

Gaetano Miti

STRUTTURE IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO

ESECUZIONE - DIREZIONE - COLLAUDO - QUALITÀ

1ª Edizione - Gennaio 2014

 Legislazione Tecnica

*ad Armanda, Alessandro, che ha disegnato
le immagini, ed a Tommaso*

© Copyright Legislazione Tecnica 2013

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

Finito di stampare nel mese di gennaio 2014 da
Stabilimento Tipolitografico Ugo Quintily S.p.A.
Viale Enrico Ortolani 149/151 - Zona industriale di Acilia - 00125 Roma

Legislazione Tecnica S.r.L.
00144 Roma, Via dell'Architettura 16

Servizio Clienti
Tel. 06/5921743 – Fax 06/5921068
servizio.clienti@legislazionetecnica.it

Portale informativo: www.legislazionetecnica.it
Shop: ltshop.legislazionetecnica.it

Il contenuto del testo è frutto dell'esperienza dell'Autore, di un'accurata analisi della normativa e della pertinente giurisprudenza. Le opinioni contenute nel testo sono quelle dell'Autore, in nessun caso responsabile per il loro utilizzo.

Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenni l'Autore e l'Editore da qualsiasi pretesa risarcitoria.

INDICE

PREMESSA	11
----------------	----

Parte Prima Questioni generali

1. LE MISURE E LE UNITÀ DI MISURA	15
1.1. La metrologia	15
1.2. Il Sistema Internazionale SI	17
1.3. Le regole di scrittura	23
1.4. Gli errori di misura	24
1.5. Gli strumenti di misura	27
2. CENNI DI TEORIA DEGLI ERRORI	29
2.1. Premessa	29
2.2. Le variabili aleatorie, definizioni ed operatori matematici	30
2.3. La funzione di Gauss	32
2.4. Il metodo dei minimi quadrati	36
2.5. I dati anomali	38
3. NORME, REGOLE TECNICHE E QUALITÀ	41
3.1. La normazione	41
3.2. La normativa comunitaria	45
3.3. Il Regolamento UE 305/2011 ed il marchio CE	48
3.4. La certificazione di qualità	54
3.5. Gli Eurocodici strutturali	56
3.6. Le Norme Tecniche per le strutture	58
3.7. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ed il Servizio Tecnico Centrale	63
4. LA NORMATIVA TECNICO-AMMINISTRATIVA IN VIGORE	67
4.1. Introduzione	67

4.2. La Legge 1086/1971	68
4.2.1. Oggetto e campo di applicazione	68
4.2.2. Gli attori del processo ed i laboratori di prova	70
4.2.3. La denuncia dei lavori	73
4.2.4. La Direzione dei Lavori	76
4.2.5. Il collaudo delle strutture	80
4.2.6. Lo svolgimento del collaudo delle strutture	84
4.2.7. Il certificato di collaudo	88
4.2.8. Vigilanza e norme penali	89
4.3. La Legge 64/1974 - Principi generali	91
4.4. Le zone sismiche	92
4.5. La normativa sismica regionale, il caso dell'Emilia-Romagna ..	93
4.5.1 Principi generali	93
4.5.2. Procedure e vigilanza	95
4.6 Il progetto delle strutture	98
5. GEOLOGIA E GEOTECNICA	102
5.1. Il sottosuolo in breve	102
5.2. La normativa geotecnica	105
5.3. Lo studio e la relazione geologica	108
5.4. Le indagini geotecniche	109
5.5. Le indagini geotecniche in sito	112
5.6. Le indagini geotecniche in laboratorio	119
5.7. Lo studio e la relazione geotecnica	121
6. I COMPONENTI STRUTTURALI ACCESSORI	123
6.1. Gli apparecchi d'appoggio	123
6.1.1. Tipologie e caratteristiche generali	123
6.1.2 Le modalità di accettazione	129
6.1.3. Le condizioni di impiego	131
6.1.4. Durabilità e manutenzione	135
6.2. Le costruzioni con isolamento o con dissipazione, cenni generali	136
6.3. I sistemi di isolamento	137
6.4. I sistemi a dissipazione di energia	140
6.5. Requisiti generali e criteri di accettazione dei sistemi di isolamento e di dissipazione	141

6.6. I dispositivi antisismici	143
6.6.1. Tipologie e caratteristiche generali	143
6.6.2. Procedure di qualificazione e di accettazione in cantiere	145
6.7. I giunti strutturali	147

Parte Seconda
Il conglomerato cementizio armato

NOTE INTRODUTTIVE GENERALI	153
1. I materiali	153
2. Le certificazioni	156
1. I MATERIALI COMPONENTI	158
1.1. I leganti	158
1.1.1. Inquadramento generale e sviluppo della normativa sui cementi	158
1.1.2. I componenti dei cementi normalizzati	162
1.1.3. La conformità dei cementi alle norme	168
1.1.4. La produzione del cemento	170
1.1.5. I fenomeni di idratazione e di presa	173
1.1.6. I tipi di cementi di uso comune	177
1.1.7. I requisiti fisici e meccanici dei cementi normali	181
1.1.8. I requisiti fisici e meccanici dei cementi speciali	183
1.1.9. Le modalità di fornitura in cantiere	188
1.1.10. Le metodologie di verifica alla consegna	190
1.2. Gli aggregati	194
1.2.1. Caratteristiche generali e petrografiche	194
1.2.2. Caratteristiche fisico-chimiche	198
1.2.3. La distribuzione granulometrica	201
1.2.4. Il campionamento	205
1.2.5. Requisiti specifici	206
1.2.6. Le caratteristiche da dichiarare	210
1.3. Gli additivi e altri componenti	213
1.3.1. Classificazione e caratteristiche	213
1.3.2. I tipi di additivi	214
1.3.3. Le caratteristiche da dichiarare per l'impiego	220
1.3.4. L'acqua di impasto	221
1.3.5. L'aria inglobata	224

2. LE ARMATURE DI ACCIAIO	225
2.1. Le barre, le reti ed i tralicci	225
2.1.1. Introduzione generale	225
2.1.2. I diagrammi tensione-deformazione	229
2.1.3. L'aderenza fra il conglomerato cementizio e le armature	230
2.1.4. Le caratteristiche fisico meccaniche delle barre di armatura	231
2.1.5. Lo stabilimento di produzione, procedure di qualificazione	234
2.1.6. I centri di trasformazione, procedure di qualificazione ..	237
2.1.7. L'identificazione delle barre	239
2.1.8. Le nuove tecnologie realizzative	241
2.1.9. Le reti ed i tralicci di acciaio elettrosaldati	243
2.2. Le procedure di prova degli acciai per c.c.a. e la posa in opera	247
2.2.1. Le prove ed i controlli fisico-meccanici	247
2.2.2. I controlli sistematici di produzione in stabilimento	252
2.2.3. I controlli nei centri di trasformazione	254
2.2.4. I controlli di accettazione in cantiere	255
2.2.5. La lavorazione e la posa delle barre di armatura	258
3. IL CONGLOMERATO CEMENTIZIO	264
3.1. I fattori fisici che influenzano le caratteristiche dell'impasto ...	264
3.1.1. Introduzione	264
3.1.2. I requisiti di base dei componenti del conglomerato cementizio	265
3.1.3. La distribuzione granulometrica degli aggregati	266
3.1.4. Il rapporto acqua-cemento	270
3.1.5. La dosatura dei componenti	273
3.1.6. Lo studio analitico della composizione degli impasti ...	275
3.2. Le caratteristiche del conglomerato cementizio	280
3.2.1. Introduzione	280
3.2.2. La lavorabilità del conglomerato fresco	284
3.2.3. Le caratteristiche meccaniche del conglomerato indurito	289
3.2.4. Le caratteristiche fisiche del conglomerato indurito	291
3.3. La tecnologia realizzativa	296
3.3.1. Le diverse fasi operative	296
3.3.2. Le apparecchiature per la miscelazione	299
3.3.3. Le carpenterie	303
3.3.3.1. Le modalità costruttive	303

3.3.3.2. Le varie tipologie	307
3.3.3.3. Le carpenterie a faccia vista	312
3.3.4. Il trasporto e il getto dell'impasto	313
3.3.5. Il costipamento dell'impasto	317
3.3.6. La stagionatura del getto	321
3.3.7. Il disarmo delle carpenterie	325
3.3.8. Il conglomerato cementizio preconfezionato	327
3.3.8.1. Le modalità produttive	327
3.3.8.2. Il controllo della produzione	329
3.3.8.3. Le modalità d'ordine	330
3.3.8.4. Le modalità di consegna	334
3.3.9. L'aggiunta di acqua all'impasto	335
3.3.10. Le malte speciali	336
4. IL CONTROLLO DI QUALITÀ SUL CONGLOMERATO CEMENTIZIO	339
4.1. Il controllo di accettazione in cantiere	339
4.1.1. Introduzione	339
4.1.2. Le norme generali relative ai controlli di accettazione in cantiere	340
4.1.3. I controlli tipo A e tipo B	343
4.1.4. Esempi di controlli tipo A e tipo B	346
4.1.5. Il prelievo di conglomerato fresco	351
4.1.6. La prova a compressione	357
4.1.7. La misura della consistenza	363
4.1.8. Altri accertamenti su campioni di conglomerato sia fresco che successivamente indurito	369
4.2. Le prove per la valutazione della resistenza meccanica del conglomerato indurito	374
4.2.1. Introduzione	374
4.2.2. La prova di compressione sul conglomerato indurito ...	377
4.2.3. La prova di compressione sul conglomerato indurito mediante microcarotaggi	381
4.2.4. La misura dell'indice sclerometrico	383
4.2.5. La prova di estrazione con tassello preinserito	386
4.2.6. La prova di estrazione con tassello inserito dopo il getto	388
4.2.7. La prova penetrometrica Windsor	390
4.2.8. Le indagini con ultrasuoni	391
4.2.9. Il metodo combinato ultrasuoni/sclerometro	393
4.2.10. La determinazione della resistenza caratteristica del conglomerato cementizio indurito	395

5. IL CONGLOMERATO CEMENTIZIO PRECOMPRESSO	397
5.1. La precompressione	397
5.1.1. Introduzione	397
5.1.2. Le tecnologie impiegate per la precompressione	398
5.1.3. Il conglomerato cementizio e le malte per iniezione ...	401
5.2. Le armature per la precompressione	403
5.2.1. Le tipologie, le caratteristiche generali e le modalità di impiego	403
5.2.2. Le caratteristiche dei fili	406
5.2.3. Le caratteristiche delle trecce a 2-3 fili e dei trefoli a 7 fili	410
5.2.4. Le caratteristiche meccaniche e geometriche	415
5.2.5. I controlli delle caratteristiche meccaniche, geometriche e della composizione chimica	417
5.2.6. I controlli in stabilimento, nei centri di trasformazione ed in cantiere	419
5.3. La postensione, modalità esecutive	421
5.3.1. Introduzione	421
5.3.2. Il sistema tecnologico della postensione	423
5.3.3. Le operazioni di tiro	424
5.3.4. L'iniezione dei cavi	426
5.3.5. I controlli e le verifiche	427
6. CONGLOMERATI CEMENTIZI SPECIALI	430
6.1. I conglomerati cementizi leggeri	430
6.1.1. Aspetti generali	430
6.1.2. Gli aggregati leggeri	433
6.1.3. La composizione e la posa dell'impasto, le armature metalliche	438
6.1.4. Le proprietà fisico-meccaniche del conglomerato leggero indurito	441
6.2. I conglomerati ad alte prestazioni e ad alta resistenza	443
6.2.1. Le caratteristiche generali	443
6.2.2. I materiali componenti	445
6.2.3. Le caratteristiche fisico-meccaniche	447
6.3. I conglomerati con prestazioni fisiche particolari	448
6.3.1. I conglomerati pesanti	448
6.3.2. I conglomerati per alte temperature	449
6.3.3. I conglomerati fibrorinforzati	451

6.3.3.1. Aspetti generali	451
6.3.3.2. Le fibre in acciaio	454
6.3.3.3. I conglomerati fibrorinforzati con fibre di acciaio .	456
6.3.4. I conglomerati con resine	459
6.3.5. I conglomerati autocompattanti	460
6.3.5.1 Aspetti generali	460
6.3.5.2. Le caratteristiche specifiche	461
6.3.6. I conglomerati proiettati	463
7. LE STRUTTURE PREFABBRICATE	467
7.1. Aspetti generali	467
7.1.1. Introduzione	467
7.1.2. Le disposizioni generali di tipo procedurale	470
7.1.3. I regimi autorizzativi dei manufatti prodotti in serie	471
7.1.4. I compiti e le responsabilità degli attori del processo e la procedura di accettazione in cantiere	475
7.2. La produzione e il montaggio	478
7.2.1. Gli impianti di produzione ed i materiali impiegati	478
7.2.2. Le procedure di qualificazione	479
7.2.3. La produzione in stabilimento	480
7.2.4. Il montaggio ed il collegamento in cantiere	485
7.3. I componenti prefabbricati	489
7.3.1. I solai, tipologie costruttive e norme generali	489
7.3.2. La normativa CE per i travetti prefabbricati	492
7.3.3. La normativa CE per i blocchi in laterizio	495
7.3.4. Le tipologie ed i requisiti di accettazione per i blocchi stabiliti dalle NTC 2008	500
7.3.5. I blocchi di altri materiali	502
7.3.6. I pannelli prefabbricati	504
8. LA DURABILITÀ DEI CONGLOMERATI CEMENTIZI	507
8.1. Aspetti generali	507
8.2. La composizione del conglomerato cementizio e la resistenza alle azioni ambientali	510
8.3. Le cause di alterazione	512
8.4. La fessurazione delle strutture in c.c.a.	517
8.5. La protezione delle barre di armatura	519

Parte Terza
Le prove sulle strutture

NOTE INTRODUTTIVE	525
1. I controlli sperimentali	525
2. Le azioni sulle strutture	528
3. Gli strumenti di misura	531
1. LE PROVE SULLE FONDAZIONI PROFONDE	537
1.1. Generalità sulle prove	537
1.2. La prova di carico diretto	541
1.3. Le prove di integrità ultrasoniche	549
2. LE PROVE SULLE STRUTTURE IN ELEVAZIONE	553
2.1. Generalità sulle prove	553
2.2. Le condizioni di carico	555
2.3. L'azione dei carichi concentrati	558
2.4. L'influenza sulla deformazione del grado di vincolo	560
2.5. La collaborazione trasversale	562
2.6. Gli elementi che concorrono nel calcolo teorico della freccia .	565
2.7. L'esecuzione della prova di carico	566
2.8. Le prove sulle strutture prefabbricate	571
2.9. Le prove sui ponti stradali e ferroviari	572
2.10. Le prove dinamiche	574

PREMESSA

Il libro tratta del processo produttivo relativo alla realizzazione di opere strutturali in conglomerato cementizio armato, oggi il settore normativamente più maturo e sicuramente di più largo impiego per le costruzioni nel nostro paese. L'argomento è esposto con riferimento a tutti gli aspetti interessati, partendo dai singoli materiali componenti, attraverso le modalità operative, per trattare infine i controlli e le verifiche sul prodotto finito.

In sostanza si tratta di un manuale che riporta tutti i passaggi, anche normativi, necessari per la produzione di un manufatto in c.c.a. di qualità, ossia rispondente alle prescrizioni delle norme. Grande rilievo viene infatti dato al riferimento normativo (sia cogente che volontario). Il tutto tentando di prescindere dalla tradizionale suddivisione degli argomenti secondo le competenze degli operatori interessati (progettista, costruttore, direttore dei lavori, collaudatore, ecc.) per prendere come riferimento il processo produttivo dell'opera, dalla progettazione tecnologica fino all'utilizzo.

Lo scopo di questo lavoro è soprattutto quello di contribuire all'affermarsi diffuso della cultura del costruire, che veda la qualità (e la durabilità) come elemento centrale della produzione. E ciò superando in positivo il concetto della sola sicurezza nei riguardi della pubblica incolumità.

Il testo si compone di tre sezioni. Nella prima vengono fornite le principali informazioni di tipo generale, sulla metrologia, sulle tecniche statistiche e sulla normazione; vengono infine dettagliatamente illustrate le leggi che regolano la materia sotto l'aspetto amministrativo. Nella seconda sezione, la più corposa, viene trattato il processo produttivo, a partire dai materiali componenti. Al proposito è solo il caso di ribadire l'estrema importanza che assume un'accurata scelta di tali materiali rispetto al risultato che si vuole perseguire. È infatti ben noto che le operazioni di confezionamento e la maturazione, se ben eseguite, possono solo mantenere il livello qualitativo di partenza definito dalla scelta operata sui materiali, non certo migliorarlo. Gli operatori del settore devono pertanto sempre più assumere la cultura dei materiali come riferimento essenziale per il loro lavoro. La sezione prosegue trattando il conglomerato cementizio ed il relativo controllo di qualità, nonché i conglomerati speciali, precompressi e prefabbricati, e si

conclude con alcuni accenni alle problematiche della durabilità. La terza sezione tratta infine delle prove sperimentali sulle strutture, con alcuni accenni alle principali verifiche che è possibile eseguire.

Agli operatori dell'edilizia e a tutti coloro che si preparano alla professione è dunque rivolto questo libro che tratta di materiali, tecnologie e controlli di qualità.

Gaetano Miti



**Pagine non disponibili
in anteprima**



3

NORME, REGOLE TECNICHE E QUALITÀ

3.1. LA NORMAZIONE

Nelle prossime pagine si farà riferimento molto spesso ai contenuti ed alle prescrizioni della **normativa tecnica** in materia edilizia che oramai pervade pressoché completamente tutte le procedure delle quali ci si occuperà, è dunque utile un brevissimo riferimento preliminare al suo significato ed alla sua importanza. Con una premessa necessaria: un tecnico preparato deve conoscere le normative e saperle applicare, ma deve avere anche la precisa coscienza che non è solo applicando bene la normativa che si gestisce correttamente la procedura realizzativa di un qualunque prodotto edilizio. Infatti alla base di una buona produzione stanno sempre la conoscenza approfondita dei problemi, la preparazione professionale, lo studio e l'esperienza personale; l'applicazione acritica e meccanica della normativa, anche se, forse, può garantire un prodotto finale corretto non può mai sostituire l'intelligenza, cioè la partecipazione attiva dell'uomo al processo e al suo progressivo miglioramento.

Vediamo dunque rapidamente una descrizione del significato e dell'importanza della normativa tecnica e dei recenti sviluppi del settore. Sviluppi che coinvolgono direttamente il concetto di **qualità** al quale, in relazione alle recenti normative europee, sono chiamate a rispondere anche le imprese di costruzione ed i prodotti dalle stesse realizzati ed in particolare, per quanto ci interessa, le strutture (in luogo della sola sicurezza nei riguardi della pubblica incolumità).

Definiamo subito la *qualità* di un prodotto (componente o prodotto finito) non come una elevata prestazione o l'eccellenza in assoluto, ma come l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche di un prodotto che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare esigenze espresse o implicite. Il concetto di qualità si può applicare anche alle organizzazioni aziendali (e quindi anche ad un'impresa di costruzioni o a una società o gruppo di progettazione) e la sua applicazione ha lo scopo di garantire che l'azienda che ha attuato un sistema di assicurazione della qualità sia in grado di assicurare la costanza, nel tempo, del livello qualitativo dei suoi prodotti, quale richiesto dai suoi clienti o genericamente dal settore di mercato che essa intende servire. La qualità assume dunque una duplice connotazione: una verso l'interno dell'azienda (per il miglioramento del livello della produzione, per la riduzione degli sprechi e delle inefficienze) l'altro verso l'esterno alla Committenza (per soddisfarne le esigenze).

Il raggiungimento degli obiettivi di qualità trova un suo punto di riferimento fondamentale nella normativa tecnica. Il campo delle strutture portanti è ormai regolato da un complesso normativo vasto e pressoché completo, articolato in **Regole Tecniche** e **Norme Tecniche**.

Le Regole Tecniche sono quelle cogenti, cioè il cui rispetto da parte di tutti è

obbligatorio, discendono dagli atti normativi emessi dell'autorità legislativa, nell'ordine, dopo la **Costituzione**, le **Leggi ordinarie**, che possono essere anche raccolte in **Testi unici**, i **Decreti**, emananti dal Presidente della Repubblica oppure dal Presidente del Consiglio dei Ministri o infine dai vari Ministri, seguiti infine, in ordine di importanza dalle **Circolari**. È comprensibile come un sistema di produzione normativa basato solamente su leggi sia certamente quanto di più arretrato si possa pensare: le norme, per essere adeguate al progresso tecnico, ora più che mai in evoluzione, devono essere aggiornate con rapidità, cosa in pratica impossibile per una legge. Allora in genere nel nostro ordinamento le leggi riguardano le disposizioni generali, di tipo amministrativo e procedurale, e fanno rinvio, per la normativa tecnica più specifica ad altri provvedimenti di più agevole aggiornamento come sono i decreti. A questi possono far seguito le circolari, emanate dai vari ministeri, che possono essere di varia natura: possono riguardare la comunicazione di fatti o di norme, fornire l'interpretazione di una norma o, infine, introdurre normative particolari non trattate in altri provvedimenti. Le circolari hanno però effetti normativi più limitati, vincolano infatti principalmente l'attività degli uffici dell'amministrazione che le ha emesse, oltre all'effetto di tipo indiretto che possono assumere se richiamate negli atti (capitolati, contratti, ecc.) che disciplinano il rapporto fra Committente e Costruttore. Quelle elencate fino a questo punto sono le Regole Tecniche valide su tutto il territorio nazionale, ad esse si devono aggiungere le normative regionali, valide solo nel territorio della Regione o Provincia autonoma che le ha emanate. Queste normative assumono un'importanza notevole nel campo dell'edilizia in quanto lo Stato centrale ha demandato alle Regioni molte competenze in materia. Nell'ambito delle Regole Tecniche rientrano anche le **Direttive Comunitarie**, che sono atti normativi del Consiglio CEE che hanno per destinatari gli Stati Membri ed hanno carattere vincolante per gli stessi solo per quanto concerne i risultati che ciascuno Stato ritiene di conseguire al proprio interno. Perché una Direttiva Comunitaria entri a far parte delle fonti giuridiche interne di uno Stato è necessaria la promulgazione di un apposito provvedimento legislativo nazionale.

Le Norme Tecniche sono invece di tipo volontario, nel senso che il loro rispetto da parte dei vari operatori diventa obbligatorio solo se questi lo decidono liberamente, inserendo il loro richiamo esplicito negli atti contrattuali, oppure se sono inserite in provvedimenti legislativi nazionali. Gli enti che presiedono all'attività normativa sono:

- ISO e IEC (*International Standard Organisation e International Electrotechnical Commission*), sono le agenzie di normazione internazionale industriale ed elettrotecnica, essi hanno sede a Ginevra, i loro membri sono gli enti normatori di 114 paesi;
- CEN e CENELEC (*Comité Europeen de Normalisation e Comité Europeen de Normalisation Electrotechnique*), sono gli organismi europei, con sede a Bruxelles, ad essi aderiscono i paesi membri della CEE e dell'EFTA;
- UNI e CEI (*Ente Nazionale Italiano di Unificazione e Comitato Elettrotecnico Italiano*), con sede in Milano, sono gli enti di normazione nazionali. Per la propria attività si servono di commissioni tecniche di studio, la cui composizione garantisce la presenza di tutte le parti interessate quali produttori,

utilizzatori, istituti scientifici e amministrazioni statali. Le commissioni hanno il compito di elaborare i progetti di nuove norme, aggiornare periodicamente le norme ed esaminare i progetti di norme ISO e CEN per la proposta di adozione. Negli altri paesi europei esistono gli analoghi: in Francia AFNOR e UTE, in Inghilterra BSI e BEC, in Germania DIN e DKE ecc.

Le Norme Tecniche nazionali sono correlate fra di loro ed inserite armonicamente nel più ampio circuito delle norme europee emanate dal CEN e dal CENELEC ed internazionali emanate dalla ISO e dalla IEC. Il tutto avviene con meccanismi abbastanza complessi, ma che garantiscono l'armonizzazione della normativa in campo europeo per favorire così la libera circolazione di merci, forniture e servizi, nel rispetto delle leggi comunitarie, mediante l'eliminazione delle barriere tecniche (normativa nazionale) oltre a quelle fisiche (posti di frontiera) e fiscali (imposizione diretta). Il mondo europeo della normazione è strettamente interrelato con un corpo sempre più completo di direttive dell'Unione Europea e ha dovuto, quindi, darsi regole interne più rigide: gli organismi di normazione membri del CEN sono infatti obbligati a recepire le norme europee e a ritirare le proprie, se contrastanti. Gli scopi fondamentali delle norme tecniche sono:

- migliorare l'economicità del sistema produttivo;
- regolare senza possibilità di equivoci i rapporti tecnico-commerciali;
- stabilire idonee regole d'arte o di riferimento per realizzare un prodotto tecnicamente sicuro;
- salvaguardare gli interessi dei consumatori.

Le Norme Tecniche sono nate, agli inizi del secolo scorso, essenzialmente dalla necessità di unificazione dimensionale e lessicale. Tali necessità erano motivate dalle esigenze di impostare le prime produzioni in serie e di conferire univocità al linguaggio tecnico (parlato, scritto, grafico) e lo scopo era raggiunto attraverso la normazione delle nomenclature, delle definizioni, delle unità di misura e dei simboli grafici. Assieme alla crescita del mercato industriale, le sollecitazioni della concorrenza hanno richiesto sempre di più il massimo sfruttamento dei materiali e la progettazione è diventata di conseguenza maggiormente complessa e così è stato successivamente realizzato un corpo normativo molto orientato alle metodologie di calcolo e di dimensionamento. Col passare del tempo, ed in particolare in questi ultimi decenni, le necessità si sono ancora modificate, man mano che si evolveva il sistema produttivo, e la normativa volontaria ha assunto anche il compito di definire le prestazioni dei processi e dei prodotti, e le modalità di controllo e di collaudo. Infine la recente frontiera è quella della gestione della qualità, con le norme sui sistemi di controllo e sviluppo della qualità aziendale e sugli organismi di controllo e di certificazione. Al giorno d'oggi l'attività di normazione ha raggiunto un livello molto maturo: non riguarda più, infatti, solamente i prodotti industriali e la loro interoperabilità, ma ha per oggetto anche la definizione dei processi, dei servizi e dei livelli di prestazione, intervenendo così in tutte le fasi di vita del prodotto e nelle attività di servizio, anche quelle per il consumatore finale. Non solo: oggi la normazione si occupa anche di definire gli aspetti di sicurezza, di organizzazione aziendale e di protezione ambientale, così da tutelare le persone, le imprese e l'ambiente.

Le norme tecniche UNI, scritte in lingua italiana, ma sempre più spesso solo in lingua inglese (a volte bilingui) sono caratterizzate, oltre che dal relativo numero d'ordine e data di riferimento, da specifici codici che sono i seguenti:

- *UNI* norma nazionale italiana elaborata dall'UNI;
- *EN* norma europea elaborata dal CEN;
- *UNI EN* norma europea recepita a livello nazionale;
- *ISO* norma internazionale elaborata dall'ISO;
- *UNI ISO* norma internazionale elaborata dall'ISO adottata a livello nazionale;
- *EN ISO* norma europea pubblicata dal CEN ed identica ad una norma ISO;
- *UNI EN ISO* norma internazionale elaborata dall'ISO, adottata dal CEN e conseguentemente recepita a livello nazionale;
- *UNI/TS* specifica tecnica nazionale;
- *UNI CEN/TS* specifica tecnica europea recepita quale specifica nazionale;
- *UNI CEN ISO/TS* specifica tecnica internazionale adottata dal CEN e recepita a livello nazionale;
- *UNI/TR* rapporto tecnico nazionale;
- *UNI CEN/TR* traduzione italiana di rapporto tecnico europeo;
- *UNI ISO/TR* traduzione italiana di rapporto tecnico internazionale.

Non è il caso di proseguire oltre con questa illustrazione, che richiederebbe molto più spazio, ma non è l'oggetto di questa introduzione, si vuole concludere riassumendo le caratteristiche fondamentali della norma tecnica. Essa, in quanto regola tecnologica riconosciuta, si basa sul consenso di tutte le parti interessate, per non rappresentare interessi particolari, sul riconoscimento da parte di un organismo qualificato e riconosciuto, terza parte, per avere una sua validità oggettiva, sulla pubblicità, in quanto chiunque deve avere la possibilità di conoscerla e di utilizzarla, ed infine sulla volontarietà. Deve essere inoltre fondata sui risultati congiunti della scienza, della tecnologia e dell'esperienza al fine di rappresentare pienamente lo stato aggiornato dell'arte e delle conoscenze tecniche. Una classificazione delle più comuni tipologie di norme è la seguente:

- **norma di base**; ha un ampio campo di applicazione o riporta disposizioni generali per un certo settore;
- **norma di terminologia**, fissa i termini lessicali, di solito accompagnati dalle definizioni;
- **norma di prova**, stabilisce metodologie di prova;
- **norma di prodotto**, specifica i requisiti che un prodotto, o un gruppo di prodotti deve possedere per essere idoneo allo scopo;
- **norma di processo**, specifica i requisiti che un processo deve possedere per essere idoneo allo scopo;
- **norma di servizio**, specifica i requisiti che un servizio deve possedere per essere idoneo allo scopo;

- **norma di interfaccia**, specifica i requisiti necessari per assicurare la compatibilità di prodotti o sistemi nei loro punti di interconnessione;
- **norma sui dati da indicare**, contiene l'elenco delle caratteristiche di cui occorre indicare i valori ed altri dati necessari per potere specificare il prodotto, il processo o il servizio.

Grande è l'importanza che assumono per i vari operatori sia le Norme che le Regole Tecniche attualmente in vigore attinenti le strutture, si tratta infatti di un insieme articolato, che, sebbene con qualche lacuna in corso di superamento, regola ormai tutti i vari aspetti della materia. Il sistema amministrativo che disciplina però le Regole Tecniche, come si può ben vedere, è dunque abbastanza complesso ed inevitabilmente fa molta fatica a risultare tempestivo rispetto alle esigenze dell'utenza ed è spesso in ritardo rispetto alle innovazioni tecnologiche e produttive. Diversamente le Norme Tecniche (volontarie) si presentano molto più snelle, anche se pure il procedimento della loro emanazione non è esente da una certa macchinosità. È inevitabile che oggi il dibattito su queste problematiche, ed in particolare sul rapporto fra norma tecnica e regola tecnica, sia aperto e, ovviamente, ancora lontano da una soluzione. Agli operatori dell'edilizia non resta, nel frattempo, che basarsi, oltre che sul rispetto del sistema normativo vigente, su una solida preparazione tecnica e culturale e sulla conoscenza, anche maturata sul campo, delle buone pratiche organizzative, progettuali e costruttive.

3.2. LA NORMATIVA COMUNITARIA

A partire dall'1 gennaio 1993 è stato creato il nuovo mercato interno europeo, libero da protezionismi nazionali e da tutti gli ostacoli che possono impedire, al suo interno, la libera circolazione delle merci. Fra questi ostacoli vi erano le Regole e le Norme Tecniche in vigore nei vari stati membri che, di fatto, erano diverse se non a volta divergenti. Allo scopo dunque di rimuovere anche tali barriere la CEE ha avviato un complesso programma che prevede l'emanazione di Direttive specifiche per regolare tutta la materia. Di tali disposizioni rivestono particolare interesse in campo edile le seguenti:

- Direttiva 83/189 sull'armonizzazione normativa degli Stati Membri (recepita in Italia con la Legge 151 del 2 luglio 1986 e in vista di un aggiornamento a seguito dell'emanazione del nuovo Regolamento UE 1025/2012).

Si tratta di una norma che stabilisce le procedure che devono seguire gli organismi di normazione nazionali, governo compreso, per informare, con cadenza annuale, la Commissione, gli organismi normatori degli altri stati Membri nonché il CEN e il CENELEC sui programmi di normazione e sui progetti di norma. La direttiva stabilisce che l'adozione dei progetti di regole tecniche deve essere sospesa per un periodo di sei mesi, durante il quale possono essere inviate osservazioni da parte della Commissione o dagli altri Stati Membri. Lo scopo della norma è quello di evitare l'introduzione di nuove norme divergenti e di favorire invece l'introduzione di norme il più possibile armonizzate.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



4.2.7. Il certificato di collaudo

A conclusione delle operazioni di collaudo il Collaudatore rilascia il **certificato di collaudo statico**. Esso contiene una relazione sul progetto strutturale e sui documenti esaminati e sulle eventuali attività integrative svolte, i verbali delle visite effettuate con la descrizione delle operazioni svolte, il giudizio sulla collaudabilità delle strutture e della loro ispezionabilità ai fini della manutenzione, con riferimento all'intero periodo della loro vita utile. Il certificato, redatto in duplice esemplare, deve essere trasmesso all'ufficio competente del Genio Civile regionale, che, anche in questa occasione, trattiene la copia per l'archivio, chiudendo definitivamente la pratica, e restituisce l'originale con l'attestazione dell'avvenuto deposito. Tale documento va così consegnato al Committente, che deve conservarlo assieme alla documentazione essenziale dell'edificio (quali certificazioni catastali, antincendio, autorizzazioni comunali ecc.) in quanto, come detto, il collaudo statico abilita le strutture dell'edificio a svolgere la funzione per le quali erano state progettate. A conferma dell'importanza di tale atto, la Legge 1086/1971 prescrive che l'autorità comunale possa rilasciare l'abitabilità o l'usabilità dell'opera, salvo prescrizioni di altre leggi, solo dietro presentazione della copia del certificato di collaudo con l'attestazione dell'avvenuto deposito.

Per quanto riguarda infine le modalità di redazione del certificato di collaudo, trattandosi di un documento molto complesso come struttura, e variando caso per caso le questioni da trattare, non si possono che fornire, nello schema che segue, indicazioni di tipo generale, articolato in:

— *Parte prima*: Premesse.

In essa vanno riepilogati gli estremi dell'opera (oggetto, natura, luogo di esecuzione, ecc.), del Committente, del o dei Costruttori (parti in opera e prefabbricate), le generalità complete dei tecnici interessati (Progettista/i delle parti in opera e prefabbricate, Direttore di Produzione in stabilimento, Direttore dei Lavori, Collaudatore), gli estremi della pratica depositata (denuncia ed eventuali varianti in corso d'opera, nomina del Collaudatore, inizio lavori, relazione a struttura ultimata, termine dei lavori); la legge non lo prescrive ma è opportuno citare gli estremi del titolo edilizio, come pure pare utile citare le principali norme cogenti interessanti l'opera.

— *Parte seconda*: Descrizione delle opere oggetto del collaudo.

In essa vengono descritte sinteticamente e nei termini essenziali le opere strutturali oggetto del collaudo riportandone le misure principali (sezioni, luci, altezze, ecc.), le tipologie, indicando le superfici dei piani, il loro numero, la cubatura dell'edificio, ed in ogni caso tutti gli elementi atti ad identificare con chiarezza le strutture oggetto del collaudo (allo scopo è utile richiamare anche numero e data delle tavole del progetto strutturale) vengono altresì riepilogate le indagini disponibili sul terreno di fondazione nonché i carichi previsti in sede di progetto. Soprattutto la precisa descrizione delle opere oggetto di collaudo è di fondamentale importanza anche per la precisa delimitazione delle rispettive responsabilità.

- *Parte terza*: Caratteristiche dei materiali previsti.
Vengono riepilogate le indicazioni desumibili dal progetto relative alle caratteristiche richieste ai materiali.
- *Parte quarta*: Esame della pratica depositata.
Riporta la descrizione degli adempimenti formali compiuti nel rispetto della Legge 1086, elenca gli accertamenti eseguiti dal Direttore dei Lavori in corso d'opera e ne giudica in dettaglio la correttezza e la rispondenza alle norme.
- *Parte quinta*: Verbali di visita.
Comprende la dettagliata descrizione delle visite eseguite, con l'indicazione delle persone presenti, delle opere esaminate, delle operazioni di misura e di riscontro eseguite.
- *Parte sesta*: Prove eseguite dal Collaudatore.
Riporta i verbali delle prove eseguite in corso delle operazioni di collaudo, corredati da grafici e tabelle dei risultati ottenuti, nonché il giudizio finale sui risultati delle stesse.
- *Parte settima*: Certificato di collaudo.
In questa ultima parte il Collaudatore, prima di concludere, può anche consigliare eventuali prove, misure o verifiche particolari che ritiene opportuno siano eseguite durante la vita della struttura, al fine di garantire una effettiva durabilità e sicurezza nel tempo. Quindi il Collaudatore, richiamando il positivo concludersi di tutte le verifiche e dei controlli eseguiti, della accertata mancanza di lesioni, dissesti o deformazioni eccessive, certifica il corretto operato del Progettista, del Direttore dei Lavori e del Costruttore, nonché la buona esecuzione delle strutture nel rispetto delle norme e della tecnica, conclude l'atto dichiarando di essere iscritto al proprio albo professionale da più di dieci anni e di non essere intervenuto personalmente in alcun modo nel progetto, nell'esecuzione e nella direzione dei lavori. In chiusura dell'atto il Collaudatore certifica la collaudabilità dell'opera nelle condizioni operative e di carico previste dal progetto, ai sensi e per gli effetti di quanto previsto all'art. 7 della Legge 1086/1971.

4.2.8. Vigilanza e norme penali

La vigilanza sul rispetto della Legge 1086/1971 è affidata al dirigente o al responsabile del competente Ufficio Tecnico comunale nel cui territorio ha luogo la costruzione. Il controllo viene attuato tramite apposite ispezioni in cantiere da parte di funzionari comunali; qualora in tale occasione fosse accertata una violazione delle norme di legge, il funzionario comunale deve redigere un processo verbale, da inviarsi all'autorità giudiziaria competente ed all'Ufficio Tecnico regionale per i successivi adempimenti di competenza. Eseguiti gli opportuni accertamenti il dirigente dell'Ufficio Tecnico regionale, con decreto notificato a mezzo di messo comunale, ordina al Committente, al Costruttore e al Direttore dei Lavori la sospensione dei lavori, comunicandola anche al competente Ufficio Tecnico comunale

perché ne curi l'osservanza. I lavori per i quali è stata decretata la sospensione non possono essere assolutamente ripresi finché il dirigente dell'Ufficio Tecnico regionale non abbia accertato l'avvenuto rispetto degli adempimenti di legge. Riepiloghiamo di seguito le sanzioni penali previste in caso di accertata violazione della legge:

- esecuzione di opere senza un progetto firmato da un professionista abilitato o senza Direttore dei Lavori: arresto fino a tre mesi o ammenda per un importo da 103 € a 1032 €, a carico del Costruttore, del Committente e del Direttore dei Lavori;
- omessa o ritardata denuncia da parte del Costruttore: arresto fino a tre mesi o ammenda per un importo da 103 € a 1032 €;
- inottemperanza da parte del Direttore dei Lavori alle prescrizioni circa la tenuta dei documenti di cantiere, omessa o ritardata denuncia di fine lavori: ammenda dell'importo da 41 € a 206 €;
- omesso invio del certificato di collaudo all'Ufficio regionale del Genio Civile da parte del Collaudatore: ammenda dell'importo da 51 € a 516 €;
- utilizzo di un edificio prima del rilascio del certificato di collaudo: arresto fino a un mese o ammenda dell'importo da 103 € a 1032 €.

Oltre alle responsabilità ed alle sanzioni specifiche previste dalla Legge 1086 è utile ricordare che a tutti coloro che partecipano alla produzione di un'opera di genio civile, fanno carico altre responsabilità e le relative sanzioni, previste dal Codice Civile e dal Codice Penale. In particolare all'opera del Direttore dei Lavori ed al Costruttore possono essere applicati gli articoli 449 del Codice Penale, in cui si prevede la reclusione da uno a cinque anni per il delitto di disastro colposo, e 676, che prevede una contravvenzione quando sorge la possibilità di un pericolo per la pubblica incolumità. Inoltre sempre ad entrambi fa carico la responsabilità civile, in base agli articoli 2049 e 2053, in quanto responsabili degli eventuali danni a terzi. È utile ricordare che si ha colpa, sia in termini civili che penali, allorché si viola un generico dovere di diligenza, perizia e prudenza, ovvero uno specifico dovere posto dalle leggi e regolamenti, contravvenendo all'obbligo fondamentale di non danneggiare nessuno, obbligo questo posto a tutela del diritto assoluto di ogni persona alla sua integrità fisica ed alla salvaguardia del suo patrimonio.

Quanto sopra deve essere attentamente considerato da chi intraprende la professione: le responsabilità ci sono e sono pesanti ed ognuno è tenuto ad adempiere con precisione e diligenza alle prescrizioni della legge, della scienza e della buona tecnica.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



1

I MATERIALI COMPONENTI

1.1. I LEGANTI

1.1.1. Inquadramento generale e sviluppo della normativa sui cementi

Il cemento è il cosiddetto **legante idraulico** e si presenta sotto forma di un materiale di consistenza polverosa, molto fine, di colore grigiastro e rappresenta la parte chimicamente più attiva dell'impasto, assieme all'acqua ed agli eventuali additivi. La denominazione di *legante* gli deriva dalla capacità di poter legare stabilmente (cioè di collegare in maniera intima e definitiva) elementi solidi aggregati; l'aggiunta dell'aggettivazione *idraulico* significa che il legante esplica la sua azione (cioè indurisce e si lega stabilmente agli aggregati) reagendo chimicamente con l'acqua. Come vedremo più approfonditamente al punto successivo, l'acqua reagisce con i granuli del cemento dando luogo al cosiddetto **fenomeno di idratazione**, dal quale dipende il successivo indurimento della pasta cementizia, reazioni che proseguono nel tempo senza soluzione di continuità, ma che, da un punto di vista pratico, vengono distinte nei due momenti della presa e dell'indurimento.

Il componente fondamentale del cemento è il cosiddetto **clinker**, materiale che deriva dalla cottura e successiva lavorazione di materiali molto comuni in natura, principalmente silice, allumina, calce, ossidi di ferro e di magnesio.

Dal punto di vista etimologico la parola *cemento* deriva dal termine latino *opus caementitium*, termine utilizzato da Vitruvio per definire un conglomerato impiegato ai suoi tempi per la realizzazione di strutture, costituito da rottami di pietra o mattone mescolati con calce aerea, pozzolana, sabbia e acqua. L'elemento lapideo così impiegato veniva denominato *caementum*, forse dal verbo latino *caedo* (tagliare), successivamente italianizzato in *cemento*. I romani costruirono con questa tecnica grandiosi edifici, solo nel XVIII secolo però cominciarono gli studi sperimentali e scientifici per riprenderne l'uso, basati sulla determinazione della qualità dei materiali componenti che portarono allo sviluppo di questo nuovo legante.

Il cemento, così come oggi lo conosciamo, fu sviluppato a livello di produzione industriale agli inizi del secolo XIX in Inghilterra da Parker (1796), Frost (1811), Aspdin (1824) e Johnson (1880) ed anche in Francia (1818). È di quegli anni la denominazione di *Portland*, che normalmente identifica il cemento, che si deve ad un fornaciario di York, Joseph Aspdin, il quale nel 1824 diede quel nome al cemento idraulico a lenta presa da lui prodotto, grazie alla somiglianza tra il conglomerato formato con quel cemento con un calcare compatto (*pietra di Portland*) dell'isola di Portland in Inghilterra. Pure nei primi anni del '800 presero corpo gli studi chimico-fisici sui meccanismi di presa ed indurimento, principalmente ad opera del Vicat. I primi cementifici sorsero verso la metà dell'800 in Inghilterra

e nella seconda metà in Italia, diffondendosi rapidamente in tutto il mondo. Fin dai primi sviluppi della tecnica del conglomerato cementizio furono emanate norme per la realizzazione dei cementi, relative alla definizione delle caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche. La prima legge italiana risale al 1908, successivamente, le caratteristiche dei leganti cementizi sono state completamente definite dalla Legge 595 del 1965 e dai vari provvedimenti applicativi succedutisi nel tempo. Questa legge oltre a prescrivere le modalità di fornitura e di controllo del materiale, ne individuava le principali tipologie, distinguendo i leganti idraulici, in relazione alle rispettive caratteristiche chimico-fisiche, nelle seguenti categorie:

- | | |
|--|--|
| A) <i>Cementi normali e ad alta resistenza</i> | Portland
Pozzolatico
D'altoforno |
| B) <i>Cemento alluminoso</i> | |
| C) <i>Cementi per sbarramenti di ritenuta</i> | Portland
Pozzolatico
D'altoforno |

Dal settembre 1993, come stabilito dal Decreto Ministeriale del 13/09/1993, è entrata in vigore una nuova regolamentazione, basata sulla Norma UNI ENV 197, avente cioè valore europeo, norma messa a punto dal CEN, che regola i cementi denominati tipo A) dalla precedente Legge 595 (che prevedeva tre tipi di cemento, la norma europea ne prevedeva invece cinque, suddivisi in diversi sottotipi). Il corpo normativo si è successivamente evoluto, con aggiornate versioni della norma che nel frattempo ha anche acquistato il ruolo di EN e ad oggi è suddivisa in due parti la UNI EN 197/1 che tratta della composizione, delle specificazioni e dei criteri di conformità per cementi comuni, e la UNI EN 197/2 che tratta della valutazione di conformità. Completano il quadro normativo le Norme UNI EN della serie 196 (10 norme) che sono dedicate ai metodi di prova da utilizzare per l'accertamento della conformità di un cemento alle norme in fase di produzione. In sintesi la norma 197/1 definisce e specifica ventisette tipi di cementi comuni, sette tipi di cementi comuni resistenti ai solfati (SR) e il requisito di base per il basso calore (LH), nonché tre distinti tipi di cementi d'altoforno con bassa resistenza iniziale (L) e le caratteristiche/proporzioni dei loro costituenti. Inoltre per ciascun prodotto sono definiti i requisiti meccanici, fisici, chimici e le classi di resistenza, i criteri di conformità e le regole da rispettare per garantire le prestazioni attese dall'utilizzatore. La nuova norma non si applica ai **cementi speciali**: a bassissimo calore di idratazione (che sono normati dalla EN 14216), supersolfatati (che sono normati dalla EN 15743), alluminosi (che sono normati dalla EN 14647), per muratura (che sono normati dalla EN 413) e ai cementi per sbarramenti di ritenuta, normati al momento solo dalla Legge 595.

La specificità delle Norme 197 e 196, merita un breve cenno sulla loro evoluzione. Il CEN decise, all'inizio degli anni ottanta, di inserire nella norma per il cemento soltanto quei cementi ben noti nella maggior parte dei Paesi dell'Europa Occidentale poiché da anni erano ivi prodotti ed utilizzati, ritenendo che si dovesse continuare a normalizzare a livello nazionale i cementi di tipo locale. Questo approccio non ottenne però la necessaria approvazione a maggioranza poiché alcuni Paesi deside-

ravano inserire tutti i loro cementi normalizzati a livello nazionale e perché la Direttiva 89/106 sui prodotti per l'edilizia richiede l'inserimento di tutti i cementi tradizionali e ben collaudati al fine di eliminare barriere tecniche al commercio nel campo delle costruzioni. Non esistendo criteri accettati da tutti per definire il significato di tradizionale e di ben collaudato, una seconda indagine avviata dal CEN nel 1990 evidenzia diverse decine di tipi di cementi normalizzati a livello nazionale. Alcuni di questi, descritti come tradizionali dai rispettivi enti nazionali di normazione, erano stati prodotti e impiegati da decenni per cui le loro prestazioni in termini di durabilità erano state dimostrate in pratica, mentre per altri non era così perché prodotti solo per alcuni anni e normalizzati a livello nazionale soltanto per uno o due anni. Considerato il gran numero di diversi cementi coinvolti, il CEN ha quindi ritenuto necessario separare i cementi comuni da quelli speciali e l'obiettivo della EN 197-1 è dunque quello di specificare la composizione, i requisiti ed i criteri di conformità per i cementi comuni, ivi compresi quelli a basso calore d'idratazione, descritti dai rispettivi enti nazionali di normazione come tradizionali e ben collaudati. I cementi comuni con proprietà speciali come i cementi con diversi processi di indurimento, verranno trattati da diverse ulteriori normative, non ancora emanate.

Un cemento conforme alla norma UNI EN 197 è definito **cemento CEM** e le denominazioni normalizzate dei tipi di cemento previsti dalla norma stessa ed i soli a poter essere immessi in commercio in tutta Europa, sono le seguenti:

CEM I **cemento Portland**, è un prodotto ottenuto per macinazione di clinker Portland, con aggiunta di gesso o anidrite dosati nella quantità necessaria per regolare il processo di idratazione, presenta una percentuale di clinker pari ad almeno il 95%, nessun sottotipo previsto;

CEM II **cemento Portland composito**, è una miscela omogenea, ottenuta con la macinazione di clinker Portland, gesso o anidrite ed altri materiali finemente macinati aventi comportamento idraulico quali loppa di altoforno, micro silice, pozzolana, cenere volante, scisto calcinato, calcare, come elementi principali, e filler, come elemento secondario, presenta una percentuale di clinker di almeno il 65%, e ha le seguenti denominazioni in funzione della tipologia delle aggiunte:

- Cemento Portland alla loppa (S) avente 2 sottotipi con sigla II A/S, II B/S;
- Cemento Portland ai fumi di silice (D) avente 1 sottotipo con sigla II A/D;
- Cemento Portland alla pozzolana (P=naturale, Q=calcinata), avente 4 sottotipi con sigla: II A/P, II B/P, II A/Q, II B/Q;
- Cemento Portland alle ceneri volanti (V=silicee, W=calcaree) avente 4 sottotipi con sigla: II A/V, II B/V, II A/W, II B/W;
- Cemento Portland allo scisto calcinato (T) avente 2 sottotipi con sigla: II A/T, II B/T;
- Cemento Portland al calcare (L e LL) avente 4 sottotipi con sigla: II A/L, II B/L, II A/LL, II B/LL;

- Cemento Portland composito avente sottotipi con sigla: II A/M, II B/M;
- CEM III* **cemento d'altoforno**, è una miscela omogenea ottenuta con la macinazione di clinker Portland e loppa basica granulata di altoforno, con piccole aggiunte di costituenti secondari minori quali filler, gesso o anidrite, nella quantità necessaria a regolare il processo di idratazione, presenta una percentuale di loppa d'altoforno (S) dal 36 al 95% sono previsti 3 sottotipi aventi sigla: III A, III B, III C;
- CEM IV* **cemento pozzolanico**, è una miscela omogenea ottenuta con la macinazione di clinker Portland e di pozzolana naturale o artificiale, con piccole aggiunte di costituenti secondari minori come filler e gesso o anidrite nella quantità necessaria a regolare il processo di idratazione, presenta materiale pozzolanico (tipo P o Q) dall'11% al 55%, sono previsti 2 sottotipi aventi sigla: IV A, IV B;
- CEM V* **cemento composito**, è una miscela ottenuta per simultanea aggiunta e successiva macinazione di clinker di cemento Portland (dal 20 al 64%), di loppa d'altoforno (dal 18 al 50%) e di materiale pozzolanico (dal 18% al 50%) e cenere volante silicea, quali componenti principali, e componenti secondari, finemente macinati ed aventi comportamento idraulico. Differisce dal cemento Portland composito per la ridotta presenza di clinker e per l'esatta definizione dei componenti.

Nelle opere strutturali devono impiegarsi esclusivamente i leganti idraulici previsti dalle disposizioni vigenti in materia, dotati di certificato di conformità ad una Norma Armonizzata della serie UNI EN 197 rilasciato da un organismo europeo notificato, purché idonei all'impiego previsto nonché, per quanto non in contrasto, conformi alle prescrizioni di cui alla Legge 595/1965.

Qualora il conglomerato cementizio risulti esposto a condizioni ambientali chimicamente aggressive si devono utilizzare cementi per i quali siano prescritte, da Norme Armonizzate europee e fino alla disponibilità di esse da norme nazionali, adeguate proprietà di resistenza ai solfati e/o al dilavamento o ad eventuali altre specifiche azioni aggressive.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



1.1.7. I requisiti fisici e meccanici dei cementi normali

Requisiti meccanici

La **resistenza normalizzata** di un cemento è rappresentata dalla resistenza a compressione a 28 giorni, determinata secondo la norma UNI EN 197/1. Le classi di resistenza normalizzate sono 32,5, 42,5 e 52,5 e per esse sono previste una resistenza iniziale e una resistenza normalizzata. La resistenza iniziale è rappresentata dalla resistenza a 2 o a 7 giorni, determinata secondo la norma UNI EN 196/1, può essere di due tipi: con **resistenza iniziale ordinaria** (contrassegnata con la sigla N) e con **elevata resistenza iniziale** (contrassegnata con la sigla R). Il tipo 32,5 è caratterizzato da una buona lavorabilità, assieme ad una discreta velocità di presa, esso è pertanto indicato per gli usi più generali. Il tipo 42,5 consente di ottenere una migliore lavorabilità dell'impasto e soprattutto il raggiungimento di buone resistenze meccaniche in tempi più ridotti; è quindi più indicato dove il disarmo deve essere rapido e dove necessita una movimentazione dell'elemento allo stato fresco (ad esempio negli stabilimenti di prefabbricazione). Il tipo 52,5 presenta caratteristiche di tipo superiore ed è particolarmente indicato per le soluzioni strutturali più ardite e per getti anche in stagioni fredde.

Requisiti fisici, inizio presa e stabilità

La norma UNI EN 197/1 non regola più in dettaglio la finezza di macinazione ed il tempo di fine presa, come nella precedente normativa italiana, ma solamente il tempo di inizio della presa e la stabilità (espansione), entrambe determinate secondo la norma UNI EN 196/3, il tutto come descritto nel prospetto 8. Il requisito della stabilità, in volume, tende a verificare la presenza di componenti con idratazione espansiva come gli ossidi di calcio e di magnesio, pericolosi in quanto possono indurre tensioni a seguito dell'aumento di volume che provocano durante l'idratazione, e che possono causare la fessurazione del conglomerato.

Requisiti fisici, calore di idratazione

Il calore d'idratazione dei cementi comuni a basso calore non deve superare il valore caratteristico di 270 J/g, determinato in accordo alla EN 196/8 a 7 giorni oppure in accordo alla EN 196/9 a 41 ore. I cementi comuni a basso calore sono indicati con la sigla LH.

	Resistenza alla compressione N/mm ²				Tempo di inizio presa minuti	Espansione mm
	Resistenza iniziale		Resistenza normalizzata 28 giorni			
	2 giorni	7 giorni				
32,5N	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5R	≥ 10	-	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
42,5N	≥ 10	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	≤ 10
42,5R	≥ 20	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	≤ 10
52,5N	≥ 20	-	≥ 52,5	-	≥ 45	≤ 10
52,5R	≥ 30	-	≥ 52,5	-	≥ 45	≤ 10

Prospetto 8 - Requisiti meccanici e fisici (Norma UNI EN 197/1)

Requisiti chimici

La norma UNI EN 197/1 prevede per i vari tipi di cementi e classi di resistenza, i requisiti chimici da rispettare, le relative metodologie di prova ed i requisiti da soddisfare, il tutto come indicato nel prospetto 9. Rispetto alla normativa italiana precedente non è più previsto il controllo dell'ossido di magnesio, che però è limitato nel clinker al 5% in massa, ed il controllo del residuo insolubile per i cementi pozzolanici.

Per quanto riguarda i cementi non normalizzati dalla UNI EN 197, la UNI EN 14647 regola le caratteristiche dei **cementi alluminosi**, denominati CAC (*Calcium Aluminate Cement*), dei quali prescrive le caratteristiche meccaniche e chimiche, oltre alle relative modalità di controllo. Al proposito la normativa nazionale, stabilisce:

resistenza a flessione dopo	24 ore	40	kg/cm ²
“	3 giorni	60	“
“	28 giorni	80	“
resistenza a compressione dopo	24 ore	175	“
“	3 giorni	325	“
“	28 giorni	525	“
inizio della presa	non prima di trenta minuti		
termine della presa	non dopo dieci ore		
perdita al fuoco	≤ 5 in peso		
residuo insolubile	≤ 3	“	
contenuto di SO ₃	≤ 3	“	
contenuto di MgO	≤ 3	“	
contenuto di Al ₂ O ₃	≤ 35	“	

Le caratteristiche dei cementi per sbarramenti di ritenuta restano invece fissati, oltre che in termini generali dalla Legge 595, dal D.M. 03/06/1968, come modificato dal D.M. 20/11/1984, tenendo altresì presente che la norma UNI EN 14216 regola le caratteristiche dei cementi a calore di idratazione molto basso.

La normativa prescrive infine l'adozione, per un qualunque tipo di cemento CEM, di una denominazione normalizzata. I cementi devono essere identificati almeno con la denominazione del tipo di cemento, come precisato nel prospetto 7, e con

i numeri 32,5, 42,5 o 52,5 indicanti la classe di resistenza, con l'aggiunta, a secondo del caso, della lettera N o della lettera R. Il cemento comune a basso calore deve essere identificato con l'aggiunta di LH. Pertanto, ad esempio, un cemento Portland classe di resistenza 42,5 con elevata resistenza iniziale è identificato come:

Cemento Portland EN 197-1 - CEM I 42,5 R

Proprietà	Prova di riferimento	Tipo di cemento	Classe di resistenza	Requisiti
Perdita al fuoco	EN 196-2	CEM I CEM III	Tutte le classi	≤ 5,0%
Residuo insolubile	EN 196-2	CEM I CEM III	Tutte le classi	≤ 5,0%
Tenore in solfato (come SO ₃)	EN 196-2	CEM I CEM II CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,5%
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 4,0%
		CEM III	Tutte le classi	≤ 4,0%
Tenore in cloruri	EN 196-2	Tutti i tipi	Tutte le classi	≤ 0,10%
Pozzolanicità	EN 196-5	CEM IV	Tutte le classi	esito positivo

Prospetto 9 - Requisiti chimici (Norma UNI EN 197/1)

1.1.8. I requisiti fisici e meccanici dei cementi speciali

Cementi resistenti ai solfati (Norme di riferimento UNI 9156 e UNI 10595)

Presentano un basso contenuto di alluminati e danno luogo ad impasti resistenti alla diffusione degli ioni solfato contenuti nelle acque e nei terreni. Sono classificati secondo tre classi di resistenza: *moderata*, *alta* e *altissima* e la scelta dipende dalle condizioni di aggressività dell'ambiente, in particolare dalla concentrazione dello ione solfato nelle acque e nei terreni. I requisiti che debbono soddisfare sono quelli rappresentati nel prospetto 10.

Cementi resistenti al dilavamento da calce

(Norme di riferimento UNI 9606 e UNI 10595)

Danno luogo ad impasti cementizi resistenti all'azione dissolvente delle acque dilavanti. Sono classificati secondo le classi di resistenza *moderata*, *alta* e *altissima* e la scelta dipende dall'entità dell'azione liscivante dell'acqua e specificatamente dal suo pH o dalla concentrazione dell'anidride carbonica aggressiva. I requisiti che debbono soddisfare sono quelli rappresentati nel prospetto 11.

Cementi a basso calore di idratazione (norma di riferimento UNI EN 14216)

Sono caratterizzati da un calore di idratazione molto basso, mentre la composizione e gli altri requisiti sono quelli specificati nella EN 197/1 per i cementi comuni. Si tratta di un legante idraulico e le reazioni ed i processi di idratazione sono identici a quelli dei cementi comuni ma, per effetto della composizione, finezza o reattività dei costituenti, il processo di idratazione è più lento.

Sono particolarmente adatti per dighe ed altre simili costruzioni massicce, in cui le dimensioni della struttura hanno un basso rapporto superficie/volume. In questo caso la dispersione di calore, sviluppato durante l'idratazione del cemento, è molto lenta ed è pertanto possibile avere elevati aumenti della temperatura. Si sviluppano quindi gradienti termici tra le zone interna ed esterna dell'impasto che provocano una sollecitazione interna che può essere maggiore della resistenza alla trazione del conglomerato cementizio e provocare pertanto fessurazioni e rotture. Queste stesse proprietà rendono il cemento speciale a calore di idratazione molto basso non idoneo per l'impiego in strutture in c.c.a. in elevazione, come per esempio ponti o edifici. La norma prevede 6 prodotti della famiglia dei cementi speciali a calore di idratazione molto basso e la loro denominazione è indicata nel prospetto 12.

Simbolo del cemento secondo UNI ENV 197-1	Classi di resistenza ai solfati		
	Moderata ¹⁾	Alta	Altissima
I II/A - S II/B - S II/A - D II/A - P II/A - V II/A - L II/B - L II/A - M II/A - W II/A - T	$C_3 A \leq 8\%$ e $SO_3 \leq 3,5\%$ $C_3 A \leq 10\%$ e $SO_3 \leq 3,0\%$	$C_3 A \leq 3\%$ e $SO_3 \leq 3,5\%$ $C_3 A \leq 5\%$ e $SO_3 \leq 3,0\%$	$C_3 A = 0\%$ e $C_4 AF$ o $(C_4 AF + C_2 F) \leq 20\%$
II/B - P II/B - V II/B - W II/B - T	Pozzolanicità ²⁾	Pozzolanicità ²⁾ e $C_3 A \leq 6\%$	Pozzolanicità ²⁾ e $C_3 A \leq 3\%$
II/B - M	Pozzolanicità ²⁾ o $C_3 A \leq 8\%$ e $SO_3 \leq 3,5\%$ $C_3 A \leq 10\%$ e $SO_3 \leq 3,0\%$	Pozzolanicità ²⁾ e $C_3 A \leq 3\%$ e $SO_3 \leq 3,5\%$ $C_3 A \leq 5\%$ e $SO_3 \leq 3,0\%$	Pozzolanicità ²⁾ e $C_3 A = 0\%$
III/A	Nessuna prescrizione	$C_3 A \leq 3\%$ e $SO_3 \leq 3,5\%$ $C_3 A \leq 5\%$ e $SO_3 \leq 3,0\%$	$C_3 A = 0\%$ e $C_4 AF$ o $(C_4 AF + C_2 F) \leq 20\%$
III/B III/C	Nessuna prescrizione	Nessuna prescrizione	$C_3 A \leq 2\%$
IV/A	Nessuna prescrizione	$C_3 A \leq 6\%$	$C_3 A \leq 3,5\%$
IV/B	Nessuna prescrizione	Nessuna prescrizione	$C_3 A \leq 3,5\%$
V/A	Nessuna prescrizione	$C_3 A \leq 3\%$ e $SO_3 \leq 3,5\%$ $C_3 A \leq 5\%$ e $SO_3 \leq 3,0\%$	Pozzolanicità ²⁾ e $C_3 A \leq 3,0$
V/B	Nessuna prescrizione	Nessuna prescrizione	Pozzolanicità ²⁾ e $C_3 A \leq 3,0$

1) La classe "moderata" di resistenza ai solfati comprende, in particolare, la resistenza all'acqua di mare.
2) La pozzolanicità è positiva se il cemento soddisfa il saggio secondo quanto è riportato nella UNI EN 196-5.

Prospetto 10 - Composizione chimica dei cementi resistenti ai solfati (Norma UNI 9156)



**Pagine non disponibili
in anteprima**



3.2. LE CARATTERISTICHE DEL CONGLOMERATO CEMENTIZIO

3.2.1. Introduzione

Le norme prescrivono che l'indicazione del tipo di conglomerato cementizio in sede progettuale deve essere caratterizzata almeno mediante l'indicazione:

- della **classe di resistenza a compressione**, denotata dal simbolo C seguita da due numeri, separati da una linea inclinata, di cui il primo rappresenta la resistenza misurata su provini cubici $f_{c,cube}$ e il secondo la resistenza misurata su provini cilindrici $f_{c,cyl}$. La classe di resistenza è contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cubica e cilindrica a compressione assiale, misurate su provini normalizzati e cioè rispettivamente su cilindri di diametro 150 mm e di altezza 300 mm e su cubi di spigolo 150 mm (al fine delle verifiche sperimentali i provini prismatici di base 150 x 150 mm e di altezza 300 mm sono equiparati ai provini cilindrici). La resistenza caratteristica R_{ck} , è definita come quel valore al di sotto del quale viene a trovarsi, in termini probabilistici, il 5% dell'insieme di tutti i possibili valori di resistenza misurati sul conglomerato in esame;
- della **classe di consistenza**;
- del **diametro massimo dell'aggregato**.

Al fine di ottenere le prestazioni richieste, tenuto conto anche delle previste classi di esposizione ambientale e del requisito di durabilità delle opere, il progettista deve anche fornire indicazioni in merito a:

- composizione della miscela;
- processi di maturazione;
- procedure di posa in opera;
- composizione della miscela, compresi gli eventuali additivi.

Il tutto avendo come riferimento la prescrizione che il conglomerato per il getto delle strutture di un'opera o di parte di essa si considera omogeneo se confezionato con la stessa miscela e prodotto con medesime procedure. Spetta quindi al Costruttore garantire, attraverso idonei materiali e modalità esecutive, il raggiungimento dei valori delle caratteristiche fissate dal Progettista, e al Direttore dei Lavori verificarne il grado di soddisfacimento in sede esecutiva.

Il prospetto 34 indica, per i valori delle resistenze caratteristiche previsti dalle norme, i corrispondenti valori delle resistenze meccaniche, così come verranno meglio precisati ai punti seguenti. La norma UNI 206/1 prevede, in aggiunta alle classi di cui al prospetto 34, anche le classi C8/10, C28/35, C32/40 e C110/115. È comunque in uso pratico una classificazione più ampia, in relazione ai valori della resistenza caratteristica, che individua i seguenti campi di utilizzo:

- | | | |
|--|-------------------|-------------------|
| — conglomerato cementizio <i>non strutturale</i> | C8/10 - C12/15 | N/mm ² |
| — conglomerato cementizio <i>ordinario</i> | C16/20 - C45/55 | “ |
| — conglomerato cementizio <i>ad alte prestazioni</i> | C50/60 - C60/75 | “ |
| — conglomerato cementizio <i>ad alta resistenza</i> | C70/85 - C100/115 | “ |

Classi di resistenza dei calcestruzzi														
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$f_{ctk,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44

Prospetto 34 - Valori delle resistenze meccaniche delle classi di conglomerati previste dalla norma UNI EN 1992-1-1

La norma UNI EN 206/1 introduce il criterio della *classificazione di un conglomerato nei confronti delle azioni ambientali*, di fondamentale importanza nei riguardi della durabilità, definendo le classi di esposizione indicate nel prospetto 35. Per quanto riguarda l'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno vengono stabilite le tre distinte classi di esposizione indicate nel prospetto 36. La norma fornisce infine anche i valori limite raccomandati per la composizione e le proprietà del conglomerato in relazione al suo impiego nelle varie classi esposizione, validi per cementi tipo 32,5 e 42,5 e per aggregati aventi dimensione massima del granulo compresa fra 20 mm e 32 mm, come dal prospetto 37.

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni alle quali possono applicarsi le classi di esposizione
1. Assenza di rischi di corrosione o attacco		
X0	Per conglomerato privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico. Per conglomerato con armatura o inserti metallici: molto asciutto.	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Conglomerato non armato all'interno di edifici. Conglomerato non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Conglomerato non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.
2. Corrosione indotta da carbonatazione		
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Conglomerato armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immerse in acqua.

segue

Parte II - Il conglomerato cementizio armato

XC2	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Conglomerato armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.
XC3	Umidità moderata	Conglomerato armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta.
XC4	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Conglomerato armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido. Conglomerato a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l'acqua non compresa nella classe XC2.
3. Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare		
XD1	Umidità moderata	Conglomerato armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri.
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Conglomerato armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (piscine).
XD3	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Conglomerato armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Conglomerato armato ordinario o precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.
4. Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Conglomerato armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.
XS2	Permanentemente sommerso	Conglomerato armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua.
XS3	Zone esposte alle onde oppure alla marea	Conglomerato armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.

5. Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza sali disgelanti		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, senza uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo come facciate e colonne esposte alla pioggia ed al gelo. Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo, alla pioggia o all'acqua.
XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti.
XF3	Elevata saturazione d'acqua, senza uso di agente antigelo	Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggetti ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo.
XF4	Elevata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo oppure acqua di mare	Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare.

Prospetto 35 - Classificazione di un conglomerato nei confronti delle azioni ambientali, da UNI EN 206/1

Caratteristica chimica	Classe XA1 Ambiente chimico debolmente aggressivo	Classe XA2 Ambiente chimico moderatamente aggressivo	Classe XA1 Ambiente chimico fortemente aggressivo
<i>1. Acqua nel terreno</i>			
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	≥ 200 e ≤ 600	> 600 e ≤ 3.000	> 3.000 e ≤ 6.000
pH	≤ 6,5 e ≥ 5,5	< 5,5 e ≥ 4,5	< 4,5 e ≥ 4,0
CO ₂ [mg/l]	≥ 15 e ≤ 40	> 40 e ≤ 100	> 100 fino a saturazione
NH ₄ ⁺ [mg/l]	≥ 15 e ≤ 30	> 30 e ≤ 60	> 60 e ≤ 100
Mg ⁺⁺ [mg/l]	≥ 300 e ≤ 1.000	> 1.000 e ≤ 3.000	> 3.000 fino a saturazione
<i>2. Terreno</i>			
SO ₄ ²⁻ [mg/kg]	≥ 2.000 e ≤ 3.000	> 3.000 e ≤ 12.000	> 12.000 e ≤ 24.000
Acidità [ml/kg]	> 200	Non incontrato nella pratica	

Prospetto 36 - Classificazione di un conglomerato nei confronti dell'attacco chimico, da UNI EN 206/1



**Pagine non disponibili
in anteprima**



Partendo dalla prima delle verifiche del controllo tipo B, ed elaborandola come segue, possiamo infine effettuare alcune interessanti considerazioni:

$$R_m \geq R_{ck} + (1,4 \times s) \quad \text{equivale a} \quad R_{ck} \leq R_m - (1,4 \times s)$$

da cui:

$$R_{ck} \leq R_m \times \left(1 - 1,4 \frac{s}{R_m}\right) = R_m \times (1 - 1,4 \times C_v)$$

ed anche:

$$R_m \geq \frac{R_{ck}}{(1 - 1,4 \times C_v)}$$

Tali ultime disequaglianze significano che, prefissata una certa resistenza media R_m , più elevato è il coefficiente C_v (cioè più sono dispersi i risultati di prova) più basso risulta l' R_{ck} che si ottiene, e viceversa, dovendo ottenere un richiesto R_{ck} partendo da una certa resistenza media, occorre ridurre il più possibile il valore di C_v .

A questo proposito l'esperienza ha dimostrato che, a parità di ogni altra condizione e per conglomerati di usuale resistenza media, lo scarto quadratico medio s è tanto maggiore quanto più alta è la tensione di rottura. Si è visto anche che il coefficiente C_v dipende dalle modalità di confezionamento del conglomerato, con un campo di variabilità compreso fra 8% (conglomerato confezionato in laboratorio) e 20% (conglomerato confezionato senza cure particolari). Pertanto tanto più alto è C_v (quindi meno cura si mette nel confezionare il conglomerato) tanto più alta si deve tenere R_m (quindi si devono usare migliori materiali) e ciò vale maggiormente tanto più alto è il valore dell' R_{ck} che si vuole rispettare e quanto più ridotta è la quantità del conglomerato da impiegare.

4.1.4. Esempi di controlli tipo A e tipo B

1) Controllo tipo A per getti di entità inferiore a 300 m³

Le strutture di conglomerato cementizio per una modesta costruzione comportano complessivamente l'impiego di un volume di 80 m³ di getto, per il quale il Progettista ha indistintamente previsto una resistenza caratteristica $R_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$. Il Direttore dei Lavori esegue quindi un controllo tipo A disponendo l'esecuzione di tre prelievi regolamentari. I getti vengono eseguiti in più giornate, ma essendo il volume complessivo inferiore a 100 m³, è consentito derogare dall'obbligo del prelievo giornaliero; viene così eseguito, mediamente, un prelievo ogni 80 / 3 = 27 m³ di getto. Il Direttore dei Lavori sceglierà le posizioni più opportune, durante l'esecuzione dei getti, per eseguire i prelievi (ad esempio uno in fondazione, uno dalla rampa scala e uno dal solaio di piano). Siano i seguenti i risultati di prova:

$$\begin{array}{lll} R_{1,1} = 24 \text{ N/mm}^2 & R_{2,1} = 29 \text{ N/mm}^2 & R_{3,1} = 31 \text{ N/mm}^2 \\ R_{1,2} = 28 \text{ N/mm}^2 & R_{2,2} = 31 \text{ N/mm}^2 & R_{3,2} = 37 \text{ N/mm}^2 \end{array}$$

e dunque:

$$R_{m1} = 26 \text{ N/mm}^2 < R_{m2} = 30 \text{ N/mm}^2 < R_{m3} = 34 \text{ N/mm}^2$$

si ha quindi:

$$\begin{aligned} R_{\min} &= 26 \text{ N/mm}^2 \\ R_m &= (26 + 30 + 34) / 3 = 30 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Il conglomerato in esame possiede le caratteristiche richieste in quanto risultano verificate le seguenti disuguaglianze:

$$\begin{aligned} R_{\min} &= 26 > R_{ck} - 3,5 = 21,5 \text{ N/mm}^2 \\ R_m &= 30 > R_{ck} + 3,5 = 28,5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

2) Controllo tipo A per getti di entità superiore a 300 m³ ma inferiore a 1.500 m³

Per l'esecuzione di un'opera sono previsti 540 m³ di getto di conglomerato cementizio, per i quali il progettista ha previsto una resistenza caratteristica $R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$.

Il Direttore dei Lavori esegue controlli tipo A, trattandosi di un volume inferiore a 1.500 m³. Per ogni giorno di getto si deve eseguire un prelievo ed, ipotizzando quindici giorni di getto, si avranno quindici prelievi. Si eseguiranno pertanto cinque controlli tipo A, uno ogni gruppo consecutivo di tre prelievi; si esegue così un prelievo ogni $540 / 15 = 36 \text{ m}^3$ di getto. Qualora il numero dei giorni non fosse stato esattamente divisibile per tre, il Direttore dei Lavori avrebbe dovuto disporre uno o due prelievi aggiuntivi per completare l'ultimo controllo. Le modalità di effettuazione dei calcoli per l'esecuzione del controllo di accettazione sono pertanto quelle descritte nell'esempio precedente.

3) Controllo tipo B per getti di entità superiore a 1.500 m³

La costruzione di un'opera comporta l'esecuzione di getti di conglomerato per complessivi 1.800 m³, per i quali il progettista ha indicato un $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$. Il Direttore dei Lavori, trattandosi di un volume superiore a 1.500 m³ deve eseguire un controllo tipo B, che interessa un totale di ventiquattro giorni di getto e quindi comporta il prelievo di ventiquattro gruppi di campioni, uno mediamente ogni $1.800 / 24 = 75 \text{ m}^3$ di getto. Siano i risultati delle prove, già tradotti in termini di resistenza di prelievo, quelli riportati nella tabella seguente, che esemplifica anche il metodo di calcolo per la determinazione della resistenza media e dello scarto quadratico medio, necessari per l'esecuzione del controllo:

	R_{mi}	$(R_{mi} - R_m)$	$(R_{mi} - R_m)^2$
Prelievo n. 1	29,50	- 2,50	+ 6,25
Prelievo n. 2	30,20	- 1,80	+ 3,24
Prelievo n. 3	30,60	- 1,40	+ 1,96
Prelievo n. 4	31,50	- 0,50	+ 0,25
Prelievo n. 5	31,50	- 0,50	+ 0,25
Prelievo n. 6	31,50	- 0,50	+ 0,25
Prelievo n. 7	31,60	- 0,40	+ 0,16
Prelievo n. 8	31,60	- 0,40	+ 0,16
Prelievo n. 9	31,80	- 0,20	+ 0,04
Prelievo n. 10	31,80	- 0,20	+ 0,04
Prelievo n. 11	31,80	- 0,20	+ 0,04
Prelievo n. 12	31,90	- 0,10	+ 0,01
Prelievo n. 13	32,00	+ 0,00	+ 0,00
Prelievo n. 14	32,30	+ 0,30	+ 0,09
Prelievo n. 15	32,30	+ 0,30	+ 0,09
Prelievo n. 16	32,40	+ 0,40	+ 0,16
Prelievo n. 17	32,50	+ 0,50	+ 0,25
Prelievo n. 18	32,50	+ 0,50	+ 0,25
Prelievo n. 19	32,50	+ 0,50	+ 0,25
Prelievo n. 20	33,00	+ 1,00	+ 1,00
Prelievo n. 21	33,20	+ 1,20	+ 1,44
Prelievo n. 22	33,50	+ 1,50	+ 2,25
Prelievo n. 23	33,50	+ 1,50	+ 2,25
Prelievo n. 24	33,60	+ 1,60	+ 2,56

$$\Sigma R_{mi} = 768,60 \quad \Sigma (R_{mi} - R_m)^2 = 23,24$$

$$R_m = 768,60 / 24 = 32,00 \text{ N/mm}^2$$

$$s = \sqrt{23,24 / 23} = 1,00 \text{ N/mm}^2$$

Il controllo ha risultato positivo in quanto risultano verificate entrambe le seguenti disuguaglianze:

$$R_m = 32,00 > R_{ck} + (1,4 \times s) = 30 + (1,4 \times 1,00) = 31,40 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{min} = 29,50 > R_{ck} - 3,5 = 30 - 3,5 = 26,5 \text{ N/mm}^2$$

Per questa distribuzione di resistenze di prelievo si ha un coefficiente di variazione:

$$C_v = 1 \times 100 / 32 = 3,1 \% < 15\%$$

Il conglomerato cementizio è dunque accettabile.

Vediamo ora, riprendendo i concetti statistici presentati nella prima parte, di descrivere in termini probabilistici il risultato di questo esperimento. Le osservazioni vengono divise in classi, per comodità con un intervallo di 1 N/mm², come da prospetto seguente.

classe	Limite inferiore N/mm ²	Limite superiore N/mm ²	Numero eventi	Frequenza %
1	29	30	1	4,17
2	30	31	2	8,34
3	31	32	9	37,50
4	32	33	7	29,17
5	33	34	5	20,83

Vediamo ora di descrivere la campionatura mediante la distribuzione normale di Gauss:

— modulo di precisione:

$$h = 1 / s \sqrt{2} = 1 / 1,00 \times 1,41 = 0,709$$

— vertice della curva:

$$\text{Ascissa } x = x^* = 32,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Ordinata } y = 0,709 / \sqrt{\pi} = 0,40 = 40\%$$

— punti laterali:

$$\text{Ascissa } 32 + (1 / 0,709) = 33,41 \text{ N/mm}^2$$

$$32 - (1 / 0,709) = 30,59 \quad \text{“}$$

$$\text{Ordinata } 0,709 / 2,718 \times \sqrt{3,14} = 0,1472 = 14,72\%$$

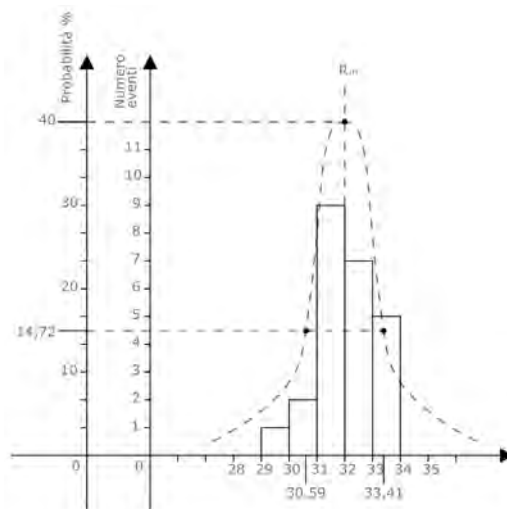


Figura 64 - Istogramma delle frequenze e curva di Gauss rappresentativi del prelievo

Nel campione in esame, presentandosi una dispersione dei risultati non eccessiva, si ha una curva abbastanza appuntita e la probabilità che si verifichi un risultato di prova con valore pari al valore medio è pari al 40%. Al riguardo possiamo svolgere alcune considerazioni.

Essendo:

$$s = 1 / h \sqrt{2} \quad \text{si ha} \quad h = 1 / s \sqrt{2}$$

e quindi per $x = x^*$:

$$P(x^*) = h / \sqrt{\pi} \quad \text{si ha} \quad P(x^*) = 1 / s \sqrt{2}$$

$$\text{ed anche} \quad s = 1 / P(x^*) \sqrt{2 \pi}$$

Pertanto se si richiedesse una elevata probabilità di ottenere il valore medio, poniamo ad esempio l'80%, cioè $P(x^*) = 0,80$ si deve riuscire ad ottenere uno scarto quadratico medio pari a:

$$s = 1 / 0,8 \sqrt{2 \times 3,14} = 0,40$$

anziché il valore di 1,00 relativo alla probabilità del 40%. Inoltre dalla definizione di scarto si ricava:

$$\sum_i (x_i - x)^2 = s^2 (n - 1)$$

Inserendo i dati di cui sopra nella formula si ricava che per ottenere una probabilità dell'80% la sommatoria dei quadrati degli scarti deve ora essere pari:

$$\sum_i (x_i - x)^2 = 0,40^2 \times 23 = 3,68$$

anziché 23,24 sopra calcolato.

Per dare un'idea dell'utilizzo del metodo di verifica della presenza di eventuali dati anomali, si ha:

$$- x = 32,00 \text{ N/mm}^2$$

$$- k = 2,33$$

$$- \sigma \approx s = 1,00 \text{ N/mm}^2$$

e quindi l'intervallo di accettabilità risulta il seguente:

$$(x + k \sigma) = 34,33 \text{ N/mm}^2 \quad (x - k \sigma) = 29,67 \text{ N/mm}^2$$

La sola misura del campione n. 1 oltrepassa il limite inferiore.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



altrettanto agevole proseguimento dei lavori, è indispensabile che gli elementi prefabbricati, una volta posti in opera e regolati nella posizione definitiva, restino in tale posizione senza subire alcun ulteriore spostamento, in attesa del completamento del montaggio (realizzazione delle unioni, di getti di completamento, posa di strutture secondarie, ecc.). Questo fine può essere raggiunto impiegando dispositivi provvisori di vincolo, i quali hanno il compito di assorbire le azioni, anche di natura aleatoria, che si possono verificare in tale fase. Sia i vincoli provvisori che i definitivi devono essere progettati con particolare attenzione e, se necessario, validati attraverso prove sperimentali.

7.3. I COMPONENTI PREFABBRICATI

7.3.1. I solai, tipologie costruttive e norme generali

I componenti per solai rappresentano l'elemento strutturale che è stato maggiormente sviluppato nell'ambito dei progressi dell'industrializzazione edilizia. In Italia sono stati sviluppati a partire dai primi anni '50 e pertanto si tratta di prodotti sui quali è disponibile una pluridecennale conoscenza ed esperienza, caratterizzati da affidabilità, qualità, costi contenuti e ridotta necessità di impiego di mano d'opera in cantiere. In quasi tutti i casi si tratta di elementi autoportanti, che non richiedono più il costoso banchinaggio totale che era necessario per la realizzazione di solai tradizionali interamente formati in opera, ma solo eventualmente alcuni rompitratta. E ciò sia che si tratti di lastre fornite di armatura di confezione e blocchi, da completare in opera con la sola armatura aggiuntiva e il getto di travetti e solette (quali le lastre predalles) sia che si tratti di travetti prefabbricati (normali o precompressi) e blocchi per il confezionamento in opera del solaio. La gamma e le varie tipologie oggi disponibili sono ormai vaste e consentono di risolvere molti problemi costruttivi, anche per luci elevate e forti sovraccarichi. Per tutti questi motivi è ormai consolidato l'impiego di elementi di solaio prefabbricati quali componenti nelle costruzioni edilizie anche di tipo tradizionale. Per semplicità di esposizione, tratteremo di tali manufatti in questo capitolo; ovviamente le questioni di tipo generale (modalità esecutive, blocchi di laterizio, ecc.) valgono pure per i solai realizzati in opera, di tipo tradizionale.

Le NTC 2008 definiscono come *solai* le strutture bidimensionali piane caricate ortogonalmente al proprio piano, con prevalente comportamento resistente monodirezionale, e ad essi, oltre al compito di garantire la resistenza ai carichi verticali, è richiesta anche rigidità nel proprio piano al fine di distribuire correttamente le azioni orizzontali tra le strutture verticali.

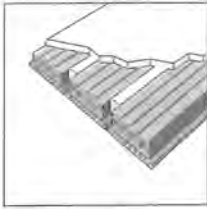
I **solai misti in c.c.a.** sono così denominati perché sono costituiti da blocchi di laterizio (o altro materiale) appositamente realizzati e sagomati esternamente in modo da lasciare fra due blocchi contigui lo spazio necessario per realizzare in opera il travetto in conglomerato cementizio. Questo schema costruttivo è stato adattato alle necessità della prefabbricazione ed oggi sono disponibili varie tipologie di solai prefabbricati, fra di esse le più utilizzate sono le seguenti:

- **solai con travetti prefabbricati e blocchi interposti in opera:**
 - travetti interamente prefabbricati, normali o precompressi;
 - travetti con la sola suola prefabbricata e traliccio di armatura sporgente dalla suola per la realizzazione in opera della nervatura;
- **elementi di solaio con larghezza pari a due interassi:**
 - pannelli realizzati con gli elementi costruttivi indicati al punto precedente;
 - lastre dello spessore di 4 o più cm con traliccio sporgente per la realizzazione in opera delle nervature;
 - lastre e travetti precompressi già realizzati, pronti per l'appoggio dei laterizi.

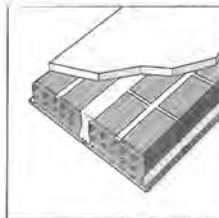
Le NTC 2008, a seconda della tipologia, classificano i solai come segue:

- **solai misti di c.a. e c.a.p. e blocchi forati in laterizio:** i blocchi in laterizio hanno funzione di alleggerimento e di aumento della rigidità flessionale del solaio, si suddividono in blocchi *collaboranti* e *non collaboranti*;
- **solai misti di c.a. e c.a.p. e blocchi diversi dal laterizio:** possono utilizzarsi per realizzare i solai misti anche blocchi diversi dal laterizio, con sola funzione di alleggerimento, quali i blocchi in conglomerato leggero di argilla espansa, conglomerato cementizio normale sagomato, polistirolo, materie plastiche, elementi organici mineralizzati ecc, devono essere dimensionalmente stabili e non fragili, e capaci di seguire le deformazioni del solaio;
- **solai realizzati con l'associazione di componenti prefabbricati in c.a. e c.a.p.:** i componenti devono essere provvisti di opportuni dispositivi e magisteri che assicurino la congruenza delle deformazioni tra i componenti stessi accostati, sia per i carichi ripartiti che per quelli concentrati. In assenza di soletta collaborante armata o in difformità rispetto alle prescrizioni delle specifiche norme tecniche, l'efficacia di tali dispositivi deve essere certificata mediante prove sperimentali. Quando si voglia realizzare una redistribuzione trasversale dei carichi è necessario che il solaio così composto presenti anche componenti strutturali ortogonali alla direzione dell'elemento resistente principale. Qualora il componente venga integrato da un getto di completamento all'estradosso, questo deve avere uno spessore non inferiore a 40 mm ed essere dotato di una armatura di ripartizione a maglia incrociata e si deve verificare la trasmissione delle azioni di taglio fra elementi prefabbricati e getto di completamento, tenuto conto degli stati di coazione che si creano per le diverse caratteristiche reologiche dei calcestruzzi, del componente e dei getti di completamento.

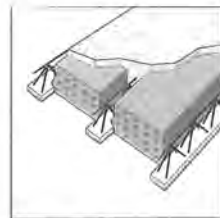
La realizzazione di travetti e di blocchi in laterizio è coperta da normativa CE completamente operante e di questa illustreremo, ai prossimi punti, gli elementi più rilevanti.



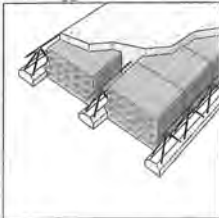
Blocchi in laterizio per solaio gettato in opera su banchinaggio continuo



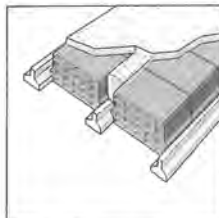
Pannello in laterocemento ad armatura lenta



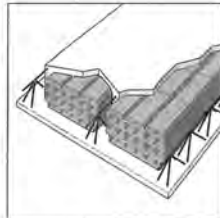
Solaio con travetti tralicciati con soola in granulato e blocchi di laterizio



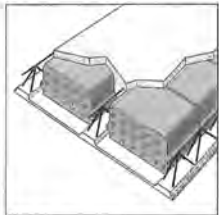
Solaio con travetti tralicciati in c.a.p. e blocchi in laterizio



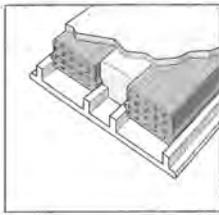
Solaio con travetti in c.a.p. e blocchi di alleggerimento in laterizio



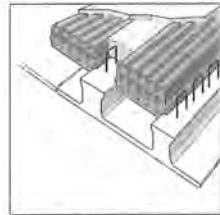
Lastra tralicciata ad armatura lenta con blocchi di alleggerimento in laterizio



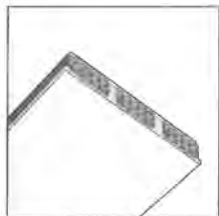
Lastra in c.a.p. tralicciata con blocchi di alleggerimento in laterizio



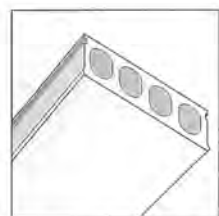
Lastra in c.a.p. con blocchi di alleggerimento in laterizio



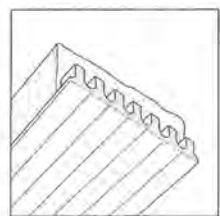
Lastre nervata in c.a.p. con blocchi di alleggerimento in laterizio



Pannello in laterocemento con soola in c.a.p.



Pannello alveolare in c.a.p. con intradosso piano prefinito



Solettone realizzato con l'accostamento di travetti in c.a.p.

Figura 105 - Tipi di solai prefabbricati (produzione RDB)



**Pagine non disponibili
in anteprima**



ed in particolare viene raccomandata la massima attenzione alle condizioni di maturazione, specialmente su quelle iniziali. Nella prima settimana di maturazione hanno infatti un'estrema importanza il mantenimento dell'umidità superficiale, il calore di idratazione sviluppato, le basse o alte temperature esterne.

8.3. LE CAUSE DI ALTERAZIONE

Diverse e variamente influenti sulle caratteristiche dei conglomerati sono le azioni esterne di tipo fisico e chimico. La pratica ha infatti ormai ampiamente dimostrato che il conglomerato cementizio non è affatto quel materiale così inerte ed insensibile alle azioni esterne, come un osservatore qualunque può essere portato a credere, e si pensava in passato. Ciò è legato a diversi fattori intrinseci, connessi con le modalità di produzione dell'opera, come ricordato nell'introduzione, ma soprattutto assumono una grande rilevanza gli effetti di azioni esterne particolari che possono interessare la struttura. Le conseguenti possibili alterazioni dei materiali possono richiedere estesi ed onerosi interventi di restauro statico, in mancanza dei quali si può giungere anche al punto estremo di pregiudicare la resistenza e la statica stessa della struttura. Una attenta progettazione strutturale, come pure la scelta mirata dei materiali componenti e delle modalità esecutive, contribuiscono certamente ad una drastica riduzione dei rischi di alterazioni irrimediabili, consentendo di realizzare una struttura a livelli di durabilità accettabili. La scelta dei provvedimenti adatti, di volta in volta, deve essere fatta dopo aver attentamente esaminato le reali condizioni nelle quali l'opera è chiamata a svolgere le proprie funzioni. In ogni caso i principali accorgimenti riguardano:

- gli **aspetti progettuali**, quali la cura dei dettagli costruttivi, la riduzione al minimo delle superfici esposte, copriferrì ed interferri adeguati;
- gli **aspetti tecnologici** che consentano di realizzare un conglomerato più compatto possibile, scegliendo idonei materiali componenti;
- gli **aspetti esecutivi** che assicurino della migliore esecuzione e maturazione dei getti.

L'intensità di un attacco chimico contro il conglomerato oltre che dalla natura dell'agente, dipende da numerosi altri fattori quali la temperatura, la pressione, la velocità della corrente e, nel caso di liquidi o aeriformi, la compresenza di umidità. Anche le caratteristiche del conglomerato stesso influiscono sul tipo di attacco, abbiamo visto che è la permeabilità superficiale che gioca un ruolo fondamentale nel determinare una maggiore o minore resistenza agli attacchi chimici. Dunque anche trascurando, per la loro specificità, i casi di strutture poste in ambiente industriale, è abbastanza frequente ormai trovarsi di fronte, anche in casi normali, ad attacchi chimici provenienti dall'aria, da liquidi o dal terreno. In tutti questi casi è sempre opportuno procedere ad un esame specialistico degli agenti e dei loro effetti sul conglomerato onde poter decidere con sicurezza il tipo di intervento da adottare. Un'ultima considerazione riguarda l'azione del tipo degli aggregati impiegati nell'impasto, che si può spiegare in diverse differenti maniere. L'inconveniente relativamente meno grave che possono causare è il manifestarsi di macchie superficiali,

dovute essenzialmente alle impurezze o all'ossidazione dei solfuri. Si deve porre molta attenzione al coefficiente di dilatazione termica, il quale non deve differire da quello del conglomerato, per non innescare microfessurazioni, come pure alla friabilità dell'aggregato che può comportare una diminuzione della resistenza meccanica e favorire la disgregazione. Aggregati basaltici rallentano la presa nelle parti più interne della massa, aggregati ad alto tenore metallico (provenienti in genere da miniere) aumentano di volume in presenza di umidità con effetti distruttivi. È dunque consigliabile impiegare comunque aggregati dalle caratteristiche chimico fisiche ben note e, diversamente, ricorrere ad analisi e prove preventive a cura di laboratorio specializzato.

A questo punto è pertanto utile una seppur sintetica rassegna delle azioni di tipo fisico e chimico che possono interessare una struttura in c.c.a., delle relative conseguenze e dei principali provvedimenti da adottare al proposito.

Alterazioni dipendenti da cause fisiche

Azioni delle basse temperature

Se durante il periodo di presa la temperatura ambiente si abbassa in modo tale da provocare il congelamento dell'acqua, gran parte delle reazioni chimiche di presa risultano bloccate, in quanto il sistema diventa così costituito da due solidi. È quindi molto importante controllare le variazioni di temperatura nelle prime ventiquattro ore dopo il getto, onde adottare tempestivamente gli eventuali accorgimenti di rimedio.

Nei conglomerati già induriti le alterazioni dovute alle basse temperature sono da mettersi in relazione con i rigonfiamenti nella massa. Infatti l'acqua, diventando ghiaccio, aumenta il proprio volume di circa il 9%, si possono quindi creare lesioni se l'acqua, gelando, produce delle tensioni che superano la resistenza a trazione del conglomerato, al riguardo si sono rivelati pericolosi i cicli di gelo e disgelo molto brevi. Il fenomeno nel suo complesso è comunque da considerarsi funzione diretta della porosità aperta nella massa e della minore o maggiore eterogeneità del materiale. Relativamente all'azione delle basse temperature dobbiamo comunque tenere presente che:

- l'acqua, non essendo mai pura, è impossibile che geli a 0 °C;
- l'acqua può rimanere allo stato liquido, specie in pori submicroscopici, anche al di sotto di 0 °C;
- l'abbassamento della temperatura non è mai istantaneo ed uniforme in tutta la massa e solo in superficie tale abbassamento è molto rapido;
- il passaggio da acqua a ghiaccio avviene con sviluppo di calore;
- le dimensioni dell'opera influenzano gli effetti di cali di temperatura.

In presenza di basse temperature in esercizio e di cicli gelo-disgelo è opportuno adottare vari provvedimenti preventivi come impermeabilizzare il conglomerato con idrofughi, curare maggiormente la compattezza del getto, impiegare aggregati non gelivi, utilizzare cementi con buone caratteristiche termiche e meccaniche, proteggere adeguatamente le superfici scoperte del getto, riscaldare acqua e aggregati e così via.

Azioni delle alte temperature

Per quanto riguarda invece le alte temperature queste possono essere causate dalle condizioni normali di esercizio o da incendio. Il conglomerato cementizio non è infiammabile e la sua conducibilità termica, funzione principale della compattezza, è bassa, pertanto la resistenza ad aumenti notevoli di temperatura è essenzialmente legata al livello stesso raggiunto dalla temperatura ed al periodo di tempo nel quale essa agisce. Come abbiamo visto, i componenti che determinano la resistenza meccanica del conglomerato sono i silicati idrati, orbene questi all'aumentare della temperatura tendono a disidratarsi, facendo calare la capacità di resistenza meccanica. Fino a circa 250 °C le resistenze rimangono pressoché invariate, ma poi sui 400-600 °C si ha un vero e proprio crollo di resistenza in quanto l'acqua di idratazione risulta praticamente ridotta a zero. Poiché le caratteristiche del conglomerato dipendono anche da quelle dell'aggregato, nel caso di strutture che debbano essere esposte al rischio di alte temperature, occorre impiegare aggregati a basso coefficiente di dilatazione termica e di caratteristiche fisiche adeguate. Il quarzo, ad esempio, a causa delle sue trasformazioni allotropiche che avvengono con aumento di volume, non è certamente indicato. Sempre a riguardo degli effetti delle alte temperature bisogna tenere presente il comportamento delle armature metalliche. Infatti l'ossidazione del ferro è anche funzione esponenziale della temperatura; il ferro ossidato, che aumenta di circa dieci volte il volume, perde così quasi totalmente l'aderenza con il conglomerato. Sui 500 °C, al raggiungimento dello stato plastico, l'acciaio subisce poi un brusco calo di resistenza. Gli effetti delle variazioni di temperatura si fanno sentire anche nelle normali condizioni di esercizio. Infatti il conglomerato si deforma nell'ordine di circa un decimo di millimetro per grado di temperatura e per metro di lunghezza. In tali condizioni la predisposizione di opportuni giunti di dilatazione, in relazione alla lunghezza della struttura, consente di evitare gli inconvenienti derivanti da tali deformazioni.

Altre azioni di tipo fisico

- Il **vento**: esercita un'azione abrasiva, asportando le particelle solide superficiali e rendendo più facile l'azione degli agenti esterni;
- gli **urti**: in relazione alla compattezza del conglomerato ed alla distribuzione delle armature, questi tendono a sgretolare la superficie, mettendo a nudo le armature;
- le **vibrazioni**: sono pericolose nei casi di intensità elevata e di sollecitazioni alterne;
- le **correnti elettriche**: pur presentando il conglomerato secco una notevole resistenza al passaggio della corrente, gli effetti di tale transito possono essere dannosi per le armature perché si crea un fenomeno di elettrolisi ad umido con sviluppo di acidi.

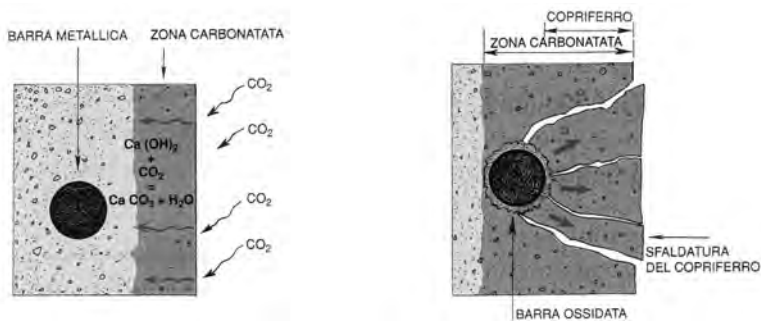
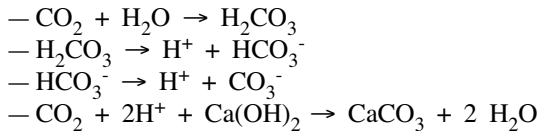


Figura 116 - Schema dell'attacco acido ad un conglomerato cementizio armato (AITEC)

Alterazioni dipendenti da cause chimiche

Carbonatazione

La causa più comune di attacco chimico ad un conglomerato è dovuta alla reazione tra l'anidride carbonica presente nell'atmosfera, e quindi in soluzione nell'acqua piovana, l'acqua e la calce idrata presente nella massa. Le reazioni chimiche che in questo avvengono sono le seguenti:



Si ha così, procedendo dalla superficie esterna verso l'interno della massa, la formazione di carbonato di calcio (la cosiddetta *carbonatazione*), composto che presenta diversi effetti sul conglomerato. È un materiale di per sé più dilavabile ma soprattutto la sua formazione comporta un abbassamento del pH, che raggiunge livelli tali da consentire l'inizio dell'ossidazione delle barre di armatura. L'umidità ambiente ha così facile ingresso nella massa del conglomerato per effetto di lesioni, porosità, microfessure, mentre le armature non sono più protette dal livello di alcalinità della massa che fungeva da passivante nei riguardi dell'ossidazione. Il rigonfiamento della massa delle barre a seguito dell'ossidazione comporta spinte verso l'esterno con conseguente lesionamento e successivo distacco del copriferro. Le barre scoperte subiscono quindi un degrado molto veloce. Tutto ciò può essere notevolmente accelerato da cicli di gelo e disgelo e dalla eventuale presenza di atmosfere corrosive, portando anche a stati di pericolo per la stabilità della struttura.

Azione dell'acqua

Un altro fenomeno molto dannoso legato all'azione dell'acqua, è di tipo chimico ma è anche combinato ad azioni di tipo fisico. L'alternarsi di entrata e uscita dell'acqua nella rete capillare della massa, oltre all'azione meccanica di ingrandimento del diametro della porosità, danneggia infatti il conglomerato perché vi deposita

all'interno elementi chimici aggressivi. Oltre a questi fenomeni, altre sostanze naturali si combinano con l'umidità, provocando alterazioni, e cioè gli acidi, che sciolgono la matrice cementizia, i solfati, che hanno un'azione espansiva, e gli alcali liberati nell'idratazione del cemento, che possono reagire con alcuni tipi di aggregati. Altre alterazioni di questo tipo avvengono per contatto con atmosfere marine ed industriali, oppure con soluzioni corrosive. In tutti i casi l'attività di prevenzione deve puntare soprattutto sulle armature che sono molto più sensibili del conglomerato a questo tipo di attacco. Bisogna rendere pertanto molto compatta la massa, aggiungere passivanti, rivestire il ferro con boiaccia di acqua e cemento, impermeabilizzare la superficie del getto, oppure, nei casi più gravi, impiegare armature particolari oppure anche tecnologie attive o passive di protezione delle armature.

Le principali tipologie di acque aggressive sono le seguenti:

- **acque pure** (dilatanti): sono acque povere di sali, di sorgente, di ghiacciaio, ormai di rado quelle piovane, che dilavano il conglomerato, cioè solubilizzano il $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presente. Questo fenomeno avviene in misura tanto maggiore quanto più l'acqua è pura in quanto è capace di solubilizzare quantitativi maggiori. Come sappiamo la solubilizzazione della calce produce vuoti con conseguenze gravissime anche perché il pH della massa scende verso un valore che consente la corrosione delle barre di armatura;
- **acque acide**: sono in genere quelle ricche di CO_2 che aggredisce i composti idrati oltre alla calce. Tutti gli acidi comunque formano con i prodotti di idratazione del cemento dei sali facilmente solubili e pertanto portano alla disgregazione della pasta cementizia;
- **acque selenitose**: sono quelle che contengono ioni Ca^{++} ed SO_4^{--} la cui azione si esplica nei riguardi del $\text{C}_4\text{Ax}13\text{H}_2\text{O}$ con formazione di solfoaluminato di calcio, che cristallizza con aumento di volume, e di calce idrata, che è dilavabile;
- **acque magnesiache**: sono pericolose in quanto il solfato di magnesio è molto solubile e si presenta quindi in alte concentrazioni, esso agisce sulla calce formando un idrato di magnesio, dilavabile, e solfato di calcio;
- **acque marine**: queste esercitano sul conglomerato effetti di tipo complesso, assommandosi ad aggressioni di tipo chimico (soprattutto ad opera del solfato di magnesio) anche attacchi di tipo fisico (pressioni del moto ondoso, gelo e disgelo, erosione). Queste acque contengono, oltre ai cloruri, che si combinano con la calce libera formando il cloruro di calcio, facilmente solubile, e quindi aumentando la porosità della massa, il carbonato acido di potassio, che esercita una azione di solvente di alcuni componenti. Inoltre la notevole presenza di cloruri comporta, nel caso di aggressione in atto, anche corrosioni delle armature metalliche.

Soluzioni corrosive

Nel caso di contatto con soluzioni corrosive, per quanto riguarda i liquidi organici, il conglomerato non risente alcun effetto. Sono invece molto pericolose le acque aventi PH inferiore a 4,5 (particolarmente nel caso di impiego di aggregati calcarei), mentre le soluzioni alcaline sono aggressive per pH superiore a 10.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



NOTE INTRODUTTIVE

1. I CONTROLLI SPERIMENTALI

I controlli sperimentali diretti sulle strutture così come realizzate rappresentano l'ultima e definitiva verifica in fase costruttiva sulla qualità dell'opera, consentendo così di dichiarare la struttura idonea allo scopo per la quale era stata progettata e pertanto autorizzandone l'utilizzo, nel pieno rispetto dell'incolumità pubblica e privata. Altri, e non secondari, motivi per i quali le strutture vengono sottoposte a controllo riguardano le verifiche durante la vita delle strutture stesse per verificare il mantenimento delle condizioni di sicurezza di progetto in caso di eventi eccezionali (terremoti, urti, ecc.), in casi particolari (ampliamenti, sopraelevazioni, ristrutturazioni, risanamenti) e per valutarne l'idoneità a sopportare nuovi e/o diversi carichi. Le modalità di prova oggi disponibili consentono di indagare sui materiali, sulle modalità esecutive e sulle caratteristiche generali di funzionamento della struttura ottenendo una serie di elementi che, assieme a quelli raccolti durante il corso dei lavori ed alle previsioni progettuali, rendono possibile esprimere un meditato e sicuro giudizio sulla struttura.

Le prove sulle strutture possono essere classificate:

- **prove dinamiche** o **prove statiche**, a seconda che vengano impiegate o meno forze d'inerzia;
- **prove distruttive** e **prove non distruttive**, a seconda che venga o meno distrutto l'oggetto fisico della prova.

Le prove non distruttive si possono infine distinguere a seconda che facciano riferimento a fenomeni fisici che consentono di essere rilevati così come sono (**prove di tipo passivo**) oppure che richiedano una eccitazione artificiale (**prove di tipo attivo**).

Alle tecniche di prova non distruttive, normalmente impiegate, soprattutto nel caso di diagnosi architettonico-strutturale di edifici esistenti, dedicheremo qualche considerazione, in quanto hanno ormai raggiunto un notevole livello tecnologico e operativo e sono in grado di fornire risposte ai problemi più svariati. La loro principale caratteristica è quella di non recare alcun tipo (o un limitato tipo) di disturbo alle strutture in esame, conseguendo il risultato di limitare al massimo disagi, tempi esecutivi e costi. Ad una buona rapidità di esecuzione è accompagnata la possibilità di acquisire una grande quantità di dati, potendo esplorare non più solo un elemento rappresentativo ma tutta la struttura. L'efficacia di un metodo è poi migliorata dalla possibilità di esecuzione in contemporanea con un altro metodo non distruttivo, e dalla valutazione combinata dei risultati. Poiché così facendo i risultati delle prove potranno essere elaborati in modo organico e da più punti di vista, lo studio sulla struttura sarà più agevole e porterà a deduzioni certamente corrette sulla situazione statica indagata.

Ormai la materia delle prove sulle strutture si è così estesa, grazie anche alle nuove tecnologie provenienti dalle più diverse discipline, da poter parlare non più di semplici prove sulle strutture, ma di vere e proprie tecniche integrate di diagnosi

strutturale completa, sia su una struttura al termine della sua costruzione, sia su un edificio esistente. Sinteticamente riepiloghiamo le varie fasi di un'indagine strutturale:

- rilievo geometrico dell'opera, mediante l'utilizzo di tecniche topografiche, fotografiche, fotogrammetriche, termografiche e di fotografia UV;
- prove per la determinazione delle caratteristiche dei materiali componenti, sia su campioni prelevati dalla struttura sia sui materiali in opera, mediante:
 - *metodi meccanici* pull-out con tassello pre o post inserito; sclerometro; prove di resistenza meccanica;
 - *metodi fisici* determinazione del ritiro idraulico; determinazione della massa volumica; determinazione dell'assorbimento d'acqua; resistenza a cicli di gelo-disgelo;
 - *metodi acustici* prove ultrasonore; prove soniche; tomografia; caratterizzazione dinamica;
 - *metodi elettromagnetici* radiografia; radar;
 - *metodi correnti indotte* misurazione del copriferro e del diametro delle barre;
 - *metodi chimici* misura della profondità di carbonatazione; determinazione della composizione chimica; penetrabilità allo ione cloruro e solfato; contenuto in cemento;
 - *metodi elettrici* stato di corrosione delle armature;
- verifica delle condizioni statiche:
 - degli elementi di fondazione tramite prova di carico;
 - degli elementi orizzontali inflessi attraverso l'utilizzo di prove di carico dirette;
 - della struttura sottoposta a sollecitazioni di tipo sismico, con prove dinamiche;
 - monitoraggio a medio e a lungo termine per lo studio del comportamento della struttura;
 - rilievi inclinometrici;
 - rilievi estensimetrici;
 - misure topografiche;
 - controllo dello stato fessurativo.

La materia, come si vede, è molto vasta. Per quanto riguarda la nostra trattazione ci siamo già occupati delle prove sui materiali alla Parte Seconda, qui invece tratteremo delle prove sulle strutture.

Normalmente per i controlli sperimentali sulle strutture si ricorre alle prove di carico diretto, che consentono il controllo complessivo della buona qualità esecutiva in quanto, a differenza delle prove di laboratorio eseguite sui materiali durante

la costruzione, possono evidenziare i difetti o le carenze non direttamente riscontrabili con altre osservazioni, attinenti le modalità di esecuzione.

Si tratta dunque di prove abbastanza delicate, da progettare ed eseguire con cura, per le quali è possibile fornire indicazioni solo di tipo generale, in quanto strettamente legate al tipo di struttura da verificare. In particolare poi, a corredo della prova di carico vera e propria, vengono normalmente svolte una serie di osservazioni di dettaglio quali esami visivi e saggi geometrici, livellazioni di precisione, misure estensimetriche, prove sclerometriche, ricerca di armature ed altre. È l'insieme integrato di tali osservazioni che consente un'analisi precisa del comportamento della struttura e della qualità dell'esecuzione.

La prova di carico deve anche accertare, in sintesi, se le strutture lavorano in campo elastico e se il comportamento effettivo sotto carico risponde alle ipotesi formulate in sede di progetto. A tale scopo è però necessario studiare apposite modalità di conferimento del carico, sia come graduazione dell'entità sia come cicli di carico e scarico. Lo scopo è quello di tracciare due tipi di diagrammi di rilevazioni: quello **carichi-deformazioni** e quello **deformazioni-tempo**; entrambi forniscono importanti informazioni sul comportamento della struttura nelle varie fasi di carico, mantenimento del carico massimo e scarico, e ciò a volte per più di un ciclo. Normalmente le deformazioni che si misurano sono gli spostamenti verticali, nei casi più complessi anche le rotazioni delle sezioni e le deformazioni locali.

Ovviamente il controllo sperimentale mediante prova di carico non può che coinvolgere uno o più campioni significativi di tutte le strutture (ad esempio una trave o un tratto di solaio); è pertanto importante sceglierli con attenzione in quanto il giudizio di accettabilità su di loro diventa infatti un giudizio di accettabilità su tutta la struttura. In tale ambito è quindi di estrema importanza anche un rigoroso controllo delle situazioni meteorologiche, dei fattori locali e delle possibili azioni disturbanti, allo scopo di essere ragionevolmente sicuri che le grandezze misurate riguardano solo l'effetto dei carichi sulle strutture.

Nel nostro paese non sono previste modalità di prova normalizzate e le NTC 2008 ed il relativo regolamento forniscono solamente alcune indicazioni di tipo generale sui principali elementi di verifica da determinare. Pertanto la definizione delle modalità di dettaglio di esecuzione della prova sono completamente lasciate al giudizio del Collaudatore. Da questi brevi accenni introduttivi emerge che per condurre questo tipo di indagine sono certamente necessarie una buona conoscenza del progetto e delle modalità esecutive, ma soprattutto una grande pratica e conoscenza del modo di comportarsi delle strutture, assieme ad una conoscenza approfondita degli strumenti teorici della Scienza delle Costruzioni. Pertanto, allo scopo di completare le conoscenze, questa terza parte del lavoro, che conclude l'esposizione della materia, è suddivisa in due capitoli, il primo riepiloga alcune questioni generali e particolari relative ai carichi ed agli strumenti di misura utilizzabili, il secondo presenta nel dettaglio le prove di carico e le altre indagini che è oggi possibile condurre.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



1.2. LA PROVA DI CARICO DIRETTO

La prova di carico diretto (sia di progetto che di collaudo) consiste nel caricare un singolo palo con il carico di esercizio, o superiore, per rilevare il corrispondente affondamento del palo nel terreno. Nel caso di un plinto a più pali, la prova su un singolo palo prescinde però dal beneficio del comportamento di gruppo (è molto raro il caso di prova di pali in gruppo, soprattutto per la enorme entità di carico richiesta) e di ciò bisogna tener debito conto nel progettare la prova e nell'analizzarne i risultati.

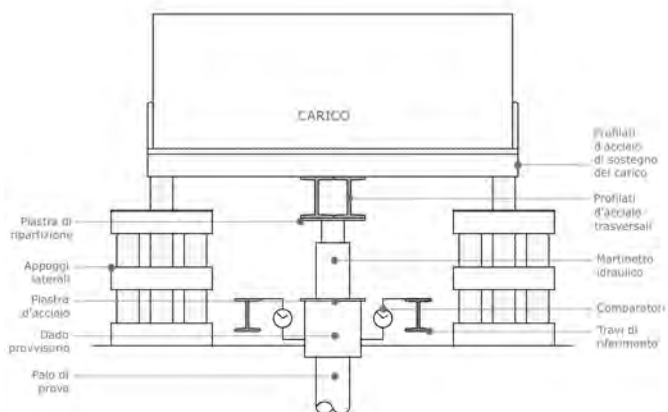


Figura 119 - Schema generale della prova di carico diretto

La prova viene sempre eseguita prima della realizzazione del plinto di fondazione, si deve pertanto costruire sulla testa del palo un elemento provvisorio prismatico in c.c.a. che possa adeguatamente trasmettere il carico di prova al palo; è opportuno che le sue modalità realizzative (dimensioni, armatura, caratteristiche del conglomerato) siano indicate dal Progettista. Un dato da tenere presente è che l'entità dei carichi che vengono trasmessi ai pali di fondazione è in genere molto elevata, dai meno carichi con 20/40 tonnellate fino ai più carichi con 80/100 tonnellate, e questo è il valore del carico di prova che si deve realizzare. Il carico viene pertanto normalmente realizzato mediante un cassone riempito di ghiaia o pietrisco oppure con elementi cubici di c.c.a. da circa un metro cubo impilati, in ogni caso il peso di questa zavorra deve superare di almeno il 20% il carico di prova ed il suo baricentro deve il più possibile avvicinarsi a quello del palo. Un idoneo martinetto idraulico, posto sulla testa dell'elemento prismatico di sommità del palo, contrasta con una piattaforma, in genere realizzata con travi metalliche, sulla quale è posto il carico, e provvede a caricare il palo.

Un altro sistema, meno usato, consiste nel far contrastare il martinetto contro una trave vincolata a due pali adiacenti a quello in esame, che così vengono messi in trazione. In questo caso è importante che la distanza tra i pali sia tale da limitare

i fenomeni di interazione tra i pali di ancoraggio e quello di prova. L'interazione, infatti, determina una riduzione del cedimento misurato e comporta una sovrastima delle capacità del palo di prova, al riguardo normalmente si ritiene accettabile una distanza tra il palo di prova ed i pali di ancoraggio non minore di 4 volte il diametro dello stesso palo di prova (e comunque non inferiore a 2 m).

Il martinetto di prova deve essere dotato di certificato di taratura che indichi l'effettiva corrispondenza fra i valori delle pressioni lette allo strumento e quelle effettive. Gli spostamenti verticali per effetto del carico vengono rilevati da una rete di più flessimetri, posizionati o sulla testa del palo oppure, meglio, a contrasto con due travi collegate al plinto. Normalmente ogni gruppo di letture ai flessimetri, corrispondente ad una quota del carico, viene mediato, ed il valore così determinato viene assunto come valore dello spostamento del palo. Con questa metodologia vengono misurati i movimenti della testa del palo, che sono però causati da diversi fenomeni e cioè la deformazione elastica del palo e del terreno e la deformazione plastica del terreno. La prima è di entità trascurabile (e comunque riguarda solo i pali che portano per punta) e la prova, realizzata per incrementi e successivi decrementi di carico, ci fornisce la misura della deformazione elastica e plastica del complesso palo/terreno.

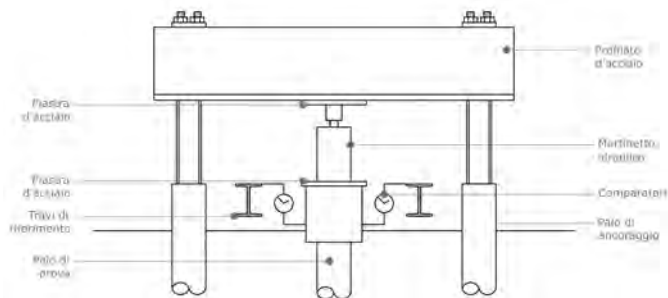


Figura 120 - Schema generale della prova di carico per contrasto

Alcuni suggerimenti pratici sono i seguenti:

- la testa del palo deve essere ben scalpellata prima della realizzazione del dado provvisorio, in modo da escludere possibilità di scorrimenti relativi;
- la misura degli spostamenti della testa del palo deve essere riferita a punti fissi non influenzati dalle operazioni di prova, occorre pertanto tenere il più possibile lontane le basi di appoggio del carico sul terreno, allo scopo di evitare interferenze nella distribuzione delle tensioni nel sottosuolo. In ogni caso la distanza fra l'asse del palo di prova e l'asse delle basi di appoggio non deve essere inferiore almeno a tre volte il diametro del palo, ed alcuni codici di calcolo esteri prevedono una distanza minima che varia da 1,5 m a 2 m;
- è opportuno che i pali da sottoporre a prova siano scelti dal Direttore dei Lavori al termine della costruzione della palificata, in modo da indurre il Costruttore a realizzare tutti i pali con la massima cura;

- la zona della prova non deve essere interessata da elementi perturbatori quali macchine operatrici in moto o costruzione di altri pali;
- è opportuno conoscere la resistenza a compressione del conglomerato col quale è stato realizzato il palo tramite l'esecuzione di prelievi regolamentari, onde poter accertare, specialmente per le prove di progetto, la resistenza del palo nei riguardi dei carichi e le relative deformazioni;
- è importante eseguire la prova di carico in prossimità di un sondaggio o di una prova penetrometrica, in modo da conoscere il probabile comportamento del terreno, su cui tarare la prova;
- il martinetto deve essere fissato perfettamente coassiale con il plinto e con il palo in modo da evitare il più possibile gli effetti dannosi di eventuali eccentricità del carico sul palo;
- la corsa del pistone deve essere sufficiente ad evitare interruzioni della prova e successive riprese previa l'interposizione di spessori; per le prove pilota, e per prove di lunga durata, il sistema oleodinamico deve essere munito di un automatismo che mantenga costante il carico applicato man mano che si sviluppa il cedimento;
- gli strumenti impiegati (flessimetri, manometri, martinetti) devono essere tarati e controllati prima dell'effettuazione della prova.

Le questioni principali da definire sono il momento dell'inizio della prova, l'articolazione temporale e la durata complessiva della prova.

La data di inizio della prova è praticamente condizionata solo dalla avvenuta maturazione del palo e del dado di testata. Al riguardo si può anche tenere conto che, per quanto riguarda pali trivellati in terreni coesivi, col passare del tempo diminuiscono i disturbi prodotti dalla trivellazione. Nei pali battuti occorre aspettare almeno una settimana nel caso di terreni incoerenti e non meno di tre settimane nei terreni coerenti, mentre nei terreni impermeabili saturi occorre attendere almeno tre mesi.



Figura 121 - Predisposizione del carico per prova di carico diretta (4EMME)

Perché la prova fornisca dei risultati attendibili è necessario definire inoltre con grande attenzione la durata della prova e le sue modalità di svolgimento in relazione al tipo di terreno. In teoria l'applicazione del carico sul palo deve essere graduale in modo da simulare il più possibile la reale gradualità del carico sul palo dovuto alla realizzazione della struttura che, come noto, avviene in una scansione temporale piuttosto lunga. Purtroppo, per evidenti motivi operativi, ciò non è quasi mai possibile e quindi la velocità della prova, ossia gli incrementi di carico nel tempo, è l'elemento principale da definire. In relazione alla velocità di prova le prove di carico si dividono in due categorie: le **prove dinamiche** e le **prove statiche**. Le *prove dinamiche* sono quelle in cui la pressione sul palo raggiunge in breve tempo il valore massimo di prova, viceversa nelle *prove statiche* il carico viene conferito al palo molto lentamente. Nelle prove dinamiche si possono riscontrare diverse modalità di comportamento a seconda del tipo di terreno interessato: nei terreni incoerenti non si notano differenze notevoli fra i due tipi di prova, mentre nei terreni argillosi le prove dinamiche possono provocare cedimenti notevoli. Ciò è stato spiegato, in relazione allo stato di umidità del terreno, con il fatto che i terreni coesivi, messi istantaneamente in pressione, espellono parte dell'acqua che funziona da lubrificante lungo il fusto del palo e che viene riassorbita solo molto lentamente.

Normalmente conviene dunque sempre eseguire la prova per piccoli incrementi di carico e lentamente, ed aspettare, prima di proseguire con il successivo incremento, che il cedimento sia cessato. Questa ultima condizione può risultare facilmente rispettabile per i terreni incoerenti, ma lo è molto di meno per quelli coerenti, per i quali richiede molto tempo. Purtroppo una prova di questo tipo, che si protrae molto nel tempo, provoca diversi problemi e subisce interferenze pratiche, che possono complicare il decorso della prova stessa, fra i quali, ad esempio, gli sbalzi di temperatura, i cambiamenti meteorologici, gli intralci alla operatività di cantiere, ecc. Pertanto il progetto della prova deve necessariamente ricorrere a semplificazioni procedurali, che però non devono essere tali da falsarne o condizionarne in maniera non tollerabile i risultati.

Un ciclo di carico medio può prevedere le seguenti modalità:

- prima dell'esecuzione della prova vera e propria si procede a un precarico al fine di verificare le varie tarature e per mettere a regime il complesso di prova;
- incrementi di carico che non superino le 5-10 t per volta oppure pari ad un ottavo del carico complessivo di prova;
- per passare al successivo incremento si deve attendere che la deformazione si sia stabilizzata, e comunque almeno un'ora;
- giunti al termine del carico questo viene mantenuto per 12-24 ore e quindi può iniziare lo scarico;
- i decrementi di carico sono identici agli incrementi;
- giunti allo scarico completo si attende che le letture ai flessimetri si siano assestate per concludere la prima parte della prova;
- dopo un conveniente periodo di tempo, quando il ritorno elastico si è completato, inizio di un secondo ciclo di prova, con le stesse modalità del pre-