Lezione

Tecnica delle Costruzioni

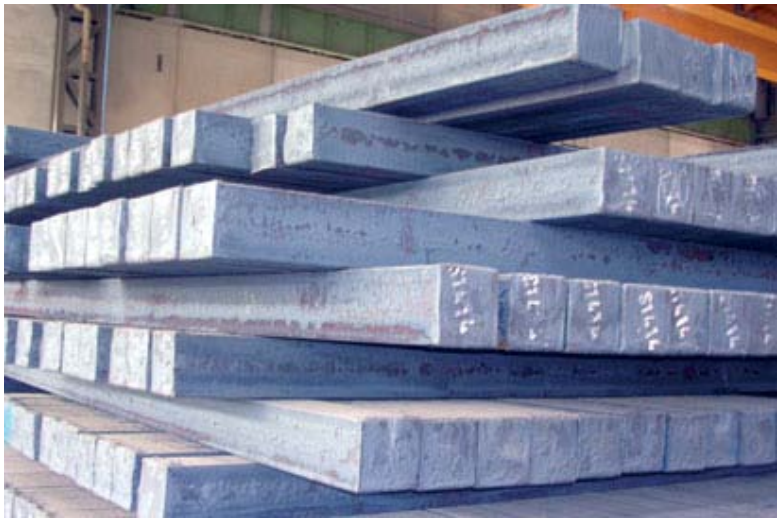
Acciaio per cemento armato ordinario

Produzione dell'acciaio

Aspetti tecnologici

L'acciaio è una lega di ferro e carbonio. Per il cemento armato ordinario si usano acciai di tipo dolce, ossia con una percentuale di carbonio molto bassa (circa lo 0,2%) con l'aggiunta, durante la fase produttiva, di piccole quantità di altri elementi, entro limiti massimi precisi, al fine di migliorarne le proprietà meccaniche.

La produzione degli acciai per cemento armato avviene prevalentemente in forni elettrici ad arco, che utilizzano come materia prima rottami ferrosi. L'acciaio fuso viene colato e fatto solidificare sottoforma di *billette*.

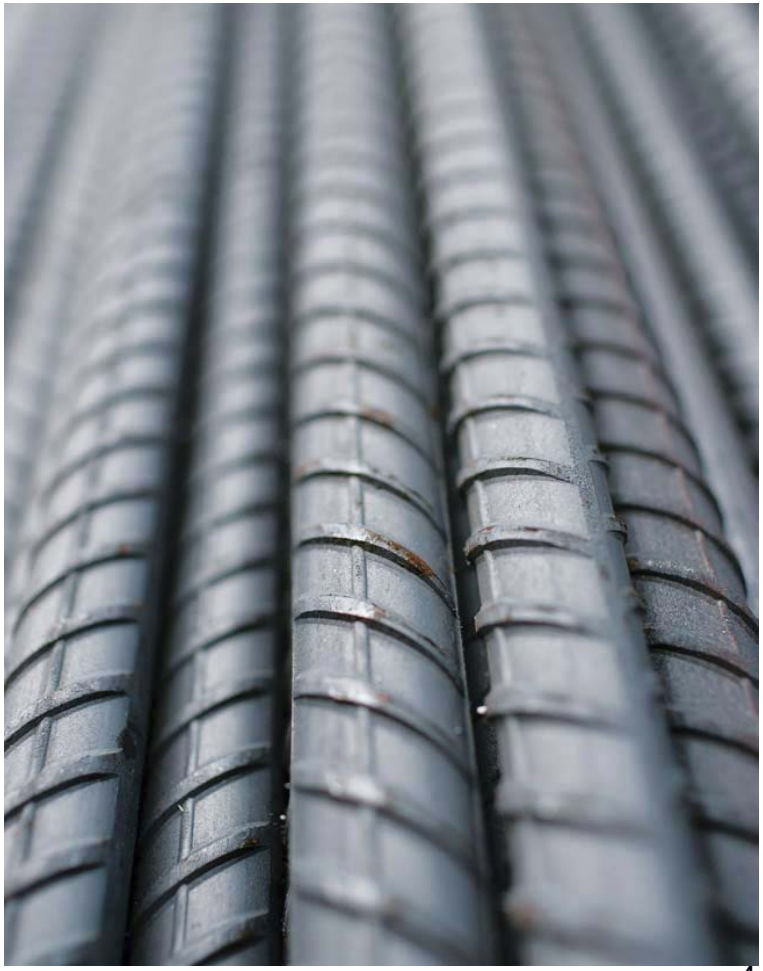


Acciaio per cemento armato

Tipi di prodotti

L'acciaio può essere lavorato per ottenere

1. **barre**



Acciaio per cemento armato

Tipi di prodotti

2. rotoli

<u>Tali elementi rientrano nella categoria degli acciai deformati a freddo in quanto impiegati previa raddrizzatura meccanica.</u>

Le verifiche meccaniche devono essere effettuate dopo la raddrizzatura, su campioni mantenuti per 60 minuti a 100± 10°C e successivamente raffreddati in aria calma a temperatura ambiente

Acciaio per cemento armato

Tipi di prodotti

3.

reti e tralicci

Gli acciai delle reti e dei tralicci devono essere saldabili.

I tralicci sono degli elementi reticolari composti con barre ed assemblati mediante saldature.

Acciaio per cemento armato

Aderenza e saldabilità

La normativa prevede due tipi di acciaio per cemento armato :

B450C **B450A**

che devono essere

SALDABILI

E

AD ADERENZA MIGLIORATA

ovvero dotati di nervature o indentature trasversali, uniformemente distribuite sull'intera lunghezza, atte ad aumentarne l'aderenza al conglomerato cementizio.

Acciaio per cemento armato

Acciaio B450C

L'acciaio per cemento armato (B450A e B450C) è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzare nei calcoli:

$f_{y\,nom}$	450 MPa
$f_{t\,nom}$	540 MPa

Acciaio per cemento armato

Diametri utilizzabili

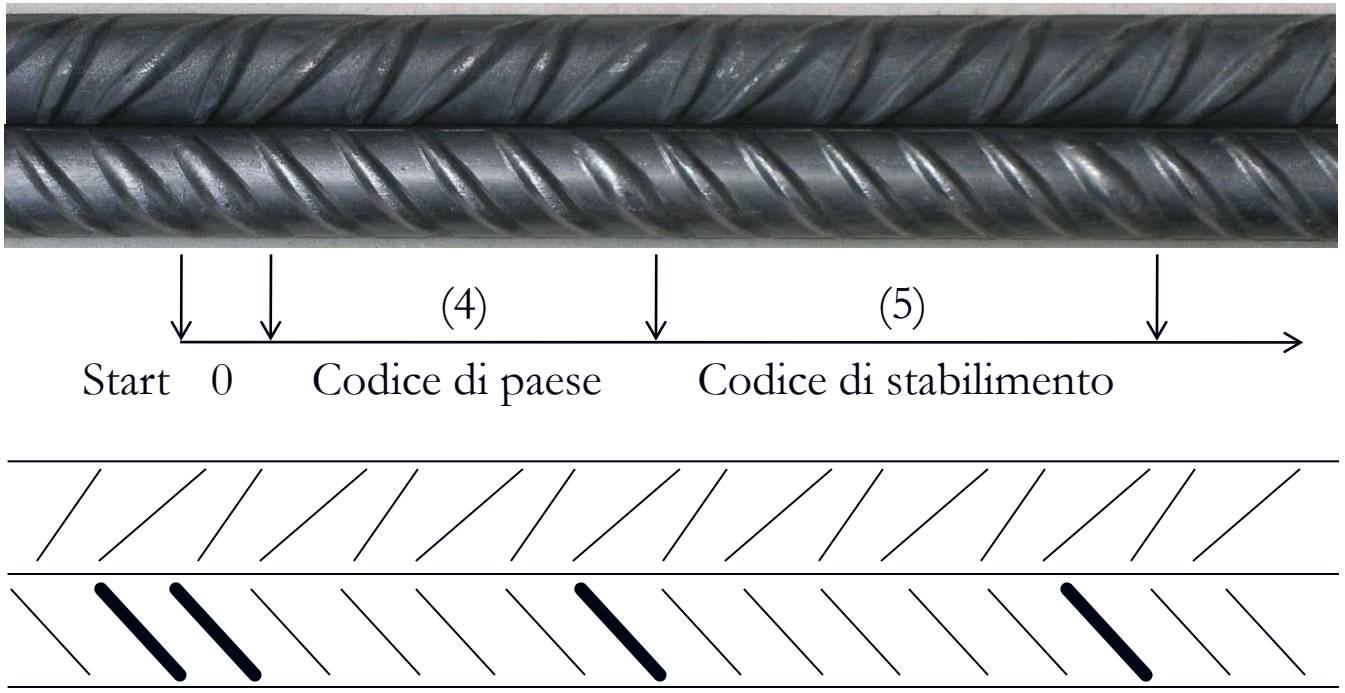
Le barre sono caratterizzate dal diametro ϕ della barra tonda liscia equipesante, calcolato nell'ipotesi che la densità dell'acciaio sia pari a 7.85 kg/dm^3.

Diametri possibili	B450C	B450A
Acciaio in barre	$6 \leq \phi \leq 40$ mm	$5 \leq \phi \leq 10$ mm
Acciaio in rotoli	$\phi \leq 16$ mm	$\phi \leq 10$ mm

Acciaio per cemento armato

Identificazione del produttore

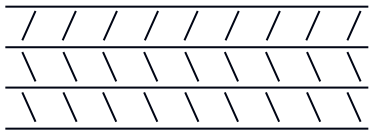
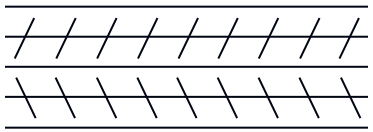
Su un lato della barra/rotolo vengono riportati dei simboli che identificano l'inizio di lettura del marchio (due barre ingrossate consecutive), l'identificazione della nazione e dello stabilimento.



Acciaio per cemento armato

Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati

non più possibile

Tipologia di barra	Geometria usuale	Numero di facce	Inclinazioni per faccia
1 Barra laminata a caldo non saldabile		2	1 1
2 Barra laminata a caldo saldabile		2	1 2
3 Filo trafilato a freddo		3	1 1 1
4 Barra laminata a caldo "4 facce"		4	1 1 1 1

Controlli dell'acciaio per cemento armato ordinario

Acciaio

Controlli

Tre forme di controllo sono obbligatorie per tutte le tipologie di acciaio :

- **IN STABILIMENTO DI PRODUZIONE** .. da eseguirsi sui lotti di produzione
- **NEI CENTRI DI TRASFORMAZIONE** …… da eseguirsi sulle forniture
- **DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE** …… da eseguirsi sui lotti di spedizione

Definizioni

Lotto di produzione: riferito a produzione continua, ordinata cronologicamente mediante contrassegni al prodotto finito (rotolo, bobina di trefolo, fascio di barre, ecc.). Deve avere valori omogenei delle grandezze nominali (dimensionali, meccaniche, di formazione) ed è compreso tra 30 e 120 t.

Forniture: lotti formati da massimo 90 t, costituiti da prodotti aventi valori delle grandezze nominali omogenee.

Lotti di spedizione: lotti formati da massimo 30 t, spediti in un'unica volta, costituiti da prodotti aventi valori delle grandezze nominali omogenee.

Acciaio

Controlli di produzione in stabilimento

Gli acciai devono essere prodotti con un sistema permanente di controllo interno della produzione in stabilimento

(in assenza di norma armonizzata , il sistema di gestione della qualità deve essere coerente con la UNI EN ISO 9001:2000)

Acciaio

Qualificazione dei prodotti di stabilimento

Tutti i prodotti in acciaio per impiego strutturale devono essere qualificati

La valutazione della conformità del controllo di produzione in stabilimento e del prodotto finito è effettuata :

- **mediante marcatura CE, quando sia applicabile**
  (ad es. i laminati e i relativi profilati IPE, HE, UPN, ecc. devono essere provvisti obbligatoriamente di marcatura CE)

- **attraverso la qualificazione del Servizio Tecnico Centrale (STC)**
  L'attestato di qualificazione rilasciato da tale ente ha validità 5 anni.

Acciaio

Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati

Le forniture di acciaio provenienti dallo stabilimento di produzione devono essere accompagnate

1. Nel caso in cui sussista l'obbligo della marcatura CE

- da copia della Dichiarazione di conformità CE, riportante un timbro in originale con almeno la data di spedizione ed il destinatario
- dal documento di trasporto con la data di spedizione ed il riferimento alla quantità, al tipo di acciaio, al destinatario.

Nota: le forniture effettuate da un commerciante intermedio devono essere accompagnate da copia dei documenti rilasciati dal Produttore e completati con il riferimento al documento di trasporto del commerciante stesso.

Acciaio

Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati

Le forniture di acciaio provenienti dallo stabilimento di produzione devono essere accompagnate

2. Nel caso in cui non sussista l'obbligo della marcatura CE

- da copia dell'attestato di qualificazione del Servizio Tecnico Centrale, riportante un timbro in originale con almeno la data di spedizione ed il destinatario
- dal documento di trasporto con la data di spedizione ed il riferimento alla quantità, al tipo di acciaio, al destinatario.

Nota: le forniture effettuate da un commerciante intermedio devono essere accompagnate da copia dei documenti rilasciati dal Produttore e completati con il riferimento al documento di trasporto del commerciante stesso.

Acciaio

Forniture e documentazione di accompagnamento

Il Direttore dei Lavori prima della messa in opera, è tenuto a verificare quanto sopra indicato ed a rifiutare le eventuali forniture non conformi, ferme restando le responsabilità del produttore.

Acciaio

Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati

Ciascun prodotto qualificato deve costantemente essere riconoscibile per quanto concerne le caratteristiche qualitative e riconducibile allo stabilimento di produzione **tramite marchiatura indelebile depositata presso il STC**, dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo di acciaio ed alla sua eventuale saldabilità

La mancata marchiatura, la non corrispondenza a quanto depositato o la sua illeggibilità, anche parziale, rendono il prodotto non impiegabile.

Qualora l'unità marchiata venga scorporata, per cui una parte, o il tutto, perda l'originale marchiatura del prodotto è responsabilità sia degli utilizzatori sia dei commercianti documentare la provenienza mediante i documenti di accompagnamento del materiale e gli estremi del deposito del marchio presso il Servizio Tecnico Centrale.

Acciaio per cemento armato

Attestati di qualificazione

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Servizio Tecnico Centrale

ATTESTATO DI QUALIFICAZIONE

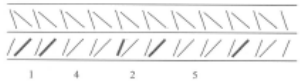
020/08-CA

In conformità al D.M. 14.01.2008 "Norme tecniche per le costruzioni", si attesta che il prodotto da costruzione:

ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO LAMINATO A CALDO

***B450C**, impiegabile anche come **FeB44k**, saldabile, in barre laminate a caldo nei diam. 8-26*

Marchio di laminazione



prodotto da:

ACCIAIERIE DI SICILIA S.p.a
Strada Passo Cavaliere, 1/A – 95030 Z.I. CATANIA (CT)

nello stabilimento di:

CATANIA (CT), Strada Passo Cavaliere, 1/A

è stato sottoposto da parte del Produttore alle prove di qualificazione del prodotto effettuate a cura del Laboratorio Ufficiale Università degli Studi di Catania – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale e il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha effettuato l'ispezione iniziale dello stabilimento e del controllo di produzione in fabbrica.

Il presente certificato attesta che tutte le disposizioni riguardanti la procedura di qualificazione definita nella norma

D.M. 14.01.2008: "Norme tecniche per le costruzioni"

sono state applicate.

Il presente certificato è stato emesso per la prima volta in data 04.12.2008 ed ha validità 5 anni o sino a che le condizioni di produzione in fabbrica o il controllo di produzione in fabbrica non subiscano modifiche significative.

Roma, 04.12.2008

IL DIRIGENTE DEL
SERVIZIO TECNICO CENTRALE
Dott. Ing. Antonio Lucchese

ORGANISMO DI CERTIFICAZIONE ED ISPEZIONE SUI PRODOTTI DA COSTRUZIONE AI SENSI DELL'ART.8 DEL D.P.R. 246/93 (NOTIFICA COMMISSIONE EUROPEA N. 0969)
ORGANISMO DI BENESTARE TECNICO EUROPEO (MEMBRO EOTA) AI SENSI DELL'ART.5 DEL D.P.R. N.246/93.
ORGANISMO DI BENESTARE TECNICO NAZIONALE AI SENSI DEL D.M. 14.01.2008

VIA NOMENTANA 2 – 00161 ROMA
TEL. 06.4412.4101, FAX 06.4426.7383
stc@infrastrutture.gov.it
www.cslp.it

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Servizio Tecnico Centrale

ATTESTATO DI QUALIFICAZIONE

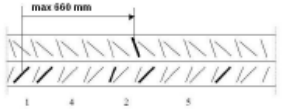
021/08-CA

In conformità al D.M. 14.01.2008 "Norme tecniche per le costruzioni", si attesta che il prodotto da costruzione:

ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO LAMINATO A CALDO

***B450C**, impiegabile anche come **FeB44k**, saldabile, in rotoli nei diam. 8-16*

Marchio di laminazione



prodotto da:

ACCIAIERIE DI SICILIA S.p.a
Strada Passo Cavaliere, 1/A – 95030 Z.I. CATANIA (CT)

nello stabilimento di:

CATANIA (CT), Strada Passo Cavaliere, 1/A

è stato sottoposto da parte del Produttore alle prove di qualificazione del prodotto effettuate a cura del Laboratorio Ufficiale Università degli Studi di Catania – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale e il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha effettuato l'ispezione iniziale dello stabilimento e del controllo di produzione in fabbrica.

Il presente certificato attesta che tutte le disposizioni riguardanti la procedura di qualificazione definita nella norma

D.M. 14.01.2008: "Norme tecniche per le costruzioni"

sono state applicate.

Il presente certificato è stato emesso per la prima volta in data 04.12.2008 ed ha validità 5 anni o sino a che le condizioni di produzione in fabbrica o il controllo di produzione in fabbrica non subiscano modifiche significative.

Roma, 04.12.2008

IL DIRIGENTE DEL
SERVIZIO TECNICO CENTRALE
Dott. Ing. Antonio Lucchese

ORGANISMO DI CERTIFICAZIONE ED ISPEZIONE SUI PRODOTTI DA COSTRUZIONE AI SENSI DELL'ART.8 DEL D.P.R. 246/93 (NOTIFICA COMMISSIONE EUROPEA N. 0969)
ORGANISMO DI BENESTARE TECNICO EUROPEO (MEMBRO EOTA) AI SENSI DELL'ART.5 DEL D.P.R. N.246/93.
ORGANISMO DI BENESTARE TECNICO NAZIONALE AI SENSI DEL D.M. 14.01.2008

VIA NOMENTANA 2 – 00161 ROMA
TEL. 06.4412.4101, FAX 06.4426.7383
stc@infrastrutture.gov.it
www.cslp.it

Acciaio per cemento armato

Valutazione delle caratteristiche meccaniche

- **Prove di qualificazione e**
  prove periodiche di verifica della qualità
  (effettuate da parte della acciaieria)

- **Prove di accettazione in cantiere**
  (effettuate dal direttore dei lavori)

Acciaio per cemento armato

Prove di qualificazione e prove periodiche di verifica della qualità

PROVA	ELEMENTI DI INTERESSE
PROVE DI TRAZIONE	Tensione di snervamento Tensione di rottura Allungamento a carico massimo
PROVA DI PIEGAMENTO	Cricche
PROVE DI ADERENZA	Tensione di aderenza o area relativa di nervatura
ANALISI CHIMICHE	Carbonio equivalente e contenuto di alcuni elementi
TOLLERANZE DIMENSIONALI	Massa nominale

Acciaio per cemento armato

Acciaio B450A

Caratteristiche	Requisiti	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{y\,nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t\,nom}$	5.0
$(f_t / f_y)_k$	≥ 1.05	10.0
$(f_y / f_{y\,nom})_k$	≤ 1.25	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	≥ 2.5 %	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche: $\phi<10$ mm	4 ϕ	

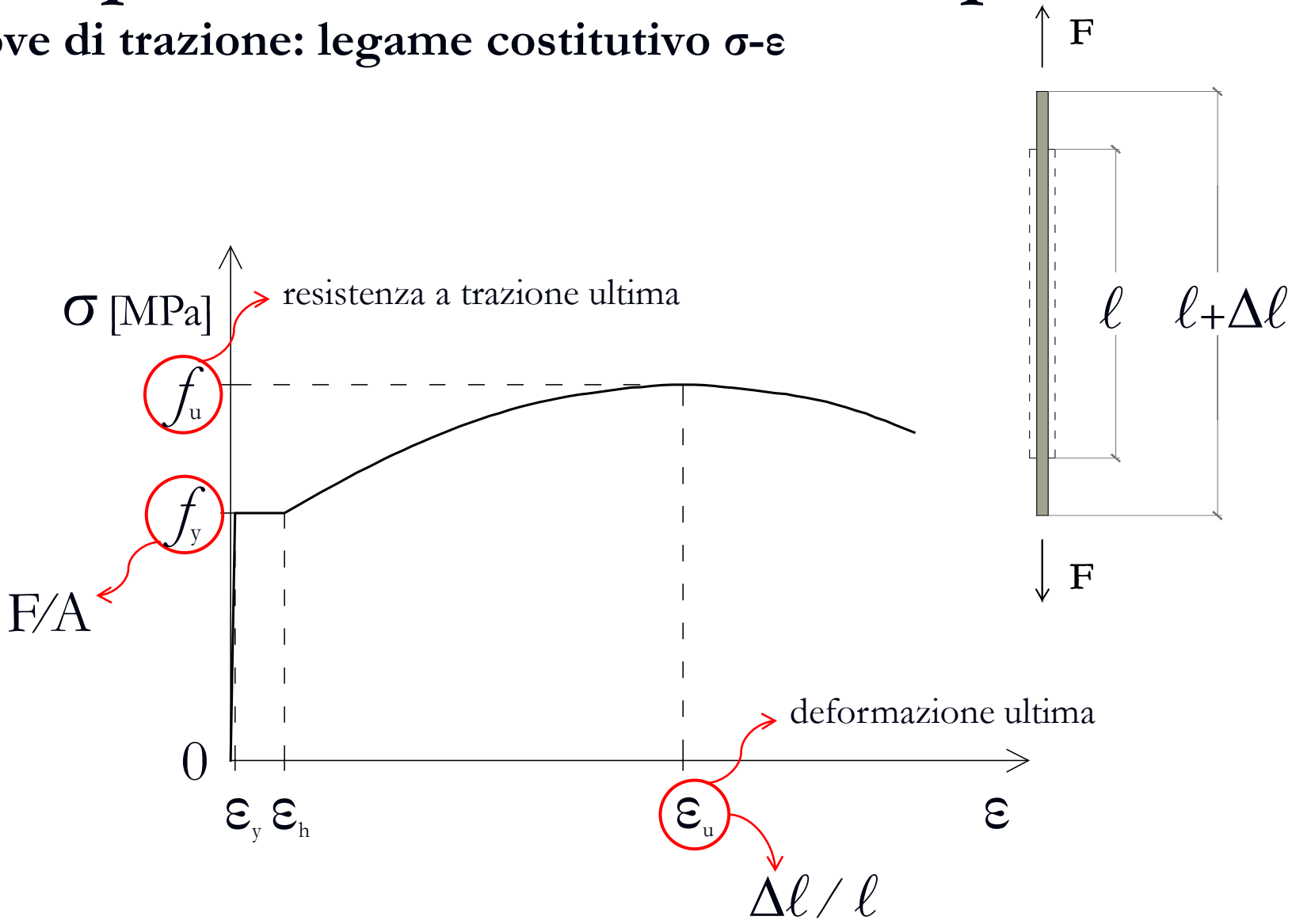
Acciaio per cemento armato

Acciaio B450C

Caratteristiche	Requisiti	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{y\,nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t\,nom}$	5.0
$(f_t / f_y)_k$	≥ 1.15 < 1.35	10.0
$(f_y / f_{y\,nom})_k$	≤ 1.25	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	≥ 7.5 %	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12$ mm	$4\,\phi$	
$12 \leq \phi \leq 16$ mm	$5\,\phi$	
$16 < \phi \leq 25$ mm	$8\,\phi$	
$25 < \phi \leq 40$ mm	$10\,\phi$	

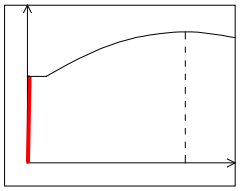
Comportamento dell'acciaio per c.a.

Prove di trazione: legame costitutivo σ-ε



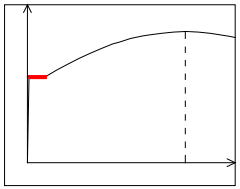
Comportamento dell'acciaio per c.a.

Prove di trazione: legame costitutivo σ-ε



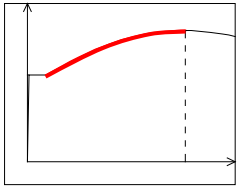
Fase lineare-elastica

Il comportamento del materiale è di tipo lineare-elastico, fino al raggiungimento di un valore f_y detto *tensione di snervamento*.



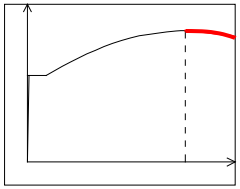
Deformazione a tensione costante

In questa fase il materiale subisce notevoli deformazioni sotto tensione costante f_y.



Incrudimento

A partire dalla deformazione ε_h si ha una ripresa (*incrudimento*); la tensione può così crescere fino al valore massimo f_u.



Strizione

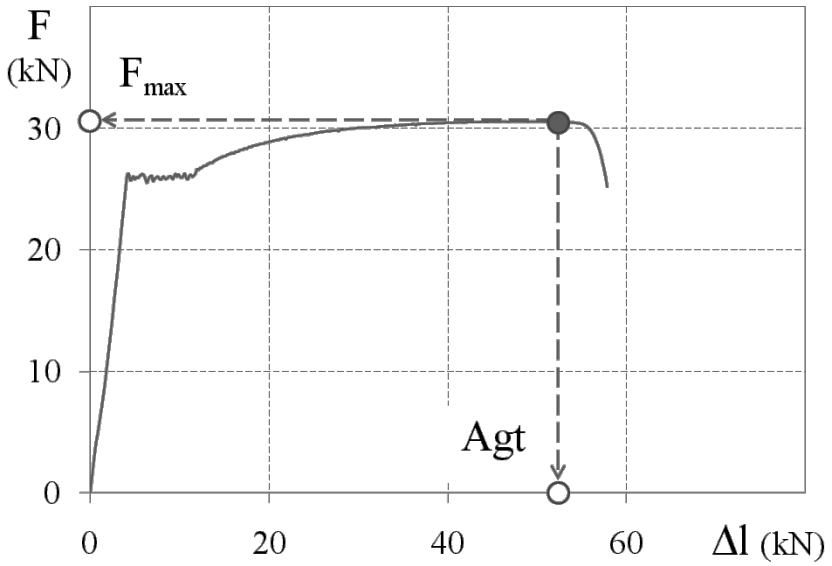
A cavallo della deformazione ε_u si possono avere ulteriori deformazioni con carico decrescente, accompagnate da una visibile riduzione di sezione (*strizione*).

Comportamento dell'acciaio per c.a.

Allungamento a sforzo massimo

Se A_{gt} è misurato usando un estensimetro,

A_{gt} sarà registrato prima che il carico diminuisca più di 0.5 % dal relativo valore massimo.



Comportamento dell'acciaio per c.a.

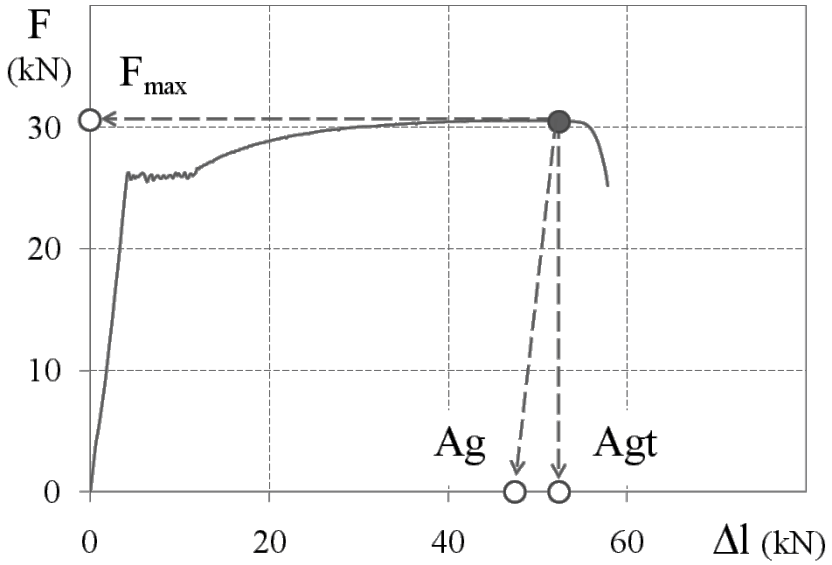
Allungamento a sforzo massimo

Se A_{gt} è determinato con il metodo manuale dopo la frattura,

A_{gt} sarà calcolato dalla seguente formula:

$$A_{gt} = A_g + R_m / 2000$$

dove A_g è l'allungamento percentuale non-proporzionale a carico massimo.

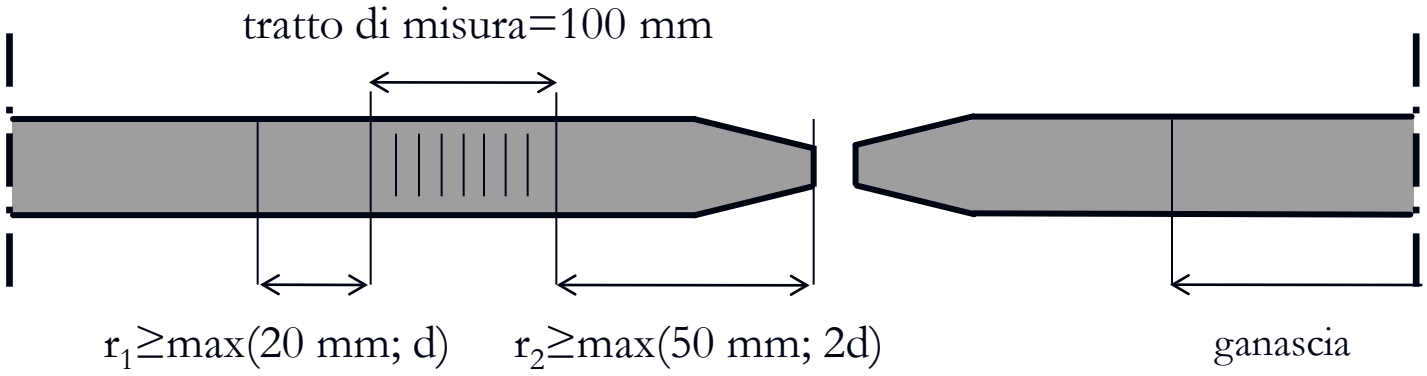


Comportamento dell'acciaio per c.a.

Allungamento a sforzo massimo

La misura di A_g sarà fatta su una lunghezza della parte calibrata di 100 mm

ad una distanza r_2 di almeno 50 mm o 2d (il più grande dei due) lontano dalla frattura. Questa misura può essere considerata come non valida se la distanza r_1 fra le *ganasce* e la lunghezza della parte calibrata è inferiore a 20 mm o d (il più grande dei due).



Comportamento dell'acciaio per c.a.

Prove di piegamento

La prova di piegamento e raddrizzamento si esegue alla temperatura di 20± 5 °C piegando la provetta a 90°, mantenendola per 60 minuti a 100 ± 10 °C
e procedendo, dopo raffreddamento in aria, al parziale raddrizzamento per almeno 20°.

Dopo la prova il campione non deve presentare cricche.

Comportamento dell'acciaio per c.a.

Prove di aderenza

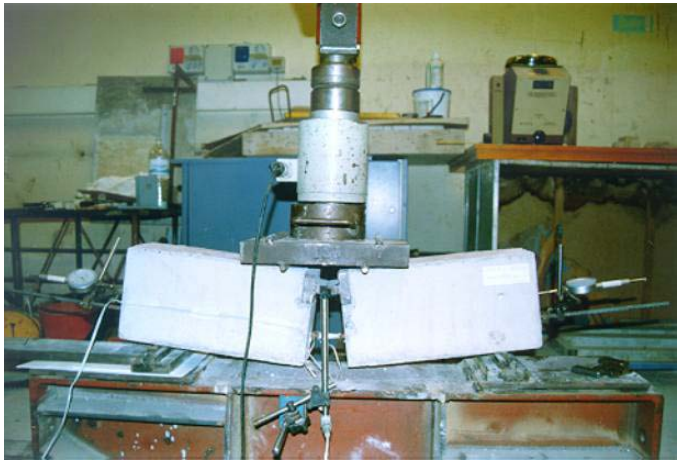
Ai fini della qualificazione, le barre devono superare prove di aderenza conformemente al metodo **Beam-test**. Le tensioni di aderenza ricavate devono soddisfare le seguenti relazioni:

$$\tau_m \geq 0{,}098\ (80\text{-}1{,}2d)$$

$$\tau_r \geq 0{,}098\ (130\text{-}1{,}9d)$$

essendo:

- d il diametro della barra in mm;
- τ_m il valor medio della tensione di aderenza in MPa calcolata in corrispondenza di uno scorrimento pari a 0,1; 0,01 ed 1 mm;
- τ_r, la tensione di aderenza massima al collasso.



Comportamento dell'acciaio per c.a.

Analisi chimiche

L'analisi chimica è legata alla valutazione della saldabilità dell'acciaio.
Sia l'analisi effettuata su colata che quella di controllo eventuale, effettuata sul prodotto finito, devono soddisfare le seguenti limitazioni riguardanti la percentuale di elementi presenti nel materiale:

Elemento	Simbolo	Analisi di prodotto	Analisi di colata
Carbonio	C	0.24	0.22
Fosforo	P	0.055	0.050
Zolfo	S	0.055	0.050
Rame	Cu	0.85	0.80
Azoto	N	0.014	0.012
Carbonio equivalente	C_{eq}	0.52	0.50

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni

Comportamento dell'acciaio per c.a.

Analisi chimiche

Il calcolo del carbonio equivalente Ceq
è effettuato con la seguente formula:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

Nota: è possibile eccedere il valore massimo del carbonio dello 0.03 % in massa a patto che il valore del carbonio equivalente venga ridotto dello 0.02 % in massa

Comportamento dell'acciaio per c.a.

Tolleranze dimensionali

La deviazione ammissibile per la massa nominale deve essere :

Diametro nominale (mm)	$5 \leq \phi \leq 8$	$8 < \phi \leq 40$
Tolleranza in % sulla sezione ammessa per l'impiego	$\pm$ 6	$\pm$ 4.5

Acciaio per cemento armato

Controlli di accettazione in cantiere

PROVA	ELEMENTI DI INTERESSE
PROVE DI TRAZIONE	Tensione di snervamento Tensione di rottura Allungamento a carico massimo
PROVA DI PIEGAMENTO	Cricche

Acciaio per cemento armato

Controlli di accettazione in cantiere

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori, **devono essere effettuati entro 30 giorni dalla data di consegna del materiale** e devono essere campionati, nell'ambito di ciascun lotto di spedizione, **in ragione di 3 spezzoni, marchiati, di uno stesso diametro,** scelto entro ciascun lotto, sempre che il marchio e la documentazione di accompagnamento dimostrino la provenienza del materiale da uno stesso stabilimento. In caso contrario i controlli devono essere estesi ai lotti provenienti da altri stabilimenti.

(Circolare) Il campionamento viene generalmente effettuato su tre diversi diametri opportunamentiie differenziati nell'ambito di ciasun lotto di spedizione in numero di 3 spezzoni, marchiati, per ciascuno dei diametri selezionati.

Acciaio per c.a.

Verbale di prelievo

VERBALE DI PRELIEVO DI CAMPIONI D'ACCIAIO

Verbale n° .....

Lavori di:	
Cantiere di:	
Impresa esecutrice:	
Direttore dei Lavori:	
Responsabile di cantiere:	

Oggi ..... alle ore ..... in località .....
alla presenza di:

Per la Direzione dei Lavori:	
Per il Committente:	
Per l'Impresa esecutrice:	

Si procede ad eseguire n°..... prelievi di armatura metallica:

Barre/reti/tralicci (acciaio tipo B450C)	ø	n°	Lunghezza	Acciaieria	Posizione nella struttura	D.D.T.

L'Impresa esecutrice dei lavori si impegna a fornire i certificati di qualificazione dell'acciaieria.
Il prelievo viene eseguito secondo quanto previsto dal D.M.14-01-2008

Letto firmato e sottoscritto

Per il Committente:	
Per l'Impresa:	

Il presente verbale viene redatto in triplice copia.

Per la Direzione dei Lavori:	

Acciaio per cemento armato

Controlli di accettazione in cantiere

I valori di resistenza ed allungamento di ciascun campione, accertati comunque prima della messa in opera del prodotto, devono essere compresi fra i valori massimi e minimi riportati nella tabella seguente :

Caratteristiche	Valore limite	Note
f_y minimo	425 N/mm^2	(450-25) N/mm^2
f_y massimo	572 N/mm^2	[450x(1.25+0.02)] N/mm^2
A_{gt} minimo	≥ 6.0 %	Per acciai B450C
A_{gt} minimo	≥ 2.0 %	Per acciai B450A
Rottura/snervamento	$1.13 \leq f_t/f_y \leq 1.47$	Per acciai B450C
Rottura/snervamento	$f_t/f_y \geq 1.03$	Per acciai B450A
Piegamento/raddrizzamento	Assenza di cricche	Per tutti

Acciaio per cemento armato

Controlli di accettazione in cantiere

- (Circolare) – E' opportuno precisare che i valori del rapporto rottura/snervamento (f_t/f_y), determinati sui singoli campioni hanno significato solo indicativo, in quanto i valori caratteristici indicati dalle NTC vengono verificati nell'ambito dei controlli di stabilimento su un numero significativo di campioni.

  E' tuttavia opportuno che tale valore venga riportato nei certificati rilasciati dai laboratori poiché quando il progettista abbia adottato il modello costitutivo elastico incrudente, utilizzando un valore del rapporto di sovraresistenza $k = (f_t / f_y)_k$ maggiore di 1.15 il Direttore dei lavori deve accertare, mediante le previste prove di cantiere e, se necessario, anche mediante prove aggiuntive, che il valore caratteristico del rapporto f_t / f_y risulti non inferiore a quello stabilito dal progettista.

Acciaio per cemento armato

Controlli di accettazione in cantiere

- **Se i criteri sopra riportati non sono soddisfatti,**
  10 ulteriori provini devono essere prelevati da prodotti diversi del lotto in presenza del produttore o suo rappresentante che potrà anche assistere all'esecuzione delle prove presso un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.
- **Il lotto deve essere considerato conforme se la media dei risultati sui 10 ulteriori provini è maggiore del valore caratteristico e i singoli valori sono compresi tra il valore minimo e il valore massimo secondo quanto sopra riportato.**
- **In caso contrario il lotto deve essere respinto e il risultato segnalato al Servizio Tecnico Centrale.**

Caratteristiche meccaniche dell'acciaio

Caratteristiche meccaniche acciaio

Modulo elastico

Il valore del modulo elastico E_s dell'acciaio è indipendente dalla resistenza del materiale. Le NTC08 non danno indicazioni specifiche per le barre per cemento armato, ma suggeriscono il valore 210000 MPa per la carpenteria metallica.

L'aderenza acciaio-calcestruzzo secondo normativa

Aderenza acciaio-calcestruzzo

Tensioni di aderenza secondo normativa

La solidarietà tra calcestruzzo e barre d'acciaio è garantita dalla *aderenza* che si sviluppa lungo la superficie di una barra immersa nel calcestruzzo, assicurando così la trasmissione di sforzi di scorrimento (tensioni di aderenza) tra i due materiali. Essa è dovuta sia all'adesione chimica molecolare, che alla compenetrazione geometrica, legata alla scabrosità delle superfici di contatto.

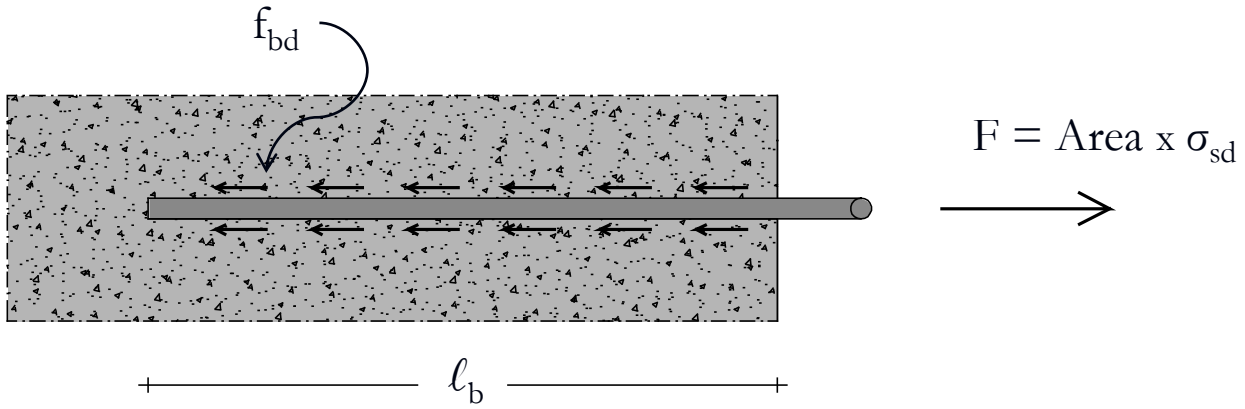
Ricorda: Oggi si utilizzano esclusivamente barre ad aderenza migliorata, e non più barre lisce.

Aderenza acciaio-calcestruzzo

Lunghezza di ancoraggio

Per impedire lo sfilamento di una barra da un blocco di calcestruzzo, è necessario che essa vi sia immersa per una lunghezza tale da consentire la trasmissione al calcestruzzo dell'intera forza di trazione esercitata dalla barra.

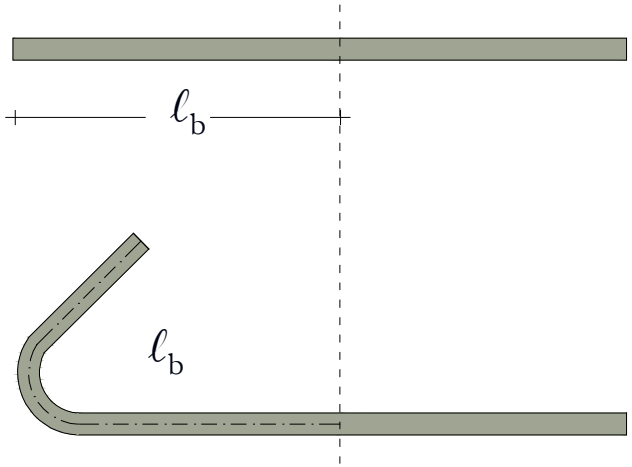
Un valore base di riferimento della lunghezza di ancoraggio può essere considerato $\ell_b = \sigma_{sd}\phi/4\ f_{bd}$, dove σ_{sd} è la tensione di progetto che sollecita la barra, mentre f_{bd} è la tensione di aderenza.



Aderenza acciaio-calcestruzzo

Lunghezza di ancoraggio

L'ancoraggio di una barra può essere realizzato in diversi modi: dritto, a piega o a gancio (uncini).



L'ancoraggio delle barre può essere utilmente migliorato mediante uncini terminali. Se presenti, essi possono essere computati nella effettiva misura del loro sviluppo in asse alla barra. In assenza di uncini la lunghezza di ancoraggio deve essere in ogni caso non minore di 20 diametri, con un minimo di 150 mm.

Aderenza acciaio-calcestruzzo

Giunzioni per sovrapposizione secondo normativa

Poiché le barre hanno lunghezza limitata, è spesso necessario effettuare delle giunzioni. Le sovrapposizioni vanno fatte preferibilmente nelle zone compresse o di minore sollecitazione.

La lunghezza del tratto di sovrapposizione (ℓ_0) non deve essere inferiore a 20 volte il diametro della barra. La distanza mutua (interferro) nella sovrapposizione non deve superare 4 volte il diametro.

La continuità fra le barre può effettuarsi anche tramite saldature o giunzioni meccaniche.

Dettagli costruttivi

Diametro massimo delle barre e dei trefoli

Le armature ordinarie ammesse sono barre ad aderenza migliorata o reti elettrosaldate.

Il diametro delle barre non può superare 32 mm

(per barre raggruppate,
il diametro equivalente del raggruppamento non deve eccedere i 45 mm)

Dettagli costruttivi

Raggio di curvatura delle barre

Il raggio di curvatura delle barre deve essere tale da impedire

- FESSURE DA FLESSIONE NELLE BARRE
- SCHIACCIAMENTO DEL CALCESTRUZZO
  POSTO ALL'INTERNO DELLA PIEGA DELLA BARRA

I valori minimi dei diametri dei mandrini
da utilizzare in relazione al diametro delle barre sono :

per $\phi \leq 16$ mm $\quad D \geq 4\,\phi$

per $\phi > 16$ mm $\quad D \geq 7\,\phi$

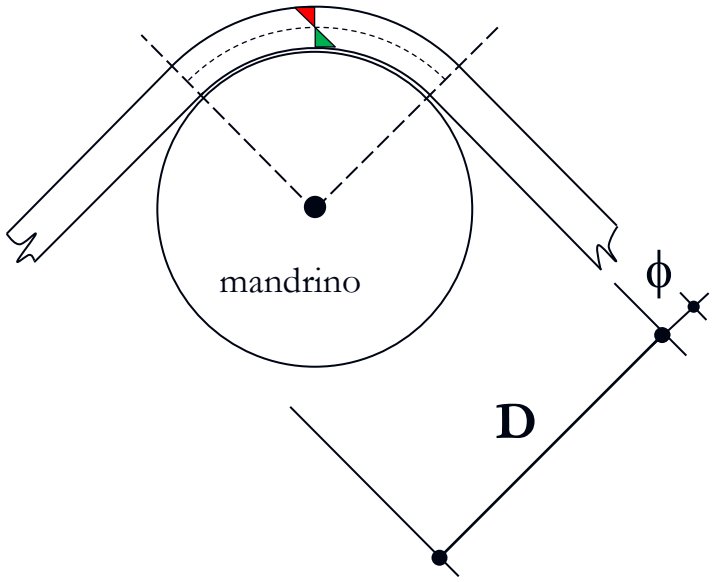
Dettagli costruttivi

Raggio di curvatura delle barre

Tale misura è qualitativamente giustificata perché la deformazione normale massima che nasce nella barra per effetto della piegatura é

$$\varepsilon_{max} = \frac{1}{\left(\frac{D+\phi}{2}\right)} \cdot \frac{\phi}{2} = \frac{\phi}{D+\phi}$$

Dunque, se si vuole mantenere costante la deformazione normale massima nella barra e si può trascurare il diametro della barra rispetto a quello del mandrino, il diametro del mandrino deve essere proporzionale al diametro della barra.



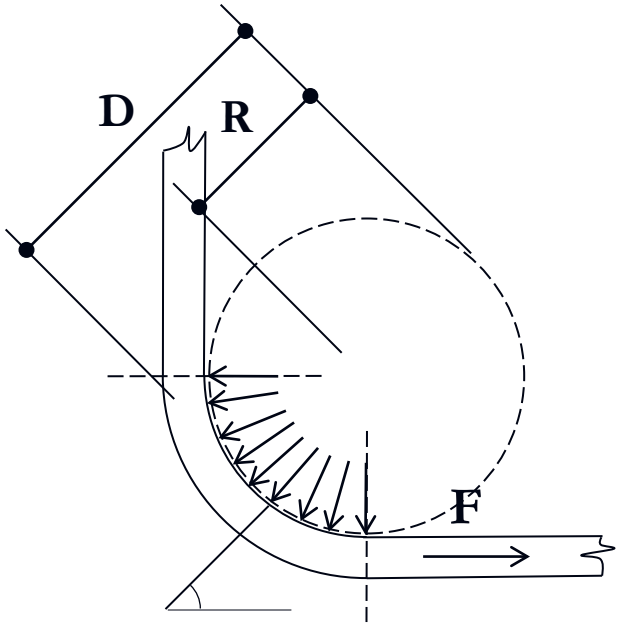
Dettagli costruttivi

Raggio di curvatura delle barre

Inoltre, se le armature sono soggette a sforzi di trazione, le piegature delle armature fanno nascere tensioni di compressione nel calcestruzzo posto al loro interno. L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale stabilisce che

$$F = \sigma_s \frac{\pi\phi^2}{4} = \int_0^{\pi/2} b\,\sigma_c \cos\alpha\; R\mathrm{d}\alpha = b\,\sigma_c R\left[\sin\alpha\right]_0^{\pi/2} = \sigma_c \frac{bD}{2}$$

Se si vuole mantenere costante la tensione di compressione nel calcestruzzo all'interno della piega e' necessario che il diametro del mandrino cresca con il diametro della barra.



Eurocodice 2 (2005)

$$D_{\min} \geq \frac{F\left[1/a_b + 1/(2\phi)\right]}{f_{cd}}$$

dove a_b e' la meta' della distanza tra barre misurata ortogonalmente al piano di flessione

Acciaio per cemento armato

Altri tipi di acciaio

Acciaio inossidabile

È ammesso l'impiego di acciai inossidabili di natura austenitica o austeno-ferritica, purché le caratteristiche meccaniche siano conformi alle prescrizioni relative agli acciai normali, con l'avvertenza di sostituire al termine f_t il termine $f_{7\%}$, ovvero la tensione corrispondente ad un allungamento A_{gt}=7%.

La saldabilità di tali acciai va documentata attraverso prove di saldabilità certificate effettuate secondo gli specifici procedimenti di saldatura, da utilizzare in cantiere o in officina, previsti dal produttore.

Per essi la qualificazione è ammessa anche nel caso di produzione non continua, permanendo tutte le altre regole relative alla qualificazione.

Acciaio per cemento armato

Altri tipi di acciaio

Acciaio zincato

È ammesso l'uso di acciai zincati purché le caratteristiche fisiche, meccaniche e tecnologiche siano conformi alle prescrizioni relative agli acciai normali.
I controlli e, di conseguenza, la relativa verifica delle caratteristiche sopra indicate deve essere effettuata sul prodotto finito, dopo il procedimento di zincatura.

Resistenze di progetto

Verifiche agli stati limite

Resistenza di calcolo dei materiali

La resistenza di calcolo f_d indica le resistenza del materiale (in questo caso l'acciaio), ottenuta mediante l'espressione:

$$f_d = f_k / \gamma_M$$

dove:

f_k	è la resistenza caratteristica del materiale;
γ_M	sono i coefficienti parziali per le resistenze, comprensivi delle incertezze del modello e della geometria, che possono variare in funzione del materiale, della situazione di progetto e della particolare verifica in esame.

Verifiche agli stati limite

Resistenza di calcolo dell`acciaio

La resistenza di calcolo dell'acciaio f_{yd} è riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore è dato da:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S$$

dove:

γ_S è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio;

f_{yk} per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio, per armature da precompressione è la tensione convenzionale caratteristica di snervamento data, a seconda del tipo di prodotto, da f_{pyk} (barre), $f_{p(0,1)k}$ (fili), $p_{(1)k\,f}$ (trefoli e trecce);

Il coefficiente γ_S assume sempre, per tutti i tipi di acciaio, il valore 1.15

Verifiche agli stati limite

Tensione tangenziale di aderenza acciaio-cls

La resistenza tangenziale di aderenza di calcolo f_{bd} vale:

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_C$$

dove:

γ_C è il coefficiente parziale di sicurezza del cls, pari a 1,5;

f_{bk} è la resistenza tangenziale caratteristica di aderenza data da:

$$f_{bk} = 2{,}25\ h\ f_{ctk}$$

in cui

h = 1,0 per barre di diametro f ≤ 32 mm

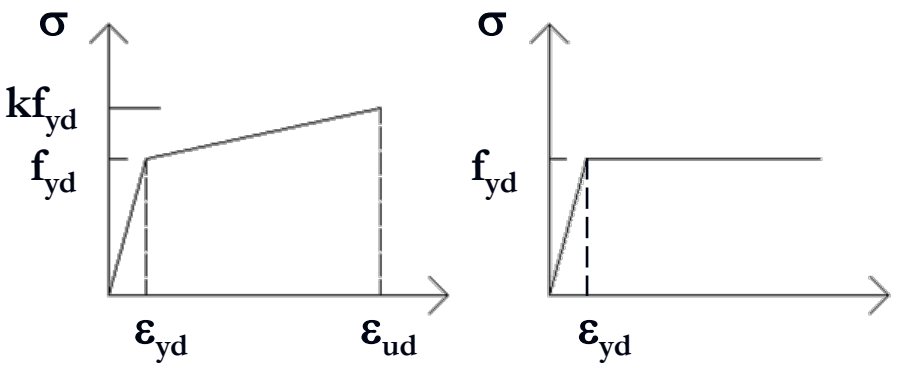
= (132 - f)/100 per barre di diametro superiore.

Attenzione: nel caso di armature molto addensate o ancoraggi in zona di calcestruzzo teso, la resistenza di aderenza va ridotta dividendola almeno per 1,5.

Modelli di progetto del comportamento dell'acciaio

Verifiche agli stati limite

Diagrammi di calcolo tensione-deform. dell'acciaio



Per il diagramma tensione-deformazione dell'acciaio è possibile adottare opportuni modelli rappresentativi del reale comportamento del materiale, modelli definiti in base:

- al valore di calcolo $\varepsilon_{ud} = 0{,}9\varepsilon_{uk}$ ($\varepsilon_{uk} = (A_{gt})_k$) della deformazione uniforme ultima
- al valore di calcolo della tensione di snervamento f_{yd}
- al rapporto di sovraresistenza $k = (f_t / f_y)_k$

FINE