INGENIO-WEB.it

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

LINEE GUIDA PER LA MESSA IN OPERA DEL CALCESTRUZZO STRUTTURALE

Settembre 2017

Documento positivamente licenziato con Parere n. 80/2016, espresso dalla Prima Sezione del Consiglio Superiore dei LL.PP. nella adunanza del 30 marzo 2017

INGENIO-WEB.it

GENERALITÀ 4
1. Campo di applicazione 4
2. Definizioni 4
3. Specifiche progettuali e di capitolato 8
4. Gestione della qualità 9
5. Verifiche ed operazioni preliminari alla messa in opera del calcestruzzo 11
5.1 Casseforme 11
5.2 Strutture di supporto 17
5.3 Armature per calcestruzzo 18
5.3.1 Verifica delle forniture 18
5.3.2 Processo di sagomatura delle armature per c.a. 19
5.3.3 Assemblaggio e messa in opera delle armature 23
5.3.4 Giunzioni 23
6. Trasporto, messa in opera e compattazione del calcestruzzo 23
6.1 Trasporto del calcestruzzo fresco 24
6.2 Controlli di qualità del calcestruzzo 26
6.3 Messa in opera del calcestruzzo 27
6.3.1 Fornitura del calcestruzzo 27
6.3.2 Movimentazione del calcestruzzo 29
6.3.3 Operazioni di getto 30
6.3.4 Riprese di getto 33
6.4 Compattazione del calcestruzzo 34
6.4.1 Compattazione mediante vibrazione 36
6.4.2 Grado di Compattazione 37
6.5 Calcestruzzo proiettato 38
6.6 Fessurazione del calcestruzzo in fase plastica 39
6.7 Assestamento plastico 40
6.8 Ritiro plastico 42
7. Maturazione e protezione del calcestruzzo 43
7.1 Condizioni di clima particolari 46
7.2 Sviluppo di calore: getti di massa 49
7.3 Protezione termica durante la maturazione 52
7.4 Disarmo 53
8. Prescrizioni relative all'esecuzione di pavimentazioni in calcestruzzo 55
8.1 Pianificazione delle operazioni 55

INGENIO-WEB.it

8.2 Condizioni ambientali 55
8.3 Documentazione tecnico/contrattuale 55
8.4 Preparazione e tolleranze nella massicciata 55
8.5 Fasi operative dell'esecuzione 56
8.5.1 Isolamento strutture verticali e spiccati verticali 56
8.5.2 Barriera vapore/scorrimento 57
8.5.3 Posa armatura (reti, fibre, barrotti) 57
8.5.4 Fornitura del calcestruzzo a piè d'opera 57
8.5.5 Sequenza campiture di posa 58
8.5.6 Posa in opera calcestruzzo 58
8.5.7 Applicazione strato di usura 58
8.6 Protezione e stagionatura 59
8.7 Giunti 60
8.7.1 Riempimenti e sigillature 60
8.8 Tipo finitura 61
8.9 Influenza delle condizioni ambientali sulla posa del calcestruzzo 62
8.10 Protezione del lavoro eseguito 63
8.11 Impiantistica 63
8.12 Impianti di riscaldamento/raffrescamento a pavimento 63
Bibliografia 64

INGENIO-WEB.it

GENERALITÀ

Nel contesto di un'azione normativa tesa a migliorare la sicurezza strutturale, nonché l'affidabilità dei materiali e dei relativi sistemi costruttivi non poteva mancare una Linea Guida sulla messa in opera del calcestruzzo strutturale. Il documento ha l'obiettivo di evitare errori riconducibili a procedure improprie che possano pregiudicare le attese, in termini di resistenza e di durabilità, alla base del progetto.

Il documento illustra ed esamina l'insieme delle lavorazioni e dei processi finalizzati ad una corretta messa in opera, intendendo con tale accezione l'insieme delle specifiche operazioni di movimentazione, getto, compattazione e maturazione, atte a realizzare un calcestruzzo strutturale con le caratteristiche di resistenza e di durabilità previste dal progetto.

Il documento proposto tocca, quindi, aspetti fondamentali per la sicurezza delle opere, nella utilizzazione di un materiale versatile e, per questo, a volte manipolato con eccessiva confidenza trascurando i necessari accorgimenti.

Le Linee Guida sono documenti tecnici a carattere monografico con finalità informative e divulgative che concretizzano altresì un'azione normativa di indirizzo, sviluppata su contenuti tecnico-scientifici, di ausilio a progettisti ed operatori del settore delle costruzioni.

L'azione divulgatrice delle Linee Guida in questione assume poi particolare importanza se si tiene conto dell'innovativo indirizzo "prestazionale" assunto dalle più recenti normative tecniche. Come è noto, una norma prestazionale fissa gli obiettivi ovvero i requisiti finali dell'opera, lasciando maggiore spazio e responsabilità alle figure professionali incaricate della progettazione e realizzazione dell'opera. In tal senso, infatti, le Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti prevedono l'impiego di calcestruzzo a prestazione garantita, limitando l'utilizzo a composizione richiesta a casi particolari, casi in cui il progettista si assuma la responsabilità delle prestazioni.

1. Campo di applicazione

Le presenti Linee Guida si applicano prevalentemente al calcestruzzo per uso strutturale, armato e non, ordinario e precompresso, usualmente impiegato nelle costruzioni. Restano comunque valide talune disposizioni, laddove applicabili, ai numerosi altri tipi di calcestruzzo conosciuti ed utilizzati – che potranno essere oggetto di future specifiche Linee Guida – quali ad esempio: calcestruzzo leggero, calcestruzzo ad alta resistenza, calcestruzzo fibro-rinforzato, calcestruzzo autocompattante (SCC), calcestruzzo proiettato, ecc..

2. Definizioni

Armatura

Insieme degli elementi d'acciaio da utilizzare unitamente al calcestruzzo per la realizzazione di elementi strutturali portanti in cemento armato.

Assestamento plastico

Perdita di planarità del calcestruzzo in fase plastica contraddistinta da lesioni superficiali in corrispondenza delle armature di pelle e di qualsiasi altro elemento fisso.

Barra

Barra di acciaio ad aderenza migliorata nei diametri da 6 a 40 mm per l'acciaio B450C e da 5 a 10 mm per l'acciaio B450A;

Boiacca

Miscela fluida di cemento ed acqua.

INGENIO-WEB.it

Calcestruzzo confezionato con processo industrializzato

Calcestruzzo prodotto mediante impianti, strutture e tecniche organizzate sia in cantiere che in uno stabilimento esterno al cantiere stesso. Tali impianti devono essere idonei ad una produzione costante e disporre di apparecchiature adeguate per il confezionamento, nonché di personale esperto e di attrezzature idonee. Gli impianti devono dotarsi di un sistema permanente di controllo interno della produzione.

Calcestruzzo confezionato con processo non industrializzato

Calcestruzzo confezionato mediante processo di produzione temporanea, direttamente in cantiere, per quantità di calcestruzzo inferiori a 1500 m^3 di miscela omogenea.

Carbonatazione

Processo che avviene sulla superficie esterna del calcestruzzo indurito, dovuto alla neutralizzazione dell'idrossido di calcio per effetto dell'anidride carbonica presente nell'atmosfera.

Casseforme

Casseforme verticali componibili e non, casseforme orizzontali componibili e non, casseforme componibili e non dedicate a specifiche realizzazioni; opere provvisionali costituite da elementi destinati a contenere e/o sostenere il calcestruzzo durante il getto e la maturazione dello stesso fino a quando la struttura sia autoportante al fine di conferire al calcestruzzo stesso la forma e la finitura superficiale richieste, in conformità alle relative tolleranze riportate nelle specifiche del Capitolato tecnico.

Centro di trasformazione

Impianto esterno alla fabbrica e/o al cantiere, fisso o mobile, che riceve dal produttore di acciaio elementi base (barre, rotoli, reti, lamiere o profilati, profilati cavi, ecc.) e confeziona elementi strutturali direttamente impiegabili in cantiere, pronti per la messa in opera o per successive lavorazioni.

Certificato di prova

Documento rilasciato da un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001, sul quale sono riportati gli esiti delle prove effettuate in accordo alla norma.

Coesività

Proprietà del calcestruzzo fresco di resistere alla segregazione.

Compattazione

Azione dinamica applicata al calcestruzzo, nel corso della messa in opera, tramite la vibrazione, che assicura il costipamento del calcestruzzo; la compattazione è finalizzata a minimizzare il contenuto d'aria in eccesso intrappolata nell'impasto del calcestruzzo, per ottenere la migliore omogeneità e densità possibile del conglomerato cementizio.

Consistenza

Proprietà del calcestruzzo fresco connessa con la facilità di messa in opera e di compattazione; può essere espressa in termini di cedimento al cono di spandimento.

Copriferro

Nel calcestruzzo armato è la distanza tra la superficie dell'armatura più esterna e la faccia del calcestruzzo più prossima.

Curing

Insieme di azioni o agenti esterni utilizzati per proteggere il calcestruzzo durante la maturazione.

Disarmante

Agente che, applicato al rivestimento della cassaforma, agevola il distacco tra cassaforma e calcestruzzo dopo l'indurimento.

INGENIO-WEB.it

Disarmo
Azione di rimozione delle casseforme dopo che il calcestruzzo ha raggiunto la resistenza meccanica prevista.

Durabilità
Capacità del calcestruzzo di conservare, per un prefissato periodo di tempo, le sue caratteristiche nelle condizioni ambientali di esposizione.

Elemento strutturale
Una parte definita ed individuata della struttura.

Esotermico
Processo o reazione chimica accompagnata da sviluppo di calore; un esempio è l'idratazione del cemento.

Essudazione (o **bleeding**)
Affioramento sulla superficie del calcestruzzo fresco di acqua di impasto o boiacca, dovuto ad un eccesso di acqua o a carenza di particelle fini nella miscela.

Finitura (delle superfici)
Tessitura, aspetto, colore ecc. della superficie del calcestruzzo in relazione alla geometria degli elementi delle strutture.

Galvanizzato
Detto di elemento metallico che ha subito un riporto elettrochimico di metallo protettivo (es.: zincatura).

Giunto freddo
Ripresa di getto senza aderenza, eseguita su calcestruzzo indurito, evidenziata da fessura o cavillatura.

Giunto di costruzione
Soluzione di continuità attraverso l'elemento tecnico per la separazione di porzioni di uno stesso elemento strutturale.

Grado di compattazione
Confronto tra la misura della massa volumica (peso specifico) di una carota estratta dalla struttura con quella del corrispondente calcestruzzo compattato a rifiuto di un provino (cubico o cilindrico) confezionato in corso di messa in opera.

Incrudito (acciaio incrudito)
Detto di acciaio che ha subito un trattamento che provoca un aumento della resistenza a scapito della plasticità.

Indurimento (del calcestruzzo)
Processo durante il quale il calcestruzzo, dopo la presa, acquisisce gradatamente la resistenza meccanica finale.

Interferro
Distanza minima tra le superfici esterne di due barre di armatura, parallele fra loro, inglobate in una struttura di calcestruzzo.

Mandrino di piegatura
Elemento circolare di contrasto che consente la piegatura delle armature secondo un preciso raggio di curvatura; il diametro del mandrino deve essere adeguato al diametro della barra da piegare, in modo da non rovinare l'acciaio nella fase di piega;

Massa volumica
Detta anche densità, è il rapporto tra la massa del materiale in esame e il suo volume; nel Sistema Internazionale si esprime in kN/m^3.

INGENIO-WEB.it

Maturazione
Tempo, processo e condizioni che portano all'indurimento del calcestruzzo.

Miscela omogenea
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 (classi di resistenza e classe di esposizione).

Monoliticità
Capacità di getti successivi di aderire ed integrarsi tra loro formando un insieme continuo ed omogeneo.

Movimentazione
Insieme delle operazioni di distribuzione del calcestruzzo, effettuate da parte dell'impresa esecutrice, dal mezzo di consegna fino al punto di messa in opera. La movimentazione può essere eseguita tramite benna e nastro trasportatore.

Nido di ghiaia
Porzione di getto in cui gli aggregati grossi si presentano sciolti e/o con presenza di cavità; le particelle grosse dell'aggregato possono essere ricoperte parzialmente da boiacca cementizia.

Organismo strutturale
Insieme degli elementi strutturali.

Paramenti e intradossi in calcestruzzo (superfici)
Ognuna delle superfici laterali in calcestruzzo di una struttura quali pareti, pilastri pile, spalle, ecc. e delle superfici in calcestruzzo degli intradossi di solai e di impalcati, fianchi di travi di solai. Un paramento è una superfice in calcestruzzo che è destinata ad essere lasciata grezza e/o a ricevere un successivo trattamento e/o rivestimento dopo il disarmo della cassaforma e che devono essere conformi o non alle prescrizioni e i requisiti richiesti dalle specifiche progettuali e dal capitolato tecnico relative alle precisione dimensionale, di tessitura dell'elemento in calcestruzzo e compatibilità con i trattamenti e/o rivestimenti.

Permeabilità (del calcestruzzo)
Proprietà connessa con la penetrazione di acqua o gas attraverso il calcestruzzo indurito.

Prelievo
Azione di estrazione di un campione di calcestruzzo (fresco o indurito) su cui eseguire prove e/o determinazioni. Il prelievo di calcestruzzo per il controllo di accettazione consiste in due provini.

Presagomatura
L'attività di preparazione delle armature svolta in un centro di trasformazione.

Prestazione
Caratteristica oggetto di specifica richiesta (es.: consistenza, diametro massimo dell'aggregato, resistenza caratteristica, ecc.).

Raggio di curvatura
È il raggio di curvatura delle armature determinato in fase di piegatura delle stesse; esso è importante perché deve garantire che gli sforzi trasmessi dall'acciaio al calcestruzzo, all'interno della piega, siano inferiori alla resistenza specifica del calcestruzzo stesso.

Reologia
Studia le relazioni che intercorrono tra sforzi, deformazioni e tempo. Nel calcestruzzo fresco le caratteristiche reologiche sono valutate in termini di consistenza.

Ripresa di getto
Prosecuzione delle operazioni di messa in opera del calcestruzzo a contatto con una parte che può essere anche indurita; linea di separazione tra getti consecutivi effettuati in tempi diversi.

INGENIO-WEB.it

Ritiro plastico o da essiccamento o igrometrico
Contrazione del calcestruzzo nel corso del primo periodo di indurimento provocata dall'evaporazione dell'acqua di impasto verso l'ambiente insaturo di vapore.
Rotolo
Acciaio per calcestruzzo armato (generalmente tondo o filo), avvolto in anelli concentrici, ad aderenza migliorata nei diametri fino a 16 mm per l'acciaio B450C e fino a 10 mm per l'acciaio B450A.
SCC (Self Compacting Concrete) calcestruzzo autocompattante
Calcestruzzo che si compatta, anche in casseforme complesse, per effetto del solo peso proprio senza necessitare dell'apporto di energia esterna (vibrazione), caratterizzato da elevata coesività.
Scorrevolezza (del calcestruzzo)
Caratteristica del calcestruzzo che riguarda la capacità di fluire all'interno delle casseforme.
Sedimentazione (del calcestruzzo)
Separazione dei solidi sospesi entro lo spessore di un getto.
Segregazione
Separazione dei componenti del calcestruzzo nel corso della movimentazione o messa in opera.
Vibrazione (v. **compattazione**).

3. Specifiche progettuali e di capitolato

La documentazione necessaria alla realizzazione di un'opera in calcestruzzo deve comprendere almeno: la relazione di calcolo relativa alle singole parti della struttura (elementi, vincoli, ecc.) e all'intero organismo strutturale, nonché la documentazione di progetto. Quest'ultima è costituita da:

- la Relazione Tecnica che contenga una dettagliata descrizione delle opere, accompagnata dai relativi elaborati grafici, in cui siano esplicitate le informazioni riguardanti la geometria dell'organismo strutturale e delle sue parti, la quantità e la posizione delle armature, eventuali fori ed inserti, le tolleranze di esecuzione di strutture in calcestruzzo e le prescrizioni relative alle superfici, con le rispettive tolleranze e, per gli elementi prefabbricati, i dispositivi di stoccaggio, trasporto e movimentazione, la descrizione dettagliata delle procedure operative da adottare in fase di getto, compattazione, maturazione e disarmo dei getti di calcestruzzo;
- la descrizione dei materiali e/o componenti con le relative specifiche, i controlli, la loro frequenza e le rispettive norme di riferimento; queste informazioni devono essere riportate in forma sintetica negli elaborati grafici e in forma dettagliata ed esaustiva nel Capitolato tecnico. Devono essere esplicitamente indicati: la classe di resistenza (Tabella 3.1), la classe di consistenza al getto ed il diametro massimo dell'aggregato, nonché la classe di esposizione ambientale, di cui alla norma UNI EN 206:2014 ed alla UNI 11104. Eventuali proprietà aggiuntive devono essere definite in sede di specifiche progettuali e di capitolato tecnico in termini di requisiti prestazionali;
- la descrizione delle opere, funzione della particolarità dell'opera, del clima e della tecnologia costruttiva, contenente: tutte le indicazioni necessarie alla messa in opera e all'esecuzione, con particolare riferimento a materiali e/o componenti di impiego inusuali o innovativi; le procedure e le sequenze per le lavorazioni successive, nonché le istruzioni per il collaudo in corso d'opera. La redazione di prescrizioni di capitolato tecnico dettagliate, la loro applicazione e relativa sorveglianza, hanno una forte incidenza sulla riuscita di opere affidabili e durevoli;
- il piano di manutenzione dell'organismo strutturale dell'opera.

INGENIO-WEB.it

In particolare, fatte salve le disposizioni delle Norme tecniche, si definiscono le seguenti Classi di resistenza e Classi di consistenza:

Tabella 3.1 – Classi di resistenza e Classi di consistenza.

C8/10
C12/15
C16/20
C20/25
C25/30
C28/35
C30/37
C32/40
C35/45
C40/50
C45/55
C50/60
C55/67
C60/75
C70/85
C80/95
C90/105

Classe di consistenza
S1 – Umida
S2 – Plastica
S3 – Semifluida
S4 – Fluida
S5 - Superfluida

4. Gestione della qualità

La supervisione e l'ispezione dell'opera può essere effettuata in base a quanto previsto nella norma UNI EN 13670-2010. Tale norma utilizza, per le verifiche, tre classi di esecuzione, per le quali la severità aumenta da 1 a 3. La classe di esecuzione può essere riferita alla struttura completa, a componenti della struttura oppure ai materiali e alle tecnologie costruttive e deve essere dichiarata nella specifica di esecuzione (si può fare riferimento alle documentazioni elencate al paragrafo precedente).

Per quanto riguarda l'ispezione di materiali e prodotti (materiali per impalcature di sostegno, puntellamenti e/o attrezzature provvisionali di supporto, casseforme, acciaio per armature, precompressione degli elementi del sistema, calcestruzzo fresco, premiscelato o miscelato in sito, elementi prefabbricati), per completezza di informazione, richiamando la UNI EN 13670:2010, si ritiene utile riportare nel seguito:

- il prospetto 1, dove vengono indicati tipo e modalità dei controlli in funzione della classe di esecuzione;
- il prospetto 2, dove vengono indicati gli argomenti per l'ispezione dell'esecuzione e i requisiti da verificare in funzione della classe di esecuzione;
- il prospetto 3, dove, infine, viene indicato tipo e documentazione dell'ispezione, sempre in funzione della classe di esecuzione.

INGENIO-WEB.it

Prospetto 1 - UNI EN 13670:2010 Ispezione di materiali e prodotti.

Argomento	Classe di esecuzione 1	Classe di esecuzione 2	Classe di esecuzione 3
Materiali per impalcature di sostegno, puntellamenti e/o attrezzature provvisionali di supporto. Casseforme [a)]	In conformità ai punti 5.1 e 5.5 della UNI EN 13670:2010		
Acciaio per armatura [a)]	In conformità al punto 6.2 della UNI EN 13670:2010		
Precompressione dei componenti del sistema [a)]	Da non utilizzare in questa classe	In conformità al punto 7.2 della UNI EN 13670:2010	
Calcestruzzo fresco [a) c)] Premiscelato o miscelato in sito	In conformità ai punti 8.1 e 8.3 della UNI EN 13670:2010 Al ricevimento del calcestruzzo premiscelato deve essere presentata una bolla di consegna		
Altri elementi [a) b)]	In conformità alla specifica di esecuzione		
Elementi prefabbricati [a)]	In conformità ai punti 9.2 e 9.3 della UNI EN 13670:2010		
Rapporto di ispezione	Non richiesto	Richiesto	

a) I prodotti che recano la marcatura CE o certificati da un organismo di certificazione approvato devono essere controllati rispetto alla bolla di consegna e visivamente. In caso di dubbio, si deve effettuare una ulteriore ispezione per controllare che il prodotto sia conforme alla specifica. Gli altri prodotti devono essere sottoposti a ispezione e a prove di accettazione come definito nella specifica di esecuzione.
b) Per esempio, elementi come componenti di acciaio inglobati ecc.
c) Se si utilizza il calcestruzzo prescritto, le proprietà pertinenti necessitano di essere controllate mediante prove.

Prospetto 2 - UNI EN 13670:2010 Argomenti per l'ispezione dell'esecuzione.

Argomento	Classe di esecuzione 1	Classe di esecuzione 2	Classe di esecuzione 3
Materiali per impalcature di sostegno, puntellamenti e/o attrezzature provvisionali di supporto. Casseforme	Secondo i requisiti di cui al punto 5 della UNI EN 13670:2010		
Elementi inglobati	Secondo i requisiti di cui al punto 5.6 della UNI EN 13670:2010		
Armature ordinarie	Secondo i requisiti di cui al punto 6 della UNI EN 13670:2010		
Armature da precompressione	Da non utilizzare in questa classe	Secondo i requisiti di cui al punto 7 della UNI EN 13670:2010	
Trasporto in cantiere e getto e maturazione del calcestruzzo	Secondo i requisiti di cui al punto 8 della UNI EN 13670:2010		
Montaggio di elementi prefabbricati di erezione	Secondo i requisiti di cui al punto 9 della UNI EN 13670:2010		

INGENIO-WEB.it

Prospetto 3 - UNI EN 13670:2010 Tipo e documentazione dell'ispezione.

	Classe di esecuzione 1	Classe di esecuzione 2	Classe di esecuzione 3
Tipo di ispezione	Ispezione visiva e misurazione a campione	Ispezione visiva e misurazioni sistematiche e regolari delle opere principali	Ispezione visiva Ispezione dettagliata di tutte le opere che sono significative per la capacità portante e la durabilità della struttura
Parte che svolge l'ispezione	Autoispezione	Autoispezione Ispezione in conformità alle procedure del costruttore Possibili requisiti addizionali secondo la specifica di esecuzione	Autoispezione Ispezione in conformità alle procedure del costruttore Requisiti addizionali secondo la specifica di esecuzione
Ambito	Tutte le opere	Oltre all'ispezione, ci deve essere un'ispezione sistematica e regolare delle opere	Oltre all'ispezione, ci deve essere un'ispezione sistematica e regolare delle opere
Rapporto di ispezione	Non richiesto	Richiesto	
Geometria come da costruzione	Non richiesto	Secondo la specifica di esecuzione	

5. Verifiche ed operazioni preliminari alla messa in opera del calcestruzzo

Prima di iniziare la messa in opera del calcestruzzo è necessario compiere le operazioni e le verifiche riguardanti almeno: le casseforme, le attrezzature provvisionali di sostegno e/o di supporto, le armature metalliche e le attrezzature necessarie per il getto, per la compattazione e per la maturazione del calcestruzzo.

5.1 Casseforme

Le casseforme e le relative opere provvisionali di supporto, di sostegno e/o puntellamento devono essere progettate e realizzate in modo da contenere e/o sopportare le azioni e le sollecitazioni alle quali sono sottoposte nel corso della messa in opera del calcestruzzo ed essere idonee a garantire il rispetto delle dimensioni geometriche, delle tolleranze e dei requisiti di finitura della superficie del calcestruzzo previsti dalle specifiche del Capitolato tecnico.

In base alla loro configurazione le casseforme possono essere classificate per campo d'applicazione in:

- casseforme verticali, modulari, componibili e non, corredate o non da componenti per le fasi del ciclo di costruzione per il corretto impiego in sicurezza delle stesse attrezzature provvisionali e da sistemi o componenti di puntellamento per la realizzazione fondazioni superficiali, muri, pareti, pilastri pile, spalle, pulvini, ecc.;

INGENIO-WEB.it

- casseforme orizzontali e/o inclinate, modulari o non, corredate o non da sistemi o componenti di puntellazione e/o di impalcature di sostegno e da componenti per il corretto impiego in sicurezza per la realizzazione di elementi edilizi orizzontali e/o inclinati;
- casseforme «dedicate» a specifiche realizzazioni, componibili o non, costituite da attrezzature provvisionali atte a contenere ed a sostenere il calcestruzzo durante il getto e la maturazione del calcestruzzo;
- casseforme a tunnel, idonee a realizzare contemporaneamente elementi edilizi orizzontali e verticali;
- casseforme a ripresa (dette anche rampanti), i cui dispositivi di sospensione sono ancorati al calcestruzzo precedentemente messo in opera, atte a realizzare strutture verticali, mediante il loro progressivo innalzamento tramite la movimentazione e il sollevamento delle stesse attrezzature provvisionali con apparecchi di sollevamento (gru, autogru, ecc.) o auto-sollevanti con meccanismi idraulici;
- casseforme scorrevoli, per realizzare opere che si sviluppino in altezza con continuità del ciclo di costruzione e produttivo;
- casseforme per manufatti prefabbricati in calcestruzzo;
- casseforme per gallerie e condotte;
- casseforme per specifiche metodologie costruttive per realizzare ponti, viadotti, infrastrutture, ecc. (attrezzature provvisionali per costruire archi in c.a. e strutture a travata reticolare composta acciaio-calcestruzzo collaborante, attrezzature provvisionali dette «carri varo» per singole travi o conci di travata, attrezzature provvisionali traslabili per la costruzione di impalcati composti in acciaio e c.a. collaborante, attrezzature provvisionali per la costruzione di impalcati a sbalzi successivi per getto in opera, attrezzature provvisionali per la costruzione di impalcati a sbalzi successivi per assemblaggio di conci prefabbricati, casseforme supportate da centine auto-varanti e carri varo per travature prefabbricate o conci di travata in c.a., costruzioni per estrusione di impalcati con tronconi prefabbricati di calcestruzzo o gettato in opera, tramite spinta di traslazione longitudinale degli stessi conci);
- casseforme per opere portuali;
- casseforme per opere idrauliche (dighe, canali, ecc.).

Le casseforme, corredate o meno da sistemi di supporto, componenti di puntellamento e/o di impalcature di sostegno, devono essere atte a consentire la realizzazione delle opere in conformità alle specifiche del Capitolato tecnico. Le casseforme e le relative opere provvisionali correlate devono mantenere la geometria degli elementi strutturali in calcestruzzo fino a quando il grado di maturazione del getto sia tale da consentire al calcestruzzo di raggiungere una resistenza sufficiente ad autoportarsi, prima che le casseforme possano essere rimosse. La geometria del calcestruzzo indurito deve essere conforme ai particolari costruttivi della documentazione progettuale e delle relative specifiche tecniche.

Le casseforme e le attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento devono essere progettate e realizzate in modo da:

- sopportare effettivamente le sollecitazioni applicate durante l’esecuzione delle opere;
- lasciare alle opere la libertà di deformazione eventualmente necessaria in corso di esecuzione;
- rispettare le tolleranze dimensionali e geometriche prescritte per le strutture;

INGENIO-WEB.it

- rispettare i requisiti richiesti in relazione alle tipologie ed alle classi di finitura delle superfici dei paramenti e/o degli intradossi di solai e di impalcati in calcestruzzo in conformità alle specifiche progettuali e del Capitolato tecnico;
- consentire corrette modalità operative d'impiego in sicurezza delle casseforme e delle attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento.

Le casseforme e le attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento devono essere oggetto di specifico progetto, riferito alle specifiche configurazioni d'impiego previste per la realizzazione di elementi costruttivi in c.a.

È a cura dell'impresa esecutrice la scelta delle attrezzature provvisionali in grado di soddisfare le prescrizioni e i requisiti richiesti dalla specifiche progettuali e del capitolato tecnico, nonché la redazione dello specifico progetto delle casseforme e delle attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento.

La resistenza e la stabilità delle casseforme e delle attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento, sotto le azioni e le sollecitazioni che queste possono sopportare in esercizio, devono essere verificate in accordo ai metodi di calcolo previsti dalle norme tecniche in relazione alla relativa tipologia delle attrezzature provvisionali. Si devono applicare metodi di calcolo comprovati, con coefficienti di sicurezza adeguati all'effettiva conoscenza dei parametri in gioco come pure al loro grado d'indeterminatezza.

La redazione del progetto delle casseforme e delle attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento deve essere corredata dalla seguente documentazione tecnica:

- programma dettagliato dei cicli d'impiego delle attrezzature provvisionali, in relazione ai procedimenti e alle modalità di costruzione;
- pianificazione operativa delle casseforme e delle attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento;
- relazione tecnica corredata dalla redazione di calcolo delle casseforme e delle attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento;
- disegni esecutivi d'impiego delle casseforme e delle attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento;
- procedure operative specifiche ed istruzioni d'uso delle possibili configurazione d'impiego delle casseforme e delle attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento per la corretta messa in opera, impiego, trasformazione, smontaggio e le istruzioni di impiego pertinenti alle differenti specifiche configurazioni di allestimento e di installazione delle stesse attrezzature provvisionali.

I disegni esecutivi d'impiego delle casseforme, componibili e non, verticali e/o inclinate, così come delle casseforme dedicate a specifiche realizzazioni di elementi strutturali e delle relative attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento, devono riportare:

- le condizioni d'appoggio delle casseforme e delle attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento, che devono essere compatibili con la stabilità delle attrezzature provvisionali stesse, con le necessarie caratteristiche di resistenza del calcestruzzo e con quella del piano d'appoggio;
- le disposizioni che assicurano la stabilità delle attrezzature provvisionali nelle tre dimensioni dello spazio;

INGENIO-WEB.it

- le disposizioni da rispettare per il sollevamento, la movimentazione, la messa in opera e il disarmo delle attrezzature provvisionali;
- le tolleranze d'esecuzione delle casseforme e delle relative attrezzature provvisionali di sostegno.

Le casseforme verticali devono assicurare la corretta forma geometrica definitiva delle opere, tenendo conto della deformazione delle casseforme, delle deformazioni istantanee e ritardate dell'elemento strutturale, dovute a cause differenti. I disegni esecutivi d'impiego delle casseforme orizzontali e/o inclinate, così come delle casseforme dedicate a specifiche realizzazioni di elementi strutturali e delle relative attrezzature provvisionali di sostegno/puntellamento devono riportare:

- le condizioni d'appoggio dei montanti strutturali del puntellamento/impalcatura di sostegno che devono essere compatibili con la propria stabilità e con quella del piano d'appoggio;
- le disposizioni che assicurano la controventatura nelle tre dimensioni dello spazio;
- le disposizioni da rispettare per il sollevamento, la movimentazione, la messa in opera e il disarmo degli impalcati;
- le contro-frecce, eventualmente necessarie definite dal progetto strutturale per assicurarsi la corretta forma geometrica definitiva delle opere;
- le tolleranze d'esecuzione delle casseforme e del puntellamento/impalcatura di sostegno che costituiscono la carpenteria degli impalcati.

Le deformazioni delle casseforme orizzontali e/o inclinate e del relativo puntellamento/impalcatura di sostegno delle carpenterie devono essere compatibili con le tolleranze ammesse per l'esecuzione e non comprometterne il comportamento in esercizio.
Le deformazioni ammissibili devono essere giustificate tramite la relazione di calcolo da prodursi unitamente alla relazione tecnica.
Nella relazione tecnica e di calcolo devono essere messe in evidenza le disposizioni per il controllo delle deformazioni e dei cedimenti in funzione delle fasi di applicazione dei carichi sulle attrezzature provvisionali.
Le attrezzature provvisionali devono essere compatibili con le modalità dei cicli di costruzione, delle fasi di getto del calcestruzzo, della messa in opera delle stesse attrezzature e delle differenti metodologie di compattazione del calcestruzzo.
Le casseforme e le correlate opere provvisionali devono essere realizzate affinché agiscano in modo ammissibile sulle strutture alla quali sono ancorate o appoggiate in modo da permettere il ritiro del calcestruzzo ed un facile disarmo.
Le casseforme e le correlate opere provvisionali devono essere progettate in relazione alle procedure operative di disarmo ed effettuate in sicurezza per gli addetti alle differenti attività con metodi operativi conformemente alle fasi previste dal ciclo di costruzione delle opere ed alle fasi del ciclo d'impiego delle stesse attrezzature provvisionali senza scosse e con forze puramente statiche al fine di non recare alcun danno per il calcestruzzo. I puntellamenti/le impalcature di sostegno delle casseforme orizzontali e/o inclinate dovranno essere realizzate affinché agiscano in maniera ammissibile per le opere che esse sostengono e per quelle sulle strutture sottostanti sulle quali prendono appoggio.
I tiranti di collegamento delle casseforme contrapposte e i dispositivi di ancoraggio delle casseforme, qualora attraversino o siano inglobati nel calcestruzzo, non devono causare a quest'ultimo alcun danno. L'ammissibilità delle eventuali azioni trasmesse dagli ancoraggi annegati nel calcestruzzo dovrà essere verificata a cura del progettista che ha condotto lo studio della struttura in c.a.

INGENIO-WEB.it

La progettazione e la messa in opera delle casseforme deve tener conto della necessità di evitare durante la fase di getto perdite dannose di matrice cementizia. Generalmente la cassaforma è infatti ottenuta mediante l'accostamento di più unità o moduli di attrezzatura provvisionale; se tale operazione non è eseguita correttamente e/o i giunti non sono a tenuta, la matrice, o boiacca cementizia, fuoriesce provocando difetti sulla superficie del calcestruzzo, eterogeneità nella tessitura e nella colorazione, nonché nidi di ghiaia. L'impermeabilità dei giunti fra le unità di cassaforma deve essere assicurata dal contatto diretto dei bordi del rivestimento della cassaforma. La tenuta dei giunti delle casseforme deve essere curata in modo particolare nelle strutture con finitura superficiale del calcestruzzo a vista; può essere migliorata utilizzando giunti preformati riutilizzabili o guarnizioni monouso.

Le casseforme devono essere classificate e dimensionate – a cura dell'impresa esecutrice – in funzione della massima pressione caratteristica ammissibile che il calcestruzzo fresco esercita sulle casseforme, tenendo presente che la resistenza caratteristica della cassaforma alla pressione del calcestruzzo fresco può variare da 20 a 150 kN/m^2. Il responsabile o il progettista della progettazione delle casseforme, incaricato dall'impresa esecutrice delle opere, determina la massima pressione caratteristica ammissibile che il calcestruzzo fresco esercita sulla cassaforma, tenendo conto particolarmente delle tipologie e delle caratteristiche del calcestruzzo fresco, delle modalità di getto e della velocità di innalzamento del calcestruzzo nelle casseforme. Le casseforme devono essere dimensionate in modo da minimizzare le deformazioni delle stesse per sopportare correttamente le sollecitazioni ipotizzate in base al tipo di calcestruzzo utilizzato.

È opportuno che eventuali prescrizioni relative alla qualità geometrica, al tipo di finitura, diretta o indiretta, della superficie del calcestruzzo e delle quattro classi di caratterizzazione dell'aspetto dello stesso calcestruzzo, in modo particolare del calcestruzzo a vista siano riportate nelle specifiche progettuali e del Capitolato tecnico.

Tutti i rivestimenti delle casseforme (con la sola esclusione di quelle che rimangono inglobate nell'opera finita), prima della messa in opera del calcestruzzo, richiedono il trattamento con un agente (prodotto) disarmante. I prodotti disarmanti devono essere scelti sulla base delle tipologie del rivestimento delle casseforme, delle quattro classi di caratterizzazione dell'aspetto delle superfici dei paramenti e/o degli intradossi e/o dei trattamenti ulteriori della superficie del calcestruzzo disarmata richieste dalle specifiche del Capitolato tecnico e dei trattamenti ulteriori della superficie del calcestruzzo disarmata. I prodotti disarmanti vengono applicati ai rivestimenti delle casseforme per agevolare il distacco del calcestruzzo, ma svolgono anche altre funzioni quali la protezione del rivestimento delle casseforme stesse (rivestimento metallico dall'ossidazione e della corrosione, l'impermeabilizzazione dei pannelli multistrati di legno) ed il miglioramento della qualità della superficie del calcestruzzo. La scelta del prodotto e la sua corretta applicazione influenzano la qualità delle superfici del calcestruzzo indurito, in particolare l'omogeneità di colore e l'assenza di bolle. L'impiego dei disarmanti è subordinato a prove preliminari atte a dimostrare che il distaccante non macchi e/o alteri il colore e la finitura superficiale del calcestruzzo; a tal fine, prima di procedere al getto è sempre opportuno eseguire prove preliminari di compatibilità tra il calcestruzzo, il rivestimento della cassaforma e il disarmante.

È necessario contenere il tempo che intercorre fra l'applicazione del disarmante e l'esecuzione del getto, in funzione della struttura da realizzare, della tipologia e delle caratteristiche del disarmante e delle condizioni atmosferiche del cantiere, garantendo la piena efficacia del prodotto. L'applicazione del disarmante deve essere effettuata con cura, in strati sottili e regolari, prima del posizionamento delle gabbie di armatura. Il disarmante in eccesso è causa dell'apparizione di macchie e deve pertanto essere rimosso mediante dei panni o spugne. In fase d'applicazione i

INGENIO-WEB.it

prodotti disarmanti non devono mai venire a contatto con i ferri d'armatura, con il calcestruzzo indurito o con altri materiali che non costituiscono il rivestimento della cassaforma.
Le casseforme con rivestimenti assorbenti, costituite da tavole o pannelli di legno non trattato od altri materiali assorbenti, calcestruzzo compreso, prima della messa in opera del calcestruzzo richiedono la saturazione effettiva con acqua. Si deve altresì aver cura di eliminare ogni traccia di ruggine sulle casseforme con paramento/superfici di rivestimenti metallici.
Nel caso in cui i ferri d'armatura non siano vincolati alle casseforme, per rispettare le tolleranze dello spessore del copriferro, si dovranno predisporre opportuni distanziatori che contrastino l'effetto della pressione esercitata dal calcestruzzo.
Di seguito sono indicate le possibili precauzioni per evitare o almeno contenere i principali difetti delle casseforme e le relative conseguenze sulle strutture:

- utilizzare casseforme poco deformabili, casseforme non deformate, pannelli di rivestimento di spessore omogeneo;
- connettere correttamente le casseforme; sigillare i giunti con materiali idonei o guarnizioni, per evitare perdite di boiacca e/o fuoriuscita d'acqua d'impasto, formazione di nidi di ghiaia;
- saturare con acqua il rivestimento delle casseforme, costituito da tavole in legno;
- usare un idoneo prodotto disarmante e/o impermeabilizzante, nel caso di rivestimenti delle casseforme con superficie troppo assorbente. In caso invece di superficie non assorbente, applicare correttamente il disarmante ed immettere il calcestruzzo dal fondo, per evitare la presenza di bolle superficiali. Infine pulire accuratamente le casseforme con rivestimento metallico, utilizzando un prodotto disarmante anticorrosivo, per evitare che la loro superficie si ossidi arrecando macchie di ruggine al calcestruzzo. Nell'applicare i prodotti disarmanti utilizzare idoneo metodo di applicazione di un film sottile di disarmante distribuendolo in modo omogeneo. Pulire accuratamente le casseforme dai residui dei precedenti impieghi, al fine di evitare macchie sul calcestruzzo e presenza di bolle d'aria. Curare l'applicazione del prodotto disarmante, in modo che non sia insufficiente, per evitare disomogeneità nel distacco.

Per realizzare strutture ed opere che si sviluppano in altezza sono frequentemente utilizzate le casseforme a ripresa mediante il loro progressivo innalzamento, ancorate nella sezione di getto del calcestruzzo precedentemente messo in opera e le casseforme scorrevoli. Le casseforme a ripresa si sorreggono sulla sezione di calcestruzzo indurito dei getti sottostanti, precedentemente messi in opera. Il loro ancoraggio del dispositivo di sospensione è realizzato mediante bulloni o piastre con barre inserite nel calcestruzzo. L'avanzamento nei getti è vincolato al raggiungimento, da parte del calcestruzzo, di una resistenza sufficiente a sostenere il carico delle armature del calcestruzzo del successivo getto, degli uomini e delle attrezzature provvisionali a ripresa.
Questa tecnologia è finalizzata alla realizzazione di elementi strutturali a sviluppo verticale quali: pareti di costruzioni edilizie, pile di ponte, ciminiere, pareti di sbarramento (dighe), strutture industriali.
La tecnologia delle casseforme scorrevoli verticali consente di mettere in opera il calcestruzzo in modo continuo. La velocità di avanzamento della cassaforma è regolata in modo che il calcestruzzo messo in opera sia sufficientemente rigido da mantenere la propria forma, sostenere il proprio peso e le eventuali sollecitazioni indotte dalle attrezzature e, nel caso delle casseforme scorrevoli verticali, anche il calcestruzzo del getto successivo.

INGENIO-WEB.it

Le casseforme scorrevoli orizzontali, scivolano conferendo al calcestruzzo la sezione voluta. Sono utilizzate ad esempio per rivestimenti di gallerie, condotte d'acqua, rivestimenti di canali, pavimentazioni stradali e barriere spartitraffico.
L'utilizzo delle casseforme scorrevoli comporta dei vincoli per le proprietà del calcestruzzo fresco. Nel caso delle casseforme scorrevoli orizzontali è richiesta una consistenza quasi asciutta (S1-S2); il calcestruzzo deve rendersi plastico sotto l'effetto dei vibratori, ma al rilascio della cassaforma deve essere sufficientemente rigido da autosostenersi. Con le casseforme scorrevoli verticali, invece, il tempo d'indurimento e la scorrevolezza del calcestruzzo sono parametri vincolanti e devono essere costantemente controllati.
Gli eventuali fori e/o nicchie formate nel calcestruzzo dalle attrezzature di supporto delle casseforme e/o dalle stesse casseforme devono essere riempiti e trattati in superficie con un materiale di qualità simile a quella del calcestruzzo circostante.
Gli inserti destinati a mantenere le armature in posizione, quali: distanziali, tiranti, barre o altri elementi incorporati o annegati nella sezione come placche e perni di ancoraggio, devono:

- essere fissati solidamente in modo tale che la loro posizione rimanga quella prescritta anche dopo la messa in opera e la compattazione del calcestruzzo;
- non indebolire la struttura;
- non indurre effetti dannosi al calcestruzzo, agli acciai di armatura e ai tiranti di precompressione;
- non provocare macchie inaccettabili;
- non nuocere alla funzionalità o alla durabilità dell'elemento strutturale;
- non collegare le armature con altri elementi metallici a contatto con l'ambiente;
- non ostacolare la messa in opera e la compattazione del calcestruzzo.

Ogni elemento annegato deve avere una rigidità tale da mantenere la sua forma durante le operazioni di messa in opera del calcestruzzo.

5.2 Strutture delle attrezzature provvisionali di sostegno e di supporto delle casseforme

Il progetto delle strutture delle attrezzature provvisionali di sostegno e di supporto delle casseforme deve prendere in considerazione l'effetto combinato:

- del peso proprio delle casseforme, dei ferri d'armatura e del calcestruzzo;
- della pressione esercitata sulle casseforme dal calcestruzzo in relazione ai suoi gradi di consistenza più elevati, in particolare nel caso di calcestruzzo autocompattante (SCC);
- delle sollecitazioni esercitate da: personale, materiali, attrezzature, ecc., compresi gli effetti statici e dinamici provocati dalla messa in opera del calcestruzzo, dai suoi eventuali accumuli in fase di getto e dalla sua compattazione;
- dei possibili sovraccarichi dovuti al vento e alla neve.

Salvo che per specifiche previsioni progettuali, alle casseforme non devono essere connessi carichi e/o azioni dinamiche dovute a fattori esterni quali, ad esempio, le tubazioni delle pompe per calcestruzzo. La deformazione totale delle casseforme, ovvero la somma di quelle relative alle unità di cassaforma e alle strutture di supporto/sostegno, non deve superare le tolleranze geometriche previste e specificate per le strutture edilizie e opere di ingegneria civile completate.
Qualora apposite istruzioni al riguardo non siano espressamente contenute nel Capitolato tecnico, è opportuno che sia predisposto un documento in cui raccogliere le indicazioni necessarie al montaggio ed allo smontaggio delle strutture di supporto/di sostegno, ecc., alla loro

INGENIO-WEB.it

movimentazione e regolazione, nonché le informazioni circa il comportamento sotto carico ed i carichi massimi sopportabili.
Per evitare la deformazione del calcestruzzo non ancora completamente indurito e le possibili fessurazioni, lo studio progettuale delle strutture di supporto deve prevedere l'effetto della spinta verticale ed orizzontale del calcestruzzo durante la messa in opera e, nel caso in cui la struttura di supporto poggi, anche parzialmente, al suolo, occorrerà assumere i provvedimenti necessari per compensare gli eventuali assestamenti.
Le sollecitazioni verticali relative alle attrezzature provvisionali sono provocate da carichi statici e da carichi accidentali di servizio. I carichi statici sono rappresentati dal peso delle casseforme, delle armature metalliche e del calcestruzzo mentre i carichi dinamici (verticali) sono quelli provocati dal transito degli operatori, delle attrezzature, dei materiali, dei loro eventuali accumuli, ed eventuali attrezzature di cantiere.
La pressione laterale è esercitata sulle casseforme dal calcestruzzo fresco.

La massima pressione possibile che il calcestruzzo fresco esercita sulle casseforme, risulta in genere
p = w * h, dove:

p = pressione laterale (kN/m^2)
w = peso per unità di volume (kN/m^3)
h = altezza del calcestruzzo, allo stato fresco o plastico, misurato dalla sommità del getto (m).

Condizioni di getto del calcestruzzo particolari possono dare origine ad andamenti più sfavorevoli delle pressioni esercitate dal calcestruzzo fresco sulle casseforme.

La pressione del calcestruzzo fresco è da tener conto quale carico statico per la progettazione strutturale delle casseforme verticali.

5.3 Armature per calcestruzzo

Le armature per opere in calcestruzzo armato sono ottenute tramite le operazioni di taglio a misura, piegatura, saldatura e assemblaggio, delle barre di acciaio. Tali lavorazioni possono avvenire all'interno del cantiere o in appositi stabilimenti definiti Centri di Trasformazione. Ne consegue che nelle operazioni di verifiche e controllo bisogna verificare non solo le caratteristiche metallurgiche dell'acciaio ma anche la precisione e correttezza delle operazioni di taglio, piegatura, raddrizzatura, saldatura ed assemblaggio delle armature.

5.3.1 Verifica delle forniture

Il Direttore dei Lavori, prima della messa in opera, è tenuto a verificare che tutte le forniture di acciaio per c.a. provenienti direttamente dallo stabilimento di produzione siano accompagnate dalla documentazione richiesta dalle Norme tecniche vigenti.
Dopo aver verificato la documentazione, il Direttore dei Lavori deve vigilare sulle lavorazioni in cantiere ed effettuare i seguenti controlli:

- verifica della etichettatura del fascio di barre. Ciascun fascio dovrà essere regolarmente etichettato. Sull'etichetta dovranno essere riportati i riferimenti al tipo di prodotto (es. B450 C/B450A), diametro, lunghezza della barra, peso e al N° di colata (Figura 1);
- verifica del marchio di laminazione dell'acciaio. La Direzione Lavori dovrà verificare la corrispondenza del marchio di laminazione riportato sulla barra con quello riportato sull'attestato di qualificazione (Figura 2).

INGENIO-WEB.it

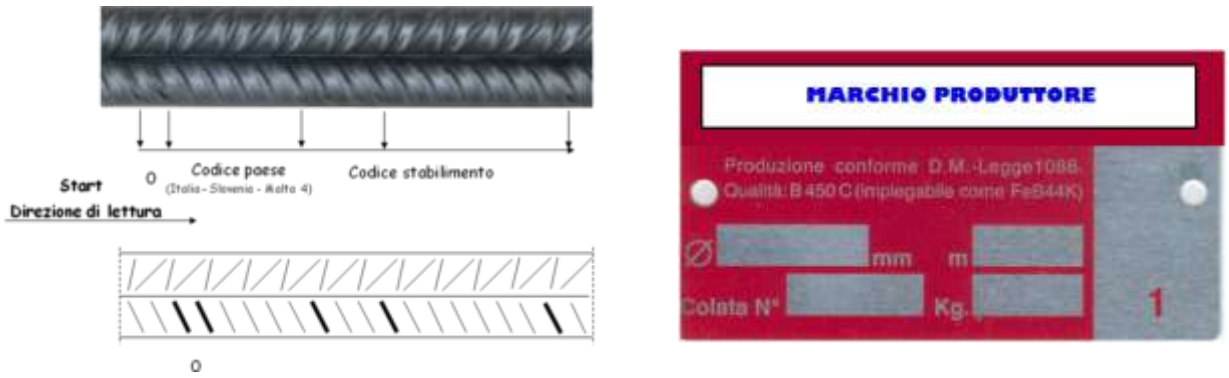

Figura 1: Esempio di marchio di laminazione e di etichetta.

ATTESTATO DI QUALIFICAZIONE

XX/12-CA

ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO LAMINATO A CALDO

B450C, impiegabile anche come FeB44k, saldabile,
in rotoli laminati a caldo, tempra e bobinatura a caldo,
nei diam. 10-16 mm

(NOME PRODUTTORE)
(INDIRIZZO PRODUTTORE)

(INDIRIZZO STABILIMENTO)

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

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale

Figura 2: Esempio di attestato di qualificazione di ferriera del Servizio Tecnico Centrale.

5.3.2 Processo di sagomatura delle armature per c.a.

I processi di sagomatura adottati, sia nel Centro di Trasformazione che in cantiere, devono essere eseguiti in coerenza con quanto riportato nel Cap. 6 e nell'Allegato D della Norma UNI EN 13670:2009.

INGENIO-WEB.it

In particolare sono richiesti i seguenti requisiti:

- la piegatura deve essere effettuata in un'unica operazione. Qualora si impieghino macchine piegatrici automatiche, la piegatura può essere continua o sequenziale;
- la piegatura dell'acciaio in condizioni con temperature inferiori ai - 5° C è consentita solo se autorizzata nelle specifiche di esecuzione e a condizione che le procedure adottate siano conformi alle necessarie precauzioni aggiuntive;
- la piegatura tramite il riscaldamento delle barre non è consentita a meno che non sia autorizzata nelle specifiche di esecuzione.

Nelle operazioni di piegatura vanno rispettate per i mandrini le limitazioni dimensionali minime indicate in Tabella 5.1.

Tabella 5.1 - Diametro minimo dei mandrini di piegatura.

Φ barra o rotolo in mm	**Diametro del mandrino di piegatura (D in mm)**
≤ 16	4 volte
> 16	7 volte

I parametri indicati in Tabella 5.1 e le consequenziali dimensioni minime d'ingombro realizzabili con gli stessi, sono da considerarsi vincolanti per tutte le operazioni di sagomatura.
Qualora i disegni esecutivi riportino sagome con angoli e dimensioni incompatibili con i mandrini minimi di cui alla Tabella 2 – e non sia esplicitata per le stesse apposita autorizzazione di eseguire la sagomatura in deroga alla Norma da parte del Progettista o della Direzione Lavori del cantiere a cui sono destinate le armature – il presagomatore è tenuto a modificare le stesse, laddove la struttura di destinazione lo consenta, affinché rientrino nei parametri di sagomatura richiesti dalla Norma o, in caso contrario, a non realizzarle fintanto che gli venga inviata dal proprio Cliente l'autorizzazione di cui sopra. Le modalità operative di sagomatura devono essere definite nelle procedure/istruzioni di lavorazione.

Per assicurare il rispetto di quanto previsto sul diametro minimo dei mandrini da utilizzare in fase di sagomatura, bisogna prevedere per i lati risultanti dalla piegatura, come indicato in Figura 3, le lunghezze minime riportate nella successiva Tabella 5.2.

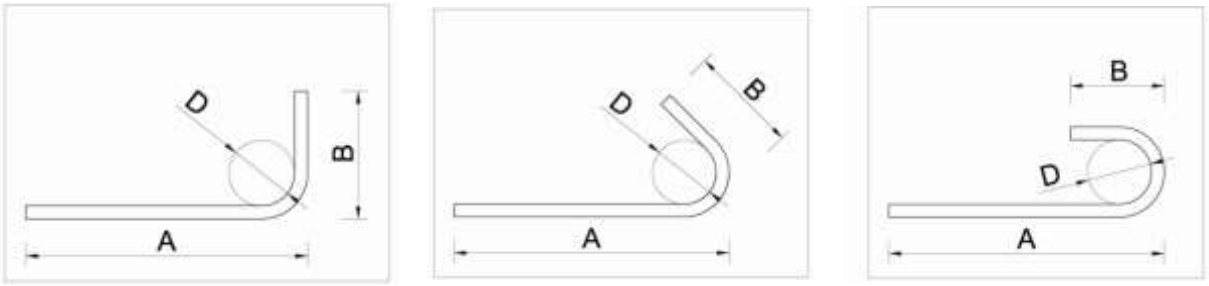

Figura 3: Sagome tipo.

INGENIO-WEB.it

Tabella 5.2 - Misura minima di "ingombro" dei lati.

Diametro barra (mm)	Diametro minimo del mandrino (D in mm)	Lato B (cm)	Esempio serie di mandrini utilizzabile (D in mm)
6	24	10	42
8	32	10	42
10	40	10	42
12	48	12	65
14	56	14	65
16	64	16	65
18	126	18	130
20	140	22	160
22	154	22	160
24	168	26	182
25	175	26	182
26	182	26	182
28	196	30	210
30	210	30	210

In caso di forniture di armature presaldate, presagomate e/o preassemblate da un Centro di trasformazione, il Direttore dei Lavori deve verificare preliminarmente il possesso, da parte del Centro, dei requisiti richiesti dalla normativa vigente, in particolare acquisire gli estremi della certificazione attestante il possesso dei predetti requisiti. Un Centro di Trasformazione privo di tale certificazione non può fornire acciaio presagomato per strutture in c.a..

Il Direttore dei Lavori deve pertanto verificare che ogni fornitura in cantiere di armature presaldate, presagomate e/o preassemblate sia sempre accompagnata dalla documentazione di cui sopra.

Con riferimento alle attuali Norme tecniche sulle costruzioni, di cui al DM 14.01.2008, si riporta nel seguito (Figura 4) un esempio di attestato di denuncia dell'attività del Centro di Trasformazione del Servizio Tecnico Centrale.

Inoltre, alla consegna dell'acciaio presagomato in cantiere, unitamente al controllo documentale di cui sopra, la Direzione Lavori deve verificare, sui colli di fornitura, la presenza di etichette identificative riportanti il marchio e/o logo del Centro di Trasformazione, che deve corrispondere a quello indicato sull'Attestato di denuncia dell'attività, nonché verificare la presenza del previsto Documento di Trasporto (Figura 5).

INGENIO-WEB.it

L'impresa costruttrice, che riceve i documenti suindicati, ne riporta gli estremi all'interno dell'apposito "Registro", tramite il quale deve essere sempre consentita la rintracciabilità dell'acciaio impiegato nelle varie parti della struttura.

ATTESTATO DI DENUNCIA DELL'ATTIVITA' DI CENTRO DI TRASFORMAZIONE

N. XX/12

In conformità al DM 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" si attesta che la Ditta

(NOME PRODUTTORE)

per il proprio stabilimento di:

(INDIRIZZO PRODUTTORE)

ha depositato presso il Servizio Tecnico Centrale la documentazione inerente il possesso dei requisiti richiesti dalla norma per la lavorazione dell'acciaio finalizzata alla:

SAGOMATURA FERRO PER C.A.

Ogni confezione del prodotto lavorato è riconducibile alla Ditta di cui sopra, con tutte le informazioni utili ad individuare la commessa, attraverso la seguente etichetta:

(LOGO PRODUTTORE)

Il presente attestato di deposito ha il solo obiettivo di identificare il Centro di Trasformazione. In tal senso l'attestato di deposito non è finalizzato a certificare la concreta idoneità tecnica del prodotto di lavorazione alle diverse utilizzazioni cui può essere destinato e non può trasferire le responsabilità del Centro di Trasformazione e del progettista al Servizio Tecnico Centrale, restando nella responsabilità delle figure suddette ogni specifica applicazione del prodotto. Il presente attestato ha validità sino a che le condizioni iniziali, sulla base delle quali è stato rilasciato, non subiscano modifiche significative.

Roma, (DATA)

IL DIRIGENTE DELLA DIVISIONE III DEL SERVIZIO TECNICO CENTRALE

Via Nomentana, 2 -00161 Roma-
Tel. 06.4412.4103 Fax 06.4426.7583

Figura 4: Esempio di attestato di denuncia dell'attività del Centro di Trasformazione del Servizio Tecnico Centrale.

LOGO E INTESTAZIONE PRODUTTORE

Edil Costruzioni
via Italia 1
0000 Roma (RM)
Via Lazio n°1, Roma

FATTURA ACCOMPAGNATORIA

999999	IT00000000000	00000000000	Da concordare		4765	22-10-10

AP	ACCIAIO PRESAGOMATO MISTO BAGGIOLI - TIPO A & B Materiale prodotto il 23/09/2010, 24/09/2010. Si dichiara che il medesimo giorno sono state effettuate le prove previste dal punto 11.3.2.10.3 del DM 14 01 2008	1	3,560			

CONTRIBUTO CONAI ASSOLTO

CONTO VENDITA	IN VISTA		22-10-10 12:38:00

Figura 5: Esempio di Documento di Trasporto di acciaio presagomato.

INGENIO-WEB.it

5.3.3 Assemblaggio e messa in opera delle armature

Le armature devono essere messe in opera secondo le posizioni, le prescrizioni e le indicazioni dei disegni e dei documenti progettuali. In tal senso è opportuno che il progetto contenga un apposito elaborato riportante la distinta dei ferri di armatura.

Nella posa in opera delle armature devono poi essere rispettate:

- le tolleranze di posizionamento definite nella documentazione progettuale;
- lo spessore del copriferro nominale;
- l'interferro.

Il copriferro, come definito al Paragrafo 2, è la distanza tra le superfici dell'armatura più esterna, comprensiva di legature, e la superficie esterna più prossima del calcestruzzo. Il copriferro nominale specificato nei disegni, è definito da un valore minimo c_{min} a cui deve essere aggiunto, in sede progettuale, un incremento Δh per tener conto della tolleranza.

Sia per il copriferrro che per l'interferro valgono le indicazioni del paragrafo 4.1.6.1.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti. Nella verifica dei predetti valori è opportuno utilizzare adeguati calibri o spessori.

5.3.4 Giunzioni

Le giunzioni, sia nel tipo che nella posizione, devono essere indicate con precisione nel progetto e devono essere eseguite nel massimo rispetto delle stesse prescrizioni progettuali. In fase esecutiva è sempre comunque opportuno rammentare che le giunzioni possono essere effettuate mediante:

- saldature eseguite in conformità alle norme vigenti, previo accertamento della saldabilità dell'acciaio in uso e della sua compatibilità con il metallo d'apporto, nelle posizioni o condizioni operative previste nel progetto esecutivo;
- manicotto filettato;
- sovrapposizione.

La sovrapposizione deve essere calcolata in modo da assicurare l'ancoraggio di ciascuna barra; in ogni caso la lunghezza di sovrapposizione, per le barre rette, deve essere non minore di 20 volte il diametro e la prosecuzione di ciascuna barra deve essere deviata verso la zona compressa. La distanza mutua (intraferro) nella sovrapposizione non deve superare 4 volte il diametro.

Nelle unioni di sovrapposizione può essere necessario, in taluni casi, valutare gli sforzi trasversali che si generano nel calcestruzzo circostante, che va protetto con specifiche armature addizionali, trasversali o di cerchiatura. Le saldature non devono essere eseguite in una parte curva o in prossimità di una curva dell'armatura. La saldatura per punti è ammessa solo per l'assemblaggio delle armature. Non deve essere permessa la saldatura delle armature di acciaio galvanizzato a meno di diverse specifiche prescrizioni, che indichino il procedimento da seguire per il ripristino della protezione.

6. Trasporto, messa in opera e compattazione del calcestruzzo

Il calcestruzzo, dopo essere stato confezionato presso l'impianto di betonaggio è trasportato in cantiere per la realizzazione delle strutture dove, nella fase di messa in opera, viene gettato nelle casseforme e compattato per ottenere le tipologie di finitura e classe d'aspetto della superficie del calcestruzzo prescritte nelle Specifiche progettuali e di Capitolato tecnico.. La fase di messa in opera del calcestruzzo, fortemente condizionata dal personale addetto, è fondamentale per la realizzazione di strutture con caratteristiche rispondenti a quanto previsto in fase progettuale.

INGENIO-WEB.it

Ai fini della buona esecuzione delle operazioni di getto, compattazione e finitura, sono fondamentali, fra le altre, due caratteristiche del calcestruzzo che possono essere prescritte già in fase progettuale:

- la classe di consistenza, che rappresenta l'indice di lavorabilità del calcestruzzo. Più alta è la classe di consistenza alla consegna e minore è lo sforzo che deve essere applicato al calcestruzzo per la corretta messa in opera. La classe di consistenza ottimale dipende dal tipo di elemento strutturale da gettare, dal sistema di getto e dai mezzi disponibili per la compattazione e può essere valutata secondo i seguenti metodi di prova:
  - Prove sul calcestruzzo fresco – prova di abbassamento al cono (UNI EN 12350-2);
  - Prove sul calcestruzzo fresco – prova Vebé (UNI EN 12350-3);
  - Prove sul calcestruzzo fresco – compattabilità (UNI EN 12350-4);
  - Prove sul calcestruzzo fresco – spandimento alla tavola a scosse (UNI EN 12350-5);
  - Prova dello Slump Flow in caso di calcestruzzi autocompattanti(UNI EN 12350-8);
- il mantenimento della classe di consistenza, ovvero la capacità del calcestruzzo di mantenere la stessa classe di consistenza nel tempo. Fondamentale per garantire la costanza di messa in opera ed evitare modifiche del prodotto in cantiere. La garanzia del mantenimento della classe di consistenza intesa come il tempo di mantenimento della classe di consistenza, definita contrattualmente tra le parti, è quindi una prescrizione aggiuntiva molto importante che deve tenere conto dei tempi di attesa delle autobetoniere (intervallo di tempo fra arrivo in cantiere ed inizio scarico) e dalla velocità di messa in opera del calcestruzzo.

Per la realizzazione di tutte le strutture ed in particolar modo per quelle complesse per cui sono necessari calcestruzzi con caratteristiche prestazionali particolari o innovative, o nel caso di getti in condizioni ambientali difficili (per es. alte/basse temperature) è consigliabile consultare il produttore di calcestruzzo fin dalla fase di progettazione in modo da definire classe di consistenza e mantenimento in funzione del progetto, nonché tutte le eventuali prestazioni aggiuntive utili per una migliore riuscita del getto.
Si consiglia inoltre in fase di realizzazione di confrontare i tempi di attesa-getto di progetto con quelli reali in modo da apportare la opportune variazioni durante la pianificazione dei getti alle prestazioni del calcestruzzo richieste al produttore.

6.1 Trasporto del calcestruzzo fresco

Il trasporto del calcestruzzo, dal sito di confezione al luogo d'impiego, deve essere effettuato con mezzi adeguati a garantire il mantenimento delle prestazioni previste nel progetto, attesa la notevole influenza che possono avere in tal senso i sistemi e le modalità di produzione e trasporto.
Il mezzo di trasporto più diffuso, l'autobetoniera, mantiene in agitazione il calcestruzzo con rotazione a bassi giri del tamburo. L'autobetoniera, tuttavia, non è ottimale per trasportare calcestruzzi di classe di consistenza quali "terra umida" o S1. In questo caso, infatti, sarebbe più idoneo l'autocarro cassonato. Tuttavia quest'ultimo, se non dotato di copertura, non offre alcuna protezione al calcestruzzo durante il trasporto; in ogni caso deve essere pertanto evitata l'esposizione diretta del calcestruzzo a forte irraggiamento solare o pioggia durante il trasporto.
In entrambi i casi (trasporto con autobetoniera o con autocarro cassonato) la durata del trasporto deve essere comunque compresa all'interno del tempo di mantenimento della lavorabilità del calcestruzzo considerato dalla fine del confezionamento del calcestruzzo all'impianto di

INGENIO-WEB.it

betonaggio; in ogni caso, in mancanza della prescrizione sul tempo di mantenimento della lavorabilità, il calcestruzzo dovrebbe essere messo in opera entro e non oltre due ore dal confezionamento.

Per ogni carico di calcestruzzo si predispone il documento di trasporto (DDT) che deve contenere:

a) gli estremi fiscali del fornitore e l'ubicazione dell'impianto di produzione;
b) gli estremi del destinatario ed il cantiere di destinazione;
c) il vettore;
d) la targa del mezzo;
e) il numero del Certificato FPC (univoco);
f) l'indicazione della quantità da consegnare, espressa in metri cubi;
g) le informazioni relative agli orari, e in particolare:
   - data e ora di carico, ovvero ora del primo contatto tra acqua e cemento;
   - ora di arrivo del mezzo in cantiere;
   - ora di inizio dello scarico ed ora entro la quale deve essere completato;
h) la descrizione del prodotto, oltre all'eventuale denominazione commerciale propria di ciascuna azienda.

Gli altri elementi da inserire nel documento di trasporto (DDT), per il calcestruzzo a prestazione garantita, sono almeno:

- la CLASSE DI RESISTENZA (uno dei valori riportati in Tabella 1. Per esempio "C32/40", esprimibile anche come "Rck 40");
- la CLASSE DI CONSISTENZA (uno dei valori riportati in Tabella 3.1);
- la CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE, come definite dal paragrafo 4.1.2.2.4.3 della vigenti Norme tecniche;
- il DIAMETRO MASSIMO DELL'AGGREGATO ("Dmax" o semplicemente "D" seguito da un numero, inteso come diametro massimo nominale. Per esempio "D16", "D20" o "D30". Il diametro massimo riportato in bolla può essere diverso da quello di progetto riportato nelle tavole progettuali e nel capitolato, deve essere comunque rispettato il rapporto Dmax $\leq$ D progetto).

Nel caso particolare di trasporto di calcestruzzo a composizione richiesta, la descrizione del prodotto deve contenere almeno:

- il CONTENUTO di cemento (espresso in kg/mc);
- il TIPO e la CLASSE del cemento;
- il CONTENUTO ed il TIPO dell'eventuale additivo e/o aggiunta (inteso anche come denominazione commerciale);
- il RAPPORTO ACQUA/CEMENTO (espresso in decimali, per esempio "0,55") oppure, in alternativa, la CLASSE DI CONSISTENZA;
- il DIAMETRO MASSIMO DELL'AGGREGATO;
- la composizione granulometrica della miscela di aggregati.

E' opportuno rammentare che per il calcestruzzo a composizione richiesta il prescrittore deve assicurare, mediante adeguata documentazione di supporto, che la specifica del calcestruzzo sia conforme ai principi generali della UNI EN 206 e che la composizione specificata consenta di raggiungere le prestazioni desiderate allo stato fresco ed indurito.

INGENIO-WEB.it

Il produttore di calcestruzzo è tenuto a garantire quanto contenuto nelle prescrizioni pertanto, nel caso di calcestruzzo a composizione richiesta, il produttore non può fornire alcuna garanzia in merito alle prestazioni (da UNI 11104:2016).
L'impresa costruttrice conserva la documentazione nella quale è specificata l'elemento strutturale a cui il carico di calcestruzzo è stato destinato e ne riporta gli estremi all'interno di un apposito Registro dei getto e dei prelievi, al fine di consentire la rintracciabilità, tra singoli DDT del calcestruzzo, delle parti dell'opera strutturale ove lo stesso è stato posto in opera e dei relativi certificati di prova. Tale documento deve formare oggetto di controllo da parte del Direttore dei Lavori e del Collaudatore delle strutture.
Ogni non conformità o problematica relativa al prodotto di cui il produttore di calcestruzzo abbia avuto notizia (sia durante la produzione che successivamente alla stessa) deve essere prontamente comunicata al cliente per le azioni del caso. A tale proposito il produttore del calcestruzzo dovrebbe conservare per almeno 2 anni dalla fornitura del calcestruzzo tutti i documenti relativi al prodotto quali report di produzione, certificati di origine dei materiali, dichiarazioni di conformità CE dei costituenti, report di prove, etc.

6.2 Controlli di qualità del calcestruzzo

Il controllo di qualità del calcestruzzo in cantiere deve essere effettuato in conformità alle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti. I controlli del calcestruzzo in cantiere rappresentano uno dei momenti più importanti nella realizzazione di un'opera, per le conseguenze che comportano in termini di qualità del costruito e di responsabilità in caso di contestazioni. A tal fine è importante distinguere i controlli di accettazione e i controlli di conformità del calcestruzzo.
I primi sono obbligatori ai sensi delle Norme tecniche per le costruzioni vigenti e costituiscono un elemento fondamentale per la garanzia sulla sicurezza dell'opera; le vigenti Norme tecniche per le costruzioni attribuiscono la responsabilità di tali controlli interamente alla Direzione dei Lavori.
I secondi sono facoltativi, e servono all'impresa per verificare le condizioni di fornitura pattuite contrattualmente col produttore e per questo motivo vengono effettuati in contradditorio con quest'ultimo. In nessun caso i prelievi effettuati ai fini dei controlli di conformità potranno essere utilizzati dalla D.L. per i controlli di accettazione.
I controlli di accettazione possono essere delegati dal Direttore dei Lavori ad un tecnico di propria fiducia solo per quanto concerne le operazioni di prelievo e conservazione dei provini, mentre la responsabilità resta in capo al Direttore dei Lavori. Questi controlli sono fondamentali per la collaudabilità dell'opera, pertanto è fondamentale eseguirli nel rispetto della normativa e del principio della terzietà.
La Direzione dei Lavori deve provvedere alla redazione del verbale di prelievo e disporre l'identificazione dei provini mediante sigle, etichettature indelebili e tutto il necessario per la tracciabilità dei campioni, attendendosi scrupolosamente alle regole per il loro confezionamento e la loro conservazione.
La sottoscrizione della domanda di prove al Laboratorio Ufficiale o Autorizzato da parte del Direttore dei Lavori deve essere subordinata alla redazione del verbale di prelievo. Tale domanda deve contenere precise indicazioni sulla posizione delle strutture interessate da ciascun prelievo e il riferimento al verbale.
I controlli di conformità sulle forniture, sotto il profilo contrattuale, avvengono, invece, in contraddittorio tra il fornitore e l'impresa sul calcestruzzo prelevato "alla bocca dell'autobetoniera", ed hanno come oggetto la verifica della conformità delle proprietà del calcestruzzo con quelle previste nel contratto di acquisto.

INGENIO-WEB.it

Fermo restando l'obbligo dei controlli di accettazione, da certificare da uno dei laboratori di cui all'art.59 del DPR n.380/2001, mediante prove su campioni a 28 giorni di maturazione, si può anche procedere in cantiere ad ulteriori controlli di conformità, generalmente su campioni di calcestruzzo fresco o comunque con tempi di maturazione inferiori ai 28 giorni, al fine di verificare la rispondenza del calcestruzzo alle prescrizioni dei capitolati speciali d'appalto ed alle normative di settore.
Tra le caratteristiche oggetto di controllo sul calcestruzzo fresco la più frequente è sicuramente la consistenza del calcestruzzo valutata mediante prelievo a bocca di betoniera. Un'altra caratteristica oggetto di controllo può essere il contenuto d'aria, nel caso di calcestruzzi aerati, attraverso l'impiego del porosimetro, uno strumento in grado di misurare la quantità d'aria presente nella miscela.
I controlli di conformità possono interessare anche le proprietà del calcestruzzo indurito, verificabili su provini confezionati sempre con calcestruzzo prelevato "alla bocca dell'autobetoniera" durante lo scarico in cantiere.
Infatti è possibile richiedere le prove a compressione per valutare la resistenza a 1, 2, 3, 7 giorni, per esigenze esecutive di cantiere, oppure per valutare il ritiro o la viscosità del calcestruzzo.
Una volta verificata la rispondenza dei risultati dei controlli di conformità sul calcestruzzo fresco con i requisiti richiesti nell'ordine, la fornitura è accettata dall'impresa per quanto riguarda tali requisiti. Le proprietà del calcestruzzo fornito non devono essere alterate dall'impresa durante la posa in opera.
L'alterazione del calcestruzzo in cantiere da parte dell'impresa durante le operazioni di getto non solo pregiudica la qualità e la sicurezza dell'opera, ma potrebbe dare luogo ad implicazioni legali, essendo l'impresa responsabile della qualità del calcestruzzo dopo l'avvenuta consegna in cantiere da parte del fornitore.
Aggiunte di componenti da parte di personale del fornitore di calcestruzzo al carico consegnato in cantiere sono possibili solo se espressamente previste al momento del progetto del calcestruzzo e riportate sul documento di trasporto o su altro documento del fornitore. Resta ferma la garanzia di tutte le proprietà previste nel contratto di acquisto.

6.3 Messa in opera del calcestruzzo

La fornitura del calcestruzzo, come già visto, comprende tutte le operazioni preliminari alla posa in opera, che occorrono per il trasporto e la consegna del calcestruzzo fino al punto di scarico e viene eseguita a cura dell'impresa fornitrice di calcestruzzo. Analogamente, è cura dell'impresa esecutrice dei lavori la fase di messa in opera del calcestruzzo, che comprende anche le operazioni di movimentazione, compattazione e maturazione del materiale nelle apposite 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 maturazione del calcestruzzo.

6.3.1 Fornitura del calcestruzzo

Come già accennato, la fornitura del calcestruzzo dal mezzo di trasporto al punto di scarico può essere effettuata mediante autobetoniera oppure mediante pompa. Il mezzo di consegna deve essere scelto tenendo in considerazione le caratteristiche del calcestruzzo allo stato fresco, l'elemento da realizzare e di altre informazioni riguardanti la logistica del cantiere quali la distanza tra il punto d'arrivo del mezzo e quello di getto, le condizioni climatiche, la conformazione delle casseforme e

INGENIO-WEB.it

del cantiere, le attrezzature di compattazione disponibili e la durata, ovvero il tempo, prevista del ciclo di messa in opera del calcestruzzo. Tali informazioni devono essere fornite dall'impresa esecutrice al produttore di calcestruzzo.
Nel caso delle autobetoniere, queste sono generalmente attrezzate con canalette che consentono la distribuzione diretta del calcestruzzo entro il raggio d'alcuni metri. L'uso della canaletta è idoneo solo nel caso di calcestruzzi aventi classe di lavorabilità S4 – S5, oppure nel caso di calcestruzzi autocompattanti (SCC). Al fine di ottenere una corretta messa in opera, la canaletta deve avere pendenza e lunghezza compatibili con la classe di consistenza del calcestruzzo. 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 l'impresa esecutrice predispone una idonea tramoggia che accompagni 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.
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 idonei a sopportare il carico statico e dinamico del calcestruzzo. Durante le operazioni di getto, gli operatori dell'impresa esecutrice devono vietare lo stazionamento e il passaggio al di sotto della canaletta, ed indossare gli idonei DPI.
Successivamente alla fornitura del calcestruzzo gli addetti all'autobetoniera procedono al lavaggio della stessa conservando, di prassi, nel tamburo del mezzo le acque di lavaggio.
L'uso della pompa è anch'esso idoneo solo nel caso di calcestruzzi aventi classe di lavorabilità S4 – S5, oppure nel caso di calcestruzzi autocompattanti (SCC). Le pompe per calcestruzzo, in base alle loro caratteristiche, possono essere così classificate:

- pompe su autocarro, o 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 è ubicato entro 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 pompano 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 e, in alcuni casi (grattacieli, alte pile di ponti, ecc.), 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 ad 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.
Anche le tubazioni fisse devono essere disposte dal lavoratore dell'impresa esecutrice 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 che

INGENIO-WEB.it

l’impresa fornitrice verifichi 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.
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. È 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 che l’operatore pompista effettui la pulizia del sistema.
Il lavoratore dell’impresa fornitrice deve evitare l’impiego della pompa in caso di velocità del vento superiore ai limiti imposti dal fabbricante nel manuale d’uso e manutenzione. Il dirigente/preposto o un incaricato dell’impresa esecutrice dei lavori deve, inoltre, vietare la sosta nei pressi del canale di getto nella fase iniziale del getto stesso e non consentire la sosta e il passaggio nelle immediate vicinanze delle tubazioni poiché la pressione di alimentazione può provocare forti oscillazioni e spostamenti, con conseguente rischio di urti e colpi violenti. Deve, inoltre, verificare che il lavoratore addetto alla tubazione non lasci mai incustodito il terminale di gomma della pompa per prevenire eventuali contraccolpi dovuti a variazioni interne nella pressione di erogazione.
Nell’eventualità di intasamento della tubazione di getto, il lavoratore dell’impresa fornitrice deve effettuare la manovra di disintasamento allontanando la parte terminale della tubazione dagli addetti alla posa, per evitare le conseguenze derivanti da un eventuale “colpo di frusta”, causato dalla pressione immessa.
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.

6.3.2 Movimentazione del calcestruzzo

La distribuzione del calcestruzzo può essere effettuata mediante benna o nastro trasportatore. Come per la fornitura, anche in questo caso, la scelta del mezzo di movimentazione è funzione delle peculiarità dell’opera e in particolare delle caratteristiche del calcestruzzo allo stato fresco, dell’elemento da realizzare, della distanza tra il punto d’arrivo del mezzo e quello di getto, delle condizioni climatiche, della conformazione delle casseforme e del cantiere, delle attrezzature di compattazione disponibili e della velocità d’avanzamento prevista.
La benna o “secchione” 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 l’impresa esecutrice 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.
Le specifiche del calcestruzzo idoneo ad essere movimentato mediante benna riguardano sostanzialmente la classe di consistenza, che deve essere tale da far defluire il calcestruzzo dalla bocca senza segregare (classi S3, S4, S5).

INGENIO-WEB.it

Per distribuire il calcestruzzo entro le casseforme delle strutture verticali, evitando la caduta libera che provoca la segregazione, è consigliabile l'impiego di un tubo getto con tramoggia 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 metodologia di distribuzione del calcestruzzo implica l'immersione del tubo getto a distanze tra due punti adiacenti di scarico è in funzione della classe di consistenza del calcestruzzo e quindi è particolarmente importante per i calcestruzzi fluidi (classe di consistenza S4 secondo la norma UNI EN 206:2014) e per quelli autocompattanti (le Linee Guida Europee e la Norma UNI EN 206).
La distribuzione mediante nastro è condizionata dalle proprietà del calcestruzzo che non deve segregare, non deve essiccare in modo rilevante e non deve "aderire" al nastro. L'uso del nastro è, infatti, idoneo solo nel caso di calcestruzzi aventi classe di lavorabilità S1 – S2 (eventualmente anche S3). 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 idonea per calcestruzzi di consistenza plastica (S3) o meno fluidi, senza limitazioni per la dimensione massima dell'aggregato.

6.3.3 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;
- il coordinamento con i fornitori e subappaltatori, con il dovuto anticipo, 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 maturazione del calcestruzzo, in funzione dei volumi, delle sequenze e degli spessori dei getti, della distribuzione e compattazione del calcestruzzo, della protezione e maturazione 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.);

INGENIO-WEB.it

- la stesura del disarmante sul rivestimento delle casseforme o l'umidificazione a rifiuto delle superfici assorbenti, quali tavole o pannelli multistrato di legno non trattato, dei rivestimenti delle casseforme.

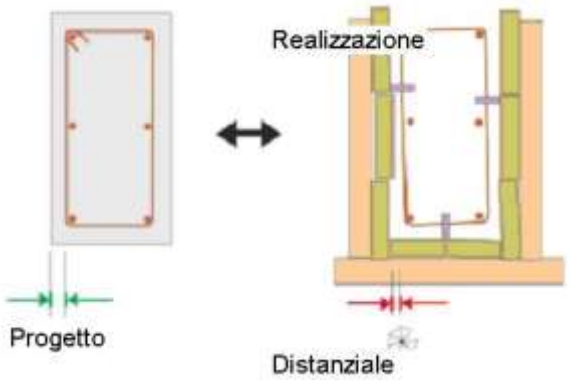

Figura 6: Punti di controllo della cassaforma, dell'armatura e del copriferro.

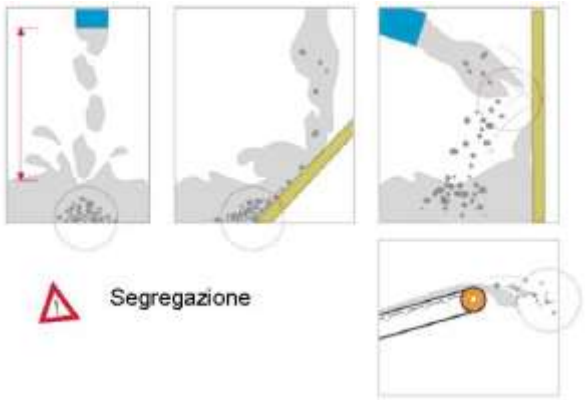

Figura 7: Errori nella posa in opera del calcestruzzo.

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.
Lo scarico del calcestruzzo dal mezzo di trasporto nelle casseforme si effettua applicando tutti gli accorgimenti atti ad evitare la segregazione, come illustrato in Figura 7.
È opportuno che l'altezza di caduta libera del calcestruzzo fresco, indipendentemente dal sistema di distribuzione 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 (Figura 8).
Si deve evitare di scaricare il calcestruzzo in cumuli da stendere poi successivamente con l'impiego dei vibratori, 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 rimanga sempre immerso nel calcestruzzo al fine di consentire al calcestruzzo di rifluire verso alto all'interno di quello precedentemente messo in opera. La funzionalità delle attrezzature ausiliarie per la messa in opera è illustrata in Figura 9.

INGENIO-WEB.it

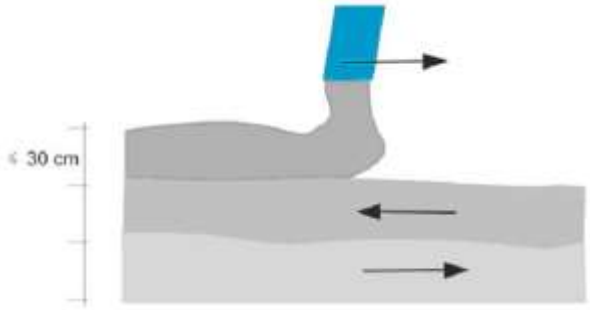

Figura 8: Disposizione e spessore dello strato nel corso della messa in opera.

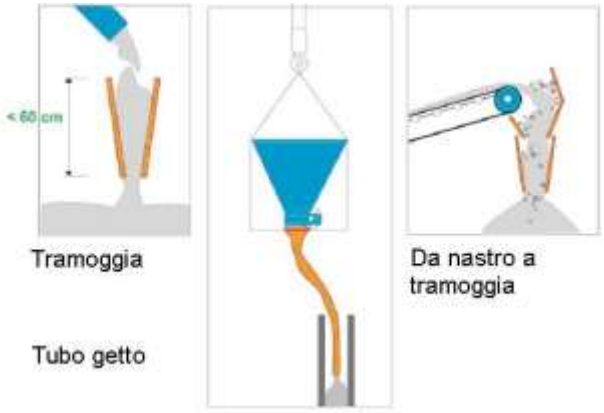

Figura 9: Attrezzature per la messa in opera del calcestruzzo.

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, come illustrato in Figura 10.

INGENIO-WEB.it

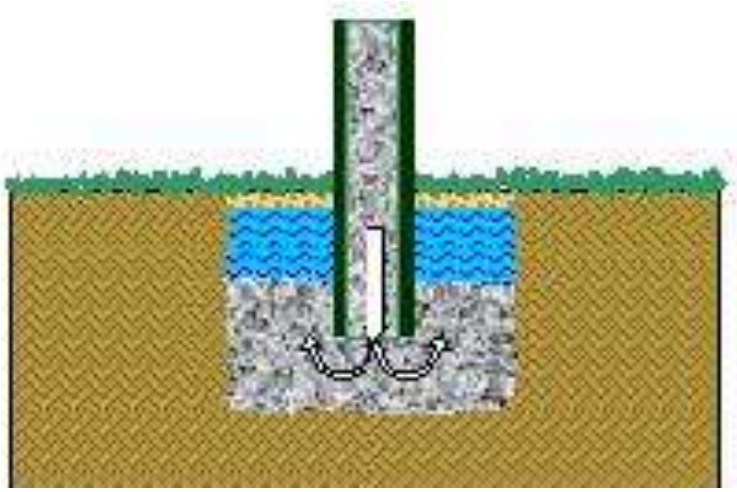

Figura 10: Getto di calcestruzzo in presenza di acqua.

Il calcestruzzo autocompattante deve essere gettato 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 sulle superfici dei paramenti in calcestruzzo. 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.
Un calcestruzzo autocompattante ha una distanza di scorrimento orizzontale che dipende anche dalla densità delle armature.

6.3.4 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 da eventuali 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 (Figura 11).

INGENIO-WEB.it

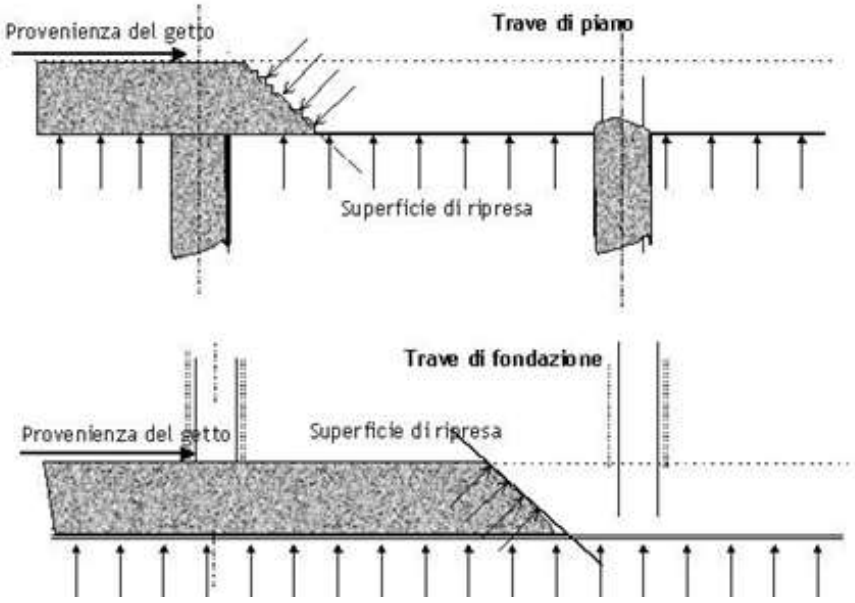

Figura 11: Ripresa di getto in travi di piano e di fondazione.

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 stato plastico così da evitare i "giunti freddi". 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: l'interposizione di giunti *waterstop*, la continuità del getto, la prescrizione di calcestruzzi a bassa permeabilità, ed eventuali rivestimenti interni della struttura.

6.4 Compattazione del calcestruzzo

Quando il calcestruzzo fresco è gettato nella cassaforma, contiene molti vuoti e tasche d'aria. Il volume di tale aria, che si aggira generalmente tra il 5 ed il 20 %, dipende dalla classe di consistenza del calcestruzzo, dalla conformazione della cassaforma, dalla sua rigidità, dal tipo di rivestimento della stessa cassaforma, dalla sua collocazione, dalla distribuzione e dall'addensamento delle barre d'armatura e dal modo con cui il calcestruzzo è stato gettato nella cassaforma (Figura 12).

INGENIO-WEB.it

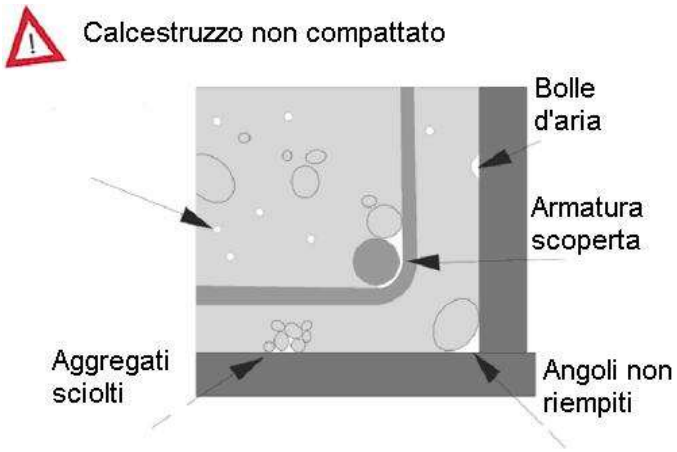

Figura 12: Difettosità interne del calcestruzzo non compattato dovute a vuoti e tasche d'aria.

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.
La determinazione della appropriata metodologia di compattazione deve essere contestualizzata ad ogni specifico calcestruzzo, prestando particolare attenzione alla singola fase di getto, all'esecuzione dei singoli elementi costruttivi che costituiscono le opere, alle condizioni ambientali. L'appropriata metodologia di compattazione deve essere prescritta dalle specifiche tecniche progettuali e delle modalità di esecuzione delle strutture e dal Capitolato tecnico.
L'impresa esecutrice deve produrre il documento tecnico (relazione tecnica ed elaborati tecnici) relativo alla compattazione del calcestruzzo, in cui devono essere indicate le procedure e le modalità operative in relazione alle metodologie di compattazione del calcestruzzo, per gli elementi costruttivi che costituiscono le opere da realizzare. L'impresa esecutrice deve sottoporre preventivamente con dovuto anticipo all'approvazione scritta del Direttore dei Lavori, il documento sopra indicato, fermo restando la responsabilità ultima dell'impresa esecutrice per la compattazione del calcestruzzo. Il Direttore dei Lavori, contemporaneamente al procedere dei cicli delle operazioni del getto del calcestruzzo deve accertarsi e verificare che l'impresa esecutrice effettui confacenti procedure e modalità operative di compattazione del calcestruzzo, come indicate nel documento tecnico relativo alla compattazione del calcestruzzo, approvato dal Direttore Lavori; come prescritto dalle specifiche tecniche e del capitolato tecnico
I calcestruzzi con classi di consistenza S1, S2 e S3 richiedono una compattazione più energica dei calcestruzzi di classe S4 o S5.
La lavorabilità di un calcestruzzo consegnato nella corretta consistenza richiesta dal cliente non può essere aumentata aggiungendo acqua. Tale aggiunta penalizza la resistenza e la durabilità, dando luogo alla formazione di una miscela instabile che tende a segregare durante la messa in opera.
In generale, all'atto della consegna, non sono ammesse manipolazioni del calcestruzzo attraverso aggiunte di componenti da parte dell'impresa esecutrice. Le aggiunte di componenti in cantiere fanno decadere sempre le garanzie del produttore se non espressamente previste durante la progettazione del calcestruzzo.

INGENIO-WEB.it

6.4.1 Compattazione mediante vibrazione

La vibrazione consiste nell'imporre al calcestruzzo fresco rapide vibrazioni che fluidificano la malta e riducono drasticamente 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 vibratori possono essere interni ed esterni.

I vibratori interni, detti anche ad immersione o ad ago, sono i più usati nei cantieri; 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 (Figura 13). Quindi, la distanza tra due punti adiacenti di inserimento dell'ago di vibrazione dovrà essere: circa 30 cm , per diametri dell'ago inferiore a 40 mm; circa 40 cm, per diametri dell'ago tra 40 e 60 mm; circa 70 cm per diametri dell'ago superiori a 60 mm.

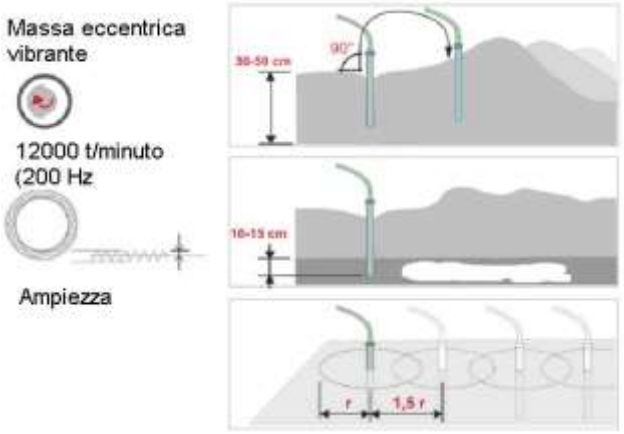

Figura 13: Caratteristiche dei vibratori interni.

Per effettuare la compattazione l'ago vibrante è introdotto verticalmente e viene 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.

Il tempo medio di permanenza del vibratore nel getto, varia sulla base della consistenza del calcestruzzo, orientativamente come segue:

- classe di consistenza V4 (mediante metodo Vebé) ➔ 30÷50 s
- classe di abbassamento al cono S1 ➔ 25÷30 s
- classe di abbassamento al cono S2 ➔ 20÷25 s
- classe di abbassamento al cono S3 ➔ 15÷20 s
- classe di abbassamento al cono S4 ➔ 10÷15 s
- classe di abbassamento al cono S5 ➔ 5÷10 s
- classe di spandimento F6 ➔ 0÷5 s

INGENIO-WEB.it

I cumuli che inevitabilmente si formano quando il calcestruzzo è gettato nelle casseforme devono essere livellati inserendo il vibratore entro la loro sommità. Per evitare la segregazione, il calcestruzzo non deve essere spostato lateralmente con i vibratori mantenuti in posizione orizzontale, operazione che comporterebbe un forte affioramento di pasta cementizia con contestuale sedimentazione degli aggregati grossi. E' opportuno, quando possibile, che il vibratore non affianchi le barre d'armatura. I vibratori esterni sono utilizzati generalmente negli impianti di prefabbricazione; possono comunque essere utilizzati anche nei cantieri, anche in combinazione con la vibrazione interna, quando la struttura è complessa o l'addensamento delle barre d'armatura limita o impedisce l'inserimento di vibratori interni.
I vibratori 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. Per pavimentazioni stradali sono disponibili finitrici vibranti e macchinari di vario genere, i cui dettagli esulano dallo scopo di questo documento.
Un calcestruzzo più lavorabile è meno dipendente dalla efficacia della compattazione in opera, cioè dalle competenze e prestazioni del personale addetto alla attività della compattazione del calcestruzzo in cantiere.
Gli elementi di una certa altezza, quali pilastri e pareti sono caratterizzati dalla tendenza delle bolle d'aria a raccogliersi in alto: ad ogni deposizione del singolo strato del calcestruzzo le nuove bolle, che si originano con questo, vengono inglobate da quelle provenienti dagli strati inferiori, che non sono ancora affiorate alla superficie al momento della deposizione. In questi casi la vibrazione deve essere effettuata con la stessa cura con cui è stato costipato a rifiuto il calcestruzzo dei provini per effettuare i controlli di accettazione.

6.4.2 Grado di Compattazione

Il grado di compattazione, che è funzione del tempo di vibrazione in relazione alla lavorabilità del calcestruzzo ha una notevole influenza sulla resistenza meccanica dello stesso calcestruzzo in opera.

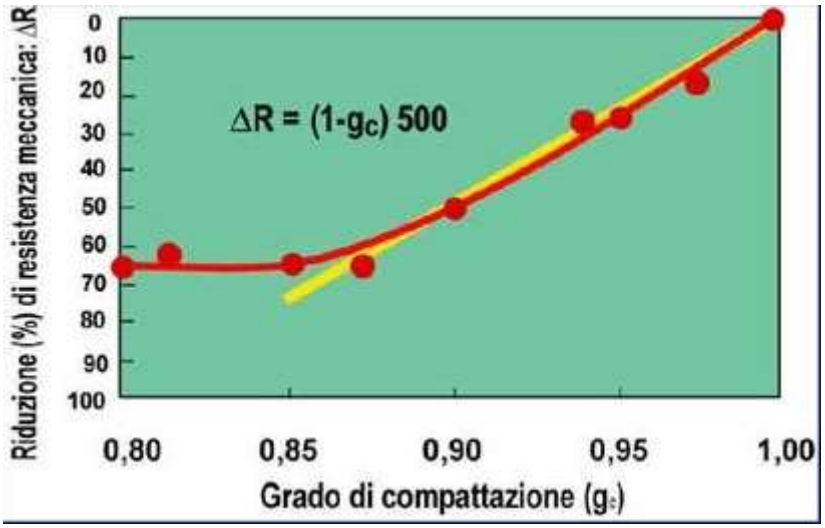

Figura 14: Influenza del grado di compattazione del calcestruzzo sulla riduzione di resistenza meccanica.

INGENIO-WEB.it

Per ogni punto centesimale del grado di compattazione in meno rispetto ad 1, ovvero la compattazione Completa, si può registrare una riduzione della resistenza meccanica nel calcestruzzo della struttura, rispetto al valore del corrispondente calcestruzzo del provino compattato a rifiuto, anche del 5%.

6.5 Calcestruzzo proiettato

Il calcestruzzo proiettato è una miscela di cemento, aggregati, acqua ed eventuali aggiunte e/o additivi e/o fibre, che viene proiettata mediante una lancia ad aria compressa sulla superficie d'applicazione, consentendo – se l'operazione è condotta correttamente – di ottenere una massa compatta ed omogenea.

Normalmente il diametro massimo delle particelle dell'aggregato non supera il valore di 12 – 15 mm. Qualora la dimensione massima dei granuli sia ≤ 4 mm (aggregato fine), il calcestruzzo proiettato è denominato gunite.

II calcestruzzo proiettato è utilizzato nelle opere di ingegneria civile in cui è richiesta la messa in opera di calcestruzzo in assenza di casseforme su strati successivi e quando sono richieste resistenze meccaniche elevate anche a brevissima scadenza.

Quando il calcestruzzo proiettato ha funzioni strutturali (rivestimento e protezione di superfici di scavo in galleria, riparazioni di strutture in calcestruzzo) le caratteristiche meccaniche devono soddisfare le prescrizioni della legislazione vigente sui calcestruzzi ordinari.

I criteri di classificazione e di conformità del calcestruzzo proiettato sono definiti nella norma UNI EN 14487-1 Calcestruzzo proiettato Parte 1: Definizioni, specificazioni e conformità.

La resistenza a compressione del calcestruzzo proiettato, caratterizzato da classi di resistenza comprese tra 30 e 45 MPa (UNI EN 206:2014 e UNI 11104), è valutata su provini estratti mediante carotaggio dal calcestruzzo in opera o su pannello di prova secondo UNI EN 14488-1.

Il procedimento di messa in opera più utilizzato è quello per via umida in cui la miscela base, impastata con acqua, è immessa in una pompa meccanica (flusso denso) o pneumatica (flusso aerato) che la convoglia fino alla lancia di proiezione ove sono introdotti aria compressa, per aumentare la velocità di uscita, e specifici additivi. La norma UNI EN 14488-2 Calcestruzzo proiettato: Parte 2 Esecuzione riporta le modalità operative di esecuzione.

I costituenti base per la realizzazione della miscela (cemento, aggregati, aggiunte, acqua, eventuali additivi e fibre) devono essere preventivamente mescolati per il tempo sufficiente a costituire una miscela omogenea.

La pompa deve essere in grado di garantire un flusso costante di calcestruzzo senza intermittenze che possano provocare la segregazione durante la proiezione. La proiezione della miscela attraverso la lancia è ottenuta con aria compressa, la lancia deve garantire la proiezione, con un getto concentrato, fino alla distanza di circa 1,5 m dalla lancia stessa.

Per addensare la miscela umida fresca e accelerare lo sviluppo delle resistenze meccaniche, si possono utilizzare particolari additivi acceleranti, allo stato solido o liquido, che hanno anche la funzione di conferire al calcestruzzo proiettato, in tempi molto brevi, capacità auto-portante.

Per motivi ecologici ed igienici si consiglia l'utilizzo di additivo accelerante esente da alcali, con un contenuto in alcali equivalente ($Na_2O + 0{,}64\ K_2O$) inferiore a 1% in massa.

L'alimentatore dell'additivo deve essere dotato di un dosatore che immette l'additivo stesso in quantità proporzionale alla miscela pompata. Il dosatore deve essere in grado di alimentare l'additivo accelerante con oscillazioni che, rispetto al valore prefissato, risultino inferiori al 10%.

La temperatura della "miscela base" prima dell'impiego non dovrebbe essere minore di 5 ± 2 °C né maggiore di 35 ± 2 °C.

INGENIO-WEB.it

Per una corretta messa in opera del calcestruzzo proiettato, la superficie di getto deve essere opportunamente preparata effettuando:

- la rimozione di blocchi instabili e/o del materiale incoerente;
- la pre-umidificazione di superfici particolarmente assorbenti;
- la captazione e/o il controllo delle venute d'acqua;

e, nel caso di riparazioni o ristrutturazioni, la rimozione dello strato incoerente o fortemente degradato.
Le eventuali reti d'armatura devono essere posate e fissate in modo da consentire il loro corretto ricoprimento e impedire la formazione di vuoti a tergo. La proiezione deve assicurare la massima compattazione ed adesione al supporto mediante un'adeguata velocità di proiezione della miscela stessa in relazione alla distanza della lancia dal supporto stesso. La messa in opera deve avvenire dal basso verso l'alto per passate successive mantenendo la lancia possibilmente perpendicolare alla superficie. Poiché il calcestruzzo è proiettato ad alta velocità contro la superficie da ricoprire, parte del materiale rimbalza (sfrido) e non aderisce alla parete. Le particelle grosse rimbalzano con maggiore facilità rispetto alle fini, lo sfrido è più elevato nel primo strato spruzzato e diminuisce negli strati successivi che sono spruzzati su una superficie di calcestruzzo relativamente plastica. Considerato che a causa dell'elevato rapporto superficie/volume esiste una notevole tendenza all'essiccazione, la maturazione del calcestruzzo proiettato deve essere seguita e curata particolarmente nei lavori all'aperto, in caso di forte ventilazione, nella riparazione di murature o rinforzo di vecchie strutture e quando è richiesta una perfetta adesione alla superficie d'applicazione.

6.6 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 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, peraltro fenomeno da evitare e quindi del tutto assente in buona parte dei getti.

Il ritiro plastico è tipico degli elementi strutturali piani, caratterizzati da elevati rapporti superficie/volume (lastre, solette, pavimentazioni). Non rappresenta di solito 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 modo, 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 individuata come:

- separazione della boiacca 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.

Generalmente l'acqua di essudazione che si forma sulla superficie del calcestruzzo è dannosa. Il fenomeno dell'essudazione è caratterizzato dalla velocità, intesa come volume d'acqua che affiora

INGENIO-WEB.it

nell'unità di tempo e di superficie ($cm^3/cm^2/sec$), e dalla quantità, assestamento totale per unità di altezza del calcestruzzo. I due parametri possono essere determinati in cantiere, secondo le indicazioni delle norme UNI 7122 Calcestruzzo fresco – determinazione della quantità d'acqua d'impasto essudata, ed UNI EN 12350 – 4 Prova sul calcestruzzo fresco – indice di compattabilità.

6.7 Assestamento plastico

La velocità di assestamento del calcestruzzo, dovuto ad un processo di sedimentazione, 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;
- dall'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 orizzontali di grande spessore, sulle superfici laterali dei pilastri in corrispondenza delle staffe e dei bordi di disallineamento in corrispondenza delle casseforme (Figure 14 e 15).

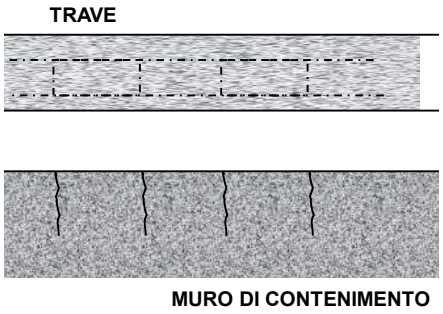

Figura 14: Fessure che seguono la direzione dei ferri sulla sommità di travi.

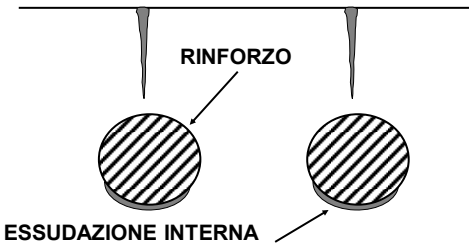

Figura 15: Essudazione interna per effetto delle armature.

INGENIO-WEB.it

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 (Figura 16). 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, entrambi processi di natura espansiva, è lecito ipotizzare un distacco inaspettato di gran parte del copriferro.

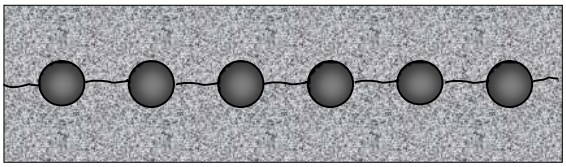

Figura 16: Fessurazione orizzontale dovuta a ferri molto ravvicinati.

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 (Figura 16).

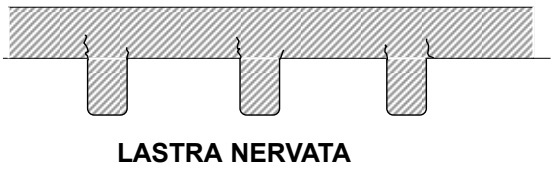

Figura 16: Nelle lastre nervate la fessurazione è dovuta all'assestamento differenziale della miscela.

Nel getto di una trave a T è buona regola gettare dapprima la sezione 1-2 (Figura 17) e quindi attendere che l'acqua affiori prima di completare il getto.

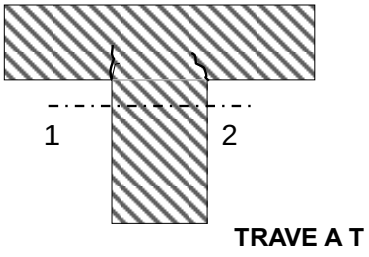

Figura 17: Nella trave a T è buona regola gettare dapprima la sezione 1-2.

INGENIO-WEB.it

Nel 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 – come si vede in Figura 15 con essudazione interna dovuta alla presenza di armatura – 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 il rivestimento superficiale 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 pareti alte; 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 della miscela.

6.8 Ritiro plastico

Si manifesta nelle prime ore, 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 la miscela 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.
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, la miscela risulta 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.
Frequentemente l'essudazione è anche ridotta dall'assorbimento d'acqua da parte del letto di posa, da parte degli aggregati e/o delle casseforme.

INGENIO-WEB.it

Per evitare la fessurazione da ritiro plastico occorre prevenire o ridurre l'evaporazione dell'acqua, non appena finita la fase di presa del calcestruzzo, adottando uno o più dei seguenti provvedimenti:

- procedere con la maturazione umida;
- 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 maturazione;
- 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 maturazione (è raccomandato l'uso di teli bagnati, di fogli di plastica o di acqua nebulizzata).

7. Maturazione e protezione del calcestruzzo

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

- evitare modifiche dell'idratazione del cemento;
- 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 impervietà, compattezza e durabilità della superficie;
- migliorare la protezione nei riguardi delle condizioni climatiche (temperatura, umidità, ventilazione) e/o danni di tipo meccanico;
- evitare vibrazioni, impatti, o danneggiamenti sia alla struttura che alla superficie, ancora in fase di indurimento.

La maturazione 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. Per consentire una corretta maturazione è necessario mantenere costantemente umida la struttura realizzata.

L'appaltatore è responsabile della corretta esecuzione della maturazione, che potrà essere tenuta sotto controllo mediante:

- la permanenza entro casseri del conglomerato (almeno 3 giorni salvo prescrizioni specifiche del calcestruzzo);
- l'applicazione, sulle superfici libere, di specifici film di protezione mediante la distribuzione nebulizzata di additivi stagionanti (agenti di curing);
- l'irrorazione continua del getto con acqua nebulizzata;
- la copertura delle superfici del getto con fogli di polietilene, sacchi di iuta o tessuto non tessuto mantenuto umido in modo che si eviti la perdita dell'acqua di idratazione;
- la creazione attorno al getto, con fogli di polietilene od altro, di un ambiente mantenuto saturo di umidità;
- la creazione, nel caso di solette e getti a sviluppo orizzontale, di un cordolo perimetrale (in sabbia od altro materiale rimovibile) che permetta di mantenere la superficie ricoperta da un costante velo d'acqua.

INGENIO-WEB.it

I prodotti filmogeni di protezione non possono essere applicati lungo i giunti di costruzione, sulle riprese di getto o sulle superfici che devono essere trattate con altri materiali.
Al fine di assicurare alla struttura un corretto sistema di maturazione in funzione delle condizioni ambientali, della geometria dell'elemento e dei tempi di disarmo e rimozione delle casseforme previsti, l'appaltatore, previa informazione alla direzione dei lavori, deve eseguire accurate verifiche di cantiere che assicurino l'efficacia delle misure di protezione adottate.
La durata della maturazione protetta dei getti deve essere garantita dai 3 ai 7 giorni consecutivi.
Si definisce "ordinaria" la maturazione del calcestruzzo che avviene a temperatura ambiente (5÷32°C) con esclusione d'ogni intervento esterno di riscaldamento o raffreddamento. Per contro, si definisce maturazione "accelerata" quella che si effettua con sistemi di maturazione ad alta temperatura e/o in particolari condizioni d'umidità e pressione. La maturazione 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 ≥ 90%). Le miscele con un basso contenuto in acqua, possono richiedere, nel corso della maturazione, un apporto esterno d'acqua.
La sensibilità del calcestruzzo nei riguardi della maturazione può dipendere:

- 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.

Il tipico effetto dell'umidità relativa dell'ambiente sulla perdita d'acqua dal calcestruzzo, poco dopo il getto, è illustrato in Figura 18 (i valori sono stati rilevati a temperatura dell'aria 21°C e velocità del vento 4,5 m/s).

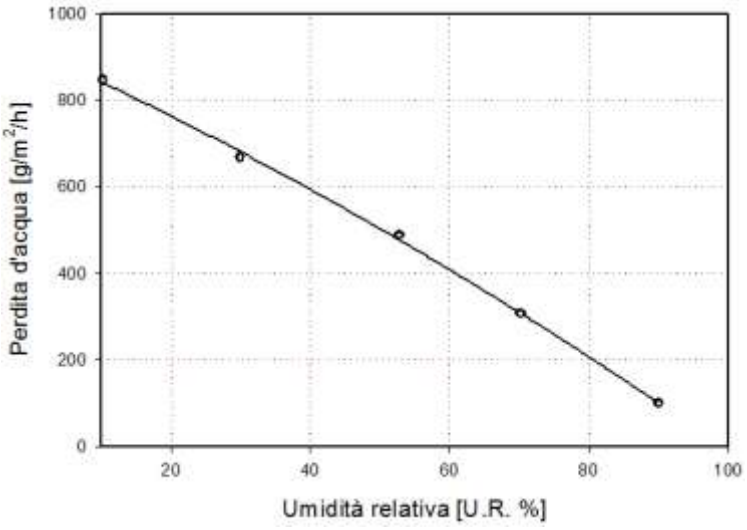

Figura 18: Perdita di acqua dalla superficie del calcestruzzo fresco per effetto dell'umidità relativa dell'ambiente (temperatura dell'aria 21° C; velocità del vento 4,5 m/s).

INGENIO-WEB.it

La durata della maturazione “umida” condiziona lo sviluppo delle resistenze meccaniche. In genere la resistenza dei provini esposti sempre all’aria è molto inferiore rispetto a quella degli stessi provini mantenuti in ambiente saturo d’umidità.
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.
In Figura 19 è rappresentato il tipico effetto della temperatura dell’aria sulla perdita d’acqua del calcestruzzo fresco, con umidità relativa dell’aria 70% e velocità del vento 4,5 m/s.

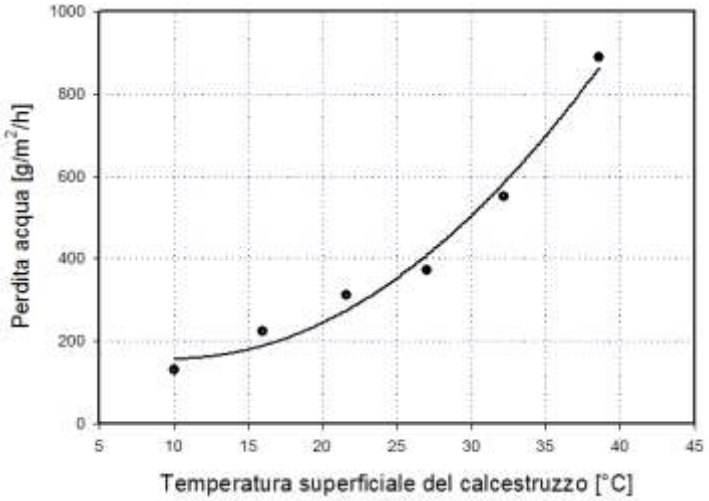

Figura 19: Perdita di acqua del calcestruzzo poco dopo il getto (umidità relativa dell’aria 70%; velocità del vento 4,5 m/s) per effetto della temperatura.

La temperatura elevata richiede una corretta maturazione umida del getto, anche se i tempi necessari per raggiungere le resistenze prescritte sono più brevi. La temperatura di maturazione elevata incrementa la resistenza meccanica a breve termine ma può penalizzare quella finale (a lungo termine), a causa di un’idratazione meno completa del cemento.
La Figura 20 indica l’influenza della velocità del vento sulla perdita d’acqua dalla superficie del calcestruzzo.

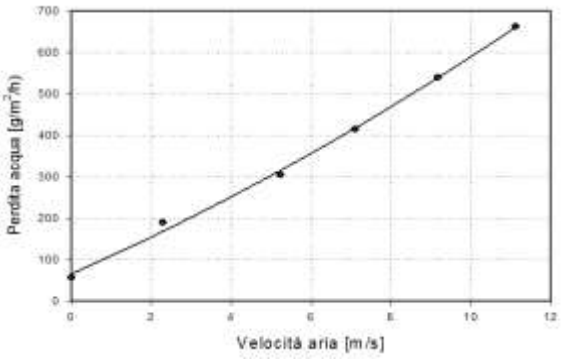

Figura 20: Perdita di acqua del calcestruzzo fresco (umidità relativa 70%; temperatura 21° C) per effetto della velocità del vento.

INGENIO-WEB.it

7.1 Condizioni di clima particolari

Le prescrizioni precedenti di fornitura, di messa in opera, di maturazione e di protezione del calcestruzzo si applicano per le condizioni ambientali correnti.
Particolari precauzioni, definite preventivamente devono essere adottate allorché la temperatura dell'aria misurata in cantiere è inferiore a 5° C (clima freddo) o quando la temperatura del calcestruzzo al momento della sua messa in opera è suscettibile di superare 32° C (clima caldo).

7.1.1 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.

Una temperatura particolarmente rigida può produrre, sulla superficie del calcestruzzo non opportunamente protetta, effetti di sfarinamento o di scagliatura. Occorre dunque adottare opportuni sistemi di protezione dei getti, che possono variare da caso a caso. Le casseforme convenzionali e/o le casseforme evolute con rivestimento in legno sono già per se stesse dei buoni isolanti, ma se si prevede un clima molto freddo, o si deve gettare una parete o una soletta sottile, può essere necessaria una coibentazione supplementare. Le casseforme con rivestimento metallico non hanno nessun potere isolante, per cui in condizioni ambientali sfavorevoli, necessitano di un adeguato isolamento. Prima del getto si deve verificare che tutte le superfici che saranno a contatto con il calcestruzzo siano a temperatura $\geq$ + 5°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 dall'impresa esecutrice se la temperatura dell'aria è 0°C; tale limitazione non si applica nel caso di getti in ambiente protetto o in presenza di adeguato isolamento o qualora siano predisposti opportuni accorgimenti efficaci, approvati dalla Direzione Lavori, come ad esempio riscaldare gli ingredienti costituenti il calcestruzzo durante la miscelazione (riscaldare preferibilmente l'acqua, gli aggregati e quando è possibile l'ambiente) per prevenire i citati effetti del clima freddo. A causa del rallentamento dello sviluppo della resistenza meccanica dovuto alle basse temperature il calcestruzzo deve stagionare ad una temperatura del conglomerato cementizio sufficientemente elevata (per es. 10° C) per un tempo sufficientemente lungo (per es. 7 giorni) di maturazione parziale affinché sia eliminabile il rischio degli effetti della gelata. La temperatura del calcestruzzo deve essere mantenuta, ai fini del decorso nel tempo della resistenza meccanica e del rischio causato dalla formazione del ghiaccio, al di sopra di quella ambientale. Fra i sistemi utilizzati per mantenere la temperatura del calcestruzzo dopo il getto al di sopra di quella ambientale si evidenziano:

- prescrivere la temperatura del calcestruzzo all'arrivo in cantiere (alcuni valori di temperatura del calcestruzzo alla consegna con basse temperature dell'ambiente sono dipendenti spesso dalla possibilità di poter riscaldare i costituenti in impianto, per questo motivo per la prescrizione della temperatura va contattato preventivamente il produttore di calcestruzzo per valutarne la fattibilità)

INGENIO-WEB.it

- valutare il raffreddamento del calcestruzzo durante le fasi che costituiscono il ciclo di getto (per es. scarico dall'autobetoniera, movimentazione attraverso gru e/o pompa, nastri, ecc., riempimento della cassaforma);
- mantenere la temperatura del calcestruzzo dopo il getto a 10° C riducendo al minimo la dissipazione del calore di idratazione sviluppato
- progettare un sistema di casseri, anche riscaldati, che non permettono la dissipazione del calore verso l'ambiente esterno accoppiati con appositi sistemi di maturazione

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

Prima di disarmare e rimuovere le casseforme in condizioni climatiche fredde si dovrebbero effettuare delle verifiche per quanto riguarda la temperatura del calcestruzzo in maturazione, verificando ad esempio che non sia inferiore a 10° C, in relazione al tempo di fine presa ed alla resistenza alla compressione iniziale.

Il valore della resistenza alla compressione iniziale del calcestruzzo in condizioni climatiche fredde dovrebbe essere controllata mediante prove su cubetti stagionati, confezionati e conservati negli stessi ambienti e nelle stesse condizioni del calcestruzzo in cui è stato messo in opera e in maturazione, quindi non protetti dagli effetti del clima freddo.
Le misure protettive devono essere mantenute almeno finché il periodo pre-indurimento sia completato, cosi come determinato e confermato dalle prove sui cubetti.

Si può ricorrere, in fase di progettazione del mix design del calcestruzzo, alla riduzione del rapporto acqua/cemento, eventualmente compensato dall'addizione di agenti super-fluidificanti e all'uso di idonei additivi acceleranti, coadiuvati, ove necessario, da additivi aeranti, per conseguire la resistenza ai cicli gelo-disgelo (UNI EN 206-1). Nel caso di superfici piane il calcestruzzo deve essere protetto tramite presidi di protezione semplici preposti a trattenere, per quanto possibile, il calore prodotto dall'idratazione e preservare il calcestruzzo fresco dagli eventi atmosferici, quali il vento, la pioggia, il precipitare delle temperature ambiente o alla copertura negli altri casi, evitando in ogni caso qualunque apporto d'acqua sulla superficie.
Si evidenzia come, anche nel caso in cui le condizioni climatiche non portino ad una formazione del ghiaccio subito dopo il getto, il calcestruzzo rimanga comunque esposto al rischio della gelata per un tempo relativamente lungo, almeno fin quando non abbia raggiunto un minimo di resistenza meccanica alla compressione, pari ad almeno 5 N/mm^2; in questo periodo una gelata potrebbe indurre nel conglomerato danni irreversibili.
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 dal gelo, dopo la messa in opera, per almeno 24 ore. La protezione nei riguardi del gelo durante le prime 24 ore non impedisce comunque un ritardo, anche sensibile, nell'acquisizione delle resistenze nel tempo.

Nella seguente Tabella 7.1 sono riportate le temperature minime da garantire per il getto del calcestruzzo nonché la massima velocità di raffreddamento consigliabile, in relazione alle dimensioni del getto.

INGENIO-WEB.it

Tabella 7.1 – Temperature e velocità di raffreddamento consigliate in relazione alle dimensioni della sezione di calcestruzzo.

Dimensione minima della sezione [mm^2]			
< 300	00 ÷ 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 tollerabile 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 ambientale 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. Il calcolo della resistenza termica delle casseforme determina i valori necessari per mantenere un elemento costruttivo in calcestruzzo alla temperatura idonea (per es.10° C) per *n* giorni, in funzione del dosaggio del cemento, della dimensione minima della struttura e della temperatura ambientale, fino al raggiungimento della resistenza di riferimento prescritta, sia in fase di maturazione che per il disarmo. 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.

7.1.2 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 ambientali che caratterizzano il clima caldo sono:

- temperatura ambiente elevata (Ta = ≥ 32° C – ≤ 45° C);
- bassa umidità relativa dell'ambiente;
- intensità e incremento velocità del vento > 5 km/h;
- elevato assorbimento del calore dei raggi solari delle superfici (esposizione ai raggi solari);
- temperatura elevata (> 30° C) del calcestruzzo al momento della sua messa in opera.
- un tasso di evaporazione che supera 1 kg/m^2/h

I potenziali problemi per il calcestruzzo fresco riguardano:

- aumento del fabbisogno d'acqua;
- veloce perdita di lavorabilità;

INGENIO-WEB.it

- 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;
- danni all'aspetto superficiale del calcestruzzo;
- riduzione delle attese in termini di resistenza e di durabilità del calcestruzzo;
- necessità di dover ricorrere alle ore notturne per le fasi di getto del calcestruzzo.

I potenziali problemi per il calcestruzzo indurito riguardano:

- riduzione della resistenza a 28 giorni e penalizzazione nello sviluppo delle resistenze a scadenze più lunghe, se non ovviato in fase di progettazione del *mix design* del calcestruzzo, sia per effetto del prematuro indurimento del calcestruzzo;
- maggior ritiro per perdita di acqua;
- probabile insorgenza di 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 dell'aspetto della superficie dovuta alle differenti velocità di idratazione;
- maggior permeabilità.

Tutti i punti sopra elencati devono essere quindi considerati in fase di progettazione della struttura e prescrizione del calcestruzzo. Si consiglia di contattare il produttore di calcestruzzo già in fase di progettazione della messa in opera e maturazione dei getti. La progettazione di nuovi calcestruzzi possono essere fatte anche in fase di realizzazione nel caso sopraggiungano nuove necessità.
In condizioni normali, durante le operazioni di getto la temperatura del calcestruzzo fresco non dovrebbe superare 30-32° C; tale limite dovrà essere convenientemente ridotto nel caso di getti di grandi dimensioni, tenendo conto della maggiore quantità di calore di idratazione prodotto. Esistono diversi metodi per raffreddare il calcestruzzo; il più semplice consiste nell'utilizzo di acqua molto fredda o di ghiaccio in sostituzione di parte dell'acqua d'impasto.
Tuttavia, l'impiego dell'acqua fredda o del ghiaccio per abbassare la temperatura del calcestruzzo nei climi caldi e ridurre la perdita di lavorabilità, non è una operazione semplice. Può essere utile, in tal caso, il ricorso agli additivi superfluidificanti, agli additivi ritardanti o agli additivi superfluidificanti di tipo ritardante che non incidono tanto sull'abbassamento della temperatura quanto sui tempi di presa e maturazione del calcestruzzo.

7.2 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 impedite, inducono tensioni di trazione e di compressione tra parti interne ed esterne dei getti, come è illustrato nelle Figure 21 e 22.

INGENIO-WEB.it

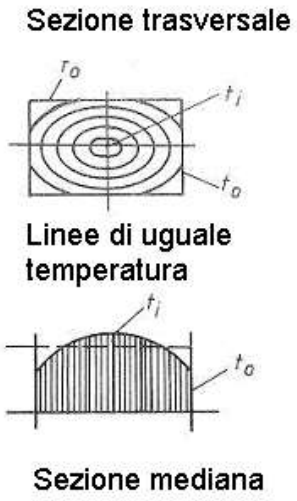

Figura 21: Distribuzione della temperatura dovuta al calore di idratazione.

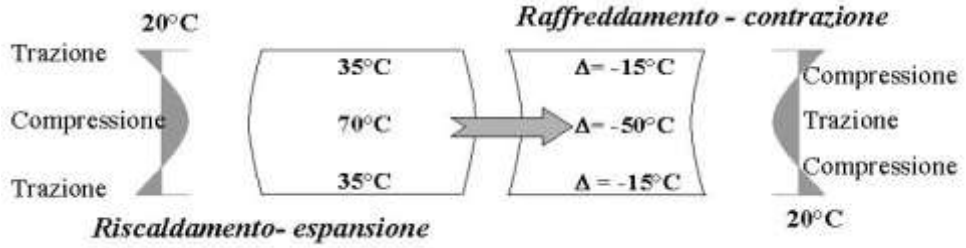

Figura 22: Effetto dei gradienti termici sullo stato di coazione di una sezione di calcestruzzo.

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/m^3) 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.
Il calore d'idratazione dei cementi, determinato in condizioni isoterme con il metodo per soluzione *(UNI EN.196-8 Metodi per provare i cementi- parte 8 – Calore di idratazione – metodo per soluzione)* ed in condizioni standard di laboratorio, può essere un utile elemento per stimare l'innalzamento termico del calcestruzzo (in condizioni adiabatiche). In Tabella 7.2 sono riportati i valori indicativi del calore d'idratazione per differenti tipi di cemento e classi di resistenza previsti dalla UNI EN 197-1.

INGENIO-WEB.it

Tabella 7.2: valori indicativi del calore d'idratazione [kJ/kg] di alcuni cementi, determinato con il metodo a soluzione.

	Cemento: tipo e classe di resistenza						
Tempo (giorni)	CEM VLH 22.5	CEM IV/B 32.5	CEM II/BS 32.5R	CEM II/A-LL 32.5R	CEM IV/A 42.5R	CEM II/A-LL 42.5R	CEM I 52.5R
3		*200*	*225*	*255*	*275*	*285*	*315*
7	***220***	***240***	***270***	***300***	***300***	***330***	***355***
28	*240*	*275*	*310*	*335*	*315*	*355*	*380*
90		*295*	*365*	*360*	*340*	*380*	*400*

In condizioni quasi adiabatiche la temperatura massima è raggiunta nel corso della prima settimana di maturazione (3 ÷ 7giorni). I calcestruzzi a rapido sviluppo di resistenza ($R_2/R_{28} > 0.5$) sono più critici nei riguardi degli effetti secondari provocati dal calore d'idratazione.
L'effetto degli additivi ritardanti e acceleranti è rilevante nei riguardi dell'innalzamento termico dopo 3 ÷ 7 giorni.
L'innalzamento termico in condizioni adiabatiche, in funzione dell'idratazione del cemento e del tempo di maturazione, può essere stimato conoscendo le principali caratteristiche fisiche del cemento e del calcestruzzo, mediante la seguente relazione:

$$\Delta T = \frac{q_t \cdot c}{m \cdot \rho}$$

In cui: q_t = calore d'idratazione unitario del cemento (kJ/kg)
c = dosaggio del cemento (kg/m³)
m = peso specifico (massa volumica) del calcestruzzo [2350 ÷ 2450] kg/m³
ρ = calore specifico del calcestruzzo [0.87 ÷ 1.08] kJ/kg°C

La temperatura massima raggiunta (picco termico) può essere stimata, in prima approssimazione, sommando alla temperatura iniziale del calcestruzzo fresco l'incremento termico dovuto all'idratazione del cemento, calcolato come sopra.
Per un cemento 42.5 R il valore di q_t a 3 giorni è circa 280 KJ/Kg; ne consegue che, in un calcestruzzo dosato a 330 kg/m^3, l'innalzamento termico è dell'ordine di:

$$\Delta T = \frac{280 \times 330}{2400 \times 0{,}97} \cong 40°C$$

Con una temperatura iniziale del calcestruzzo di 25° C, il picco termico raggiunge quindi 65° C.

INGENIO-WEB.it

Come regola pratica di cantiere si può assumere che ogni 100 kg/m³ di dosaggio in cemento di classe 42.5 R (II A/L), provoca nel calcestruzzo un aumento di temperatura di ≈12° C mentre per un cemento 32.5 R il medesimo dosaggio porta ad un incremento di ≈10° C.
La temperatura del calcestruzzo all'interno di un getto non dovrebbe superare 70° C; temperature superiori possono essere ammesse a condizione che siano verificati gli eventuali effetti collaterali sulle altre proprietà del calcestruzzo.
Per limitare le tensioni d'origine termica è necessario controllare gli innalzamenti termici delle diverse parti della struttura, ponendo attenzione alla differenza di temperatura tra le diverse parti stesse, ed evitare o ridurre i vincoli esterni che impediscono le deformazioni.
È opportuno, inoltre, rispettare i seguenti limiti nella struttura:

- temperatura massima del calcestruzzo ≤ 70° C;
- $\Delta T_{max} \leq 20°$ C fra le varie parti della struttura;
- $\Delta T_{max} \leq 15°$ 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. Un utile contributo può provenire dall'impiego di casseforme termoisolanti e dal ricoprimento delle superfici esposte all'ambiente, con pannelli di materiale termoisolante previa copertura con fogli di polietilene o equivalente, per tutta la durata della maturazione del getto.
Durante il progetto di strutture massive si consiglia di consultarsi con il produttore di calcestruzzo ed i fornitori dei casseri per mettere a punto prescrizioni su calcestruzzo, sistema di casseratura e maturazione, tali da limitare i ΔT fra l'interno e l'esterno del manufatto al di sotto valori dei valori che possono provocare fessure da shock termico.

7.3 Protezione termica durante la maturazione del calcestruzzo fresco

A titolo esemplificativo, richiamando peraltro quanto già evidenziato nel paragrafo relativo ai fenomeni di fessurazione e ritiro del calcestruzzo, che richiedono analoghi sistemi di protezione, sono descritti di seguito i più comuni sistemi di protezione termica adottabili nei getti di cantiere:

Cassaforma coibentata
Il ΔT 20°C può essere rispettato se si usa una cassaforma con rivestimento isolante, es.: pannello multistrato di legno compensato con spessore non inferiore a 2 cm, o se il getto si trova contro terra.

Sabbia e foglio di polietilene
La parte superiore del getto di solette e dei getti a sviluppo orizzontale 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.

INGENIO-WEB.it

Immersione in leggero strato d'acqua
La corretta maturazione di solette e getti a sviluppo orizzontale è assicurata mantenendo costantemente umidi gli stessi elementi costruttivi. 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, i teli flessibili possono essere facilmente danneggiati. Al fine di assicurare alla struttura un corretto sistema di maturazione in funzione delle condizioni ambientali, della geometria dell'elemento costruttivo strutturale e dei tempi previsti di disarmo e rimozione delle casseforme, occorre prevedere ed eseguire in cantiere una serie di verifiche che assicurino l'efficacia delle misure di protezione adottate.

Geotessuti o tessuto/non tessuto
Ricoprimento della superficie del calcestruzzo fresco esposta in quanto non a contatto della cassaforma con geotessile o tessuto non tessuto, tenuto costantemente umido. Il metodo può essere adottato in presenza di elevate temperature ambientali «calde», salvo i necessari adeguamenti, nel caso di strutture orizzontali (bidimensionali) quali solette ecc che in presenza di strutture verticali (tridimensionali) quali i pilastri, le pareti ecc.

Protezione con pannelli coibenti e/o coperte per l'isolamento termico
Protezione delle superfici del calcestruzzo fresco a contatto della cassaforma e non con pannelli termoisolanti di polistirolo espanso estruso di spessore pari a 50 mm (o con materassini di equivalente resistenza termica). Sulle superfici esposte in quanto non a contatto della cassaforma prima della predisposizione dei materassini termoisolanti coprire la superficie del calcestruzzo fresco con un foglio di polietilene. Sono presidi di protezione preposti a trattenere il calore prodotto dall'idratazione e preservare il calcestruzzo fresco dagli eventi atmosferici, quali il vento, la pioggia, il precipitare delle temperature ambientali «fredde».

7.4 Disarmo

Prima che le casseforme possano essere rimosse, il calcestruzzo deve aver raggiunto una resistenza sufficiente ad auto-portarsi ed a resistere ad eventuali danni meccanici durante il disarmo delle stesse casseforme, ovvero:

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

Le procedure operative e le modalità di disarmo delle casseforme e/o della rimozione delle unità di puntellamento, impalcature di sostegno e centine ecc. devono essere oggetto di un'apposita nota progettuale, redatta dal progettista strutturale dell'opera , riportata nelle specifiche progettuali e delle specifiche tecniche del capitolato.

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

INGENIO-WEB.it

I carichi sopportati da ogni unità di puntellamento, centine ed impalcature di sostegno, devono essere rilasciati gradatamente, in modo tale che gli elementi di supporto contigui non siano sottoposti a sollecitazioni brusche ed eccessive ed all'insorgere di azioni dinamiche.
È bene, in genere, procedere alla rimozione delle casseforme dai getti solo quando la maturazione del calcestruzzo (Si veda Appendice informativa UNI EN 13670-2010 punto F8.5 richiamata dal D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 punto 4.1.7.) , sia sufficiente per la realizzazione dei cicli successivi di getto ed abbia raggiunto la resistenza indicata dal progettista per evitare fenomeni fessurativi dovuti anche a ritiro impedito e così pure in funzione della struttura da realizzare, delle procedure e modalità costruttive (es. ancoraggi e dispositivi di sospensione delle casseforme a ripresa)
Per i solai, le travi e gli impalcati è talvolta possibile procedere al disarmo parziale anticipato delle casseforme tenendo conto delle condizioni come sopra già indicate e mantenendo in esercizio le impalcature. di sostegno, puntellamenti e/o attrezzature provvisionali di supporto delle casseforme, successivamente al disarmo parziale anticipato delle stesse casseforme, per un periodo definito dal progettista strutturale dell'opera, in relazione alle condizioni che influenzano la maturazione del calcestruzzo
Il disarmo deve essere autorizzato e concordato con la Direzione Lavori che deve attenersi alle indicazioni previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti e alle condizioni ambientali.
In presenza di alte temperature, nei periodi caldi, è talvolta possibile disarmare le casseforme verticali dopo 16, 24 o 36 ore dalla fine getto.
Questi tempi di disarmo così rapidi richiedono che la stagionatura sia assicurata da accorgimenti concretamente efficaci, al fine di evitare danni irreparabili, quali ad esempio micro e macro-fessurazioni e creep degli elementi strutturali che possono recare grave pregiudizio per la stabilità e la durabilità delle opere.
Analoga attenzione si deve porre nei periodi freddi, quando le condizioni climatiche rallentano lo sviluppo delle resistenze del calcestruzzo, in particolar modo nel disarmo e rimozione delle casseforme a ripresa e/o delle casseforme e delle relative strutture di sostegno delle solette e delle travi.
In caso di dubbio, è sempre opportuno:

- rilevare in situ i valori della temperatura del calcestruzzo in opera durante il processo di maturazione correlata con il grado di maturazione del calcestruzzo in tempo reale mediante dispositivi di controllo che possono fornire un'indicazione affidabile per la stima della resistenza del calcestruzzo
- verificare la resistenza meccanica reale del calcestruzzo, prima di procedere alla rimozione delle casseforme avendo cura, nella fase di getto, di prelevare un numero di campioni sufficiente per effettuare i controlli ufficiali di accettazione a 28 giorni, ma anche verifiche dopo 16, 24, 36 ore e/o da 2 a 7 giorni dal getto.

I provini di calcestruzzo prelevati per le verifiche della resistenza meccanica a compressione iniziali del calcestruzzo, dopo 16, 24, 36 ore e/o da 2 a 7 giorni dal getto, devono essere conservati negli stessi luoghi e nelle stesse condizioni ambientali in cui è stato messo in opera.
Il grado di compattazione del calcestruzzo messo in opera, non sempre sufficiente, condiziona lo sviluppo della resistenza a compressione nei primi giorni dal getto. Per tale motivo, prima di procedere al disarmo ed alla rimozione delle casseforme, nel quantificare la resistenza meccanica dopo 16, 24, 36 ore e/o *n* giorni (inferiore a sette giorni) dalla fine del ciclo del getto del

INGENIO-WEB.it

calcestruzzo, può essere utile applicare, ai valori rilevati, un coefficiente di riduzione K variabile fra il 10% ed il 15%.

8. Prescrizioni relative all'esecuzione di pavimentazioni in calcestruzzo

Un utile riferimento è il documento CNR Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Pavimentazioni di Calcestruzzo ROMA – CNR 16 ottobre 2014

8.1 Pianificazione delle operazioni

È consigliabile effettuare sempre un controllo generale del cantiere prima dell'inizio dei lavori, per verificare da un lato il rispetto delle norme di sicurezza, dall'altro l'assenza di situazioni che possano pregiudicare la buona esecuzione della pavimentazione o ridurre la sua durabilità. In particolare, il controllo generale deve insistere sulle condizioni del sottofondo della pavimentazione, sulle condizioni ambientali e sulla documentazione relativa al cantiere.
Successivamente, in fase di getto, è obbligo del Direttore Lavori effettuare i controlli di accettazione dei materiali utilizzati, previsti dalle normative vigenti, vigilando anche sull'esecuzione dei lavori (condizioni ambientali, particolari esecutivi, tempistiche, stagionatura).
La necessaria attenzione deve essere posta nel verificare la corretta attuazione delle norme antinfortunistiche, con particolare riguardo ai collegamenti elettrici, ai carichi sospesi, alle caditoie e chiusini sporgenti o di pericolosa dimensione, secondo quanto previsto dalla legislazione vigente. Buche e fosse devono essere opportunamente segnalate e protette, il percorso dei mezzi deve essere indicato e opportunamente delimitato.

8.2 Condizioni ambientali

Si deve assicurare l'esistenza di adeguate protezioni degli ambienti contro condizioni climatiche avverse (vento, sole, pioggia, gelo) durante le fasi di getto, di lavorazione di indurimento e di maturazione. Prima del getto è opportuno verificare le previsioni meteo della zona.

8.3 Documentazione tecnico/contrattuale

Dovrebbe essere accertata e annotata la presenza o meno del contratto con l'impresa esecutrice, del progetto esecutivo, del piano di sicurezza.
Il progetto esecutivo dovrebbero contenere, in particolare, i seguenti documenti redatti in forma esaustiva:

- relazione tecnica illustrativa;
- relazione geotecnica inclusiva dei risultati delle prove preliminari;
- relazione sulla qualità dei materiali;
- relazione di calcolo;
- specifiche tecniche (capitolato tecnico);
- specifiche sulle modalità di getto;
- specifiche sulle modalità di stagionatura e protezione del getto durante la fase esecutiva;
- piano di manutenzione;
- elaborati grafici in opportuna scala (planimetrie e sezioni quotate, particolari, fasi costruttive, ecc.).

8.4 Preparazione e tolleranze nella massicciata

Prima del getto della piastra di calcestruzzo dovrà essere effettuato un controllo del supporto, al fine di:

- verificare la planarità con tolleranze ± 1 cm rispetto al valore prescritto dal Progettista che,

INGENIO-WEB.it

in assenza di specifiche, può essere assunto pari a 2 cm su una stadia di 4 metri;
- eseguire un controllo generale per determinare eventuali zone difformi dal livello minimo previsto per la pavimentazione;
- verificare l'assenza di avvallamenti e di ristagni d'acqua;
- verificare l'assenza di ghiaccio;
- rilevare eventuali possibili riduzioni di quota dovute a detriti, tubi o quant'altro riduca lo spessore della pavimentazione;
- individuare la presenza di cunicoli, fondazioni, plinti, travi che riducano lo spessore della piastra e che comunque rappresentino punti a rischio di fessurazioni indotte da differenziata rigidezza del supporto;
- costipare tutti gli scavi ed i rinterri fino a rifiuto, utilizzando strumenti e macchine idonee alle condizioni di cantiere e alle caratteristiche del materiale di riempimento. I rinterri nelle vicinanze di pilastri, basamenti, cunicoli, canaline, muri, scavi per impiantistica, ecc., vanno realizzati con particolare attenzione essendo questi i punti più soggetti a cedimenti;
- verificare che chiusini, soglie, angolari, ecc., siano murati a sezione verticale; verificare i piani con il controllo delle quote degli elementi di raccordo (chiusini, soglie angolari, guide, ecc.) che dovranno rientrare nella tolleranza di orizzontalità riferita alla quota di riferimento prefissata nel progetto. Nel caso siano previste, in fase progettuale, delle pendenze, verificare che le quote di posa dei vari elementi predisposti siano congrue e coordinate. La presenza di pendenze non deve inficiare lo spessore minimo della piastra, previsto in fase progettuale;
- rimuovere sassi di grosse dimensioni, macerie e materiali leggeri eventualmente presenti.

Nel caso che il transito delle autobetoniere lasci tracce profonde nella massicciata, è opportuno sospendere i lavori e ripristinare la massicciata in modo che rispetti le tolleranze di progetto.

8.5 Fasi operative dell'esecuzione

È compito della Direzione Lavori verificare il progetto esecutivo e la rispondenza dell'esecuzione con quanto stabilito nel progetto, con particolare riferimento alla qualità dei materiali e alla esecuzione dei lavori.
Le fasi operative in cui si articola la posa della pavimentazione industriale debbono essere descritte nel progetto esecutivo. Esse sono di seguito cronologicamente riassunte:

- isolamento delle strutture verticali;
- posizionamento della barriera al vapore e/o dello strato di scorrimento;
- posa dell'armatura;
- fornitura e posa in opera del calcestruzzo;
- applicazione e lavorazione dello strato di usura;
- protezione del getto e stagionatura protetta;
- esecuzione dei giunti di contrazione (ove previsti);
- riempimenti e sigillature dei giunti;
- messa in esercizio della pavimentazione.

8.5.1 Isolamento strutture verticali e spiccati verticali

Tutte le strutture verticali a contatto con la pavimentazione (bicchieri di plinti, fondazioni, basamenti, pilastri, muri, strutture prefabbricate di tamponamento, ecc.) necessitano di opportuno isolamento per garantire la massima indipendenza di comportamento della pavimentazione (gli

INGENIO-WEB.it

spostamenti relativi in direzione verticale e orizzontale non devono essere limitati da altri elementi strutturali).
Il materiale (col relativo spessore) deve aderire perfettamente alla parete della struttura verticale. L'altezza dell'isolamento deve essere superiore allo spessore del getto e interessare tutta la sezione dello stesso.

8.5.2 Barriera vapore/scorrimento

Durante la posa si devono adottare gli opportuni accorgimenti per non danneggiare la barriera al vapore o lo strato di scorrimento.
Nel caso di strato di sabbia, accertarsi che sia ben compattato e livellato. Nel caso di impiego di fogli di polietilene o tessuto non tessuto, accertarsi che i sormonti siano adeguati (non inferiori a 15 cm) senza grinze evidenti e posizionati in relazione alla prevista direzione del getto. Nel caso debba essere realizzato uno strato di separazione con permeabilità scarsa o nulla, si deve tenere presente che in tal modo vengono accentuati i fenomeni di bleeding e di ritiro differenziale che possono facilitare possibili fessurazioni e l'imbarcamento delle lastre sui bordi. È possibile ridurre in modo significativo tale deformazione adottando degli specifici accorgimenti, come, per esempio, la posa sopra il manto impermeabile di uno strato di sabbia di 5-10 cm che, assorbendo parte dell'acqua d'impasto del calcestruzzo, permetterà di ottenere un limitato differenziale di evaporazione dell'acqua tra l'estradosso e l'intradosso della piastra di calcestruzzo.

8.5.3 Posa armatura (reti, fibre, barrotti)

La posa dell'armatura deve essere effettuata secondo le prescrizioni di progetto. Il ricoprimento dell'armatura all'estradosso deve essere di almeno 4 cm, e comunque superiore alla profondità del taglio dei giunti di contrazione. Nel caso in cui l'armatura posizionata nella parte alta del getto debba consentire il calpestio degli operatori, il suo diametro non potrà essere minore di 8 mm e dovrà essere appoggiata su opportuni distanziatori. Le sovrapposizioni dei pannelli di rete elettrosaldata o delle singole barre di acciaio dovranno rispettare le prescrizioni progettuali. Si dovrà prestare la cura necessaria nel dare continuità alla rete elettrosaldata, utilizzando opportuni fogli di sovrapposizione o affiancare i singoli pannelli di rete effettuando le sovrapposizioni con barre singole. Tutto ciò al fine di evitare sovrapposizioni che creino stratificazioni di rete con elevato spessore. L'esatta posizione dell'armatura nella piastra può essere ottenuta esclusivamente mediante l'utilizzo di appositi distanziatori che dovranno essere indicati in fase progettuale. L'eventuale collegamento di messa a terra dell'armatura e l'armatura suppletiva, costituita da barrotti o ferri di rinforzo attorno a chiusini e pilastri, devono essere previsti in fase progettuale.
Nel caso di aggiunta di fibre all'impasto di calcestruzzo, la quantità e le modalità di distribuzione nell'impasto dovranno consentire una uniforme dispersione delle stesse evitando inoltre la formazione di grumi.
Nei giunti di costruzione verranno predisposti idonei sistemi di ripartizione dei carichi (incastri, barrotti, piastre, ecc.) che dovranno essere previsti, in fase di progetto, per tipologia, dimensione, distribuzione, in relazione alle sollecitazioni previste.

8.5.4 Fornitura del calcestruzzo a piè d'opera

È consentita la fornitura a piè d'opera del calcestruzzo esclusivamente con mezzi o sistemi adeguati alla quantità necessaria al getto e, soprattutto, tali da non favorire la segregazione ed influenzare negativamente l'omogeneità degli impasti. La fornitura a piè d'opera del calcestruzzo, nella quantità e nei tempi concordati, deve avvenire in modo uniforme, continuo e costante, al fine di evitare

INGENIO-WEB.it

riprese di getto o interferire negativamente nelle operazioni di finitura. In condizioni ordinarie il tempo di attesa tra le diverse autobetoniere non dovrebbe superare i 30 minuti.
Tempi di trasporto superiori ad un ora e mezza possono essere accettati solo se preventivamente concordati con il produttore di calcestruzzo ed in relazione alle caratteristiche del calcestruzzo e alle condizioni termoigrometriche.
Si raccomanda, per una buona esecuzione della pavimentazione, che tutti gli operatori coinvolti (Direzione Lavori, Fornitore ed Esecutore) concordino preventivamente le quantità dei materiali occorrenti, frequenza di consegna, le caratteristiche reologiche del calcestruzzo ed i relativi tempi di frattazzabilità, affinché il medesimo consenta, dopo la stesura, le successive fasi di lavorazione nei tempi di normale attività delle maestranze presenti.

8.5.5 Sequenza campiture di posa
Al fine di ottimizzare le operazioni di messa in opera del calcestruzzo è opportuno che, prima dell'inizio della fase di getto, venga stabilita una sequenza di esecuzione delle campiture di posa; ciò allo scopo di limitare le interazioni, durante le varie fasi operative, tra movimentazione dei mezzi, operatori, posa di materiali allo stato fresco rispetto a zone con lavorazioni di altra natura in fase di esecuzione su zone già indurite.

8.5.6 Posa in opera calcestruzzo
La posa deve avvenire in presenza di adeguate protezioni contro condizioni climatiche avverse. Il calcestruzzo può essere livellato con staggiatura semplice manuale, con vibro-staggiatura manuale o con sistema di vibro-stesura automatizzata. In corrispondenza dei giunti di costruzione, e comunque sempre contro cassero, deve essere curata la costipazione del calcestruzzo al fine di limitare la formazione di macrocavità o nidi di ghiaia che facilmente si formano in tale posizione. Se non previsto in fase progettuale in maniera diversa, l'accostamento dei getti deve essere effettuato a tutta sezione verticale.

8.5.7 Applicazione strato di usura
Le operazioni di applicazione e lavorazione dello strato di usura devono essere eseguite su calcestruzzo fresco, prima che sia completato il fenomeno della presa. È opportuno utilizzare esclusivamente prodotti premiscelati dove sia accertata la provenienza, la classificazione, le caratteristiche prestazionali, l'eventuale marcatura CE. Fra i vari metodi di realizzazione dello strato di usura si evidenziano:

Metodo a spolvero
Il prodotto deve essere applicato anidro con spolveratura su calcestruzzo fresco e steso in almeno due fasi alternate da lavorazione meccanica, in quantità complessiva non minore di 2 kg/m^2. Per la finitura del manto d'usura si deve limitare al minimo indispensabile la quantità d'acqua eventualmente aggiunta. Tale metodo non è applicabile quando si utilizzano calcestruzzi areati (XF3 e XF4).

Metodo a pastina
Prima dell'applicazione della malta di riporto (o pastina) deve essere eliminato ogni deposito residuo portato in superficie dall'acqua di affioramento del calcestruzzo. Deve essere applicata una quantità di prodotto premiscelato anidro indicativamente non minore di 10 kg/m2 (pastina rasata) o 15 kg/m2 (pastina), se a base di aggregati lapidei, oppure 30 kg/m^2, se a base di aggregati metallici. Tale metodo non è applicabile quando si utilizzano calcestruzzi areati (XF3 e XF4). Per la finitura

INGENIO-WEB.it

del manto d'usura si deve limitare al minimo indispensabile la quantità d'acqua eventualmente aggiunta.

Metodo a riporto
Posa di miscela indurente a forte spessore (10-30 mm) applicata sul calcestruzzo precedentemente indurito e stagionato. La superficie del calcestruzzo deve essere finita in modo che presenti una forte rugosità superficiale e, ad avvenuta stagionatura, deve essere preparata con estrema cura allo scopo di ottenere la massima adesione della miscela al supporto. L'aderenza del sistema riportato al supporto può essere ottenuta mediante l'applicazione di un *primer* a base cementizia, resinosa o mista. Sul *primer* ancora fresco viene applicato il materiale di riporto in uno strato unico.

Metodo senza indurente superficiale riportato
É possibile eseguire la finitura della pavimentazione senza applicare sulla parte superficiale un prodotto cementizio indurente nella fase finale della lavorazione; in questo caso la finitura viene eseguita solo con un adeguato sistema di densificazione e lisciatura della parte superiore del calcestruzzo, curando particolarmente la chiusura e la successiva stagionatura.
In alcuni casi, ad avvenuto indurimento, si può procedere ad eseguire una levigatura superficiale mediante utensili diamantati; tale lavorazione permette di ottenere una superficie finale chiusa e planare, lasciando a vista la grana della miscela di calcestruzzo. Allo scopo di ottenere un miglioramento delle caratteristiche superficiali della pavimentazione, è suggerita l'applicazione di un prodotto impregnante a forte azione indurente, dando alla parte superiore della pavimentazione una resistenza meccanica migliore.

8.6 Protezione e stagionatura

Per raggiungere le potenziali prestazioni attese dal calcestruzzo, soprattutto nella zona corticale, occorre proteggerlo e stagionarlo accuratamente. La stagionatura e protezione della pavimentazione deve iniziare appena possibile, dopo la fase di lisciatura, con frattazzatrice meccanica.
La protezione è volta a prevenire gli effetti derivanti da:

- esposizione, anche durante il getto e la lavorazione, a condizioni climatiche avverse nonché all'irraggiamento solare, vento e ad aria radente, con la conseguente evaporazione repentina di acqua dalla superficie e formazione di fessure da ritiro o di debolezza meccanica superficiale o sfarinamenti;
- dilavamento per pioggia o ruscellamento dell'acqua;
- rapido raffreddamento durante i primi giorni dal getto;
- elevati gradienti di temperatura tra il centro e la superficie della pavimentazione;
- congelamento.

Fra i principali sistemi di protezione per la stagionatura della pavimentazione, utilizzabili singolarmente o in combinazione fra loro, si elencano:

- coprire la pavimentazione con teli di polietilene o con fogli e/o pannelli coibenti nel caso di basse temperature;
- rivestire con teli umidi (geotessuto mantenuto costantemente umido);
- nebulizzare acqua sulla superficie in maniera uniforme ed ininterrotta;
- applicare prodotti stagionanti che formano pellicole protettive. A tal proposito si consiglia di utilizzate prodotti che siano caratterizzati da indici di efficienza adeguati rispetto alle condizioni termo-igrometriche presenti, tenendo presente anche il problema dell'aderenza di eventuali sovrapplicazioni previste o future di rivestimenti resinosi.

INGENIO-WEB.it

Fattori importanti nei processi di protezione e stagionatura sono:

- Tipo/classe di cemento;
- Rapporto acqua/cemento;
- Condizioni termo-igrometriche e di ventilazione.

L'obbligo della stagionatura deve essere prescritto dal Progettista. I metodi e la durata della stagionatura devono essere prescritti in relazione alle condizioni ambientali e operative al momento della realizzazione. La stagionatura deve essere protratta preferibilmente per circa 15 giorni e comunque in ogni caso per un tempo non inferiore a 7 giorni.
Alcuni tipi di stagionatura possono modificare l'aspetto della pavimentazione lasciando alcune differenze cromatiche superficiali. Generalmente tali differenze tendono a diminuire nel tempo. Se rappresentano un requisito essenziale, dovranno essere dettagliatamente specificate in fase progettuale.
In caso di pericolo di gelo dovranno essere poste in atto protezioni specifiche che isolino la superficie del getto dalla possibile formazione di ghiaccio negli strati superficiali durante la fase iniziale dell'indurimento.

8.7 Giunti

La disposizione dei giunti, in genere stabilita dal Progettista, è determinata dal tipo di supporto della pavimentazione, dalla conformazione delle superfici, dal lay-out eventuale, dalla presenza di interruzioni ed irregolarità (pozzetti, griglie, basamenti), dallo spessore della piastra, dal ritiro del calcestruzzo e dalla sua armatura.
Il taglio meccanico del giunto di contrazione può causare piccoli sbrecciamenti localizzati. Gli accorgimenti adottati per proteggere la stagionatura, dopo il taglio, devono essere ripristinati. Se non previsto diversamente in fase progettuale, l'accostamento dei getti separati da un giunto di costruzione deve essere rettilineo e a tutta sezione verticale. Il taglio meccanico, se previsto, viene effettuato con il solo scopo di realizzare una traccia per l'inserimento dei materiali di riempimento. La necessità di esecuzione, i tempi e la profondità di questo taglio sono pertanto del tutto ininfluenti rispetto alle caratteristiche prestazionali del giunto. L'interruzione della piastra di calcestruzzo, in tali punti, comporta che le sollecitazioni nelle zone limitrofe possano assumere valori particolarmente elevati. Per tali giunti, rappresentando quindi la parte della pavimentazione più soggetta a prematuri deterioramenti, si deve prevedere, in fase progettuale, un opportuno rinforzo della parte superficiale, in fase di posa o a stagionatura avvenuta.
Tra le lastre che formano i giunti di costruzione e di dilatazione deve essere inserito un materiale comprimibile il cui spessore possa consentire l'allungamento delle stesse senza che vengano a contatto diretto tra loro.
In condizioni ambientali particolarmente sfavorevoli, al fine di prevenire il rischio di fessurazione, è possibile anticipare l'esecuzione dei giunti, anche se questa potrebbe comportare la formazione di leggeri sbrecciamenti del bordo del taglio.
Appena realizzato, il giunto va protetto con un "profilo preformato", che potrà essere successivamente rimosso per l'eventuale sigillatura.

8.7.1 Riempimenti e sigillature

I giunti delle pavimentazioni sono generalmente chiusi mediante riempimenti eseguiti con materiali preformati o indurenti; nel caso venga richiesta una sigillatura questa dovrà essere prescritta in fase progettuale tenendo presente anche i tempi di esecuzione delle operazioni in relazione alle previste

INGENIO-WEB.it

deformazioni delle lastre. Le funzioni di riempimento e/o di sigillatura, a seconda delle prestazioni richieste alla pavimentazione, possono presentarsi congiunte o disgiunte.
I riempimenti hanno la funzione di colmare le cavità formatesi a seguito del taglio dei giunti; particolari accorgimenti consentono anche di migliorare la resistenza dello spigolo del giunto nei confronti dello sbrecciamento da urti. Per garantire nel tempo tali funzioni si richiede al materiale di riempimento un buon ancoraggio alle pareti del giunto e la capacità di sostenere i movimenti reciproci delle superfici affiancate. Sono consentiti distacchi parziali del materiale dalle pareti purché non comportino la caduta o la fuoruscita del riempimento. È opportuno posizionare elementi preformati comprimibili a cellule chiuse tra le due superfici del giunto per ottenere la sezione idonea a garantire al riempimento la sua capacità di lavoro; ciò previene anche l'eventuale adesione del ricoprimento al fondo del taglio.
Come riempimento temporaneo, ove non specificato in fase progettuale, si possono utilizzare semplici profili morbidi in PVC o similari, semplicemente inseriti a pressione. La sigillatura deve permettere la tenuta del giunto al passaggio di liquidi. Il materiale costituente la sigillatura deve possedere adeguata resistenza chimica nei confronti dei liquidi con i quali verrà a contatto ed essere in grado di sostenere, senza lacerarsi e senza distaccarsi dal supporto, i movimenti previsti per il giunto. Inoltre, il materiale deve avere caratteristiche meccaniche tali da rimanere integro ed aderente, alle temperature di esercizio previste, anche in presenza di grandi deformazioni. In ogni caso, le specifiche di realizzazione e del materiale da impiegare devono essere prescritte dal Progettista.
La sede del giunto deve avere larghezza tale da ridurre l'allungamento specifico del materiale sigillante. Si tenga però presente che giunti larghi sigillati con materiale deformabile tendono a sbrecciarsi più rapidamente, soprattutto se transitati da carichi concentrati elevati (esempio ruote piccole e dure).
Data la sollecitazione di natura fisico-meccanico del giunto posto all'estradosso della lastra di calcestruzzo, si possono prevedere distacchi o degradi localizzati che dovranno essere oggetto di specifico programma di manutenzione.
In ogni caso, il sistema sigillante non potrà sostituire una corretta impermeabilizzazione della pavimentazione.

8.8 Tipo finitura

Il tipo di finitura di una pavimentazione industriale è in relazione alla sua destinazione d'uso e alla richiesta prestazionale o estetica richiesta.
In linea di massima la finitura di una pavimentazione industriale può essere così suddivisa:

Finitura liscia

La parte finale della pavimentazione si presenta chiusa e compatta, generalmente indicata per pavimentazioni all'interno e generalmente asciutte. Tale finitura risulta essere meno sensibile allo sporco ed alle macchie, e sufficientemente antisdrucciolevole, salvo utilizzi della pavimentazione in condizioni bagnate o con inquinanti sulla superficie. La gradazione della finitura può essere calibrata dall'operatore nelle operazioni di finitura, sempre considerando la disomogeneità del risultato dovuta alla manualità dell'operazione.

Finitura ruvida

La parte finale della pavimentazione ha un aspetto ruvido, anche rugoso se necessario, con un forte effetto antisdrucciolo. Viene utilizzata generalmente all'esterno, o dove il grip della finitura assume un ruolo determinante, ad esempio nelle rampe con leggera pendenza, in zone molto bagnate, ecc.

INGENIO-WEB.it

Calcestruzzo Stampato
É una tipologia di pavimentazione ad effetto decorativo che presenta in abbinamento alle prestazioni meccaniche di una piastra in calcestruzzo, un aspetto estetico particolare, con un profilo superficiale che ricorda, ad esempio, un pavimento in pietra, in masselli, in cotto, ecc.

Calcestruzzo decorativo
É un'ulteriore lavorazione che viene eseguita su una pavimentazione in calcestruzzo di tipo tradizionale per conferirle un aspetto estetico particolare quale, ad esempio, una forma anticata, dei disegni o delle colorazioni particolari; tali particolari effetti possono essere ottenuti, ad esempio, mediante specifici trattamenti chimici superficiali.

Calcestruzzo lavato
É costituito da una finitura superficiale particolare che lascia evidenziata a vista la grana dell'inerte, ottenuta mediante specifici trattamenti da applicare durante le operazioni di finitura della pavimentazione.

8.9 Influenza delle condizioni ambientali sulla posa del calcestruzzo

Analogamente a quanto già sopra evidenziato per la messa in opera del calcestruzzo in generale, la messa in opera di pavimentazioni industriali in calcestruzzo durante il periodo invernale, o in presenza di alte temperature, come pure in presenza di calcestruzzi caratterizzati da un valore di bleeding particolarmente accentuato, deve essere effettuata con attenzione, adottando accorgimenti correttivi nella scelta dei materiali e/o nelle modalità di messa in opera.
Le basse temperature ritardano tutti i processi di presa e d'indurimento del calcestruzzo, le operazioni di lavorazione e finitura vengono differite, l'evaporazione dell'acqua modificata.
Dovranno quindi essere presi alcuni accorgimenti tra i quali: utilizzare cementi a più alto calore di idratazione ed eventualmente dosaggi maggiori, utilizzare additivi invernali, diminuire il rapporto acqua/cemento, aumentare la temperatura del calcestruzzo con particolari accorgimenti allo scopo di diminuire gli effetti negativi della bassa temperatura e permettere le corrette operazioni di lavorazione in tempi adeguati nel rispetto delle norme sul lavoro e delle regole per la sicurezza, limitando in tal modo i conseguenti aggravi di costi risultanti.
Le operazioni di finitura possono essere migliorate mediante la protezione dei locali, il possibile riscaldamento degli stessi, l'impiego di attrezzature che facilitino le operazioni. In presenza di gelo, durante le operazioni di posa e nelle primi periodi di indurimento, ed in assenza di specifici accorgimenti, le operazioni di getto devono essere sospese. Nella stagione calda, al contrario, le reazioni vengono accelerate e anche le operazioni di getto e finitura dovranno essere conseguentemente accelerate. In questo caso si consiglia l'impiego di cementi più lenti e, ove possibile, minori contenuti di cemento, come pure l'impiego di prodotti ed additivi dedicati per temperature medio-alte. Le operazioni di finitura dovranno essere anticipate e il numero del personale adeguato ai tempi previsti per tali operazioni in relazione alle campiture di getto previste. In alcuni casi è preferibile iniziare le operazioni nei periodi meno caldi della giornata, evitando in ogni caso operazioni di finitura all'esterno in presenza di sole diretto nelle ore più calde. Si dovranno in questo caso adottare particolari modalità di stagionatura e, in generale, un adeguato prodotto stagionante dovrà essere applicato immediatamente alla fine delle operazioni di getto. Con temperature particolarmente elevate (30-35° C) si sconsiglia di effettuare lavori di pavimentazioni in calcestruzzo, specialmente all'esterno, a meno che non si adottino accorgimenti particolari. Nel caso di calcestruzzi caratterizzati da alto *bleeding* si deve rimuovere l'acqua superficiale in eccesso,

INGENIO-WEB.it

cercando di non rovinare eccessivamente la superficie e, se necessario, modificare il *mix design* del calcestruzzo.

8.10 Protezione del lavoro eseguito

Le caratteristiche prestazionali della pavimentazione raggiungono il loro massimo valore in relazione al tempo di stagionatura e delle condizioni termoigrometriche presenti.
Per tale motivo, fino al raggiungimento dei valori prestazionali prestabiliti, la pavimentazione deve essere protetta e/o non sollecitata. Sono possibile deroghe solo se espressamente autorizzate dal Direttore dei Lavori dopo opportuna verifica delle caratteristiche prestazionali raggiunte e dopo l'esecuzione delle prove complementari.
In assenza di specifiche indicazioni, la pavimentazione non potrà essere sollecitata completamente prima di 28 giorni di stagionatura, accertando l'esito positivo delle prove previste.
Il traffico pedonale o limitato potrà essere autorizzato espressamente in relazione alle condizioni ambientali e prestazionali della pavimentazione, comunque indicativamente non prima di 7 giorni di maturazione.

8.11 Impiantistica

Poiché lo spessore della pavimentazione deve essere costante per tutta la superficie, va assolutamente evitato il passaggio di impianti (tubazioni, cablaggi) sopra la massicciata e di altri elementi che possano ridurre lo spessore o impediscano lo scorrimento della piastra.

8.12 Impianti di riscaldamento/raffrescamento a pavimento

Per quanto riguarda il riscaldamento a pavimento è obbligatorio effettuare, prima delle operazioni di posa di acciaio e calcestruzzo, tutte le prove di tenuta idraulica, alla presenza del Direttore Lavori. I tubi del riscaldamento a pavimento devono essere adeguatamente fissati e bloccati. La presenza di elementi dell'impianto, all'interno della lastra in calcestruzzo, potrebbe innescare fenomeni fessurativi; in tali casi è sempre richiesta quindi l'adozione di opportuni accorgimenti per contrastare la nascita del fenomeno (per esempio l'uso di rete elettrosaldata). È bene osservare che la presenza di strati di isolamento termico inferiore potrebbe favorire l'innesco di fessurazioni e deformazioni, accentuate dai gradienti termici indotti dal riscaldamento. Nella progettazione e nella successiva messa in opera dell'impianto di riscaldamento, si deve verificare la compatibilità con i giunti di costruzione e di dilatazione del pavimento. Lo spessore di progetto va garantito dal lembo superiore di tali tubi. Inoltre, durante l'esecuzione dei getti, l'impianto va mantenuto in pressione al fine di individuare qualsiasi perdita dovuta alle operazioni di posa. In relazione agli impianti di riscaldamento a pavimento, si raccomanda inoltre quanto segue.
A stagionatura avvenuta deve essere sempre effettuato un ciclo di accensione progressiva dell'impianto in modalità riscaldamento, per verificare la funzionalità dell'impianto oltre che rendere la pavimentazione stabile. Di norma il ciclo di accensione si esegue mettendo in funzione l'impianto al minimo e aumentando la temperatura di 5° C al giorno fino al raggiungimento del regime massimo previsto in esercizio. Mantenuta la temperatura massima per almeno 5 giorni, si procede a ritroso, diminuendola di 5° C al giorno fino al raggiungimento della temperatura ambiente. La pavimentazione, sottoposta a questo ciclo, subisce uno shock termico che, frequentemente, provoca la comparsa di fessurazioni che devono essere valutate.
Il processo di avviamento del riscaldamento deve essere documentato.

INGENIO-WEB.it

Bibliografia

Consiglio Superiore dei lavori pubblici – "Linee guida sul calcestruzzo strutturale"

Consiglio Superiore dei lavori pubblici – Linee Guida sui calcestruzzi strutturali ad alta resistenza

Consiglio Superiore dei lavori pubblici – Linee guida per la produzione, il controllo ed il trasporto del calcestruzzo preconfezionato

D.M. LL.PP. 14.01.2008 - Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e delle strutture metalliche.

"PROCEDURE DI SICUREZZA PER LA FORNITURA DI CALCESTRUZZO IN CANTIERE" (Ministero del Lavoro)

UNI-EN 13670 Esecuzione delle opere in calcestruzzo- Parte 1- Parte generale.

EN 1992 1 Eurocode 2 : Design of concrete structures – Part 1 General rules for buildings.

UNI U50.00.206.0 Casseforme – Requisiti generali per la progettazione, la costruzione, l'uso.

UNI-EN 206:2014 Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità.

UNI 11104 Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità: istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206)

UNI EN 12350 (parti 1 – 7) Prove sul calcestruzzo fresco: Campionamento, Prova di slump, Prova VeBè, Grado di compattabilità, Prova alla tavola a scosse, densità, Contenuto d'aria nel calcestruzzo fresco, metodi a pressione.

UNI 11040 (marzo 2003) Calcestruzzo autocompattante – Specifiche, caratteristiche, e controlli.

UNI EN 13670 (gennaio 2010) Esecuzione di strutture in calcestruzzo

EN 13791 Assessment of concrete compressive strength in structures or in structural elements.

UNI EN 14487-1 Calcestruzzo proiettato - Definizioni, specificazioni e conformità.

UNI EN 14487-2 Calcestruzzo proiettato – Esecuzione.

CNR Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Pavimentazioni di Calcestruzzo ROMA –16 ottobre 2014.

ACI 228.1R (95) In place Methods to estimate Concrete strength.

ACI 304R 00 Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete.

ACI 308R (01) Guide to curing Concrete.

ACI 308.1 (98) Standard Specification for curing Concrete.

ACI 347 (01) Guide to formworks for concrete.

CIB/CEB/FIP W29 (85) "Manuale di tecnologia casseforme"

INGENIO-WEB.it

CIB W29 “Concrete Surface Finishings report n°24 Tolerances on blemishes sof concrete”

DIN 18218 2010 Pressione calcestruzzo fresco su casseforme verticali.