

I CONTROLLI NELLE OPERE STRUTTURALI

PRODOTTI PER USO STRUTTURALE: Si intende *per prodotto per uso strutturale* qualsiasi materiale o prodotto che consenta ad un'opera, ove questo è incorporato, di soddisfare il requisito essenziale **resistenza meccanica e stabilità**. Il produttore è colui che immette un determinato prodotto sul mercato, per un determinato impiego, assumendosene le relative responsabilità (conformità). Il materiale ed i prodotti per uso strutturale utilizzati nelle opere devono rispondere ai requisiti indicati nelle normative e devono essere:

- identificati** univocamente a cura del produttore, secondo le procedure applicabili;
- qualificati** sotto la responsabilità del produttore;
- accettati** dal Direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione.

Per i materiali e prodotti per uso strutturale le N.T.C. prevedono:

Marcatura CE se è disponibile una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su GUUE. Al termine del periodo di coesistenza l'impiego nelle opere è possibile soltanto se in possesso della marcatura CE, prevista dalla Direttiva 89/106/CEE *Prodotti da costruzione* CPD;

Qualificazione Nazionale se è disponibile una norma armonizzata o la stessa ricade nel periodo di coesistenza, o sia prevista la qualificazione con modalità e procedure indicate nelle NTC. È fatto salvo il caso in cui, nel periodo di coesistenza della norma armonizzata, il produttore volontariamente opta per la Marcatura CE;

Marcatura CE con BTE o Certificato di Idoneità Tecnica per materiali innovativi e non ricadenti nelle precedenti tipologie: il produttore potrà pervenire alla marcatura CE in conformità a Benestare Tecnici Europei, ETA, o, in alternativa, dovrà possedere un Certificato di Idoneità Tecnica all'Impiego rilasciato dal S. T. C. sulla base di linee guida approvate dal C. S.LLPP.

CONTROLLO DI PRODUZIONE: Il Controllo di Produzione di fabbrica è costituito da un insieme di elementi ed azioni che coagiscono assicurando la commercializzazione di prodotti conformi alle norme e coerenti alle richieste del cliente. Il Controllo di processo è assoggettato a verifiche di conformità da parte di un organismo terzo riconosciuto dal *Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici*.

Il Controllo di Produzione:

- assolve gli obblighi di legge del fabbricante;
- identifica le inefficienze;
- massimizza la prestazione;
- riduce i costi derivanti da contestazioni;
- migliora l'immagine;
- consente di vedere dove si annidano ulteriori margini.

È caratterizzato da:

1.aspetti organizzativi;

- 2.attività di controllo;
- 3.aspetti documentali.

ASPETTI ORGANIZZATIVI: La norma impone:

- 1.la definizione delle responsabilità ed autorità di tutti coloro la cui attività è funzionale alla produzione e qualità del prodotto. Ognuno deve conoscere i compiti propri ed altrui perché possa agire ed interagire con i colleghi con efficienza;
- 2.la nomina, per ogni impianto, di un Responsabile della produzione che abbia responsabilità nelle attività legate alla produzione e sull'applicazione di Manuale e Procedure.
- 3.il continuo monitoraggio della Produzione, da parte dell'Azienda.
4. la formazione ed aggiornamento del personale

CONTROLLO DEI MATERIALI NELLE STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO: Il calcestruzzo e l'acciaio delle strutture in c. a. sono organismi che si scambiano reciproca collaborazione. Il buon costruire, cioè la **vita di servizio** di un elemento strutturale, dipende:

- impostazione strutturale corretta;*
- cura dei dettagli costruttivi;**
- controllo dei materiali impiegati;**
- lavorazione delle armature;**
- posa in opera delle armature e del calcestruzzo;**
- stagionatura.**

Un progetto strutturale ottimo sia dal punto di vista della concezione strutturale che della disposizione delle armature, viene spesso stravolto in sede esecutiva. Le norme danno una serie di prescrizioni da rispettare, in alcuni casi obbligatoriamente, che vanno interpretate ed applicate.

ERRORI PIÙ FREQUENTI: Nella prescrizione e nell'esecuzione di opere in c.a. gli errori più frequenti, che nel tempo causano gravi patologie e costosi interventi di ripristino strutturale, sono:

- insufficiente Rck in relazione alle condizioni di esercizio;
- Rck non conforme ai rapporti a/c, quando prescritti;
- mancata e/o errata indicazione di Rck e dosaggio relativo;
- spessore del copriferro errato o non rispettato;
- diametro massimo degli aggregati inadeguato;
- inadeguata classe di consistenza del calcestruzzo per la tipologia della struttura da realizzare;
- inadeguato interferro;
- errata piegatura delle barre;
- mancanza di prescrizioni idonee per la stagionatura delle opere;
- modifica della plasticità del cls con improprie aggiunte di acqua durante il getto.

COMPITI DEL DIRETTORE DEI LAVORI : Il D.L. (o un tecnico da lui delegato), nell'esecuzione delle strutture in c.a., svolge i seguenti compiti:

1) verifica della documentazione rilasciata, *per il cls*, dall'ente ispettivo autorizzato dal Ministero dei LLPP, sul processo produttivo del calcestruzzo industrializzato che deve accompagnare ogni fornitura, e *per l'acciaio*, dal produttore/fornitore di barre d'acciaio per ogni lotto di spedizione;

2) prelievo di provini di acciaio e di cls, secondo la frequenza prevista, da inviare ad un laboratorio prove materiali (con nota di accompagnamento che indica, per la determinazione della R_{ck} , la *data del prelievo*, *precise indicazioni sulla posizione delle strutture interessate da ciascun prelievo*);

3) verifica della resistenza strutturale media del cls in opera R_{ms} che deve essere congruente con la resistenza potenziale media di progetto R_m : $R_{ms} \geq 0,85 \times R_m$.

Qualora il direttore dei lavori ritenga che si debbano effettuare varianti al progetto originale per cause non previste dal progetto o per errate valutazioni dello stesso, *deve avvertire* con una relazione tecnica il committente ed il progettista strutturale che provvederà a fornire le indicazioni progettuali per la corretta esecuzione dell'opera.

COMPITI DEL COLLAUDATORE STATICO: Per quanto attiene le opere in c.a. il *collaudatore deve*:

controllare i documenti, forniti dai produttori, attestanti il possesso delle necessarie autorizzazioni;

esaminare il progetto per quanto attiene la vita utile di servizio e la durabilità;

controllare le certificazioni dei controlli di accettazione relativi al calcestruzzo ed all'acciaio. Il *collaudatore può*, inoltre:

richiedere prove supplementari (prove in sito, prove di carico, ecc.) sulla sicurezza e la durabilità dell'opera;

predisporre un programma di prove da sottoporre all'accettazione del progettista, della D.L. e dell'impresa esecutrice.

Le prove di carico, della cui *attuazione è responsabile* il *direttore dei lavori*, vanno condotte con azioni pari ai valori massimi di progetto, soltanto quando:

i materiali hanno raggiunto le resistenze attese;

la struttura ha assunto la configurazione finale. Il collaudatore deve successivamente *esaminarne i risultati ed esprimere il giudizio sull'esito* sotto la propria esclusiva responsabilità.

I CONTROLLI DEL CALCETRUZZO

Possiamo distinguere quattro tipologie ben definite di controlli:

- 1) Controllo della produzione o controllo della qualità:** verifica come si muovono le correlazioni adottate e le azioni di intervento connesse ai target stabiliti;
- 2) Controllo di conformità in produzione:** verifica il rispetto di criteri di conformità prescritti dalla normativa, così quelli, per esempio, dettati dalla UNI EN 206-1;
- 3) Controllo di conformità in cantiere:** verifica il rispetto dei patti contrattuali con l'acquirente;
- 4) Controllo di Accettazione secondo la normativa vigente:** serve al Direttore dei Lavori per controllare la qualità dei calcestruzzi impiegati nel cantiere secondo le specifiche di progetto.

TIPI DI CEMENTO: La norma EN UNI 197-1 prevede **5** tipi di cemento per un totale di **27** specie diverse.

Tipi di cementi secondo UNI EN 197-1		
Tipi principali	Denominazione dei 27 cementi	
CEM I	Cem. Portland	CEM I
CEM II	Cem. Portland alla loppa	CEM II/A-S CEM II/B-S
	Cem. Portland ai fumi di silice	CEM II/A-D
	Cem. Portland alla pozzolana	CEM II/A-P
		CEM II/B-P
		CEM II/A-Q
		CEM II/B-Q
	Cem. Portland alle ceneri volanti	CEM II/A-V
		CEM II/B-V
		CEM II/A-W
		CEM II/B-W
	Cem. Portland allo scisto calcinato	CEM II/A-T
		CEM II/B-T
	Cem. Portland al calcare	CEM II/A-L
		CEM II/B-L
CEM II/A-LL		
CEM II/B-LL		
Cem. Portland composito	CEM II/A-M	
	CEM II/B-M	
CEM III	Cem. d'altoforno	CEM III/A
		CEM III/B
		CEM III/C
CEM IV	Cem. pozzolanico	CEM IV/A
		CEM IV/B
CEM V	Cem. composito	CEM V/A
		CEM V/B

CLASSE DI RESISTENZA DEI CEMENTI: Per ogni tipo di cemento esistono **6** possibili classi di resistenza:

- 32.5 N
- 32.5 R
- 42.5 N
- 42.5 R
- 52.5 N
- 52.5 R

La lettera **N** o **R** è indicativa delle prestazioni meccaniche alle brevi stagionature.

Classe di resistenza	Resistenza a compressione minima (N/mm ²)		
	2 giorni	7 giorni	28 giorni
32.5N	---	16	32.5
32.5R	10	---	32.5
42.5N	10	---	42.5
42.5R	20	---	42.5
52.5N	20	---	52.5
52.5R	30	---	52.5

SPECIFICHE PER IL CALCESTRUZZO A PRESTAZIONE GARANTITA: Le N.T.C. prevedono per il calcestruzzo, all'*atto del progetto*, i seguenti parametri descrittivi obbligatori:

- Resistenza caratteristica Rck;**
- Classe di consistenza;**
- Diametro massimo dell'inerte;**
- Classe di esposizione;**
- Requisiti aggiuntivi.**

I **requisiti di base** sono necessari a identificare le caratteristiche di tutti i calcestruzzi, quelli **aggiuntivi** sono necessari per identificare necessità particolari legate al getto o alla struttura. Per esempio, l'indicazione della consistenza è necessaria per tutti i conglomerati, per individuarne il *grado di lavorabilità*. L'impiego di un cemento a basso calore di idratazione è un requisito aggiuntivo, indispensabile in taluni casi, indifferente in altri.

In analogia il Direttore dei Lavori deve vigilare la corretta esecuzione delle armature in funzione della particolarità dell'opera, del clima e della particolarità costruttiva.

SPECIFICHE INUTILI: Poiché è impossibile verificare al *momento della fornitura* le prescrizioni:

- dosaggio degli ingredienti**
- forma degli aggregati**
- tessitura degli aggregati**
- distribuzione granulometrica degli aggregati.**

E' inutile indicare tali specifiche in contratto o in capitolato.

CLASSI DI RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO:

A seconda dei valori di resistenza ottenuti in N/mm², il calcestruzzo è classificato in **4** categorie: *non strutturale, ordinario, alte prestazioni e alte resistenze*.

Nelle NTC **Rck** indica la resistenza cubica e **fck** indica la resistenza cilindrica. Nelle EN 206-1 e UNI 11104 **fck,cube** indica la resistenza cubica e **fck,cyl** indica la resistenza cilindrica, mentre le classi di resistenza sono espresse dalla lettera **C** seguita da due valori, espressi in N/mm², riferiti il primo a provini cilindrici di diametro 150 mm ed altezza 300 mm, **fck,cyl**, e il secondo a provini cubici di spigolo pari a 150 mm, **fck,cube**. Pertanto lo stesso calcestruzzo può essere **correttamente** identificato dal progettista e dal produttore in quattro modi equivalenti:

- Rck 30**
- fck,cube 30**
- C25/30**

□ $f_{ck, cyl} 25$

La UNI EN 206-1 individua **16** classi di resistenza a compressione del calcestruzzo.

Classi di resistenza a compressione secondo UNI EN 206-1			
Classe di resistenza a compressione	Resistenza caratteristica cilindrica R_{ck} (N/mm^2)	Resistenza caratteristica cubica f_{ck} (N/mm^2)	Tipo di calcestruzzo
C 8/10	8	10	NON
C 12/15	12	15	STRUTTURALE
C 16/20	16	20	ORDINARIO
C 20/25	20	25	
C 25/30	25	30	
C 30/37	30	37	
C 35/45	35	45	
C 40/50	40	50	
C 45/55	45	55	ALTE PRESTAZIONI
C 50/60	50	60	
C 55/67	55	67	
C 60/75	60	75	ALTE RESISTENZE
C 70/85	70	85	
C 80/95	80	95	
C 90/105	90	105	
C 100/115	100	115	

Non strutturale in zona sismica

Autorizzazione Consiglio Sup. LL.PP.
C80/95
C90/105

CLASSI DI CONSISTENZA DEL CALCESTRUZZO: La classe di consistenza **deve** essere prescritta nel **progetto** in funzione della difficoltà esecutiva dell'opera. Indica la capacità del calcestruzzo fresco, ovvero allo stato plastico, ad essere *trasportato*, *gettato* e *costipato*, cioè la **lavorabilità**. La **mobilità** del calcestruzzo facilita il *trasporto* (pompaggio), il *getto* (caduta per gravità nella canaletta) e l'*avvolgimento* delle barre nelle casseforme. La **compattabilità** agevola la fuoriuscita dell'aria intrappolata, assicurando la massima densità possibile del materiale indurito ed il massimo contatto tra le barre ed il cls. Queste caratteristiche condizionano pesantemente le prestazioni del cls in servizio. Tuttavia le prescrizioni della lavorabilità sono spesso disattese in fase di progetto e manipolate in cantiere con improprie aggiunte di acqua, che penalizzano la resistenza meccanica e la durabilità.

Esistono diversi metodi per la misura della lavorabilità, tra i più comuni:

- **cono di Abrams** (*slump test* e *slump flow*);
- **consistometro Vebè**. La classe di lavorabilità si determina:
 - con lo **slump test**, in funzione dell'*abbassamento al cono*;
 - con il **Vebè test** in funzione del *tempo necessario a ricoprire un disco* di opportune dimensioni.

CLASSI DI ABBASSAMENTO AL CONO DI ABRAMS secondo UNI EN 206-1		CLASSI DI CONSISTENZA METODO VEBÈ SECONDO UNI EN 206-1	
CLASSE	ABBASSAMENTO mm	CLASSE	TEMPO VEBÈ s
S1	10-40	V0	≥ 31 s
S2	50-90	V1	30 - 21
S3	100-150	V2	20 - 11
S4	160-210	V3	10 - 6
S5	≥ 220	V4	5 - 3

Si riportano i vari abbassamenti al cono di Abrams per le diverse classi, le denominazioni correnti, nonché i campi di applicazione consigliati.

Classe di consistenza	Abbassamento al cono	Denominazione	Campo di applicazione consigliato
	S1 da 10 a 40	Umida	
	S2 da 50 a 90	Plastica	cordoli - fognature
	S3 da 100 a 150	Semifluida	scale - rampe
	S4 da 160 a 210	Fluida	fondazioni - pareti - pilastri - travi - solai
	S5 oltre 220	Superfluida	strutture sottili - solette molto armate - pavimentazioni

DIAMETRO MASSIMO DELL'INERTE: Il Dmax dell'aggregato **deve** essere indicato nel **progetto**. Tale parametro è condizionato:

1. dal copriferro della struttura in c.a. ($D_{max} \leq \frac{3}{4} \text{ copriferro}$);

2. dall'interferro ($D_{max} \leq \text{interferro} - 5 \text{ mm}$);

3. dalla necessità di garantire l'omogeneità del conglomerato ($D_{max} \leq \frac{1}{4}$ della dimensione minima minima dell'elemento strutturale). All'aumentare del Dmax diminuisce la richiesta d'acqua di impasto, **a**, a parità di lavorabilità e, di conseguenza, diminuisce il dosaggio di cemento, **c**, a parità di classe di resistenza.

CLASSI DI ESPOSIZIONE DEL CALCESTRUZZO: La **durabilità**, definita come *conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture*, è una proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano garantiti durante tutta la vita utile di progetto dell'opera. L'impiego di un calcestruzzo durevole fa aumentare il costo del materiale del **10-20%**, ma il costo dell'opera per non più dell'**1%**. Tuttavia i costi di restauro per un'opera in calcestruzzo non durabile possono essere pari a **100** volte il costo originale dell'opera quando il degrado è così avanzato da rendere la stessa inservibile per le originali funzioni. La durabilità è funzione dell'ambiente nel quale la struttura vive e del numero di cicli di carico ai quali la struttura potrà essere sottoposta. Il progettista deve caratterizzare qualitativamente e quantitativamente tale ambiente.

Le norme UNI EN 206 – 2006 e UNI 11104:2004 introducono **6** classi di esposizione per il calcestruzzo strutturale, **X0, XC, XD, XS, XF, XA**, in funzione del tipo di corrosione e del tipo di attacco, dove oltre al massimo rapporto *a/c* e al *minimo contenuto di cemento* viene indicata la *minima classe di resistenza* e lo *spessore minimo del copriferro* correlato alle condizioni ambientali. Per i diversi tipi di sollecitazione si fa uso di acronimi e abbreviazioni inglesi:

0 zero risk (nessun rischio di attacco)

C Carbonation (carbonatazione)

D Deicing Sale (idoneo alternativo cloruri, come sale)

S *Seawater* (acqua di mare)
F *Fruggine* (gelo e disgelo)
A *Chemical Attack* (attacco chimico)

Le classi **XC**, **XD**, **XS**, **XF**, **XA** prevedono rispettivamente **4**, **3**, **3**, **4** e **3** sottoclassi.

- **X0 Assenza di rischio di corrosione dell'armatura:**

minima classe di resistenza: **C12/15**

Per calcestruzzo privo di armatura o di inserti metallici: tutte le esposizioni tranne dove vi sono cicli di gelo e disgelo, abrasione o attacco chimico.

Per calcestruzzo con armatura o inserti metallici: molto asciutto.

Le condizioni di umidità, di seguito riportate, si riferiscono a quelle presenti nel *copriferro* o nel *ricoprimento di inserti metallici*, ma in molti casi possono riflettere quelle dell'ambiente circostante:

- **XC Corrosione delle armature indotta da carbonatazione:**

XC1- *asciutto o permanentemente bagnato*: a/c max = **0,60**; dosaggio minimo di cemento **300** kg/m³; minima classe di resistenza: **C25/30**

XC2- *bagnato, raramente asciutto*: a/c max = **0,60**; dosaggio minimo di cemento **300** kg/m³; minima classe di resistenza: **C25/30**

XC3- *umidità moderata*: a/c max = **0,55**; dosaggio minimo di cemento **320** kg/m³; minima classe di resistenza: **C28/35**

XC4- *ciclicamente asciutto e bagnato*: a/c max = **0,50**; dosaggio minimo di cemento **340** kg/m³; minima classe di resistenza: **C32/40**

- **XD Corrosione delle armature indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare:**

XD1- *umidità moderata*: a/c max = **0,55**; dosaggio minimo di cemento **320** kg/m³; minima classe di resistenza: **C28/35**

XD2- *bagnato, raramente asciutto*: a/c max = **0,50**; dosaggio minimo di cemento **340** kg/m³; minima classe di resistenza: **C32/40**

XD3- *ciclicamente bagnato e asciutto*: a/c max = **0,45**; dosaggio minimo di cemento **360** kg/m³; minima classe di resistenza: **C35/45**

- **XS Corrosione delle armature indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare:**

XS1- *esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare*: a/c max = **0,45**; dosaggio minimo di cemento **340** kg/m³; minima classe di resistenza: **C32/40** (Un tipico esempio di costruzione **XS1** è quella ubicata sulla costa o in prossimità di essa, un ambiente esposto ad atmosfera salina ma non in contatto diretto con acqua di mare.)

XS2- *permanentemente sommerso*: a/c max = **0,45**; dosaggio minimo di cemento **360** kg/m³; minima classe di resistenza: **C35/45**

XS3- *zone esposte agli spruzzi o alla marea*: a/c max = **0,45**; dosaggio minimo di cemento **360** kg/m³; minima classe di resistenza: **C35/45** (Un tipico esempio di costruzione **XS3** è la parte

superiore di un pontone galleggiante in cemento. Per la normativa questo è un ambiente a diretto contatto con acqua di mare a causa degli spruzzi delle mareggiate).

- **XF Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti:**

XF1- moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente *disgelante*: a/c max = **0,50**; dosaggio minimo di cemento = 320 kg/m³; classe minima di resistenza: **C32/40** (Il pulvino di un viadotto è la tipica costruzione in ambiente **XF1** a moderata saturazione di acqua in assenza di agente disgelante.)

XF2- moderata saturazione d'acqua, in presenza di agente *disgelante*: a/c max = **0,50**; dosaggio minimo di cemento **340** kg/m³; classe minima di resistenza: **C25/30** (L'impalcato di un viadotto è il tipico esempio di costruzione in ambiente a moderata saturazione di acqua in presenza di agente disgelante, classificato **XF2**.)

XF3- elevata saturazione d'acqua, in assenza di agente *disgelante*: a/c max = **0,50**; dosaggio minimo di cemento **340** kg/m³; classe minima di resistenza: **C25/30**

XF4- elevata saturazione d'acqua, con presenza di agente *antigelo* oppure *acqua di mare*: a/c max = **0,45**; dosaggio minimo di cemento **360** kg/m³; classe minima di resistenza: **C28/35**

- **XA Attacco chimico da parte di acque del terreno e acque fluenti:**

XA1- ambiente chimicamente debolmente aggressivo: a/c max = **0,55**; dosaggio minimo di cemento **320** kg/m³; a classe minima di resistenza: **C28/35**

XA2- ambiente chimicamente moderatamente aggressivo: a/c max = **0,50**; dosaggio minimo di cemento **340** kg/m³; classe minima di resistenza: **C32/40**

XA2- ambiente chimicamente fortemente aggressivo: a/c max = **0,45**; dosaggio minimo di cemento **360** kg/m³; classe minima di resistenza: **C35/45**

RIEPILOGO CLASSI DI ESPOSIZIONE

La classe di esposizione in accordo alla UNI EN 206 sono:

❖ Assenza di rischio di corrosione (**classe XO**)

❖ Presenza di rischio di corrosione

• Indotta dalla carbonatazione (**classe XC**)

• Indotta da cloruri in ambiente marino (**classe XS**)

• Indotta da cloruri in ambiente non marino (**classe XD**)

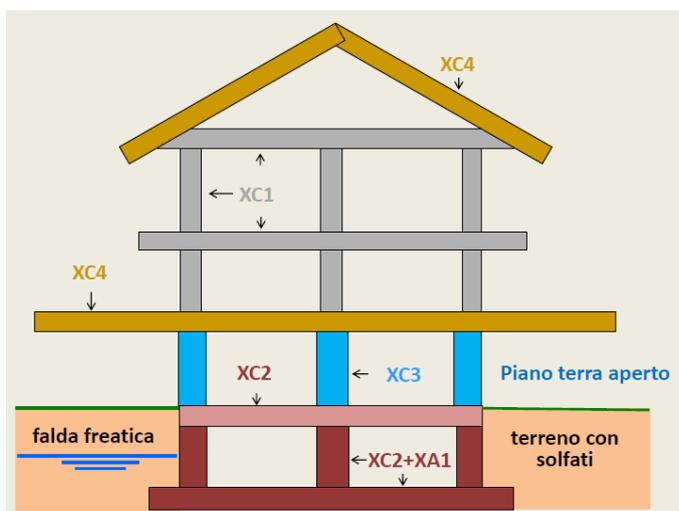
❖ Attacco del gelo e disgelo (**classe XF**)

❖ Attacco chimico (**classe XA**)

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche possono essere suddivise in:

- ordinarie*;
- aggressive*;
- molto aggressive*. secondo quanto indicato nelle Linee Guida per il calcestruzzo strutturale emesse dal S.T.C. del Consiglio Superiore LL.PP. (Tab. 4.1.III).

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4



Vi è un'ulteriore classe ambientale relativa alla corrosione di pavimenti in calcestruzzo XM, ove M sta per Mechanical abrasione (azione meccanica-abrasione, usura, ecc.)

- **XM corrosione del calcestruzzo a causa di usura:**

XM1 -Usura media: Pavimenti industriali portanti o rinforzati con sollecitazione con veicoli con gomme d'aria.

XM2 -Usura forte: Pavimenti industriali portanti o rinforzati con sollecitazione con carrelli elevatori con gomme ad aria o gomma dura.

XM3 – Usura molto forte: Pavimenti industriali portanti o rinforzati con sollecitazione con carrelli elevatori con ruote ad elastomeri o d'acciaio o veicoli cingolati.

CALCESTRUZZO AUTOCOMPATTANTE: Per calcestruzzo autocompattante, **SCC** acronimo di *Self Compacting Concrete*, si intende, secondo la UNI 11040, un *calcestruzzo omogeneo che viene messo in opera e compattato senza intervento di mezzi esterni (vibrazione) ma per effetto della sola forza gravitazionale. Il calcestruzzo autocompattante, oltre a soddisfare i requisiti di classi di resistenza e di esposizione, ha la proprietà allo stato fresco di un'elevata fluidità con assenza di segregazione.*

Il calcestruzzo autocompattante, ricco in *parti fini* ed in *superfluidificante*, si contraddistingue da un cls **S4** o **S5** per una **maggiore fluidità**, senza compromettere la stabilità del materiale nello stato fresco, senza cioè che si verifichi raccolta di acqua sulla sommità del getto, **bleeding**, accompagnata da una sedimentazione degli aggregati più grossi verso il fondo del getto.

Il calcestruzzo **SCC** fu proposto per la prima volta in Giappone da *Hajime Okamura* nel 1986 e, successivamente, impiegato per la realizzazione delle prime strutture in c. a. all'inizio degli anni '90. In Europa ed in Italia, in particolare, le prime applicazioni risalgono alla fine degli anni '90. La complessità fisico-chimica che presiede il requisito di autocompattabilità richiede la definizione dell'impasto da parte di tecnologi qualificati.

I principali difetti sono:

- maggiore costo del conglomerato a parità di Rck;
- maggiori spinte sui casseri. Il calcestruzzo si comporta come un fluido ma con un peso specifico di circa 2400 kg/m³ (per l'acqua è circa 1000 kg/m³);
- maggiore ritiro plastico;
- maggiore peso specifico.

Il prerequisito di autocompattabilità riguarda il calcestruzzo allo stato fresco, ma tale prerequisito non è fattore determinante per tutte le strutture in calcestruzzo armato.

Tale circostanza limita l'utilizzo del **SCC** ai soli casi in cui l'autocompattabilità rappresenta una prestazione espressamente richiesta.

La microstruttura del **SCC**, caratterizzata da maggiore compattezza e consistenza rispetto a quella di un **NCC** di eguale resistenza, permette al primo di sviluppare caratteristiche di resistenza maggiori del secondo.

La maggiore compattezza del **SCC** produce un *incremento* della resistenza di *aderenza acciaio-calcestruzzo*, accompagnato, però, da una *maggiore fragilità*. È possibile conferire al **SCC** altre prestazioni riguardanti lo stato indurito oppure aumentarne la deformabilità differita di ritiro o ancora introdurre nell'impasto agenti espansivi.

Il calcestruzzo autocompattante è, pertanto, caratterizzato da *elevatissima omogeneità* e *fluidità*, con *assenza di segregazione*, messo in opera per effetto della sola forza gravitazionale, senza *l'ausilio di vibrazione meccanica*. È caratterizzato dalla capacità di:

- fluire attraverso spazi ristretti senza segregare o bloccarsi, **passing ability**;
- fluire e riempire i casseri solo con il proprio peso, **filling ability**;
- rimanere omogeneo durante trasporto e posa in opera, **stability**.

DETERMINAZIONE DELLE PROPRIETÀ DEI SCC: La valutazione richiede il ricorso a diversi metodi di prova poiché nessuno di essi, preso singolarmente, è in grado di fornire un quadro esaustivo delle proprietà reologiche richieste: **SCC** che posseggono stesse proprietà di *scorrimento*, perché evidenziano un medesimo valore dello slump-flow, possono, allo stesso tempo, essere contraddistinti da una tendenza alla segregazione o da una capacità di attraversamento

completamente differenti. Pertanto la scelta del calcestruzzo autocompattante, basata sui risultati di una sola metodologia di prova, può risultare del tutto erroneo. Si fa presente che non necessariamente per tutte le strutture è opportuno ricorrere all'impiego di calcestruzzi autocompattanti contraddistinti dalla massima capacità di scorrimento, SF3, o dalla minore viscosità, VF1, perché questa scelta espone al rischio di una maggiore tendenza dell'impasto a segregare.

MISURAZIONE PROPRIETÀ CALCESTRUZZO AUTOCOMPATTANTE: Esistono vari metodi per misurare le proprietà del SCC. Le attrezzature più diffuse per la valutazione delle proprietà reologiche, ovvero l'*autocompattabilità* dei calcestruzzi autocompattanti, sono:

- il **cono di Abrams** per la misura della *capacità di scorrimento in assenza di ostacoli*, **filling ability**;
- l'imbuto a forma di V, **V-funnel** per la misura della *resistenza alla segregazione*, **stability**;
- la scatola ad L, **L-box** per la misura della *capacità di attraversamento*, **passing ability**;
- la scatola ad U, **U-box**, per la misura della *capacità di attraversamento*, **passing ability**;
- l'anello giapponese, **Japanese Ring** o **J-ring**, per la misura della *capacità di attraversamento*, **passing ability**.

CAPACITÀ DI SCORRIMENTO SCC: I valori minimi della *capacità di scorrimento senza ostacoli*, *Slump Flow*, richiesti per un SCC variano a seconda delle normative e raccomandazioni. Viene misurato con il cono di Abrams il diametro finale della focaccia di calcestruzzo dopo che lo stesso ha cessato di fluire.

La UNI 11040 prescrive un valore superiore a **600** mm. Le raccomandazioni EFNARC richiedono un valore compreso tra un minimo di **650** mm ed un massimo di **800** mm. Le linee guida europee suddividono i SCC in tre classi **SF**.

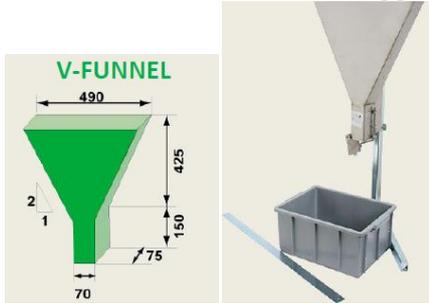
CLASSI DI SPANDIMENTO AL CONO DI ABRAMS	
CLASSE	SPANDIMENTO mm
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

RESISTENZA ALLA SEGREGAZIONE SCC: La **viscosità** del SCC ed, indirettamente, la *resistenza alla segregazione* viene determinata dal tempo necessario perché il calcestruzzo, espandendosi, raggiunga un diametro pari a 50 cm **t50**. Anche per tale misura normative e raccomandazioni presentano visioni difformi:

- la UNI 11040 impone per **t50** un valore massimo di **12** s;
- le raccomandazioni EFNARC suggeriscono valori di **t50** compresi tra **2** e **5** s;
- le linee guida europee suddividono i calcestruzzi in 2 classi, quelli con **t50** inferiore o pari a **2** s e maggiore di **2** s.

La resistenza alla segregazione del calcestruzzo autocompattante può essere accertata anche attraverso la prova condotta con il **V-funnel**, misurando il tempo necessario, **t0**, per il calcestruzzo a fuoriuscire completamente da un imbuto a forma di V, subito dopo il termine della miscelazione dell'impasto e dopo **5** minuti, **t5**, di permanenza all'interno dell'imbuto.

Il valore di t_0 è correlato alla viscosità del materiale: maggiore è il tempo di svuotamento, più elevata è la viscosità del sistema e, quindi, minore è la sua capacità di flusso. Per contro, valori di t_0 elevati sono indice di una maggiore resistenza alla segregazione dell'impasto.



Anche riguardo a questa misura le diverse raccomandazioni non presentano uniformità di vedute. La UNI 11040 suggerisce tempi di svuotamento compresi tra **4** e **12** s e differenza tra t_0 e t_5 compresa tra **0** e **3** s:

t_0 min s	t_0 max s	(t_5-t_0) min s	(t_5-t_0) max s
4	12	0	3

Le EFNARC consigliano tempi di svuotamento compresi tra **6** e **12** s e differenza tra t_0 e t_5 compresa tra 0 e 3 s:

t_0 min s	t_0 max s	(t_5-t_0) min s	(t_5-t_0) max s
6	12	0	3

Le linee guida europee non specificano il valore minimo per t_0 , prevedendo due classi relativamente al tempo di svuotamento:

CLASSE	Tempo imbuto a V s
VF1	≤ 8
VF2	> 9 ≤ 25

Relativamente alla resistenza alla segregazione, **Segregation Resistance**, le linee guida europee prevedono l'esecuzione di una prova che misura la *perdita di massa* rispetto a quella iniziale di una prefissata quantità di calcestruzzo posta su un setaccio a maglie di 5 mm per 5 minuti, classificando due tipi di conglomerato.

CLASSE	Tempo imbuto a V %
SR1	< 20
SR2	< 15

La tendenza alla segregazione dell'impasto sarà tanto maggiore quanto più elevata è la perdita causata dalla separazione della pasta di cemento dall'aggregato grosso a causa della sua eccessiva fluidità.

CAPACITÀ DI ATTRAVERSAMENTO SCC: La valutazione della **capacità di attraversamento** o dello **scorrimento confinato**, *passing ability*, viene effettuata con la **L-box**, **scatola ad L UNI 11043** con i tratti verticale ed orizzontale, di sezione pari a 20 x 40 cm, separati da una botola apribile e da una griglia realizzata con barre verticali o con la **scatola ad L orizzontale**.

Il tratto verticale della L-box è riempito con calcestruzzo fino alla sommità, poi la botola viene sollevata per lasciare fluire il calcestruzzo nel tratto orizzontale attraverso un graticcio costituito da due oppure da tre barre disposte verticalmente.



Le sezioni delle barre possono essere diverse e poste ad interassi diversi, per imporre una prova più o meno severa alla mobilità in spazi ristretti del calcestruzzo. Quando il flusso si è arrestato, si misura l'altezza del cls in corrispondenza del fondo del tratto verticale **H2** e nella sezione finale del tratto orizzontale **H1**, valutando il **rapporto di bloccaggio H2/H1**.



La UNI 11040 e le raccomandazioni EFNARC prescrivono che il **rapporto di bloccaggio H1/H2** risulti compreso tra 0,80 ed 1,00.

Le linee guida europee, come per altre proprietà caratterizzanti l'autocompattabilità, distinguono inoltre due classi di calcestruzzi:

CLASSE	H ₁ /H ₂ min	H ₁ /H ₂ max
PA1 due barre	0,80	1,00
PA2 tre barre	0,80	1,00

La capacità di attraversamento,, è tanto più elevata quanto più il rapporto **H1/H2** si approssima ad 1 e viene ritenuta sufficiente.



La misura dello **scorrimento confinato** può essere effettuata con la **scatola ad U**. Lo strumento consiste di un condotto a sezione rettangolare che è diviso in due compartimenti da una botola mediana sollevabile. Una griglia, composta da barre di diametro Φ 13 mm ad interasse di 50 mm, è posta tra i due compartimenti, creando uno spazio di 35 mm tra le barre.

Si riempie con circa 20 litri di cls la sezione a sinistra, quindi si solleva la botola, facendo fluire il calcestruzzo nell'altro comparto. Si misura, a movimento esaurito, l'altezza del calcestruzzo in entrambe le sezioni.

La UNI 11044 prescrive che la differenza di altezza nelle due sezioni sia contenuta tra **0** (minimo) e **30** mm (massimo).



La misura dello **scorrimento confinato**, cioè della mobilità in spazi ristretti del calcestruzzo, può essere effettuata anche con l'**anello giapponese** UNI 11045, **Japanese Ring** (J-Ring), avvalendosi del cono di Abrams. Si misura il diametro finale del calcestruzzo in due direzioni ortogonali e si calcola la media dei due diametri misurati. La differenza non deve superare **50** mm.

Il **J-Ring** può essere usato in combinazione con lo Spandimento o eventualmente anche con l'imbuto a V. Tali combinazioni esaminano la *fluidità* e la *mobilità in spazi ristretti* del calcestruzzo.

METODO	PROPRIETÀ
Spandimento (Slumpflow)	Deformabilità allo stato fresco
Anello giapponese (J-Ring)	Mobilità in spazi ristretti
Imbuto a V (V-funnel)	Deformabilità allo stato fresco
	Resistenza alla segregazione
Scatola ad L (L-box)	Mobilità in spazi ristretti
Scatola ad U (U-box)	Mobilità in spazi ristretti

METODO	Unità di misura	Valori norme UNI	
		minimo	massimo
Spandimento (Slumpflow)	mm	600	-
Spandimento t_{50}	sec	-	12
Anello giapponese (J-Ring)	mm	-	50
Imbuto a V	sec	4	12
Imbuto a V a t_5	sec	4	15
Scatola ad L	mm	0,80	1,00
Scatola ad U	mm	0	30

NORMATIVA CALCESTRUZZO AUTOCOMPATTANTE:

- UNI 11040:2003, Calcestruzzo autocompattante, Specifiche, caratteristiche e controlli.
- UNI 11041, Prova sul calcestruzzo autocompattante fresco, Determinazione dello *spandimento* e del *tempo di spandimento*.
- UNI 11042, Prova sul calcestruzzo autocompattante fresco, Determinazione del *tempo di efflusso* dall'imbuto.
- UNI 11043, Prova sul calcestruzzo autocompattante fresco, Determinazione dello *scorrimento confinato* mediante scatola ad L.
- UNI 11044, Prova sul calcestruzzo autocompattante fresco, Determinazione dello *scorrimento confinato* mediante scatola ad U.
- UNI 11045, Prova sul calcestruzzo autocompattante fresco, Determinazione dello *scorrimento confinato* mediante anello a J.

PRODUZIONE DEL CALCESTRUZZO

Il calcestruzzo può essere prodotto con *processo industrializzato* o *meno*. Per calcestruzzo confezionato con **processo industrializzato** si intende quello prodotto mediante impianti, strutture e tecniche organizzate sia in cantiere che in uno stabilimento esterno al cantiere stesso:

- calcestruzzo prodotto in impianti industrializzati fissi, *impianti di betonaggio* con volumi superiori a 1.500 mc;
- calcestruzzo prodotto nell'ambito di impianti e stabilimenti industrializzati di prefabbricazione fissi (travi precomprese) con volumi superiori a 1.500 mc;
- calcestruzzo prodotto in impianti industrializzati installati nei cantieri, per costruzione di strade, dighe con volumi inferiori a 1.500 mc. Il calcestruzzo essendo un *semilavorato* non può essere marcato CE, ma può essere marcato il processo produttivo.

IMPIANTI DI BETONAGGIO: Gli impianti di produzione industriale devono dotarsi di un **sistema permanente di controllo interno** della produzione per assicurare che il prodotto risponda ai requisiti previsti dalle norme e che tale rispondenza sia costantemente mantenuta fino all'impiego.

Il sistema, predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001:2000, deve fare riferimento alle specifiche indicazioni contenute nelle linee guida sul calcestruzzo preconfezionato elaborato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP. e deve essere *certificato* da organismi terzi indipendenti che operano in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021:2006, autorizzati dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP. sulla base dei criteri stabiliti dal DM 9/5/2003 n. 156.

I documenti che accompagnano ogni fornitura di calcestruzzo confezionato con processo industrializzato devono indicare gli estremi di tale certificazione. La D.L. dovrebbe acquisire, tramite l'impresa esecutrice, *prima della fornitura di calcestruzzo in cantiere*, copia della:

- certificazione del controllo di processo produttivo, **FPC**, acronimo di **F**actory **P**roduction **C**ontrol (Controllo processo di fabbrica);
- certificazione di un organismo autorizzato dal Servizio Tecnico Centrale del C.S.LL.PP.

VALUTAZIONE PRELIMINARE DELLA RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO:

Qualora l'impresa decida di installare in cantiere un impianto non industrializzato per piccole produzioni, cioè **inferiori a 1500 m³** di miscela omogenea, itale miscela sarà confezionata sotto la diretta responsabilità del costruttore stesso.

Per tali produzioni in cantiere con processi *temporanei* e *non industrializzati* (betoniera), la D.L. deve acquisire, **prima della fornitura**, i documenti attestanti i criteri e le prove che hanno portato alla determinazione della resistenza caratteristica **R_{ck}** certificata da un laboratorio ufficiale.

È obbligatorio, infatti, procedere alla **qualificazione iniziale** delle miscele per mezzo della *valutazione preliminare della resistenza*, effettuata sotto la responsabilità dell'Appaltatore o Committente, **prima dell'inizio della costruzione**.

E' un procedimento lungo e costoso che va accuratamente pianificato e concluso prima dell'inizio delle operazioni di getto in cantiere.

In sintesi il costruttore, prima dell'inizio dei lavori, deve effettuare idonee prove preliminari di studio per ciascuna miscela omogenea di calcestruzzo da utilizzare, per ottenere le prestazioni richieste dal progetto, facendo avere alla D.L., prima dell'inizio delle forniture, evidenza

documentata dei criteri e delle prove che hanno portato alla determinazione della resistenza e di tutte le caratteristiche prescritte dal progettista per ciascuna miscela omogenea di calcestruzzo. Lo studio della miscela deve essere condotto sotto il **controllo** di un *laboratorio autorizzato* ai sensi del D.P.R. 380/01.

VERIFICA DOCUMENTI DI TRASPORTO: La D.L. deve verificare il documento di consegna, **DdT**, del calcestruzzo, *prima delle operazioni di scarico del materiale*. In particolare controlla:

- gli estremi della certificazione **FPC**, Ente certificatore e codice certificazione. Se la bolla é sprovvista di riferimenti alla certificazione, la D.L. deve **rifiutare** la fornitura;
- la corrispondenza della caratteristiche del calcestruzzo fornito con le prescrizioni inserite nella relazione sui materiali e sugli elaborati grafic e cioè :

classe di esposizione
classe di resistenza
classe di consistenza,
diametro massimo dell'aggregato.

Inoltre, se la centrale di betonaggio è distante dal cantiere oltre *30 minuti di viaggio*, la D.L. controlla che sia rispettata una delle condizioni di seguito riportate:

- la centrale di betonaggio **certificata** l'aggiunta di **additivi** ritardanti di presa;
- la betoniera viaggi **a secco** e la centrale di betonaggio prescrivere **i litri d'acqua** da aggiungere e mescolare al cemento ed agli inerti per circa 15 minuti prima del getto, prelevandoli dal *serbatoio sigillato* dell'autobetoniera.

CONTROLLO CONFORMITÀ CALCESTRUZZO: Dopo avere verificato la congruità del documento di consegna la D.L., *prima di procedere al getto*, effettua i **controlli di conformità** del calcestruzzo alle specifiche di progetto e di contratto, consistenti, in genere, nella determinazione della:

- lavorabilità**, a carattere **volontario**, con il **cono di Abrams** o la **tavola Vebè**;
- resistenza a compressione**, a carattere **obbligatorio**, mediante **campionamento** di provini di calcestruzzo da destinare alle prove di rottura in laboratorio ufficiale.

La UNI EN 206-1 prevede che la **lavorabilità** del calcestruzzo sia misurata almeno ogni **50 m³**, ma si consiglia di effettuare tale controllo per ogni betoniera. Soltanto i controlli eseguiti **prima** della messa in opera possono determinare l'*accettazione* o il *rifiuto* di una fornitura.

CONTROLLO LAVORABILITÀ CON IL CONO DI ABRAMS: La lavorabilità del calcestruzzo è controllata con il **cono di Abrams**, che è uno stampo a tronco di cono con base maggiore di diametro **20** cm, base minore di diametro **10** cm e altezza di **30,5** cm provvisto di due maniglie laterali poste a 2/3 dell'altezza del cono e di una lastra di base con due maniglie. Inizialmente si inumidisce lo stampo e lo si pone su una superficie rigida, liscia, umida e non assorbente.

Dopo aver effettuato il prelievo del calcestruzzo a bocca di betoniera si riempie il recipiente tronco-conico mediante una **cazzuola** o una **sessola** con **3** strati successivi di spessore pari a 1/3 dell'altezza dello stampo.

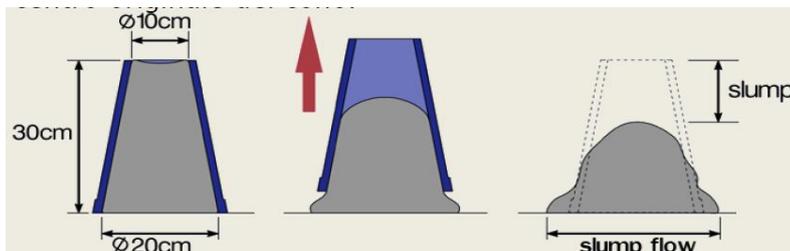
Ogni strato va costipato con **25** colpi uniformemente distribuiti sull'intera sezione orizzontale con un pestello costituito da un tondino di acciaio \varnothing **16** di lunghezza pari a **60** cm con una estremità emisferica.

In mancanza si può utilizzare una barra di acciaio smussato o un tondino con all'estremità una piastra.

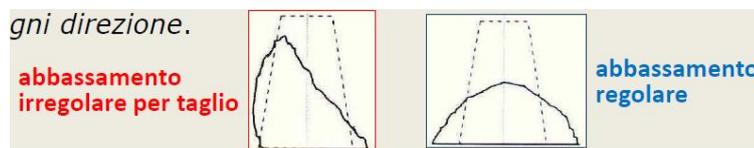
L'ultimo strato va assestato distribuendo la metà dei colpi attorno al perimetro con pestello inclinato e l'altra metà a spirale verso il centro del cono con pestello perfettamente verticale.

Dopo aver livellato la superficie superiore, si asporta con il pestello posto in orizzontale l'eventuale calcestruzzo in eccesso.

Quindi si rimuove lo stampo, sollevandolo con movimento uniforme in circa **5 s** *senza movimenti di torsione* e si misura l'abbassamento istantaneo del cono di calcestruzzo, rispetto all'altezza originaria, facendo riferimento al centro originale del cono.



L'abbassamento può avvenire in diversi modi: l'unico accettabile è l'*abbassamento regolare dell'impasto in ogni direzione*.



La prima forma, con *abbassamento uniforme*, senza alcuna rottura della massa, indica comportamento regolare.

La seconda con abbassamento asimmetrico, *a taglio*, spesso indica mancanza di coesione; essa tende a manifestarsi con miscele facili alla segregazione. In caso di persistenza, a prova ripetuta, il calcestruzzo è da ritenere inidoneo al getto.

La terza, con abbassamento generalizzato, *collasso*, indica miscele magre oppure molto umide o calcestruzzi autolivellanti, additivati con superfluidificanti.



CONTROLLO LAVORABILITÀ CONSISTOMETRO VEBE': La lavorabilità può essere controllata con il **consistometro VEBE**. Il consistometro, che prende il nome dalle iniziali dello svedese V. Bahrnen, che ha inventato il metodo, è costituito da:

□ **cono di Abrams**;

□ **contenitore cilindrico di metallo** munito di maniglie con idonei elementi per assicurare un efficace fissaggio alla piastra della tavola vibrante, di dimensioni: diametro interno 240 ± 5 mm, altezza 200 mm, spessore pareti 3 mm, spessore fondo 7,5 mm.

□ **disco orizzontale trasparente** di diametro di 230 ± 2 mm e spessore di 10 ± 2 mm, munito di stelo che scorre verticalmente entro un manicotto montato su un *braccio rotante*, che può essere fissato in una posizione determinata tramite un dado e che porta un *imbuto*, il cui fondo è ubicato sulla parte superiore del cono di Abrams quando questo è collocato concentricamente al contenitore. Sul disco è presente una massa il cui peso sommato a quello dell'insieme mobile, dello stelo e del disco è di 2750 ± 50 g;

□ **tavola vibrante** di lunghezza 380 mm e larghezza 250 mm, poggiata su 4 ammortizzatori di gomma, alla quale è fissato un *vibratore*, che ha una frequenza di circa 3.000 Hz ed una escursione verticale della tavola, a contenitore vuoto collocato superiormente, di circa $\pm 0,5$ mm; Per l'esecuzione della prova sono necessari inoltre:

□ una sessola o cazzuola;

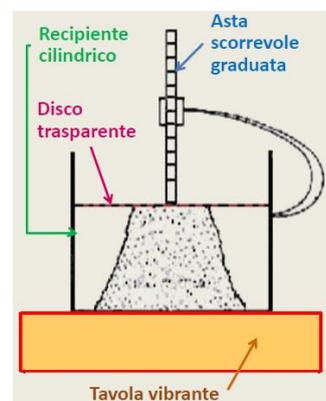
□ un pestello metallico avente diametro di 16 mm e lunghezza di 600 mm, con estremità arrotondate;

□ un cronometro.



Si fissa il contenitore sulla tavola di Abrams e lo si colloca nel fondo del contenitore mediante il pestello. Si compattava il calcestruzzo con il pestello, quindi, si svincola il cono dal fondo del contenitore cilindrico e lo si solleva verticalmente servendosi delle maniglie. Una volta sformato il calcestruzzo nel contenitore, si colloca sopra la sua superficie superiore il disco trasparente e si registra l'abbassamento.

superficie interna del cono con la cazzuola e si solleva il cono di Abrams. Si



Quindi si aziona la tavola vibrante e si misura il tempo necessario affinché la superficie inferiore del disco trasparente risulti coperta completamente con la boiaccia del calcestruzzo. Quando la superficie inferiore del disco è completamente ricoperta dalla boiaccia del calcestruzzo, si arresta il cronometro e il vibratore. Il tempo misurato è il **tempo Vebè** ed esprime la consistenza **V** dell'impasto esaminato. *Maggiore* è il tempo di vibrazione misurato *minore* è la **lavorabilità** del conglomerato.

CONTROLLO LAVORABILITÀ SCC CON SLUMP FLOW: Il test di **spandimento, slump flow**, relativo a calcestruzzi autocompattanti, si effettua con la seguente attrezzatura:

□ cono di Abrams;

□ tavola di materiale rigido e non assorbente di dimensioni non minori di 70 x 70 cm, con inciso un cerchio di diametro pari a 50 cm, per la misura del tempo **T50**, con una coppia di diametri ortogonali paralleli ai lati;

□ cazzuola/sessola;

□ metro;

□ cronometro.

L'attrezzatura impiegata è la stessa della prova dello Slump test a meno del pestello.

Si appoggia al centro della tavola, resa perfettamente orizzontale con una livella, il cono di Abrams, tenendolo fermo con i piedi sulle 2 staffe di base.

Si preleva a bocca di betoniera una quantità di calcestruzzo di almeno **6 litri**.

Si riempie lo stampo con la sessola o la cazzuola *senza alcun costipamento*, livellando la superficie superiore.

Quindi, previa eventuale pulizia della tavola, si solleva lo stampo lentamente in verticale, lasciando fuoriuscire il calcestruzzo dalla base inferiore del cono. Contemporaneamente si fa partire il cronometro e si registra il tempo che il calcestruzzo impiega per raggiungere la circonferenza di diametro 50 cm, **T50**, segnata sulla tavola.



A fenomeno esaurito si misura lo spandimento sui 2 diametri $a1$ e $a2$ ortogonali in corrispondenza della croce tracciata sulla tavola.

Il valore dello spandimento finale **SF** è dato dalla media tra $a1$ e $a2$ misurati in mm. Per un calcestruzzo **SCC** è richiesto:

SF \geq **600 mm**;

T50 \leq **12 s**. È un metodo di prova semplice e veloce da realizzare in cantiere con 2 operatori, ma non è sufficientemente sensibile per permettere una distinzione tra una *miscela autocompattante* ed una *superfluida* che non dia luogo a segregazione. Inoltre non dà alcuna indicazione sulla capacità del calcestruzzo ad attraversare le armature senza bloccaggio.



Più alto è il valore dello slumpflow **SF**, maggiore è la capacità del calcestruzzo di riempire la cassaforma sotto il solo peso proprio. Il tempo **T50** dà un'indicazione secondaria di flusso: minore è il tempo registrato, maggiore sarà la fluidità. Nel caso di segregazione eccessiva, la maggior parte dell'*aggregato grosso* rimane al centro del quantitativo di calcestruzzo fuoriuscito dal cono, mentre la pasta di cemento si addensa alla periferia. Nel caso di segregazione limitata, si può verificare la presenza di una parte di malta senza aggregato grosso al bordo del calcestruzzo fuoriuscito dal cono. Qualora nessuno di questi fenomeni si manifesta, non si ha la certezza che la segregazione non avverrà, poiché questo è un aspetto correlato al tempo e può verificarsi anche dopo un periodo più lungo.

CONTROLLO LAVORABILITÀ SCC CON J-RING: Le attrezzature necessarie per lo svolgimento della prova per determinare la **mobilità in spazi ristretti** del calcestruzzo autocompattante, sono:

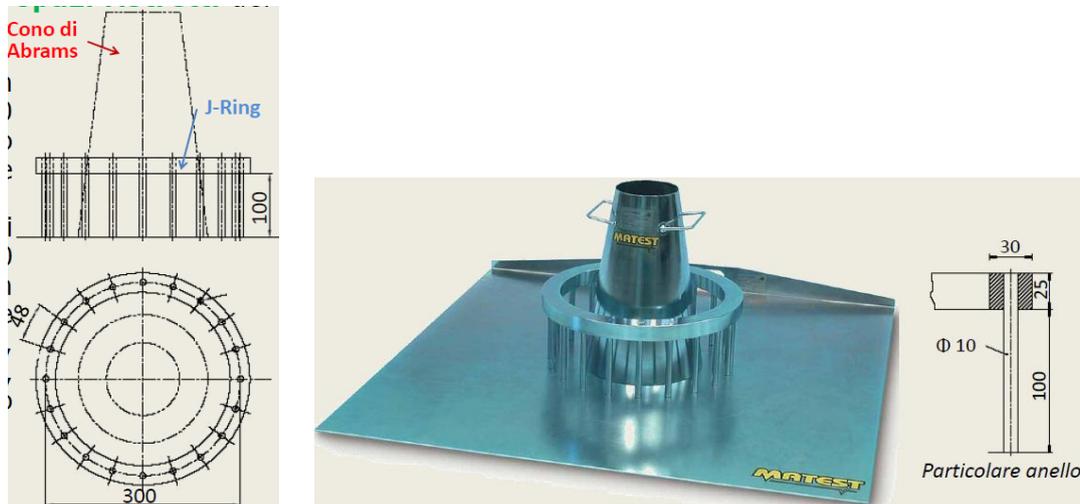
cono di Abrams;

piastra quadrata di materiale non assorbente rigido, di almeno 700 mm di lato, segnata con un cerchio che contrassegna la posizione centrale del cono;

□ **J-Ring**, costituito da un *anello* di acciaio a sezione rettangolare (30 mm x 25 mm) di diametro 300 mm ed altezza 100 mm, eventualmente solidale alla piastra di spandimento, con fori ad interasse di 48 ± 2 mm, per l'inserimento di barre di acciaio Φ 10 di lunghezza 100 mm.

□ *metro*;

□ *cazzuola*



Per effettuare la prova occorre un quantitativo di calcestruzzo di almeno **6 litri**. Disposta la piastra in orizzontale, con l'aiuto di due livelle toriche poste secondo due direzioni ortogonali, si centrano il J-Ring ed il cono di Abrams sulla base di appoggio, mantenendoli ben saldi.

Si riempie, quindi, il cono di Abrams con la cazzuola/sessola, senza compattare il calcestruzzo, ma livellandolo superiormente. Dopo avere rimosso l'eventuale calcestruzzo in eccesso colato intorno alla base, si solleva verticalmente il cono, lasciando fuoriuscire liberamente il calcestruzzo. Si misura il diametro finale del calcestruzzo in due direzioni ortogonali e si calcola la media dei due diametri misurati. Il bloccaggio e/o la segregazione possono essere valutati visivamente dalla prova, senza l'ausilio di dati numerici. Le linee guida EFNARC propongono di misurare la differenza di altezza tra il calcestruzzo all'interno ed all'esterno delle barre, calcolando in mm la media sulla base di misure eseguite in 4 punti.

Maggiore è la differenza tra la misura di spandimento con e senza il J-Ring, ovvero l'altezza tra il calcestruzzo all'interno ed all'esterno dell'anello, minore è la sua mobilità in spazi ristretti. Non sono accettabili differenze superiori a **50 mm** tra le misure di spandimento nelle due direzioni o differenze in altezza superiori a **10 mm**.



CONTROLLO SCORRIMENTO CONFINATO CON U-BOX: La prova, sviluppata dalla Taisei Corporation in Giappone, è impiegata per misurare la **mobilità in spazi ristretti** del SCC. Sono necessari circa **20** litri di calcestruzzo e le seguenti attrezzature:

- scatola ad U in materiale rigido non assorbente;
- cazzuola;
- paletta;
- cronometro.

Una volta posto lo strumento su terreno stabile ed assicurato che la botola scorrevole possa aprirsi liberamente, si inumidiscono le superfici interne, rimuovendo l'acqua in eccesso. Quindi si riempie completamente uno dei compartimenti dello strumento con calcestruzzo, lasciando riposare l'impasto per 1 minuto.

Si solleva la botola scorrevole per permettere al calcestruzzo di fluire nel compartimento adiacente. Una volta che il calcestruzzo si è arrestato, si misura l'altezza del calcestruzzo nel compartimento che è stato riempito, in due punti, calcolandone la media, pari a **H1**.

Si procede analogamente per il primo compartimento, determinando, come media di due valori, **H2**.



La differenza **H2-H1** è detta **altezza di riempimento**. Se il calcestruzzo fluisce liberamente come acqua, al termine del moto di flusso, si dispone allo stesso livello in entrambi i compartimenti, e l'altezza di riempimento è uguale a 0.

Tanto più vicino è il valore di prova allo zero, tanto più fluido è il calcestruzzo.

Valori ritenuti congrui per calcestruzzi autocompattanti, per l'altezza di riempimento, sono minori di **30** mm.

CONTROLLO DEFORMABILITÀ CON V-FUNNEL: La prova di imbuto a V, per la quale sono necessari circa 12 litri di calcestruzzo, è usata per valutare la **deformabilità allo stato fresco** del SCC, misurando il tempo di deflusso del calcestruzzo. Le attrezzature necessarie sono:

- imbuto a V;
- secchio della capacità di circa 12 l;
- cazzuola;
- paletta;
- cronometro.

Posizionato l'imbuto a V su terreno livellato ed inumidite le superfici interne dell'imbuto, si apre la botola per permettere all'acqua in eccedenza di defluire. Dopo aver chiuso la botola e posto un secchio al di sotto, si procede a riempire completamente l'imbuto con calcestruzzo senza compattarlo, asportando la parte di calcestruzzo eccedente la bocca superiore dell'imbuto con la cazzuola.

Trascorsi **10** s dal riempimento dell'apparecchio, si apre la botola, lasciando defluire il calcestruzzo per gravità. Con il cronometro si registra il tempo necessario per completare lo scarico **t0**, *tempo di*

flusso, quando, ad un osservatore che guarda all'interno dell'imbuto, è visibile la luce che penetra attraverso la sezione terminale dell'imbuto.



La prova va ripetuta, senza pulire o inumidire nuovamente le superfici interne dell'imbuto, tenendo 5 minuti il cls nell'imbuto e misurando il tempo per lo scarico completo **t₅**. Una differenza tra **t₅** e **t₀** maggiore di **3 s** è indice di una tendenza del cls alla segregazione interna e al blocking durante il flusso. Per gli SCC sono appropriati tempi di flusso di ≈ 10 s. La forma dell'imbuto, invertita rispetto a quella del cono di Abrams, determina un restringimento nel flusso: tempi di flusso prolungati possono dare indicazioni sulla suscettibilità della miscela al bloccaggio

CONTROLLO SCORRIMENTO CONFINATO CON L-BOX: La prova, inventata da Petersson e basata su design giapponese per calcestruzzi subacquei, simula realisticamente il comportamento del calcestruzzo in sito quando è gettato all'interno di una cassaforma e deve spandersi incontrando l'ostacolo delle barre di armatura, ovvero stima lo **scorrimento confinato**, *passing ability*, per cui dà buone indicazioni sulla autocompattabilità di un calcestruzzo.

Le attrezzature di prova, per la quale occorrono **14 l** di calcestruzzo, sono:

- scatola ad L;**
- cazzuola;**
- cronometro.**

Posizionata la scatola sul terreno ben livellato e controllato che la botola possa aprirsi liberamente, si inumidiscono le superfici interne, rimuovendo l'acqua in eccesso.

Si procede a riempire completamente lo strumento con calcestruzzo, lasciando riposare l'impasto per **1** minuto. Si apre, quindi, la botola per permettere al cls di fluire nel tratto orizzontale e con il cronometro si registrano i tempi necessari al calcestruzzo per raggiungere le tacche segnate a **20** cm, **t₂₀**, e a **40** cm, **t₄₀**, che danno indicazioni sulla capacità di riempimento. Quando il calcestruzzo si arresta, si misurano le altezze **H1**, al fondo del tratto verticale, ed **H2**, alla fine del tratto orizzontale, calcolando il *rapporto di bloccaggio* **H2/H1**. I valori consigliati per il rapporto di bloccaggio sono superiori al minimo valore accettabile di 0,8; i tempi **t₂₀** e **t₄₀** possono dare indicazioni sulla facilità di flusso, ma nessuna indicazione circa i valori minimi è stata ancora codificata.

DEFINIZIONI DI RESISTENZA DI PROGETTO, POTENZIALE, IN OPERA

Preliminarmente all'illustrazione del **controllo di accettazione** si chiariscono le relazioni tra *resistenza di progetto*, *resistenza potenziale* e *resistenza in opera* introdotte dalle N.T.C., per individuare le responsabilità dei vari attori del processo edilizio. La **resistenza di progetto** è definita dal *progettista*, che deve definirla correttamente a sua esclusiva responsabilità.

La **resistenza potenziale** è quella dei provini, la cui responsabilità è attribuita al Direttore dei Lavori. La **resistenza in opera**, è la resistenza effettiva (reale) dell'elemento realizzato, che può essere misurata dal Direttore dei Lavori o dal Collaudatore in contraddittorio con l'impresa, che è la

responsabile della messa in opera del calcestruzzo, ovvero degli effetti di tali operazioni sulla resistenza in opera.

CONTROLLO DI ACCETTAZIONE DEL CALCESTRUZZO: Durante l'esecuzione delle strutture, il Direttore dei Lavori *deve* prelevare campioni di calcestruzzo, soprattutto quelle volte in cui variazioni di qualità dei costituenti l'impasto possano fare presumere una variazione di qualità del calcestruzzo stesso. I controlli di accettazione sono **obbligatori**, poiché definiscono la *sicurezza* dell'opera, verificando la conformità delle caratteristiche del cls messo in opera rispetto a quello stabilito in progetto e sperimentalmente verificato in sede di *valutazione preliminare*. La **responsabilità** di tali controlli è attribuita interamente alla **D.L.**, mentre il *collaudatore statico* ne controlla la *validità*. Se i controlli mancassero o fossero insufficienti il **collaudatore** è obbligato a fare eseguire prove che attestino le caratteristiche del calcestruzzo, con la stessa procedura che si applica in caso di mancato rispetto dei limiti dettati dai controlli di accettazione.

OBBLIGHI DEL DIRETTORE DEI LAVORI: Il Direttore dei Lavori **deve assicurare** la propria **presenza** o quella di un tecnico di sua fiducia durante le operazioni di prelievo dei campioni di cls nella fase di getto, provvedendo a:

- redigere apposito *verbale di prelievo*;
- fornire indicazioni circa le corrette modalità di prelievo dei campioni;
- fornire indicazioni circa le corrette modalità di conservazione dei campioni in cantiere, fino alla consegna al laboratorio incaricato delle prove;
- identificare i provini mediante sigle, etichettature indelebili, etc.;
- sottoscrivere la domanda di prove al laboratorio, fornendo, nella domanda, precise indicazioni sulla posizione delle strutture interessate da ciascun prelievo, la data di prelievo, gli estremi dei relativi verbali di prelievo;
- consegnare i campioni presso uno dei laboratori di prova di cui all'art. 59 del D.P.R. n.380/2001.

Il **controllo di accettazione** in corso d'opera sulla fornitura di calcestruzzo va effettuato con almeno **1 prelievo**, costituito da **2 provini**, per ogni **100 m³** di calcestruzzo o per giorno di getto per un numero totale di prelievi in funzione del tipo di controllo, **A** o **B**. Il controllo di tipo **A** va eseguito in presenza di volumi di miscela omogenea di cls **inferiori** o **uguali** a **1500 m³**. Per volumi superiori a **1500 m³** va obbligatoriamente effettuato il controllo di tipo **B**. Pertanto i *prelievi* sono:

- 3** nel controllo di accettazione di tipo **A**;
- almeno **15** controllo di accettazione di tipo **B**. I provini, di dimensioni standardizzate, possono essere cubici oppure cilindrici con un rapporto H/D, *snellezza*, pari a 2. La norma fornisce fattori di conversione della resistenza a rottura dei provini cilindrici rispetto a quelli cubici.

CONTROLLO DI TIPO A: Un controllo di tipo **A** si effettua al massimo ogni **300 m³** di miscela omogenea e prevede un *prelievo*, costituito da n°**2** cubetti, ogni **100 m³** e comunque **1 prelievo** ogni **giorno di getto**. La media delle resistenze a compressione dei 2 provini di 1 prelievo rappresenta la *resistenza di prelievo* che è il valore con il quale vengono eseguiti i controlli. Per volumi *inferiori* a **100 m³** si può derogare dal prelievo giornaliero. Occorre, poi, verificare, presso un *laboratorio di prova accreditato ai sensi del D.P.R. n.380/2001*, per un numero minimo di **6** cubetti che:

$$R_1 > R_{ck} - 3,5 \quad R_{cm} > R_{ck} + 3,5$$

con R_1 pari al più piccolo dei valori della resistenza a rottura a compressione semplice a 28 gg. dei 3 prelievi ed R_{cm} pari alla media dei valori di rottura dei 3 prelievi. Il controllo di tipo **A** è costituito da **3 prelievi**.

NUMERO TOTALE CUBETTI E CONTROLLI DI TIPO A PER EDIFICIO: Si distinguono 2 casi:

1.edificio con meno di 100 m³ di miscela omogenea: 3 prelievi, costituiti da 2 cubetti, per un totale di 6 cubetti per il controllo di accettazione;

2.edificio con più di 100 m³ e meno di 1.500 m³ di miscela omogenea: 3 prelievi, costituiti da 2 cubetti, ciascuno dei quali su un massimo di 100 mc³, per un totale di 6 cubetti per ogni controllo di accettazione. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato 1 prelievo. Il numero totale di prelievi sarà almeno pari al numero delle giornate di getto ed il numero totale dei controlli sarà variabile in funzione dei prelievi effettuati. In ambedue i casi il **controllo di accettazione è costituito da 3 prelievi**.

CONTROLLO DI TIPO B: Un controllo di tipo **B** si effettua al minimo ogni **1500 m³** di miscela omogenea e prevede almeno **15** prelievi per ogni controllo e comunque un prelievo ogni giorno di getto. Occorre verificare per un numero minimo di **30** cubetti che:

$$R_1 > R_{ck} - 3,5$$

$$R_m > R_{ck} + 1,4 s$$

$$s/R_m < 0,15$$

con:

➤ R_1 minore dei valori di rottura a 28 gg. dei prelievi

➤ R_m media dei valori di rottura a 28gg. dei prelievi pari a

$$R_m = \frac{1}{n} \sum R_i$$

s scarto quadratico medio pari a:
$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (R_i - R_m)^2$$

Se $0,15 < s/R_m < 0,3$ il cls è accettato con **obbligo** di prove complementari

Se $s/R_m > 0,3$ il cls non è accettato.

RIEPILOGO CONTROLLI DI ACCETTAZIONE			
Quantitativo di calcestruzzo omogeneo (m ³)	Tipologia controllo di accettazione	Numero prelievi per controllo di accettazione	Note
Q ≤ 100	Tipo A	3	È consentito derogare dal prelievo giornaliero
100 < Q ≤ 1500		3 (1 ogni 100 m ³)	Per ogni giornata di getto va effettuato almeno 1 prelievo
Q > 1500	Tipo B	almeno 15	Per ogni giornata di getto va effettuato almeno 1 prelievo

Il **prelievo** è costituito da **2 provini**, che possono essere *cilindrici* con rapporto H/D pari a 2 o *cubici*.

PIANO DI CAMPIONAMENTO: Il *piano di campionamento* stabilisce:

- la tipologia delle cubiere;
- il tipo di *prelievo elementare*, se campione *composito* o *puntuale*;
- il numero dei prelievi.

Il **prelievo elementare** è la quantità di calcestruzzo raccolta, in una singola operazione di prelievo, mediante *sessola* o strumento similare di campionamento.

Il **campione composito** è costituito da un certo numero di prelievi elementari, distribuiti su un impasto o una massa di calcestruzzo completamente mescolati insieme.

Il **campione puntuale** è costituito da una quantità di calcestruzzo prelevata da una zona particolare di un impasto o da una massa di calcestruzzo, costituita da uno o più prelievi elementari completamente mescolati insieme.

TIPOLOGIE CUBIERE: Possono essere utilizzate cubiere in acciaio, ghisa o materiali equivalenti.

cubiere in acciaio, che hanno la particolarità di avere un peso maggiore di 30 Kg e quindi non movimentabili da un unico operatore, nel rispetto del T.U. n°81/2008;

cubiere in polistirolo, monouso che oltre a non essere facilmente scasserabili non garantiscono il rispetto delle tolleranze dimensionali e di planarità delle facce;

cubiere monoblocco in poliuretano, che pur rispettando le tolleranze dimensionali e di planarità della facce, hanno un laborioso metodo di scasseratura del provino.



DIMENSIONI CUBETTI: In Italia la misura della resistenza caratteristica è eseguita generalmente su *provini cubici*, le cui dimensioni sono codificate dalla UNI 6130 in funzione della dimensione massima dell'inerte D_{max} .

Dimensione massima dell'inerte (mm)	$D_{max} \leq 20$	$20 < D_{max} \leq 30$	$30 < D_{max} \leq 50$	$50 < D_{max} \leq 80$	$80 < D_{max} \leq 120$
Lato del cubo (cm)	10	15	20	25	30

Possono essere utilizzati provini cilindrici con rapporto tra l'altezza **H** ed il diametro **D** del cilindro pari a **2**. Per il diametro **D** valgono le stesse limitazioni del lato del cubo.

CONFEZIONAMENTO PROVINI: Il confezionamento dei provini deve seguire particolari metodologie al fine di standardizzare il processo edilizio ed affinare le tecnologie, conducendo tutte le operazioni in conformità alle prescrizioni indicate nelle N. T. C.. Il prelievo elementare viene effettuato a *bocca di betoniera*, intercettando con un recipiente il flusso uscente dalla betoniera durante lo scarico della parte mediana, cioè non prima di aver scaricato almeno **0,3 - 3** m³ di calcestruzzo, e va eseguito in **3** riprese ad intervalli uguali di tempo. Il conglomerato viene versato tramite canaletta della betoniera all'interno di una carriola in quantità pari a circa **2** volte quella necessaria al confezionamento dei provini (la norma prevede *1,5 volte*) e successivamente con la sessola nella cubiera.

RIEMPIMENTO E COMPATTAZIONE PROVINI: Il calcestruzzo, subito dopo essere stato posto nello stampo, deve essere compattato in modo tale da ottenere la *massima densità* realizzabile con l'impasto dato, mantenendone l'omogeneità.

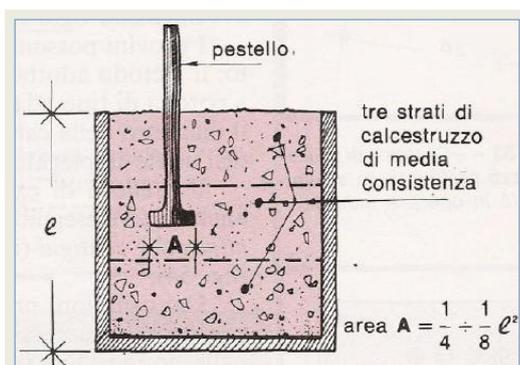
La **compattazione** può essere effettuata con:

- pestello o barra di acciaio Ø 16*, di lunghezza 60 cm con l'estremità arrotondata;
- tavola vibrante*;
- vibratore ad immersione*.

Il **riempimento** della cubiera deve avvenire:

- per strati, **obbligatori 2**, *consigliati 3*, nel caso di compattazione con pestello o barra;
- in un'unica soluzione negli altri due casi

COMPATTAZIONE CON PESTELLO CILINDRICO: Il pestello dovrebbe avere un'area di impronta **A** compresa tra 1/4 ed 1/8 del quadrato dello spigolo del cubetto.



Il numero dei colpi richiesti per ciascuno strato, per realizzare la completa compattazione, dipende dalla consistenza del calcestruzzo, ma in nessun caso il calcestruzzo dovrà essere sottoposto a meno di **25** colpi per strato.

I **25** colpi vanno distribuiti in modo uniforme sulla sezione trasversale dello stampo, contando a voce alta le immersioni del pestello ed evitando che lo stesso penetri in modo significativo nello strato precedente, o che percuota il fondo dello stampo quando si compatta il primo strato. In particolare vanno distribuiti:

- 4** colpi perimetrali lungo ogni lato, per un totale di **16**;
- 2** colpi per ogni lato più all'interno, per un totale di **8**;
- 1** colpo al centro

Per rimuovere le bolle di aria intrappolata, ma non l'aria volutamente inglobata, dopo la compattazione di ciascuno strato, le pareti esterne dello stampo vanno percosse con leggeri colpi di mazzuola, rapidi e decisi, fino a quando cesseranno di giungere alla superficie grosse bolle d'aria e scompariranno le depressioni lasciate dal pestello. Il *numero di colpi va registrato*.

COMPATTAZIONE CON VIBRATORE AD IMMERSIONE: La vibrazione deve essere applicata per il minimo tempo necessario ad ottenere la completa compattazione del calcestruzzo, evitando una vibrazione eccessiva, che potrebbe provocare segregazione e risalita di lattime o perdita di aria introdotta artificialmente, se presente. Il **vibratore**, il cui ago non può avere un diametro maggiore di 37,5 mm per cubi di lato 15 cm, va *mantenuto verticale* e non a contatto con il fondo o con le pareti interne dello stampo, per non danneggiarlo, *immerso* nel calcestruzzo ed *estratto* in modo graduale. È **ammesso** il contatto con le pareti dall'esterno per completare la compattazione. Vanno effettuati **3 inserimenti dell'ago vibrante in 3 posizioni** nel caso di *provini cilindrici* e **5 inserimenti in 5 posizioni** diverse, spostandosi se possibile in diagonale, nei *provini cubici*. La durata della vibrazione va registrata con l'approssimazione di **1 s**.

COMPATTAZIONE CON TAVOLA VIBRANTE: La vibrazione deve essere applicata per il minimo tempo necessario ad ottenere la completa compattazione del calcestruzzo.

Quando si usa una tavola vibrante lo stampo deve essere fissato ad essa.

Anche in questo caso va evitata una vibrazione eccessiva, che potrebbe provocare segregazione e risalita di lattime o perdita di aria introdotta artificialmente, se presente.

La durata di vibrazione richiesta dipenderà dalla consistenza del calcestruzzo e dall'efficacia del vibratore. La vibrazione deve essere interrotta non appena la superficie del calcestruzzo risulterà relativamente piana ed assumerà un aspetto vetroso.

La durata della vibrazione deve essere registrata con approssimazione di 1 s.

ETICHETTATURA PROVINI: Subito dopo la compattazione dell'ultimo strato la superficie del calcestruzzo va accuratamente livellata con un righello rasatore e quindi lisciata con cazzuola o fratazzo. Terminato il confezionamento ogni provino deve essere contrassegnato mediante sigle ed etichettature indelebili e riconoscibili. Per ogni prelievo di materiale, che, affinché assuma valore legale, deve essere eseguito in contraddittorio con l'impresa, va redatto il relativo *verbale*.

Il provino va identificato annegando sulla superficie un'etichetta indelebile che riporti:

- 1)n° verbale di prelievo;
- 2)tipo calcestruzzo;
- 3)data del getto;
- 4)cliente;
- 5)ubicazione getto;
- 6)n° documento di trasporto;
- 7)firma del DL e dell'incaricato al prelievo



VERBALE DI PRELIEVO CALCESTRUZZO			
VERB. N°			
DATA			
ORA			
CANTIERE DEL PRELIEVO:			
ESECUTORE DEL PRELIEVO:			
OPERE IN ESECUZIONE:			
CALCESTRUZZO	Rck	S	Dmax X
N. DI CUBETTI PRELEVATI:			
IDENTIFICAZIONE DEI CUBETTI:			
FORNITORE CLS:			
DDT:	IMPIANTO CLS:		
AUTOBETONIERA N.:	AUTISTA:		
ABBASSAMENTO AL CONO mm (se effettuato slump test)	CONSISTENZA EFFETTIVA S		
NOTE			
Firma dell'esecutore del prelievo			
Firma del responsabile del cantiere			



STAGIONATURA PROVINI: La conservazione dei provini fino alla sformatura deve avvenire ad umidità costante del 95% a temperatura di circa 20 ± 5 °C o 25 ± 5 °C nei climi caldi. Il provino, una volta sformato, dopo **16 ÷ 72** ore dal confezionamento, va lasciato maturare in ambiente con temperatura 20 ± 2 °C ed umidità almeno 95%. È opportuno, pertanto, che in cantiere sia presente una **vasca d'acqua con coperchio** nella quale immergere i provini. In mancanza si può conservare il provino sotto sabbia. È opportuno che la consegna dei campioni al laboratorio prove avvenga intorno al **28°** giorno di maturazione; se avviene prima, il laboratorio deve provvedere alla corretta conservazione dei campioni.

TEMPISTICA ROTTURA PROVINI: In casi specifici il progettista o il direttore lavori potrà definire, in aggiunta al *valore convenzionale caratteristico* a **28 giorni**, una resistenza convenzionale a tempi diversi e con modalità di maturazione del conglomerato differenti da quelle specificate nella norma UNI EN 12390-2. Ad esempio, nel caso di calcestruzzi destinati a strutture che debbano, per esigenze di cantiere, essere disarmate in tempi brevi, una prescrizione di resistenza convenzionale caratteristica a 7 giorni, in aggiunta a quella richiesta ai 28 gg., è auspicabile per poter effettuare le operazioni di disarmo in totale sicurezza.

RESPONSABILITÀ IMPRESA ESECUTRICE: L'Impresa appaltatrice è responsabile:

- delle operazioni di **corretta conservazione** dei provini e della loro **custodia** in cantiere prima dell'invio al Laboratorio incaricato di effettuare le prove di schiacciamento;
- del **trasporto** e della **consegna** dei provini di calcestruzzo al laboratorio ufficiale *unitamente alla lettera di richiesta prove* firmata dalla Direzione Lavori.

DOMANDA PROVE: La domanda di prove ad un laboratorio prove materiali, accreditato dal SINAL, deve essere **sottoscritta** dal **Direttore dei Lavori**, pena la nullità del controllo, e contenere precise indicazioni sulla posizione delle strutture interessate da ciascun prelievo, in particolare:

1. identificazione del campione con numero e sigla del prelievo;
2. località e nome del cantiere;
3. composizione del calcestruzzo;
4. tipo del campione (*composito o puntuale*);
5. data, ora e provenienza del prelievo;
6. posizione in opera del calcestruzzo.

Le prove **non** richieste dal direttore dei lavori **non possono far parte dell'insieme statistico** per la determinazione della resistenza caratteristica del calcestruzzo.

MODALITÀ DI PROVA: Prima di procedere alla rottura, i provini vanno sottoposti a prova di regolarità: facce piane e parallele, angoli, retti. Se queste condizioni non sono verificate, si deve effettuare la spianatura con apposita macchina molatrice. La spianatura può essere fatta anche con applicazione di pasta di cemento o gesso o altro idoneo materiale. Quindi i provini vengono misurati e pesati con una precisione dell' 1%.



Rettificatrice



Apparecchiatura per la verifica della planarità delle facce



Misurazione con calibro



Pesatura

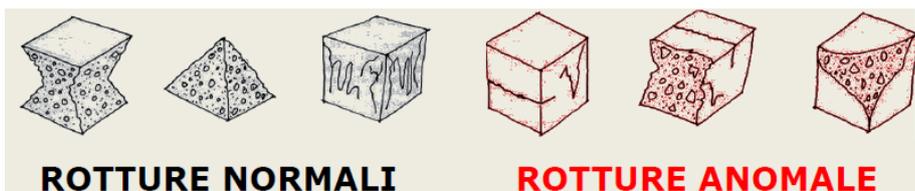
PESO DEL CALCESTRUZZO: Il peso di un metro cubo di calcestruzzo dipende dalla natura dei componenti e varia lievemente a seconda del grado di compattezza e della quantità di cemento impiegato per la confezione. Le norme UNI 10012/67 stabiliscono i seguenti valori:

- 2.200-2.400 Kg per un metro cubo di calcestruzzo ordinario (non armato);
- 1.800-2.200 Kg per un metro cubo di calcestruzzo magro (quantità di cemento inferiore a 200 Kg/m³);
- Kg > 2.500 per un metro cubo di calcestruzzo armato (la presenza dell'acciaio dell'armatura incide per circa 100 kg/m³).

PROVE DI ROTTURA: La prova di schiacciamento viene eseguita con pressa idraulica di adeguata potenza, ponendo il provino esattamente nel centro di pressione, senza alcuna interposizione fra le facce del cubetto ed i piatti della macchina, di materiale deformabile, quale cartone, feltro o piombo. La pressione deve essere esercitata gradualmente fino alla completa rottura del provino. Si deve prendere nota del tipo di rottura.



La rottura dei provini, a 28 gg dal confezionamento, dovrebbe avvenire sempre in modo uniforme simmetrico e non dovrebbero esserci lesioni sulle facce del provino che toccano i piani della pressa, come di seguito riportato:



MODALITÀ' ROTTURA PROVINI CUBICI: Il tipo di rottura del provino dà indicazioni circa la resistenza del calcestruzzo. La rottura del cubetto secondo una serie di piramidi più o meno regolari, le cui facce formano un angolo di circa 45° con la base, è indice di un calcestruzzo con una elevata resistenza a compressione. I calcestruzzi scadenti tendono invece a sbriciolarsi, senza precisi piani di rottura



MODALITÀ ROTTURA PROVINI CILINDRICI: Anche per i provini cilindrici la rottura dei provini, a 28 gg dal confezionamento, dovrebbe avvenire in modo uniforme simmetrico senza lesioni sulle facce del provino che toccano i piani della pressa, come di seguito riportato:



CONTENUTI CERTIFICATO LABORATORIO: I certificati devono contenere almeno le seguenti indicazioni:

- 1) l'identificazione del laboratorio;
- 2) una identificazione univoca del certificato, numero di serie e data di emissione, e di ciascuna sua pagina, oltre al numero totale di pagine;
- 3) l'identificazione del committente e del cantiere di riferimento;
- 4) il nominativo del D. L. che richiede la prova;
- 5) la descrizione, l'identificazione, la data di prelievo dei campioni da provare e gli estremi del verbale di prelievo;
- 6) le date di ricevimento dei campioni e di esecuzione delle prove;
- 7) l'identificazione delle specifiche di prova, con l'indicazione delle norme di riferimento per l'esecuzione della stessa;
- 8) le dimensioni effettivamente misurate dei campioni provati, dopo eventuale rettifica;
- 9) le *modalità di rottura dei campioni*;
- 10) la *massa volumica del campione*;
- 11) i *valori di resistenza misurati*.

FATTORI DI CONVERSIONE RESISTENZA: La dimensione standard dello spigolo dei cubi è pari a **15 cm**. La norma prevede, per la determinazione di R_{ck} , *fattori di conversione* fra le resistenze misurate dal laboratorio su cubi con lunghezza degli spigoli diverse, utilizzati, per esempio, per le diverse dimensioni del D_{max} dell'aggregato della miscela.

Spigolo cubo (cm)	10	15	20	25	30
Fattore di conversione delle resistenze a compressione	1,10	1,00	0,95	0,92	0,90

Analoghi fattori di conversione sono previsti per provini cilindrici di diametro diverso a parità di rapporto $H/D=2$.

Diametro cilindro (cm)	10	15	20	25	30
Fattore di conversione delle resistenze a compressione	1,02	1,00	0,97	0,95	0,91

È cura della D.L. provvedere alla determinazione del valore da prendere in considerazione nel controllo di accettazione.

PROVE COMPLEMENTARI: Se una prescrizione del controllo di accettazione *non risulta rispettata*, vi sono 2 scenari possibili:

procedere ad un controllo teorico e/o sperimentale della sicurezza della struttura interessata dal quantitativo di conglomerato non conforme, sulla base della resistenza ridotta del conglomerato risultante dal controllo di accettazione;

verificare le caratteristiche del conglomerato messo in opera con

• **prove complementari** ove esistessero;

• **prelievo di provini** del calcestruzzo indurito messo in opera (es. carotaggi);

• **impiego di altri mezzi d'indagine.**

Le **prove complementari** si eseguono anche per stimare la resistenza del conglomerato ad una età corrispondente a particolari fasi di costruzione quali precompressione, messa in opera o condizioni particolari di utilizzo quali temperature eccezionali.

Le **prove complementari** *non* possono mai essere *sostitutive* dei controlli di accettazione riferiti ai provini confezionati e maturati.

La resistenza strutturale del calcestruzzo in opera si determina con riferimento alle norme UNI EN 12504-1:2002, UNI EN 12504-2:2001, UNI EN 12504-3:2005, UNI EN 12504-4:2005 ed alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo, pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP.

Se non sono validi i controlli di accettazione il **collaudatore** è *obbligato* a far eseguire prove che attestino le caratteristiche del conglomerato, seguendo la medesima procedura che si applica quando non risultino rispettati i limiti fissati dai *controlli di accettazione*.

In sintesi le prove complementari *non sono obbligatorie*, ma si rendono necessarie qualora sia richiesto nel capitolato di determinare la resistenza del calcestruzzo a breve. *Diventano obbligatorie* nel caso in cui il coefficiente di variazione calcolato sul controllo di accettazione di **tipo B** supera il valore imposto dalla normativa.

Il valor medio della resistenza del cls in opera, definita come **resistenza strutturale**, è in genere inferiore al valor medio della resistenza dei prelievi in fase di getto maturati in laboratorio, definita come **resistenza potenziale**.

È accettabile un valore medio della resistenza strutturale $R_{m,STIM}$, misurata con tecniche distruttive e/o non distruttive ritenute più opportune da parte della D.L. e debitamente trasformata in *resistenza cilindrica o cubica*, non inferiore all'**85%** del valore medio definito in fase di progetto.

Le aree di prova, dalle quali estrarre i campioni o sulle quali eseguire le prove non distruttive, vanno scelte in modo da permettere la valutazione della resistenza meccanica della struttura o di una sua parte interessata all'indagine. Le aree ed i punti di prova debbono essere preventivamente identificati e selezionati in relazione agli obiettivi.

Pertanto si farà riferimento al giornale dei lavori ed eventualmente al registro di contabilità per identificare correttamente le strutture o porzioni di esse interessate dalle *non conformità*.

La *dimensione* e la *localizzazione* dei punti di prova dipendono dal **metodo prescelto**, mentre il *numero di prove* da effettuare dipende dall'**affidabilità desiderata** nei risultati.

La definizione e la divisione in regioni di prova, di una struttura, presuppongono che i prelievi o i risultati di una regione appartengano statisticamente e qualitativamente ad una medesima popolazione di calcestruzzo.

Nel caso in cui si voglia valutare la capacità portante di una struttura le regioni di prova devono essere concentrate nelle zone più sollecitate, mentre nel caso in cui si voglia valutare il tipo o l'entità di un danno, le regioni di prova devono essere concentrate nelle zone dove si è verificato il danno o si suppone sia avvenuto.

Le aree e le superfici di prova vanno predisposte in relazione al tipo di prova che s'intende eseguire, facendo riferimento alle:

- finalità cui le prove sono destinate;
- specifiche N.T.C. e circolare esplicativa 2/2/2009 n° 617;
- indicazioni del produttore dello strumento di prova

In linea di massima le aree di prova devono essere prive sia di evidenti difetti, vespai, vuoti, occlusioni, ecc., che possano inficiare il risultato e la significatività delle prove stesse, sia di materiali estranei al calcestruzzo, intonaci, collanti, impregnanti, ecc., sia di polvere ed impurità in genere.

L'eventuale presenza di materiale estraneo e/o di anomalie sulla superficie non rimovibili deve essere registrata sul verbale di prelievo e/o di prova.

In relazione alla finalità dell'indagine, i punti di prelievo o di prova devono essere localizzati in modo:

- puntuale, qualora si voglia valutare le proprietà di un elemento oggetto d'indagine;
- casuale, per valutare una partita di calcestruzzo indipendentemente dalla posizione.

ALTRE PROVE COMPLEMENTARI: Altre possibili prove complementari eseguibili sono:

- permeabilità;
- resistenza a compressione a 1-7gg;
- resistenza a flessione;
- resistenza a trazione;
- grado di compattazione;
- classe di contenuto in cloruro.

PROCEDURE IN CASO DI RESISTENZA COMPATIBILE CON ACCETTAZIONE

DELLA STRUTTURA: In accordo alla circolare esplicativa 2/2/2009, se il numero di campioni per la valutazione della resistenza in opera di un elemento è superiore a **15**, si potranno impiegare i valori caratteristici, in modo da confrontarli direttamente con la resistenza caratteristica di progetto.

Tali controlli e verifiche potranno essere oggetto di una *relazione supplementare* da parte dell'impresa esecutrice.

Se viene dimostrato che, ferme restando le ipotesi di vincoli e di carico delle strutture, la resistenza è ancora *compatibile* con le sollecitazioni previste in progetto, secondo le prescrizioni delle norme vigenti, la D.L., *sentito il collaudatore*, potrà accettare le opere, contabilizzando il calcestruzzo in base al valore della resistenza rilevata in opera.

PROCEDURE IN CASO DI RESISTENZA INCOMPATIBILE: Se la resistenza non é compatibile con le sollecitazioni previste in progetto, la D.L. valuterà come procedere in base alle seguenti ipotesi:

consolidamento dell'opera o delle parti interessate da *non conformità*, se ritenuto tecnicamente possibile dalla D.L. stessa, sentito il progettista ed il collaudatore, con tempi e metodi che la D.L. potrà stabilire anche su proposta dell'impresa esecutrice;

demolizione e rifacimento dell'opera o delle parti interessate *da non conformità*. Si specifica che la conformità della resistenza ai fini strutturali non implica necessariamente la conformità nei riguardi della *durabilità* o di *altre caratteristiche specifiche* del calcestruzzo messo in opera.

PROCEDURE IN CASO DI MANCATO RISPETTO DELLA DURABILITÀ Qualora non fossero rispettate le *richieste di durabilità*, la D. L. potrà ordinare all'impresa di mettere in atto tutti gli accorgimenti ritenuti opportuni e sufficienti per garantire la vita nominale dell'opera prevista, quali:

ricoprimento delle superfici con guaine;

protezione con vernici o agenti chimici nebulizzati

ONERI INTERVENTI Tutti gli oneri derivanti dagli interventi di **consolidamento** o di **demolizione e rifacimento** sono a totale carico dell'impresa esecutrice.

ALTRI CONTROLLI IN CORSO D'OPERA: La D.L. deve, inoltre, verificare il rispetto delle prescrizioni progettuali in merito a:

metodologie di posa in opera;

dimensioni degli elementi strutturali;

spessore del copriferro degli elementi strutturali;

armature, *posizionamento e numero delle barre d'armatura, sovrapposizioni, lunghezze di ancoraggio, passo e legatura delle staffe;*

pulizia dei casseri;

riprese di getto;

stagionatura e cura dei getti.

SINTESI CONTROLLI SUL CALCESTRUZZO

Confezionamento calcestruzzo	Valutazione preliminare della resistenza	Controllo di produzione	Controllo di accettazione
Impianti industrializzati	no è sufficiente FPC	si	si
Impianti non industrializzati, ovvero in cantiere	si	si	si
Impianti industrializzati nei casi di produzioni occasionali e per resistenze superiori a C45/55*	si	si	si

Nel caso di impiego di calcestruzzi con resistenza superiore a **C45/55** il produttore deve fornire il dossier di qualifica della miscela. Per l'utilizzo di calcestruzzi ad alta resistenza, cioè di classi comprese tra **C70/85** e **C90/105**, occorre richiedere l'autorizzazione preventiva del Ministero delle Infrastrutture.

I CONTROLLI DELL'ACCIAIO

CARATTERISTICHE DELL'ACCIAIO: L'acciaio in barre per c.a può essere immesso sul mercato soltanto successivamente al rilascio da parte del Servizio Tecnico Centrale del Ministero delle Infrastrutture dell'**Attestato di Qualificazione**, che ha validità *quinquennale* e prevede, per il mantenimento della qualificazione, *prove periodiche* con frequenza non superiore a *3 mesi* negli stabilimenti di produzione da uno dei *127 Laboratori Prove Materiali* accreditati dal S.T.C.

È consentito esclusivamente l'impiego di acciai saldabili ad aderenza migliorata. Sono previsti **2** tipi di acciaio:

- laminato a caldo ad alto grado di duttilità **B450C**
- trafilato a freddo a basso grado di duttilità **B450A** Le caratteristiche di tali acciai sono riportate nella tabella seguente:

Caratteristiche	Requisiti		Frittile (%)
	B450 C	B450 A	
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} N/mm ²	≥ 450	≥ 450	5,0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk} N/mm ²	≥ 540	≥ 540	5,0
$(f_t / f_y)_k$	$1,15 \leq f_t/f_y \leq 1,35$	$\geq 1,05$	10,0
$(f_y/f_y \text{ nom})_k$	$\leq 1,25$	$\leq 1,25$	10,0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\geq 7,5 \%$	$\geq 2,5 \%$	10,0

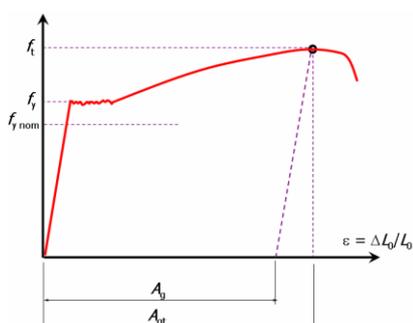


Diagramma tensioni-deformazioni per un acciaio laminato a caldo **B450C**

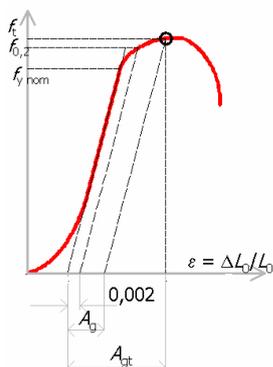


Diagramma tensioni-deformazioni per un acciaio deformato a freddo **B450A**

Le barre sono caratterizzate dal diametro \varnothing della barra tonda liscia *equipesante*, calcolata nell'ipotesi che la densità sia pari a **7,85 kg/dm³**. Sono ammesse tolleranze dimensionali sulla sezione di impiego pari al $\pm 6\%$ per $5 \leq \varnothing \leq 8$ ed al $\pm 4,5\%$ per $8 < \varnothing \leq 40$. L'acciaio in rotoli è ammesso senza limitazioni per $\varnothing \leq 16$ mm per acciai **B450C** e fino a $\varnothing \leq 10$ mm per acciai **B450A**. Le nervature devono essere distribuite uniformemente sull'intera lunghezza. In zona sismica può impiegarsi esclusivamente acciaio **B 450 C**. L'acciaio **B450A** può essere utilizzato per *tralicci* e *reti* elettrosaldate e non per staffe a meno dei seguenti casi:

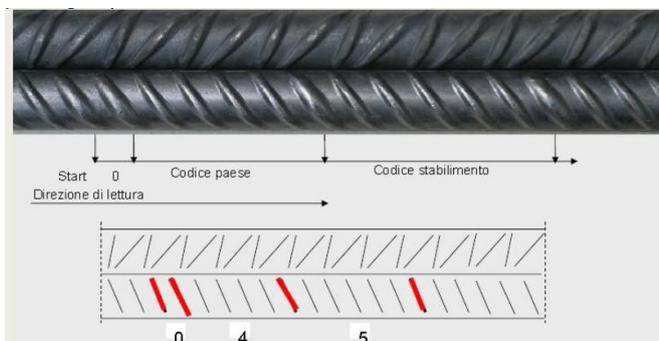
- elementi in cui è impedita la plasticizzazione mediante il rispetto del criterio di gerarchia delle resistenze;
- elementi secondari, così definiti dal paragrafo 7.2.3;
- strutture poco dissipative con fattore di struttura $q \leq 1,5$.

CARATTERISTICHE RETI E TRALICCI: Le *reti* e i *tralicci* sono costituiti da barre di diametro compreso tra **5 mm** e **16 mm**, di tipo saldabile con equidistanza che non può superare i **330 mm**. L'acciaio **B450A** può essere utilizzato con elementi base di diametro compreso tra $\varnothing 5$ e $\varnothing 10$, mentre per l'acciaio **B450C** i diametri utilizzabili sono compresi tra $\varnothing 6$ e $\varnothing 16$. Il rapporto tra i diametri delle barre componenti reti e tralicci deve essere:
 $\varnothing_{\min} / \varnothing_{\max} \geq 0,6$

I nodi delle reti devono resistere ad una forza di distacco pari al **25%** della forza di snervamento della barra di diametro maggiore.

Ogni pannello o traliccio deve essere **marchiato** in modo indelebile, identificabile anche dopo l'annegamento nel cls. La marchiatura può essere costituita da sigilli o etichettature metalliche e la D.L., al momento dell'accettazione, deve verificarne la presenza.

MARCATURA BARRE ACCIAIO PER C.A. L'acciaio è riconoscibile da un marchio apposto su ogni barra, ad intervalli di ripetizione, che è caratterizzato, per ogni paese e stabilimento, da una diversa filettatura. Tutti gli acciai per impiego strutturale devono essere **qualificati**.



ATTESTATO QUALIFICAZIONE ACCIAIO: Il documento riportato a lato è un fac-simile dell'**attestato di qualificazione** rilasciato dal S. T. C. del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. La **qualificazione** ha validità **5 anni** e prevede, per il mantenimento della qualificazione, prove periodiche con frequenza almeno trimestrale.

ACQUISTO DELL'ACCIAIO: Le imprese edili possono acquistare le barre di acciaio per c.a. dai:

- commercianti** all'*ingrosso* o al *dettaglio*;
- produttori**, *acciaierie*;
- centri di trasformazione.** I **lotti di fornitura** di barre provenienti dai produttori o dai commercianti, possono arrivare in cantiere in:
 - fasci**;
 - casse di legno**;
 - fasci rivestiti** in pluriball.



CONTROLLO DELL'ACCIAIO: Le norme prevedono *tre forme di controllo obbligatorie*:

- in **stabilimento di produzione**, da eseguirsi sui **lotti di produzione**;
- nei **centri di trasformazione**, da eseguirsi sulle **forniture**;
- in cantiere**, da eseguirsi sui **lotti di spedizione**.

I controlli eseguiti in stabilimento si riferiscono a **lotti di produzione**. I controlli eseguiti nei centri di trasformazione si riferiscono a **forniture**. L'*accettazione* eseguita in cantiere si riferisce a **lotti di spedizione**.

LOTTI DI PRODUZIONE: si riferiscono a una produzione continua, ordinata cronologicamente mediante apposizione di contrassegni al prodotto finito (numero del rotolo, della bobina di trefoli e del fascio di barre). Un lotto di produzione deve avere grandezze nominali omogenee (dimensionali, meccaniche e di formazione) ed essere compreso fra **30 e 120 t**.

FORNITURE: sono lotti formati al massimo da **90 t**, costituiti da prodotti aventi *grandezze nominali omogenee* (dimensionali, meccaniche e di formazione).

LOTTI DI SPEDIZIONE: sono lotti formati al massimo da **30 t**, *spediti in un'unica volta*, costituiti da prodotti aventi grandezze nominali omogenee (dimensionali, meccaniche e di formazione).

CONTROLLO DELL'ACCIAIO IN STABILIMENTO: La valutazione della conformità del controllo di produzione in stabilimento e del prodotto finito è effettuata mediante:

la **marcatatura CE** per lamiere e profili. Per fare un esempio, non esaustivo, i laminati e relativi profilati IPE, HE, UPN etc. devono essere provvisti di Marcatura CE obbligatoriamente già dal settembre 2006;

la **qualificazione** del Servizio Tecnico Centrale con la procedura indicata nelle NTC. Ultimata l'istruttoria e verificato il possesso dei requisiti, il S. T. C. rilascia all'acciaieria, per ciascuno stabilimento, un Attestato di qualificazione, di validità **5** anni, individuato da un numero progressivo, che riporta il nome dell'azienda, lo stabilimento, i prodotti qualificati, il marchio.

Un elenco di tutti gli attestati rilasciati è riportato sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

L'acciaio può essere lavorato in:

cantiere;

centri di trasformazione.

Per *cantiere* si intende l'area recintata, all'interno della quale il costruttore e la D. L. sono responsabili dell'approvvigionamento e lavorazione dei materiali, secondo competenze e responsabilità che la legge attribuisce a ciascuno.

Le barre d'acciaio in cantiere non possono essere lavorate senza il preventivo **controllo di accettazione**, che è *facoltativo* se le armature provengono da un *centro di trasformazione*.

CENTRI DI TRASFORMAZIONE Il centro di trasformazione è un impianto esterno al cantiere o alla fabbrica, fisso o mobile, che riceve dal produttore elementi base, quali rotoli, barre, reti, lamiere, profilati, 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 al punto 11.3.1.5 delle NTC (*tutte le forniture di acciaio, per le quali non sussista l'obbligo della marcatura CE, devono essere accompagnate dalla copia dell'attestato di qualificazione del Servizio Tecnico Centrale*).

Nel caso di impiego di *materiali*, comunque qualificati, *provenienti da produttori differenti*, vanno adottate specifiche procedure documentate che garantiscano la **rintracciabilità** dei prodotti.

Per potere eseguire forniture di acciaio lavorato per c.a. un'azienda deve:

possedere un sistema qualità secondo la norma UNI EN ISO 9001:2000;

avere l'autorizzazione dal Servizio Tecnico Centrale a svolgere l'attività di centro di trasformazione;

nominare un Direttore Tecnico, che sovrintende sia ai processi di lavorazione che ai controlli sui materiali, e che può essere, oltre a un laureato, anche un diplomato di scuola superiore secondaria ad indirizzo tecnico, geometra, perito edile, industriale, iscritto al relativo ordine o collegio professionale. La norma prevede per i centri specifiche rigorose in merito a controlli obbligatori da effettuare. Il Direttore tecnico di stabilimento cura la registrazione dei risultati delle prove di controllo interno su apposito registro, la cui visione è consentita a quanti ne abbiano titolo.

CONTROLLI NEI CENTRI DI TRASFORMAZIONE: Deve essere eseguito almeno un controllo ogni giorno di lavorazione su elementi di armatura prodotti da barra e/o da rotolo. Se nello specifico giorno di lavorazione, sono impiegati elementi base provenienti da differenti acciaierie, i controlli devono essere estesi agli elementi di armatura prodotti con tutti gli acciai utilizzati. I controlli devono essere ripetuti al superamento di **90 t** di barre e di **10** rotoli utilizzati nello specifico giorno.

Per ogni controllo deve essere prelevato un campione costituito da **3** spezzoni di uno stesso diametro, scelto tra quelli utilizzati nello specifico giorno di produzione, lunghi almeno **1,00 m**. In caso di utilizzo di rotoli deve essere effettuata, con frequenza almeno mensile, la verifica dell'area relativa di nervatura o di dentellatura, secondo il metodo geometrico, conformemente alle procedure riportate nella norma UNI EN ISO 15630-1:2004.

FORNITURA DA CENTRI DI TRASFORMAZIONE: Ogni fornitura in cantiere di elementi *presaldati, presagomati* (staffe, ferri piegati) o *preassemblati* (gabbie di armatura) deve essere accompagnata da:

dichiarazione, sul documento di trasporto, degli estremi dell'*attestato di avvenuta dichiarazione di attività*, rilasciata dal Servizio Tecnico Centrale, con il logo o il marchio del centro;

attestazione circa l'esecuzione delle prove di controllo interne fatte eseguire dal direttore tecnico del centro di trasformazione, con l'indicazione dei giorni nei quali la fornitura è stata lavorata. Se il Direttore dei Lavori lo richiede a tale attestazione può seguire copia dei certificati relativi alle prove effettuate nei giorni di lavorazione. Il Direttore dei Lavori è tenuto a verificare sia la dichiarazione che l'attestazione, rifiutando le forniture non conformi.

Qualora la fornitura di elementi sagomati o assemblati provenga da un centro di trasformazione, la D.L., dopo essersi accertata che esso abbia i requisiti previsti, si può recare presso il medesimo centro dove, il Direttore Tecnico preleverà i campioni da inviare presso un laboratorio autorizzato secondo le disposizioni dello stesso Direttore dei Lavori.

La D.L. deve assicurare che i campioni inviati al laboratorio incaricato siano quelli effettivamente prelevati.

La fornitura da parte dei centri di trasformazione presenta alcuni vantaggi:

ribalta sul Direttore Tecnico di stabilimento gli oneri di controllo e le responsabilità sulle forniture;

accelera i tempi di esecuzione delle forniture (i quantitativi ed i diametri sono svincolati dall'esecuzione delle prove);

non obbliga l'ufficio acquisti o l'imprenditore a pretendere dai fornitori condizioni di fornitura che inevitabilmente si ribaltano sui costi (stesso produttore per lotti di spedizione);

vengono assicurati livelli di controllo e di qualità elevati;

semplifica la vigilanza della D.L. sulle forniture che arrivano in cantiere.

CONTENUTO DDT DA CENTRI DI TRASFORMAZIONE: Il *documento di trasporto*, che accompagna la fornitura in cantiere, deve obbligatoriamente contenere:

- il numero dell'attestato rilasciato dal servizio Tecnico centrale;
- il logo depositato che deve essere lo stesso contenuto nei cartellini che devono essere presenti in ogni fascio di materiale lavorato consegnato;
- l'attestazione inerente le prove di controllo sulle lavorazioni fatte eseguire dal Direttore Tecnico di stabilimento.

CONTROLLO DELL'ACCIAIO IN CANTIERE: La fornitura delle barre di acciaio in cantiere deve essere accompagnata da:

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

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.

La provenienza dei ferri può essere preventivamente controllata dalla D.L. attraverso il marchio posto su tutte le barre di ferro il quale deve corrispondere a quello del certificato.

IDENTIFICAZIONE DELL'ACCIAIO: Ogni *lotto di spedizione*, costituito da prodotti aventi valori di diametri omogenei e del peso massimo di **30 t** di una stessa acciaieria, deve essere identificato mediante appositi cartellini metallici che riportano tutte le informazioni relative alla colata fornita, garantendone la completa rintracciabilità.

Pertanto su ogni rotolo, su ogni pacco di rete e di tralicci, deve esserci il cartellino riportante il nome o il marchio del fabbricante, il tipo di acciaio, il numero di colata, la data di laminazione (giorno, mese e anno). La D.L. **non deve accettare** forniture di acciaio che non provengano da **produttori qualificati**, anche se le prove di laboratorio non risultino negative.

Alla consegna in cantiere, l'impresa appaltatrice avrà cura di depositare l'acciaio in luoghi protetti dagli agenti atmosferici. In particolare, per quei cantieri posti ad una distanza inferiore a 2 Km dal mare, le barre di armatura dovranno essere protette con appositi teli dall'azione dell'aerosol marino. La D.L. è obbligata ad eseguire i **controlli di accettazione** sull'acciaio prima dell'inizio delle lavorazioni del lotto di spedizione e comunque entro **30 g** dall'arrivo in cantiere del materiale. Le prove si effettuano presso un Laboratorio Accreditato dal **SINAL**, Organismo Nazionale di Accreditamento dei Laboratori, e riguardano la **resistenza** e la **duttilità**. Si può, pertanto, procedere alla lavorazione delle barre, *sagomatura, piegatura, taglio*, soltanto dopo l'avvenuto rilascio delle certificazioni del laboratorio ufficiale.

CAMPIONAMENTO DELLE BARRE D'ACCIAIO: Il **campionamento** nell'ambito di ciascun *lotto di spedizione* ovvero con marchio e documentazione di accompagnamento dimostranti la provenienza del materiale da uno stesso stabilimento, consiste nel prelievo di **3** spezzoni marchiati della lunghezza di *1,00-1,20 m* per **3 diametri** diversi, in genere, minimo medio e massimo.

In caso contrario i controlli devono essere estesi ai lotti provenienti da altri stabilimenti.
Non si prevedono più i *3 gruppi di diametri* fissati dal D.M.9/1/96:

- da Ø 5 a Ø 10;
- da Ø 12 a Ø 18;
- da Ø 20 in su.

Per effettuare le prove su reti e tralicci elettrosaldati sono necessari 3 campioni di 1,20 x 1,20 m per le reti e 3 campioni di 1,50 m di lunghezza per i tralicci. Il prelievo è effettuato a cura del Direttore dei Lavori o di un tecnico di sua fiducia.

Esempio:

Il giorno 11/06/2012 arrivano in cantiere, acquistati da un *commerciante*

4 fasci da Ø 16 marcato *ferriera x*

4 fasci da Ø 12 marcato *ferriera y*.

Dal momento che i fasci di barre da 12 m pesano in genere 2,2 t, il lotto di fornitura è inferiore a **30 t**, vanno prelevati **3 campioni Ø 16** e **3 campioni Ø 12** per un totale di **6 provini** da sottoporre a prova.

Due giorni dopo il 13/06/2012 giungono in cantiere, acquistati da un altro *commerciante*:

4 fasci da Ø 10 marcato *ferriera y*

4 fasci da Ø 16 marcato *ferriera x*

4 fasci da Ø 12 marcato *ferriera x*

vanno prelevati **3 campioni Ø 12**, **3 campioni Ø 16** e **3 campioni Ø 10** per un totale di **9 provini** da sottoporre a prova.

Il giorno 30/07/2012 arrivano in cantiere, acquistati da una *acciaieria x*:

4 fasci da Ø 16 marcati *ferriera z*

3 fasci da Ø 12 marcati *ferriera z* 2 fasci Ø 10 marcati *ferriera z*

2 fasci da Ø 8 marcati *ferriera z*

per cui vanno prelevati **3 campioni Ø 16**, **3 campioni Ø 12** o **Ø 10** (a scelta) e **3 campioni Ø 8**, per un totale di **9 provini** da sottoporre a prova.

Riepilogando, nel caso che l'impresa esecutrice acquisti direttamente sia in *acciaieria*, sia dai *commercianti*, con il limite derivante dal quantitativo massimo 30 t per fornitura in cantiere, la D.L. **deve** eseguire il campionamento ed il conseguente controllo di accettazione. Se la fornitura è effettuata da un *centro di trasformazione* sia il campionamento che il controllo sono facoltativi, poiché già eseguiti obbligatoriamente dal centro.

Per ogni campionamento la D.L. deve:

- redigere** un *verbale di prelievo*, con esplicito riferimento al lotto di fornitura, alla caratterizzazione delle barre prelevate ed alla futura ubicazione delle armature prelevate;
- inviare** gli spezzoni ad un laboratorio ufficiale con la richiesta di prove. La D.L. deve inoltre:
- assicurare**, mediante contrassegni o etichettature indelebili atti ad individuare lotto, rotolo, bobina o fascio di provenienza, che i campioni inviati per le prove al laboratorio siano effettivamente quelli prelevati.

□ **sottoscrivere** la domanda di prove che deve contenere indicazioni sulle strutture interessate dal prelievo. Se la D.L. *non sottoscrive* la richiesta, le certificazioni emesse dal laboratorio *non hanno alcuna valenza*. Tale circostanza è obbligatoriamente menzionata sul certificato da parte del laboratorio prove.

CONTROLLO DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE: I controlli consistono in prove di **trazione**, e **piegamento/raddrizzamento** che devono essere eseguite dopo il raddrizzamento. Se all'interno della fornitura sono contenute anche *reti elettrosaldate*, il controllo riguarda anche la prova di **resistenza al distacco della saldatura del nodo**. Per garantire la necessaria *laborabilità* agli acciai la norma stabilisce che le barre debbano essere piegate a 90° e poi raddrizzate, con opportuni raggi di curvatura, fissati in base al diametro della barra stessa, senza presentare rotture, cricche o altre alterazioni.

Ciò non vuol dire che i campioni da sottoporre a prova debbano essere ottenuti da ferri piegati e poi raddrizzati, ma che devono essere prelevati da una sagoma opportuna nella quale sia presente un tratto rettilineo di lunghezza superiore a **1,00 m**, dal quale prelevare lo spezzone, non piegato, da sottoporre a prova.

RIEPILOGO CONTROLLO ACCETTAZIONE ACCIAIO

Provenienza	Numero di prelievi	Numero e lunghezza spezzoni di acciaio per ogni prelievo
Unico stabilimento	Controlli da effettuarsi su ogni diametro	3 spezzoni da 120 cm di 3 diametri diversi, in genere, minimo medio massimo
Differenti stabilimenti	Controlli da effettuarsi su tutti i diametri per ogni produttore	

La D. L. deve assicurarsi che ai campioni vengano posizionate le etichettature (sulle stesse può mettere la firma). Se un risultato è minore per difetto del provino o per errore della prova, va prelevato un ulteriore provino. Se i valori sono difformi, si prelevano ulteriori 10 campioni dal lotto. Se la media fornisce valori maggiori del valore caratteristico ed i singoli valori sono compresi tra il valore minimo ed il valore massimo, il lotto è idoneo, in caso contrario va respinto.

Il laboratorio fornisce i valori della tensione di snervamento **fyk**, della tensione di rottura **ftk** e dell'allungamento a rottura **Agtk** per ciascuno dei provini inviati. Nel caso in cui non fosse riscontrabile la tensione di snervamento, il laboratorio fornisce la tensione residua **f0,2**, cioè quella che genera una deformazione dello 0,2%. Viene, inoltre, eseguita la prova di *piegatura*, che garantisce che l'acciaio, sottoposto a piegatura e successivo completo raddrizzamento, è in grado di mantenere sostanzialmente inalterate le sue proprietà meccaniche principali.

Sul certificato di prova possono essere trascritti fino a **12** risultati di altrettanti provini. Dopo la prova di trazione i campioni, contrassegnati con il numero del verbale d'accettazione e progressivo di prova, sono conservati per **20 gg** dalla data della prova, come prescritto dalle normative vigenti, utilizzando apposita fascetta e cartoncino indicante il n° del verbale di accettazione e del relativo

certificato di prova. Il ventunesimo giorno dovrebbero essere collocati nell'apposita zona di raccolta per poi essere smaltiti.



CONTENUTI CERTIFICATO LABORATORIO: I certificati emessi dai laboratori ufficiali devono obbligatoriamente contenere *i valori di resistenza misurati e l'esito delle prove di piegamento*. Devono riportare, inoltre, l'indicazione del *marchio identificativo* rilevato a cura del laboratorio incaricato dei controlli, sui campioni da sottoporre a prova. Se i campioni fossero sprovvisti di tale marchio, oppure il marchio non rientrasse tra quelli depositati presso il S. T. C., le certificazioni emesse dal laboratorio non possono assumere valenza. Si precisa, con riferimento alla Tabella 11.3.VI delle NTC, 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 nelle tabelle 11.3.Ib e 11.3.Ic vengono verificati nell'ambito dei *controlli di stabilimento* su un numero significativo di campioni.

I certificati del laboratorio di prova devono contenere, in particolare, almeno le seguenti indicazioni:

1. identificazione del laboratorio che rilascia il certificato;
2. una identificazione univoca del certificato, numero di serie e data di emissione, e di ciascuna sua pagina, oltre al numero totale di pagine;
3. l'identificazione del committente dei lavori in esecuzione e del cantiere di riferimento;
4. il nominativo del D. L. che richiede la prova;
5. la descrizione e l'identificazione dei campioni da provare;
6. le date di ricevimento dei campioni e di esecuzione delle prove;
7. l'identificazione delle specifiche di prova o la descrizione del metodo o procedura adottata, con l'indicazione delle norme di riferimento per l'esecuzione della stessa;
8. le dimensioni effettivamente misurate dei campioni;
9. i valori delle grandezze misurate e l'esito delle prove di piegamento.

La D.L., acquisiti i certificati del laboratorio di prova, verifica che i valori di *resistenza e allungamento* di ciascun campione siano compresi fra i valori massimi e minimi riportati nella tabella 11.3.VI delle NTC.

Se i risultati soddisfano i requisiti della tabella il lotto è ritenuto **conforme** e si potrà procedere alla lavorazione delle barre. In caso contrario la fornitura viene respinta.

Caratteristica	Valore	Note
f_{ymin}	425 N/mm ²	(450 - 25) N/mm ²
f_{ymax}	572 N/mm ²	[450 (1,25 + 0,02)] N/mm ²
A_{gt} minimo	≥ 6,0 %	B450C
A_{gt} minimo	≥ 2,0 %	B450A
f_t/f_y	1,13 ≤ f_t/f_y ≤ 1,37	B450C
f_v/f_y	1,03 ≤ f_v/f_y	B450A
Piega	Assenza cricche	B450C e B450A

Se il valore di una quantità fissata non è conforme al valore di accettazione, dovrà essere verificato prelevando e provando **3** provini da prodotti diversi nel lotto consegnato. Se tale evento si verifica per un solo provino, previa verifica della presenza di difetti localizzati sulla barra (in tal caso si scarta la prova), si preleva un ulteriore singolo provino.

Se le prove forniscono ancora esito negativo, vanno prelevati ulteriori **10** provini da prodotti diversi del lotto, in presenza del produttore o di un suo rappresentante che potrà anche assistere all'esecuzione delle prove in laboratorio.

Il lotto deve essere considerato conforme se la media dei risultati degli ulteriori **10** provini é maggiore del valore caratteristico ed i singoli valori sono compresi tra quelli minimo e massimo. In caso contrario il lotto deve essere respinto ed il risultato segnalato al S.T.C.

I CONTROLLI NELLA LAVORAZIONE DELLE BARRE DI ARMATURA

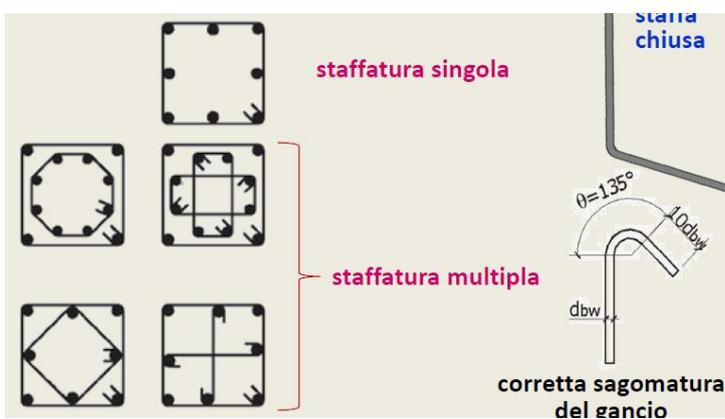
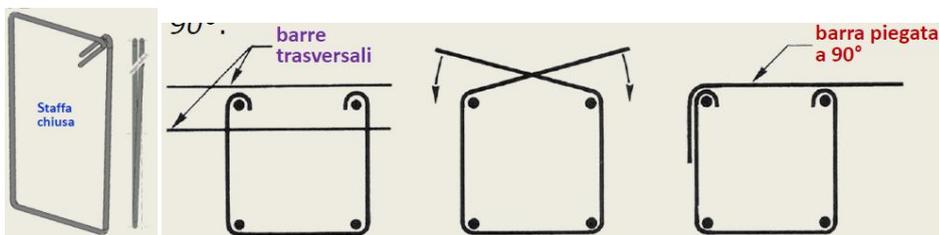
CONTROLLI LAVORAZIONE E POSA ARMATURE: Oltre ai **controlli di accettazione** sui materiali, la D.L. svolge un ruolo di alta sorveglianza nelle lavorazioni e nella posa in opera della armature, prestando particolari attenzioni a:

- lavorazione delle barre piegate e delle staffe;**
- continuità degli elementi strutturali;**
- modalità di posa in opera degli elementi;**
- copriferro;**
- interferro.**

Quale che sia la causa dei crolli nel terremoto dell'Aquila, c'è un complesso di colpe che cozza inevitabilmente con la qualità. Dai progettisti pagati poco, alle imprese che cercano il risparmio ad ogni costo, ai computer usati a mo' di vaso di Pandora, dai quali ci si aspetta il progetto finito e verificato semplicemente immettendo dati.

REALIZZAZIONE DELLE STAFFE: Per garantire il loro perfetto funzionamento le *staffe dei pilastri* devono essere **chiuse** con ganci a 135° e lunghezza della piegatura pari a 10Φ .

Le *staffe delle travi* che racchiudono le armature longitudinali e la zona compressa, possono essere **non chiuse**, ma devono essere ancorate in modo efficace. I migliori dispositivi di ancoraggio sono il *gancio girato verso l'interno della sezione* e la *piegatura a 90°* .



LAVORAZIONE ARMATURE: Se la lavorazione delle armature viene effettuata da un Centro di Trasformazione la D.L. può non procedere ad alcun controllo.

Se le armature sono lavorate in cantiere la D.L. ha l'obbligo di controllare che la piegatura delle barre sia eseguita adottando un diametro minimo del mandrino, cioè il raccordo circolare della barra piegata, per evitare la:

- formazione dei fessure nelle barre;
- rottura del calcestruzzo all'interno della piegatura.

Il rischio di fessurazione delle barre aumenta al diminuire della temperatura. La piegatura è sconsigliata se la temperatura è inferiore a -5°C , ma è consentita se si adottano particolari precauzioni, quali la riduzione della velocità di piegatura e/o l'aumento del diametro del mandrino.

CONTROLLO PIEGATURE: Il raggio minimo del mandrino, ovvero il raccordo circolare di una barra piegata, è funzione dei seguenti parametri:

- tipo di acciaio;
- stato superficiale di aderenza della barra;
- diametro della barra;
- angolo di piegatura della barra;
- stato di sollecitazione della barra, ovvero il suo impiego.

Non è necessario controllare il diametro del mandrino se:

- l'ancoraggio della barra non richiede una lunghezza maggiore di 5Φ oltre l'estremità della piegatura;
- il piano di piegatura non è vicino alla faccia del calcestruzzo ed è presente una barra trasversale di diametro maggiore all'interno della piegatura.

Il diametro del mandrino deve rispettare i minimi previsti di seguito riportati per evitare danni all'armatura.

Diametro barra	Diametro minimo del mandrino per piegature, uncini e ganci
$\phi \leq 16 \text{ mm}$	4ϕ
$\phi > 16 \text{ mm}$	7ϕ

Per barre e fili.

In caso contrario è necessario controllare il diametro Φ_{\min} del mandrino che deve essere:

$$\Phi_{\min} \geq \text{Fbt}[(1/\text{ab})+1/2\Phi]/\text{fcd}$$

con

Fbt= forza di trazione allo stato limite ultimo applicata alla singola barra o al gruppo di barre all'inizio della piegatura;

ab = metà della distanza tra i baricentri delle barre per una data barra o gruppi di barre a contatto o gruppi di barre perpendicolari al piano di piegatura;

ab = copriferro + $\phi/2$ per le barre adiacenti alla faccia dell'elemento;

Φ = diametro della barra piegata;

fcd = resistenza di progetto del calcestruzzo.

La distanza tra le barre trattenute deve essere **minore** di **200** mm, mentre distanza massima tra strati deve essere **minore** di **100** mm, se gli strati sono entro **h/4** dal lembo teso.
 Nel calcolo dell'area del ritegno si considerano tutte le barre longitudinali entro **75** mm.

TIPOLOGIE DISTANZIATORI: I distanziatori, in materiali plastici o in acciaio zincato o inossidabile, possono essere:

- **linerari**, utilizzati nelle strutture di fondazione o nelle piastre, per mantenere in posizione più di una barra dell'armatura inferiore della membratura bidimensionale;
- **puntuali**, agenti sulla singola barra e possono essere anche in malta cementizia;
- **cavallotti** sia lineari che puntuali, ottenuti dal taglio e piegatura di una rete elettrosaldata;
- **pinne** o **cavalletti** che sostengono le armature interne superiori di strutture bidimensionali, ottenuti in cantiere dalla piegatura di barre d'armatura. La forma della parte verticale è quella di una U rovescia con le gambe di appoggio orizzontali realizzate da parti opposte per garantirne la stabilità. Non hanno alcuna funzione strutturale e per evitare fenomeni di innesco della corrosione vanno poggiati sul reticolo di armatura inferiore o su distanziatori puntuali o lineari.



COLLOCAZIONE DISTANZIATORI: I distanziatori vanno collocati nelle staffe:

- nei *pilastri* ad interasse pari al più piccolo dei valori **100** volte il diametro dell'armatura principale o **2,00** m da disporsi lungo l'elemento e comunque almeno **3** per piano bagnato;
- nelle *travi* ad interasse massimo di **1,00** m lungo lo sviluppo longitudinale e comunque almeno **3** per piano bagnato. Per *piano bagnato* si intende il piano che confina la faccia dell'elemento durante il getto di calcestruzzo:



I reticoli delle armature superiori di platee e solette impalcanti (barre o reti elettrosaldate) vanno appoggiati su:



□ **cavallotti lineari**, posti a distanza massima di 50 volte il diametro della barra, che poggeranno sul reticolo inferiore qualora esista o su distanziatori puntuali lineari ad interasse massimo di 50 cm;

□ **cavallotti individuali** distanziati in entrambe le direzioni al più di 50 volte il diametro della barra o 50 cm. Gli appoggi dei cavallotti, se poggiati sul cassero, devono essere rivestiti per evitare l'innesco della corrosione;

□ **pinne** o **cavallotti** distanziati tra loro, in entrambe le direzioni al più di 50 volte il diametro della barra. Se appoggiano sul cassero o sul calcestruzzo di finitura, le pinne devono poggiare su distanziatori puntuali

PILASTRI E PARETI: **Pilastri** e **pareti** sono elementi verticali portanti con la funzione di trasferire i carichi della sovrastruttura alle strutture sottostanti e di assorbire e sostenere le sollecitazioni provocate da azioni quale vento e sisma.

Si definiscono *pilastri* gli elementi portanti verticali nei quali il rapporti H/B è inferiore a 4; se tale valore è superrato l'elemento strutturale è una *parete*.

La dimensione minima della sezione trasversale dei pilastri deve essere **25** cm. Il diametro delle barre longitudinali deve essere almeno Φ 12, quello delle staffe non minore di Φ 6 e di $\frac{1}{4}$ del diametro massimo delle barre longitudinali. Per tutta la lunghezza del pilastro l'interasse delle barre non deve essere superiore a **25** cm. Per pilastri a sezione poligonale va predisposta una barra in corrispondenza di ogni spigolo.

Lo spessore delle *pareti* non deve essere inferiore al massimo tra **15** cm (**20** cm se presenti travi di collegamento con armature inclinate) ed **1/20** dell'altezza libera d'interpiano.

ZONE CRITICHE PILASTRI: Le zone critiche sono porzioni di pilastro con una significativa duttilità, nelle quali si ipotizza la plasticizzazione delle armature con la formazione di cerniere plastiche, definite appunto *zone critiche*, che devono possedere un'elevata capacità rotazionale.

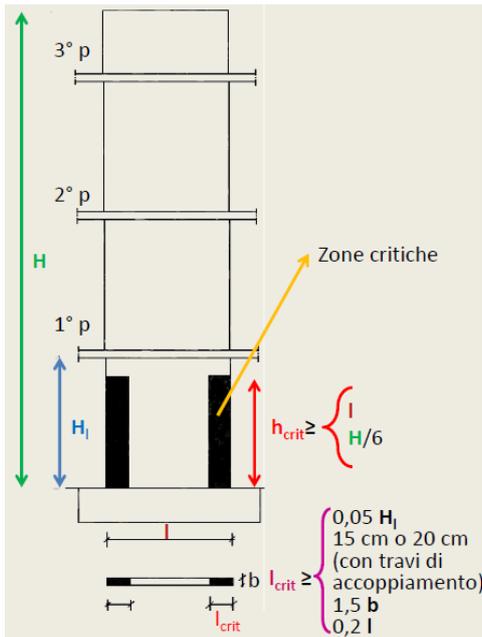
In assenza di analisi accurate si può assumere che la lunghezza della zona critica sia la maggiore tra:

- *altezza della sezione;*
- *1/6 altezza libera del pilastro;*
- *45 cm.*

La lunghezza della zona critica è pari all'altezza del pilastro, se l'altezza libera del pilastro è inferiore a 3 volte l'altezza della sezione.

ZONE CRITICHE PARETI In assenza di analisi accurate si può assumere che l'altezza della zona critica sia la maggiore tra:

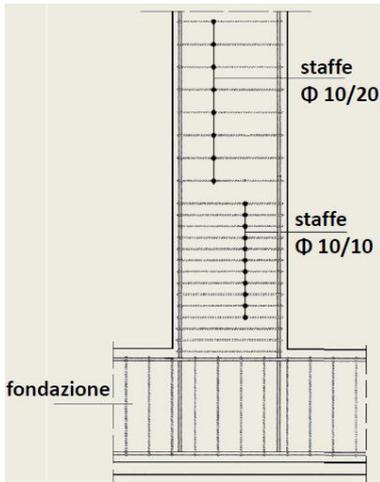
- larghezza della parete l ;
- $1/6$ altezza della parete, H . Definendo Hl l'altezza libera di piano, l'altezza della zona critica h_{crit} è non maggiore di:
- Hl per edifici con n° piani fino a 6;
- $2 Hl$ per edifici con n° piani superiore a 6;
- $2 l$.



ANCORAGGI E SOVRAPPOSIZIONI NEI PILASTRI: Le armature longitudinali devono essere interrotte o sovrapposte preferibilmente in zona compressa *al di fuori* della zona critica. Può essere tollerata nelle zone prossime ai nodi purché sia garantita la *gerarchia delle resistenze*.

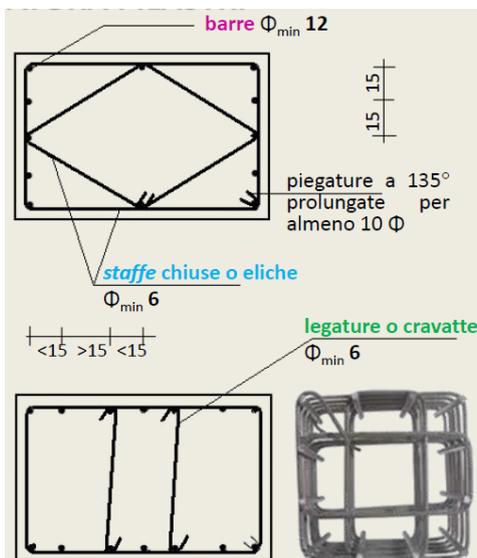
La continuità tra le barre può effettuarsi con:

- sovrapposizione calcolata in modo da assicurare l'ancoraggio di ciascuna barra, con lunghezza minima del tratto rettilineo non minore di 20Φ ed *interferro* nella sovrapposizione non superiore a 4Φ ;
- saldature realizzate in conformità alla norma;
- giunzioni meccaniche preventivamente validate con prove sperimentali.



ANCORAGGI E SOVRAPPOSIZIONI NEL NODO PILASTRO-FONDAZIONE:

La gerarchia delle resistenze tra *elementi che spiccano e fondazioni* è garantita applicando alla fondazione, in sede di calcolo, le resistenze degli elementi adeguatamente amplificate. Anche in questo caso la resistenza del nodo pilastro-fondazione è affidata alle *armature dei pilastri*. Eventuali ancoraggi e sovrapposizioni vanno effettuate **al di fuori** della *zona critica*.



ARMATURA PILASTRI: Le barre disposte sugli angoli devono essere **contenute** dalle staffe. Almeno il **50%** delle barre disposte sui lati va trattenuta da *staffe* o *legature*. Inoltre l'interferro delle barre non fissate deve essere al più:

- **15** cm per Classe Duttilità **Alta**;
- **20** cm per Classe Duttilità **Bassa**

STAFFE NEI PILASTRI: Le staffe devono essere *chiuse* e le relative piegature, o uncini, devono essere assicurate alle barre longitudinali. Il diametro delle staffe deve essere non minore di 6 mm e di 1/4 del diametro massimo delle barre longitudinali. Il *passo di staffe e legature* deve essere non superiore alla più piccola delle seguenti dimensioni per classe di duttilità **A** :

- **1/3** del lato minore della sezione trasversale;
- **6** volte il diametro delle barre longitudinali che collegano;
- **12,5** cm.

Il *passo di staffe e legature* per classe di duttilità **B** deve essere non superiore alla più piccola delle seguenti dimensioni :

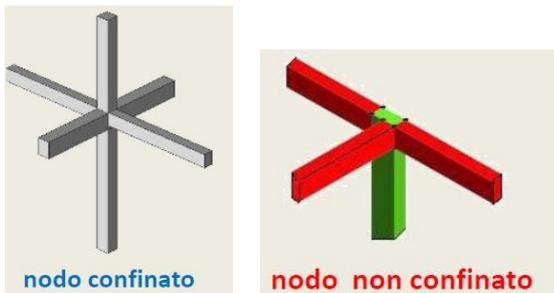
- **1/2** del lato minore della sezione trasversale;
- **8** volte il diametro delle barre longitudinali che collegano;
- **17,5** cm.

NODI TRAVE-PILASTRO: La zona del pilastro che incrocia con le travi ad esso concorrenti si definisce *nodo*.

I nodi che possono essere di sommità e di interpiano si distinguono in:

1) *nodì interamente confinati*, quando su ogni faccia verticale si innesta una trave la cui larghezza copre almeno $\frac{3}{4}$ di quella del pilastro;

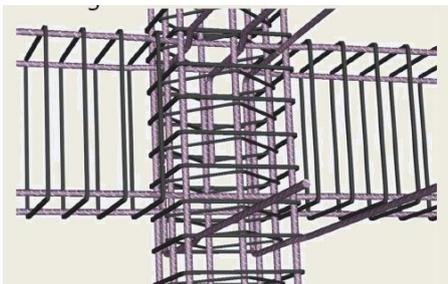
2) *nodì non interamente confinati*, tutti quelli che non appartengono alla prima categoria.



Per prevenire meccanismi di collasso fragile nei nodi *non interamente confinati* si devono inserire staffe in quantità almeno pari alla maggiore di quella prevista nelle *zone critiche*.

Per evitare dimensioni di nodi elevate la norma prevede di *ancorare le armature delle travi al di fuori del nodo*.

Per i nodi interamente confinati non vi sono particolari disposizioni da seguire.

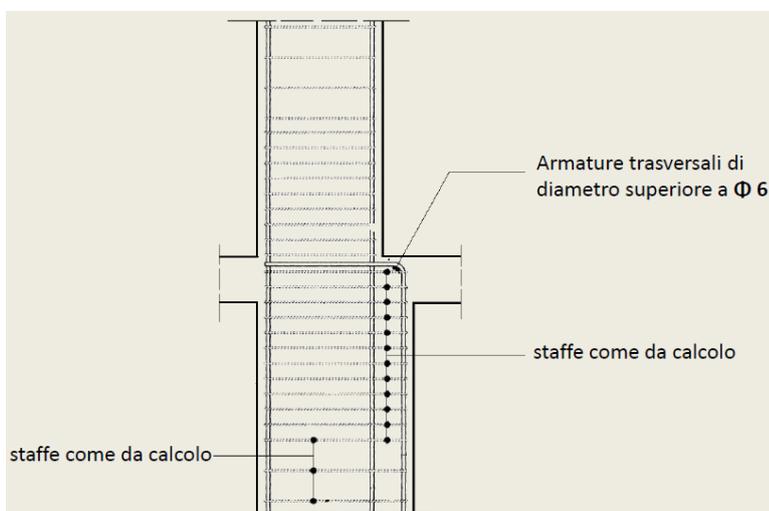
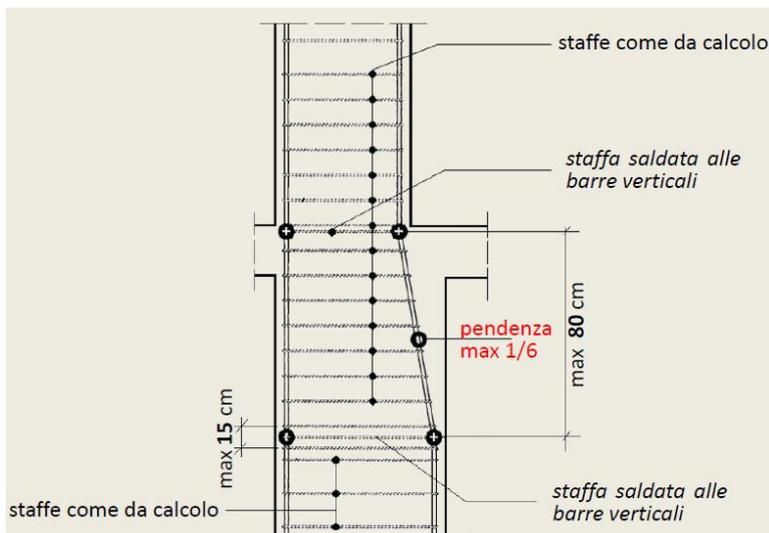


RASTREMATURE PILASTRI: La variazione di sezione del pilastro comporta problemi esecutivi, che, se non bene risolti, inficiano la continuità del pilastro stesso.

Le *rastremature* o *riseche* possono essere realizzate:

- piegando le armature, con pendenza del ferro non superiore al rapporto $\frac{1}{6}$ e lunghezza al più **80** cm;
- utilizzando ferri separati.

Nelle rastremature con ferri piegati è consigliabile inserire una staffatura addizionale con passo non superiore a **15 cm** a partire dal punto di piegatura, saldandole eventualmente alle armature longitudinali per evitare spostamenti. Se la variazione di direzione è minore di $\frac{1}{12}$ gli sforzi che nascono in corrispondenza della piegatura possono essere trascurati.

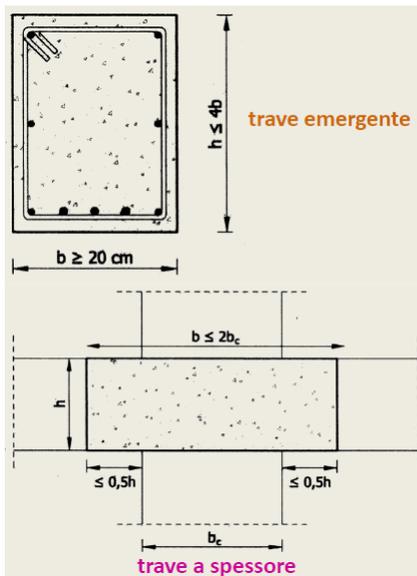


ARMATURE PARETI: Le armature sia orizzontali che verticali devono avere:

- diametro non superiore a **1/10** dello spessore della parete;
- essere disposte su entrambe le facce;
- passo non superiore a **30 cm**;
- legature in ragione di almeno **9** per mq.

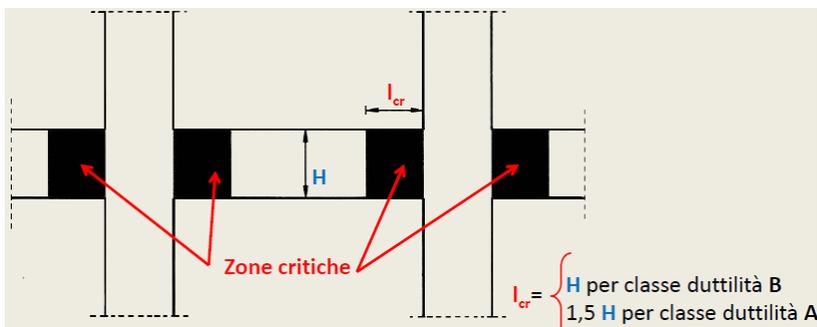
Nelle zone confinate l'armatura trasversale deve essere realizzata con barre di diametro almeno $\Phi 6$, disposte in modo da fermare 1 barra verticale su 2, con un passo non superiore ad **8** volte il diametro della barra o a **10 cm**. La barra non fissata deve distare al più **15 cm** da quella fissata. Gli elementi confinati non sono necessari se la sezione presenta un'ampia ala trasversale.

LIMITAZIONI GEOMETRICHE DELLE TRAVI: La larghezza delle **travi emergenti** deve essere *maggiore od uguale a 20 cm*, mentre quella delle **travi a spessore non maggiore della larghezza del pilastro, aumentata da ogni lato di metà dello spessore del solaio e comunque non maggiore del doppio della dimensione del pilastro ortogonale all'asse della trave. Il rapporto tra larghezza ed altezza, B/H , non deve essere maggiore di **0,25**.**



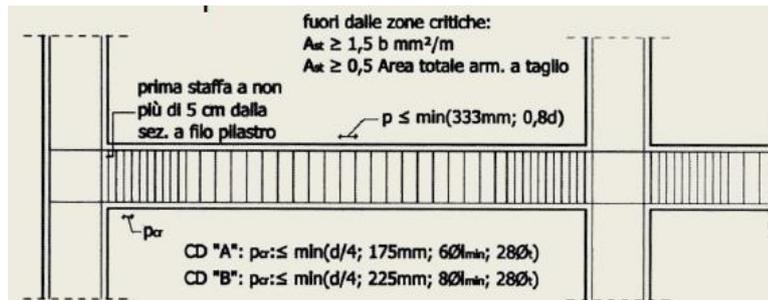
ZONE CRITICHE DELLE TRAVI: Le zone di potenziale formazione di cerniere plastiche sono indicate come *zone critiche*. Tali zone si estendono, a partire dal filo pilastro per una lunghezza pari a:

- 1,5 volte l'altezza della trave per Classe Duttività **Alta**;
- 1 volta l'altezza della trave per Classe Duttività **Bassa**.

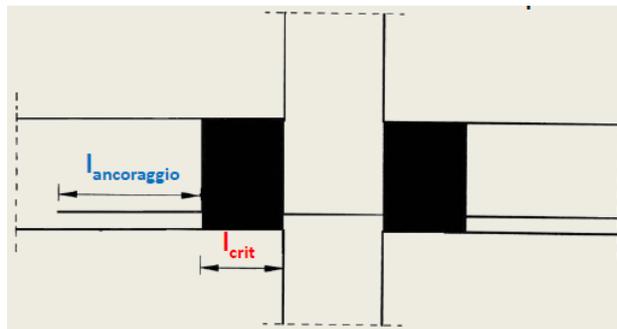


STAFFATURA TRAVI: Nelle zone critiche vanno previste staffe di diametro minimo $\Phi 6$ con ganci a 135° prolungati di almeno *10 diametri* alle due estremità e legati alle barre longitudinali. La prima staffa deve distare al massimo **5 cm** dal filo pilastro, mentre le successive vanno poste ad un passo non superiore al più piccolo dei seguenti valori:

- 1/4 dell'altezza utile della sezione trasversale;
- 24 volte il diametro delle armature trasversali;
- 17,5 cm e 22,5 cm rispettivamente per Classe Duttività **Alta** e **Bassa**;
- 6 volte ed 8 volte il Φ minimo delle barre longitudinali rispettivamente per Classe Duttività **Alta** e **Bassa**.



ARMATURA DELLE TRAVI: Per tutta la lunghezza della trave, sia superiormente che inferiormente vanno previsti 2 filanti di diametro $\Phi 14$. Le armature devono, di regola, attraversare i nodi senza ancorarsi o giuntarsi per sovrapposizione in essi. La parte dell'armatura longitudinale delle travi che si ancora oltre il nodo deve ancorarsi oltre di essa. Quando ciò non è possibile le barre vanno ancorate oltre alla faccia opposta a quella di intersezione con il nodo oppure risvoltate verticalmente in corrispondenza di tale faccia.



VARIANTI AL PROGETTO DELLE STRUTTURE: Qualora la D.L. ritiene di dover effettuare varianti al progetto originale per cause non previste dal progetto o per errate valutazioni a monte dello stesso, **deve avvertire** con una **relazione tecnica**, oltre il *collaudatore*, il *committente* ed il *progettista strutturale*, che provvederà a fornire le necessarie indicazioni progettuali per la corretta esecuzione dell'opera.

I CONTROLLI DELLA POSA IN OPERA DELLE BARRE

INTERFERRO: L'**interferro**, cioè la distanza tra le singole barre parallele **ah** o tra strati di barre parallele **av**, deve garantire lo sviluppo delle tensioni di aderenza tra il cls e le barre stesse e va rapportato al **Dmax** per consentire un getto omogeneo e compattabile. Tale requisito si ritiene soddisfatto se:

$$\mathbf{ah, av} \geq \max \{ \Phi; \mathbf{Dmax} + 5 \text{ mm}; \mathbf{20} \text{ mm} \}$$

con Φ = diametro massimo delle barre;

Dmax = massima dimensione degli inerti.

Inoltre le barre disposte su più strati separati devono essere allineate verticalmente l'una sopra l'altra.

COPRIFERRO: Il **copriferro** nelle strutture in c.a. è la distanza fra la superficie esterna dell'armatura (inclusi staffe, collegamenti e rinforzi superficiali se presenti), più prossima alla superficie del calcestruzzo e la superficie stessa del conglomerato cementizio.

Il termine **copriferro** è usato sia per indicare lo spessore di calcestruzzo che ricopre le armature sia la distanza tra il bordo teso della sezione e il baricentro delle armature resistenti nel calcolo delle sezioni in c.a. secondo la teoria e tecnica delle costruzioni.

Per tale motivo per evitare equivoci il primo andrebbe indicato con il termine **copriferro nominale**.

Le N.T.C., al punto 4.1.6.1.3 **Copriferro e interferro**, prescrivono che *l'armatura resistente deve essere protetta da un adeguato ricoprimento di calcestruzzo*, senza fissarne un limite inferiore (una volta era pari a 2 cm secondo i DD.MM. 9.01.96 e 23.09.2005), previsto invece dalla tabella **4.4N** dell'Eurocodice 2 (**1 cm**).

La funzione del **copriferro** è triplice:

1.favorire l'adesione tra le barre di armatura e il calcestruzzo teso della sezione, evitando la perdita di aderenza, *bond slip*;

2.costituire una adeguata la protezione delle armature dall'insorgere dei fenomeni di corrosione, evitando lo *spalling*;

3. garantire una maggiore resistenza al fuoco della membratura (UNI EN 1992-1-2).

Pertanto lo strato di ricoprimento del cls deve essere dimensionato in funzione dell'aggressività dell'ambiente e della sensibilità delle armature alla corrosione, tenendo conto della tolleranza della posa, e delle tensioni di aderenza acciaio - calcestruzzo. Per consentire un getto omogeneo del calcestruzzo deve essere, inoltre, rapportato alle dimensioni massime degli aggregati utilizzati.

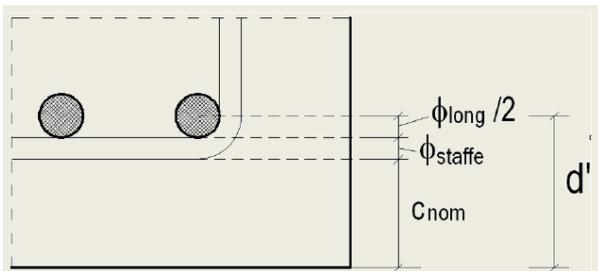
In generale le normative stabiliscono valori minimi del copriferro da adottare in ambienti scarsamente aggressivi da elevare opportunamente *in presenza di ambienti fortemente aggressivi*, quali, ad esempio, ambienti marini o condotte fognarie, ed *in funzione della porosità del calcestruzzo e della sensibilità dell'armatura alla corrosione*. Il valore minimo del copriferro va individuato sulla base delle seguenti considerazioni:

verifica allo stato limite di fessurazione (paragrafo 4.1.2.2.4 N.T.C.);

- sufficiente sviluppo delle tensioni di aderenza acciaio/calcestruzzo (Eurocodice 2 – parte 1);
- protezione delle armature dalla corrosione (Eurocodice 2 – parte 1);
- resistenza al fuoco della struttura (Eurocodice 2 – parte 2).

COPRIFERRO NOMINALE: L' Eurocodice 2 definisce **COPRIFERRO NOMINALE** c_{nom} la distanza tra la superficie dell'armatura più esterna e la faccia del calcestruzzo più prossima.

Tale valore non va confuso con la distanza d' del baricentro dell'armatura principale dalla superficie esterna dell'elemento che viene impiegata nel dimensionamento strutturale degli elementi in c.a. per la definizione dell'altezza utile della sezione.



Il **copriferro nominale di progetto** c_{nom} , da indicare *obbligatoriamente* sui grafici di progetto, è dato da:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

dove: c_{nom} valore nominale di progetto;

c_{min} valore minimo del copriferro;

Δc_{dev} tolleranza di esecuzione relativa al copriferro



COPRIFERRO MINIMO: Lo spessore minimo del copriferro c_{min} è il valore massimo tra quelli minimi imposti per soddisfare le esigenze di *durabilità*, di *aderenza* e di *resistenza al fuoco*. Il valore minimo del **copriferro** è dato da:

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur}; c_{min,f}; 10 \text{ mm} \}$$

dove

$c_{min,b}$ = copriferro minimo necessario per l'aderenza delle armature da assumersi, per barre isolate pari al *diametro della barra*, per barre raggruppate pari al diametro equivalente. Se la dimensione dell'inerte è maggiore di 32 mm, il valore va maggiorato di 5 mm.

$c_{min,dur}$ = copriferro minimo correlato alle condizioni ambientali, *durabilità*, da assumere in funzione della classe strutturale e della classe ambientale. I relativi valori si ricavano dalla tabella 4.4N dell'Eurocodice 2.

c_{min,f} = copriferro minimo per garantire la resistenza al fuoco (se richiesto).

10 mm = spessore minimo previsto.

Di seguito si riporta la tabella **4.4N** relativa agli spessori minimi del copriferro *correlati alle condizioni ambientali* **c_{min,dur}** relativi a tutte le classi di esposizione e strutturali allegata all'Eurocodice 2.

Il valore di **c_{min,dur}** è funzione di alcuni parametri come ad esempio la *classe di resistenza del calcestruzzo* e la *vita utile di progetto* della struttura.

TAB. 4.4 N - COPRIFERRO MINIMO RICHIESTO (MM)							
Classe strutturale	CLASSI DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE IN ACCORDO CON 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 DURABILITÀ: La UNI EN 1992-1-1, versione italiana dell'Eurocodice 2, stabilisce per ogni classe strutturale **S**, il copriferro minimo **c_{min,dur}** dovuto alle condizioni ambientali.

Delle 6 classi strutturali, la **S4** è quella di riferimento corrispondente ad una vita utile di progetto della struttura di **50** anni. Per i cls con armatura lenta o ordinaria i valori di **c_{min,dur}** in funzione delle classi di esposizione e strutturali sono riportati in tabella.

Classe strutturale S3		Classe strutturale S4		Classe strutturale S5	
Classe esposizione	c _{min,dur} mm	Classe esposizione	c _{min,dur} mm	Classe esposizione	c _{min,dur} mm
X0	10	X0	10	X0	15
XC1	10	XC1	15	XC1	20
XC2/XC3	25	XC2/XC3	25	XC2/XC3	30
XC4	30	XC4	30	XC4	35
XD1/XS1	35	XD1/XS1	35	XD1/XS1	40
XD2/XS2	40	XD2/XS2	40	XD2/XS2	45
XD3/XS3	45	XD3/XS3	45	XD3/XS3	50

Per cls precompressi i valori di **c_{min,dur}** in funzione delle classi di esposizione e strutturale sono i seguenti:

Classe strutturale 53		Classe strutturale 54		Classe strutturale 55	
Classe esposizione	$c_{min,dur}$ mm	Classe esposizione	$c_{min,dur}$ mm	Classe esposizione	$c_{min,dur}$ mm
X0	10	X0	10	X0	15
XC1	20	XC1	25	XC1	30
XC2/XC3	30	XC2/XC3	35	XC2/XC3	40
XC4	35	XC4	40	XC4	45
XD1/XS1	40	XD1/XS1	45	XD1/XS1	50
XD2/XS2	45	XD2/XS2	50	XD2/XS2	55
XD3/XS3	50	XD3/XS3	55	XD3/XS3	60

Nel caso di vita utile di **100** anni, per ogni classe di esposizione, la UNI EN 1992-1-1:2005 consiglia di *aumentare* di **2** classi strutturali, mentre per un calcestruzzo con classe di esposizione ad esempio **XC4**, nel caso di classe di resistenza maggiore di **C40/50** (Rck 50) consiglia di *ridurre* di 1 classe strutturale.

Le N.T.C. , con riferimento a costruzioni di vita nominale di **50** anni prevedono in funzione di 3 condizioni ambientali, spessori minimi di copriferro, cui vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a **10** mm o meno. Per costruzioni tipo 3, vita nominale di **100** anni, i valori in tabella vanno aumentati di **10** mm.

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE cls	c_{min} (mm) Elementi a piastra	c_{min} (mm) altri elementi
Ambiente ordinario $C_o = C35/45$	$C < C25/30$	25	35
	$C25/30 \leq C < C_o$	20	30
	$C \geq C_o$	15	25
Ambiente aggressivo $C_o = C40/50$	$C < C28/35$	35	40
	$C25/30 \leq C < C_o$	30	35
	$C \geq C_o$	25	30
Ambiente molto aggressivo $C_o = C45/55$	$C < C35/45$	45	50
	$C35/45 \leq C < C_o$	40	45
	$C \geq C_o$	35	40

COPRIFERRO MINIMO RESISTENZA AL FUOCO: Quando è richiesta la resistenza al fuoco delle strutture la prestazione può essere assicurata mediante:

calcolo analitico;

metodo tabellare.

Con *il metodo analitico* le verifiche di resistenza al fuoco si possono eseguire con riferimento alla UNI EN 1994-1-2.

Con *il metodo tabellare* i copriferri minimi per assicurare il requisito di resistenza al fuoco sono desunti dalla tabella D.5 del DM 16.02.2007, che, in base alla *resistenza al fuoco* ed al *tipo di struttura* (soletta piena con armatura monodirezionale, solai a lastra con alleggerimento, ecc.) definisce il valore di **a** = distanza dall'asse delle armature alla superficie esposta al fuoco.

Determinato il valore di **a** si calcola lo spessore di copriferro minimo per garantire la protezione dell'acciaio con l'espressione

$$c_{min,f} = a - \Phi/2$$

nella quale:

$c_{min,f}$ = copriferro minimo per garantire la resistenza al fuoco;

$\Phi/2$ = raggio equivalente dell'armatura principale più esterna alla superficie.

Il corretto utilizzo dei valori di **a** riportati in tabella presuppone alcune ipotesi, tra le quali:

- i tassi di sollecitazione dell'acciaio nel calcolo a freddo siano i massimi consentiti per il tipo di acciaio, ovvero $\sigma_{reale}/\sigma_{max} = 1$;
- la capacità portante dell'elemento dipenda dall'acciaio e non dal conglomerato cementizio;
- il conglomerato cementizio sia privo di acqua interna

CASI PARTICOLARI COPRIFERRI MINIMI: Nella scelta del valore del copriferro, inoltre, bisogna tener conto di alcune considerazioni aggiuntive nel caso si debba realizzare:

1. Getto su un precedente getto di calcestruzzo;
2. Superficie esterna del calcestruzzo irregolare;
3. Calcestruzzo soggetto a fenomeni abrasivi.

CASI PARTICOLARI	PROVVEDIMENTI
GETTO SU UN ELEMENTO PRESISTENTE IN CALCESTRUZZO	Copriferro in corrispondenza delle due facce pari a $c_{min,b}$ se: ❖ classe di resistenza $\geq C25/30$; ❖ tempo di esposizione all'aria della superficie gettata precedentemente ≥ 28 gg; ❖ superficie di interfaccia rugosa.
SUPERFICIE ESTERNA DEL CALCESTRUZZO IRREGOLARE	Il valore di c_{min} va incrementato di 5 mm
CALCESTRUZZO SOGGETTO A FENOMENI ABRASIVI	È possibile aumentare c_{min} , scegliendo gli aggregati secondo UNI EN 206-1, di uno spessore pari a quello che si prevede possa essere asportato a seguito dei fenomeni abrasivi pari a: ❖ 5 mm per abrasione M1 (lieve) ❖ 10 mm per abrasione M2 (notevole) ❖ 15 mm per abrasione M3 (estrema)

TOLLERANZA DI ESECUZIONE COPRIFERRO: Il valore della tolleranza di esecuzione Δc_{dev} , è di norma pari a **10 mm**, ma se in cantiere si prevedono controlli di qualità che comportano la misura dei copriferri, può assumersi pari **5 mm**. Nel caso si prevedono particolari controlli di qualità e la possibilità di poter scartare gli elementi strutturali con copriferro non conforme, per es. impiego di elementi prefabbricati, può assumersi Δc_{dev} pari a **0**.

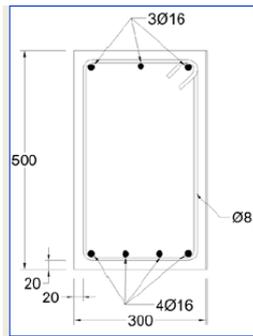


Consideriamo una trave di un edificio in classe ambientale **XC1** da armare con staffe $\Phi 8$ e con barre longitudinali $\Phi 16$. La classe del cls è **C25/30** e la dimensione massima degli inerti è pari a **20 mm**. Si procede al calcolo del copriferro nominale delle staffe.

Il copriferro minimo richiesto per le staffe $c_{min,b}$ è **8 mm**. Dalla tabella, in corrispondenza della classe strutturale **S4** e della classe ambientale **XC1**, si ricava che $c_{min,dur}$ è pari a **15 mm**. Poiché $c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10\} = \max\{8; 15; 10\} = 15$ mm.

Dal momento che il copriferro nominale minimo c_{nom} da adottare è pari $c_{min} + \Delta c_{dev}$, assumendo Δc_{dev} pari a **5 mm**, poiché si prevedono controlli di qualità che comprendono la misura dei copriferri, si ha $c_{nom} = 15 + 5 = 20$ mm.

Sempre per la stessa trave si calcola il copriferro nominale dei filanti $\Phi 16$.



Dalla tabella, in corrispondenza della classe strutturale S4 e della classe ambientale XC1, si ricava **$c_{min,dur} = 15$ mm**.

Poichè il copriferro minimo **$c_{min,b}$** richiesto per i filanti è pari a 16 mm si ha:

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \} = \max \{ 16; 15; 10 \} = 16 \text{ mm.}$$

Prevedendo controlli di qualità che comprendano la misura dei copriferri, si assume **$\Delta c_{dev} = 5$ mm**, per cui il copriferro nominale minimo da adottare per i filanti è pari a:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 16 + 5 = 21 \text{ mm}$$

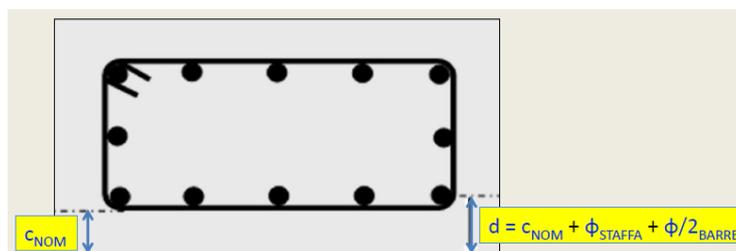
Il copriferro minimo richiesto per le staffe, rappresenta la condizione più gravosa, infatti, ponendo le staffe a **20 mm** dai bordi della trave, il copriferro dei filanti risulta pari a **28 mm**, maggiore del copriferro minimo richiesto.

NB

Il **copriferro nominale** non va confuso con la distanza **d** del *baricentro dell'armatura principale dalla superficie esterna dell'elemento* che viene impiegata nel dimensionamento strutturale degli elementi in c.a.

Il valore **d** può essere calcolato a partire dal copriferro nominale cui bisogna aggiungere il diametro delle staffe e il semidiametro dell'armatura principale resistente:

$$d = c_{NOM} + \Phi_{STAFFA} + \Phi/2_{BARRE}$$



Pertanto l'errore di confondere la distanza del baricentro dell'armatura principale dalla superficie esterna dell'elemento con il copriferro conduce ad un sottodimensionamento del **copriferro nominale** che può riflettersi in:

1. un limitato sviluppo delle tensioni di aderenza acciaio-calcestruzzo;
2. in una precoce corrosione delle barre soprattutto negli elementi esposti all'esterno (in particolar modo quelli esposti all'azione dell'acqua di mare, ai sali disgelanti a base di cloruro o all'azione dell'anidride carbonica atmosferica);

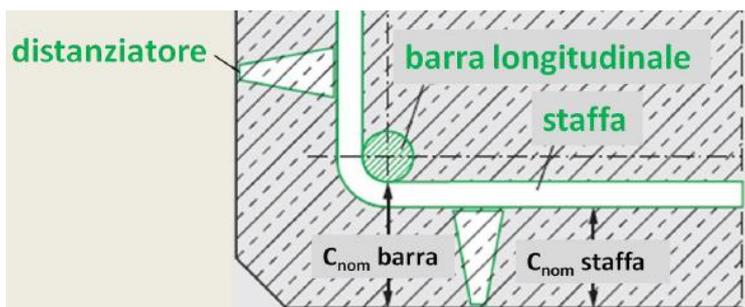
3. in un elevato rischio di collasso delle barre in occasione di eventi accidentali quali l'incendio.

ACCORGIMENTI ULTERIORI: Se lo spessore nominale dovesse risultare maggiore o uguale di **60 mm** (copriferro minimo **50 mm + 10 mm** di tolleranza), per limitare l'ampiezza delle lesioni sempre possibili nel calcestruzzo, è opportuno ricorrere ad una specifica *armatura di pelle*, realizzata con rete elettrosaldata, specialmente nel caso di armatura secondaria diradata con passo superiore a **30 cm**.

Sono sufficienti allo scopo reti elettrosaldate Φ 6 mm con maglia 15x15 o 20x20 cm preferibilmente:

- in acciaio nero per elementi strutturali interni, interrati o permanente immersi in acque potabili;
- in acciaio zincato per strutture aeree esposte al rischio di corrosione da carbonatazione;
- zincato per strutture soggette all'azione de passivante del cloruro.

POSA IN OPERA DEI DISTANZIATORI: Per una posizione corretta delle armature va utilizzato un idoneo numero di **distanziatori**, che possono essere in plastica o di malta cementizia, in modo da non innescare fenomeni di corrosione dei ferri di armatura, di forma e geometria tali da minimizzare la superficie di contatto con il cassero.



Erroneamente, specialmente nelle strutture di fondazione, vengono utilizzati al posto dei distanziatori spezzoni di tondino di ferro, che non essendo idoneamente protetti dall'azione degli agenti atmosferici, si ossidano, creando punti nei quali si può innescare la *corrosione delle armature* che si trovano a contatto diretto con questi.

I distanziatori vanno scelti:

- di forma tale da minimizzare la superficie di contatto con il cassero;
- di materiale capace di sopportare il carico trasmesso dalle barre di armatura fino all'indurimento del conglomerato cementizio

GRANDEZZE	D.M. 14/1/2008	EUROCODICE 2	ACI 318-05
Diametro minimo del mandrino $\phi_{m,min}$	10 ϕ se $\phi > 25$	7 ϕ se $\phi > 16$	8 ϕ se $\phi > 25$ 10 ϕ se $\phi > 43$
Giunzioni per sovrapposizione	> 20 ϕ	NON CONSIGLIATE	Vietate per giuntare barre $\phi > 36$, tranne che per giunzioni tra barre $\phi 43$ o $\phi 57$ con barre $\phi < 36$
Interfero minimo s_{min}	---	$s = \max\{\phi, d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}\}$	$s = \max\{\phi, 25 \text{ mm}\}$
Copriferro minimo c_{min}	> 20 mm	$c = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\}$ con: $c_{min,b} = \phi \text{ o } \phi + 5 \text{ mm}$ (se $d_g > 32 \text{ mm}$) $c_{min,dur}$ variabile tra 10 e 55 mm	Variabile tra 75 e 20 mm in funzione delle condizioni ambientali e del diametro della barra. Per cls. non esposto, in caso di pareti e solette: > 40 per $\phi 43$ e $\phi 57$ > 20 se $\phi < 36$
Lunghezza di ancoraggio	> 20 ϕ Particolari cautele per barre con $\phi > 32$	---	---

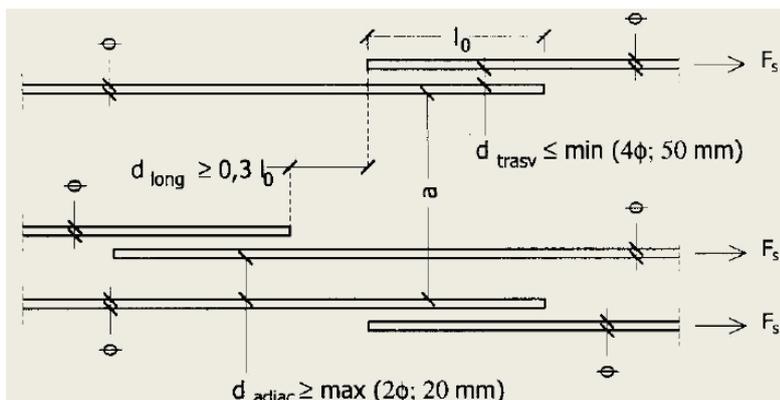
GIUNZIONI DI BARRE: La continuità tra le barre può essere realizzata con:

- sovrapposizione;
- saldatura;
- dispositivi meccanici.

Per barre di diametro superiore a 32 mm vanno adottate particolari cautele negli ancoraggi e nelle sovrapposizioni. La lunghezza di sovrapposizione **l₀** nel tratto rettilineo deve essere pari almeno a 20 ϕ . Nelle sovrapposizioni il valore minimo dell'interfero può variare da 0 (diretto contatto), a $\min\{4 \phi; 50 \text{ mm}\}$.

In generale la sovrapposizione deve rispettare le seguenti limitazioni:

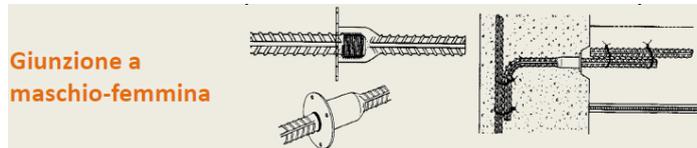
- la distanza in direzione trasversale d_{trasv} deve essere minore od uguale a $\min\{4 \phi; 50 \text{ mm}\}$, ma se d_{trasv} è maggiore di $\min\{4 \phi; 50 \text{ mm}\}$, **l₀** va aumentata di $[d_{trasv} - \min\{4 \phi; 50 \text{ mm}\}]$;
- la distanza in direzione longitudinale tra due sovrapposizioni adiacenti d_{long} deve essere pari almeno a 0,3 **l₀**;
- la distanza in direzione trasversale tra due sovrapposizioni adiacenti d_{adiac} deve essere maggiore o uguale a $\max\{2 \phi; 20 \text{ mm}\}$.



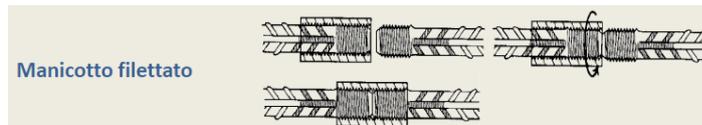
Nelle giunzioni mediante *saldatura* va accertata la compatibilità con il metallo di apporto, nonché la saldabilità degli acciai impiegati.

I dispositivi meccanici di giunzione utilizzano, in genere, tre metodi di unione:

- **barre con le estremità filettate da accoppiare direttamente (sistema maschio/femmina)**



- con l'ausilio di un **manicotto filettato**;



- **manicotti chiusi sulle barre con serraggio di viti**; con un sistema a pressione mediante pressa idraulica.



- **giunzioni saldate manicotto piastra**. Tali ultimi due metodi, non richiedendo filettatura, possono essere utilizzati per la ripresa di ferri già in opera.

