



REALIZZAZIONE SCUOLA PRIMARIA CON 15 CLASSI

AGOSTO
2020

RESPONSABILE PROCEDIMENTO: Arch. Anna Casalone

PROGETTISTI

SETTANTA7 STUDIO ASSOCIATO

Arch. D. Rangone

Arch. E. Rionda

CURCIO E REMONDA STUDIO ASSOCIATO

Ing. A. Remonda



Arch. Laura Lova



PROGETTO DEFINITIVO
SVILUPPATO A LIVELLO ESECUTIVO

REV_02

RELAZIONE SUI MATERIALI STRUTTURALI - CAP 11 NTC 2018



INDICE

1.	PREMESSA	6
2.	PROGRAMMA ESECUTIVO DEI LAVORI	6
3.	ACCETTAZIONE, QUALITÀ ED IMPIEGO DEI MATERIALI	6
4.	PROVVISTA DEI MATERIALI	7
5.	SOSTITUZIONE DEI LUOGHI DI PROVENIENZA DEI MATERIALI	7
6.	NORME DI RIFERIMENTO PER L'ACCETTAZIONE DEI MATERIALI	8
7.	MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE	8
8.	CALCESTRUZZO	11
9.	ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO	45
10.	ACCIAIO PER STRUTTURE METALLICHE E PER STRUTTURE COMPOSTE	52
11.	APPOGGI STRUTTURALI	59
12.	MATERIALI E PRODOTTI A BASE DI LEGNO	60

COMUNE DI GASSINO (TO)

REALIZZAZIONE SCUOLA PRIMARIA CON 15 CLASSI

SETTANTA7 STUDIO ASSOCIATO, CURCIO E REMONDA STUDIO ASSOCIATO, ARCH. LAURA LOVA





1. PREMESSA

La presente integra tutte le specifiche tecniche dichiarate nelle relazioni di calcolo che trattano l'analisi della struttura.

2. PROGRAMMA ESECUTIVO DEI LAVORI

Entro trenta (30) giorni dalla consegna, l'appaltatore deve predisporre e consegnare alla direzione lavori un programma esecutivo dei lavori, elaborato in relazione alle proprie tecnologie, alle proprie scelte imprenditoriali e alla propria organizzazione lavorativa.

Tale programma dovrà essere coerente con i tempi contrattuali di ultimazione e deve essere approvato dalla direzione dei lavori, mediante apposizione di un visto, entro cinque giorni dalla data di ricevimento. Trascorso il predetto termine senza che la direzione dei lavori si sia pronunciata, il programma si intenderà accettato, fatte salve palesi illogicità o indicazioni erronee palesemente incompatibili con il rispetto dei termini di ultimazione.

3. ACCETTAZIONE, QUALITÀ ED IMPIEGO DEI MATERIALI

I materiali e i componenti devono corrispondere alle prescrizioni del capitolato speciale ed essere della migliore qualità: possono essere messi in opera solamente dopo l'accettazione del direttore dei lavori; in caso di contestazioni, si procederà come previsto della normativa in vigore.

L'accettazione dei materiali e dei componenti è definitiva solo dopo la loro posa in opera. Il direttore dei lavori può rifiutare in qualunque momento i materiali ed i componenti deperiti dopo l'introduzione in cantiere, o che per qualsiasi causa non fossero conformi alle caratteristiche tecniche risultanti dai documenti allegati al contratto; in questo ultimo caso l'appaltatore deve rimuoverli dal cantiere e sostituirli con altri a sue spese.

Ove l'appaltatore non effettui la rimozione nel termine prescritto dal direttore dei lavori, la stazione appaltante può provvedervi direttamente a spese dell'appaltatore, a carico del quale resta anche qualsiasi onere o danno che possa derivargli per effetto della rimozione eseguita d'ufficio.

Anche dopo l'accettazione e la posa in opera dei materiali e dei componenti da parte dell'appaltatore, restano fermi i diritti e i poteri della stazione appaltante in sede di collaudo.

L'appaltatore che nel proprio interesse o di sua iniziativa abbia impiegato materiali o componenti di caratteristiche superiori a quelle prescritte nei documenti contrattuali, o eseguito una lavorazione più accurata, non ha diritto ad aumento dei prezzi e la contabilità è redatta come se i materiali avessero le caratteristiche



stabilite.

Nel caso sia stato autorizzato per ragioni di necessità o convenienza da parte del direttore dei lavori l'impiego di materiali o componenti aventi qualche carenza nelle dimensioni, nella consistenza o nella qualità, ovvero sia stata autorizzata una lavorazione di minor pregio, viene applicata una adeguata riduzione del prezzo in sede di contabilizzazione, sempre che l'opera sia accettabile senza pregiudizio e salve le determinazioni definitive dell'organo di collaudo.

Gli accertamenti di laboratorio e le verifiche tecniche obbligatorie, ovvero specificamente previsti dal capitolato speciale d'appalto, sono disposti dalla direzione dei lavori o dall'organo di collaudo, imputando la spesa a carico delle somme a disposizione accantonate a tale titolo nel quadro economico. Per le stesse prove la direzione dei lavori provvede al prelievo del relativo campione ed alla redazione di apposito verbale di prelievo; la certificazione effettuata dal laboratorio prove materiali riporta espresso riferimento a tale verbale.

La direzione dei lavori o l'organo di collaudo possono disporre ulteriori prove ed analisi ancorché non prescritte dal capitolato speciale d'appalto ma ritenute necessarie per stabilire l'idoneità dei materiali o dei componenti. Le relative spese sono poste a carico dell'appaltatore.

4. PROVVISIIONE DEI MATERIALI

Se gli atti contrattuali non contengono specifica indicazione, l'appaltatore è libero di scegliere il luogo da cui prelevare i materiali necessari alla realizzazione del lavoro, purché essi abbiano le caratteristiche prescritte dai documenti tecnici allegati al contratto. Le eventuali modifiche di tale scelta non comportano diritto al riconoscimento di maggiori oneri, né all'incremento dei prezzi pattuiti.

Nel prezzo dei materiali sono compresi tutti gli oneri derivanti all'appaltatore dalla loro fornitura a piè d'opera, compresa ogni spesa per eventuali aperture di cave, estrazioni, trasporto da qualsiasi distanza e con qualsiasi mezzo, occupazioni temporanee e ripristino dei luoghi.

A richiesta della stazione appaltante, l'appaltatore deve dimostrare di avere adempiuto alle prescrizioni della legge sulle espropriazioni per causa di pubblica utilità, nel caso in cui per contratto le espropriazioni siano state poste a suo carico, e di aver pagato le indennità per le occupazioni temporanee o per i danni arrecati.

5. SOSTITUZIONE DEI LUOGHI DI PROVENIENZA DEI MATERIALI

Qualora gli atti contrattuali prevedano il luogo di provenienza dei materiali, il direttore dei lavori può prescrivere uno diverso, per ragioni di necessità o convenienza.

Nel caso di cui al comma 1, se il cambiamento importa una differenza in più o in meno del quinto del prezzo



contrattuale del materiale, si fa luogo alla determinazione del nuovo prezzo così come previsto dalla norma in atto.

Qualora i luoghi di provenienza dei materiali siano indicati negli atti contrattuali, l'appaltatore non può cambiarli senza l'autorizzazione scritta del direttore dei lavori, che riporti l'espressa approvazione del responsabile del procedimento.

6. NORME DI RIFERIMENTO PER L'ACCETTAZIONE DEI MATERIALI

I materiali e le forniture da impiegare nella realizzazione delle opere devono rispondere alle prescrizioni contrattuali ed in particolare alle indicazioni del progetto esecutivo, e possedere le caratteristiche stabilite dalle leggi e dai regolamenti e norme UNI vigenti in materia, anche se non espressamente richiamate nel presente capitolato speciale d'appalto. In assenza di nuove ed aggiornate norme, il direttore dei lavori potrà riferirsi alle norme ritirate o sostitutive. Salvo diversa indicazione, i materiali e le forniture proverranno da quelle località che l'appaltatore riterrà di sua convenienza, purché, ad insindacabile giudizio della direzione lavori, ne sia riconosciuta l'idoneità e la rispondenza ai requisiti prescritti dagli accordi contrattuali.

L'appaltatore è obbligato a prestarsi, in qualsiasi momento, ad eseguire o a far eseguire presso il laboratorio di cantiere, presso gli stabilimenti di produzione o presso gli Istituti autorizzati, tutte le prove scritte dal presente capitolato speciale d'appalto o dalla direzione dei lavori, sui materiali impiegati o da impiegarsi, nonché sui manufatti, sia prefabbricati che realizzati in opera e sulle forniture in generale. Il prelievo dei campioni, da eseguire secondo le norme regolamentari ed UNI vigenti, verrà effettuato in contraddittorio con l'impresa sulla base della redazione di verbale di prelievo.

7. MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE

I materiali ed i prodotti per uso strutturale, utilizzati nelle opere soggette alle NTC 2018, devono rispondere ai requisiti indicati nel seguito.

I materiali e prodotti per uso strutturale devono essere:

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

In particolare, per quanto attiene l'identificazione e la qualificazione, possono configurarsi i seguenti casi:



- A. materiali e prodotti per i quali sia disponibile, per l'uso strutturale previsto, una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su GUUE. Al termine del periodo di coesistenza il loro impiego nelle opere è possibile soltanto se corredati della "Dichiarazione di Prestazione" e della Marcatura CE, prevista al Capo II del Regolamento UE 305/2011;
- B. materiali e prodotti per uso strutturale per i quali non sia disponibile una norma europea armonizzata ovvero la stessa ricada nel periodo di coesistenza, per i quali sia invece prevista la qualificazione con le modalità e le procedure indicate nelle presenti norme. E' fatto salvo il caso in cui, nel periodo di coesistenza della specifica norma armonizzata, il fabbricante abbia volontariamente optato per la Marcatura CE;
- C. materiali e prodotti per uso strutturale non ricadenti in una delle tipologie A) o B). In tali casi il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA), oppure dovrà ottenere un "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale, anche sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili; con decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, su conforme parere della competente Sezione, sono approvate Linee Guida relative alle specifiche procedure per il rilascio del "Certificato di Valutazione Tecnica".

Nel caso C), qualora il fabbricante preveda l'impiego dei prodotti strutturali anche con funzioni di compartimentazione antincendio, dichiarando anche la prestazione in relazione alla caratteristica essenziale resistenza al fuoco, le Linee Guida sono elaborate dal Servizio Tecnico Centrale di concerto, per la valutazione di tale specifico aspetto, con il Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della difesa Civile del Ministero dell'Interno.

Il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici pubblica periodicamente l'elenco delle Linee Guida per il rilascio della Certificazione di Valutazione Tecnica di specifici prodotti.

Ad eccezione di quelli in possesso di Marcatura CE, possono essere impiegati materiali o prodotti conformi ad altre specifiche tecniche qualora dette specifiche garantiscano un livello di sicurezza equivalente a quello previsto nelle presenti norme. Tale equivalenza sarà accertata attraverso procedure all'uopo stabilite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sentito lo stesso Consiglio Superiore.

Al fine di dimostrare l'identificazione, la qualificazione e la tracciabilità dei materiali e prodotti per uso strutturale, il fabbricante, o altro eventuale operatore economico (importatore, distributore o mandatario come definiti ai sensi dell'articolo 2 del Regolamento UE 305/2011), secondo le disposizioni e le competenze di cui al Capo III del Regolamento UE n. 305/2011, è tenuto a fornire copia della sopra richiamata documentazione di identificazione e qualificazione (casi A, B o C), i cui estremi devono essere riportati anche sui documenti di trasporto, dal fabbricante fino al cantiere, comprese le eventuali fasi di commercializzazione intermedia, ri-



feriti alla specifica fornitura.

Nel redigere la "Dichiarazione di Prestazione" e la documentazione di qualificazione, il fabbricante si assume la responsabilità della conformità del prodotto da costruzione alle prestazioni dichiarate. Inoltre, il fabbricante dichiara di assumersi la responsabilità della conformità del prodotto da costruzione alla "Dichiarazione di Prestazione" o alla documentazione di qualificazione ed a tutti i requisiti applicabili.

Per ogni materiale o prodotto identificato e qualificato mediante Marcatura CE è onere del Direttore dei Lavori, in fase di accettazione, accertarsi del possesso della marcatura stessa e richiedere copia della documentazione di marcatura CE e della Dichiarazione di Prestazione di cui al Capo II del Regolamento UE 305/2011, nonché - qualora ritenuto necessario, ai fini della verifica di quanto sopra - copia del certificato di costanza della prestazione del prodotto o di conformità del controllo della produzione in fabbrica, di cui al Capo IV ed Allegato V del Regolamento UE 305/2011, rilasciato da idoneo organismo notificato ai sensi del Capo VII dello stesso Regolamento (UE) 305/2011.

Per i prodotti non qualificati mediante la Marcatura CE, il Direttore dei Lavori dovrà accertarsi del possesso e del regime di validità della documentazione di qualificazione (caso B) o del Certificato di Valutazione Tecnica (caso C). I fabbricanti possono usare come Certificati di Valutazione Tecnica i Certificati di Idoneità tecnica all'impiego, già rilasciati dal Servizio Tecnico Centrale prima dell'entrata in vigore delle presenti norme tecniche, fino al termine della loro validità.

Sarà inoltre onere del Direttore dei Lavori, nell'ambito dell'accettazione dei materiali prima della loro installazione, verificare che tali prodotti corrispondano a quanto indicato nella documentazione di identificazione e qualificazione, nonché accertare l'idoneità all'uso specifico del prodotto mediante verifica delle prestazioni dichiarate per il prodotto stesso nel rispetto dei requisiti stabiliti dalla normativa tecnica applicabile per l'uso specifico e dai documenti progettuali, con particolare riferimento alla Relazione sui materiali, di cui al § 10.1.

La mancata rispondenza alle prescrizioni sopra riportate comporta il divieto di impiego del materiale o prodotto.

Al termine dei lavori che interessano gli elementi strutturali, il Direttore dei Lavori predispone, nell'ambito della Relazione a struttura ultimata di cui all'articolo 65 del D.P.R. 380/01, una sezione specifica relativa ai controlli e prove di accettazione sui materiali e prodotti strutturali, nella quale sia data evidenza documentale riguardo all'identificazione e qualificazione dei materiali e prodotti, alle prove di accettazione ed alle eventuali ulteriori valutazioni sulle prestazioni.

Il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici potrà effettuare attività di vigilanza presso i cantieri e i luoghi di lavorazione per verificare la corretta applicazione delle presenti disposizioni, ai sensi del Capo V del D.Lgs. 106/2017 e del Capo VIII del Regolamento UE 305/2011.

Le prove su materiali e prodotti, a seconda delle specifiche procedure applicabili, come specificato di volta



in volta nel seguito, devono generalmente essere effettuate da:

- A. laboratori di prova notificati ai sensi del Capo VII del Regolamento UE 305/2011;
- B. laboratori di cui all'art. 59 del D.P.R. 380/2001;
- C. altri laboratori, dotati di adeguata competenza ed idonee attrezzature, previo nulla osta del Servizio Tecnico Centrale.

Qualora si applichino specifiche tecniche europee armonizzate, ai fini della marcatura CE, le attività di certificazione di prodotto o del controllo di produzione in fabbrica e di prova dovranno essere eseguite dai soggetti previsti dal relativo sistema di valutazione e verifica della costanza delle prestazioni, di cui al Capo IV ed Allegato V del Regolamento UE 305/2011, applicabile al prodotto.

I fabbricanti di materiali, prodotti o componenti disciplinati nella presente norma devono dotarsi di adeguate procedure di controllo di produzione in fabbrica. Per controllo di produzione nella fabbrica si intende il controllo permanente della produzione, effettuato dal fabbricante. Tutte le procedure e le disposizioni adottate dal fabbricante devono essere documentate sistematicamente ed essere a disposizione di qualsiasi soggetto od ente di controllo che ne abbia titolo.

Qualora il fabbricante non sia stabilito sul territorio dell'Unione Europea, questi dovrà nominare un mandatario stabilito sul territorio dell'Unione autorizzato ad agire per conto del Fabbricante in relazione ai compiti indicati nel mandato, nel rispetto dell'articolo 12 del Regolamento (UE) n. 305/2011.

Il richiamo alle specifiche armonizzate, di cui al Regolamento UE 305/2011, contenuto nella presente norma deve intendersi riferito all'ultima versione aggiornata, salvo diversamente specificato. Il richiamo alle specifiche tecniche volontarie UNI, EN e ISO contenute nella presente norma deve intendersi riferito alla data di pubblicazione se indicata, oppure, laddove non indicata, all'ultima versione aggiornata. Con successivo provvedimento si aggiornano periodicamente gli elenchi delle specifiche tecniche volontarie UNI, EN ed ISO richiamate nella presente norma.

8. CALCESTRUZZO

8.1 SPECIFICHE PER IL CALCESTRUZZO

La prescrizione del calcestruzzo all'atto del progetto deve essere caratterizzata almeno mediante la classe di resistenza, la classe di consistenza al getto ed il diametro massimo dell'aggregato, nonché la classe di esposizione ambientale, di cui alla norma UNI EN 206:2016. Nel caso di impiego di armature di pre- o post-tensione permanentemente incorporate nei getti è obbligatoria anche l'individuazione della classe di contenuto in cloruri. La classe di resistenza è contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cubica R_{ck} e cilindrica f_{ck} a compressione uniassiale, misurate rispettivamente su cubi di spigolo 150 mm e su cilindri di diametro 150 mm e di altezza 300 mm.



Inoltre si dovranno dare indicazioni in merito ai processi di maturazione ed alle procedure di posa in opera, facendo utile riferimento alla norma UNI EN 13670, alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale ed alle Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera elaborate e pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

La resistenza caratteristica a compressione è definita come la resistenza per la quale si ha il 5% di probabilità di trovare valori inferiori. Nelle presenti norme la resistenza caratteristica designa quella dedotta da prove su provini come sopra descritti, confezionati e stagionati come specificato al paragrafo 11.2.4 del DM 17 gennaio 2018, eseguite a 28 giorni di maturazione. Potranno essere indicati altri tempi di maturazione a cui riferire le misure di resistenza ed il corrispondente valore caratteristico. Inoltre, si dovrà tener conto degli effetti prodotti da eventuali processi accelerati di maturazione.

Il conglomerato per il getto delle strutture di un'opera o di parte di essa si considera omogeneo ai fini del controllo (secondo le prestazioni), se possiede le medesime caratteristiche prestazionali (classe di resistenza e classe di esposizione).

8.2 CONTROLLI DI QUALITÀ DEL CALCESTRUZZO

Il calcestruzzo deve essere prodotto in regime di controllo di qualità, con lo scopo di garantire che rispetti le prescrizioni definite in sede di progetto.

Il controllo si articola nelle seguenti fasi:

- valutazione preliminare: serve a determinare, prima dell'inizio della costruzione delle opere, la miscela per produrre il calcestruzzo in accordo con le prescrizioni di progetto;
- controllo di produzione: riguarda il controllo da eseguire sul calcestruzzo durante la produzione con processo industrializzato del calcestruzzo stesso;
- controllo di accettazione: riguarda il controllo da eseguire sul calcestruzzo utilizzato per l'esecuzione dell'opera, con prelievo effettuato contestualmente al getto dei relativi elementi strutturali;
- prove complementari: sono prove che vengono eseguite, ove necessario, a complemento delle prove di accettazione.

Le prove di accettazione e le eventuali prove complementari, compresi i carotaggi di cui al punto 11.2.6, devono essere eseguite e certificate dai laboratori di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001.

Il costruttore resta comunque responsabile della qualità del calcestruzzo posto in opera, che sarà controllata dal Direttore dei Lavori, secondo le procedure di cui al § 11.2.5.



8.3 VALUTAZIONE PRELIMINARE

Il costruttore, prima dell'inizio della costruzione dell'opera, deve effettuare idonee prove preliminari di studio ed acquisire idonea documentazione relativa ai componenti, per ciascuna miscela omogenea di calcestruzzo da utilizzare, al fine di ottenere le prestazioni richieste dal progetto.

Nel caso di forniture provenienti da impianto di produzione industrializzata con certificato di controllo della produzione in fabbrica previsto al § 11.2.8, tale documentazione è costituita da quella di identificazione, qualificazione e controllo dei prodotti da fornire.

Il Direttore dei Lavori ha l'obbligo di acquisire, prima dell'inizio della costruzione, la documentazione relativa alla valutazione preliminare delle prestazioni e di accettare le tipologie di calcestruzzo da fornire, con facoltà di far eseguire ulteriori prove preliminari. Il Direttore dei Lavori ha comunque l'obbligo di eseguire controlli sistematici in corso d'opera per verificare la corrispondenza delle caratteristiche del calcestruzzo fornito rispetto a quelle stabilite dal progetto.

8.4 PRELIEVO E PROVA DEI CAMPIONI

Un prelievo consiste nel prelevare dagli impasti, al momento della posa in opera ed alla presenza del Direttore dei Lavori o di persona di sua fiducia, il calcestruzzo necessario per la confezione di un gruppo di due provini.

La media delle resistenze a compressione dei due provini di un prelievo rappresenta la "Resistenza di prelievo" che costituisce il valore mediante il quale vengono eseguiti i controlli del calcestruzzo. Il prelievo non viene accettato se la differenza fra i valori di resistenza dei due provini supera il 20% del valore inferiore; in tal caso si applicano le procedure di cui al §11.2.5.3.

È obbligo del Direttore dei Lavori prescrivere ulteriori prelievi rispetto al numero minimo tutte le volte che variazioni di qualità e/o provenienza dei costituenti dell'impasto possano far presumere una variazione di qualità del calcestruzzo stesso, tale da non poter più essere considerato omogeneo.

Per la preparazione, la forma, le dimensioni e la stagionatura dei provini di calcestruzzo vale quanto indicato nelle norme UNI EN 12390-1:2012 e UNI EN 12390-2:2009.

Circa il procedimento da seguire per la determinazione della resistenza a compressione dei provini di calcestruzzo vale quanto indicato nelle norme UNI EN 12390-3:2009 e UNI EN 12390-4:2002.

Circa il procedimento da seguire per la determinazione della massa volumica vale quanto indicato nella norma UNI EN 12390-7:2009.

8.5 CONTROLLO DI ACCETTAZIONE

Il controllo di accettazione è eseguito dal Direttore dei Lavori su ciascuna miscela omogenea e si configura,



in funzione del quantitativo di calcestruzzo in accettazione, nel:

- controllo di tipo A:

Ogni controllo di tipo A è riferito ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di 300 m³ ed è costituito da tre prelievi, ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m³ di getto di miscela omogenea. Risultata quindi un controllo di accettazione ogni 300 m³ massimo di getto. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo. Nelle costruzioni con meno di 100 m³ di getto di miscela omogenea, fermo restando l'obbligo di almeno 3 prelievi e del rispetto delle limitazioni di cui sopra, è consentito derogare dall'obbligo di prelievo giornaliero.

- controllo di tipo B:

Nella realizzazione di opere strutturali che richiedano l'impiego di più di 1500 m³ di miscela omogenea è obbligatorio il controllo di accettazione di tipo statistico (tipo B). Il controllo è riferito ad una miscela omogenea e va eseguito con frequenza non minore di un controllo ogni 1500 m³ di calcestruzzo. Ogni controllo di accettazione di tipo B è costituito da almeno 15 prelievi, ciascuno dei quali eseguito su 100 m³ di getto di miscela omogenea. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo. Se si eseguono controlli statistici accurati, l'interpretazione dei risultati sperimentali può essere svolta con i metodi completi dell'analisi statistica assumendo la legge di distribuzione più corretta e il suo valor medio, unitamente al coefficiente di variazione (rapporto tra deviazione standard e valore medio). Non sono accettabili calcestruzzi con coefficiente di variazione superiore a 0,3. Per calcestruzzi con coefficiente di variazione (s/R_m) superiore a 0,15 occorrono controlli più accurati, integrati con prove complementari di cui al paragrafo 11.2.6 del DM 17 gennaio 2018. Infine, la resistenza caratteristica R_{ck} di progetto dovrà essere minore del valore sperimentale corrispondente al frattile inferiore 5% delle resistenze di prelievo e la resistenza minima di prelievo $R_{c,min}$ dovrà essere maggiore del valore corrispondente al frattile inferiore 1%.

Il controllo di accettazione è positivo ed il quantitativo di calcestruzzo accettato se risultano verificate le disuguaglianze di cui alla tabella seguente:

CONTROLLO DI TIPO A

$R_{cm28} \geq R_{ck} + 3.5$ (N° prelievi: 3)

Ove:

CONTROLLO DI TIPO B

$R_{c,min} \geq R_{ck} - 3.5$

$R_{cm28} \geq R_{ck} + 1.48s$ (N° prelievi ≥ 15)

- R_{cm28} : resistenza media dei prelievi (N/mm²);
- $R_{c,min}$: minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm²);
- s: scarto quadratico medio.

Il prelievo dei provini per il controllo di accettazione va eseguito alla presenza del Direttore dei Lavori o di un tecnico di sua fiducia che provvede alla redazione di apposito verbale di prelievo e dispone l'identificazione dei provini mediante sigle, etichettature indelebili, ecc.; la certificazione effettuata dal



laboratorio prove materiali deve riportare riferimento a tale verbale.

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

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

La domanda di prove al laboratorio deve essere sottoscritta dal Direttore dei Lavori e deve contenere precise indicazioni sulla posizione delle strutture interessate da ciascun prelievo.

Le prove non richieste dal Direttore dei Lavori non possono fare parte dell'insieme statistico che serve per la determinazione della resistenza caratteristica del materiale.

Le prove a compressione vanno eseguite conformemente alle norme UNI EN 12390-3:2009 tra il 28° e il 30° giorno di maturazione e comunque entro 45 giorni dalla data di prelievo. In caso di mancato rispetto di tali termini le prove di compressione vanno integrate da quelle riferite al controllo della resistenza del calcestruzzo in opera.

I certificati di prova emessi dai laboratori devono contenere almeno:

- l'identificazione del laboratorio che rilascia il certificato;
- una identificazione univoca del certificato (numero di serie e data di emissione) e di ciascuna sua pagina, oltre al numero totale di pagine;
- l'identificazione del committente dei lavori in esecuzione e del cantiere di riferimento;
- il nominativo del Direttore dei Lavori che richiede la prova;
- la descrizione, l'identificazione e la data di prelievo dei campioni da provare;
- la data di ricevimento dei campioni e la data di esecuzione delle prove;
- l'identificazione delle specifiche di prova o la descrizione del metodo o procedura adottata, con l'indicazione delle norme di riferimento per l'esecuzione della stessa;
- le dimensioni effettivamente misurate dei campioni provati, dopo eventuale rettifica;
- le modalità di rottura dei campioni;
- la massa volumica del campione;
- i valori di resistenza misurati.

Per gli elementi prefabbricati di serie, realizzati con processo industrializzato, sono valide le specifiche indicazioni di cui al § 11.8.3.1.



L'opera o la parte di opera realizzata con il calcestruzzo non conforme ai controlli di accettazione non può essere accettata finché la non conformità non è stata definitivamente risolta. Il costruttore deve procedere ad una verifica delle caratteristiche del calcestruzzo messo in opera mediante l'impiego di altri mezzi d'indagine, secondo quanto prescritto dal Direttore dei Lavori e conformemente a quanto indicato nel successivo paragrafo 11.2.6 del DM 17 gennaio 2018. Qualora i suddetti controlli confermino la non conformità del calcestruzzo, si dovrà procedere, sentito il progettista, ad un controllo teorico e/o sperimentale della sicurezza della struttura interessata dal quantitativo di calcestruzzo non conforme, sulla base della resistenza ridotta del calcestruzzo.

Qualora non fosse possibile effettuare la suddetta verifica delle caratteristiche del calcestruzzo, oppure i risultati del controllo teorico e/o sperimentale non risultassero soddisfacenti si può: conservare l'opera o parte di essa per un uso compatibile con le diminuite caratteristiche prestazionali accertate, eseguire lavori di consolidamento oppure demolire l'opera o parte di essa.

I controlli di accettazione sono obbligatori ed il collaudatore è tenuto a controllarne la validità, qualitativa e quantitativa; ove ciò non fosse rispettato, il collaudatore è tenuto a far eseguire delle prove che attestino le caratteristiche del calcestruzzo, seguendo la medesima procedura che si applica quando non risultino rispettati i limiti fissati dai controlli di accettazione.

8.6 CONTROLLO DELLA RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO IN OPERA

La resistenza del calcestruzzo nella struttura dipende dalla resistenza del calcestruzzo messo in opera, dalla sua posa e costipazione, dalle condizioni ambientali durante il getto e dalla maturazione.

Nel caso in cui:

- A. le resistenze a compressione dei provini prelevati durante il getto non soddisfino i criteri di accettazione della resistenza caratteristica prevista nel progetto, oppure
- B. sorgano dubbi sulle modalità di confezionamento, conservazione, maturazione e prova dei provini di calcestruzzo, oppure
- C. sorgano dubbi sulle modalità di posa in opera, compattazione e maturazione del calcestruzzo, oppure
- D. si renda necessario valutare a posteriori le proprietà di un calcestruzzo precedentemente messo in opera,

si può procedere ad una valutazione delle caratteristiche di resistenza attraverso una serie di prove sia distruttive che non distruttive.

Tali prove non sono, in ogni caso, sostitutive dei controlli di accettazione, ma potranno servire al Direttore dei Lavori od al collaudatore per formulare un giudizio sul calcestruzzo in opera.

Il valore caratteristico della resistenza del calcestruzzo in opera (definita come resistenza caratteristica in situ, R_{ckis} o f_{ckis}) è in genere minore del valore della resistenza caratteristica assunta in fase di progetto



Rck o fck. Per i soli aspetti relativi alla sicurezza strutturale e senza pregiudizio circa eventuali carenze di durabilità, è accettabile un valore caratteristico della resistenza in situ non inferiore all'85% della resistenza caratteristica assunta in fase di progetto. Per la modalità di determinazione della resistenza a compressione in situ, misurata con tecniche opportune (distruttive e non distruttive), si potrà fare utile riferimento alle norme

UNI EN 12504-1, UNI EN 12504-2, UNI EN 12504-3, UNI EN 12504-4. La resistenza caratteristica in situ va calcolata secondo quanto previsto nella norma UNI EN 13791:2008, ai §§ 7.3.2 e 7.3.3, considerando l'approccio B se il numero di carote è minore di 15, oppure l'approccio A se il numero di carote è non minore di 15, in accordo alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo elaborate e pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

8.7 PROVE COMPLEMENTARI

Sono prove che eventualmente si eseguono al fine di stimare la resistenza del calcestruzzo in corrispondenza di particolari fasi di costruzione (precompressione, messa in opera) o in condizioni particolari di utilizzo (temperature eccezionali, ecc.).

Il procedimento di controllo è uguale a quello dei controlli di accettazione.

Tali prove non possono essere sostitutive dei controlli di accettazione che vanno riferiti a provini confezionati e maturati secondo le prescrizioni precedenti.

I risultati di tali prove potranno servire al Direttore dei Lavori od al collaudatore per formulare un giudizio sul calcestruzzo in opera.

8.8 COMPONENTI DEL CALCESTRUZZO

Per quanto riguarda le caratteristiche dei componenti del calcestruzzo si rimanda al paragrafo 11.2.9 del DM 17 gennaio 2018 e s.m.i.

8.9 CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO

Le caratteristiche del calcestruzzo possono essere desunte, in sede di progettazione, dalle formulazioni indicate nei successivi punti. Per quanto non previsto si potrà fare utile riferimento alla Sez. 3 della norma UNI EN 1992-1-1:2005.

8.9.1 RESISTENZA A COMPRESSIONE

In sede di progetto strutturale si farà riferimento alla resistenza caratteristica a compressione su cubi Rck.



Dalla resistenza cubica si passerà a quella cilindrica da utilizzare nelle verifiche mediante l'espressione:

$$f_{ck} = 0,83 \times R_{ck}$$

Sempre in sede di previsioni progettuali, è possibile passare dal valore caratteristico al valor medio della resistenza cilindrica mediante l'espressione:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

8.9.2 RESISTENZA A TRAZIONE

La resistenza a trazione del calcestruzzo può essere determinata a mezzo di diretta sperimentazione, condotta su provini appositamente confezionati, secondo la norma UNI EN 12390-2:2009, per mezzo delle prove di seguito indicate:

- prove di trazione diretta;
- prove di trazione indiretta: (secondo UNI EN 12390-6:2010 o metodo dimostrato equivalente);
- prove di trazione per flessione: (secondo UNI EN 12390-5:2009 o metodo dimostrato equivalente).

In sede di progettazione si può assumere come resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo il valore (in N/mm²):

$$f_{ctm} = 0,30 \times [f_{ck}]^{2/3} \quad \text{per classi} \leq C50/60;$$

$$f_{ctm} = 2,12 \times \ln[1 + f_{cm}/10] \quad \text{per classi} > C50/60.$$

I valori caratteristici corrispondenti ai frattili 5% e 95% sono assunti, rispettivamente, pari a 0,7 f_{ctm} , ed 1,3 f_{ctm} .

Il valore medio della resistenza a trazione per flessione è assunto, in mancanza di sperimentazione diretta, pari a:

$$f_{cfm} = 1,2 \times f_{ctm}$$

8.9.3 MODULO ELASTICO

Per modulo elastico istantaneo del calcestruzzo va assunto quello secante tra la tensione nulla e 0,40 f_{cm} , determinato sulla base di apposite prove, da eseguirsi secondo la norma UNI EN 12390-13:2013.

In sede di progettazione si può assumere il valore:

$$E_{cm} = 22.000 \times [f_{cm}/10]^{0,3} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

che dovrà essere ridotto del 20% in caso di utilizzo di aggregati grossi di riciclo nei limiti previsti dalla Tab. 11.2.III. Tale formula non è applicabile ai calcestruzzi maturati a vapore. Essa non è da considerarsi vincolante nell'interpretazione dei controlli sperimentali delle strutture.

8.9.4 COEFFICIENTE DI POISSON

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



8.9.5 COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA

Il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo può essere determinato a mezzo di apposite prove, da eseguirsi secondo la norma UNI EN 1770:2000.

In sede di progettazione strutturale, o in mancanza di una determinazione sperimentale diretta, per il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo può assumersi un valor medio pari a $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, fermo restando che tale quantità dipende significativamente dal tipo di calcestruzzo considerato (rapporto inerti/legante, tipi di inerti, ecc.) e può assumere valori anche sensibilmente diversi da quello indicato.

8.9.6 RITIRO

La deformazione assiale per ritiro del calcestruzzo può essere determinata a mezzo di apposite prove, da eseguirsi secondo la norma UNI 11307:2008.

In sede di progettazione strutturale, e quando non si ricorra ad additivi speciali, il ritiro del calcestruzzo può essere valutato sulla base delle indicazioni di seguito fornite.

La deformazione totale da ritiro si può esprimere come:

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

dove:

- ϵ_{cs} è la deformazione totale per ritiro;
- ϵ_{cd} è la deformazione per ritiro da essiccamento;
- ϵ_{ca} è la deformazione per ritiro autogeno.

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento

$$\epsilon_{cd,\infty} = kh \times \epsilon_{c0}$$

può essere valutato mediante i valori delle seguenti Tabelle in funzione della resistenza caratteristica a compressione, dell'umidità relativa e del parametro h_0 :

VALORI ϵ_{c0} :

f _{ck}	DEFORMAZIONE DA RITIRO PER ESSICAMENTO (IN ‰)					
	UMIDITÀ RELATIVA (IN ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0.62	-0.58	-0.49	-0.30	-0.17	+0.00
40	-0.48	-0.46	-0.38	-0.24	-0.13	+0.00
60	-0.38	-0.36	-0.30	-0.19	-0.10	+0.00
80	-0.30	-0.28	-0.24	-0.15	-0.07	+0.00

VALORI DI kh:

h ₀ (mm)	kh
100	1.0
200	0.85
300	0.75
≥ 500	0.70

Per valori intermedi dei parametri indicati è consentita l'interpolazione lineare. Lo sviluppo nel tempo della



deformazione ϵ_{cd} può essere valutato come:

$$\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t-t_s) \times \epsilon_{ca,\infty}$$

dove la funzione di sviluppo temporale assume la forma

$$\beta_{ds}(t-t_s) = (t-t_s) / [(t-t_s) + 0.04h_0^3/2]$$

in cui:

- t è l'età del calcestruzzo nel momento considerato (in giorni);
- t_s è l'età del calcestruzzo a partire dalla quale si considera l'effetto del ritiro da essiccazione (normalmente il termine della maturazione, espresso in giorni);
- h_0 è la dimensione fittizia (in mm) pari al rapporto $2A_c/u$;
- A_c è l'area della sezione in calcestruzzo;
- u è il perimetro della sezione in calcestruzzo esposto all'aria.

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

$$\epsilon_{ca,\infty} = -2.5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6} \quad \text{con } f_{ck} \text{ in N/mm}^2$$

8.9.7 VISCOSITÀ

In sede di progettazione, se la tensione di compressione del calcestruzzo, al tempo $t_0 = j$ di messa in carico, non è superiore a $0,45 \times f_{ckj}$, il coefficiente di viscosità $\phi(\infty, t_0)$, a tempo infinito, a meno di valutazioni più precise (per es. paragrafo 3.1.4 di UNI EN 1992-1-1:2005), può essere dedotto dalle seguenti tabelle dove h_0 è la dimensione fittizia definita nel paragrafo 11.2.10.6 del DM 17 gennaio 2018:

VALORI DI $\phi(\infty, t_0)$. Atmosfera con umidità relativa di circa il 75%

t_0	$h_0 \leq 75 \text{ mm}$	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	3.5	3.2	3.0	2.8
7 giorni	2.9	2.7	2.5	2.3
15 giorni	2.6	2.4	2.2	2.1
30 giorni	2.3	2.1	1.9	1.8
≥ 60 giorni	2.0	1.8	1.7	1.6

VALORI DI $\phi(\infty, t_0)$. Atmosfera con umidità relativa di circa il 55%

t_0	$h_0 \leq 75 \text{ mm}$	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	4.5	4.0	3.6	3.3
7 giorni	3.7	3.3	3.0	2.8
15 giorni	3.3	3.0	2.7	2.5
30 giorni	2.9	2.6	2.3	2.2
≥ 60 giorni	2.5	2.3	2.1	1.9

Per valori intermedi è ammessa una interpolazione lineare.

Nel caso in cui sia richiesta una valutazione in tempi diversi da $t = \infty$ del coefficiente di viscosità questo potrà essere valutato secondo modelli tratti da documenti di comprovata validità di cui al Capitolo 12 delle NTC 2018.



8.9.8 DURABILITÀ

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e quelli derivanti dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

A tal fine, valutate opportunamente le condizioni ambientali del sito ove sorgerà la costruzione o quelle di impiego, conformemente alle indicazioni della tabella 4.1.III delle NTC 2018, in fase di progetto dovranno essere indicate le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare, in accordo alle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici facendo anche, in assenza di analisi specifiche, utile riferimento alle norme UNI EN 206 ed UNI 11104. Inoltre devono essere rispettati i valori del copriferro nominale di cui al punto 4.1.6.1.3, nonché le modalità e la durata della maturazione umida in accordo alla UNI EN 13670:2010, alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale ed alle

Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Ai fini della valutazione della durabilità, nella formulazione delle prescrizioni sul calcestruzzo, si potranno prescrivere anche prove per la verifica della resistenza alla penetrazione degli agenti aggressivi, quali ad esempio anidride carbonica e cloruri. Si può, inoltre, tener conto del grado di impermeabilità del calcestruzzo, determinando il valore della profondità di penetrazione dell'acqua in pressione. Per la prova di determinazione della profondità della penetrazione dell'acqua in pressione nel calcestruzzo indurito potrà farsi utile riferimento alla norma UNI EN 12390-8.

8.10 **TRASPORTO, MESSA IN OPERA E COMPATTAZIONE DEL CALCESTRUZZO**

Dopo la miscelazione il calcestruzzo è trasportato a piè d'opera, gettato nelle casseforme, compattato e sottoposto a finitura. La facilità con cui si possono eseguire queste operazioni dipende dalla lavorabilità dell'impasto. Il termine "lavorabilità" è indicativo di molte proprietà che, per semplicità, sono generalmente riconducibili a consistenza e coesione.

La consistenza è un indice della facilità con cui il calcestruzzo può essere fatto scorrere, mentre la coesione è rappresentativa della stabilità dell'impasto nei riguardi della segregazione e dell'essudamento. La consistenza dell'impasto deve essere tale da permettere il trasporto e la messa in opera del calcestruzzo con sufficiente facilità, senza che si verificano fenomeni di segregazione.

La classe di consistenza ottimale dipende dal tipo di getto e dai mezzi disponibili per la compattazione e si valuta seguendo le procedure descritte nelle seguenti norme:

- Prove sul calcestruzzo fresco-cedimento al cono (UNI EN 12350-2)



- Prove sul calcestruzzo fresco-spandimento (UNI EN 12350-3)
- Prove sul calcestruzzo fresco-compattabilità (UNI EN 12350-4)
- Prove sul calcestruzzo fresco-tempo d'assestamento (UNI EN 12350-5).

Il calcestruzzo può essere considerato una sospensione di particelle solide con dimensioni variabili dal μm ai cm. Sotto l'azione delle forze gravitazionali i solidi sospesi si assestano in relazione alla massa volumica e dimensione.

L'essudazione è il fenomeno che riguarda la formazione di un velo d'acqua o di boiaccia acquosa sulla superficie del calcestruzzo che appare dopo il getto e la compattazione. La boiaccia affiora con i calcestruzzi magri o troppo fluidi dando luogo, ad indurimento avvenuto, ad una superficie incoerente e polverosa. Tali superfici sono il punto di innesco del degrado provocato dagli agenti atmosferici e dalle sostanze aggressive che possono penetrare attraverso i pori della matrice legante.

I metodi più comuni per ridurre gli effetti dell'essudazione sono: l'aggiunta di fini (sabbia e/o cemento), di materiali pozzolanici e/o l'inglobamento di aria.

Entro 2 ÷ 4 ore dopo la compattazione, si possono manifestare fessurazioni da assestamento plastico o da ritiro plastico. Entrambi i fenomeni sono associati all'acqua di essudazione.

Fessure da assestamento plastico possono comparire tutte le volte che si creano situazioni di sedimentazione differenziale, della quale le cause più frequenti sono: la presenza nel getto di elementi fissi (rinforzi, staffe, bordi delle casseforme disallineate), l'interferenza dimensionale dell'aggregato grosso che dà origine ad essudazione interna, la presenza di piani inclinati, l'effetto parete e brusche variazioni di sezione.

La fessurazione da assestamento plastico può essere eliminata quando è possibile effettuare una rivibrazione entro 30 ÷ 60 minuti dal getto.

8.10.1 TRASPORTO DEL CALCESTRUZZO FRESCO

Il trasporto del calcestruzzo, dal sito di confezione al luogo d'impiego, deve essere effettuato con mezzi adeguati ad evitare la segregazione o il danneggiamento del conglomerato.

Terminata la miscelazione e durante la movimentazione, si può osservare una graduale diminuzione, nel tempo, della lavorabilità provocata: dall'assorbimento dell'acqua d'impasto da parte degli aggregati, dall'inizio delle reazioni d'idratazione del cemento e dalla perdita d'acqua per evaporazione. L'entità della perdita di lavorabilità dipende dai costituenti il calcestruzzo (cemento, additivi, acqua, aggregati), dalla temperatura e dalla velocità di evaporazione dell'acqua di impasto.

I sistemi più utilizzati per il trasporto del calcestruzzo sono: l'autobetoniera, la benna, l'autocarro cassonato e il nastro trasportatore.

L'autobetoniera è idonea a trasportare quasi tutti i tipi di calcestruzzo e permette di mantenere per un periodo abbastanza lungo (2-3 ore) il calcestruzzo miscelato e non segregato, a condizione che l'impasto sia mante-



nuto in continua agitazione.

L'autocarro cassonato e il nastro trasportatore possono trasportare calcestruzzi a bassa consistenza, con cedimento al cono < 30 mm, quali, ad esempio, quelli destinati alle casseforme scorrevoli e quelli destinati a getti massivi. Il cassone e il nastro trasportatore devono essere protetti per evitare l'evaporazione dell'acqua o il dilavamento in caso di pioggia.

Per ogni carico di calcestruzzo si predispone un documento che, nel caso di calcestruzzo preconfezionato, deve contenere:

- la data e l'ora di confezione e i tempi d'inizio e fine getto (è opportuno, inoltre, che siano registrate le ore d'arrivo in cantiere, d'inizio e di fine scarico);
- la classe d'esposizione ambientale;
- la classe di resistenza caratteristica;
- il tipo, la classe del cemento, ove specificato nell'ordine di fornitura;
- il rapporto a/c, se prescritto;
- la dimensione massima dell'aggregato;
- la classe di consistenza;
- i metri cubi trasportati.

L'impresa costruttrice conserva la documentazione nella quale è specificata la struttura a cui il carico di calcestruzzo è stato destinato.

Tale documento deve formare oggetto di controllo e registrazione da parte di chi riceve il calcestruzzo.

8.10.2 CALCESTRUZZO FRESCO A PIÈ D'OPERA

Al ricevimento del calcestruzzo a piè d'opera è opportuno verificare:

- che nel corso del trasporto siano state applicate le precauzioni atte a ridurre la perdita di lavorabilità e ad evitare la segregazione;
- la corrispondenza tra i requisiti ed i dati riportati nei documenti d'accompagnamento;
- l'aspetto del conglomerato fresco.

Nel caso di dubbio sulla conformità è opportuno effettuare i necessari controlli. Possono essere rilevate direttamente (a piè d'opera) alcune difformità legate all'aspetto del calcestruzzo quali: colore, composizione degli aggregati, diametro massimo dell'aggregato. Tali differenze devono essere segnalate al responsabile della produzione del calcestruzzo e, se del caso, danno origine al rifiuto.

In conformità alle disposizioni vigenti, i controlli sulle caratteristiche del calcestruzzo fresco devono essere effettuati con prelievi a piè d'opera e, nel caso del calcestruzzo preconfezionato, i controlli devono essere eseguiti al momento dello scarico in contraddittorio tra le parti interessate alla fornitura.

A tale scopo vengono generalmente eseguite, su un unico campione rappresentativo ottenuto secondo le procedure



descritte nella UNI EN 12350-1, le seguenti prove: misura della consistenza, confezione dei provini per prove di resistenza, determinazione della massa volumica, verifica del contenuto d'aria, controllo del rapporto acqua/cemento.

Il calcestruzzo autocompattante richiede uno specifico controllo delle sue proprietà alla consegna che riguarda la verifica del valore di scorrimento (libero e vincolato) e quella dell'omogeneità dell'impasto secondo le procedure indicate nella UNI 11040 (Calcestruzzo autocompattante: specifiche, caratteristiche e controlli).

La tabella seguente riporta lo schema dei possibili controlli da svolgere sul calcestruzzo fresco, alcuni dei quali sono specificati nella UNI EN 206-1.

	PROCEDURA	REQUISITI	FREQUENZA
Documento di produzione o bolla di accompagnamento	Verifica visiva	Conformità alle specifiche	Ogni partita (consegna)
Consistenza (lavorabilità) del calcestruzzo	Verifica visiva e controllo secondo il metodo di riferimento	Conformità alla classe di consistenza	Quando opportuno, nel corso dei prelievi per la valutazione della resistenza
Omogeneità del calcestruzzo	Verifica visiva e/o confronto tra le proprietà di differenti partite (consegne)	Aspetto uniforme, e di sottocampioni omogenei	In caso di dubbio
Massa volumica del calcestruzzo fresco	UNI EN 12350-6	Verifica della miscela	Se richiesto dalle specifiche tecniche o dalla Direzione Lavori
Dosaggio in cemento	Controllo della quantità pesata dei costituenti nella preparazione dell'impasto	Verifica della miscela	Se richiesto dalle specifiche tecniche o dalla Direzione Lavori
Dosaggio in acqua e rapporto acqua/cemento	Controllo della quantità dosata nell'impasto o secondo metodologia da concordarsi tra le parti	Verifica della miscela	Se richiesto dalle specifiche tecniche o dalla Direzione Lavori
Prelievo di campioni per verifica della resistenza a compressione	Secondo le procedure previste dalla norma	Verifica Rck alla scadenza ordinaria e se necessario alle brevi stagionature	Secondo le vigenti norme tecniche e/o secondo le specifiche progettuali, se più restrittive
Contenuto d'aria	UNI EN 12350-7	Conformità alle specifiche	Se richiesto dalla classe di esposizione e nelle specifiche progettuali
Altre caratteristiche: ora di consegna, ora di messa in opera, temperatura calcestruzzo fresco	Registrazione		Secondo richiesta
Rilavorazione	Registrazione. La rilavorazione deve essere vietata se comporta una riduzione inaccettabile delle prestazioni del calcestruzzo	Dosaggio e tipo di additivo aggiunto	Ogni qual volta è effettuata

8.10.3 CONTROLLO DELLA RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE

Il controllo di base, per l'accettazione del calcestruzzo in cantiere, deve soddisfare le prescrizioni di cui allo specifico paragrafo "Controlli di accettazione" riportato nelle vigenti Norme Tecniche emanate dal Ministero delle Infrastrutture. Le prove da effettuare ai fini dell'accettazione devono essere eseguite in conformità alle norme UNI EN 12350-1 per quanto attiene il campionamento, ed alle norme UNI EN 12390, nelle varie parti, per quanto attiene il confezionamento e la stagionatura dei provini, nonché le relative prove di resistenza a compressione.

8.10.4 MESSA IN OPERA DEL CALCESTRUZZO

La messa in opera del calcestruzzo comprende le operazioni di movimentazione e getto del materiale nelle appo-



site casseforme.

Per assicurare la migliore riuscita del getto, la messa in opera del calcestruzzo richiede una serie di verifiche preventive che riguardano, oltre che le casseforme e i ferri d'armatura, anche l'organizzazione e l'esecuzione delle operazioni di getto, di protezione e di stagionatura del calcestruzzo.

8.10.4.1 MOVIMENTAZIONE DEL CALCESTRUZZO

La movimentazione del calcestruzzo dal mezzo di trasporto al punto di messa in opera può essere effettuata mediante uno dei seguenti dispositivi: canaletta, benna, nastro trasportatore, pompa. Il mezzo deve essere scelto tenendo in considerazione le caratteristiche del calcestruzzo allo stato fresco, la distanza tra il punto d'arrivo del mezzo e quello di getto, le condizioni climatiche, la conformazione delle casseforme e del cantiere, le attrezzature di compattazione disponibili e la velocità d'avanzamento prevista.

- **Movimentazione mediante canaletta**

Al fine di ottenere una corretta messa in opera, la canaletta deve avere pendenza e lunghezza compatibili con la classe di consistenza del calcestruzzo. Generalmente le autobetoniere sono attrezzate con canalette che consentono la distribuzione diretta del calcestruzzo entro il raggio d'alcuni metri. E' opportuno che, per proteggere il calcestruzzo dal rapido essiccamento, la canaletta sia protetta dal vento e dal sole. Per evitare la segregazione del calcestruzzo, all'atto dello scarico e nell'eventuale passaggio da una canaletta all'altra, si predispone una tramoggia che accompagna la discesa del calcestruzzo in direzione verticale. La segregazione è infatti provocata non tanto dalla lunghezza della canaletta quanto dalla caduta libera del calcestruzzo alla sua estremità.

La canaletta deve essere accuratamente ripulita al termine di ogni operazione di scarico.

Per motivi di sicurezza, le canalette delle autobetoniere devono essere opportunamente vincolate in modo da evitare gli spostamenti laterali, i sostegni della canaletta di cantiere devono essere idonee a sopportare il carico statico e dinamico del calcestruzzo.

- **Movimentazione con benna**

La benna permette di movimentare quantità ridotte di calcestruzzo in punti dislocati in modo disperso nella struttura in costruzione. Questa soluzione è preferibile nei casi in cui si operi a quote elevate rispetto al piano di consegna del calcestruzzo e sia installata una gru. La gru permette di distribuire in modo efficace il calcestruzzo entro un ampio raggio d'azione in virtù della capacità dei movimenti traslatori orizzontali, verticali e rotazionali. I limiti di questo sistema di movimentazione sono la portata ed i vincoli della gru. Si deve tener presente che, all'aumentare dello sbraccio, la gru riduce la propria capacità di sollevamento.

Le specifiche del calcestruzzo idoneo ad essere movimentato mediante benna riguardano solo la consistenza, che deve essere tale da far defluire il calcestruzzo dalla bocca senza segregare.

Per accompagnare il calcestruzzo entro le casseforme delle strutture verticali, evitando la caduta libera che



provoca la segregazione, è consigliabile l'impiego di un tubo getto che, immerso nella superficie del calcestruzzo fresco, ne permetta l'immissione dal basso o, in alternativa, l'applicazione alla bocca di scarico della benna di un tubo di gomma flessibile, avente diametro di 15 - 20 cm e lunghezza tale da ridurre la caduta libera del calcestruzzo a meno di 50 cm. Tale accorgimento è particolarmente importante per i calcestruzzi fluidi (consistenza \geq S4 secondo la norma UNI EN 206-1) e per quelli autocompattanti.

- **Movimentazione con nastri trasportatori**

Il trasporto mediante nastro è condizionato dalle proprietà del calcestruzzo che non deve segregare, non deve essiccare in modo rilevante e non deve "aderire" al nastro. Il nastro di ritorno, ripulito mediante gli specifici raschia-nastro, deve rimanere liberato dalla malta o pasta cementizia. Per evitare la segregazione allo scarico è opportuno predisporre, all'estremità del nastro, una tramoggia che permetta lo scarico verticale.

Nel caso in cui sia necessario utilizzare più di un nastro, per evitare la segregazione, è opportuno inserire una tramoggia per trasferire il calcestruzzo da un nastro all'altro. Per salvaguardare l'omogeneità del calcestruzzo è necessario stabilire ed ottimizzare la velocità di traslazione e la pendenza del nastro.

Questo tipo di movimentazione è idoneo per calcestruzzi di consistenza plastica (S3) o più rigidi, senza limitazioni per la dimensione massima dell'aggregato.

- **Movimentazione mediante pompa**

Le prestazioni operative delle pompe sono espresse in termini di potenza, portata e pressione massima d'esercizio, che condizionano la possibile distanza e prevalenza (altezza) di pompaggio del calcestruzzo.

Le caratteristiche della pompa: (portata, distanza ed altezza di pompaggio) devono essere prese in considerazione nell'organizzazione del cantiere in modo che il mezzo sia appropriato alle esigenze del getto.

Le pompe per calcestruzzo, in base alle loro caratteristiche, possono essere così classificate:

- pompe su autocarro, od autocarrate. Rappresentano il tipo di pompa più comune, sono usate nei cantieri in cui il braccio idraulico ha sufficiente spazio per muoversi ed il punto di posa del calcestruzzo dista 30-40 metri dalla pompa;
- pompe su autobetoniera, o auto-beton-pompe hanno capacità ridotta sia in termini di portata sia di distanza di trasporto, il loro impiego è dedicato ai cantieri di medio impegno. Spesso pompavano il solo calcestruzzo trasportato dalla betoniera stessa, ma il loro impiego non comporta l'impegno di una macchina dedicata;
- pompe carrellate. Sono usate in postazioni fisse, in grossi cantieri che richiedono frequenti pompaggi di consistenti quantitativi di calcestruzzo. Alla pompa sono collegati elementi di tubazione fissi ed, in alcuni casi (grattacieli, alte pile di ponti, ...), alla loro estremità è collegato un braccio idraulico di distribuzione. Le pompe carrellate trovano impiego anche nei piccoli cantieri ove non c'è spazio sufficiente (es.: nei centri storici) per posizionare una pompa autocarrata e la benna della gru non è in grado di raggiungere i punti di getto.



All'estremità della tubazione metallica di pompaggio generalmente è inserito un tubo flessibile che facilita la distribuzione del calcestruzzo entro le casseforme, ma che, di contro, induce una maggiore perdita di carico rispetto a quello metallico. Per motivi di sicurezza si deve evitare di sottoporre la tubazione flessibile a curve strette, ponendo attenzione ai possibili repentini scuotimenti dovuti ad aumenti della pressione di pompaggio.

Le tubazioni fisse devono essere disposte secondo un tracciato il più lineare possibile, evitando la formazione di curve strette. Per evitare pericolose espulsioni di calcestruzzo dovute a cedimenti delle tubazioni in pressione, è necessario verificare sistematicamente lo stato delle tubazioni e, in modo particolare, il loro stato di usura, nonché il corretto fissaggio degli elementi di congiunzione.

Nella stagione estiva è bene proteggere le tubazioni dall'esposizione diretta ai raggi solari in modo da limitarne il riscaldamento.

Prima di iniziare il pompaggio, la superficie interna della tubazione deve essere lubrificata con boiaccia cementizia o apposito additivo compatibile con il calcestruzzo. Una volta iniziato il flusso, il calcestruzzo stesso mantiene la superficie di contatto rivestita di boiaccia. La boiaccia cementizia di lubrificazione non può essere miscelata con il calcestruzzo ed immessa nei casseri.

Affinché l'operazione di pompaggio possa procedere in modo soddisfacente, è necessario che l'impasto sia alimentato in modo continuo, risulti uniforme, di buona qualità, omogeneamente mescolato e correttamente dosato, con aggregati di adeguato assortimento granulometrico. E' buona norma prevedere un diametro massimo dell'aggregato non eccedente un quarto del diametro della tubazione e non maggiore di 32 mm. Il calcestruzzo, spinto dal movimento alterno dei pistoni, deve poter fluire nelle tubazioni senza contraccolpi, in modo continuo. Nel caso in cui, a seguito delle esigenze di posa in opera, sia necessario interrompere il pompaggio, per impedirne l'intasamento, l'operatore della pompa opera brevi ed alterni movimenti di spinta ed aspirazione del calcestruzzo. Dopo 10 , 20 minuti d'interruzione, in relazione alla temperatura dell'ambiente, è necessario effettuare la pulizia del sistema.

È opportuno che, a lato dell'ordine (nelle specifiche) sia segnalata la previsione di pompare il calcestruzzo.

La consistenza ideale del calcestruzzo pompabile è compresa tra S3 - S5; i calcestruzzi più rigidi possono essere egualmente pompati senza problemi a condizione che abbiano una buona coesione. Nel caso del pompaggio verso il basso, è importante che sia corretta la composizione del calcestruzzo, giacché la depressione che si forma nel tubo può produrre il risucchio dell'acqua con conseguente problema d'intasamento.

La pompa deve essere disposta, specialmente in condizioni di clima caldo, il più possibile prossima al sito di messa in opera. Prima d'ogni utilizzo è necessario verificare il funzionamento e l'efficienza di tutte le parti della pompa stessa.

La messa in opera mediante pompa del calcestruzzo alleggerito preparato con argilla espansa richiede particolari avvertenze. L'aggregato leggero deve essere pre-saturato con acqua prima della miscelazione con gli altri



costituenti. Se l'aggregato non è saturo d'acqua, la pressione elevata che si stabilisce nella pompa e nelle tubazioni costringe l'acqua a migrare all'interno dei granuli con conseguenti problemi di bloccaggio.

A parità di portata, per il pompaggio dei calcestruzzi autocompattanti, si deve prevedere una maggiore pressione di quella necessaria al pompaggio dei calcestruzzi ordinari; per non sovraccaricare la pompa è opportuno ridurre la velocità di flusso aumentando la sezione dei tubi.

8.10.4.2 OPERAZIONI DI GETTO

Considerata l'importanza delle operazioni di getto, che riguardano la posa in opera del calcestruzzo e tutte le fasi relative, è necessario stabilire un programma di verifiche comprendenti:

- il coordinamento con la Direzione Lavori, con il progettista, con i laboratori esterni per ispezioni, verifiche, prelievi di campioni e prove a piè d'opera;
- l'istruzione/coordinamento con i fornitori e subappaltatori, per la consegna del calcestruzzo delle caratteristiche prescritte;
- nel caso di calcestruzzo preconfezionato, le istruzioni/ordini circa le prestazioni, il programma della fornitura, l'eventuale necessità della pompa con relative caratteristiche;
- l'istruzione agli operatori per organizzare la messa in opera, compattazione e stagionatura del calcestruzzo, in funzione dei volumi, delle sequenze e degli spessori dei getti, della movimentazione e vibrazione del materiale, della protezione e stagionatura della struttura, delle condizioni climatiche, nonché delle eventuali superfici di contatto.

L'impresa esecutrice è tenuta a comunicare con dovuto anticipo al Direttore dei Lavori il programma dei getti indicando:

- il luogo di getto;
- la struttura interessata dal getto;
- la classe di resistenza e di consistenza del calcestruzzo.

I getti dovrebbero avere inizio solo dopo che il Direttore dei Lavori ha verificato:

- la preparazione e rettifica dei piani di posa;
- la pulizia delle casseforme;
- la posizione e corrispondenza al progetto delle armature e del copriferro;
- la posizione delle eventuali guaine dei cavi di precompressione;
- la posizione degli inserti (giunti, water stop, ecc.);
- l'umidificazione a rifiuto delle superfici assorbenti o la stesura del disarmante.

Nel caso di getti contro terra è bene controllare che siano eseguite, in conformità alle disposizioni di progetto, le seguenti operazioni:



- la pulizia del sottofondo;
- la posizione di eventuali drenaggi;
- la stesa di materiale isolante e/o di collegamento.

8.10.4.3 SCARICO DEL CALCESTRUZZO ORDINARIO

Lo scarico del calcestruzzo dal mezzo di trasporto nelle casseforme si effettua applicando tutti gli accorgimenti atti ad evitare la segregazione.

È opportuno che l'altezza di caduta libera del calcestruzzo fresco, indipendentemente dal sistema di movimentazione e getto, non ecceda 50-80 cm e che lo spessore degli strati orizzontali di calcestruzzo, misurato dopo la vibrazione, non sia maggiore di 30 cm.

Si deve evitare di scaricare il calcestruzzo in cumuli da stendere poi successivamente con l'impiego dei vibrator, in quanto questo procedimento può provocare l'affioramento della pasta cementizia e la segregazione. Per limitare l'altezza di caduta libera del calcestruzzo, è opportuno utilizzare un tubo di getto che consenta al calcestruzzo di fluire all'interno di quello precedentemente messo in opera.

Nei getti in pendenza è opportuno predisporre dei cordolini d'arresto atti ad evitare la formazione di lingue di calcestruzzo tanto sottili da non poter essere compattate in modo efficace.

Nel caso di getti in presenza d'acqua è opportuno:

- adottare gli accorgimenti atti ad impedire che l'acqua dilavi il calcestruzzo e ne pregiudichi la regolare presa e maturazione;
- provvedere, con i mezzi più adeguati, alla deviazione dell'acqua e adottare miscele di calcestruzzo, coesive, con caratteristiche antidilavamento, preventivamente provate ed autorizzate dal Direttore dei Lavori;
- utilizzare una tecnica di messa in opera che permetta di gettare il calcestruzzo fresco dentro il calcestruzzo fresco precedentemente gettato, in modo da far rifluire il calcestruzzo verso l'alto, limitando così il contatto diretto tra l'acqua ed il calcestruzzo fresco in movimento.

8.10.4.4 SCARICO DEL CALCESTRUZZO AUTOCOMPATTANTE (SCC)

Il calcestruzzo autocompattante deve essere versato nelle casseforme in modo da evitare la segregazione e favorire il flusso attraverso le armature e le parti più difficili da raggiungere nelle casseforme. L'immissione per mezzo di una tubazione flessibile può facilitare la distribuzione del calcestruzzo. Se si usa una pompa, una tramoggia o se si fa uso della benna, il terminale di gomma deve essere predisposto in modo che il calcestruzzo possa distribuirsi omogeneamente entro la cassaforma; per limitare il tenore d'aria occlusa è opportuno che il tubo di scarico rimanga sempre immerso nel calcestruzzo.

Nel caso di getti verticali ed impiego di pompa, qualora le condizioni operative lo permettano, si suggerisce



di immettere il calcestruzzo dal fondo. Questo accorgimento favorisce la fuoriuscita dell'aria e limita la presenza di bolle d'aria sulla superficie.

L'obiettivo è raggiunto fissando al fondo della cassaforma un raccordo di tubazione per pompa, munito di saracinesca, collegato al terminale della tubazione della pompa.

Indicativamente un calcestruzzo autocompattante ben formulato ha una distanza di scorrimento orizzontale di circa 10 metri; tale distanza dipende comunque anche dalla densità delle armature.

8.10.4.5 RIPRESE DI GETTO

Per quanto possibile, i getti devono essere eseguiti senza soluzione di continuità, in modo da evitare le riprese e conseguire la necessaria continuità strutturale. Per ottenere ciò è opportuno ridurre al minimo il tempo di ricopertura tra gli strati successivi, in modo che, mediante vibrazione, si ottenga la monoliticità del calcestruzzo. Qualora siano inevitabili le riprese di getto, è necessario che la superficie del getto su cui si prevede la ripresa, sia lasciata quanto più possibile corrugata, alternativamente la superficie deve essere scalfita (e pulita dai detriti), in modo da migliorare l'adesione con il getto successivo. L'adesione può essere migliorata con specifici adesivi per ripresa di getto (resine), o con tecniche diverse che prevedono l'utilizzo d'additivi ritardanti o ritardanti superficiali da aggiungere al calcestruzzo o da applicare sulla superficie.

Anche se le soluzioni sopraindicate mirano ad ottenere il monolitismo tra i getti successivi, per assicurare la continuità strutturale, le riprese di getto devono essere orientate su piani quanto più possibili ortogonali alla direzione dei flussi di compressione che si destano poi nella struttura in servizio, in modo da garantire un'imposta efficace per tali compressioni.

Quando sono presenti armature metalliche (barre) attraversanti le superfici di ripresa, occorre fare sì che tali barre, in grado per la loro natura di resistere al taglio, possano funzionare più efficacemente come elementi tesi in tralicci resistenti agli scorrimenti, essendo gli elementi compressi costituiti da aste virtuali di calcestruzzo che, come si è detto in precedenza, abbiano a trovare una buona imposta ortogonale rispetto al loro asse (questo è ad esempio, il caso delle travi gettate in più riprese sulla loro altezza).

Tra le riprese di getto sono da evitare i distacchi, le discontinuità o le differenze d'aspetto e colore.

Nel caso di getti di calcestruzzo a vista, le disposizioni, progettuali o di capitolato, devono contenere indicazioni e specifiche riguardanti la posizione e le modalità esecutive delle riprese di getto.

Nelle strutture impermeabili dovrà essere garantita la tenuta all'acqua dei giunti di costruzione con accorgimenti, (da indicare nel progetto e nelle prescrizioni di capitolato) quali: la prescrizione di miscele impermeabili, l'interposizione di giunti waterstop, la continuità del getto.

8.10.5 COMPATTAZIONE DEL CALCESTRUZZO

Quando il calcestruzzo fresco è versato nella cassaforma, contiene molti vuoti e tasche d'aria racchiusa tra



gli aggregati grossolani rivestiti parzialmente da malta. Il volume di tale aria, che si aggira tra il 5 ed 20 %, dipende dalla consistenza del calcestruzzo, dalla dimensione della cassaforma, dalla distribuzione e dall'addensamento delle barre d'armatura e dal modo con cui il calcestruzzo è stato versato nella cassaforma.

Se il calcestruzzo indurisse in questa condizione risulterebbe disomogeneo, poroso, poco resistente e scarsamente aderente alle barre d'armatura. Per raggiungere le proprietà desiderate, il calcestruzzo deve essere compattato.

La compattazione è il processo mediante il quale le particelle solide del calcestruzzo fresco si serrano tra loro riducendo i vuoti. Tale processo può essere effettuato mediante: vibrazione, centrifugazione, battitura, assestamento.

I calcestruzzi con classi di consistenza S1 e S2, che allo stato fresco sono generalmente rigidi, richiedono una compattazione più energica dei calcestruzzi di classe S3 o S4, aventi consistenza plastica o plastica fluida.

La lavorabilità di un calcestruzzo formulato originariamente con poca acqua, non può essere migliorata aggiungendo acqua. Tale aggiunta penalizza la resistenza e dà luogo alla formazione di una miscela instabile che tende a segregare durante la messa in opera.

Quando necessario possono essere utilizzati degli additivi fluidificanti o, talvolta, superfluidificanti.

Nel predisporre il sistema di compattazione si deve prendere in considerazione la consistenza effettiva del calcestruzzo al momento della messa in opera che, per effetto della temperatura e della durata di trasporto, può essere inferiore a quella rilevata al termine dell'impasto.

8.10.5.1 COMPATTAZIONE MEDIANTE VIBRAZIONE

La vibrazione consiste nell'imporre al calcestruzzo fresco rapide vibrazioni che fluidificano la malta e drasticamente riducono l'attrito interno esistente tra gli aggregati. In questa condizione il calcestruzzo si assesta per effetto della forza di gravità, fluisce nelle casseforme, avvolge le armature ed espelle l'aria intrappolata. Al termine della vibrazione l'attrito interno ristabilisce lo stato di quiete e il calcestruzzo risulta denso e compatto.

I vibratorii possono essere: interni ed esterni.

I vibratorii interni, detti anche ad immersione o ad ago, sono i più usati nei cantieri, essi sono costituiti da una sonda o ago, contenente un albero eccentrico azionato da un motore tramite una trasmissione flessibile. Il loro raggio d'azione, in relazione al diametro, varia tra 0,2 e 0,6 m mentre la frequenza di vibrazione, quando il vibratore è immerso nel calcestruzzo, è compresa tra 90 e 250 Hz.

Per effettuare la compattazione l'ago vibrante è introdotto verticalmente, è spostato da punto a punto nel calcestruzzo, con tempi di permanenza da 5 a 30 sec. L'effettivo completamento della compattazione può essere valutato dall'aspetto della superficie, che non deve essere né porosa né eccessivamente ricca di malta.



L'estrazione dell'ago deve essere graduale ed effettuata in modo da permettere la richiusura del foro da esso lasciato. L'ago deve essere introdotto per l'intero spessore del getto fresco, e per 5-10 cm in quello sottostante, se questo è ancora lavorabile. In tal modo si ottiene un adeguato legame tra gli strati e si impedisce la formazione di un "giunto freddo" tra due strati di getti sovrapposti.

I cumuli che inevitabilmente si formano quando il calcestruzzo è versato nei casseri devono essere livellati inserendo il vibratore entro la loro sommità. Per evitare la segregazione, il calcestruzzo non deve essere spostato lateralmente con i vibratorii mantenuti in posizione orizzontale, operazione che comporterebbe un forte affioramento di pasta cementizia con contestuale sedimentazione degli aggregati grossi.

La vibrazione ottenuta affiancando il vibratore alle barre d'armatura è tollerata solo se: l'addensamento tra le barre impedisce l'ingresso del vibratore ed a condizione che, non ci siano sottostanti strati di calcestruzzo in fase d'indurimento.

Qualora il getto comporti la messa in opera di più strati, si dovrà programmare la consegna del calcestruzzo in modo che ogni strato sia disposto sul precedente quando questo è ancora allo strato plastico così da evitare i "giunti freddi".

I vibratorii esterni sono utilizzati generalmente negli impianti di prefabbricazione; possono comunque essere utilizzati anche nei cantieri quando la struttura è complessa o l'addensamento delle barre d'armatura limita o impedisce l'inserimento di un vibratore ad immersione.

I vibratorii superficiali applicano la vibrazione tramite una sezione piana appoggiata alla superficie del getto, in questo modo il calcestruzzo è sollecitato in tutte le direzioni e la tendenza a segregare è minima. Un martello elettrico può essere usato come vibratore superficiale se combinato con una piastra d'idonea sezione. Per consolidare sezioni sottili è utile l'impiego di rulli vibranti.

8.10.6 FESSURAZIONE DEL CALCESTRUZZO IN FASE PLASTICA

Nel calcestruzzo fresco in opera, nel periodo compreso tra la compattazione e l'inizio della presa - durante il quale per tempi variabili dell'ordine di alcune ore l'impasto rimane plastico - possono manifestarsi fenomeni fessurativi riconducibili:

- all'assestamento differenziale delle particelle solide che sedimentano sotto l'azione del campo gravitazionale;
- al ritiro plastico che si manifesta quando la velocità di evaporazione dell'acqua dalla superficie esposta dell'impasto è maggiore della velocità alla quale l'acqua essuda.

Il ritiro plastico è tipico degli elementi strutturali piani (lastre, solette, pavimentazioni). Non rappresenta invece alcun problema per i getti in forma chiusa nei quali la perdita di acqua per evaporazione è di poco conto.

L'assestamento in fase plastica dei solidi particellari e il ritiro plastico sono collegati, ma in diverso mo-



do, all'essudazione (affioramento o accumulo) dell'acqua sulla superficie orizzontale dei getti.

L'essudazione di acqua (fenomeno noto anche con il nome di bleeding) può essere riguardata come:

- segregazione di acqua dal resto dell'impasto;
- drenaggio di acqua al di fuori dell'impasto;
- conseguenza della sedimentazione dei solidi particellari, incapaci di trattenere tutta l'acqua usata per l'impasto.

L'affioramento può avvenire in modo uniforme, interessando l'intera superficie esposta o può essere localizzato in un certo numero di canalicoli. In quest'ultimo caso, l'acqua trascina le particelle più fini di cemento che si depositano intorno alla bocca dei canalicoli formando piccoli crateri.

L'essudazione localizzata è tipica degli impasti poco coesivi, quindi degli impasti magri e/o ricchi di acqua.

Sia l'essudazione localizzata che il trascinarsi di notevoli quantità di particelle di cemento sono di pregiudizio per le proprietà della cosiddetta "pelle" del calcestruzzo. Nel caso di pelle facilmente polverizzabile, è raccomandato di eliminare lo strato pulverulento mediante spazzolatura.

Generalmente l'acqua di essudazione che si forma sulla superficie del calcestruzzo è dannosa, può essere utile in alcune situazioni. E' di vantaggio nella finitura di una pavimentazione quando lubrifica gli utensili e per impedire che si crei una situazione d'incipiente fessurazione per ritiro plastico. Tuttavia se l'essudazione è eccessiva, il trattamento di finitura può provocare il richiamo in superficie di una sospensione finissima di cemento con conseguenze negative per le proprietà degli strati superficiali del calcestruzzo indurito.

L'essudazione di acqua del calcestruzzo fresco, può essere ridotta ricorrendo a uno o più dei seguenti accorgimenti:

- usando un cemento di maggiore superficie specifica;
- sostituendo parte del cemento con una o più aggiunte minerali;
- inglobando aria mediante aggiunta di un additivo aerante (le piccole bolle si comportano come aggregato fine elastico e perciò l'impasto si comporta come se contenesse un eccesso di sabbia fine);
- aumentando la velocità di idratazione del legante mediante aggiunta di un additivo accelerante. Così facendo aumenta la quantità di acqua che durante la fase plastica viene impegnata nelle reazioni di idratazione e, nel contempo, si riduce rapidamente l'"acqua libera" dell'impasto;
- diminuendo il rapporto a/c;
- aumentando il dosaggio di cemento e/o delle sole componenti fini (tendenzialmente sotto 0.5 mm) dell'aggregato.

Il fenomeno dell'essudazione è caratterizzato dalla velocità intesa come volume d'acqua che affiora nell'unità di tempo e di superficie ($\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{sec}$) e dalla quantità, assestamento totale per unità di altezza del calce-



struzzo. I due parametri possono essere determinati in cantiere (UNI 7122 Calcestruzzo fresco - determinazione della quantità d'acqua d'impasto essudata, UNI EN 12350 - 4 Prova sul calcestruzzo fresco - Indice di compattezza).

8.10.6.1 ASSESTAMENTO PLASTICO

La velocità di assestamento del calcestruzzo è dell'ordine di alcune decine di milionesimi di centimetri al secondo e poiché la durata del processo è anche breve, il fenomeno sarebbe difficilmente osservabile se sulla superficie dell'impasto non apparisse un velo di acqua.

In pratica l'andamento della sedimentazione è modificato in senso differenziale dalla presenza:

- di elementi fissi rappresentati dall'armatura orizzontale, staffe ed eventualmente dai bordi creati dai pannelli delle casseforme non perfettamente montati gli uni sugli altri;
- dalle variazioni brusche di sezione;
- dalla presenza di superfici inclinate;
- dalla interferenza dimensionale dell'aggregato grosso;
- dall'effetto parete.

Per questi motivi possono formarsi fessure o microfessure che seguono la direzione dei ferri sulla sommità di travi profonde e di lastre di grande spessore, nelle quali il rinforzo è tenuto rigidamente orizzontale, sulle superfici laterali dei pilastri in corrispondenza delle staffe e dei bordi di disallineamento in corrispondenza delle casseforme.

Nei pilastri di sezione ristretta, il calcestruzzo della sezione di testa tende ad autosostenersi in corrispondenza delle staffe e ciò può creare fessurazione ed inarcamento.

La fessurazione orizzontale spesso accompagnata da inarcamento e delaminazione della parte superiore del copriferro, può manifestarsi nelle lastre di superficie estesa quando l'armatura è costituita da ferri molto ravvicinati. La probabilità di inarcamento e delaminazione aumenta al diminuire dello spacing (distanza) tra i ferri. Quando la lastra è soggetta a cicli di gelo/disgelo o a corrosione dell'armatura, processi entrambi di natura espansiva, è lecito ipotizzare un distacco inaspettato di gran parte del copriferro.

La fessurazione da assestamento plastico può collegarsi a brusche variazioni di sezione come nel caso dell'allargamento di sezione della testa di un pilastro ove l'inarcamento è provocato dal rallentamento sui piani inclinati della velocità di sedimentazione.

Nelle lastre nervate la fessurazione è provocata dall'assestamento differenziale dell'impasto della soletta e delle nervature.

L'assestamento della soletta, essendo questa di spessore modesto, termina prima dell'assestamento dell'impasto in corrispondenza delle nervature.

Nel getto di una trave a T è buona regola gettare dapprima la sezione 1-2 e quindi attendere che l'acqua affio-



ri prima di completare il getto.

La presenza di piani inclinati dà luogo a maggiori gradienti di densità, alla formazione di microfessure e spesso a vuoti e cavità.

In un calcestruzzo l'aggregato grosso all'inizio si assesta senza vincoli, ma la caduta, a causa dell'interferenza dimensionale, si arresta prima che la sedimentazione delle particelle di cemento abbia avuto termine.

Solitamente, la sedimentazione degli strati sottili di sospensione di particelle di cemento - rimasti intrappolati tra e al di sotto dei granuli di aggregato grosso - procede fino al tempo dell'inizio presa cosicché, al di sotto degli elementi lapidei si raccoglie un velo d'acqua che può dare origine ad una microfessura o ad indebolimento del giunto pasta/aggregato.

L'andamento del processo di assestamento è influenzato, a causa dell'effetto parete, anche dall'ampiezza della sezione trasversale del calcestruzzo.

I solidi particellari a contatto con le pareti della cassaforma incontrano nel loro movimento maggiore resistenza rispetto ai solidi interni che sono separati da strati molto sottili d'acqua. L'effetto decelerante dovuto alla presenza della parete è trasmesso alle particelle contigue e via via a quelle più interne e nel tempo le differenze di velocità dovrebbero annullarsi. Tuttavia, è prevedibile che all'aumentare dell'ampiezza della sezione o al diminuire dell'altezza dello strato di impasto, il materiale della zona centrale sedimenti prima di essere raggiunto dall'effetto decelerante delle pareti.

L'effetto parete è operante anche nei pilastri e muri profondi; in questi casi il processo di assestamento può essere governato più dalla larghezza che dall'altezza del manufatto.

I vincoli che causano fessurazione e microfessurazione da assestamento plastico differenziale non possono, per la gran parte, essere evitati perché intrinseci alla costruzione. Pertanto, il danno fessurativo può essere minimizzato o annullato migliorando la coesione dell'impasto o, in alternativa, rivibrando l'impasto dopo che ha avuto luogo l'assestamento iniziale, cioè dopo 30'-60' dalla prima vibrazione.

8.10.6.2 RITIRO PLASTICO

Si manifesta entro le prime ore (2-4) quando la velocità di evaporazione dell'acqua sulla superficie del getto è maggiore della velocità alla quale l'acqua essuda. Il pericolo di fessurazione incombe dal momento in cui, con la scomparsa del velo liquido, la superficie del getto appare opaca.

Il ritiro plastico è quasi sempre accompagnato dalla formazione di fessure in quanto raramente la contrazione avviene in modo uniforme e d'altra parte entro le prime ore l'impasto è praticamente privo di estensibilità essendo la sua resistenza a trazione ancora troppo bassa.

Comunemente si formano fessure lineari corte - da alcuni centimetri a circa trenta - piuttosto larghe (2-3 mm), ma poco penetranti. Alla loro distribuzione contribuiscono la presenza del rinforzo e dei granuli di aggregato



grosso in vicinanza della superficie, la dispersione non uniforme dell'aggregato grosso e ogni eventuale impedimento alla contrazione.

Le fessure possono essere distribuite casualmente a mappa, ma nelle lastre possono anche formarsi fessure parallele, con angolo di 45° circa rispetto agli spigoli, distanziati tra loro da 0.2 ad 1 metro.

Quando il processo di essudazione è governato dalla velocità di evaporazione dell'acqua e la superficie del calcestruzzo diventa opaca, si forma una serie complessa di menischi con la concavità rivolta verso l'alto, cioè esposta all'aria. Al di sotto del lato convesso si generano pressioni capillari negative che conducono alla formazione di una zona corticale addensata. Quando le forze capillari non sono più scaricate dal flusso plastico della pasta, l'impasto risulterà soggetto a compressione laterale, si contrae e, se la contrazione è impedita, si ha fessurazione.

Considerata la causa del fenomeno e la geometria degli elementi strutturali coinvolti, il rischio di fessurazione da ritiro plastico è particolarmente elevato se l'operazione di getto avviene in ambiente secco, ventoso e con la temperatura dell'impasto piuttosto alta.

Le precauzioni da prendere per evitare un rapido essiccamento della superficie di una lastra possono essere necessarie anche in una giornata ventosa invernale ricordando che l'aumento della velocità di vento di soli 10 km/h ha, un effetto essiccante quasi equivalente ad un aumento di temperatura di 10°C.

Frequentemente l'essudazione è anche ridotta dall'assorbimento d'acqua da parte del letto di posa, da parte degli aggregati e/o delle casseforme.

Per evitare la fessurazione da ritiro plastico occorre prevenire o ridurre l'evaporazione dell'acqua entro i primi 30' - 60' dopo il getto prendendo uno o più dei seguenti provvedimenti:

- saturare gli aggregati, bagnare adeguatamente casseforme e terreno di posa;
- nella stagione estiva mantenere bassa la temperatura dell'impasto;
- ridurre l'intervallo di tempo tra la fine del getto e l'inizio delle procedure di stagionatura;
- erigere barriere frangivento;
- proteggere dall'insolazione (in condizioni critiche è opportuno programmare i tempi di lavoro in modo che il getto possa effettuarsi nel tardo pomeriggio o di sera);
- assicurarsi che la superficie del getto resti bagnata dopo la finitura fino a che non diventano applicabili le procedure di stagionatura (è raccomandato l'uso di teli bagnati, di fogli di plastica o di acqua nebulizzata).

8.11 STAGIONATURA E PROTEZIONE DEL CALCESTRUZZO

Dopo la messa in opera e la compattazione, il calcestruzzo deve essere stagionato e protetto dall'essiccamento in modo da:



- evitare l'interruzione dell'idratazione;
- ridurre il ritiro in fase plastica e nella fase iniziale dell'indurimento (1,7gg);
- far raggiungere un'adeguata resistenza meccanica alla struttura;
- ottenere un'adeguata compattezza e durabilità della superficie;
- migliorare la protezione nei riguardi delle condizioni climatiche (temperatura, umidità, ventilazione);
- evitare vibrazioni, impatti, o danneggiamenti sia alla struttura che alla superficie, ancora in fase di indurimento.

La stagionatura comprende i processi durante i quali il calcestruzzo fresco sviluppa gradualmente le sue proprietà per effetto della progressiva idratazione del cemento. La velocità di idratazione dipende dalle condizioni climatiche d'esposizione e dalle modalità di scambio d'umidità e calore tra il calcestruzzo e l'ambiente. Si definisce "ordinaria" la stagionatura del calcestruzzo che avviene a temperatura ambiente (5 , 35°C) con esclusione d'ogni intervento esterno di riscaldamento o raffreddamento. Per contro, si definisce stagionatura "accelerata" quella che si effettua con sistemi di maturazione ad alta temperatura e/o in particolari condizioni d'umidità e pressione. La stagionatura accelerata è utilizzata prevalentemente nella prefabbricazione, permette di ottenere rapidamente le resistenze operative necessarie a movimentare o installare i manufatti.

La presa e l'indurimento del calcestruzzo richiedono la disponibilità di un'idonea quantità d'acqua. L'acqua che è presente nel calcestruzzo fresco, all'atto del getto, deve rimanere disponibile fino a quando il volume iniziale dell'acqua e del cemento non è sostituito dai prodotti d'idratazione. L'idratazione del cemento progredisce solamente se la tensione di vapore dell'acqua contenuta nei pori è prossima al valore di saturazione ($UR \geq 90\%$). Gli impasti preparati con un basso contenuto in acqua, possono richiedere, nel corso della maturazione, un apporto esterno d'acqua.

La sensibilità del calcestruzzo nei riguardi della stagionatura dipende:

- dalla composizione: rapporto a/c, tipo e classe di cemento, qualità e quantità delle aggiunte e degli additivi; si ricordi che gli impasti preparati con cementi ad indurimento lento richiedono tempi di stagionatura umida più lunghi;
- dalla temperatura del calcestruzzo: la velocità d'indurimento a 35° C è doppia di quella che si sviluppa a 20° C che, a sua volta, è doppia di quella che si ha a 10° C;
- dalle condizioni ambientali esterne: umidità relativa, temperatura e velocità del vento.

La temperatura elevata del calcestruzzo e dell'ambiente, favorisce, la perdita d'acqua dei getti per evaporazione ma aumenta la velocità di reazione e quindi il grado d'idratazione nel tempo del cemento.

La temperatura elevata richiede una corretta stagionatura umida del getto, anche se i tempi necessari per raggiungere le resistenze prescritte sono più brevi. La temperatura di stagionatura elevata incrementa la resi-



stenza meccanica a breve termine ma può penalizzare quella finale (a lungo termine), a causa di un'idratazione meno completa del cemento.

In condizioni di bassa temperatura lo sviluppo dell'indurimento è più lento e si richiedono quindi tempi di maturazione più lunghi.

Per ridurre gli effetti negativi causati dalla temperatura esterna o dagli eccessivi aumenti di temperatura dovuti alla reazione d'idratazione del cemento si può modificare la temperatura del calcestruzzo fresco, riscaldando o raffreddando i costituenti.

8.11.1 GETTI IN CLIMA FREDDO

Si definisce "clima freddo" una condizione climatica in cui, per tre giorni consecutivi, si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- la temperatura media dell'aria è inferiore a 5 °C;
- la temperatura dell'aria non supera 10°C per più di 12 ore.

Prima del getto si deve verificare che tutte le superfici a contatto con il calcestruzzo siano a temperatura $\geq 5^{\circ}\text{C}$. La neve ed il ghiaccio, se presenti, devono essere rimossi immediatamente prima del getto dalle casseforme, dalle armature e dal fondo.

I getti all'esterno devono essere sospesi se la temperatura dell'aria è $\leq 0^{\circ}\text{C}$; tale limitazione non si applica nel caso di getti in ambiente protetto o qualora siano predisposti opportuni accorgimenti approvati dalla Direzione Lavori (es. riscaldamento dei costituenti il calcestruzzo, riscaldamento dell'ambiente, etc..).

Il calcestruzzo deve essere protetto dagli effetti del clima freddo durante tutte le fasi di preparazione, movimentazione, messa in opera, maturazione.

Si consiglia di coibentare la cassaforma fino al raggiungimento della resistenza prescritta; in fase di stagionatura, si consiglia di ricorrere all'uso di agenti anti-evaporanti nel caso di superfici piane, o alla copertura negli altri casi, e di evitare ogni apporto d'acqua sulla superficie.

Gli elementi a sezione sottile messi in opera in casseforme non coibentate, esposti sin dall'inizio a basse temperature ambientali richiedono un'attenta e sorvegliata stagionatura.

Nel caso in cui le condizioni climatiche portino al congelamento dell'acqua prima che il calcestruzzo abbia raggiunto una sufficiente resistenza alla compressione (5 N/mm²), il conglomerato può danneggiarsi in modo irreversibile.

Il valore limite (5 N/mm²) corrisponde ad un grado d'idratazione sufficiente a ridurre il contenuto in acqua libera e a formare un volume d'idrati in grado di ridurre gli effetti negativi dovuti al gelo.

Durante le stagioni intermedie e/o in condizioni climatiche particolari (alta montagna) nel corso delle quali c'è comunque possibilità di gelo, tutte le superfici del calcestruzzo vanno protette, dopo la messa in opera, per almeno 24 ore. La protezione nei riguardi del gelo durante le prime 24 ore non impedisce comunque un ritar-



do, anche sensibile, nell'acquisizione delle resistenze nel tempo.

Nella tabella seguente sono riportate le temperature consigliate per il calcestruzzo in relazione alle condizioni climatiche ed alle dimensioni del getto.

DIMENSIONE MINIMA DELLA SEZIONE (mm ²)			
<300	300-900	900-1800	>1800
TEMPERATURA MINIMA DEL CALCESTRUZZO AL MOMENTO DELLA MESSA IN OPERA			
13°C	10°C	7°C	5°C
MASSIMA VELOCITÀ DI RAFFREDDAMENTO PER LE SUPERFICI DEL CALCESTRUZZO AL TERMINE DEL PERIODO DI PROTEZIONE			
1.15°C/h	0.90°C/h	0.70°C/h	0.45°C/h

Durante il "periodo freddo" la temperatura del calcestruzzo fresco messo in opera nelle casseforme non dovrebbe essere inferiore ai valori riportati in tabella. In relazione alla temperatura ambiente ed ai tempi di attesa e di trasporto si deve prevedere un raffreddamento di 2 - 5°C tra il termine della miscelazione e la messa in opera.

Durante il periodo freddo è rilevante l'effetto protettivo delle casseforme: ad esempio, quelle metalliche offrono una protezione efficace solo se sono opportunamente coibentate.

Al termine del periodo di protezione, necessario alla maturazione, il calcestruzzo deve essere raffreddato gradatamente per evitare il rischio di fessure provocate dalla differenza di temperatura tra parte interna ed esterna, La diminuzione di temperatura sulla superficie del calcestruzzo, durante le prime 24 ore, non dovrebbe superare i valori riportati in tabella. Si consiglia di allontanare gradatamente le protezioni facendo in modo che il calcestruzzo raggiunga gradatamente l'equilibrio termico con l'ambiente.

8.11.2 GETTI IN CLIMA CALDO

Il clima caldo influenza la qualità sia del calcestruzzo fresco, che di quello indurito. Infatti provoca una troppo rapida evaporazione dell'acqua di impasto ed una velocità di idratazione del cemento eccessivamente elevata. Le condizioni che caratterizzano il clima caldo sono:

- temperatura ambiente elevata;
- bassa umidità relativa;
- forte ventilazione (non necessariamente nella sola stagione calda);
- forte irraggiamento solare;
- temperatura elevata del calcestruzzo.

I potenziali problemi per il calcestruzzo fresco riguardano:

- aumento del fabbisogno d'acqua;
- veloce perdita di lavorabilità e conseguente tendenza a rapprendere nel corso della messa in opera;
- riduzione del tempo di presa con connessi problemi di messa in opera, di compattazione, di finitura e rischio di formazione di giunti freddi;



- tendenza alla formazione di fessure per ritiro plastico;
- difficoltà nel controllo dell'aria inglobata.

I potenziali problemi per il calcestruzzo indurito riguardano:

- riduzione della resistenza a 28 giorni e penalizzazione nello sviluppo delle resistenze a scadenze più lunghe, sia per la maggior richiesta di acqua, sia per effetto del prematuro indurimento del calcestruzzo;
- maggior ritiro per perdita di acqua;
- probabili fessure per effetto dei gradienti termici (picco di temperatura interno e gradiente termico verso l'esterno);
- ridotta durabilità per effetto della diffusa micro-fessurazione;
- forte variabilità nella qualità della superficie dovuta alle differenti velocità di idratazione;
- maggior permeabilità.

Durante le operazioni di getto la temperatura dell'impasto non deve superare 35°C; tale limite dovrà essere convenientemente ridotto nel caso di getti di grandi dimensioni.

Esistono diversi metodi per raffreddare il calcestruzzo; il più semplice consiste nell'utilizzo d'acqua molto fredda o di ghiaccio in sostituzione di parte dell'acqua d'impasto. Per ritardare la presa del cemento e facilitare la posa e la finitura del calcestruzzo si possono aggiungere additivi ritardanti, o fluidificanti ritardanti di presa, preventivamente autorizzati dalla Direzione Lavori.

8.11.3 SVILUPPO DI CALORE: GETTI DI MASSA

La reazione d'idratazione del cemento è esotermica, conseguentemente la temperatura, specialmente nei getti di grosse dimensioni, nei quali il calore non si disperde rapidamente (condizioni quasi adiabatiche), può raggiungere valori elevati.

Prima l'innalzamento, poi la successiva diminuzione della temperatura, per effetto delle variazioni dimensionali impedito inducono tensioni di trazione e di compressione tra parti interne ed esterne dei getti

Nel periodo iniziale, l'innalzamento termico provocato dall'idratazione, non produce tensioni elevate all'interno del calcestruzzo giacché il modulo elastico è ancora basso e le sollecitazioni sono compensate dalle deformazioni plastiche.

La velocità e l'intensità dello sviluppo di calore del calcestruzzo dipendono dal tipo, classe e dosaggio (kg/m³) del cemento e dalla presenza di aggiunte attive (es.: ceneri, fumi di silice, loppa), dal dosaggio e natura degli altri costituenti e dalla temperatura iniziale dei materiali. L'innalzamento termico, a sua volta, dipende dalla possibilità di scambio termico del getto e dalle sue caratteristiche geometriche.

La temperatura del calcestruzzo all'interno di un getto non dovrebbe superare 70°C; temperature superiori pos-



sono essere ammesse a condizione che siano verificati gli eventuali effetti collaterali sulle altre proprietà del calcestruzzo.

Per limitare le tensioni d'origine termica occorre:

- controllare gli innalzamenti termici delle diverse parti della struttura, ponendo attenzione alla differenza di temperatura tra le diverse parti stesse;
- evitare/ridurre i vincoli esterni che impediscono le deformazioni.

È opportuno rispettare i seguenti limiti:

- temperatura massima del calcestruzzo $\leq 70^{\circ}\text{C}$;
- $\Delta T \text{ max} \leq 20^{\circ}\text{C}$ fra le varie parti della struttura;
- $\Delta T \text{ max} \leq 15^{\circ}\text{C}$ in prossimità dei giunti di costruzione o nelle sezioni di dimensioni molto variabili.

Per limitare il rischio delle fessure superficiali, dovute agli effetti termici, è opportuno proteggere adeguatamente la struttura in modo da ridurre il ΔT fra l'interno e l'esterno.

Particolare attenzione deve essere posta ai getti di grosse dimensioni, in cui l'inerzia termica della parte interna ed il rapido raffreddamento di quella esterna, può provocare stati di coazione. Il progettista e/o la Direzione Lavori possono prescrivere la verifica degli innalzamenti termici e dei gradienti termici in diversi punti di una sezione di calcestruzzo, facendo predisporre termocoppie all'interno delle casseforme ed opportuni interventi di coibentazione della struttura o di variazione della composizione del calcestruzzo.

8.11.4 PROTEZIONE TERMICA DURANTE LA STAGIONATURA

Di seguito sono descritti i più comuni sistemi di protezione termica adottabili nei getti di cantiere:

- Cassaforma isolante:
- Il $\Delta T \leq 20^{\circ}\text{C}$ può essere rispettato se si usa una cassaforma isolante, es. legno compensato con spessore ≥ 2 cm, o se il getto si trova contro terra;
- Sabbia e foglio di polietilene:
- la parte superiore del getto si può proteggere con un foglio di polietilene coperto con 7-8 cm di sabbia. Il foglio di polietilene ha anche la funzione di mantenere la superficie pulita e satura d'umidità;
- Immersione in leggero strato d'acqua:
- la corretta stagionatura è assicurata mantenendo costantemente umida la struttura messa in opera. Nel caso di solette e getti a sviluppo orizzontale si suggerisce di creare un cordolo perimetrale che permette di mantenere la superficie costantemente ricoperta da alcuni centimetri d'acqua.



- Occorre porre attenzione, in condizioni di forte ventilazione, alla rapida escursione della temperatura sulla superficie per effetto dell'evaporazione;
- Coibentazione con teli flessibili:
- sono ideali nelle condizioni invernali, in quanto permettono di trattenere il calore nel getto, evitando la dispersione naturale; si deve tener conto, tuttavia, che, nella movimentazione, le coperte possono essere facilmente danneggiate.

Al fine di assicurare alla struttura un corretto sistema di stagionatura in funzione delle condizioni ambientali, della geometria dell'elemento e dei tempi di scasseratura previsti, occorre prevedere ed eseguire in cantiere una serie di verifiche che assicurino l'efficacia delle misure di protezione adottate.

8.11.5 DURATA DELLA STAGIONATURA

Con il termine "durata di stagionatura" s'intende il periodo che intercorre tra la messa in opera ed il tempo in cui il calcestruzzo ha raggiunto le caratteristiche essenziali desiderate. Per l'intera durata della stagionatura il calcestruzzo necessita d'attenzioni e cure affinché la sua maturazione possa avvenire in maniera corretta. La durata di stagionatura deve essere prescritta in relazione alle proprietà richieste per la superficie del calcestruzzo (resistenza meccanica e compattezza) e per la classe d'esposizione. Se la classe di esposizione prevista è limitata alle classi X0 e XC1, il tempo minimo di protezione non deve essere inferiore a 12 ore, a condizione che il "tempo di presa" sia inferiore a 5 ore e che la temperatura della superficie del calcestruzzo sia superiore a 5°C.

Se il calcestruzzo è esposto a classi d'esposizione diverse da X0 o XC1 la durata di stagionatura deve essere estesa fino a quando il calcestruzzo ha raggiunto, sulla sua superficie, almeno il 50% della resistenza media, o il 70% della resistenza caratteristica, previste dal progetto.

L'indicazione circa la durata di stagionatura, necessaria ad ottenere la durabilità ed impermeabilità dello strato superficiale, non deve essere confusa con il tempo necessario al raggiungimento della resistenza prescritta per la rimozione delle casseforme ed i conseguenti aspetti di sicurezza strutturale.

Per limitare la perdita d'acqua per evaporazione si adottano i seguenti metodi:

- mantenere il getto nelle casseforme per un tempo adeguato (3 ,7 gg);
- coprire la superficie del calcestruzzo con fogli di plastica, a tenuta di vapore, assicurati ai bordi e nei punti di giunzione;
- mettere in opera coperture umide sulla superficie in grado di proteggere dalla essiccazione;
- mantenere umida la superficie del calcestruzzo con l'apporto di acqua;
- applicare prodotti specifici (filmogeni antievaporanti) per la protezione delle superfici.

I prodotti filmogeni di protezione "curing" non possono essere applicati lungo i giunti di costruzione, sulle riprese di getto o sulle superfici che devono essere trattate con altri materiali, a meno che il prodotto non



venga completamente rimosso prima delle operazioni o che si sia verificato che non ci siano effetti negativi nei riguardi dei trattamenti successivi, salvo specifica deroga da parte della Direzione Lavori. Per eliminare il film dello strato protettivo dalla superficie del calcestruzzo si può utilizzare la sabbiatura o l'idropulitura con acqua in pressione. La colorazione del prodotto di "curing" serve a rendere visibili le superfici trattate. Si devono evitare, nel corso della stagionatura, i ristagni d'acqua sulle superfici che rimarranno a vista.

Nel caso in cui siano richieste particolari caratteristiche per la superficie del calcestruzzo, quali la resistenza all'abrasione o durabilità, è opportuno aumentare il tempo di protezione e maturazione.

8.11.6 PRESCRIZIONI PER UNA CORRETTA STAGIONATURA

Per una corretta stagionatura del calcestruzzo è necessario seguire le seguenti disposizioni:

- Prima della messa in opera:
 - si dovrà saturare a rifiuto il sottofondo e le casseforme di legno oppure isolare il sottofondo con fogli di plastica e impermeabilizzare le casseforme con disarmante;
 - la temperatura del calcestruzzo al momento della messa in opera deve essere $\leq 30^{\circ}\text{C}$, raffreddando, se necessario, gli aggregati e l'acqua di miscela.
- Durante della messa in opera:
 - erigere temporanee barriere frangivento per ridurre la velocità sulla superficie del calcestruzzo;
 - erigere protezioni temporanee contro l'irraggiamento diretto del sole;
 - proteggere il calcestruzzo con coperture temporanee, quali fogli di polietilene nell'intervallo fra la messa in opera e la finitura;
 - ridurre il tempo fra la messa in opera e l'inizio della stagionatura protetta.
- Dopo della messa in opera:
 - Minimizzare l'evaporazione proteggendo il calcestruzzo immediatamente dopo la finitura con membrane impermeabili, umidificazione a nebbia o copertura;
 - La massima temperatura ammissibile all'interno delle sezioni è di 70°C ;
 - La differenza massima di temperatura fra l'interno e l'esterno è di 20°C ;
 - La massima differenza di temperatura fra il calcestruzzo messo in opera e le parti già indurite o altri elementi della struttura è di 15°C .

E' compito della Direzione Lavori specificare le modalità di ispezione e di controllo.

8.11.7 DISARMO

Il disarmo comprende le fasi che riguardano la rimozione delle casseforme e delle strutture di supporto; queste



non possono essere rimosse prima che il calcestruzzo abbia raggiunto la resistenza sufficiente a:

- soportare le azioni applicate;
- evitare che le deformazioni superino le tolleranze specificate ;
- resistere ai deterioramenti di superficie dovuti al disarmo.

Durante il disarmo è necessario evitare che la struttura subisca colpi, sovraccarichi e deterioramenti.

I carichi sopportati da ogni centina devono essere rilasciati gradatamente, in modo tale che gli elementi di supporto contigui non siano sottoposti a sollecitazioni brusche ed eccessive.

La stabilità degli elementi di supporto e delle casseforme deve essere assicurata e mantenuta durante l'annullamento delle reazioni in gioco e lo smontaggio. La procedura di puntellatura e di rimozione dei puntelli è bene sia oggetto di un'apposita nota progettuale (di Capitolato o della Direzione Lavori) in cui dovrà essere specificato come procedere al fine di ridurre ogni rischio per l'incolumità di persone e cose ed ottenere le prestazioni attese. Il disarmo deve avvenire gradatamente adottando i provvedimenti necessari ad evitare brusche sollecitazioni ed azioni dinamiche. Infatti, l'eliminazione di un supporto dà luogo, nel punto di applicazione, ad una repentina forza uguale e contraria a quella esercitata dal supporto (per carichi verticali, si tratta di forze orientate verso il basso, che danno luogo ad impropri aumenti di sollecitazione delle strutture). Il disarmo non deve avvenire prima che la resistenza del conglomerato abbia raggiunto il valore necessario in relazione all'impiego della struttura all'atto del disarmo, tenendo anche conto delle altre esigenze progettuali e costruttive.

Si può procedere alla rimozione delle casseforme dai getti solo quando è stata raggiunta la resistenza indicata dal progettista e comunque non prima dei tempi prescritti nei decreti attuativi della Legge n° 1086/71; in ogni caso il disarmo deve essere autorizzato e concordato con la Direzione Lavori.

Si deve porre attenzione ai periodi freddi, quando le condizioni climatiche rallentano lo sviluppo delle resistenze del calcestruzzo, come pure al disarmo ed alla rimozione delle strutture di sostegno delle solette e delle travi. In caso di dubbio, è opportuno verificare la resistenza meccanica reale del calcestruzzo.

8.11.8 CONTROLLO DEL CALCESTRUZZO IN OPERA

Le "Nuove Norme tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14.01.2008) prevedono esplicitamente (p.11.2.5) l'effettuazione di un controllo di accettazione del calcestruzzo in relazione alla resistenza caratteristica a compressione prescritta. Qualora i valori di resistenza a compressione dei provini prelevati durante il getto non soddisfino i criteri di accettazione della classe di resistenza caratteristica prevista nel progetto, o qualora sorgano dubbi sulla qualità del calcestruzzo, è facoltà del Direttore dei Lavori richiedere l'effettuazione di prove direttamente sulle strutture. In questi casi si dovrà tenere nel debito conto gli effetti che sui prelievi in opera hanno avuto la posa in opera e la stagionatura del calcestruzzo, per tale ragione la verifica od il prelievo del calcestruzzo indurito non può essere sostitutivo dei controlli



d'accettazione da eseguirsi su provini prelevati e stagionati in conformità alle relative norme UNI.

La conformità della resistenza non implica necessariamente la conformità nei riguardi della durabilità o di altre caratteristiche specifiche del calcestruzzo messo in opera, analogamente la non conformità della resistenza valutata in una posizione non implica la non conformità di tutto il calcestruzzo messo in opera.

9. ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili qualificati secondo le procedure di cui al paragrafo 11.3.1.2 del DM 17 gennaio 2018 e controllati con le modalità riportate nel paragrafo 11.3.2.11 del DM 17 gennaio 2018.

9.1 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO B450C

L'acciaio per calcestruzzo armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali della tensione di snervamento e della tensione a carico massimo da utilizzare nei calcoli:

fynom	450 N/mm ²
ftnom	540 N/mm ²

e deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella:

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento	fyk ≥fynom	5.0
Tensione caratteristica a carico massimo	ftk ≥ftnom	5.0
	(ft/fy)k ≥1.15	10.0
	<1.35	
	(fy/fynom)k ≤1.25	10.0
Allungamento	(Agt)k ≥7.5%	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
φ<12mm	4φ	
12≤φ≤16mm	5φ	
per 16≤φ≤25mm	8φ	
per 25≤φ≤40mm	10φ	

Per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche vale quanto indicato al paragrafo 11.3.2.3 del DM 17 gennaio 2018.

9.2 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO B450A

L'acciaio per calcestruzzo armato B450A, caratterizzato dai medesimi valori nominali delle tensioni di snervamento e della tensione a carico massimo dell'acciaio B450C, deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella:

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento	fyk ≥fynom	5.0
Tensione caratteristica a carico massimo	ftk ≥ftnom	5.0



	(ft/fy)k	≥1.05	10.0
	(fy/fynom)k	≤1.25	10.0
Allungamento	(Agt)k	≥2.5%	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:			
φ<10mm		4φ	

9.3 ACCERTAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE

Per l'accertamento delle proprietà meccaniche di cui alle precedenti tabelle si applica la norma UNI EN ISO 15630-1:2010.

Le proprietà meccaniche dei campioni ottenuti da rotolo raddrizzato, reti e tralicci sono determinate su provette mantenute per 60 (+15, -0) minuti a 100 ± 10 °C e successivamente raffreddate in aria calma a temperatura ambiente.

In ogni caso, qualora lo snervamento non sia chiaramente individuabile, si sostituisce fy con f(0,2).

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

9.4 CARATTERISTICHE DIMENSIONALI E DI IMPIEGO

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

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

La sagomatura e/o l'assemblaggio possono avvenire:

- in cantiere, sotto la vigilanza della Direzione Lavori;
- in centri di trasformazione, solo se provvisti dei requisiti di cui al paragrafo 11.3.1.7 del DM 17 gennaio 2018.

Tutti gli acciai per calcestruzzo armato devono essere ad aderenza migliorata, aventi cioè una superficie dotata di nervature o dentellature trasversali, uniformemente distribuite sull'intera lunghezza, atte a garantire adeguata aderenza tra armature e conglomerato cementizio.

Per quanto riguarda la marchiatura delle barre e dei rotoli vale quanto indicato al paragrafo 11.3.1.4 del DM 17 gennaio 2018.

Per la documentazione di accompagnamento delle forniture di acciaio provenienti dallo stabilimento di produzione o da un distributore intermedio, vale quanto indicato al paragrafo 11.3.1.5 del DM 17 gennaio 2018; per quanto riguarda i prodotti pre-sagomati o pre-assemblati vale quanto indicato al § 11.3.1.7.



Tutti i prodotti sono caratterizzati dal diametro φ della barra tonda liscia equipesante, calcolato nell'ipotesi che la densità dell'acciaio sia pari a 7,85 kg/dm³.

Gli acciai B450C, di cui al paragrafo 11.3.2.1 del DM 17 gennaio 2018, possono essere impiegati in barre di diametro φ compreso tra 6 e 40 mm.

Per gli acciai B450A, di cui al paragrafo 11.3.2.2 del DM 17 gennaio 2018 il diametro φ delle barre deve essere compreso tra 5 e 10 mm.

L'uso di acciai forniti in rotoli è ammesso, senza limitazioni, per diametri fino a $\varphi \leq 16$ mm per B450C e fino a $\varphi \leq 10$ mm per B450A.

L'acciaio in rotoli deve essere utilizzato direttamente per sagomatura e assemblaggio ed esclusivamente da un Centro di Trasformazione di cui al §11.3.1.7 oppure da un fabbricante per la produzione di reti o tralicci elettrosaldati di cui al § 11.3.2.5. Non è consentito altro impiego di barre d'acciaio provenienti dal raddrizzamento di rotoli.

Per quanto riguarda le tolleranze dimensionali si fa riferimento a quanto previsto nella UNI EN 10080:2005.

9.5 RETI E TRALICCI ELETTROSALDATI

Gli acciai delle reti e tralicci elettrosaldati devono essere saldabili. L'interasse delle barre non deve superare, nelle due direzioni, 330mm.

I tralicci e le reti sono prodotti reticolari assemblati in stabilimento mediante elettrosaldature, eseguite da macchine automatiche in tutti i punti di intersezione.

Per le reti ed i tralicci costituiti con acciaio B450C gli elementi base devono avere diametro φ che rispetta la limitazione : $6\text{mm} \leq \varphi \leq 16\text{mm}$.

Per le reti ed i tralicci costituiti con acciaio B450A gli elementi base devono avere diametro φ che rispetta la limitazione : $5\text{mm} \leq \varphi \leq 10\text{mm}$.

Il rapporto tra i diametri delle barre componenti reti e tralicci deve essere:

$$\varphi_{\min}/\varphi_{\max} \geq 0.6$$

I nodi delle reti devono resistere ad una forza di distacco determinata in accordo con la norma UNI EN ISO 15630-2:2010 pari al 25% della forza di snervamento della barra, da computarsi per quella di diametro maggiore sulla tensione di snervamento pari a 450 N/mm².

Oltre a quanto sopra citato, con riferimento ai procedimenti di saldatura non automatizzati ed ai saldatori di reti e tralicci elettrosaldati, si applicano la norma UNI EN ISO 17660-1:2007 per i giunti saldati destinati alla trasmissione dei carichi ed UNI EN 17660-2:2007 per i giunti saldati non destinati alla trasmissione dei carichi.

In ogni elemento di rete o traliccio le singole armature componenti devono essere della stessa classe di acciaio. Nel caso dei tralicci è ammesso l'uso di elementi di collegamento fra correnti superiori ed inferiori



aventi superficie liscia purché realizzate con acciaio B450A oppure B450C.

In ogni caso il fabbricante deve procedere alla qualificazione del prodotto finito, rete o traliccio, secondo le procedure di cui al punto 11.3.2.11 del DM 17 gennaio 2018.

La produzione di reti e tralicci elettrosaldati deve essere effettuata a partire da materiale di base qualificato.

Nel caso di reti e tralicci formati con elementi base prodotti nello stesso stabilimento, la marchiatura del prodotto finito può coincidere con quella dell'elemento base.

Nel caso di reti e tralicci formati con elementi base prodotti in altro stabilimento, deve essere apposta su ogni confezione di reti o tralicci un'apposita etichettatura con indicati tutti i dati necessari per la corretta identificazione del prodotto e del fabbricante delle reti e dei tralicci stessi. Il Direttore dei Lavori, al momento dell'accettazione della fornitura in cantiere, deve verificare la presenza della predetta etichettatura.

9.6 SALDABILITÀ

L'analisi chimica effettuata su colata e l'eventuale analisi chimica di controllo effettuata sul prodotto finito devono soddisfare le limitazioni riportate nella seguente tabella, dove il calcolo del carbonio equivalente C_{eq} è effettuato con la seguente formula:

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

in cui i simboli chimici denotano il contenuto degli elementi stessi espresso in percentuale.

		ANALISI DI PRODOTTO	ANALISI DI COLATA
CARBONIO	C	0.24	0.22
FOSFORO	P	0.055	0.050
ZOLFO	S	0.055	0.050
RAME	Cu	0.85	0.80
AZOTO	N	0.014	0.012
CARBONIO EQUIVALENTE	C_{eq}	0.52	0.50

È possibile eccedere il valore massimo di C dello 0.03% in massa, a patto che il valore del C_{eq} sia ridotto dello 0.02% in massa.

Contenuti di azoto più elevati sono consentiti in presenza di una sufficiente quantità di elementi che fissano l'azoto stesso.

9.7 TOLLERANZE DIMENSIONALI

La deviazione ammissibile per la massa nominale per metro deve essere come riportato dalla seguente tabella.

DIAMETRO NOMINALE	$5 \leq \varphi \leq 8$	$8 < \varphi \leq 40$
TOLLERANZA IN % SULLA SEZIONE AMMESSA PER L'IMPIEGO	± 6	± 4.5



9.8 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori e devono essere effettuati, entro 30 giorni dalla data di consegna del materiale, a cura di un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.

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

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

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

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

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

I valori di resistenza ed allungamento di ciascun campione, accertati in accordo con il § 11.3.2.3, da eseguirsi comunque prima della messa in opera del prodotto riferiti ad uno stesso diametro, devono essere compresi fra i valori massimi e minimi riportati nelle Tabelle seguenti, rispettivamente per barre e reti e tralicci:

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



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

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

Ove anche da tale accertamento i limiti dichiarati non risultino rispettati, il controllo deve estendersi, previo avviso al fabbricante nel caso di fornitura di acciaio non lavorato presso un centro di trasformazione, o al centro di trasformazione, a 25 campioni, applicando ai dati ottenuti la formula generale valida per controlli sistematici in stabilimento (Cfr. § 11.3.2.10.1.3).

L'ulteriore risultato negativo comporta l'inidoneità della partita e la trasmissione dei risultati al fabbricante, nel caso di fornitura di acciaio non lavorato presso un centro di trasformazione, o al centro di trasformazione, che sarà tenuto a farli inserire tra i risultati dei controlli statistici della sua produzione. Analoghe norme si applicano ai controlli di duttilità, aderenza e distacco al nodo saldato: un singolo risultato negativo sul primo prelievo comporta l'esame di sei nuovi campioni dello stesso diametro, un ulteriore singolo risultato negativo comporta l'inidoneità della partita.

Inoltre il direttore dei lavori deve comunicare il risultato anomalo al Servizio tecnico centrale.

I certificati relativi alle prove meccaniche degli acciai devono riportare l'indicazione del marchio identificativo di cui al § 11.3.1.4 delle presenti Norme tecniche, rilevato sui campioni da sottoporre a prova a cura del laboratorio incaricato dei controlli. Ove i campioni fossero sprovvisti di tale marchio, oppure il marchio non dovesse rientrare fra quelli depositati presso il Servizio tecnico centrale, di ciò deve essere riportata specifica annotazione sul certificato di prova.

Il prelievo dei campioni va effettuato a cura del Direttore dei Lavori o di un tecnico di sua fiducia che deve assicurare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati per le prove al laboratorio incaricato siano effettivamente quelli da lui prelevati.

Qualora la fornitura di elementi sagomati o assemblati, provenga da un Centro di trasformazione, il Direttore dei Lavori, dopo essersi accertato preliminarmente che il suddetto Centro di trasformazione sia in possesso dei requisiti previsti al § 11.3.1.7, può recarsi presso il medesimo Centro di trasformazione ed effettuare in stabilimento tutti i controlli di accettazione prescritti al presente paragrafo. In tal caso il prelievo dei campioni viene effettuato dal Direttore Tecnico del Centro di trasformazione secondo le disposizioni del Direttore dei Lavori; quest'ultimo deve assicurare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni invia-



ti per le prove da effettuarsi presso il laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001 incaricato delle prove di accettazione in cantiere, siano effettivamente quelli prelevati, nonché sottoscrivere la relativa richiesta di prove contenente l'indicazione delle strutture cui si riferisce ciascun prelievo. In caso di mancata sottoscrizione della richiesta di prove da parte del Direttore dei Lavori, le certificazioni emesse dal laboratorio non possono assumere valenza ai sensi del presente decreto e di ciò ne deve essere fatta esplicita menzione sul certificato stesso.

I certificati emessi dai laboratori devono obbligatoriamente contenere almeno:

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

I certificati devono riportare, inoltre, l'indicazione del marchio identificativo rilevato a cura del laboratorio incaricato dei controlli, sui campioni da sottoporre a prove. Ove i campioni fossero sprovvisti di tale marchio, oppure il marchio non dovesse rientrare fra quelli depositati presso il Servizio Tecnico Centrale, le certificazioni emesse dal laboratorio non possono assumere valenza ai sensi delle presenti norme e di ciò ne deve essere fatta esplicita menzione sul certificato stesso.

9.9 PROVE DI ADERENZA

Ai fini della qualificazione, i prodotti in barre e in rotolo devono superare con esito positivo prove di aderenza conformemente al metodo Beam-test da eseguirsi presso uno dei laboratori di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001, con le modalità specificate nella norma UNI EN 10080:2005.

Le tensioni di aderenza ricavate devono soddisfare le seguenti relazioni:

$$\tau_m \geq 0.098 (80 - 1.2\varphi)$$

$$\tau_r \geq 0.098 (130 - 1.9\varphi)$$

essendo:

- φ il diametro nominale del campione in mm;



- il valore medio della tensione di aderenza in Mpa calcolata in corrispondenza di uno scorrimento pari a 0.01, 0.1 ed 1 mm;
- la tensione di aderenza massima al collasso.

Le prove devono essere estese ad almeno tre diametri, come segue:

- uno nell'intervallo $5 \leq \varphi \leq 10\text{mm}$ (barre) e $5 \leq \varphi \leq 8\text{mm}$ (rotoli);
- uno nell'intervallo $12 \leq \varphi \leq 18\text{mm}$ (barre) e $10 \leq \varphi \leq 14\text{mm}$ (rotoli);
- uno pari al diametro massimo (barre e rotoli).

Per le verifiche periodiche della qualità e per le verifiche delle singole partite, non è richiesta la ripetizione delle prove di aderenza quando se ne possa determinare la rispondenza nei riguardi delle caratteristiche e delle misure geometriche, con riferimento alla serie di barre che hanno superato le prove stesse con esito positivo.

Con riferimento sia all'acciaio nervato che all'acciaio dentellato, per accertare la rispondenza delle singole partite nei riguardi delle proprietà di aderenza, si valuteranno su 3 campioni per ciascun diametro considerato, conformemente alle procedure riportate nella norma UNI EN ISO 15630-1:2010:

- il valore dell'area relativa di nervatura f_r , per l'acciaio nervato;
- il valore dell'area relativa di dentellatura f_p , per l'acciaio dentellato.

Il valore minimo di tali parametri è di seguito riportato:

		Barre	Rotoli
per $5 \leq \varnothing \leq 6\text{ mm}$	f_r oppure $f_p \geq$	0.035	0.037
per $6 < \varnothing \leq 12\text{ mm}$	f_r oppure $f_p \geq$	0.040	0.042
per $\varnothing > 12\text{ mm}$	f_r oppure $f_p \geq$	0.056	0.059

Nel certificato di prova, oltre agli esiti delle verifiche di cui sopra, devono essere descritte le caratteristiche geometriche della sezione e delle nervature ovvero dentellature.

10. ACCIAIO PER STRUTTURE METALLICHE E PER STRUTTURE COMPOSTE

10.1 GENERALITÀ

Per la realizzazione di strutture metalliche e di strutture composte si dovranno utilizzare acciai conformi alle norme armonizzate UNI EN 10025, UNI EN 10210 e UNI EN 10219-1, recanti la Marcatura CE, cui si applica il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione 2+, e per i quali si rimanda a quanto specificato al punto A del paragrafo 11.1 del DM 17 gennaio 2018. Solo per i prodotti per cui non sia applicabile la marcatura CE si rimanda a quanto specificato al punto B del § 11.1 e si applica la procedura di cui ai § 11.3.1.2 e § 11.3.4.11.1.

Per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche indicate nel seguito, il prelievo dei saggi, la posizione nel pezzo da cui essi devono essere prelevati, la preparazione delle provette e le modalità di prova devono ri-



spondere alle prescrizioni delle norme UNI EN ISO 377:2017, UNI EN ISO 6892-1:2016, UNI EN ISO 148-1:2016.

10.2 ACCIAI LAMINATI

Gli acciai laminati di uso generale per la realizzazione di strutture metalliche e per le strutture composte comprendono:

- PRODOTTI LUNGHI
 - laminati mercantili (angolari, L,T, piatti e altri prodotti di forma);
 - travi ad ali parallele del tipo HE e IPE, travi IPN;
 - laminati ad U,
 - palancole.
- PRODOTTI PIANI
 - lamiere e piatti;
 - nastri;
 - nastri zincati di spessore ≤ 4 mm.
- PROFILATI CAVI
 - tubi prodotti a caldo.
- PRODOTTI DERIVATI
 - travi saldate (ricavate da lamiere o da nastri a caldo);
 - profilati a freddo (ricavati da nastri a caldo);
 - tubi saldati (cilindrici o di forma ricavati da nastri a caldo);
 - lamiere grecate (ricavate da nastri a caldo).

10.3 CONTROLLI SUI PRODOTTI LAMINATI

I controlli sui laminati verranno eseguiti secondo le prescrizioni del DM 17 gennaio 2018 al paragrafo 11.3.4.11.

10.4 ACCIAIO PER STRUTTURE SALDATE

Gli acciai per strutture saldate, oltre a soddisfare le condizioni indicate al paragrafo 11.3.4.1 del DM 17 gennaio 2018, devono avere composizione chimica conforme a quanto riportato nelle norme europee armonizzate applicabili, di cui al punto 11.3.4.1. DM 17 gennaio 2018.

10.5 PROCESSO DI SALDATURA

La saldatura degli acciai dovrà avvenire con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la nor-



ma UNI EN ISO 4063:2001. È ammesso l'uso di procedimenti diversi purché sostenuti da adeguata documentazione teorica e sperimentale.

I saldatori nei procedimenti semiautomatici e manuali dovranno essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 9606:2017 da parte di un Ente terzo. Ad integrazione di quanto richiesto in tale norma, i saldatori che eseguiranno giunti a T con cordoni d'angolo dovranno essere specificamente qualificati e non potranno essere qualificati soltanto mediante l'esecuzione di giunti testa-testa.

Gli operatori dei procedimenti automatici o robotizzati dovranno essere certificati secondo la norma UNI EN ISO 14732:2013. Tutti i procedimenti di saldatura dovranno essere qualificati mediante WPQR (qualifica di procedimento di saldatura) secondo secondo la norma UNI EN ISO 15614-1:2017.

Le durezza eseguite sulle macrografie non dovranno essere superiori a 350 HV30.

Per la saldatura ad arco di prigionieri di materiali metallici (saldatura ad innesco mediante sollevamento e saldatura a scarica di condensatori ad innesco sulla punta) si applica la norma UNI EN ISO 14555:2017; valgono perciò i requisiti di qualità di cui al prospetto A1 della appendice A della stessa norma.

Le prove di qualifica dei saldatori, degli operatori e dei procedimenti dovranno essere eseguite da un Ente terzo; in assenza di prescrizioni in proposito l'Ente sarà scelto dal costruttore secondo criteri di competenza e di indipendenza.

Sono richieste caratteristiche di duttilità, snervamento, resistenza e tenacità in zona fusa e in zona termica alterata non inferiori a quelle del materiale base.

Nell'esecuzione delle saldature dovranno inoltre essere rispettate le norme UNI EN 1011-1:2009 ed UNI EN 1011-2:2005 per gli acciai ferritici ed UNI EN 1011-3:2005 per gli acciai inossidabili. Per la preparazione dei lembi si applicherà, salvo casi particolari, la norma UNI EN ISO 9692-1:2013. Le saldature saranno sottoposte a controlli non distruttivi finali per accertare la corrispondenza ai livelli di qualità stabiliti dal progettista sulla base delle norme applicate per la progettazione.

In assenza di tali dati per strutture non soggette a fatica si adotterà il livello C della norma UNI EN ISO 5817:2014 e il livello B per strutture soggette a fatica.

L'entità ed il tipo di tali controlli, distruttivi e non distruttivi, in aggiunta a quello visivo al 100%, saranno definiti dal Collaudatore e dal Direttore dei Lavori; per i cordoni ad angolo o giunti a parziale penetrazione si useranno metodi di superficie (ad es. liquidi penetranti o polveri magnetiche), mentre per i giunti a piena penetrazione, oltre a quanto sopra previsto, si useranno metodi volumetrici e cioè raggi X o gamma o ultrasuoni per i giunti testa a testa e solo ultrasuoni per i giunti a T a piena penetrazione.

Per le modalità di esecuzione dei controlli ed i livelli di accettabilità si potrà fare utile riferimento alle prescrizioni della norma UNI EN ISO 17635.

Tutti gli operatori che eseguiranno i controlli dovranno essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 9712:2012 almeno di secondo livello.



Oltre alle prescrizioni applicabili di cui al paragrafo 11.3.1.7 del DM 17 gennaio 2018, il costruttore deve corrispondere ai seguenti requisiti.

In relazione alla tipologia dei manufatti realizzati mediante giunzioni saldate, il costruttore deve essere certificato secondo la norma UNI EN ISO 3834:2006 parti 2,3 e 4. I requisiti sono riassunti nella tabella di seguito riportata.

La certificazione dell'azienda e del personale dovrà essere operata da un Ente terzo, scelto, in assenza di prescrizioni, dal costruttore secondo criteri di indipendenza e di competenza.

Tipo di azione sulle strutture	Strutture soggette a fatica in modo non significativo			Strutture soggette a fatica in modo significativo
	A	B	C	
Riferimento				D
Materiale Base: Spessore minimo delle membrature	S235, s ≤ 30 mm S275, s ≤ 30 mm	S355, s ≤ 30 mm S235 S275	S235 S275 S355 S460, s ≤ 30 mm	S235 S275 S355 S460 (Nota 1) Acciai inossidabili e altri acciai non esplicitamente menzionati (Nota 1)
Livello dei requisiti di qualità secondo la norma UNI EN ISO 3834:2006	Elementare UNI EN ISO 3834-4	Medio UNI EN ISO 3834-3	Medio UNI EN ISO 3834-3	Completo UNI EN ISO 3834-2
Livello di conoscenza tecnica del personale di Coordinamento della saldatura secondo la norma UNI EN ISO 14731:2007	Di base	Specifico	Completo	Completo

Nota 1) Vale anche per strutture non soggette a fatica in modo significativo

10.6 BULLONI

10.6.1 BULLONI "NON A SERRAGGIO CONTROLLATO"

Agli assiemi Vite/Dado/Rondella impiegati nelle giunzioni 'non precaricate' si applica quanto specificato al punto A del § 11.1 in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 15048-1.

In alternativa anche gli assiemi ad alta resistenza conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 14399-1 sono idonei per l'uso in giunzioni non precaricate.

Viti, dadi e rondelle, in acciaio, devono essere associate come nella tabella successiva.

Viti	Dadi	Rondelle	Riferimento
Classe di resistenza UNI EN ISO 898-1:2013	Classe di resistenza UNI EN ISO 898-2:2012	Durezza	
4.6	4; 5; 6 oppure 8	100 HV min.	UNI EN 15048-1
4.8			
5.6	5; 6 oppure 8		
5.8			
6.8	6 oppure 8		
8.8	8 oppure 10	100 HV min oppure 300 HV min.	
10.9	10 oppure 12		

Le tensioni di snervamento f_{yb} e di rottura f_{tb} delle viti appartenenti alle classi indicate nella precedente tabella sono riportate nella seguente tabella.



Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yt} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{tb} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

10.6.2 BULLONI "A SERRAGGIO CONTROLLATO"

Agli assiemi Vite/Dado/Rondella impiegati nelle giunzioni 'Pre-caricate' si applica quanto specificato al punto A del § 11.1 in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 14399-1.

Viti, dadi e rondelle, in acciaio, devono essere associate come nella tabella successiva:

Sistema	Viti		Dadi		Rondelle	
	Classe di resistenza	Riferimento	Classe di resistenza	Riferimento	Durezza	Riferimento
HR	8.8	UNI EN 14399-1	8	UNI EN 14399-3	300-370 HV	UNI EN 14399 parti 5 e 6
	10.9	UNI EN 14399-3	10	UNI EN 14399-3		
HV	10.9	UNI EN 14399-4	10	UNI EN 14399-4		

10.7 ACCIAI INOSSIDABILI

È consentito l'impiego di acciaio inossidabile per la realizzazione di strutture metalliche e composte.

Si dovranno utilizzare acciai conformi alle norme armonizzate UNI EN 10088-4 e UNI EN 10088-5, recanti la Marcatura CE e per i quali si rimanda a quanto specificato al punto A del § 11.1 delle NTC 2018.

10.8 ACCIAI DA CARPENTERIA PER STRUTTURE SOGGETTE AD AZIONI SISMICHE

L'acciaio costituente le membrature, le saldature ed i bulloni deve essere comunque conforme ai requisiti riportati nelle NTC 2018.

Per le zone dissipative si applicano le seguenti regole aggiuntive:

- per gli acciai da carpenteria il rapporto fra i valori caratteristici della tensione di rottura f_{tk} e la tensione di snervamento f_{yk} deve essere maggiore di 1,10 e l'allungamento a rottura A_5 , misurato su provino standard, deve essere non inferiore al 20%;
- la tensione di snervamento media $f_{y,media}$ deve risultare inferiore 1,20 $f_{y,k}$ per acciaio S235 e S275, oppure ad 1,10 $f_{y,k}$ per acciai S355 S420 ed S460;
- i collegamenti bullonati devono essere realizzati con bulloni ad alta resistenza di classe 8.8 o 10.9.

10.9 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

I controlli di accettazione in cantiere, da eseguirsi presso un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001, sono obbligatori per tutte le forniture di elementi e/o prodotti, qualunque sia la loro provenienza e la tipologia di qualificazione.



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

Qualora la fornitura di elementi lavorati provenga da un Centro di trasformazione o da un fabbricante di elementi marcati CE dopo essersi accertato preliminarmente che il suddetto Centro di trasformazione o il fabbricante sia in possesso di tutti i requisiti previsti dalla norma, Il Direttore dei Lavori può recarsi presso il medesimo Centro di trasformazione o fabbricante ed effettuare in stabilimento tutti i controlli di cui sopra. In tal caso il prelievo dei campioni viene effettuato dal Direttore Tecnico del Centro di trasformazione o del fabbricante secondo le disposizioni del Direttore dei Lavori; quest'ultimo deve assicurare, mediante sigle, etichettature indelebili, ecc., che i campioni inviati per le prove al laboratorio incaricato siano effettivamente quelli da lui prelevati, nonché sottoscrivere la relativa richiesta di prove.

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

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

A seconda delle tipologie di materiali pervenute in cantiere il Direttore dei Lavori deve effettuare i seguenti controlli:

- Elementi di Carpenteria Metallica: 3 prove ogni 90 tonnellate; il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di quantità di acciaio da carpenteria non superiore a 2 tonnellate, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori, che terrà conto anche della complessità della struttura.
- Lamiere grecate e profili formati a freddo: 3 prove ogni 15 tonnellate; il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera,, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di una quantità di lamiere grecate o profili formati a freddo non superiore a 0.5 tonnellate, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori.



- Bulloni e chiodi: 3 campioni ogni 1500 pezzi impiegati; il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di una quantità di pezzi non superiore a 100, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori.
- Giunzioni meccaniche: 3 campioni ogni 100 pezzi impiegati; il numero di campioni, prelevati e provati nell'ambito di una stessa opera, non può comunque essere inferiore a tre. Per opere per la cui realizzazione è previsto l'impiego di una quantità di pezzi non superiore a 10, il numero di campioni da prelevare è individuato dal Direttore dei Lavori.

I controlli di accettazione devono essere effettuati prima della posa in opera degli elementi e/o dei prodotti. I criteri di valutazione dei risultati dei controlli di accettazione devono essere adeguatamente stabiliti dal Direttore dei Lavori in relazione alle caratteristiche meccaniche dichiarate dal fabbricante nella documentazione di identificazione e qualificazione e previste dalle presenti norme o dalla documentazione di progetto per la specifica opera. Questi criteri tengono conto della dispersione dei dati e delle variazioni che possono intervenire tra diverse apparecchiature e modalità di prova. Tali criteri devono essere adeguatamente illustrati nella "Relazione sui controlli e sulle prove di accettazione sui materiali e prodotti strutturali" predisposta dal

Direttore dei lavori al termine dei lavori stessi.

Se un risultato è non conforme, sia il provino che il metodo di prova devono essere esaminati attentamente. Se nel provino è presente un difetto o si ha ragione di credere che si sia verificato un errore durante la prova, il risultato della prova stessa deve essere ignorato. In questo caso occorrerà prelevare un ulteriore (singolo) provino.

Se i tutti risultati validi della prova sono maggiori o uguali del previsto valore di accettazione, il lotto consegnato deve essere considerato conforme.

Se i criteri sopra riportati non sono soddisfatti, un ulteriore campionamento, di numerosità doppia rispetto a quanto precedentemente previsto in relazione alle varie tipologie di prodotto, deve essere effettuato da prodotti diversi del lotto in presenza del fabbricante o suo rappresentante che potrà anche assistere all'esecuzione delle prove presso un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001.

Il lotto deve essere considerato conforme se i singoli risultati ottenuti sugli ulteriori provini è maggiore di accettazione.

In caso contrario il lotto deve essere respinto e il risultato segnalato al Servizio Tecnico Centrale.

Per la compilazione dei certificati, per quanto applicabile, valgono le medesime disposizioni di cui al § 11.3.2.12 del DM 17 gennaio 2018.



11. APPOGGI STRUTTURALI

Gli appoggi strutturali sono dispositivi di vincolo utilizzati nelle strutture, nei ponti e negli edifici, allo scopo di trasmettere puntualmente carichi e vincolare determinati gradi di libertà di spostamento.

Gli appoggi strutturali, per i quali si applica quanto specificato al punto A del § 11.1 del DM 17 gennaio 2018, devono essere conformi alla pertinente norma europea armonizzata della serie UNI EN 1337 e recare la Marcatura CE. Si applica il Sistema di Valutazione e Verifica della Costanza della Prestazione 1, previsto nelle pertinenti specifiche tecniche armonizzate per le applicazioni critiche. Nel caso di appoggi strutturali non ricadenti, o non completamente ricadenti, nel campo di applicazione di una delle norme europee armonizzate della serie UNI EN 1337, si applica il caso C) del §11.1.

Ogni fornitura deve essere accompagnata dalla documentazione di marcatura CE oppure da copia del certificato di valutazione tecnica, nonché dal manuale contenente le specifiche tecniche per la posa in opera e la manutenzione.

Il Direttore dei Lavori è tenuto a verificare nell'ambito delle proprie competenze, quanto sopra indicato ed a rifiutare le eventuali forniture prive della documentazione di qualificazione e che le procedure di posa in opera siano conformi alle specifiche tecniche del fabbricante del sistema stesso; dovrà inoltre effettuare idonee prove di accettazione, che comprendano in ogni caso la verifica geometrica e delle tolleranze dimensionali, nonché la valutazione delle principali caratteristiche meccaniche dei materiali componenti e/o delle principali prestazioni degli appoggi, al fine di verificare la conformità degli appoggi stessi a quanto richiesto per lo specifico progetto.



12. MATERIALI E PRODOTTI A BASE DI LEGNO

12.1 GENERALITÀ

I materiali e prodotti a base di legno per usi strutturali devono essere qualificati secondo le procedure di cui al § 11.1 del DM 17 gennaio 2018. Per l'applicazione del caso C) del punto 11.1 si fa riferimento alle Linee Guida per l'impiego di prodotti, materiali e manufatti innovativi in legno per uso strutturale approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

La produzione, la lavorazione, fornitura e utilizzazione dei prodotti di legno e dei prodotti a base di legno per uso strutturale dovranno avvenire in applicazione di un sistema di assicurazione della qualità e di un sistema di rintracciabilità che copra la catena di distribuzione dal momento della prima classificazione e marcatura dei singoli componenti e/o semilavorati almeno fino al momento della prima messa in opera.

Oltre che dalla documentazione indicata al pertinente punto del §11.1 e del § 11.7.10 delle NTC 2018, ogni fornitura deve essere accompagnata, secondo quanto indicato al §11.7.10.1.2, da un manuale contenente le specifiche tecniche per la posa in opera. Il Direttore dei Lavori è tenuto a rifiutare le eventuali forniture non conformi a quanto sopra prescritto.

Il progettista sarà tenuto ad indicare nel progetto le caratteristiche dei materiali secondo le indicazioni di cui al presente capitolo.

Tali caratteristiche devono essere garantite dai produttori, dai centri di lavorazione, dai fornitori intermedi, per ciascuna fornitura, secondo le disposizioni applicabili di cui alla marcatura CE oppure di cui al § 11.7.10.

Il Direttore dei Lavori effettuerà i controlli di accettazione in cantiere previsti al §11.7.10.2. Il Direttore dei Lavori potrà far eseguire ulteriori prove di accettazione sul materiale pervenuto in cantiere e sui collegamenti, secondo le metodologie di prova indicate nella presente norma.

Sono abilitati ad effettuare le prove ed i controlli, sia sui prodotti che sui cicli produttivi, i laboratori di cui all'art. 59 del DPR n.380/2001 ed i laboratori, o gli organismi certificazione del controllo della produzione in fabbrica notificati ai sensi del D.Lgs.106/2017 e del Regolamento UE 305/2011 in materia di prove e controlli sul legno.

12.2 PROPRIETÀ DEI MATERIALI

Si definiscono valori caratteristici di resistenza di un tipo di legno i valori del frattile 5% della distribuzione delle resistenze, ottenuti sulla base dei risultati di prove sperimentali effettuate con una durata di 300 secondi su provini all'umidità di equilibrio del legno corrispondente alla temperatura di 20 ± 2 °C ed umidità relativa dell'aria del $65 \pm 5\%$.

Per il modulo elastico, si fa riferimento sia ai valori caratteristici di modulo elastico corrispondenti al



frattile 5% sia ai valori medi, ottenuti nelle stesse condizioni di prova sopra specificate.

Si definisce massa volumica caratteristica il valore del frattile 5% della relativa distribuzione con massa e volume misurati in condizioni di umidità di equilibrio del legno alla temperatura di 20 ± 2 °C ed umidità relativa dell'aria del $65 \pm 5\%$.

Per il progetto e la verifica di strutture realizzate con legno massiccio, lamellare o con prodotti per uso strutturale derivati dal legno, si utilizzano i valori di resistenza, modulo elastico e di massa volumica costituenti il profilo resistente, che deve comprendere almeno quanto riportato nella seguente tabella.

Resistenze caratteristiche		Moduli elastici		Massa volumica	
Flessione	$f_{m,k}$	Modulo elastico parallelo medio **	$E_{0,mean}$	Massa volumica caratteristica	ρ_k
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	Modulo elastico parallelo caratteristico	$E_{0,05}$	Massa volumica media *, **	ρ_{mean}
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	Modulo elastico perpendicolare medio **	$E_{90,mean}$		
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	Modulo elastico tangenziale medio **	G_{mean}		
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$				
Taglio	$f_{v,k}$				

* La massa volumica media può non essere dichiarata.

** Il pedice *mean* può essere abbreviato con *m*

Per il legno massiccio, i valori caratteristici di resistenza, desunti da indagini sperimentali, sono riferiti a dimensioni standardizzate del campione di prova secondo le norme pertinenti. In particolare, per la determinazione della resistenza a flessione l'altezza della sezione trasversale del campione di prova è pari a 150 mm, mentre per la determinazione della resistenza a trazione parallela alla fibratura, il lato maggiore della sezione trasversale del campione di prova è pari a 150 mm.

Pertanto, per elementi di legno massiccio sottoposti a flessione o a trazione parallela alla fibratura che presentino rispettivamente una altezza o il lato maggiore della sezione trasversale inferiore a 150 mm, i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$, indicati nei profili resistenti, possono essere incrementati tramite il coefficiente moltiplicativo k_h , così definito:

$$k_h = \min \{ (150/h)^{0.2}; 1.3 \}$$

essendo h , in millimetri, l'altezza della sezione trasversale dell'elemento inflesso oppure il lato maggiore della sezione trasversale dell'elemento sottoposto a trazione.

Per il legno lamellare incollato i valori caratteristici di resistenza, desunti da indagini sperimentali, sono riferiti a dimensioni standardizzate del campione di prova secondo le norme pertinenti. In particolare, per la determinazione della resistenza a flessione l'altezza della sezione trasversale del campione di prova è pari a 600 mm, mentre per la determinazione della resistenza a trazione parallela alla fibratura, il lato maggiore della sezione trasversale del provino è pari a 600 mm.



Di conseguenza, per elementi di legno lamellare sottoposti a flessione o a trazione parallela alla fibratura che presentino rispettivamente una altezza o il lato maggiore della sezione trasversale inferiore a 600 mm, i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$, indicati nei profili resistenti, possono essere incrementati tramite il coefficiente moltiplicativo k_h , così definito:

$$k_h = \min \{ (600/h)^{0.1}; 1.1 \}$$

essendo h , in millimetri, l'altezza della sezione trasversale dell'elemento inflesso oppure il lato maggiore della sezione trasversale dell'elemento sottoposto a trazione.

12.3 LEGNO MASSICCIO

La produzione di elementi strutturali di legno massiccio a sezione rettangolare dovrà risultare conforme alla norma europea armonizzata UNI EN 14081-1 e, secondo quanto specificato al punto A del § 11.1 del DM 17 gennaio 2018, recare la Marcatura CE.

Qualora non sia applicabile la marcatura CE, i produttori di elementi di legno massiccio per uso strutturale, secondo quanto specificato al punto B del § 11.1, devono essere qualificati con le procedure di cui al § 11.7.10.

Il legno massiccio per uso strutturale è un prodotto naturale, selezionato e classificato in dimensioni d'uso secondo la resistenza, elemento per elemento, sulla base delle normative applicabili.

I criteri di classificazione garantiscono all'elemento prestazioni meccaniche minime statisticamente determinate, senza necessità di ulteriori prove sperimentali e verifiche, definendone il profilo resistente, che raggruppa le proprietà fisico-meccaniche, necessarie per la progettazione strutturale.

La classificazione può avvenire assegnando all'elemento una Categoria, definita in relazione alla qualità dell'elemento stesso con riferimento alla specie legnosa e alla provenienza geografica, sulla base di specifiche prescrizioni normative. Al legname appartenente a una determinata categoria, specie e provenienza, si assegna uno specifico profilo resistente, armonizzato con le classi di resistenza proposte dalla UNI EN 338, utilizzando metodi di classificazione previsti nelle normative applicabili. Può farsi utile riferimento ai profili resistenti indicati nelle norme UNI 11035:2010 parti 1, 2 e 3, per quanto applicabili.

In generale è possibile definire il profilo resistente di un elemento strutturale anche sulla base dei risultati documentati di prove sperimentali, in conformità a quanto disposto nella UNI EN 384:2016.

12.4 LEGNO STRUTTURALE CON GIUNTI A DITA

Ai prodotti con giunti a dita, in assenza di specifica norma europea armonizzata, si applica il p.to C del paragrafo 11.1 del DM 17 gennaio 2018.

Il controllo della produzione deve essere effettuato a cura del Direttore Tecnico della produzione, che deve



provvedere alla trascrizione dei risultati delle prove su appositi registri di produzione. Detti registri devono essere resi disponibili al Servizio Tecnico Centrale e, limitatamente alla fornitura di competenza, al Direttore dei Lavori e al Collaudatore della costruzione.

I singoli elementi utilizzati per la composizione del legno strutturale con giunti a dita dovranno soddisfare i requisiti minimi della norma europea armonizzata UNI EN 14081-1 al fine di garantirne una corretta attribuzione ad una classe di resistenza.

Inoltre il sistema di gestione della qualità del prodotto che sovrintende al processo di fabbricazione deve essere predisposto in coerenza con le norme UNI EN ISO 9001 e certificato da parte di un organismo terzo indipendente, di adeguata competenza ed organizzazione, che opera in coerenza con le norme UNI CEI EN ISO/IEC 17021-1.

12.5 LEGNO LAMELLARE INCOLLATO E LEGNO MASSICCIO INCOLLATO

Gli elementi strutturali di legno lamellare incollato e legno massiccio incollato debbono essere conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 14080 e, secondo quanto specificato al punto A del paragrafo 11.1 del DM 17 gennaio 2018, recare la marcatura CE.

Le singole tavole, per la composizione di legno lamellare, dovranno soddisfare i requisiti della norma europea armonizzata UNI EN 14081-1 al fine di garantirne una corretta attribuzione ad una classe di resistenza. Per classi di resistenza delle singole tavole superiori a C30 si farà riferimento esclusivo ai metodi di classificazione a macchina.

Le singole lamelle vanno tutte individualmente classificate dal fabbricante come previsto al § 11.7.2.

12.6 PANNELLI IN FIBRA DI LEGNO - PANNELLI OSB

Con il termine OSB (Oriented Strand Board) si indica un materiale a base legno costituito da diversi strati, a loro volta composti da trucioli di legno prevalentemente lunghi e stretti (strand) assemblati con un legante (colla). Gli strand degli strati esterni sono paralleli al lato longitudinale o trasversale del pannello. Un rapporto lunghezza/larghezza degli strand di 10:1 contribuisce a migliorare le proprietà di resistenza a flessione nella direzione dell'orientamento degli strati esterni. Gli strand dello strato interno possono essere orientati in maniera casuale oppure, di norma, in direzione perpendicolare agli strand degli strati esterni.

Per impieghi strutturali con funzione portante di OSB/2 e OSB/3 secondo le condizioni della classe di servizio 1, si applicano i valori caratteristici delle proprietà meccaniche e la massa volumica riportate nella tabella di seguito riportata. Questi valori devono essere modificati secondo la UNI EN 1995-1-1 in base alla durata di applicazione del carico (k_{mod} , k_{def}).

Per impieghi strutturali con funzione portante di OSB/3 secondo le condizioni della classe di servizio 2, i valori caratteristici delle proprietà meccaniche e la massa volumica riportati in tabella devono essere modifica-



ti secondo la UNI EN 1995-1-1 in base alla classe di servizio e alla durata di applicazione del carico (k_{mod} , k_{def}). Come valore caratteristico del 5% della rigidità deve essere preso l'85% del valore medio riportato in tabella.

prospetto 2 Valori caratteristici di pannelli conformi alla EN 300: OSB/2: Pannelli portanti per uso in ambiente secco e OSB/3: Pannelli portanti per uso in ambiente umido

Spessore, mm	Valori caratteristici di massa volumica (kg/m^3) e resistenza (N/mm^2)								
	Massa volumica	Flessione		Trazione		Compressione		Taglio pannello	Taglio planare
f_{nom}	ρ	f_m		f_t		f_c		f_v	f_f
		0	90	0	90	0	90		
>6 a 10	550	18,0	9,0	9,9	7,2	15,9	12,9	6,8	1,0
>10 a 18	550	16,4	8,2	9,4	7,0	15,4	12,7	6,8	1,0
>18 a 25	550	14,8	7,4	9,0	6,8	14,8	12,4	6,8	1,0

Spessore, mm	Valori medi di rigidità, N/mm^2							
	Flessione		Trazione		Compressione		Taglio pannello	Taglio planare
f_{nom}	E_m		E_t		E_c		G_v	G_f
	0	90	0	90	0	90		
>6 a 10	4 930	1 980	3 800	3 000	3 800	3 000	1 080	50
>10 a 18	4 930	1 980	3 800	3 000	3 800	3 000	1 080	50
>18 a 25	4 930	1 980	3 800	3 000	3 800	3 000	1 080	50

12.7 ELEMENTI MECCANICI DI COLLEGAMENTO

Tutti gli elementi di collegamento (metallici e non metallici quali spinotti, chiodi, viti, piastre, ecc.) devono essere idonei a garantire le prestazioni previste dalle NTC 2018 ed in particolare, in presenza di azioni sismiche, al § 7.7.5.2.

Ai suddetti dispositivi meccanici, si applica quanto riportato ai punti A) o C) del §11.1.

12.8 DURABILITÀ DEL LEGNO E DERIVATI

12.8.1 GENERALITÀ

Al fine di garantire alla struttura adeguata durabilità, si devono considerare i seguenti fattori correlati:

- la classe di servizio prevista;
- la destinazione d'uso della struttura;



- le condizioni ambientali prevedibili;
- la composizione, le proprietà e le prestazioni dei materiali;
- la forma degli elementi strutturali ed i particolari costruttivi;
- la qualità dell'esecuzione ed il livello di controllo della stessa;
- le particolari misure di protezione;
- la manutenzione programmata durante la vita presunta.

Si adotteranno in fase di progetto idonei provvedimenti volti alla protezione dei materiali. Per i materiali trattati con agenti preservanti contro attacchi di tipo biologico si dovrà fare riferimento ai principi generali della UNI EN 15228:2009.

12.8.2 REQUISITI DI DURABILITÀ NATURALE DEI MATERIALI A BASE DI LEGNO

Il legno ed i materiali a base di legno devono possedere un'adeguata durabilità naturale per la classe di rischio prevista in servizio, oppure devono essere sottoposti ad un trattamento preservante in accordo alla UNI EN 15228:2009.

Inoltre, quale utile riferimento ai fine della valutazione della durabilità dei materiali a base di legno, si precisa quanto segue:

- la norma UNI EN 350-1 fornisce indicazioni sui metodi per la determinazione della durabilità naturale e i principi di classificazione delle specie legnose basati sui risultati di prova;
- la stessa norma UNI EN 350 fornisce una classificazione della durabilità del legno massiccio nei confronti di funghi, coleotteri, termiti e organismi marini;
- la norma UNI EN 460 fornisce una guida alla scelta delle specie legnose in base alla loro durabilità naturale nelle classi di rischio così come definite all'interno della UNI EN 335;
- la norma UNI EN 335 fornisce una guida per l'applicazione del sistema delle classi di rischio secondo le definizioni fornite nella norma stessa.

Le specifiche relative alle prestazioni dei preservanti per legno ed alla loro classificazione ed etichettatura sono indicate nelle norme UNI EN 599-1 e UNI EN 599-2.

12.9 **PROCEDURE DI QUALIFICAZIONE ED ACCETTAZIONE - CENTRI DI LAVORAZIONE**

Le caratteristiche e le prestazioni dei materiali devono essere garantite dai fabbricanti, dai centri di lavorazione, dai fornitori intermedi, per ciascuna fornitura, secondo le disposizioni riportate al paragrafo 11.7.10 del DM 17 gennaio 2018.