L'ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO ORDINARIO

1. Caratteristiche del materiale

Acciaio dolce: carbonio 2%

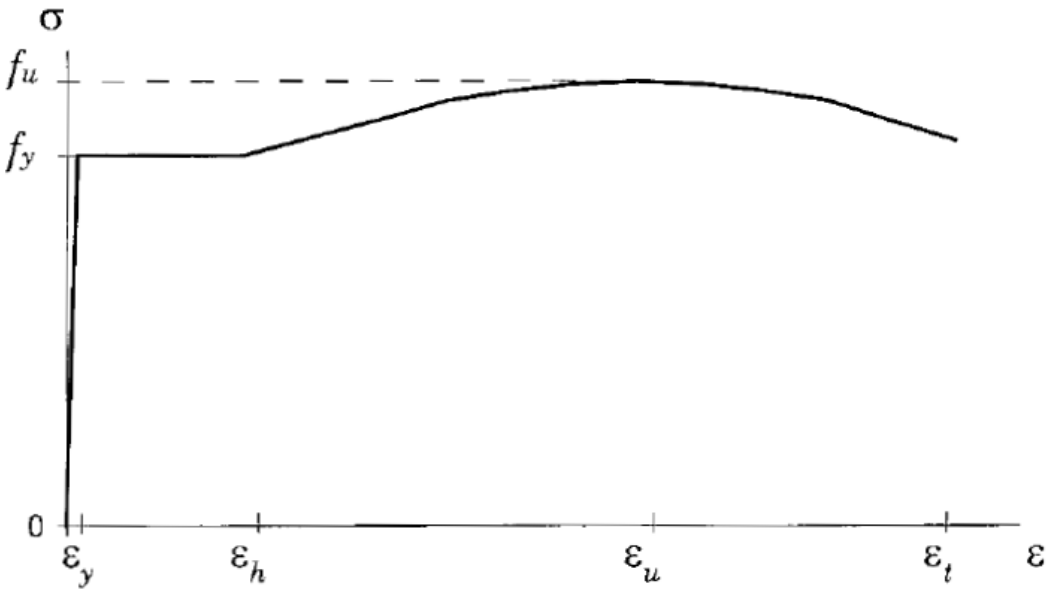
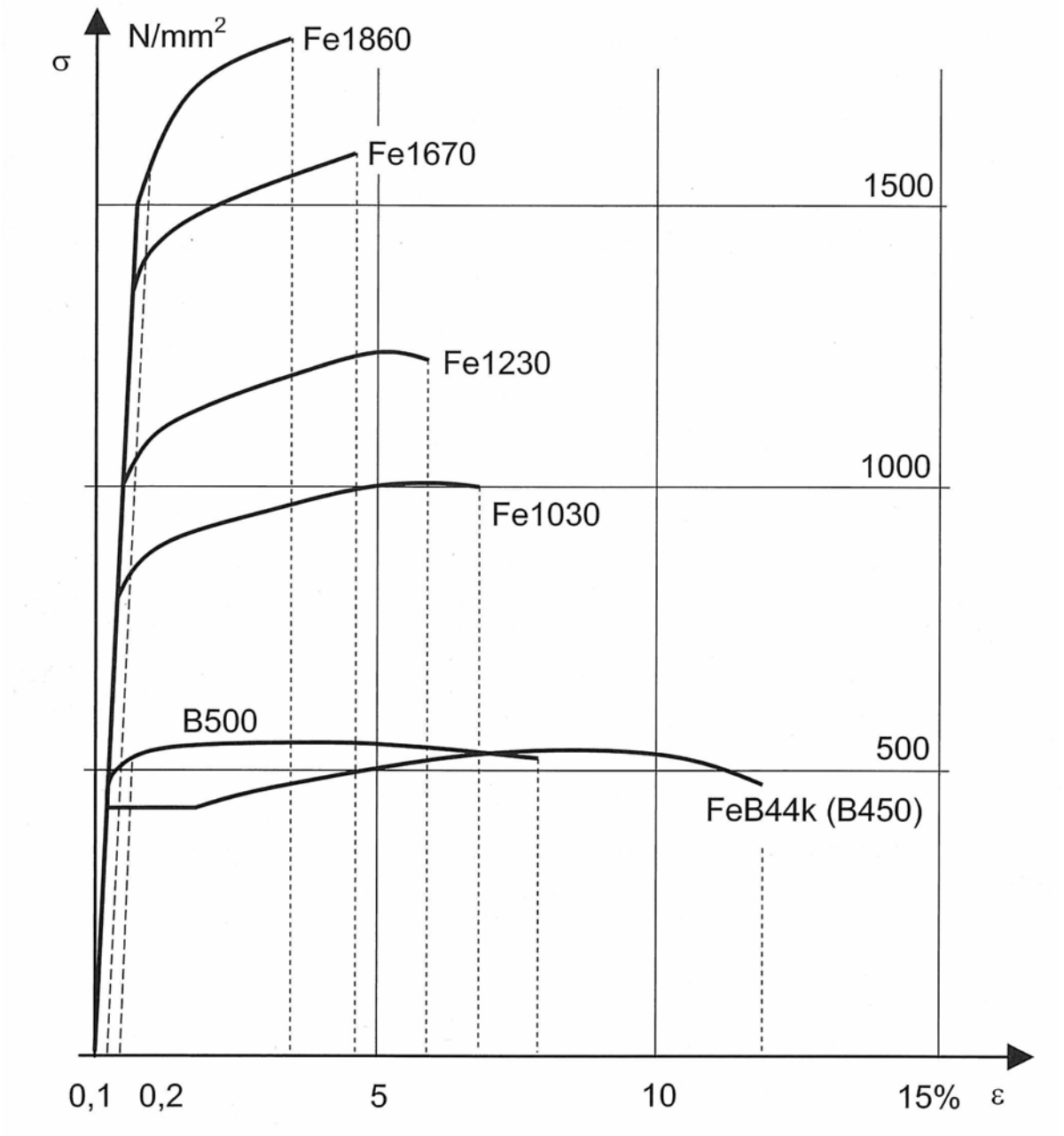


Fig. 1 - diagramma sperimentale tensioni-deformazioni per l'acciaio

Marchio: produttore, stabilimento, tipo, saldabilità.


σ
N/mm²
Fe1860
Fe1670
1500
Fe1230
1000
Fe1030
B500
500
FeB44k (B450)
0,1
0,2
5
10
15%
ε

D.M. ’96 Barre liscie

PROSPETTO 1-I

Tipo di acciaio	Fe B 22 k	Fe B 32 k
Tensione caratteristica di snervamento ..... f_{yk} N/mm²	≥215	≥315
Tensione caratteristica di rottura ..... f_{tk} N/mm²	≥335	≥490
Allungamento ..... A_5 %	≥ 24	≥ 23
Piegamento a 180° su mandrino avente diametro ..... D	2 ∅	3 ∅

Si devono usare barre di diametro compreso tra 5 e 30 mm.

Le barre lisce non sono più utilizzate.

L’allungamento a rottura A_5 è l’allungamento del tratto nell’intorno della sezione di rottura con lunghezza di 5 diametri. L’allungamento reale dell’intera barra è intorno al 7-8%.

D.M. ’96 Barre ad aderenza migliorata

PROSPETTO 2-I

Tipo di acciaio			Fe B 38 k	Fe B 44 k
Tensione caratteristica di snervamento ..... f_{yk} N/mm²			≥ 375	≥ 430
Tensione caratteristica di rottura ..... f_{tk} N/mm²			≥ 450	≥ 540
Allungamento A_5 ..... %			≥ 14	≥ 12
Per barre ad aderenza migliorata aventi ∅ (*)	fino a 12 mm	Piegamento a 180° su mandrino avente diametro D	3 ∅	4 ∅
	oltre 12 mm fino a 18 mm	Piegamento e raddrizzamento su mandrino avente diametro D	6 ∅	8 ∅
	oltre 18 mm fino a 25 mm		8 ∅	10 ∅
	oltre 25 mm fino a 30 mm		10 ∅	12 ∅

(*) Il diametro ∅ è quello della barra tonda liscia equipesante.

In pratica si usa solo FeB44k. Diametri ϕ6÷ϕ26. Lunghezza commerciale 12 m.

D.M. 2008

11.3.2 ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili qualificati

11.3.2.1 Acciaio per cemento armato B450C

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

Tabella 11.3.Ia

$f_{y\ nom}$	450 N/mm^2
$f_{t\ nom}$	540 N/mm^2

e deve rispettare i requisiti indicati nella seguente Tab. 11.3.Ib:

Tabella 11.3.Ib

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
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1{,}15$ $< 1{,}35$	10.0
$(f_y/f_{ynom})_k$	$\leq 1{,}25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$:	$\geq 7{,}5$ %	10.0

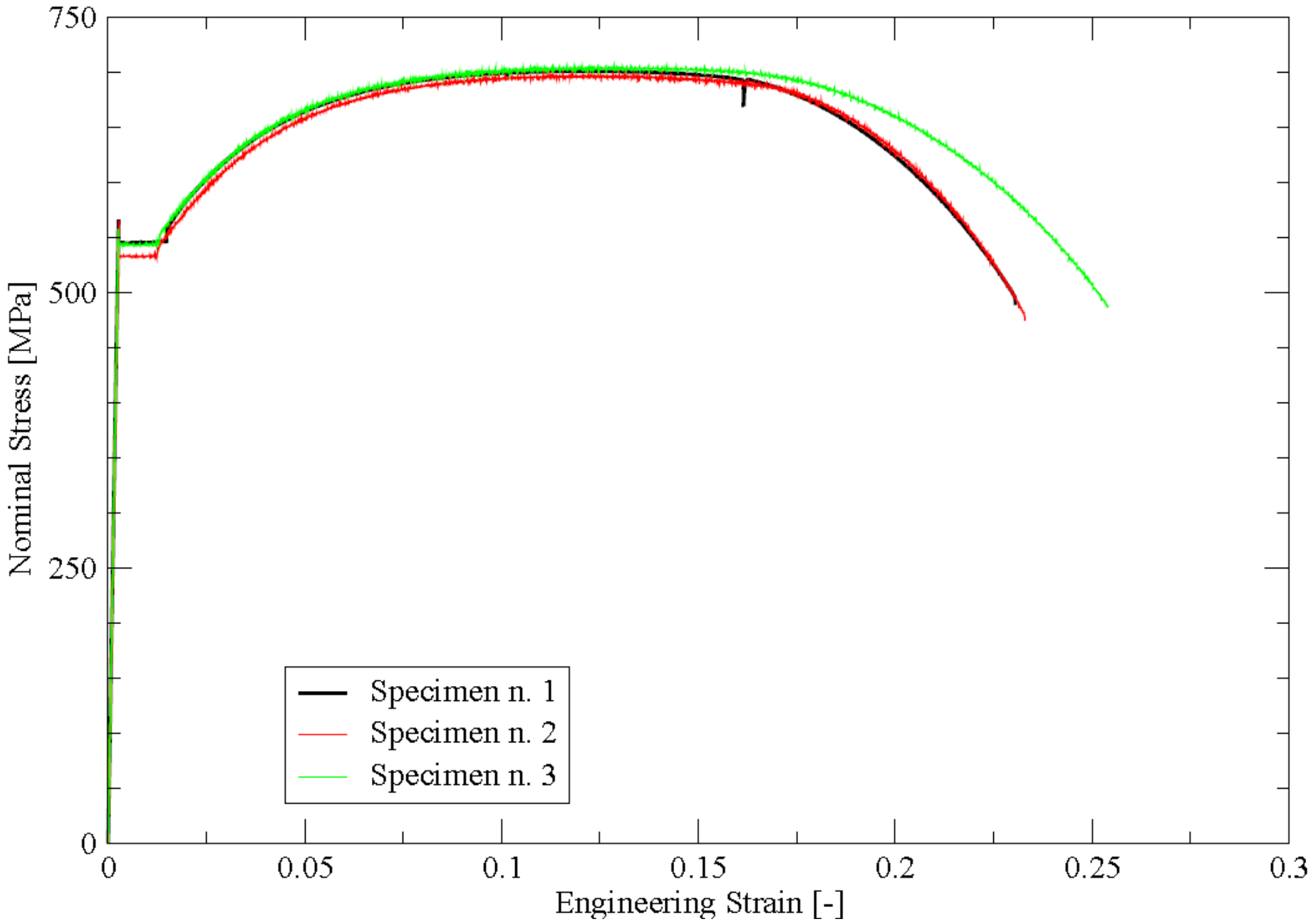
11.3.2.2 Acciaio per cemento armato B450A

L'acciaio per cemento armato B450A, caratterizzato dai medesimi valori nominali delle tensioni di snervamento e rottura dell'acciaio B450C, deve rispettare i requisiti indicati nella seguente Tab. 11.3.Ic.

Tabella 11.3.Ic

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
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1{,}05$	10.0
$(f_y/f_{ynom})_k$	$\leq 1{,}25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$:	$\geq 2{,}5\ \%$	10.0

A_{gt} è l'allungamento globale a rottura, misurato al di fuori della zona di strizione, mentre l'allungamento A_5 indicato dal D.M. '96 è misurato su una lunghezza iniziale di 5 diametri a cavallo della sezione di strizione.


750
500
250
0
Nominal Stress [MPa]
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
Engineering Strain [-]
Specimen n. 1
Specimen n. 2
Specimen n. 3

11.3.2.4 Caratteristiche dimensionali e di impiego

L'acciaio per cemento armato è generalmente prodotto in stabilimento sotto forma di barre o rotoli, reti o tralicci, per utilizzo diretto o come elementi di base per successive trasformazioni.

Prima della fornitura in cantiere gli elementi di cui sopra possono essere saldati, presagomati (staffe, ferri piegati, ecc.) o preassemblati (gabbie di armatura, ecc.) a formare elementi composti direttamente utilizzabili in opera.

Tutti gli acciai per cemento armato devono essere ad aderenza migliorata

Gli acciai B450C, di cui al § 11.3.2.1, possono essere impiegati in barre di diametro ϕ compreso tra **6 e 40** mm.

Per gli acciai B450A, di cui al § 11.3.2.2 il diametro ϕ delle barre deve essere compreso tra **5 e 10** mm.

2. Indicazioni di normativa

2.1. Metodo delle tensioni ammissibili (D.M.96')

Tensione ammissibile FeB44k $\overline{\sigma}_s = 255 \quad MPa$

2.2. Verifiche allo SLU

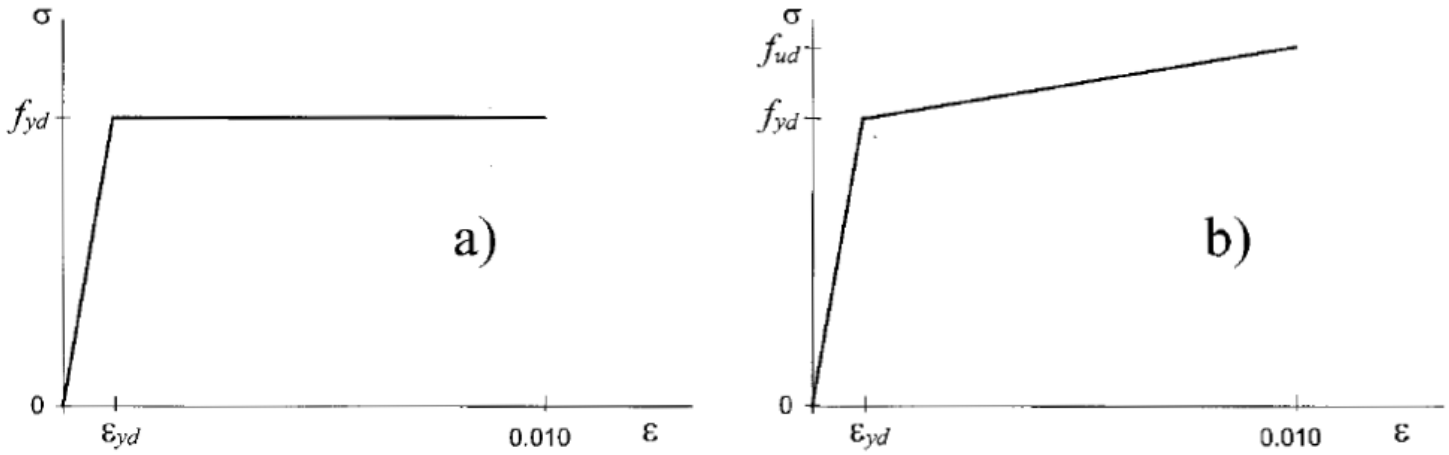


Fig. 2 - possibili diagramma di calcolo tensioni-deformazioni per l'acciaio

Si può usare il legame elastico-perfettamente plastico, con o senza limitazione della ε_u (i risultati sono praticamente coincidenti), o il legame incrudente.

E_s = 206000 (200000 EC2) MPa $\qquad f_{yd} = \dfrac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad \gamma_s = 1{,}15$

FeB44k	f_{yd} = 373,9 MPa	ε_{yk} = 0,00215	ε_{yd} = 0,00187
B450C	f_{yk} = 450 MPa	f_{yd} = 391,3 MPa	ε_{yd} = 0,00187

3. Aderenza acciaio-calcestruzzo (concetti preliminari)

3.1. Tensioni di aderenza

Dipende dal profilo (liscio o aderenza migliorata) – posizione nel getto (peggiore nella parte superiore) – dimensione dell'elemento.

Per barre ad aderenza migliorata $f_{bd} = 2{,}25\,\eta \frac{f_{ctk}}{\gamma_c}$

η = 1,0 per barre di diametro $\phi \leq 32$ mm

$\eta = (132 - \phi)/100$ per barre di diametro superiore.

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

La lunghezza di ancoraggio deve in ogni caso non essere inferiore a 20ϕ o 150mm [NTC2008 #4.1.2.1.8]

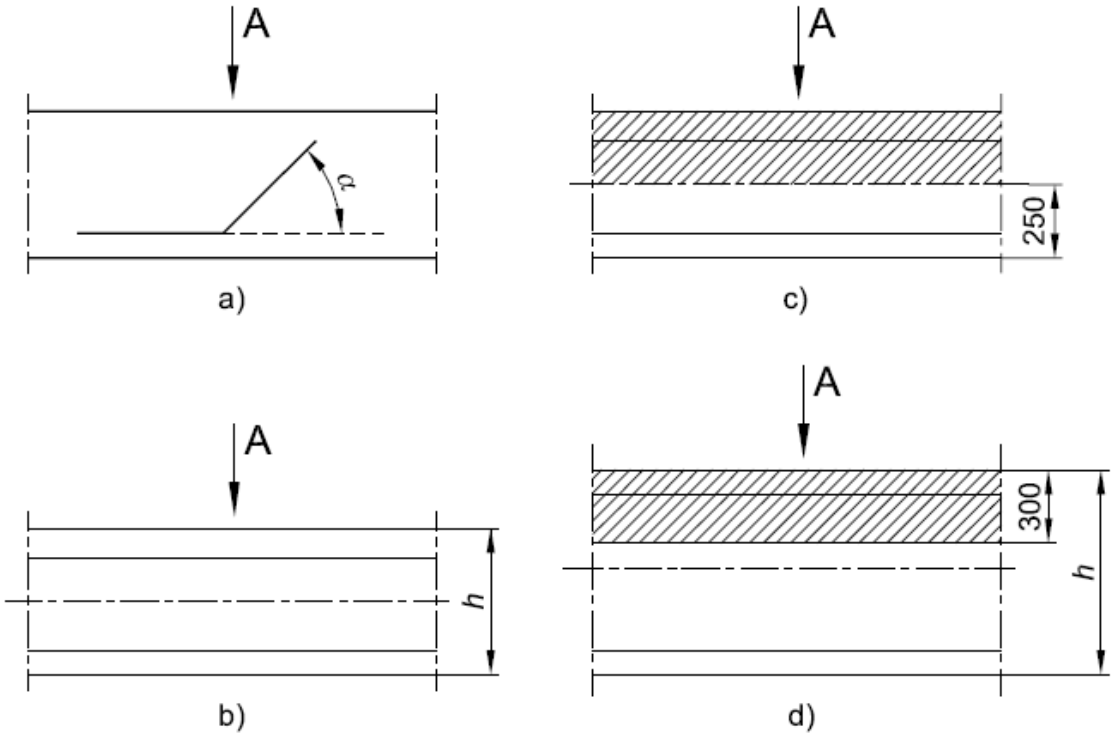
Il valore va ridotto del 30% secondo EC2 se le condizioni non sono buone.

Condizioni di aderenza (EC2: 2005)

figura 8.2 **Descrizione delle condizioni di aderenza**

Legenda

A	Direzione del getto
a) e b)	condizioni di "buona" aderenza per tutte le barre
c) e d)	zona non tratteggiata - condizioni di "buona" aderenza
	zona tratteggiata - condizioni di aderenza "mediocre"



3.2. Lunghezza di ancoraggio

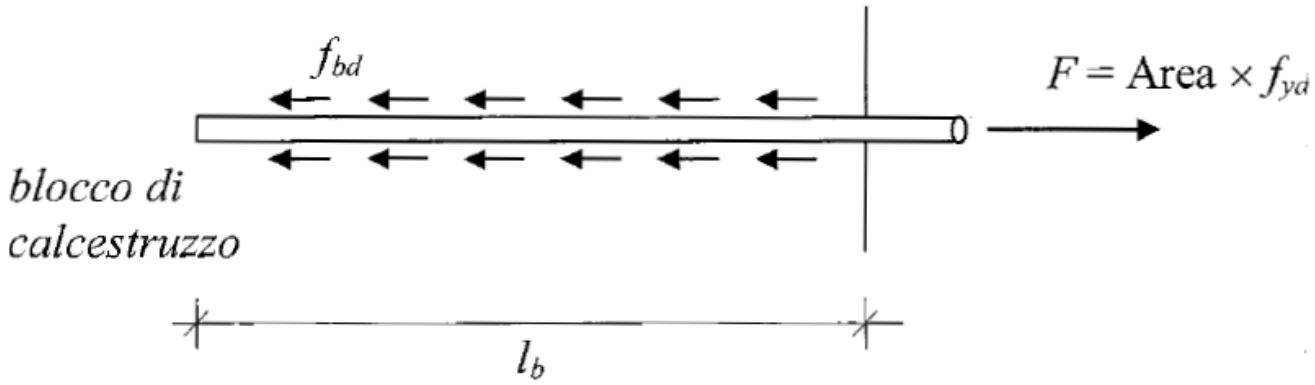


Fig. 4 - ancoraggio di una barra

La lunghezza di riferimento l_b si calcola per barra sollecitata da f_{yd} in condizioni di buona aderenza:

$$\pi \phi l_b f_{bd} = \frac{\pi \phi^2}{4} f_{yd} \rightarrow l_b = \frac{f_{yd}}{4 f_{bd}} \phi = \frac{373{,}9}{2{,}57} \phi = 36\phi \quad (cls\ C25/30)$$

Secondo EC2: 2005, la lunghezza di ancoraggio richiesta di base, per barra soggetta a σ_{sd} è:

$$l_{b,rqd} = \frac{\sigma_{Sd}}{4 f_{bd}} \phi .$$

La lunghezza di ancoraggio di progetto l_{bd} da adottare può essere inferiore in particolari condizioni (ricoprimento elevato, confinamento), ma comunque non minore di:

- per ancoraggi in trazione: $l_{b,min} > \max\{0,3 l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ mm}\}$; (8.6)
- per ancoraggi in compressione: $l_{b,min} > \max\{0,6 l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ mm}\}$. (8.7)

La trattazione dell'ancoraggio nell'EC2 è molto dettagliata.

In presenza di uncini (v. figura) si può adottare $l_{bd} = 0,7\ l_{b,rqd}$.

Si può comunque considerare lo sviluppo dell'uncino nel calcolo della lunghezza di ancoraggio.

figura 8.1 **Metodi di ancoraggio diversi dalla barra diritta**

Legenda

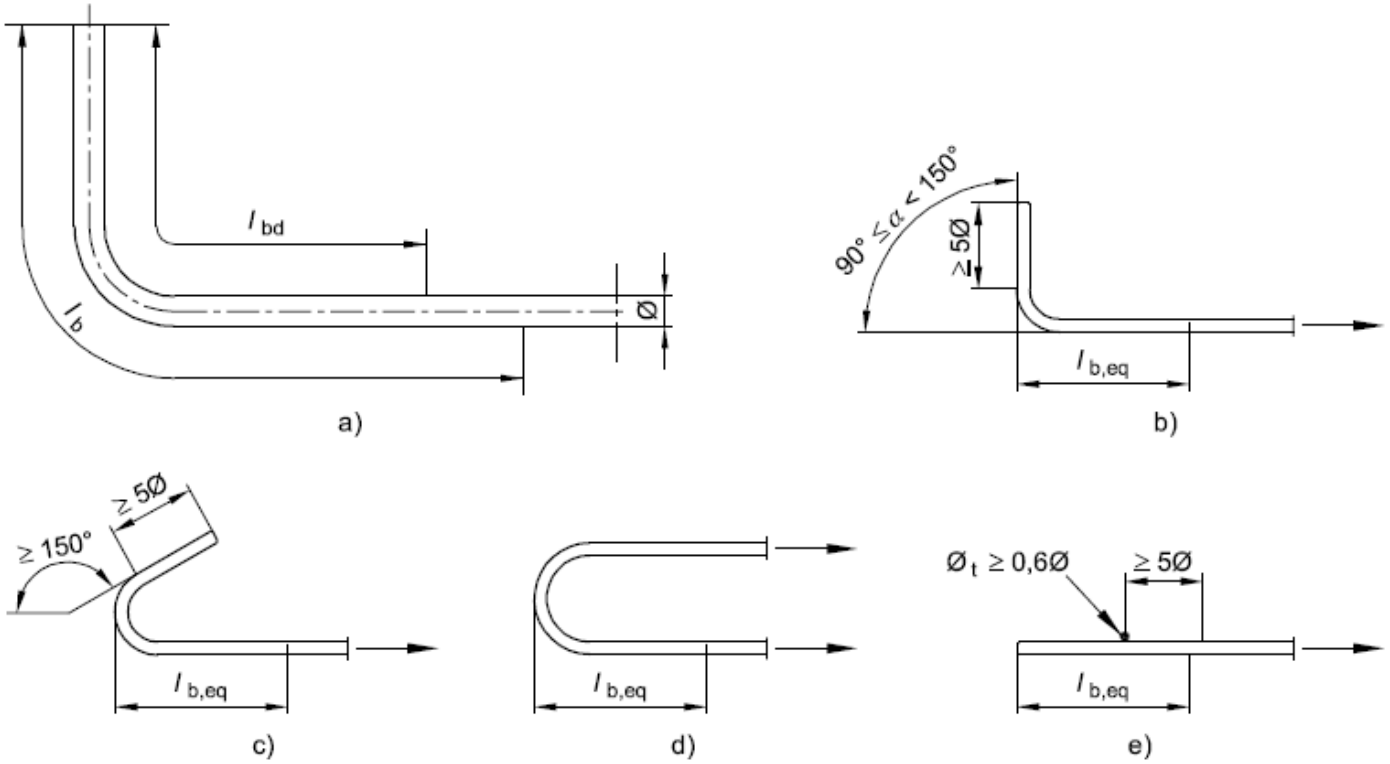
a) Lunghezza di ancoraggio di base in trazione, l_b, per qualsiasi forma misurata lungo l'asse

b) Lunghezza di ancoraggio equivalente per piegatura normalizzata

c) Lunghezza di ancoraggio equivalente per uncino normalizzato

d) Lunghezza di ancoraggio equivalente per forcella normalizzata

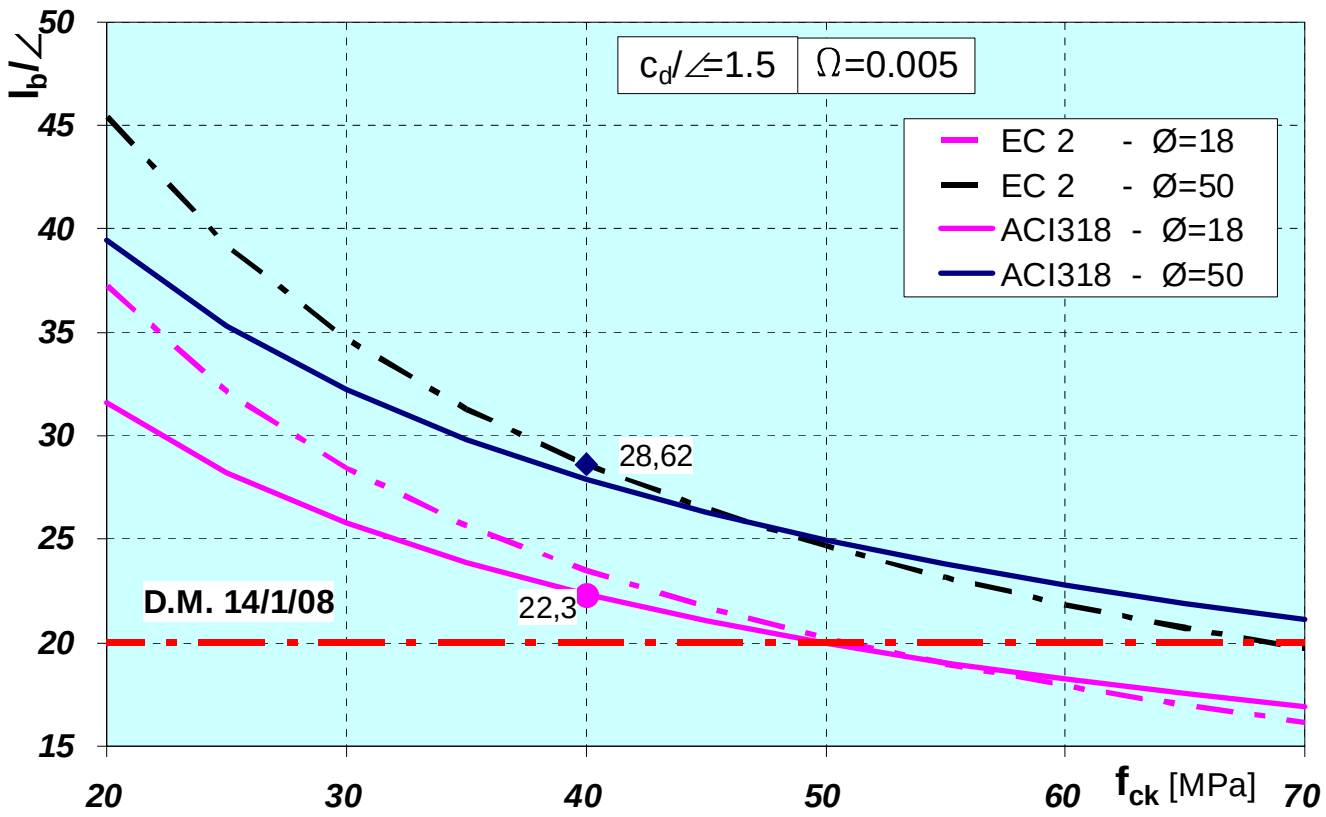
e) Lunghezza di ancoraggio equivalente per barra trasversale saldata



EC2: 2005

classe	f_{ck} [MPa]	f_{ctk} [MPa]	f_{bd} [MPa]	l_b / ϕ	f_{bd} / τ_b
C 25/30	25	1.80	2.69	36	1.49
C 50/60	50	2.85	4.28	23	1.43

DM 92: $\tau_b = 3.0\ \tau_{c0} = 1.6 \div 2.4$ MPa



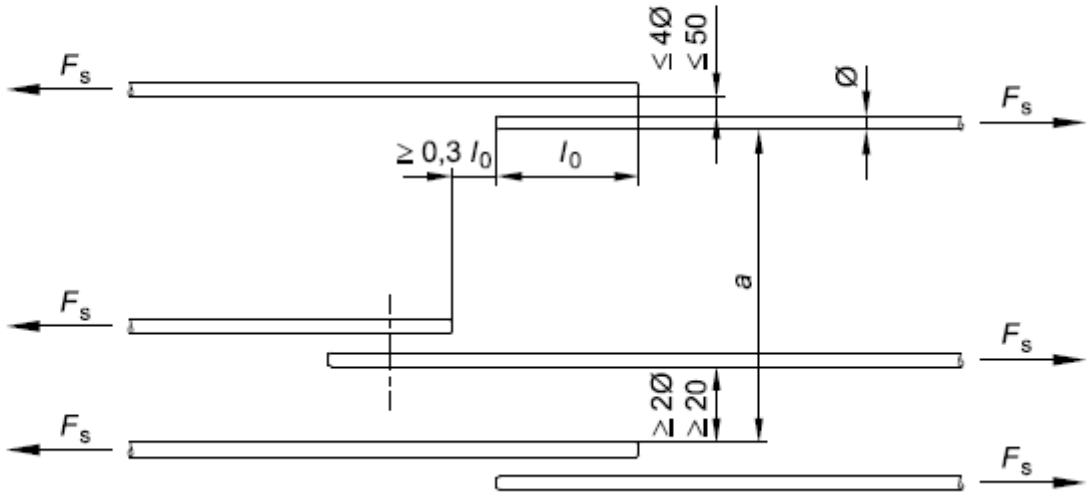
LE NTC2008 non forniscono una formula per il calcolo della lunghezza di ancoraggio, ma indicano solo il valore minimo pari a 20ϕ

3.2. Giunzioni per sovrapposizione

Il trasferimento della forza di trazione avviene attraverso bielle compresse. Per l'equilibrio è necessaria un'armatura trasversale di area complessiva pari a quella della barra interrotta, normalmente garantita dalle staffe.

figura 8.7 **Sovrapposizioni adiacenti**

Dimensioni in millimetri



La lunghezza di sovrapposizione l_0 secondo EC2 è pari a 1,5 volte la lunghezza di ancoraggio. Valori inferiori si possono adottare se le giunzioni sono sfalsate.

E’ comunque buona norma evitare di interrompere tutte le barre nella stessa sezione.

4. Ricoprimento e distanza tra le barre

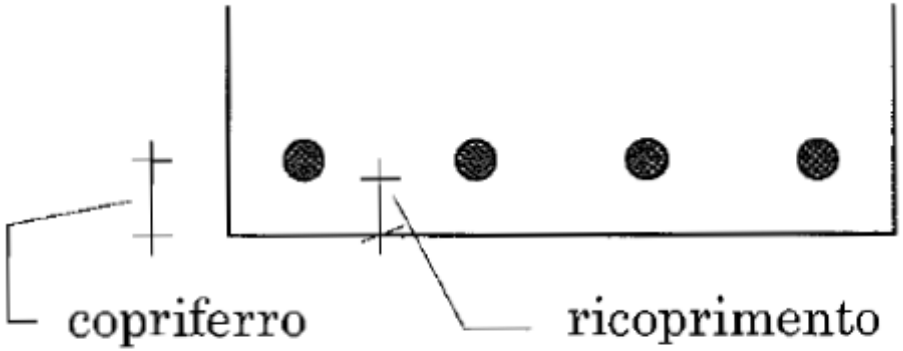


Fig. 7 - copriferro e ricoprimento

D.M. 96’: ricoprimento (dalla superficie delle staffe): Normativa italiana: 0,8 cm per solette e 2 cm per travi e pilastri. Interferro: maggiore di ϕ e 2 cm. Se sono accoppiate raddoppiare l’interferro. Nel caso di più strati considerare la difficoltà di costipamento.

NTC2008

4.1.6.1.3 Copriferro e interferro

L'armatura resistente deve essere protetta da un adeguato ricoprimento di calcestruzzo. Gli elementi strutturali devono essere verificati allo stato limite di fessurazione secondo il § 4.1.2.2.4.

Al fine della protezione delle armature dalla corrosione, lo strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve essere dimensionato in funzione dell'aggressività dell'ambiente e della sensibilità delle armature alla corrosione, tenendo anche conto delle tolleranze di posa delle armature.

Per consentire un omogeneo getto del calcestruzzo, il copriferro e l'interferro delle armature devono essere rapportati alla dimensione massima degli inerti impiegati.

Il copriferro e l'interferro delle armature devono essere dimensionati anche con riferimento al necessario sviluppo delle tensioni di aderenza con il calcestruzzo.

EC2 [4.4]: P) Il copriferro è la distanza tra la superficie esterna dell'armatura (inclusi staffe, collegamenti e rinforzi superficiali, se presenti) più prossima alla superficie del calcestruzzo e la superficie stessa del calcestruzzo.

P) Un copriferro minimo, c_{min}, deve essere assicurato al fine di garantire:

- la corretta trasmissione delle forze di aderenza $c_{min,b}$

- la protezione dell'acciaio contro la corrosione $c_{min,dur}$

- un'adeguate resistenza al fuoco

- P) Il copriferro nominale deve essere specificato sui disegni. Esso è definito come il copriferro minimo, c_{min} (4.4.1.2), più un margine di progetto per gli scostamenti, Δc_{dev}, in genere tra 5 e 10mm (4.4.1.3):

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$ $c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur}, 10 \text{ mm}\}$

La classe strutturale raccomandata è la S4, con vita utile di 50 anni

prospetto 4.4N **Valori del copriferro minimo, $c_{min,dur}$, requisiti con riferimento alla durabilità per acciai da armatura ordinaria, in accordo alla EN 10080**

Requisito ambientale per $c_{min,cur}$ (mm)							
Classe strutturale	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Copriferro minimo per garantire l'aderenza

per barre isolate $c_{min,b} = \phi$; se $D_{aggremato,\ max} > 32$ mm $c_{min,b} = \phi + 5$mm