600mm, oltre a serie da 10 colpi di battute sclerometriche per individuare un significativo dato di rimbalzo R da utilizzare nel metodo comparato SonReb. Per quanto riguarda le armature si è proceduto con indagini pacometriche al fine di verificare la corrispondenza delle armature con i disegni che la Committenza ci ha messo a disposizione. In fase di rilievo si è evidenziato che il calcestruzzo presenta  $R_{ck}$  pari a circa 64 Mpa, mentre nelle tavole di progetto è stato indicato un calcestruzzo avente classe C40/50 che è quella utilizzata per la valutazione sismica. Per le armature si è fatto riferimento alle tavole di progetto dove si evince una qualità delle barre di armatura avente classificazione FeB44k, non è stata eseguite prove semi distruttive in quanto il capannone prefabbricato è abbastanza recente (2002) e la documentazione tecnica in nostre mani era decisamente esaustiva. L'edificio è stato modellato e verificato utilizzando il programma di calcolo "Sismicad 12.7" commercializzato da Concrete S.r.l. La struttura è stata modellata nel seguente modo:

- I pilastri in c.a. vengono inseriti mediante corrispondente comando e modellati come aste verticali incastrate alla base e cerniere in sommità;
- La colonna in acciaio viene modellata come asta verticale;
- Le "travi TI" sono inserite come travi in c.a. aventi sezione ad "I" e presentano svincolo a cerniera doppia in corrispondenza dei pilastri nel piano perpendicolare all'asse delle travi;
- Le "travi TH" sono state inserite modellandole con una sezione generica con svincolo a cerniera semplice in corrispondenza dei pilastri;



- I tegoli sono stati inseriti modellandoli con una sezione generica con vincoli d'estremità di tipo cerniere doppie;
- I pannelli di chiusura perimetrale sono stati inseriti come piastre generiche verticali aventi spessore pari a 10cm e peso specifico pari a  $2500 \text{ kg/m}^3$  (peso specifico del calcestruzzo).

La struttura è stata modellata assumendo che i pilastri e la colonna in acciaio fossero bloccati alla base, dato che non è stato possibile visionare documenti inerenti i plinti di fondazione. Non sono stati riscontrati cedimenti differenziali, ad eccezione di un piastrino d'angolo la cui fondazione verrà rinforzata successivamente in fase di esecuzione del lavoro. Le lastre poste a copertura dell'edificio sono state considerate, in fase progettuale, come carico permanente non strutturale applicato linearmente ai tegoli stessi. Il terreno esistente viene definito, nella relazione geologica e geotecnica ricevuta dalla Committenza, con una classificazione topografica T1. Tuttavia in fase di valutazione della vulnerabilità sismica si è deciso di considerare una classificazione T2 in quanto lo stabile si trova in prossimità di un pendio sostenuto da una recente realizzazione di paratie con pali. Alla struttura si è applicato anche il contributo dovuto al carico della neve e del vento secondo normativa vigente.





## LA SOLUZIONE TECNICA

Da quanto emerso dall'analisi di vulnerabilità sismica si evince che gli elementi principali sismicamente vulnerabili sono prevalentemente i pilastri, che presentano una carenza di armatura sia a pressoflessione e sia al taglio sotto domanda sismica. Nell'immagine sotto riportata, sono individuati i pilastri che presentano tali condizioni. Nel modello non è stata considerata la presenza del pavimento industriale che genera azioni taglianti importanti alla base dei pilastri in corrispondenza del bicchiere del plinto. Si notino i n° 6 pilastri di bordo che presentano condizioni di vulnerabilità inferiori al 60% della domanda da sisma (colori tendenti al magenta/viola)

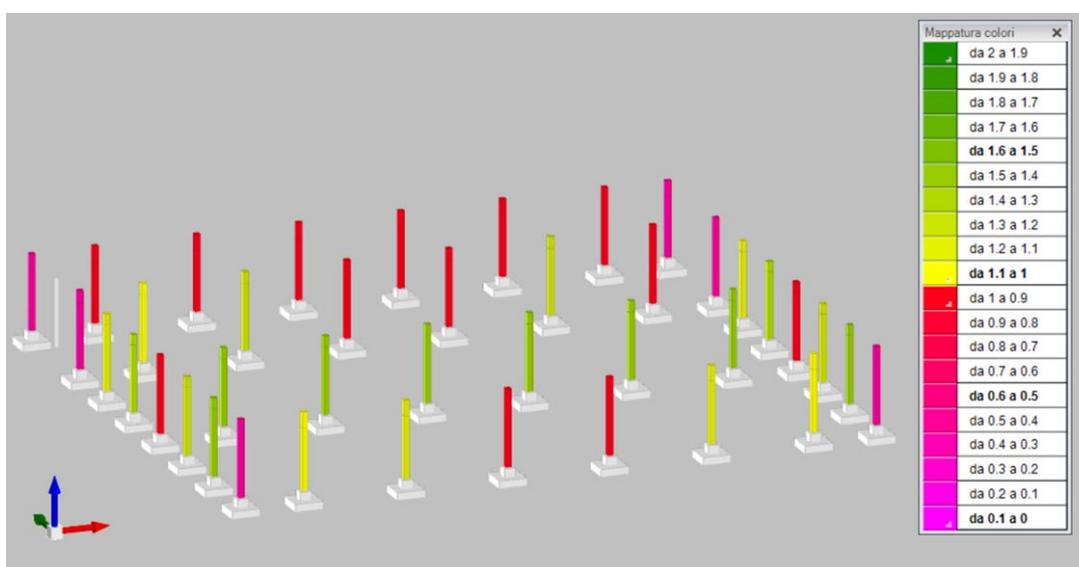


Figura 1: Risposta dei pilastri a taglio

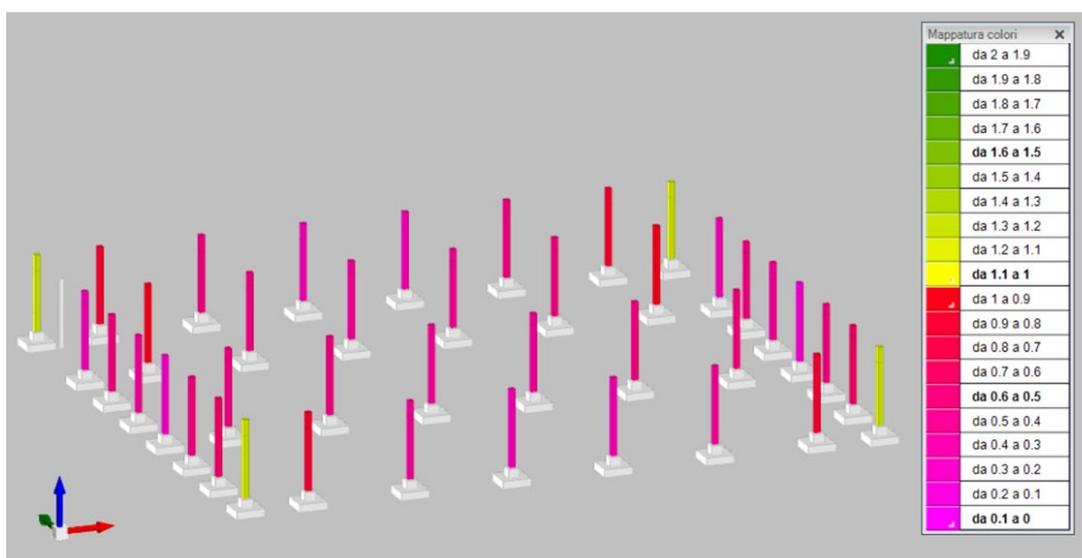


Figura 2: Risposta dei pilastri a pressoflessione



Sono evidenziati circa 16 pilastri centrali e di bordo che presentano condizioni di vulnerabilità inferiori al 60% della domanda da sisma (colori tendenti al magenta/viola). Per migliorare le condizioni di sicurezza a livelli accettabili e aumentare il valore  $\xi > 0.60$  occorre intervenire incrementando la capacità di resistenza sia taglio che a pressoflessione dei soli pilastri.

In generale in un intervento di incremento di sicurezza di capannoni industriali, la scelta di adottare sistemi FRP, di semplice e veloce posa rappresenta una soluzione efficace che non interferisce con le attività produttive in corso. Considerata, quindi l'oggettiva necessità di non interrompere il processo produttivo si è optato per l'utilizzo di materiali compositi del sistema Betontex di Fibre Net che dispone di una vasta gamma di tessuti e preformati disponibili in numerose geometrie e grammature coperti da CVT. In particolare, per la pressoflessione sono state utilizzate lamine preformate in fibra di carbonio ad altissima resistenza aventi classe C150/2300; poiché occorre un'elevata area di composto per ciascun lato del pilastro, la scelta è stata indirizzata verso un prodotto avente dimensioni 150x1,4 mm. in modo tale da ridurre il numero delle lamine da posare. Per le azioni di taglio si sono utilizzati tessuti in fibra di carbonio realizzati in situ, in classe 350/2800C, impregnati secondo la metodologia "a secco" con specifiche resine Fibre Net in avvolgimento orizzontale a passo 40 cm e larghezza 20 cm. Per le compressioni sono stati progettati angolari metallici da 15 mm di spessore che – incollati con la specifica resina – consente di integrare il rinforzo progettato con i compositi. Altra condizione di vulnerabilità dei pilastri riguarda la presenza della pavimentazione industriale strettamente aderente alla base dei pilastri. Tale condizione genera una sollecitazione di taglio importante in caso di evento sismico. Si è pertanto progettato un giunto di pochi centimetri dalla base del pilastro da realizzare con una fresatura e da riempire con materiali morbidi silicici. I restanti elementi principali quali travi e tegoli di copertura essendo disposti in orizzontale e in semplice appoggio sulle teste dei pilastri o poggianti tra di loro non presentano criticità in termini di resistenza risultando pienamente verificati. Anche l'appoggio - che potrebbe presentare condizione di vulnerabilità a causa di eccessivi spostamenti differenziati - risulta verificato. Gli elementi secondari che presentano criticità sono rappresentati dai pannelli di tamponamento che sono vincolati ai pilastri ed alle travi principali con sistemi tipo "Halfen" che normalmente tengono conto solo delle azioni di tipo gravitazionale e quindi necessariamente devono essere rinforzati per evitare la caduta in caso di evento sismico. Anche in questo caso la soluzione è rappresentata dal posizionamento di specifiche squadre in acciaio da applicare tra l'elemento portante e il pannello portato.

## LA DISPOSIZIONE DEI RINFORZI

Alla luce di quanto detto si sono identificati n°5 diverse tipologie di interventi di rinforzo sui pilastri che andremo qui di seguito a descrivere:

**Intervento G1** – Questa tipologia di intervento è la più diffusa e consiste nel confinamento del pilastro con un tessuto ad alto modulo elastico di confinamento discreto e di angolari metallici e piatti di acciaio al fine di contenere le compressioni.

**Intervento G2** - questa tipologia di intervento riguarda i pilastri centrali con tutti i lati da rinforzare e consiste nel confinamento del pilastro con un tessuto ad alto modulo elastico di confinamento discreto e di lamine in fibra di carbonio su tutti i lati per un'altezza di m. 5

**Intervento G3** - questa tipologia di intervento riguarda i pilastri posti ai vertici della struttura e consiste nel confinamento dei pilastro con un tessuto ad alto modulo elastico di confinamento discreto e di fiocchi da

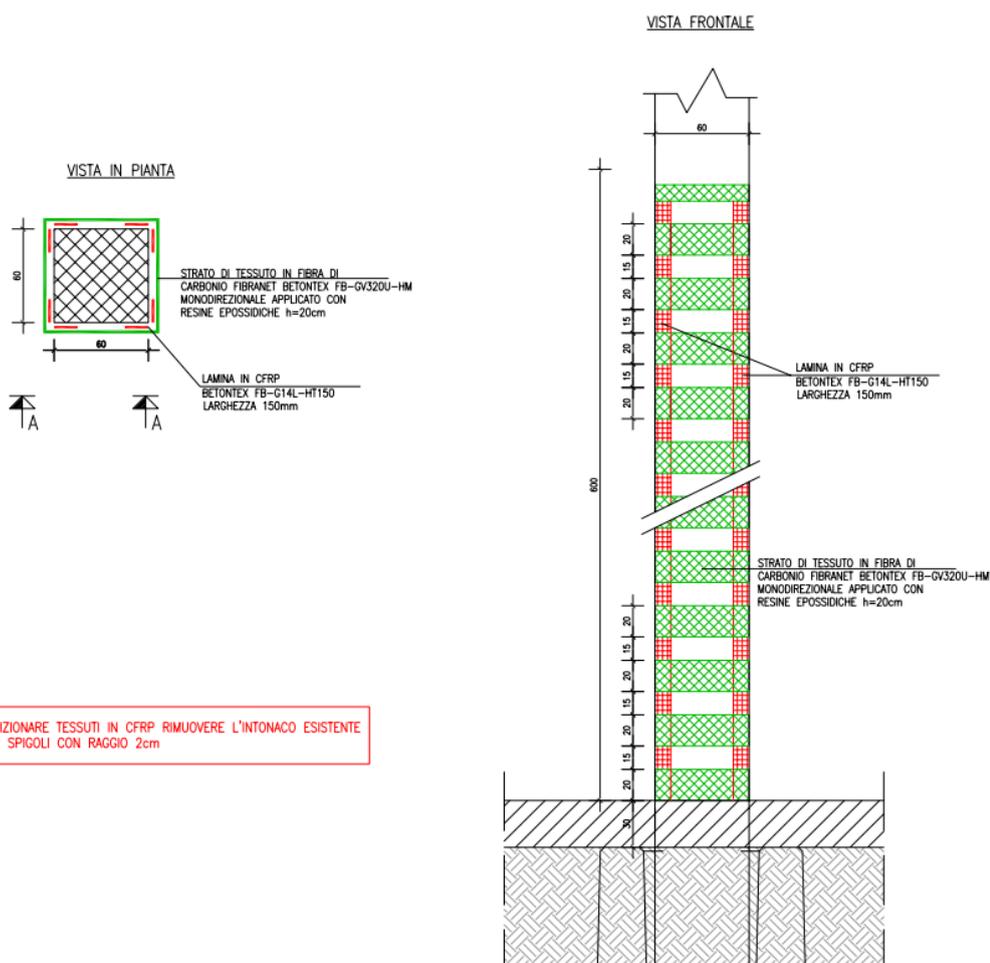


inserire nella struttura del pilastro. Completa l'intervento un getto di fondazione al fine di contenere le azioni del terreno

**Intervento G4** - questa tipologia di intervento riguarda i pilastri laterali con deboli azioni taglianti e consiste nel confinamento del pilastro con triplice strato di tessuto ad alto modulo elastico di confinamento discreto e di lamine in fibra di carbonio su tutti i lati per un'altezza di m. 5

**Intervento G5** - questa tipologia di intervento riguarda i pilastri centrali con tutti i lati da rinforzare e consiste nel confinamento del pilastro con triplice strato di tessuto ad alto modulo elastico di confinamento discreto e di lamine in fibra di carbonio su tutti i lati per un'altezza di m. 5

INTERVENTO G2





Betontex FB-GV320U-HM TESSUTO CFRP MONODIREZIONALE	
Resistenza a trazione ( $f_{tk}$ )	4700 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico a trazione ( $E_{tk}$ )	390 GPa
Allungamento a rottura ( $\epsilon$ )	1,2%
Longhezza tessuto	200 mm
Resina epossidica	Betontex FB-RC02

Betontex FB-TUF10-CHM FIOCCHI IN FIBRA DI CARBONIO	
Resistenza media a trazione ( $f_{tk}$ )	4700 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico a trazione ( $E_{tk}$ )	390 GPa
Allungamento a rottura ( $\epsilon$ )	1,2%
Diametro nominale sezione impregnata	10 mm
Resina epossidica	Betontex FB-RC01

Betontex FB-G14L-HT150 LAMINA CFRP	
Resistenza media a trazione ( $f_{tk}$ )	2800 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico a trazione ( $E_{tk}$ )	170 GPa
Allungamento a rottura ( $\epsilon$ )	1,69%
Longhezza tessuto	150 mm
Resina epossidica	Betontex FB-RC30/3

Tavolo a battore in acciaio Inox HST3-R HILTI	
Dimensione ancorante	M10
Longhezza ancorante	70 mm
Composizione materiale	Acciaio Inox, A4

CALCESTRUZZO PER RINFORZI: Calcestruzzo a prestazione garantita secondo UNI 9858:	
Classe di resistenza	C 40/50
Dimensione max nominale dell'aggregato	25mm
Classe di esposizione ambientale:	XC2
Classe di consistenza	S3-semifluida

ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA: Barre ad aderenza migliorata secondo UNI 10080 UNI EN 10204 tipo 3.1 UNI EN ISO 15630-1	
Tipo di acciaio	B450C
ACCIAIO PER PROFILATI: Laminati a caldo da produzione controllata in stabilimento secondo UNI 18 - UNI 552 - UNI 10002 - UNI 10025	
Tipo di acciaio	S275

## APPROFONDIMENTI

Eventuali approfondimenti tecnici possono essere richiesti direttamente agli Autori ovvero per la Progettazione all' Ing. Angelo NOVARA mentre per la parte esecutiva all' Ing. Alberto GRANDI

Ing. Angelo NOVARA – Progettista – [info@aningegneria.net](mailto:info@aningegneria.net)

Ing. Alberto GRANDI – Impresa – [info@dacsengineering.it](mailto:info@dacsengineering.it)