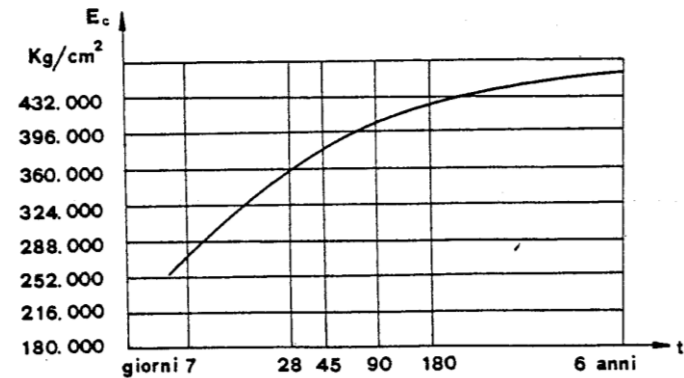
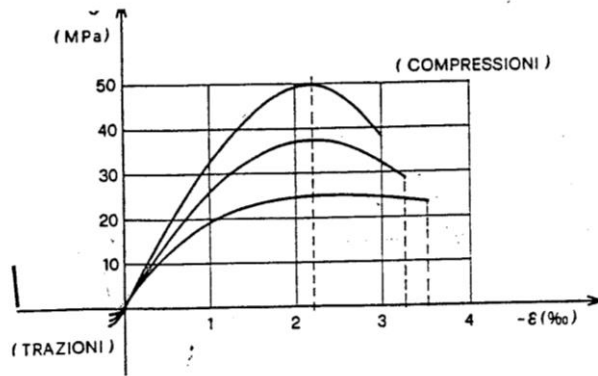


Cls: Deformabilità dipendente dal carico



Modulo elastico

Per modulo elastico istantaneo del calcestruzzo va assunto quello secante tra la tensione nulla e $0,40 f_{cm}$

$$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Es. C30/37
C20/25

$$E_{cm} = 33019 \text{ N/mm}^2$$
$$E_{cm} = 30200 \text{ N/mm}^2$$

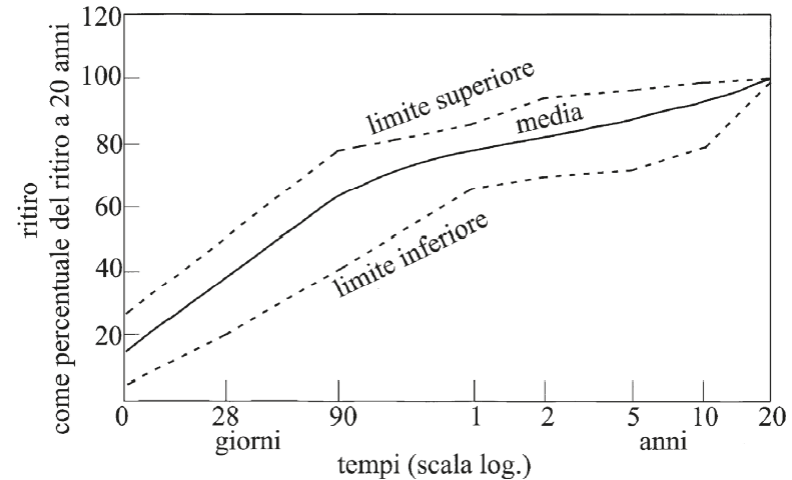
Coefficiente di Poisson può adottarsi a seconda dello stato di sollecitazione un valore compreso tra 0 (calcestruzzo fessurato) e 0,2 (non fessurato).

Coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo può assumersi un valor medio pari a $10 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Ritiro: Deformabilità indipendente dal carico

Ritiro dipende:

- dalla qualità del calcestruzzo;
- dalla geometria dell'elemento;
- dall'umidità;
- dalla temperatura dell'ambiente;
- dal rapporto acqua/cemento;
- dalla quantità di cemento impiegato.



$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$$

deformazione da ritiro ϵ_{cs} è la somma di:

- **ritiro da essiccamento** ϵ_{cd} si manifesta lentamente in seguito alla migrazione delle particelle di acqua all'interno della pasta cementizia indurita verso l'ambiente;
- **ritiro autogeno** ϵ_{ca} si sviluppa in seguito alla maturazione del calcestruzzo: per tale motivo si manifesta principalmente nel periodo immediatamente successivo al getto.

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento $\epsilon_{cd,\infty}$ può essere valutato in funzione della resistenza caratteristica a compressione, dell'umidità relativa e del parametro h_0 :

$$\epsilon_{cd,\infty} = k_h \epsilon_{c0}$$

Tab. 11.2.Va – Valori di ϵ_{c0}

f_{ck}	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità Relativa (in ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0,62	-0,58	-0,49	-0,30	-0,17	+0,00
40	-0,48	-0,46	-0,38	-0,24	-0,13	+0,00
60	-0,38	-0,36	-0,30	-0,19	-0,10	+0,00
80	-0,30	-0,28	-0,24	-0,15	-0,07	+0,00

Tab. 11.2.Vb – Valori di k_h

h_0 (mm)	k_h
100	1,00
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

h_0 è la dimensione fittizia (in mm) pari al rapporto $2A_c / u$ essendo A_c è l'area della sezione in calcestruzzo
 u è il perimetro della sezione in calcestruzzo esposto all'aria
 Per valori intermedi è prevista l'interpolazione

Ritiro: Deformabilità indipendente dal carico

La variazione nel tempo è data da:

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t - t_s) \cdot \varepsilon_{cd,\infty}$$

con

$$\beta_{ds}(t-t_s) = (t-t_s) / [(t-t_s)+0,04 h_0^{3/2}]$$

t è l'età del calcestruzzo nel momento considerato (in giorni)

t_s è l'età del calcestruzzo a partire dalla quale si considera l'effetto del ritiro da essiccamento (normalmente il termine della maturazione, espresso in giorni).

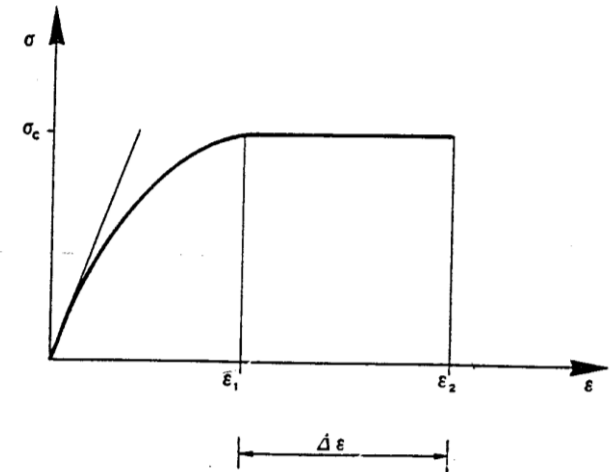
Il **valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro autogeno** $\varepsilon_{ca,\infty}$ può essere valutato mediante l'espressione:

$$\varepsilon_{ca,\infty} = -2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \quad \text{con } f_{ck} \text{ in MPa.}$$

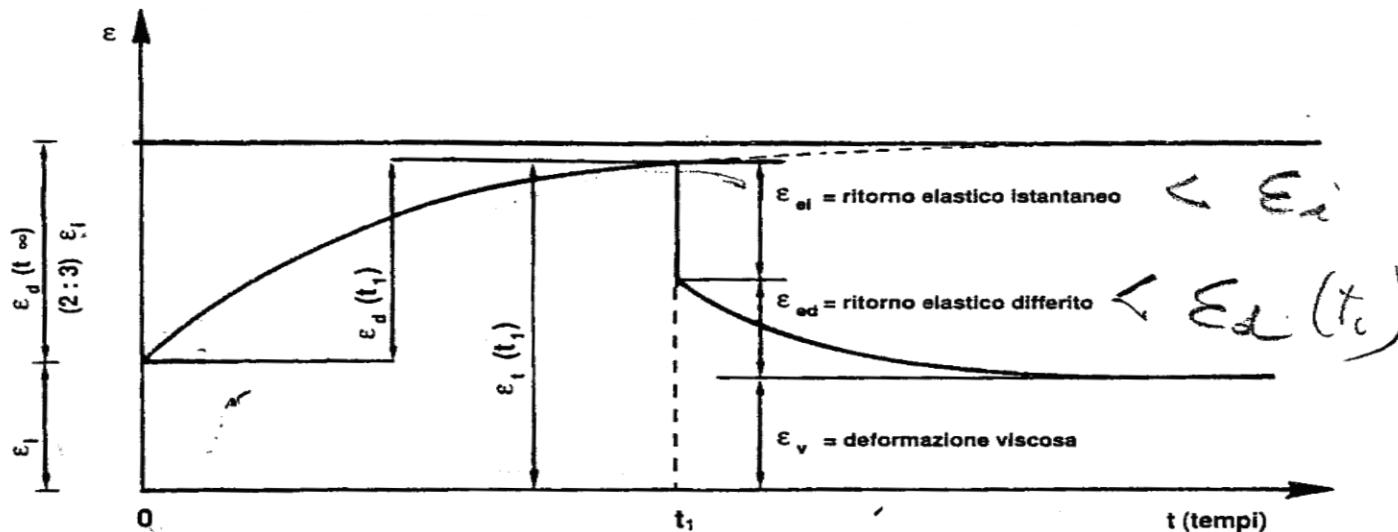
Viscosità: deformazione differita (fluage)

c) Deformazione viscosa dipende:

- dall'umidità ambientale;
- dalle dimensioni dell'elemento;
- dal tipo di calcestruzzo utilizzato;
- dall'età dello stesso al momento della messa in carico;
- dalla durata e dal livello del carico applicato.



Carico costante



Viscosità: deformazione differita (fluage)

$\sigma \leq 0.45 f_{ckj}$

La deformazione viscosa si assume pari a

$$\varepsilon_v(t, t_0) = \varphi(t, t_0) \cdot \varepsilon_e(t_0) \quad \Rightarrow \quad E^* = \frac{E}{1 + \varphi(t, t_0)}$$

$\varphi(t, t_0)$ *coefficiente di viscosità lineare* al tempo t relativo all'istante t_0 di messa in carico

In sede di progettazione, se lo stato tensionale del calcestruzzo, al tempo $t_0 = j$ di messa in carico, non è superiore a $0.45 \cdot f_{ckj}$ il coefficiente di viscosità $\varphi(\infty, t_0)$, a tempo infinito, può essere dedotto dalle Tabelle

$\sigma > 0.45 f_{ckj}$

La deformazione viscosa ha legge esponenziale (EC2):

$$\varphi_k(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \exp[1.5(k_\sigma - 0.45)]$$

dove $k_\sigma = \frac{\sigma_c}{f_{cm}}$ σ_c Tensione di compressione

f_{cm} Resistenza media a compressione al momento della messa in carico

Viscosità: deformazione differita (fluage)

Tabella 11.2.VI – Valori di $\phi(\infty, t_0)$. Atmosfera con umidità relativa di circa il 75%

t_0	$h_0 \leq 75$ mm	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	3,5	3,2	3,0	2,8
7 giorni	2,9	2,7	2,5	2,3
15 giorni	2,6	2,4	2,2	2,1
30 giorni	2,3	2,1	1,9	1,8
≥ 60 giorni	2,0	1,8	1,7	1,6

Tabella 11.2.VII - Valori di $\phi(\infty, t_0)$. Atmosfera con umidità relativa di circa il 55%

t_0	$h_0 \leq 75$ mm	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	4,5	4,0	3,6	3,3
7 giorni	3,7	3,3	3,0	2,8
15 giorni	3,3	3,0	2,7	2,5
30 giorni	2,9	2,6	2,3	2,2
≥ 60 giorni	2,5	2,3	2,1	1,9

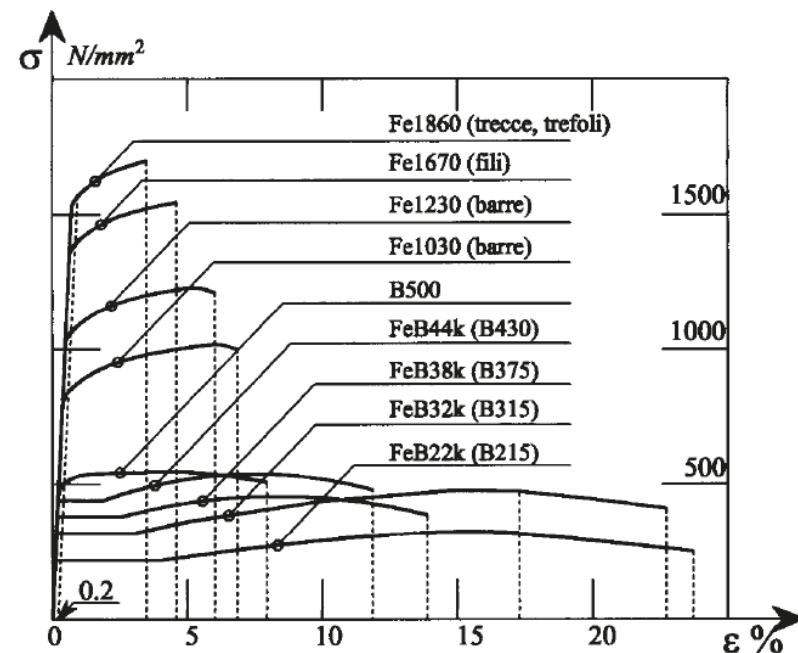
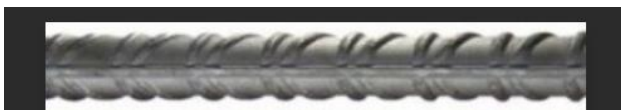
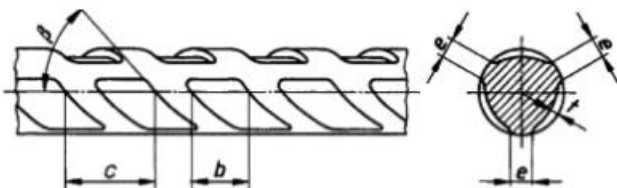
A_c l'area della sezione in conglomerato
u il perimetro della sezione in conglomerato esposto all'aria
 h_0 dimensione fittizia (in mm) pari al rapporto $2 A_c / u$

Per valori intermedi è ammessa una interpolazione lineare.

Le NTC prevedono che i controlli sugli acciai da costruzione siano effettuati:

- **negli stabilimenti di produzione** su lotti di produzione continua. Nella maggior parte dei casi, negli stabilimenti nei quali sono presenti i forni di fusione, si può individuare come lotto di produzione la colata;
- **nei centri di trasformazione** su forniture di materiale lavorato;
- **in cantiere**, nell'ambito dei controlli di accettazione, su lotti di spedizione.

tutti gli acciai per cemento armato devono essere ad aderenza migliorata



Acciaio: Centri di Trasformazione

Si definisce Centro di trasformazione un impianto esterno alla fabbrica e/o al cantiere, fisso o mobile, che riceve dal produttore di acciaio elementi base (barre, rotoli, reti, lamiere o profilati, profilati cavi, ecc.) e confeziona elementi strutturali direttamente impiegabili in cantiere, pronti per la messa in opera o per successive lavorazioni. Il Centro di trasformazione può ricevere e lavorare solo prodotti qualificati all'origine, accompagnati dalla documentazione prevista.

La normativa insiste, in modo particolare, sull'adozione di procedure documentate e sull'implementazione di un sistema di controllo delle lavorazioni allo scopo di garantire il mantenimento della conformità delle caratteristiche meccaniche e geometriche dei prodotti oggetto di lavorazione e di assicurarne una completa tracciabilità. Ciò comporta, da parte del centro di trasformazione, la necessità dell'adozione di tutta una serie di misure e di accorgimenti tecnici ed organizzativi, volti a garantire il mantenimento di un adeguato livello di controllo e verifica sull'intero processo produttivo e di lavorazione, ivi compresa l'adozione di un apposito archivio delle commesse adeguatamente verificabile su richiesta degli aventi titolo.

Acciaio: Forniture e documenti di accompagnamento

Tutte le forniture di acciaio, provenienti dallo stabilimento di produzione (Produttore), devono essere accompagnate da:

A) nel caso si applichi la Marcatura CE

- copia della Dichiarazione di prestazione CE;
- certificato di controllo interno dello specifico lotto di materiale fornito;
- documento di trasporto con la data di spedizione, la quantità, il tipo di acciaio, il destinatario ed i riferimenti della Dichiarazione di prestazione.

B) nel caso non si applichi la Marcatura CE

- copia dell'attestato di qualificazione del Servizio Tecnico Centrale;
- certificato di controllo interno dello specifico lotto di materiale fornito;
- documento di trasporto con la data di spedizione ed il riferimento alla quantità, al tipo di acciaio, alle colate, al destinatario ed i riferimenti dell' Attestato di qualificazione.

Il “certificato di controllo interno deve intendersi strettamente riferito al certificato di origine fornito dall'acciaieria (produttore) all'atto di immissione in commercio del prodotto laminato.

Il Direttore dei Lavori prima della messa in opera, è tenuto a verificare la documentazione di accompagnamento e rifiutare le forniture non conformi.

L'acciaio per cemento armato è il **B450C** e in alcuni casi il **B450A** entrambi caratterizzati dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura:

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

Con riferimento ai controlli presso gli stabilimenti di produzione, l'acciaio B450C deve rispettare i requisiti:

Caratteristiche		Requisiti	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	$\geq f_{y \text{ nom}}$	5.0
Tensione caratteristica a carico massimo	f_{tk}	$\geq f_{t \text{ nom}}$	5.0
	$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
		$< 1,35$	
	$(f_y/f_{ynom})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento	$(A_{gt})_k$	$\geq 7,5\%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:			
	$\phi < 12 \text{ mm}$	4 ϕ	
	$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 ϕ	
	per $16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 ϕ	
	per $25 < \phi \leq 40 \text{ mm}$	10 ϕ	

Con riferimento ai controlli presso gli stabilimenti di produzione, l'acciaio trafilato a freddo B450A deve rispettare i requisiti:

Tab. 11.3.Ic

Caratteristiche		Requisiti	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	$\geq f_{y\text{ nom}}$	5.0
Tensione caratteristica a carico massimo	f_{tk}	$\geq f_{t\text{ nom}}$	5.0
	$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	10.0
	$(f_y/f_{y\text{ nom}})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento	$(A_{gt})_k$	$\geq 2,5\%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:	per $\phi \leq 10\text{ mm}$	4 ϕ	

Acciaio

La **prova di piegamento e raddrizzamento** si esegue alla temperatura di 20 ± 5 °C piegandola provetta a 90° , mantenendola poi 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.

L'acciaio per cemento armato è prodotto in stabilimento sotto forma di:

- barre o rotoli,
- reti o tralicci.

Le **barre** sono caratterizzate dal diametro \emptyset della barra tonda liscia equipesante.

Il diametro \emptyset delle barre in B450C deve essere compreso tra 6 e 40 mm.

L'uso di acciai forniti in **rotoli** è ammesso per diametri fino a $\emptyset \leq 16$ mm per B450C.

Le **reti elettrosaldate** sono costituite da due sistemi di barre parallele ortogonali equidistanziate, assemblate per saldatura negli incroci chiamati nodi. La equidistanza non può superare 330 mm.

I **tralicci** sono dei componenti reticolari composti con barre ed assemblati mediante saldature.

Le reti ed i tralicci B450C devono avere diametro \emptyset compreso tra 6 e 16 mm.

Resistenza di distacco pari al 25% della forza di snervamento della barra.

Acciaio: Controllo di accettazione in cantiere

I controlli di accettazione sono obbligatori e devono essere effettuati entro **30 giorni** dalla data di consegna del materiale a cura di un Laboratorio autorizzato. E' opportuno che vengano eseguiti prima della messa in opera.

Le prove di verifica devono essere eseguiti in ragione di **3 campioni ogni 30 t** di acciaio impiegato della stessa classe proveniente dallo stesso stabilimento o Centro di trasformazione, anche se con forniture successive

Tab. 11.3.VII a) – Valori di accettazione in cantiere – barre

Caratteristica	Valore limite	Note
f_y minimo	425 N/mm ²	per acciai B450A e B450C
f_y massimo	572 N/mm ²	per acciai B450A e B450C
A_{gt} minimo	$\geq 6,0\%$	per acciai B450C
A_{gt} minimo	$\geq 2,0\%$	per acciai B450A
f_t / f_y	$1,13 \leq f_t / f_y \leq 1,37$	per acciai B450C
f_t / f_y	$f_t / f_y \geq 1,03$	per acciai B450A
Piegamento/raddrizzamento	assenza di cricche	per acciai B450A e B450C

Acciaio: Controllo di accettazione in cantiere

I campioni devono essere ricavati da barre di uno stesso diametro o della stessa tipologia (in termini di diametro e dimensioni) per **reti e tralicci**, e recare il marchio di provenienza.

Tab. 11.3.VII b) – Valori di accettazione in cantiere – reti e tralicci

Caratteristica	Valore limite	Note
f_y minimo	425 N/mm ²	per acciai B450A e B450C
f_y massimo	572 N/mm ²	per acciai B450A e B450C
A_{gt} minimo	≥ 6,0%	per acciai B450C
A_{gt} minimo	≥ 2,0%	per acciai B450A
f_t / f_y	$1,13 \leq f_t / f_y \leq 1,37$	per acciai B450C
f_t / f_y	$f_t / f_y \geq 1,03$	per acciai B450A
Distacco del nodo	≥ Sez. nom. Ø maggiore × 450 × 25%	per acciai B450A e B450C

Acciaio: Controllo di accettazione in cantiere

Il prelievo dei campioni va eseguito alla presenza del **Direttore dei Lavori** o di un tecnico di sua fiducia che provvede alla redazione di apposito **verbale di prelievo** ed alla **identificazione dei provini** mediante sigle, etichettature indelebili, ecc.; la certificazione effettuata dal laboratorio prove materiali deve riportare il riferimento a tale verbale. La **richiesta di prove al laboratorio** incaricato deve essere sempre firmata dal Direttore dei Lavori, che rimane anche responsabile della **trasmissione dei campioni**.

Il **laboratorio** incaricato di effettuare le prove provvede **all'accettazione dei campioni** accompagnati dalla lettera di richiesta sottoscritta dal direttore dei lavori. Il laboratorio **verifica lo stato dei provini** e la documentazione di riferimento ed in caso di anomalie riscontrate sui campioni oppure di mancanza totale o parziale degli strumenti idonei per la identificazione degli stessi, deve sospendere l'esecuzione delle prove e darne notizia al Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Acciaio: Controllo di accettazione in cantiere

Il prelievo potrà anche essere eseguito dallo stesso laboratorio incaricato della esecuzione delle prove. I laboratori devono conservare i campioni sottoposti a prova per almeno trenta giorni dopo l'emissione dei certificati di prova, in modo da consentirne l'identificabilità e la rintracciabilità.

Qualora il risultato non sia conforme a quello dichiarato dal fabbricante, il direttore dei lavori dispone la ripetizione della prova su 6 ulteriori campioni dello stesso diametro.

Ove anche da tale accertamento i limiti dichiarati non risultino rispettati, il controllo deve estendersi, previo avviso al fabbricante nel caso di fornitura di acciaio non lavorato presso un centro di trasformazione, o al centro di trasformazione, a 25 campioni.

Acciaio: Controllo di accettazione in cantiere

I **certificati** emessi dai laboratori devono obbligatoriamente contenere:

- l'identificazione del laboratorio che rilascia il certificato;
- una identificazione univoca del certificato (numero di serie e data di emissione) e di ciascuna sua pagina, oltre al numero totale di pagine;
- l'identificazione del committente dei lavori in esecuzione e del cantiere di riferimento;
- il nominativo del direttore dei lavori che richiede la prova;
- la descrizione e l'identificazione dei campioni da provare;
- la data di ricevimento dei campioni e la data di esecuzione delle prove;
- l'identificazione delle specifiche di prova o la descrizione del metodo o procedura adottata, con l'indicazione delle relative norme di riferimento;
- le dimensioni effettivamente misurate dei campioni;
- i valori delle grandezze misurate e l'esito delle prove di piegamento;
- indicazione del marchio identificativo