

I CONTROLLI SUL CALCESTRUZZO FRESCO E SUL CALCESTRUZZO IN OPERA



Ing. Santo Mineo

Amministratore Unico della CIMENTO S.r.l. – Laboratorio di diagnostica strutturale

Certificato al liv. 3 (UNI EN 9712) per i metodi MG, SC, UT, MO, liv. 2 per TG, MPT e liv. 1 nel metodo VT

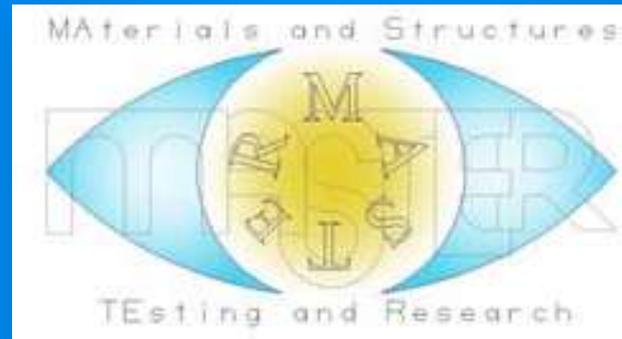
Vicedirettore Associazione MASTER



Associazione MASTER

“Materials and Structures, Testing and Research”

Via Erasmo Gattamelata 46 – 00176 Roma.



Obiettivi principali dell'associazione MASTER:

La promozione della cultura della sicurezza e della ricerca nel campo dell'ingegneria civile con particolare riguardo al recupero ed alla conservazione del patrimonio edilizio e delle infrastrutture;

La divulgazione tecnico-scientifica della cultura delle prove su strutture, del monitoraggio e dei controlli non distruttivi attraverso l'informazione continua e l'educazione permanente;

La valorizzazione dello svolgimento e dello sviluppo dell'attività associativa favorendo lo scambio di idee, informazioni, esperienze e conoscenze tra i soci.



Associazione MASTER

“Materials and Structures, Testing and Research”

Via Erasmo Gattamelata 46 – 00176 Roma.



Associazione MASTER

con il Patrocinio di

PROVINCIA MONZA BRIANZA

Regione Lombardia

Comune di Agrate Brianza

fondazione

24 settembre 2010
“Villa Trivulzio” a Omate di Agrate Brianza (MB)

Convegno

Strutture civili: controlli di accettazione, indagini non distruttive, nuove responsabilità del Direttore dei Lavori e del Collaudatore

Prossimi convegni MASTER

- ✓ 8 aprile 2011 Macerata
- ✓ 10 giugno 2011 a Soverato (CZ)
- ✓ 23 settembre 2011 a Palermo
- ✓ 28 ottobre 2011 a Bari



Materials and Structures Testing and Research
www.masteritalia.org

con il Patrocinio di:

ROMA CAPITALE

Associazione Nazionale Tecnici Enti Locali

1 Dicembre 2010
“sede ANTEL” Vicolo Savelli, 48 – Roma

Convegno

Strutture civili: controlli di accettazione, indagini non distruttive, nuove responsabilità del Direttore dei Lavori e del Collaudatore



Associazione MASTER

“Materials and Structures, Testing and Research”

Via Erasmo Gattamelata 46 – 00176 Roma.



MASTER MAGAZINE

Rivista gratuita on-line sulla divulgazione tecnico - scientifica della cultura della sicurezza strutturale, delle prove su strutture, del monitoraggio e dei controlli non distruttivi.

Liberamente consultabile sul sito www.masteritalia.org



Ing. Santo Mineo

Operatore qualificato al LIVELLO 2 e 3 norma UNI EN 473 secondo il regolamento RINA per la **certificazione del personale addetto alle prove semidistruttive e non distruttive sulle strutture in calcestruzzo, calcestruzzo armato e precompresso e muratura**, per i metodi: magnetometrico, sclerometrico, ultrasonore, monitoraggio dei quadri fessurativi.

CERTIFICATO DI LIVELLO 2 DI OPERATORE CND
LEVEL 2 CERTIFICATE OF NDT OPERATOR

No. 08D000120PC2

Operatore / Operator	MINEO SANTO		
Nome / Name	PALERMO (PA)	CF	100711973
Ingegnere presso / Engineer by	ING. SANTO MINEO		
Località / Location	STRADA COMUNALE MONACO I, 32, 80011 BAGHERIA, PA		

Si certifica che, a seguito degli esami svolti, il suddetto operatore è qualificato al LIVELLO 2, secondo il Regolamento RINA per la certificazione del personale addetto alle prove semidistruttive e non distruttive sulle strutture in calcestruzzo, calcestruzzo armato e precompresso, muratura, sezione sigillata.

This is to certify that, upon satisfactory result of the examination, the above mentioned operator is qualified at the LEVEL 2 according to RINA Regulations for the certification of semi-destructive and non-destructive tests on concrete, reinforced concrete, prestressed concrete, masonry structures, in filled.

nel metodo / in the method:

Sclerometrico
Sclerometric

per i campi di applicazione / for the application fields:

Prove semidistruttive e non distruttive, su strutture in calcestruzzo, calcestruzzo armato e precompresso, muratura - Semi-destructive and non-destructive tests on concrete, reinforced concrete, prestressed concrete, masonry structures.

Questo certificato è valido fino al / This certificate is valid until

GENOVA	29 July 2018
--------	--------------

Il sottoscritto / Issued at

RINA S.p.A.
Via Corsica 10 - 16128 Genova

SINCERT

CERTIFICATO DI LIVELLO 2 DI OPERATORE CND
LEVEL 2 CERTIFICATE OF NDT OPERATOR

No. 08D030120PC1

Operatore / Operator	MINEO SANTO		
Nome / Name	PALERMO (PA)	CF	100711973
Ingegnere presso / Engineer by	ING. SANTO MINEO		
Località / Location	STRADA COMUNALE MONACO I, 32, 80011 BAGHERIA, PA		

Si certifica che, a seguito degli esami svolti, il suddetto operatore è qualificato al LIVELLO 2, secondo il Regolamento RINA per la certificazione del personale addetto alle prove semidistruttive e non distruttive sulle strutture in calcestruzzo, calcestruzzo armato e precompresso, muratura, sezione sigillata.

This is to certify that, upon satisfactory result of the examination, the above mentioned operator is qualified at the LEVEL 2 according to RINA Regulations for the certification of semi-destructive and non-destructive tests on concrete, reinforced concrete, prestressed concrete, masonry structures, in filled.

nel metodo / in the method:

Magnetometrico
Magnetic Testing

per i campi di applicazione / for the application fields:

Prove semidistruttive e non distruttive, su strutture in calcestruzzo, calcestruzzo armato e precompresso, muratura - Semi-destructive and non-destructive tests on concrete, reinforced concrete, prestressed concrete, masonry structures.

Questo certificato è valido fino al / This certificate is valid until

GENOVA	29 July 2018
--------	--------------

Il sottoscritto / Issued at

RINA S.p.A.
Via Corsica 10 - 16128 Genova

SINCERT



Premessa

Con Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 sono state emanate le nuove **“Norme Tecniche per le Costruzioni”**: queste raccolgono in forma unitaria le norme che disciplinano la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle costruzioni al fine di garantire, per stabiliti livelli sicurezza, la pubblica incolumità.



Premessa

A completamento dell'innovativo percorso normativo il Ministero delle Infrastrutture ha emanato la “Circolare n.617 del 2 febbraio 2009” dove vengono illustrate le principali innovazioni delle NTC e fornite specifiche istruzioni esplicative per la corretta applicazione delle norme medesime.



Premessa

Sicurezza e prestazioni attese

La norma esordisce con questi due significativi commi (punto 2.1. Principi fondamentali):



*“Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il **livello di sicurezza** previsto dalle presenti norme.”*



Premessa

Sicurezza e prestazioni attese

La norma esordisce con questi due significativi commi (punto 2.1. Principi fondamentali):

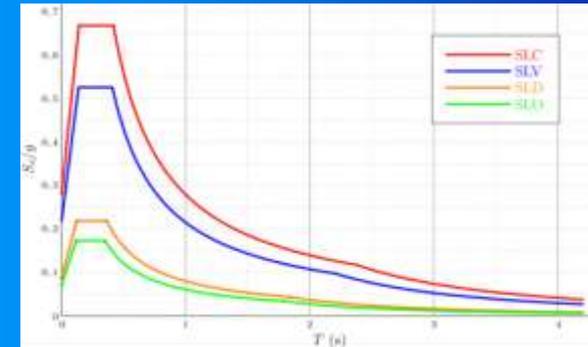


“La sicurezza e le prestazioni di un’opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l’opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.”



Premessa

Nel perseguire tali due obiettivi (sicurezza e prestazioni) Il testo normativo fornisce una serie di indicazioni inerenti le procedure di calcolo e di verifica delle strutture, nonché regole di progettazione ed esecuzione delle opere.



Premessa

La norma, inoltre, pone particolare attenzione al problema della vita utile delle costruzioni, entrando nel merito della **durabilità dei materiali strutturali** intesa come capacità di conservare nel tempo le caratteristiche fisiche e meccaniche resistendo alle azioni aggressive dell'ambiente in cui si trova.



Calcestruzzo strutturale

Il capitolo 11 delle Norme Tecniche per le Costruzioni tratta le procedure di qualificazione e di accettazione in cantiere dei materiali e prodotti per uso strutturale, definendo, fra l'altro con chiarezza i compiti assegnati ai vari soggetti del processo costruttivo.



Calcestruzzo strutturale

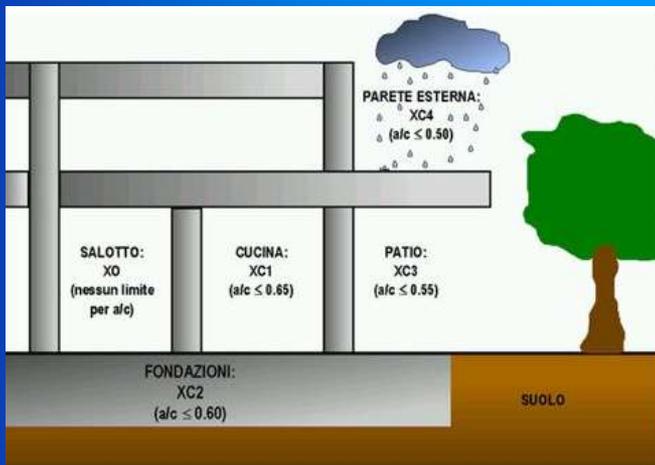
Al punto 2 del capitolo 11 viene trattato nello specifico il calcestruzzo per usi strutturali, armato e non, normale e precompresso, affrontando nei vari sottopunti i seguenti aspetti:

- 11.2.1. Specifiche per il calcestruzzo
- 11.2.2. Controlli di qualità del calcestruzzo
- 11.2.3. Valutazione preliminare della resistenza
- 11.2.4. Prelievo dei campioni
- 11.2.4. Controllo di accettazione
- 11.2.6. Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera
- 11.2.7. Prove complementari
- 11.2.8. Prescrizioni relative al calcestruzzo confezionato con processo industrializzato
- 11.2.9. Componenti del calcestruzzo
- 11.2.10. Caratteristiche del calcestruzzo
- 11.2.11. Durabilità



Calcestruzzo strutturale

Al fine di garantire sicurezza e prestazioni di un'opera in calcestruzzo armato, il primo aspetto della progettazione strutturale consiste nel valutare opportunamente le condizioni ambientali cui sarà esposta la costruzione, in relazione alle quali sarà necessario prescrivere le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare, composizione, resistenza e consistenza, lo spessore dei copriferri e le regole di maturazione.



Calcestruzzo strutturale

Le NTC, al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe (classe di esposizione ambientale), indicano come utile riferimento le indicazioni contenute nei seguenti documenti:

“Linee guida sul calcestruzzo strutturale” – edite dal Servizio Tecnico centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Norma UNI EN 206-1:2006 “Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità”

Norma UNI 11104:2004 “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1”



Denom. della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione	UNI 9858	A/C MAX	R'ck min.	Dos. Min. Cem. KG.
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco						
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici: in ambiente molto asciutto	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto ad cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasioni, gelo o attacco chimico	1	---	15	---
2 Corrosione indotta da carbonatazione						
Nota – Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro e nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante, in questi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo ed il suo ambiente.						
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa o immerse in acqua	2a	0,60	30	300
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.	2a	0,60	30	300
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia o in interni con umidità da moderata ad alta	5a	0,55	35	320
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette ad alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzi a vista in ambienti urbani.	4a, 5b	0,50	40	340
3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare						
XD1	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri	5a	0,55	35	320
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua industriali contenente cloruri (piscine)	4a, 5b	0,50	40	340
XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Calcestruzzo armato 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.	5c	0,45	45	360



Denom. della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione	UNI 9858	A/C MAX	R'ck min.	Dos. Min. Cem. KG.
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare						
XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità	4a, 5b	0,50	40	340
XS2	Permanente sommerso	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immersa in acqua	5c	0,45	45	360
XS3	Zone esposte agli spruzzi oppure alla marea	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare	5c	0,45	45	360
5 Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza disgelanti *(NB XF2 – XF3 – XF4 contenuto minimo aria 3%)						
XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante	Superfici verticali di calcestruzzo come facciate o 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	4a, 5b	0,50	40	320
XF2*	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti	3, 4b	0,50	30	340
XF3*	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	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	2b, 4b	0,50	30	340
XF4*	Elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto od indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare	3, 4b	0,45	35	360
6 Attacco chimico **)						
XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contenitori di fanghi e vasche di decantazione. Contenitori e vasche per acqua reflue	5a	0,55	35	320
XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi	5b	0,50	40	340
XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di acqua industriali fortemente aggressive. Contenitori di foraggi, mangimi e liquami provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi e gas di scarico industriali.	5c	0,45	45	360



Calcestruzzo strutturale

Sempre nell'ottica di garantire sicurezza e prestazioni, particolare attenzione va poi posta nella posa in opera e nella verifica della corrispondenza del materiale alle prescrizioni progettuali, sia in corso di costruzione che nella fase di collaudo.

Infine, la struttura deve nascere già dotata di un piano di manutenzione che pianifichi e programmi l'attività di manutenzione al fine di garantire il mantenimento nel tempo della funzionalità, delle caratteristiche di qualità, dell'efficienza e del valore economico.



Soggetti coinvolti e responsabilità

I soggetti coinvolti, ciascuno con le proprie responsabilità, nella filiera delle costruzioni in c.a. e c.a.p. sono:

Progettista

Direttore dei lavori

Laboratorio ufficiale / autorizzato

Impresa / costruttore

Produttore del calcestruzzo

Collaudatore



Progettista



Nel progetto strutturale il progettista deve prescrivere:

Classe di resistenza

Classe di consistenza

Diametro massimo dell'aggregato

Al fine di ottenere le prestazioni richieste, dovrà dare indicazioni in merito a:

Composizione della miscela

Processi di maturazione

Procedure di posa in opera

Il tutto tenendo conto delle previste classi di esposizione ambientale e del requisito di durabilità delle opere.





Il Direttore dei Lavori

Deve verificare che lo stabilimento di produzione del calcestruzzo fornito in cantiere sia dotato di un sistema permanente di controllo interno di produzione, con certificazione rilasciata da organismo terzo indipendente (verifica dei documenti che accompagnano ogni fornitura di calcestruzzo).

Per produzioni inferiori a 1500 m³ di miscela omogenea, effettuate direttamente in cantiere, sotto la diretta responsabilità del costruttore, il D.L. deve avere evidenza documentata dei criteri e delle prove che hanno portato alla determinazione della resistenza caratteristica della stessa miscela.





Il Direttore dei Lavori

Ha l'obbligo di eseguire controlli sistematici in corso d'opera, i **controlli di accettazione**, per verificare la conformità delle caratteristiche del calcestruzzo messo in opera rispetto a quello stabilito dal progetto

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





Il Direttore dei Lavori

Nel caso in cui le resistenze a compressione dei provini prelevati durante il getto non soddisfino i criteri di accettazione della classe di resistenza caratteristica prevista nel progetto, oppure sorgano dubbi sulla qualità e rispondenza del calcestruzzo ai valori di resistenza determinati nel corso della qualificazione della miscela, deve verificare, con prove distruttive e non distruttive che il valor medio della resistenza del calcestruzzo in opera sia non inferiore all'85% del valore medio definito in fase di progetto.



Il costruttore



Prima dell'inizio della costruzione di un'opera, deve effettuare prove preliminari di studio, per ciascuna miscela omogenea di calcestruzzo da utilizzare, al fine di ottenere le prestazioni richieste dal progetto.

Deve curare la messa in opera e la stagionatura del calcestruzzo affinché la resistenza media misurata sulle carote estratte dalla struttura o determinata con prove non distruttive non risulti inferiore all'85% della resistenza media di progetto.

In caso di opera o la parte di opera non conforme ai controlli di accettazione, deve rimuovere la non conformità, affinché la stessa possa essere accettata.





Laboratorio ufficiale/autorizzato

Deve accertare che i provini prelevati in presenza del D.L. giungano in laboratorio accompagnati dalla redazione di un apposito verbale di prelievo, dove siano indicati le sigle indelebili apposte dal D.L. e le etichette che identificano i singoli provini;

Nella certificazione deve attestare i risultati di resistenza dei provini per il controllo di accettazione e riportare il riferimento al verbale del DL.

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



Produttore del calcestruzzo



Gli impianti per la produzione con processo industrializzato del calcestruzzo devono dotarsi di un sistema permanente di controllo interno della produzione, predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001:2000, ed essere certificato da organismi terzi indipendenti, autorizzati dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP..

I documenti che accompagnano ogni fornitura di calcestruzzo confezionato con processo industrializzato devono indicare gli estremi di tale certificazione .





Collaudatore

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

Qualora eseguiti, potrà servirsi dei risultati delle prove complementari per formulare un giudizio sul calcestruzzo in opera qualora non sia rispettato il “controllo di accettazione”.



Controlli di qualità del calcestruzzo

Il calcestruzzo va prodotto in regime di controllo di qualità, al fine di garantire che vengano rispettate le prescrizioni definite in sede di progetto.

Tale controllo di qualità si articola nelle seguenti fasi:

Valutazione preliminare della resistenza

Controllo di produzione

Controllo di accettazione

Prove complementari



Valutazione preliminare della resistenza



Serve a determinare, prima dell'inizio della costruzione delle opere, la miscela per produrre il calcestruzzo con la resistenza caratteristica di progetto.

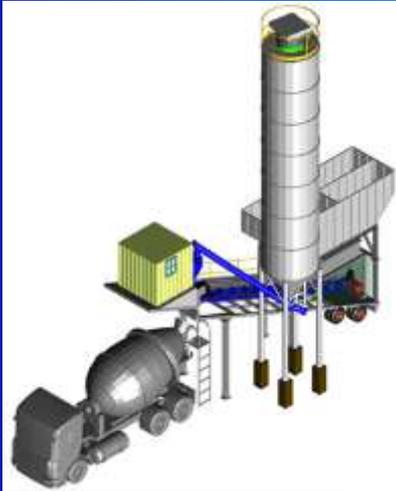


Il costruttore, prima dell'inizio della costruzione di un'opera, deve effettuare idonee prove preliminari di studio, per ciascuna miscela omogenea di calcestruzzo da utilizzare, al fine di ottenere le prestazioni richieste dal progetto.



Controllo di produzione

Riguarda il controllo da eseguire sul calcestruzzo durante la sua produzione con processo industrializzato in impianti di un fornitore, predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001:2000, con riferimento alle specifiche indicazioni contenute nelle Linee guida sul calcestruzzo preconfezionato elaborate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP.



Detto sistema di controllo deve essere certificato da organismi terzi, autorizzati dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP., e gli estremi di tale certificazione devono essere riportati sui documenti che accompagnano ogni fornitura di calcestruzzo.



Controllo di accettazione

Riguarda il controllo da eseguire sul calcestruzzo prodotto durante l'esecuzione dell'opera, con prelievo effettuato contestualmente al getto dei relativi elementi strutturali.

Il Direttore dei Lavori ha l'obbligo di eseguire controlli sistematici in corso d'opera per verificare la conformità delle caratteristiche del calcestruzzo messo in opera rispetto a quello stabilito dal progetto e sperimentalmente verificato in sede di valutazione preliminare.

Il controllo di accettazione va eseguito su miscele omogenee e si configura, in funzione del quantitativo di calcestruzzo in accettazione, nel:

controllo di tipo A e controllo di tipo B



Controllo di accettazione

Prelievo e confezionamento dei campioni

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

I provini possono avere forma cilindrica, del diametro 150 mm ed altezza 300 mm, o forma cubica di spigolo 150 mm.

La media delle resistenze a compressione dei due provini di un prelievo rappresenta la “Resistenza di prelievo” che costituisce il valore mediante il quale vengono eseguiti i controlli del calcestruzzo.



Controllo di accettazione

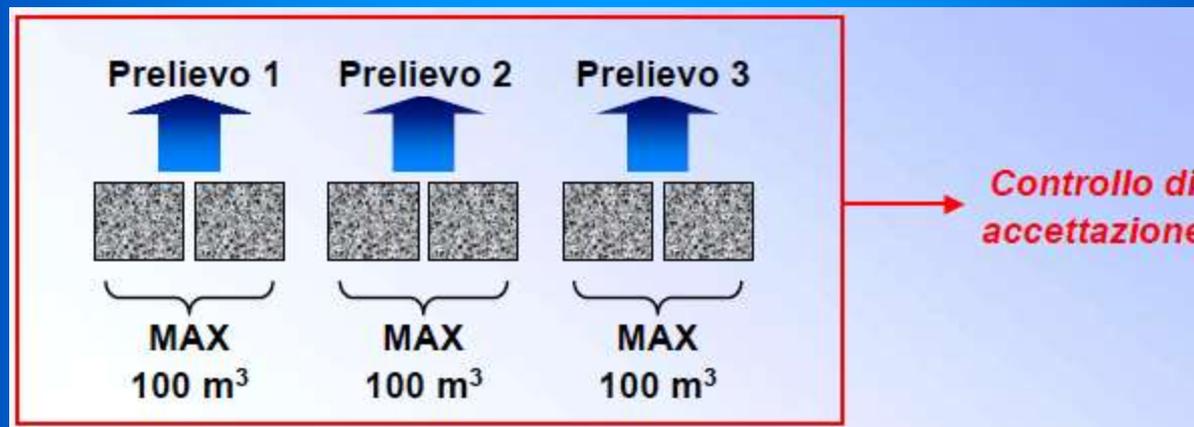
Il controllo di accettazione è positivo ed il quantitativo di calcestruzzo accettato se risultano verificate le seguenti disuguaglianze:

Controllo di tipo A	Controllo di tipo B
$R_1 \geq R_{ck} - 3,5$	
$R_m \geq R_{ck} + 3,5$ (N° prelievi: 3)	$R_m \geq R_{ck} + 1,4 s$ (N° prelievi ≥ 15)
<p>Ove:</p> <p>R_m = resistenza media dei prelievi (N/mm² o MPa);</p> <p>R_1 = minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm² o MPa);</p> <p>s = scarto quadratico medio.</p>	



Controllo di tipo A

Il controllo di tipo A è riferito ad un quantitativo di miscela omogenea non maggiore di 300 m³. Ogni controllo di accettazione di tipo A è rappresentato da tre prelievi, ciascuno dei quali eseguito su un massimo di 100 m³ di getto di miscela omogenea. Risulta quindi un controllo di accettazione ogni 300 m³ massimo di getto. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo.



Controllo di tipo A

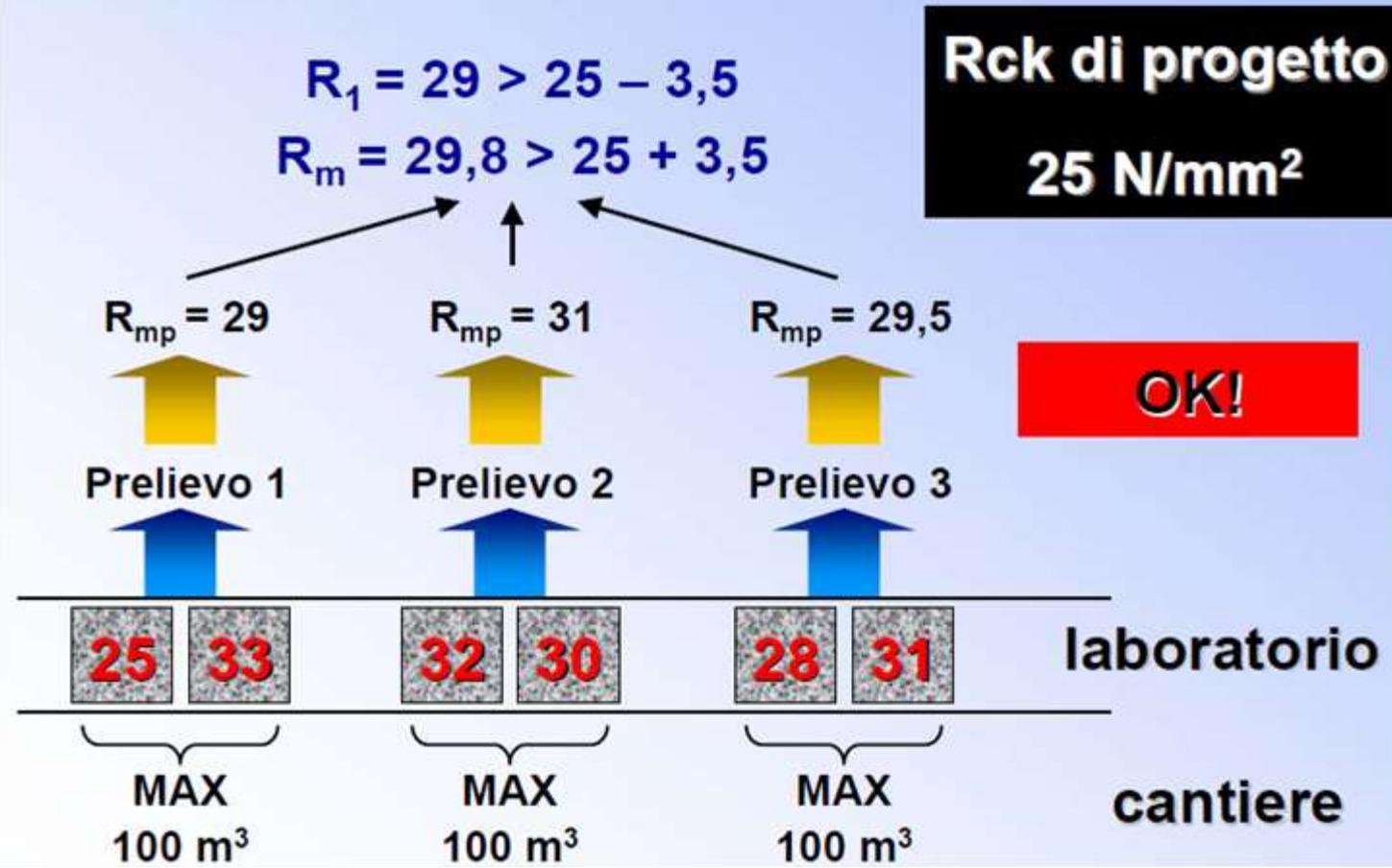
Nelle costruzioni con meno di 100 m³ di getto di miscela omogenea, fermo restando l'obbligo di almeno 3 prelievi e del rispetto delle limitazioni di cui sopra, è consentito derogare dall'obbligo di prelievo giornaliero.

Ai fini di un efficace controllo di accettazione di Tipo A, è evidentemente necessario che il numero dei campioni prelevati e provati sia non inferiore a sei (tre prelievi), anche per getti di quantità inferiore a 100 m³ di miscela omogenea.



Controllo di tipo A

CONTROLLO “TIPO A”

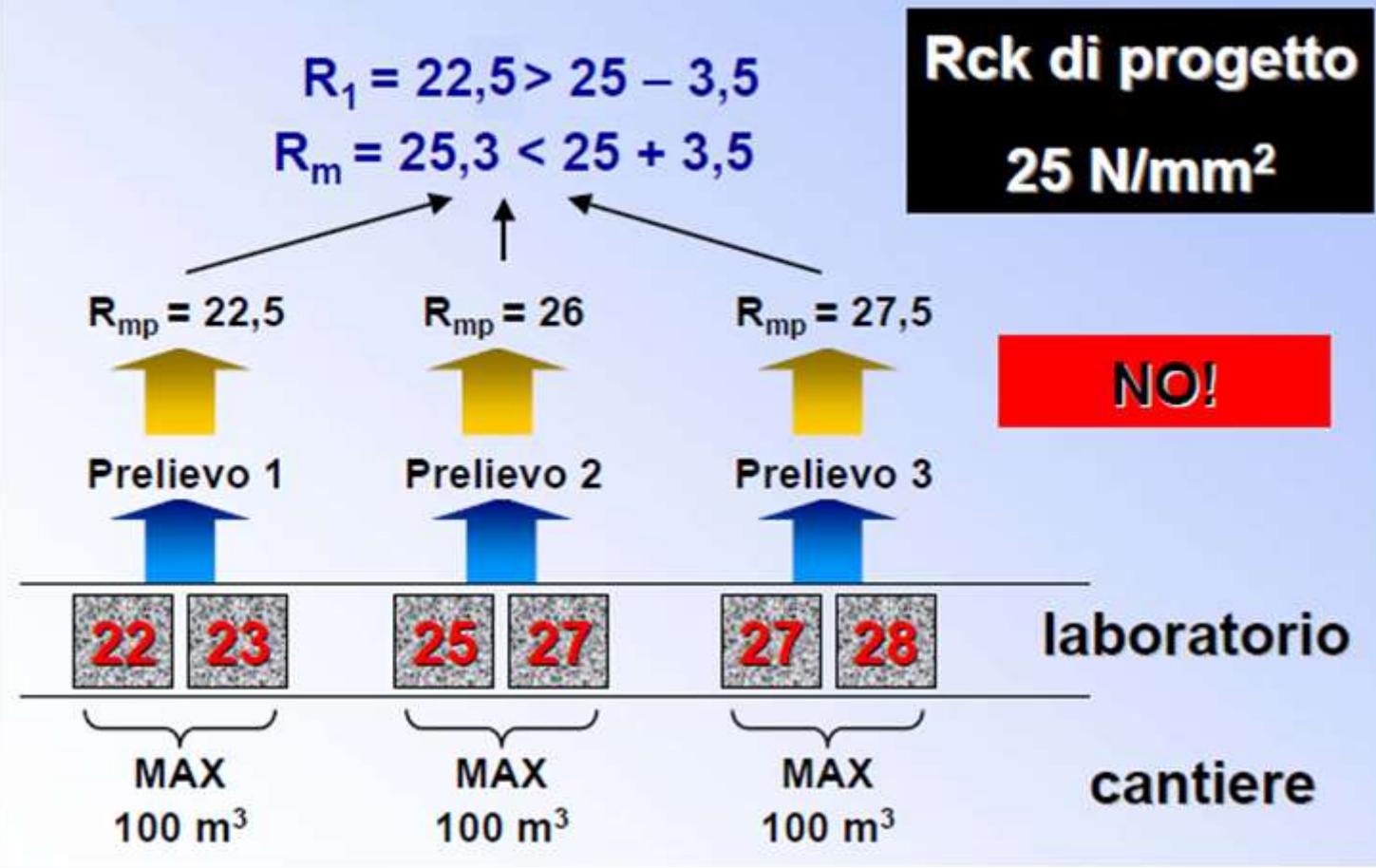


Controllo di accettazione positivo



Controllo di tipo A

CONTROLLO “TIPO A”



Controllo di accettazione negativo



Controllo di tipo B

Nella realizzazione di opere strutturali che richiedano l'impiego di più di 1500 m³ di miscela omogenea è obbligatorio il controllo di accettazione di tipo statistico (tipo B). Il controllo è riferito ad una definita miscela omogenea e va eseguito con frequenza non minore di un controllo ogni 1500 m³ di calcestruzzo.

Per ogni giorno di getto di miscela omogenea va effettuato almeno un prelievo, e complessivamente almeno 15 prelievi sui 1500 m³.



Controllo di tipo B

Per calcestruzzi con coefficiente di variazione (s / R_m) superiore a 0,15 occorrono controlli più accurati, integrati con prove complementari di cui al §11.2.6. Non sono accettabili calcestruzzi con coefficiente di variazione superiore a 0,3.



Controllo di tipo B

Esempio di controllo di tipo B su un calcestruzzo con classe di resistenza indicata in progetto pari ad $R_{ck}=30\text{N/mm}^2$

Prelievo n (1)	Rm (2)	Rm - RM (3)	(Rm - RM)² (4)
1	31,0	-4	16
2	26,0	-9	81
3	30,0	-5	25
4	42,0	+7	49
5	40,0	+5	25
6	38,0	+3	9
7	32,0	-3	9
8	36,0	+1	1
9	40,0	+5	25
10	28,0	-7	49
11	31,0	-4	16
12	33,0	-2	4
13	36,0	+1	1
14	38,0	+3	9
15	40,0	+5	25
	(5) RM = 35,0		(6) 344



Controllo di tipo B

Esempio di controllo di tipo B su un calcestruzzo con classe di resistenza indicata in progetto pari ad $R_{ck}=30\text{N/mm}^2$

- (1) *Prelievi in ordine di data*
- (2) *Resistenza media di ciascun prelievo*
- (3) *Differenza di ciascun prelievo dalla RM ovvero scarto dalla media*
- (4) *Scarto dalla media elevato al quadrato*
- (5) *Resistenza media di tutti i prelievi* $RM = \frac{31+26+30+\dots+40}{15} = 35,0$
- (6) *Sommatoria degli scarti al quadrato* $\sum_{15}^1 (R_m - RM)^2 = 344$

Calcolo dello Scarto Quadratico Medio:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_n^1 (R_m - RM)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{344}{14}} = \sqrt{24,57} = 4,96$$

Calcolo del Coefficiente di Variazione:

$$\frac{S}{RM} = \frac{4,96}{35} = 0,141$$



Controllo di tipo B

Esempio di controllo di tipo B su un calcestruzzo con classe di resistenza indicata in progetto pari ad $R_{ck}=30\text{N/mm}^2$

Prima verifica

Dovrà risultare: $R_1 \geq R_{ck} - 3,5$

Nel nostro caso, $R_1 = 26,0$ che è *minore* di $30 - 3,5 = 26,5$. Perciò la prima condizione non è verificata e la classe non è raggiunta.

$R_1 = 26,0 < 26,5 \rightarrow$ condizione **NON verificata**

Seconda verifica

Dovrà risultare: $R_M \geq R_{ck} + 1,4 S$

Nel nostro caso, $R_M = 35,0$ che è *minore* di $30 + (1,4 \times 4,96) = 36,94$.

$R_M = 35,0 < 36,94 \rightarrow$ condizione **NON verificata**

In questo caso entrambe le condizioni risultano non verificate. Si osservi che, nonostante R_M sia $35,0 \text{ N/mm}^2$ (ben superiore al valore di R_{ck} 30), e che otto risultati siano superiori a 35, la classe non risulta comunque raggiunta.



Prescrizioni comuni per entrambi i criteri di controllo

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

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



Prescrizioni comuni per entrambi i criteri di controllo

Il sottoscritto **DIRETTORE DEI LAVORI** _____, con riferimento a quanto indicato nel D.M. del 14 gennaio 2008, pubblicato nel supplemento ordinario n° 30 della Gazzetta Ufficiale n° 19 del 04 febbraio 2008, al fine di determinare la resistenza di prelievo, unitamente alla presente invia n° ____ campioni di conglomerato cementizio di forma cubica, dando precise indicazioni sulla posizione delle strutture interessate da ciascun prelievo, (come riportato nell'allegato verbale di prelievo), nella tabella di seguito riportata.

N°	Data di prelievo dei campioni	Dimensioni dei campioni x y z [mm]	R _{ck} di Progetto [MPa]	Posizione delle strutture interessate riportate nel verbale di prelievo

Il sottoscritto dichiara, inoltre, che i lavori in esecuzione sono riferiti al seguente cantiere e che il prelievo è stato effettuato in mia presenza/o da un tecnico di mia fiducia:

Esempio di modulo di richiesta prove su cubetti



Prove complementari

Sono prove che vengono eseguite, ove necessario, a complemento delle prove di accettazione. Si eseguono al fine di stimare la resistenza del calcestruzzo in corrispondenza a particolari fasi di costruzione (precompressione, messa in opera) o condizioni particolari di utilizzo (temperature eccezionali, ecc.).

Il procedimento di controllo è uguale a quello dei controlli di accettazione. Tali prove non possono però essere sostitutive dei “controlli di accettazione” che vanno riferiti a provini confezionati e maturati secondo le prescrizioni precedenti.



Classe di resistenza

Resistenza caratteristica: Valore della resistenza al disotto del quale si attende che cada il 5% della popolazione di tutte le misure possibili di resistenza sul volume di calcestruzzo considerato.

Ai fini della valutazione del comportamento e della resistenza delle strutture in calcestruzzo, questo viene titolato ed identificato mediante la classe di resistenza contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cilindrica e cubica a compressione uniassiale, misurate rispettivamente su provini cilindrici (o prismatici) e cubici, espressa in Mpa.



Classe di resistenza

Per la classificazione può essere utilizzata la resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni di cilindri di altezza 300 mm e diametro 150 mm, ($f_{ck,cyl}$ o semplicemente f_{ck}) o la resistenza caratteristica a compressione a 28 giorni di cubi di 150 mm di lato ($f_{ck,cube}$ o semplicemente R_{ck}).



Classe di resistenza

Classi di resistenza a compressione per calcestruzzo normale e pesante

Classe di resistenza a compressione	Resistenza caratteristica cilindrica minima $f_{ck,cyl}$ N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica minima $f_{ck,cube}$ N/mm ²
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115



Classe di resistenza

calcestruzzo normale: Calcestruzzo avente massa volumica, dopo essiccamento in stufa, maggiore di 2.000 kg/m³ ma non maggiore di 2.600 kg/m³.

calcestruzzo leggero: Calcestruzzo avente massa volumica dopo essiccamento in stufa non minore di 800 kg/m³ e non maggiore di 2.000 kg/m³. È prodotto interamente o parzialmente utilizzando aggregati leggeri rispetto alla totalità degli aggregati.

calcestruzzo pesante: Calcestruzzo avente massa volumica dopo essiccamento in stufa maggiore di 2.600 kg/m³.



Classe di resistenza

Classi di resistenza a compressione per calcestruzzo leggero

Classe di resistenza a compressione	Resistenza caratteristica cilindrica minima $f_{ck,cyl}$ N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica minima ^{a)} $f_{ck,cube}$ N/mm ²
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC40/44	40	44
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88

a) Possono essere utilizzati anche altri valori, se la relazione fra questi e la resistenza cilindrica di riferimento è stabilita con sufficiente accuratezza ed è documentata.



Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza

La norma UNI EN 12390-2 specifica i metodi per la confezione e la conservazione dei provini per le prove di resistenza.

Apparecchiatura necessaria per la prova
Casseforme, conformi alla EN 12390-1.



Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza

-vibratore interno



- tavola vibrante



-pestello per compattazione di acciaio a sezione circolare, diametro 16 mm e con le estremità arrotondate

- barra per compattazione di acciaio, diritta, a sezione quadrata di circa 25 mm x 25 mm



Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza

I provini devono essere compattati almeno in due strati (meglio se tre), ma nessuno strato deve avere spessore maggiore di 100 mm.

Immediatamente dopo la sistemazione nelle casseforme, il calcestruzzo deve essere compattato in modo da produrre una completa compattazione del calcestruzzo senza un'eccessiva segregazione o comparsa di acqua superficiale.



Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza

Metodi per la compattazione del calcestruzzo nelle casseforme.



Compattazione con vibratore interno: applicare la vibrazione per il tempo minimo necessario a raggiungere la completa compattazione del calcestruzzo, evitando un eccesso di vibrazione che può provocare la perdita di aria aggiunta.



Compattazione con tavola vibrante: Applicare la vibrazione per il tempo minimo necessario a raggiungere la completa compattazione del calcestruzzo.



Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza

Metodi per la compattazione del calcestruzzo nelle casseforme.



Compattazione manuale con pestello o barra per compattazione: distribuire i colpi del pestello o della barra per compattazione in modo uniforme su tutta la superficie della cassaforma. Assicurarsi che il pestello o la barra per compattazione non colpiscano il fondo della cassaforma mentre si compatta il primo strato e che non penetrino significativamente negli strati precedenti. Sottoporre il calcestruzzo ad almeno 25 colpi per strato



Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza

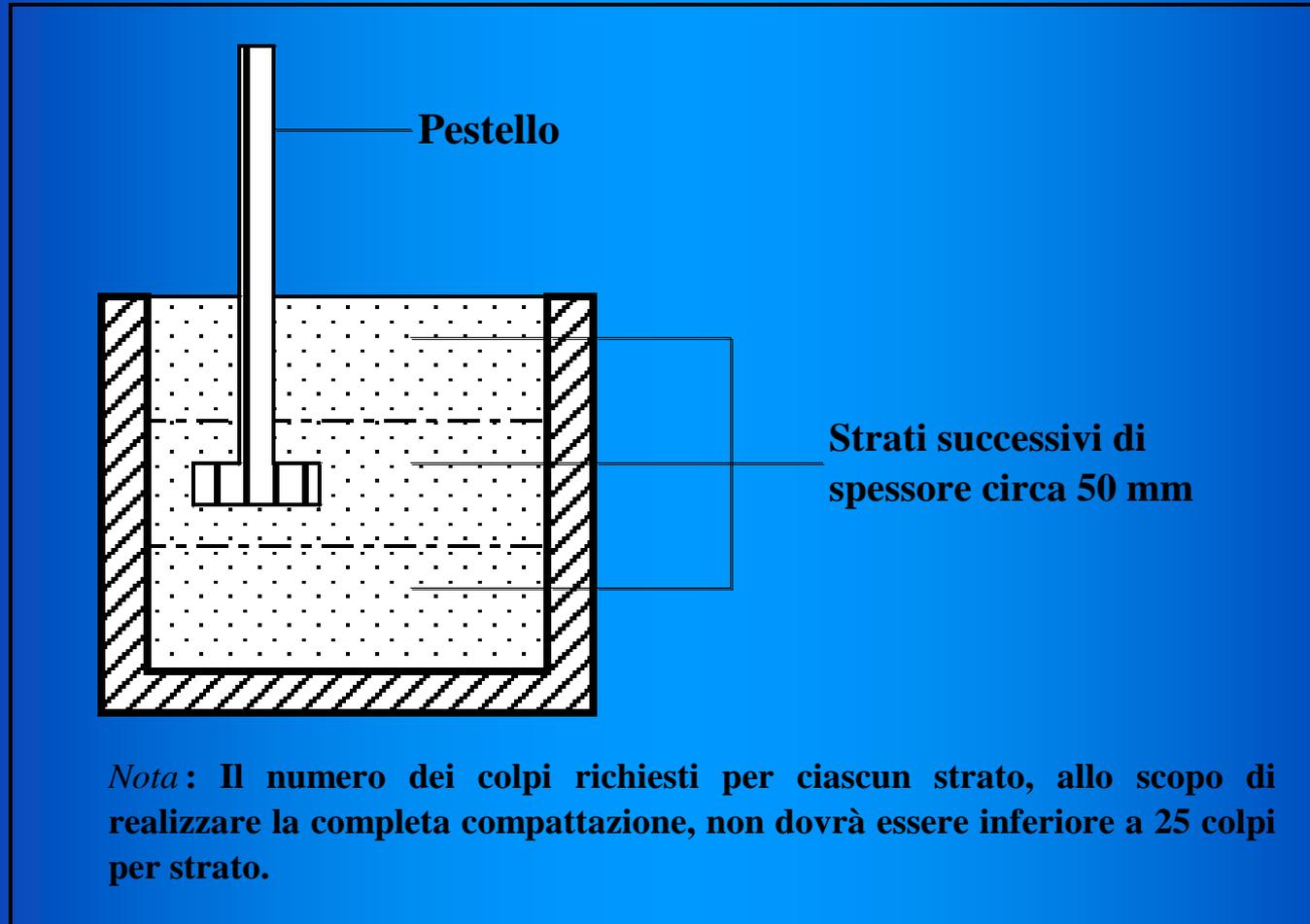
Metodi per la compattazione del calcestruzzo nelle casseforme.



Al fine di rimuovere sacche d'aria aggiunta ma non l'aria introdotta, dopo la compattazione di ogni strato dare qualche colpo di mazzuola sulle pareti della cassaforma fino a che non si osserva più la comparsa di grandi bolle d'aria e scompaiono le impronte lasciate del pestello o dalla barra di compattazione.



Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza



Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza

Marcatura: I provini devono essere contrassegnati in modo chiaro ed indelebile senza danneggiarli.



Conservazione dei provini: Lasciare i provini nella cassaforma per almeno 16 h, ma non oltre 3 giorni, proteggendoli da urti, vibrazioni e disidratazione, alla temperatura di $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Una volta rimossi dalla cassaforma conservare i provini fino al momento della prova in acqua alla temperatura di $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, oppure in ambiente a $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ed umidità relativa $\geq 95\%$.



Classe di consistenza

Con il termine consistenza le norme indicano il grado di lavorabilità del calcestruzzo fresco: questa deve essere valutata in funzione della struttura o elemento strutturale da realizzare, al fine di rendere più facile l'operazione di posa in opera del calcestruzzo nelle casseforme.

Qualora debba essere determinata, la consistenza dovrà essere misurata con uno dei metodi di prova seguenti:

- abbassamento al cono (slump test)

- prova Vébé

- indice di compattabilità

- tavola a scosse



Slump Test

Prova di abbassamento al cono – Slump test - UNI EN 12350-2

Tale norma specifica un metodo per determinare la consistenza nel calcestruzzo fresco mediante la misurazione dell'abbassamento di un cono di calcestruzzo

Il calcestruzzo fresco è compattato in uno stampo a forma di tronco di cono. Lo stampo è sfilato verso l'alto e l'abbassamento del campione fornisce una misura della consistenza del calcestruzzo.



Slump Test

APPARECCHIATURA



Stampo di metallo a forma di tronco di cono per formare il campione, avente diametro della base inferiore di 200 mm, diametro della base superiore di 100 mm ed altezza di 300 mm.

Barra di costipazione, a sezione circolare, diritta, di acciaio, avente diametro di 16 mm, lunghezza di 600 mm ed estremità arrotondate.

Asta graduata, da 0 mm a 300 mm, a intervalli non maggiori di 5 mm, con il punto zero ad una delle estremità.

Piastra di base su cui collocare lo stampo, non assorbente, rigida, piana

Sessola, larga circa 100 mm.



Slump Test

ESECUZIONE DEL TEST

1. Inumidire lo stampo e la piastra di base e porre lo stampo sulla piastra/superficie di base posta orizzontalmente
2. Riempire lo stampo in 3 strati successivi pari ciascuno, una volta assestato, a circa un terzo dell'altezza dello stampo. Assestare ciascuno strato con 25 colpi di barra di costipazione.
3. Subito dopo l'assestamento dell'ultimo strato, rasare e lisciare la superficie del calcestruzzo usando la barra di costipazione con movimento di va e vieni e di rotolamento.

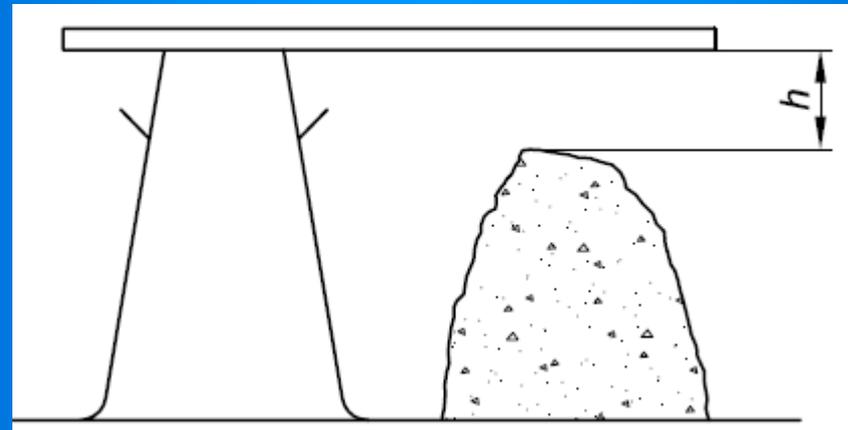
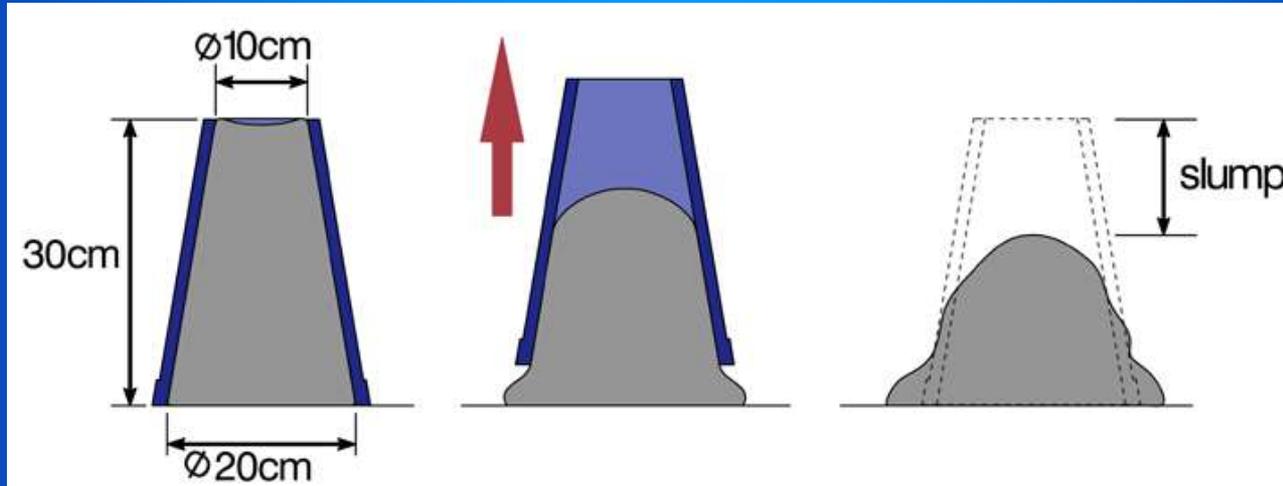


Slump Test

4. Rimuovere dalla piastra/superficie di base il calcestruzzo versato.
5. Rimuovere lo stampo dal calcestruzzo sollevandolo verticalmente con cura, in un tempo compreso fra 5 s e 10 s con un sollevamento regolare senza impartire al calcestruzzo movimenti laterali o torsionali.
6. Immediatamente dopo aver rimosso lo stampo misurare e registrare l'abbassamento (h) determinando la differenza tra l'altezza dello stampo e quella del punto più alto del campione di calcestruzzo in esame.



Slump Test



Slump Test



Consistenza S1
slump 10 - 40 mm



Consistenza S2
slump 50 - 90 mm



Consistenza S3
slump 100 - 150 mm



Consistenza S4
slump 160 - 210 mm



Slump Test



**Consistenza S5
slump > 220 mm**

Classe di consistenza	Abbassamento al cono (in mm)	Denominazione corrente	Campo di applicazione consigliato
S1	da 10 a 40	Umida	
S2	da 50 a 90	Plastica	Cordoli, fognature
S3	da 100 a 150	Semifluida	Scale, rampe, coperture inclinate
S4	da 160 a 210	Fluida	Fondazioni, pareti, pilastri, travi, solai
S5	oltre 220	Superfluida	Strutture sottili, solette molto armate, pavimentazioni



Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera

Nel caso in cui le resistenze a compressione dei provini prelevati durante il getto non soddisfino i criteri di accettazione della classe di resistenza caratteristica prevista nel progetto, oppure sorgano dubbi sulla qualità e rispondenza del calcestruzzo ai valori di resistenza determinati nel corso della qualificazione della miscela, oppure si renda necessario valutare a posteriori le proprietà di un calcestruzzo precedentemente messo in opera, si può procedere ad una valutazione delle caratteristiche di resistenza attraverso una serie di prove sia distruttive che non distruttive.

Tali prove non devono, in ogni caso, intendersi sostitutive dei controlli di accettazione.



Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera

Il valor medio della resistenza del calcestruzzo in opera (definita come resistenza strutturale) è in genere inferiore al valor medio della resistenza dei prelievi in fase di getto maturati in condizioni di laboratorio (definita come resistenza potenziale).

È accettabile un valore medio della resistenza strutturale, misurata con tecniche opportune (distruttive e non distruttive) e debitamente trasformata in resistenza cilindrica o cubica, non inferiore all'85% del valore medio definito in fase di progetto.



Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera

Attenzione !

Al punto 10.2.10.1 le NTC definiscono quale valore medio della resistenza di progetto il valore caratteristico, espresso in N/mm², incrementato di 8:

$$R_{cm} = R_{ck} + 8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Pertanto se la resistenza caratteristica di progetto è $R_{ck} = 30$ N/mm², il valor medio della resistenza di progetto sarà pari a:

$$R_{cm} = 30 + 8 = 38 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

In tal caso sarà accettabile in opera un calcestruzzo avente una resistenza media pari all'85% di $R_{cm} = 32,3 \text{ (N/mm}^2\text{)}$



Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera

La stima della resistenza in sito del calcestruzzo di una struttura può essere richiesta anche ai fini della valutazione della sicurezza di edifici esistenti, per esempio quando ricorra uno dei seguenti casi:

-riduzione evidente della capacità resistente di elementi strutturali

-azioni ambientali, quali sisma, vento, neve e temperatura, che abbiano compromesso la capacità resistente della struttura



Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera

- degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali in relazione alla durabilità dei materiali stessi
- verificarsi di azioni eccezionali significative, come urti, incendi, esplosioni, o di situazioni di funzionamento ed uso anomalo
- distorsioni significative imposte da deformazioni del terreno di fondazione



Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera

- provati errori di progetto o esecuzione
- cambio di destinazione d'uso della costruzione o parti di essa con variazione significativa dei carichi variabili
- interventi non dichiaratamente strutturali (es. impiantistici, di redistribuzione degli spazi, etc.) qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale



Controllo della resistenza del calcestruzzo in opera

I metodi di indagine per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera si classificano in:

Prove distruttive: *carotaggio*

Prove non distruttive: *indice di rimbalzo, velocità di propagazione degli ultrasuoni*

Prove semidistruttive: *estrazione di inserti, resistenza alla penetrazione*



Prova pacometrica

Norme ACI318 - BS1881:204 - CP110 - DIN1045 - EC2 - SIA162



L'indagine pacometrica, è una prova non distruttiva per l'identificazione delle armature all'interno dei getti di calcestruzzo: mediante tale indagine di tipo magnetico è possibile rilevare con buona precisione la posizione di barre di armatura presenti nelle membrature di calcestruzzo armato, la loro profondità (copriferro) e, in relazione alla tecnologia dello strumento, stimarne il diametro.



Prova pacometrica

Tale metodologia d'indagine si avvale del principio della misurazione dell'assorbimento del campo magnetico, prodotto dalla stessa apparecchiatura pacometrica, che viene evidenziato tramite un sistema analogico o digitale accoppiato ad un sistema acustico per una più comoda effettuazione della ricerca degli elementi metallici.



Prova pacometrica



Lo strumento, composto da un'unità di emissione e lettura del campo elettromagnetico, da una o più sonde emittenti-riceventi il campo magnetico, consente una ricostruzione affidabile delle armature, soprattutto quando si intende controllarne le modalità di posa in opera.



Prova pacometrica

Il pacometro permette di :

- determinare la posizione, la direzione ed il numero delle barre di armatura principali e secondarie;
- fornire la misura del copriferro;
- valutare il diametro delle barre di armatura;
- rilevare la presenza di oggetti metallici, quali tubazioni, cavi elettrici e tiranti ed inoltre può essere utilizzato per la localizzazione di cordoli, architravi, travi e pilastri



Prova pacometrica



Esecuzione di indagine pacometrica su trave alta in c.a. intonacata



Prova pacometrica



In rosso evidenziate le armature metalliche rilevate nel plinto-pilastro



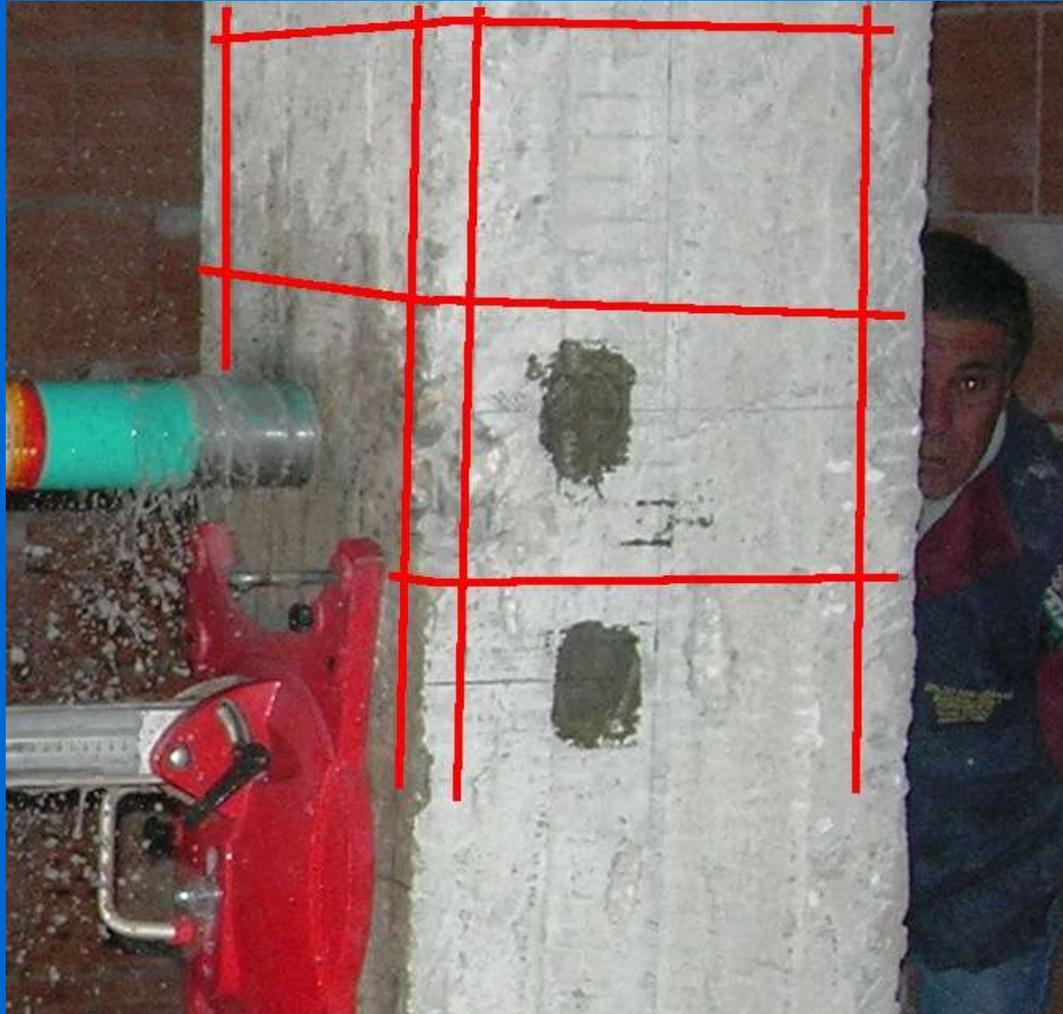
Prova pacometrica



In rosso evidenziate le armature metalliche rilevate nella trave



Prova pacometrica



In rosso evidenziate le armature metalliche rilevate nel pilastro



Indagine sclerometrica

(Norma UNI EN 12504-2:2001)



Mediante tale prova è possibile determinare l'indice sclerometrico di un'area di calcestruzzo indurito utilizzando un martello di acciaio azionato da una molla .

Il principio del metodo è il seguente: una massa scagliata da una molla colpisce un pistone a contatto con la superficie e il risultato della prova viene espresso in termini di distanza di rimbalzo della massa.



Indagine sclerometrica

L'indice sclerometrico determinato mediante questo metodo può essere utilizzato per la valutazione dell'uniformità del calcestruzzo in sito, per delineare le zone o aree di calcestruzzo di scarsa qualità o deteriorato presenti nelle strutture.



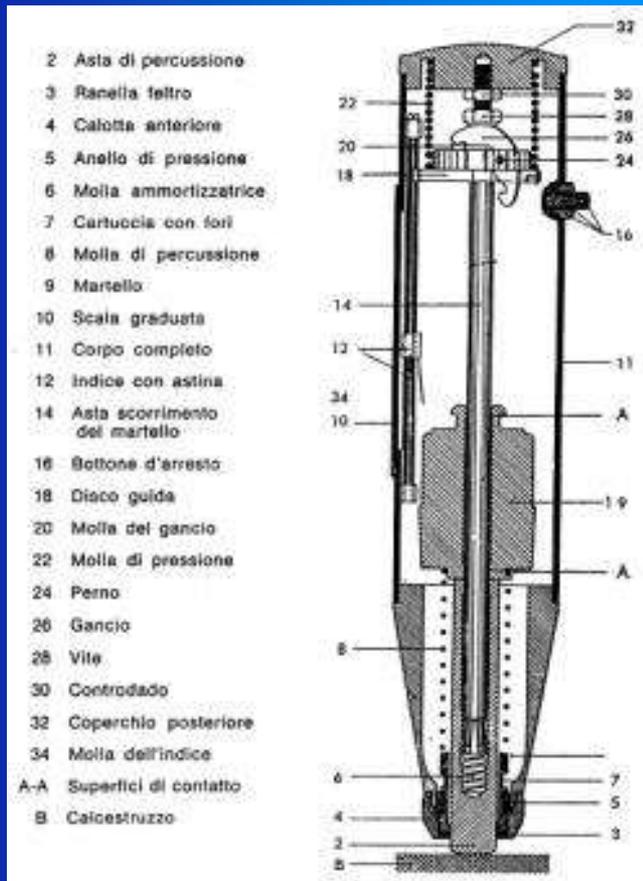
Tale metodo di prova non costituisce una alternativa per la determinazione della resistenza alla compressione del calcestruzzo ma, con una opportuna correlazione, può fornire una stima della resistenza in sito.



Indagine sclerometrica

L'apparecchiatura per l'esecuzione della prova sclerometrica è la seguente:

Sclerometro: è uno strumento consistente in un maglio di acciaio caricato a molla che, quando viene rilasciato, colpisce un pistone di acciaio a contatto con la superficie del calcestruzzo. La distanza di rimbalzo del martello di acciaio dal pistone di acciaio viene misurata su una scala lineare applicata al telaio dello strumento.



Indagine sclerometrica

Incudine di taratura: è una incudine di acciaio per la verifica del martello, caratterizzata da una durezza minima di 52 HRC, una massa di (16 ± 1) kg e un diametro di circa 150 mm.

Pietra abrasiva: pietra al carburo di silicio con tessitura granulare media o materiale equivalente.



Indagine sclerometrica

AREA DI PROVA



Gli elementi di calcestruzzo da sottoporre a prova devono essere di almeno 100 mm di spessore e fissati all'interno di una struttura. L'area da sottoporre a prova deve essere approssimativamente di 300 mm x 300 mm.

Utilizzando la pietra abrasiva si rettifica la superficie da provare sino a renderla liscia. Le superfici levigate o frattazzate possono essere sottoposte a prova senza rettifica.



Indagine sclerometrica

Operazioni preliminari

Prima di qualsiasi lettura, è necessario azionare lo sclerometro per almeno tre volte per assicurarsi che stia funzionando correttamente.

Prima di una sequenza di prove su una superficie di calcestruzzo, bisogna effettuare e registrare le misure utilizzando l'incudine di acciaio di riferimento e controllare che esse rientrino nei limiti raccomandati dal fabbricante. In caso contrario, pulire e/o tarare lo sclerometro.



Indagine sclerometrica

Esecuzione della prova

E' necessario tenere saldamente lo sclerometro in una posizione che consenta al pistone di avere un impatto perpendicolare alla superficie di prova.

La prova si esegue aumentando gradualmente la pressione sul pistone fino allo sgancio della massa battente del martello: dopo l'impatto sulla superficie del calcestruzzo la massa rimbalza in maniera proporzionale alla durezza superficiale del calcestruzzo investigato.

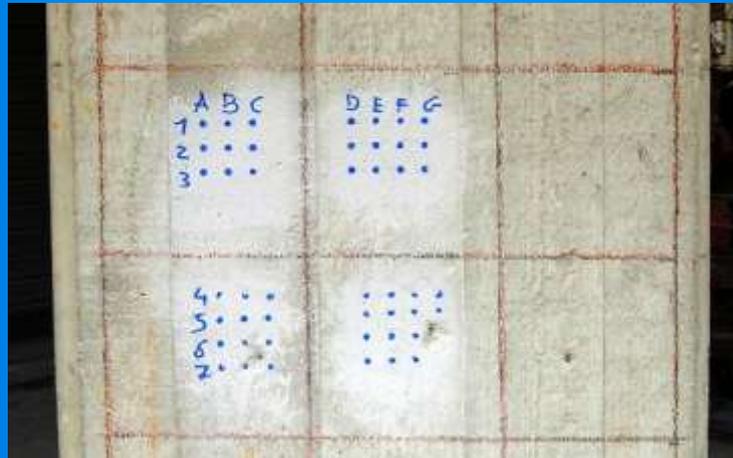
Dopo l'impatto viene letto e registrato l'indice sclerometrico determinato.



Indagine sclerometrica

Esecuzione della prova

Per ottenere una stima affidabile dell'indice sclerometrico di un'area di prova è necessario utilizzare un **minimo di nove misure**; inoltre bisogna assicurare che la distanza tra due punti di impatto sia non meno di 25 mm e che nessuno sia a meno di 25 mm da un bordo o da una barra di armatura rilevata con indagine pacometrica.



Indagine sclerometrica

Esecuzione della prova

Dopo la prova bisogna esaminare tutte le impronte lasciate sulla superficie dopo l'impatto e se l'impatto ha frantumato o sfornato a causa di un vuoto vicino alla superficie, il relativo risultato deve essere scartato.

Dopo le prove, ripetere le letture all'incudine di taratura, registrandole e confrontandole con quelle effettuate prima della prova. Se il risultato è diverso, bisogna pulire e/o tarare lo sclerometro e ripetere la prova.



Indagine sclerometrica

Risultato della prova

Il risultato deve essere calcolato come la mediana di tutte le misure, aggiustata se necessario in base all'orientamento dello sclerometro come da istruzioni del fabbricante, ed espressa come numero intero.

Se oltre il 20% di tutte le misure si discosta dalla media per più di 6 unità, deve essere scartata l'intera serie di misure.

Scheda esecuzione indagine sclerometrica											
Modello dello sclerometro		GEI Concrete									
N. Matricola sclerometro		09C00008M									
Certificato di taratura		09/0002 del 29/04/2009									
Scheda di verifica di taratura		VTS n.01 del 18/11/2009									
Data esecuzione della prova		18/11/2009									
Tabella indagine		1 di 1									
Identificativo dell'elemento strutturale	Posizione dell'area di prova			Ora	Coordinate				α°	IRmedio	
	Piano	Ht (cm)	Faccia		Indici di rimbalzo						
Pilastro n°14 CORPO 1	T	da 126 a 147	lato nord	13:00		A	B	C	D	0	38
					1	37	37	38	41		
					2	37	37	39	38		
					3	36	39	38	37		
					4	38	40	42	38		
IRmedio + 6 =		44		Tutti gli indici di rimbalzo sono accettabili							
IRmedio - 6 =		32									



Indagine sclerometrica

Correlazione

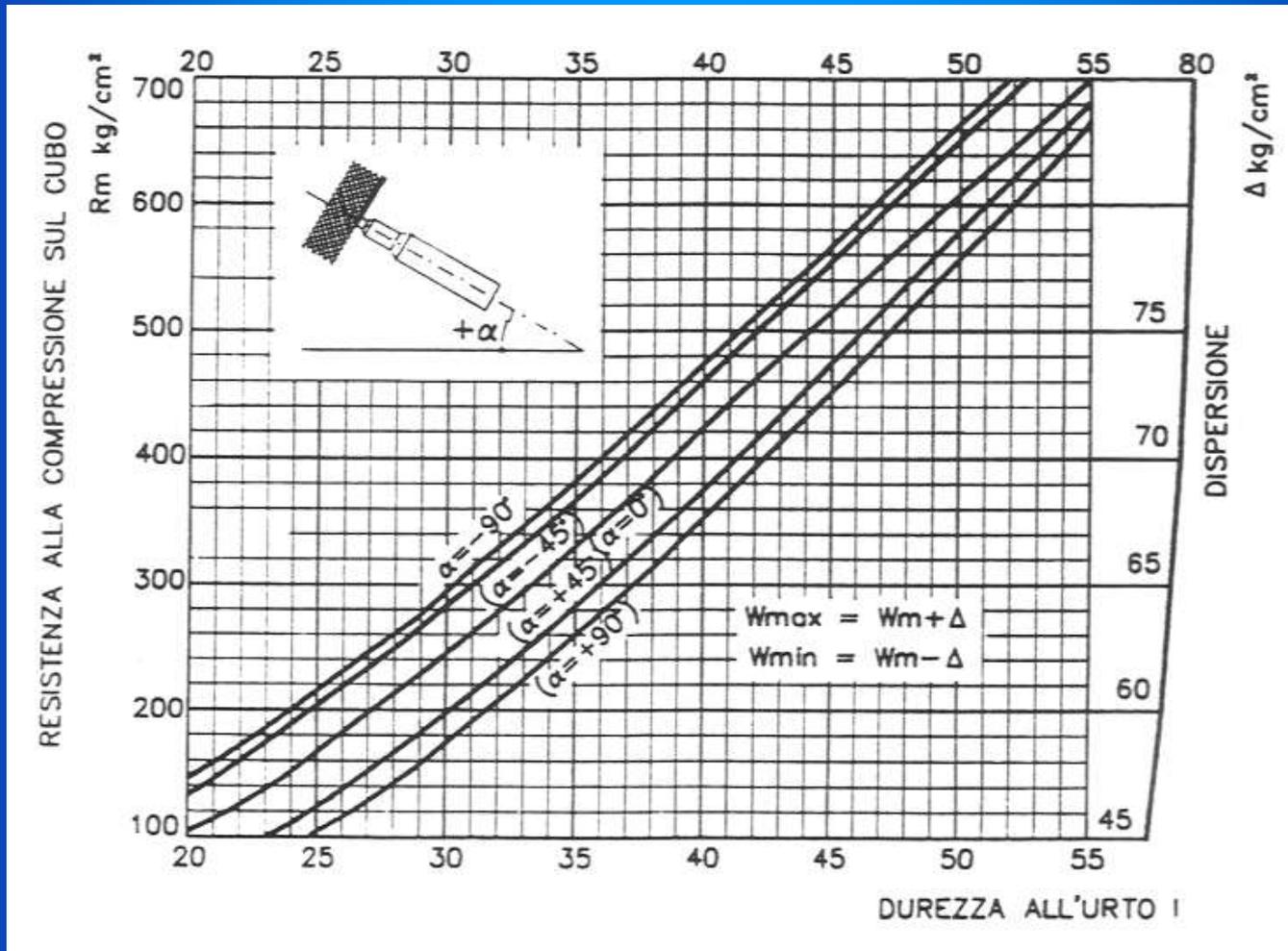
La correlazione tra l'indice di rimbalzo Im e la resistenza a compressione Rc del calcestruzzo è del tipo:

$$Rc = A \times Im \times B$$

con A e B parametri dipendenti dalle caratteristiche del calcestruzzo ed Im indice medio di rimbalzo misurato.



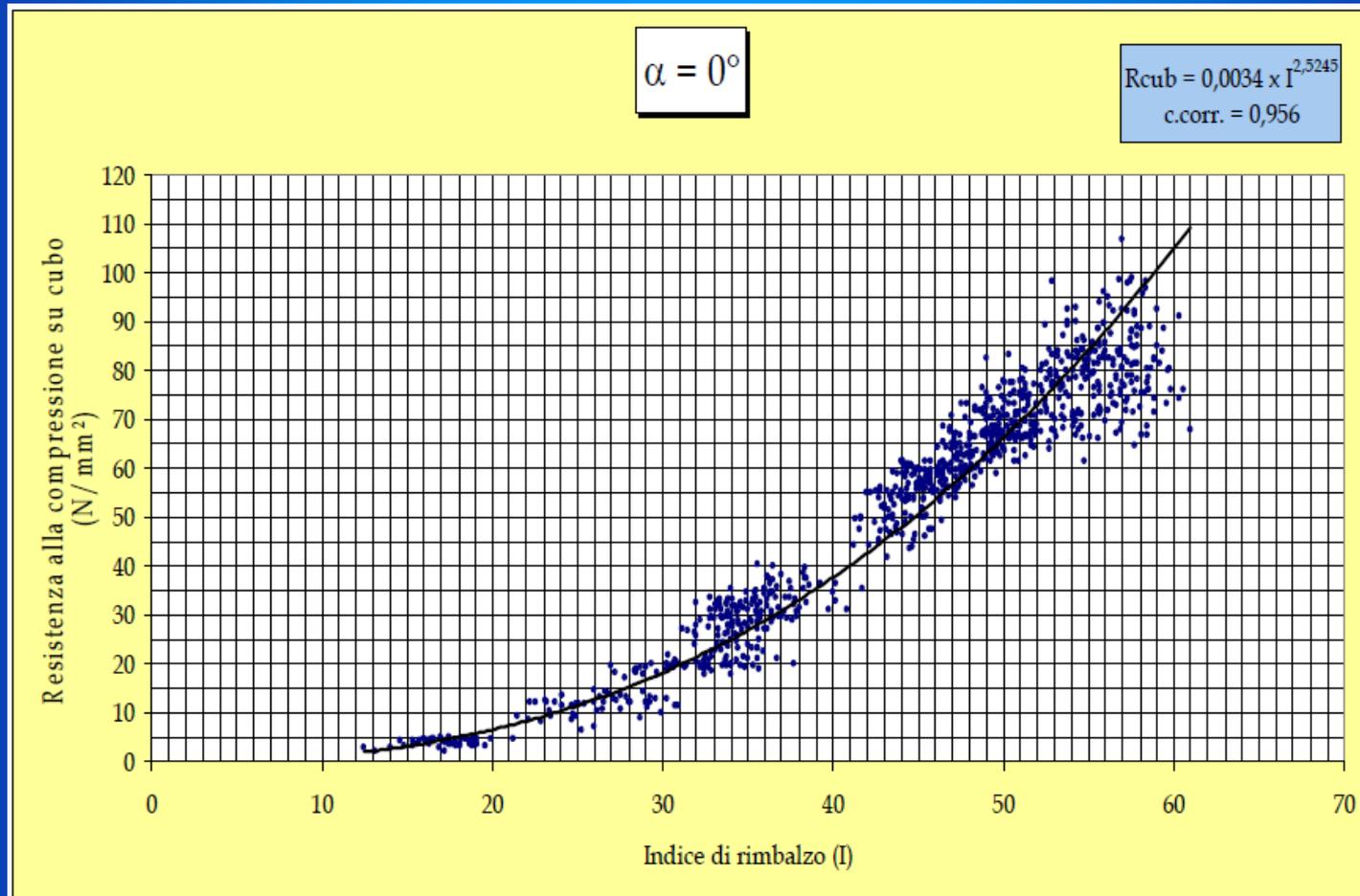
Indagine sclerometrica



Curve di correlazione fornite dal produttore dello sclerometro



Indagine sclerometrica



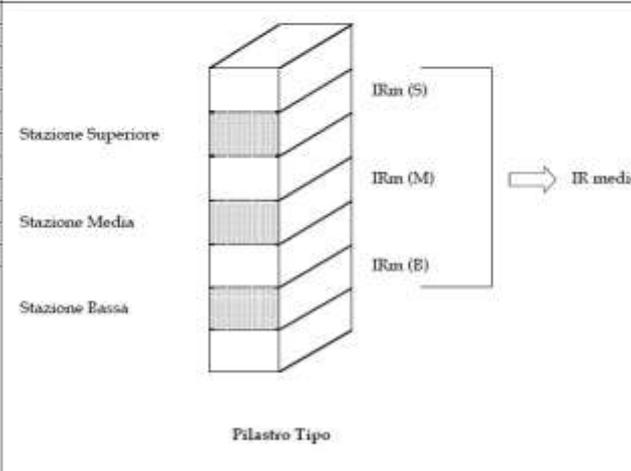
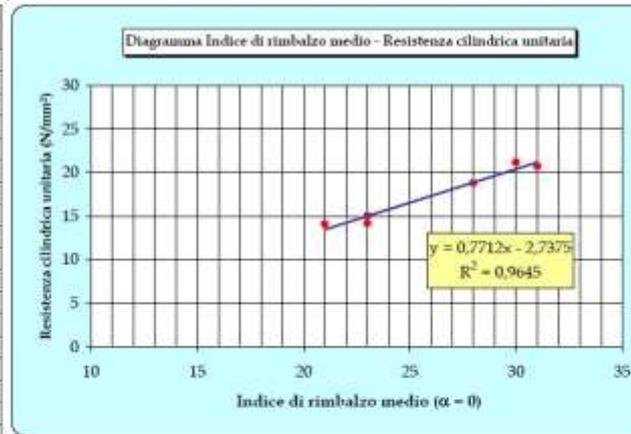
Curva di correlazione sperimentale (su cubetti)



Indagine sclerometrica

Pilastro n°	IR medio	R cil. (N/mm ²)	R cil. stimata (N/mm ²)
1	28		18,85
2	26		17,31
3	24		15,77
4	23		15,00
5	24		15,77
5	26		17,31
6	23	14,14	15,00
8	28		18,85
9	27		18,06
10	24		15,77
11	27		18,06
12	31		21,16
13	30		20,39
14	27		18,06
15	26		17,31
16	26		17,31
17	25		16,54
18	24		15,77
19	23	15,02	15,00
20	21	14,08	13,45
21	22		14,22
22	23		15,00
23	24		15,77
24	27		18,06
25	26		17,31
26	24		15,77
27	28	18,78	18,85
28	29		19,62
29	30	21,16	20,39
30	31	20,71	21,16

Ricavata utilizzando l'equazione $R_{cil.} = 0,771 \cdot IR - 2,7375$



R cil. = Resistenza cilindrica unitaria a compressione (N/mm²) ricavata da prove dirette eseguite su provini in conglomerato cementizio estratti mediante carotaggio.

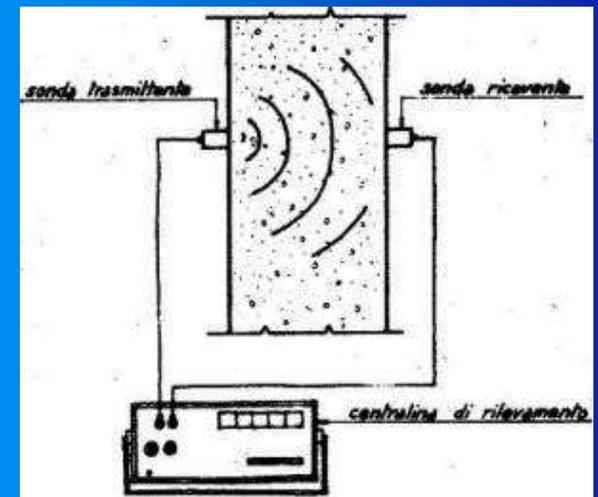
Correlazione sperimentale (su carote)



Indagine ultrasonica

Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici - UNI EN 12504-4:2005

La prova si basa sulla determinazione della velocità di propagazione degli impulsi delle onde longitudinali ultrasoniche nel calcestruzzo indurito.



Indagine ultrasonica

Puo essere utilizzata per le seguenti determinazioni:

- uniformità del calcestruzzo
- presenza di fessure o vuoti
 - difetti di getto
- variazioni delle proprietà nel tempo
 - modulo di elasticità dinamico
- stima della resistenza del calcestruzzo in sito
(mediante opportuna correlazione)



Indagine ultrasonica

Caratteristica del metodo è quella che esso tiene conto delle proprietà meccaniche globali del materiale.

La velocità di propagazione delle onde in un materiale omogeneo dipende dalla densità del materiale, dal modulo elastico e dal coefficiente di Poisson.

In prima approssimazione la velocità di propagazione è proporzionale alla radice quadrata del modulo elastico ed inversamente proporzionale alla radice quadrata della densità.

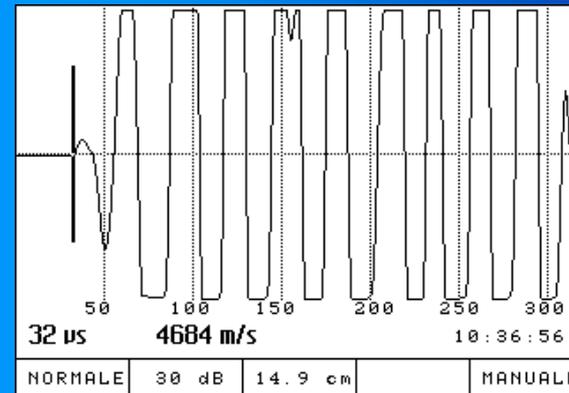
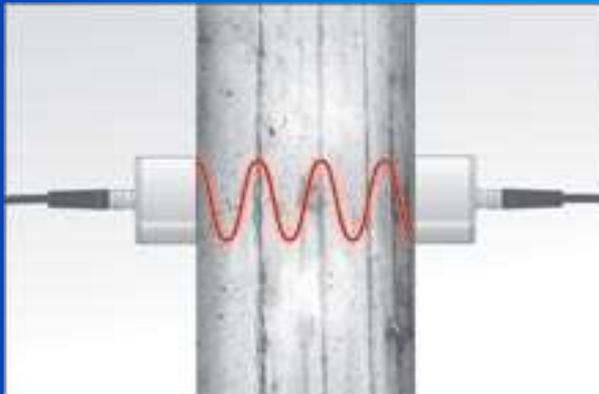
$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$



Indagine ultrasonica

PRINCIPIO

Un treno d'onde longitudinali è prodotto mediante un trasduttore elettroacustico tenuto in contatto con una superficie del calcestruzzo sottoposto a prova. Dopo aver attraversato un percorso di lunghezza nota, all'interno del calcestruzzo, il treno d'onda è convertito in segnale elettrico mediante un secondo trasduttore, e dei circuiti di temporizzazione elettronica consentono di misurare il tempo di transito degli impulsi.



Indagine ultrasonica

APPARECCHIATURA

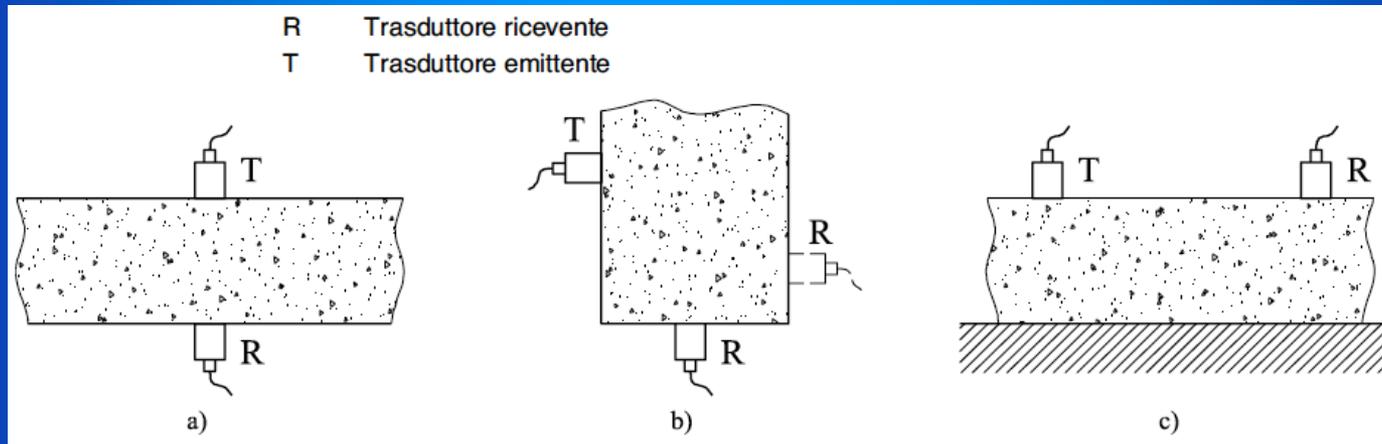
L'apparecchiatura consiste in un generatore di impulsi elettrici, una coppia di trasduttori, un amplificatore e un dispositivo elettronico per la misurazione dell'intervallo di tempo che intercorre tra la partenza di un impulso generato dal trasduttore emittente e il suo arrivo al trasduttore ricevente. La presenza di una barra di calibrazione fornisce le linee di riferimento per la misurazione della velocità.



Indagine ultrasonica

Disposizioni dei trasduttori

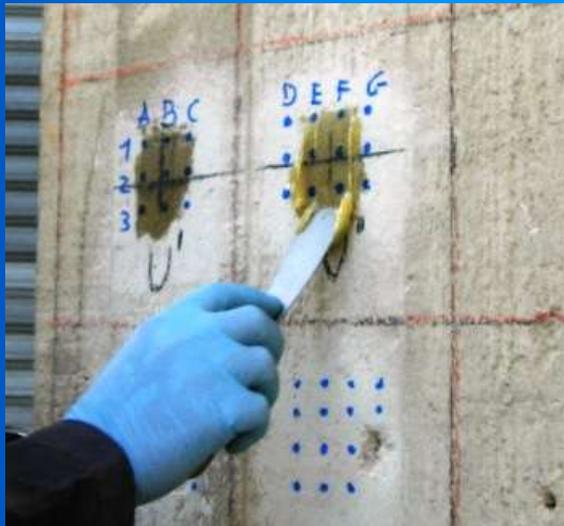
E' possibile effettuare misurazioni della velocità di propagazione degli impulsi posizionando i due trasduttori su facce opposte (**trasmissione diretta**), o su facce adiacenti (**trasmissione semidiretta**), oppure sulla stessa faccia (**trasmissione indiretta o superficiale**) di una struttura di calcestruzzo o di un provino.



Indagine ultrasonica

Accoppiamento del trasduttore al calcestruzzo

Occorre stabilire un adeguato accoppiamento acustico tra il calcestruzzo e la faccia di ciascun trasduttore. Per molte superfici di calcestruzzo un buon contatto acustico si ottiene utilizzando un mezzo di accoppiamento come grasso o pasta di caolino/glicerina e premendo il trasduttore contro la superficie del calcestruzzo.



Indagine ultrasonica

E' opportuno effettuare ripetute letture del tempo di transito fino ad ottenere un valore minimo che indichi che lo spessore del mezzo di accoppiamento è stato ridotto al minimo.

Qualora la superficie di calcestruzzo sia molto ruvida e irregolare, l'area della superficie deve essere lisciata e livellata mediante levigatura, magari con la pastiglia in carburo di silicio fornita a corredo dello sclerometro.



Indagine ultrasonica

Espressione dei risultati

Per la trasmissione diretta e semidiretta la velocità di propagazione degli impulsi viene calcolata con la seguente formula:

$$V = L / T$$

dove:

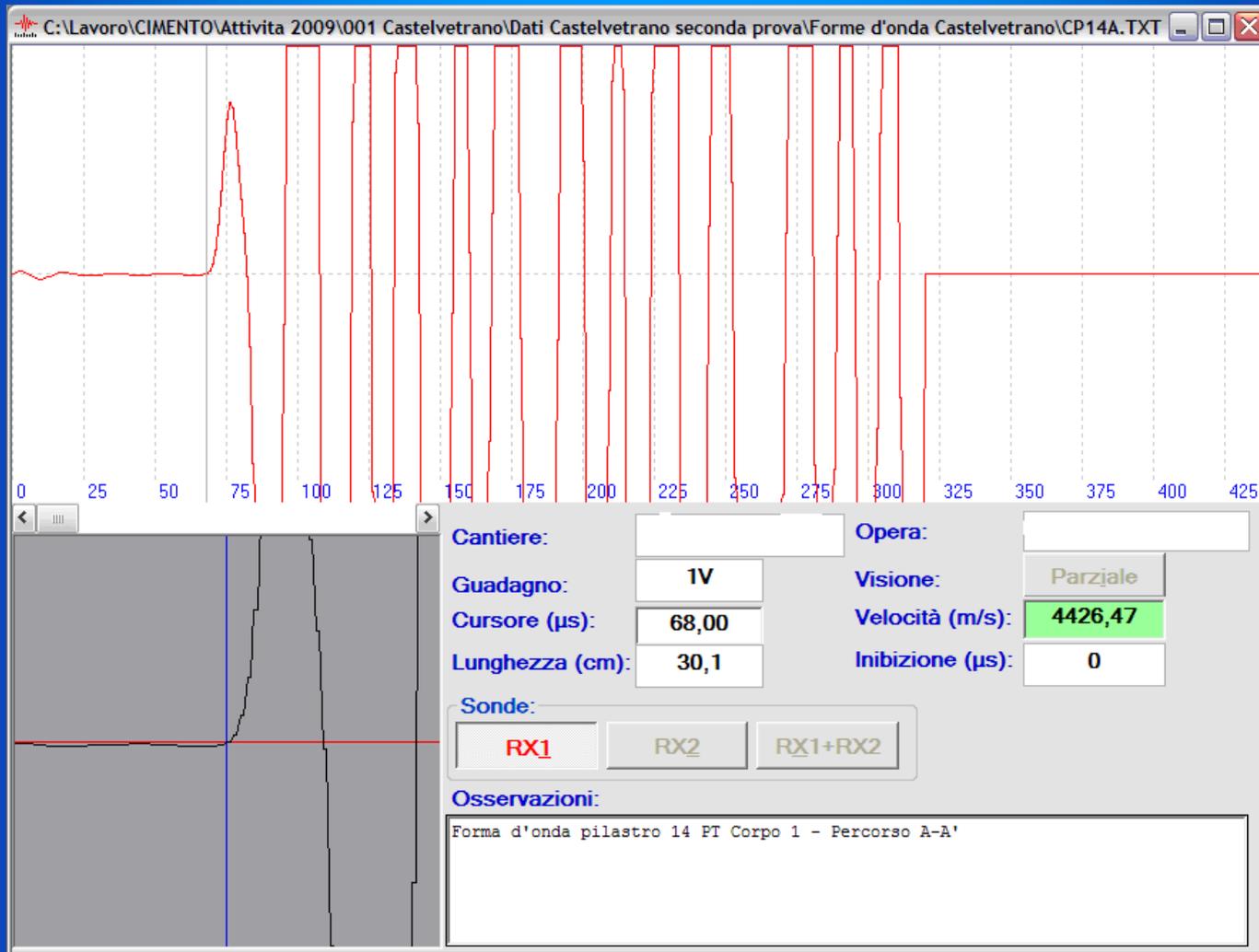
V è la velocità di propagazione degli impulsi

L è la lunghezza di percorso

T è il tempo impiegato dall'impulso per attraversare la lunghezza, in microsecondi (milionesimi di secondo)



Indagine ultrasonica



Elaborazione digitale di un treno d'onde longitudinali



Indagine ultrasonica

Scheda esecuzione indagine ultrasonica

Cantiere: xxxxxx

Modello della centralina per le indagini ultrasonore	A5000U Marca MAE
N. matricola della centralina	M043616
Dichiarazione di conformità	n.883 del 13/11/2009
Barra di calibrazione	PVC (50µsec)

Data esecuzione della prova	16/12/2009
Tabella indagine	3 di 3

Elemento indagato	Ora	t°	UR %	Stazione	Hc (cm)	Percorso ultrasuoni	Lunghezza percorso	Tempo di propagazione	Velocità	Velocità media m/sec
					altezza da calpestio		L (cm)	t (µsec)	$V = L/t * 10^4$ m/sec	
Pilastro n.14 Corpo 1 PT	15.10	11,9	60	U'	142	U'-U'	30,1	68,0	4.426	4.410
	15.16	11,9	60	U''	156	U''-U''	30,1	68,5	4.394	

Scheda esecuzione indagine ultrasonica



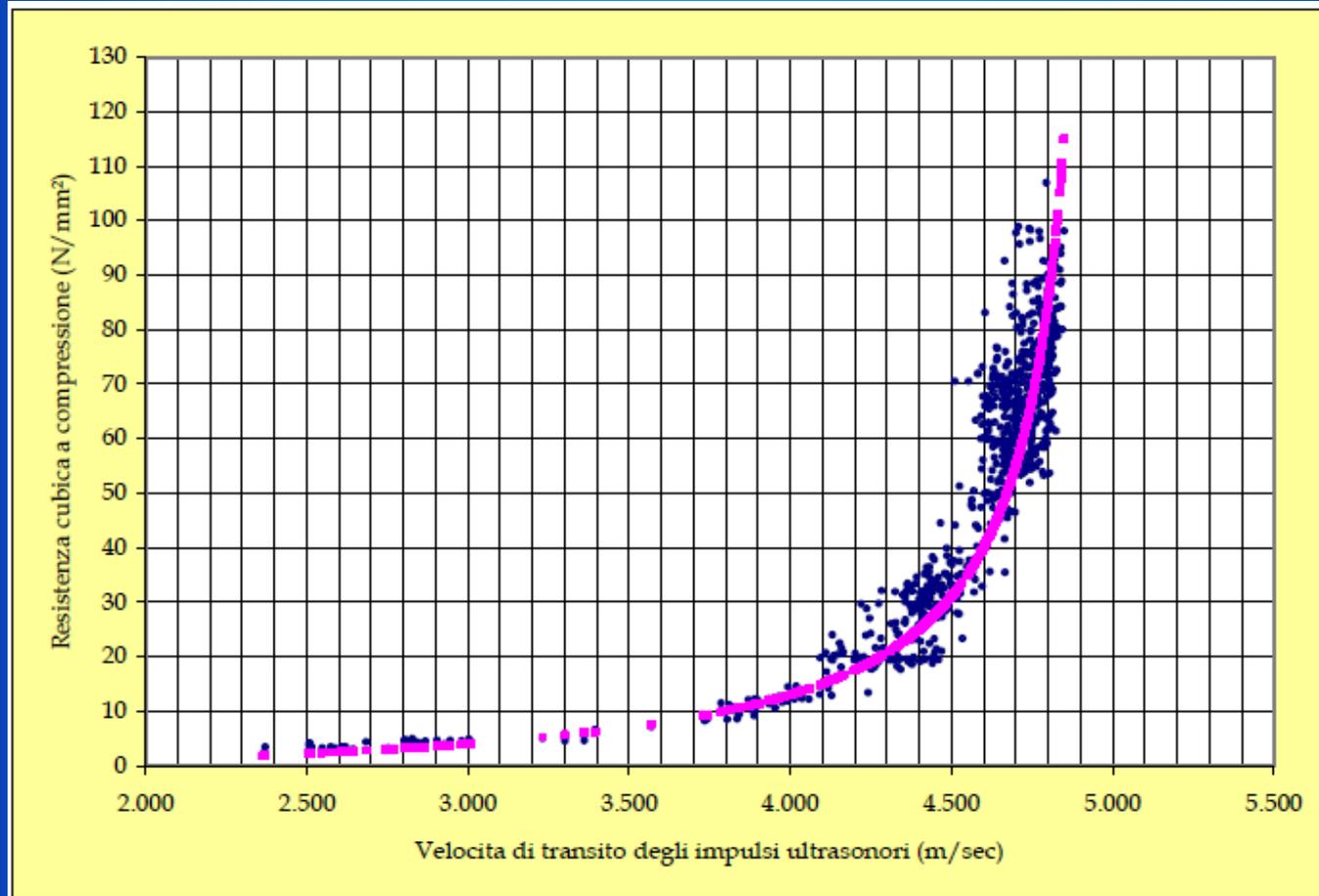
Indagine ultrasonica

CONDIZIONE SUPERFICIE DI PROVA		ACCOPPIAMENTO DELLE SONDE ULTRASONORE	
Superficie originaria € Libera dal getto		Ambiente di misura € In immersione ■ In aria	
	■ Casserata ■ In cassero di legno € In cassero metallico € Altro tipo	Materiale di accoppiamento: grasso per meccanica	
Preparazione superficie originaria € Nessuna		DESCRIZIONE DELLA PROVA	
	€ Lisciatura con asport. di materiale ■ Con pietra abrasiva € Tramite rettificatrice € Altro	Modalità di prova ■ Diretta € Semidiretta € Indiretta	
Descrizione superficie all'atto della prova dopo la preparazione ■ Asciutta ■ Piana € Bagnata € Curva Rispetto alle dim. delle sup. delle sonde		Presenza di armature ■ Assenti € Ortogonali al percorso € Parall. al percorso	
		Calilbrazione € Sonde a contatto ■ Blocco di calibrazione	
		Modalità di lettura dei tempi di propagazione ■ Indicazione digitale € Autom. con ampl. costante ■ Con marker sull'oscilloscopio € Ampl. variabile e segnale di ricez.	

Scheda esecuzione indagine ultrasonica



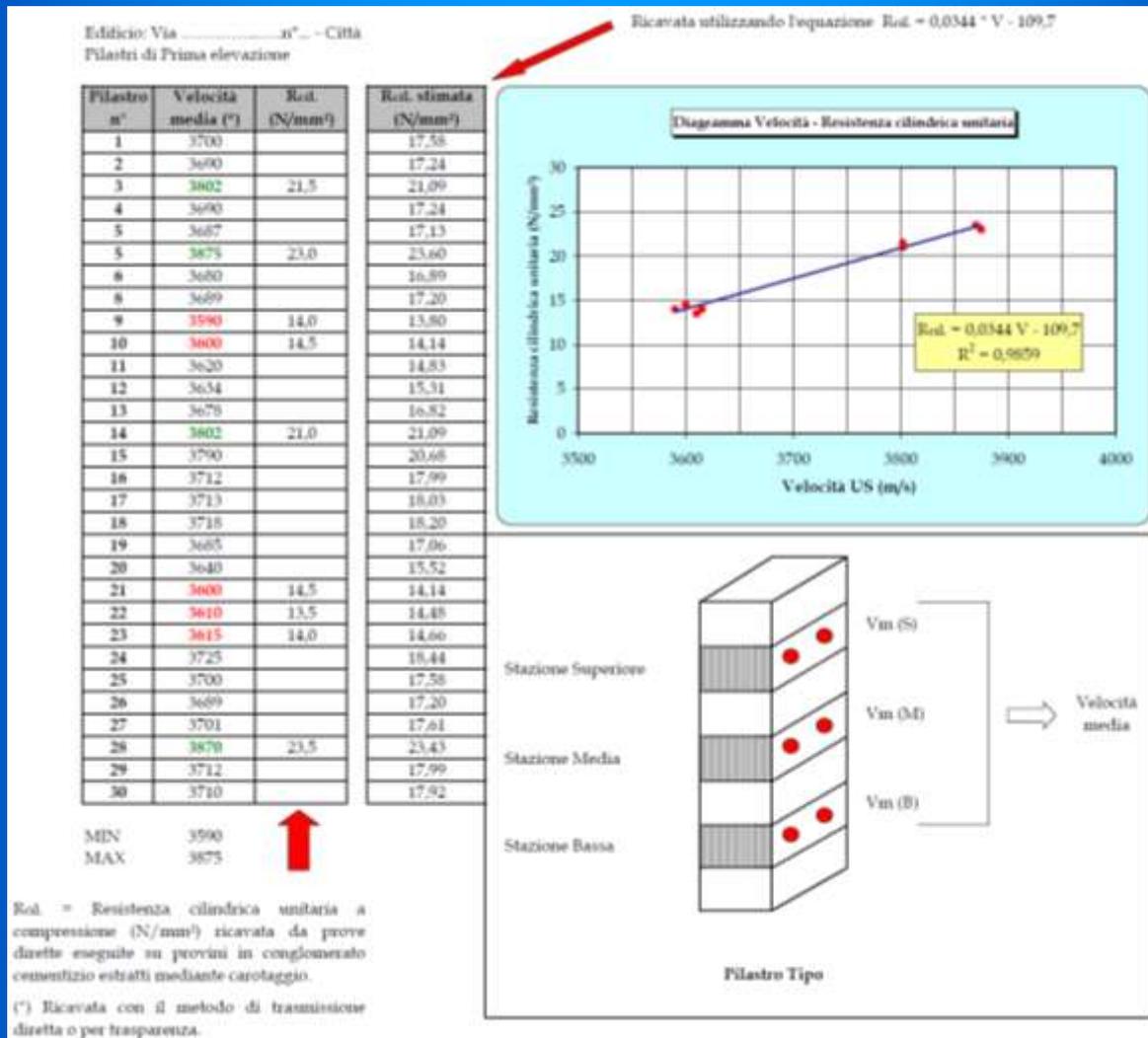
Indagine ultrasonica



Curva di correlazione sperimentale (su cubetti)



Indagine ultrasonica



Correlazione sperimentale (su carote)



Metodo SonReb

Sonic + Rebound, ovvero SonReb, è il metodo che combina due prove non distruttive per calcestruzzo attualmente più utilizzato.

E' costituito dall'accoppiamento dell'indagine **ultrasonica** e dell'indagine **sclerometrica**, ovvero nella combinazione dei risultati ottenuti con tali due prove sullo stesso elemento di calcestruzzo.



Metodo SonReb

La validità del metodo SonReb deriva dalla compensazione delle imprecisioni dei due metodi non distruttivi utilizzati.

Infatti si è notato che il contenuto di umidità fa sottostimare l'indice sclerometrico e sovrastimare la velocità, e che, all'aumentare dell'età del calcestruzzo, l'indice sclerometrico aumenta mentre la velocità ultrasonica diminuisce.



Metodo SonReb

La resistenza del calcestruzzo R_s viene stimata sulla base della coppia dei valori della velocità di propagazione degli ultrasuoni V ed indice di rimbalzo sclerometrico N , mediante l'utilizzo di formule dedotte da correlazioni di tipo sperimentale.

$R_s(1) =$	$7,546 \cdot 10^{-11} \cdot N^{1,4} \cdot V^{2,6}$	Giacchetti - Lacquaniti
$R_s(2) =$	$8,06 \cdot 10^{-8} \cdot N^{1,246} \cdot V^{1,85}$	Gasparik
$R_s(3) =$	$1,20 \cdot 10^{-9} \cdot N^{1,058} \cdot V^{2,446}$	De Leo - Pascale

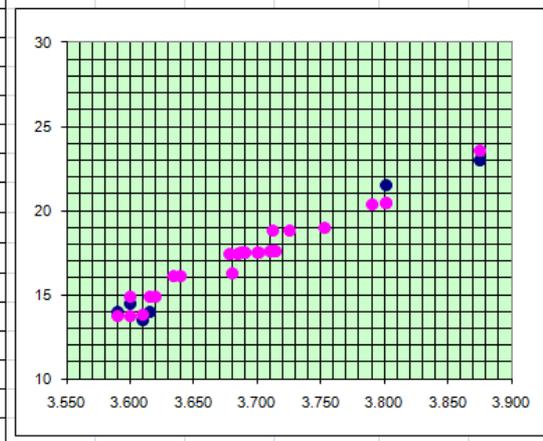
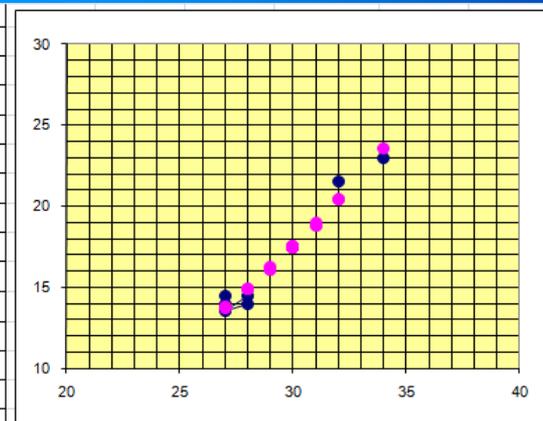
Nota: R_s è espresso in MPa se V è espresso in m/sec



Metodo SonReb

Se, infine, il SONREB viene tarato mediante lo schiacciamento di alcune carote di calcestruzzo prelevate in aree sottoposte ad indagine, aumenta notevolmente l'accuratezza della resistenza del calcestruzzo stimata.

IR	Velocità UT	RC Unitario Sperim.	SonReb		Stimato
			$R_c = e \cdot IR^f \cdot VUT^g$		
30	3700				17,51
30	3690				17,47
32	3802	21,5	e	0,00004	20,44
30	3690		f	2,09747	17,47
30	3687		g	0,71981	17,46
34	3875	23,0			23,53
29	3680				16,24
30	3689				17,47
27	3590	14,0			13,74
27	3600	14,5			13,76
28	3620		errore	3,033515502	14,91
29	3634				16,10
30	3678				17,43
32	3802		coeff. determinazione	0,968634256	20,44
32	3790				20,40
30	3712		coeff. correlazione	0,984192185	17,55
30	3713				17,55
30	3714				17,56
30	3685				17,46
29	3640				16,12
28	3600	14,5			14,85
27	3610	13,5			13,79
28	3615	14,0			14,90
31	3725				18,85
30	3689				17,47
30	3701				17,51
31	3712				18,80
30	3710				17,54
31	3753				18,95



Estrazione di carote di calcestruzzo indurito

Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Carote - Prelievo, esame e prova di compressione UNI EN 12504-1:2002

Lo scopo di tale prova è quello di estrarre carote dal calcestruzzo indurito utilizzando una carotatrice: le carote prelevate vengono esaminate accuratamente, preparate mediante spianatura o rettifica e sottoposte a prova di compressione utilizzando i procedimenti normalizzati.



Estrazione di carote di calcestruzzo indurito

Il rapporto della dimensione massima dell'aggregato presente nel calcestruzzo rispetto al diametro della carota influenza significativamente la resistenza misurata, quando si avvicina a valori maggiori di 1:3 circa.

Prima del carotaggio è necessario considerare attentamente qualsiasi implicazione strutturale che può derivare dal prelievo di una carota.



Estrazione di carote di calcestruzzo indurito



Carotatrice in funzione



Estrazione di carote di calcestruzzo indurito



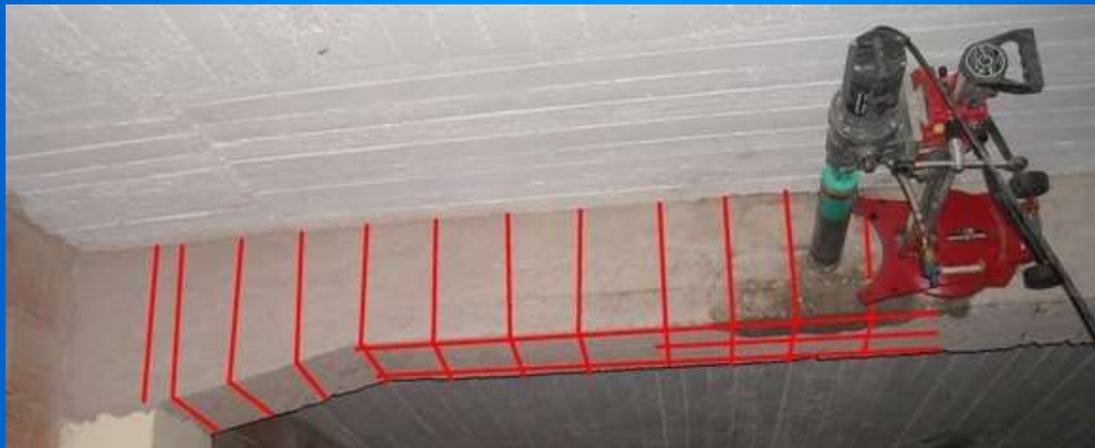
Carota di calcestruzzo



Estrazione di carote di calcestruzzo indurito

E' raccomandabile prelevare le carote in punti lontano da giunti o bordi dell'elemento di calcestruzzo e in cui è presente poca o nessuna armatura.

Pertanto, prima dell'esecuzione dei carotaggio è opportuno eseguire una indagine pacometrica per l'individuazione delle barre di armatura all'interno dell'elemento in calcestruzzo al fine da escluderle dal percorso di carotaggio.



Estrazione di carote di calcestruzzo indurito

PREPARAZIONE DELLE CAROTE

Le carote devono essere preparate di modo che il rapporto lunghezza/diametro sia:

- uguale a 2,0 se il risultato di resistenza deve essere paragonato alla resistenza cilindrica;
- uguale a 1,0 se il risultato di resistenza deve essere paragonato alla resistenza cubica.

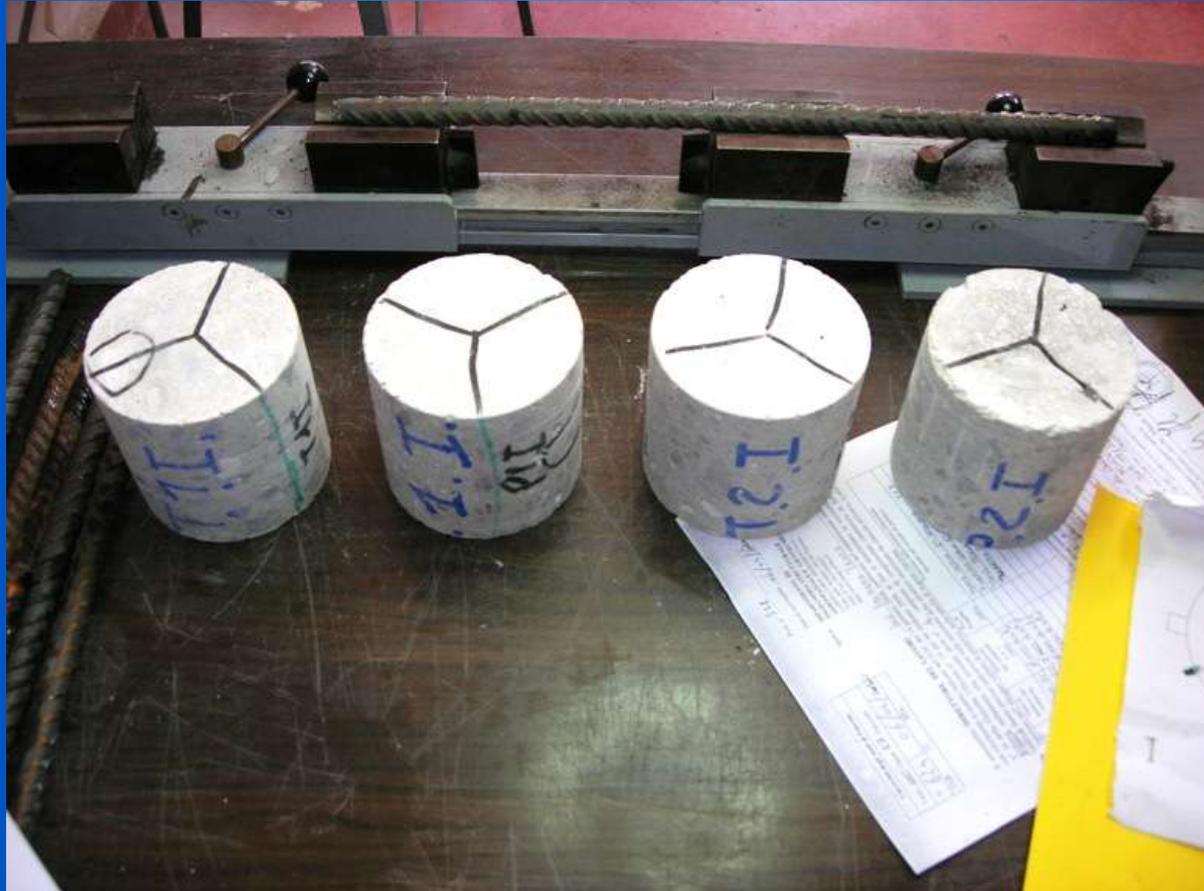
E' necessario garantire le tolleranze per :

- la planarità delle facce
- la perpendicolarità delle facce rispetto al profilo laterale
- la rettilineità della generatrice della carota

Le carote così preparate possono essere sottoposte a prova di compressione in accordo con la norma UNI EN 12390-3:2003



Estrazione di carote di calcestruzzo indurito



Carote di calcestruzzo preparate in laboratorio
per la prova a compressione



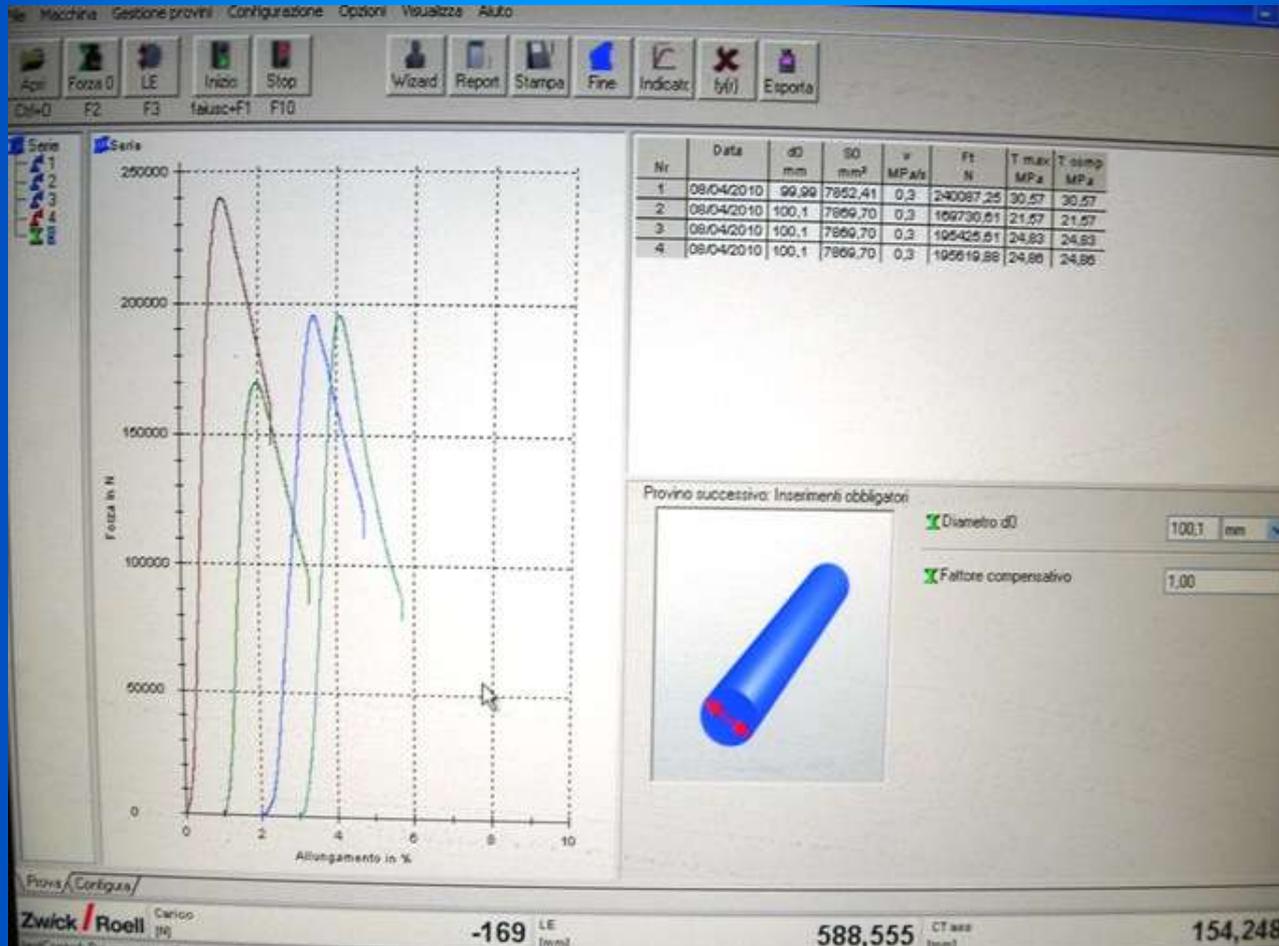
Estrazione di carote di calcestruzzo indurito



Carota di calcestruzzo sottoposta a prova di compressione



Estrazione di carote di calcestruzzo indurito



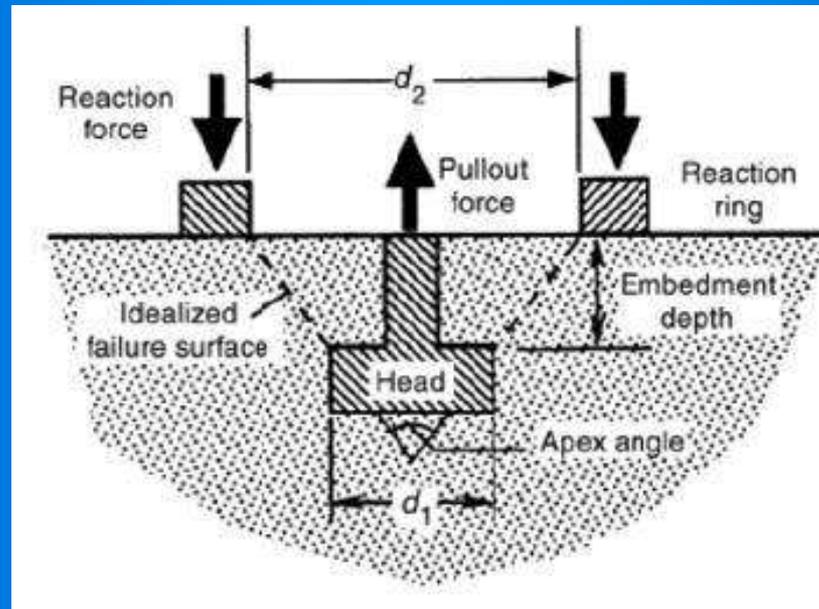
Monitoraggio in tempo reale della prova a compressione



Prova pull-out

Norma UNI EN 12504-3:2005

Lo scopo della prova consiste nello stimare la resistenza del calcestruzzo in situ in base alla forza necessaria per l'estrazione di un tassello ad espansione posizionato nel calcestruzzo indurito, mediante opportuna correlazione.



Prova pull-out

La prova viene eseguita mediante una unità di pressurizzazione manuale o automatica completa di manometro che aziona un martinetto oleodinamico collegato all'inserto inserito nel materiale da testare.



Prova pull-out

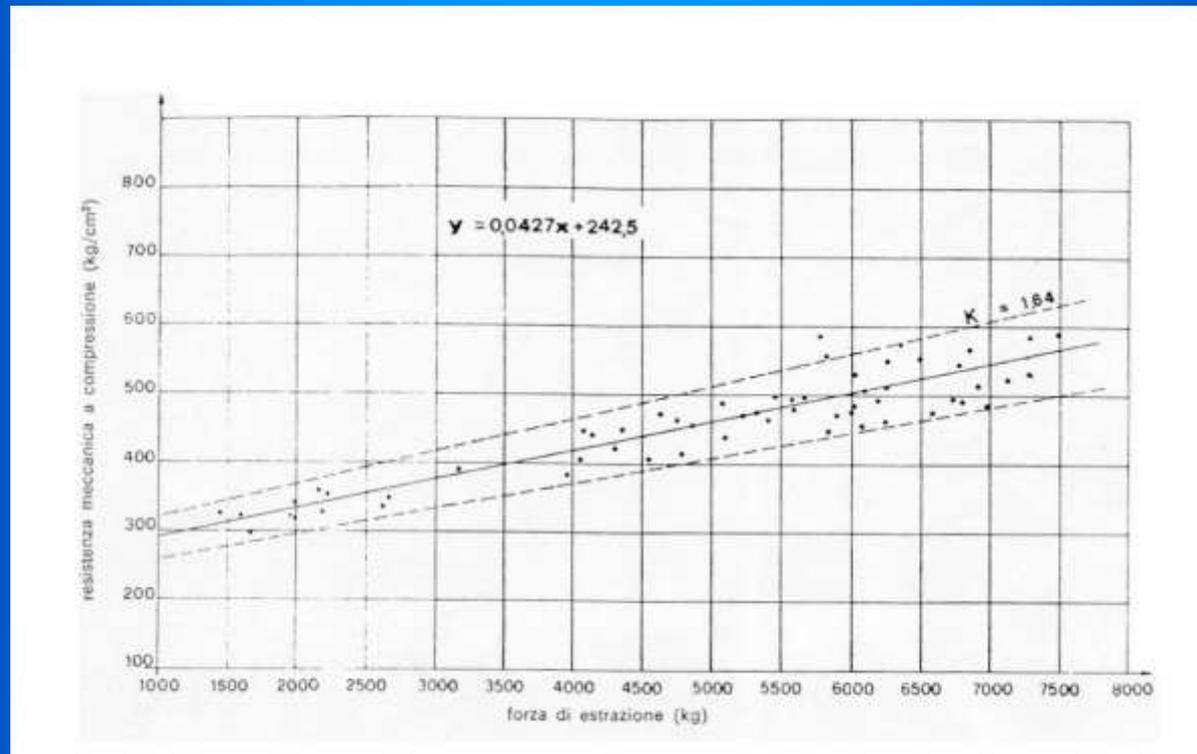


Inserto metallico prima, durante e dopo la prova pull-out



Prova pull-out

Il valore della forza ricavato dalla prova viene quindi utilizzato per la determinazione dei parametri di resistenza del calcestruzzo tramite curve di correlazione.



Prova pull-out

E' opportuno, tuttavia, combinare tale prova ai risultati di altre prove non distruttive o semidistruttive, con taratura della correlazione mediante carote estratte nelle zone indagate.

Il cono di estrazione risultante interessa la matrice cementizia e gli aggregati in profondità e per una parte più consistente rispetto al metodo sclerometrico, senza tuttavia arrecare significativi danni strutturali.

Questa prova viene infatti considerata “semi-distruttiva” data la modesta estensione del danno arrecato all'elemento strutturale indagato.



Prova con sonda Windsor

ASTM C-803, BS 1881

Tale prova consiste nel valutare la resistenza del calcestruzzo alla penetrazione di un chiodo sparato con una apposita pistola dotata di carica esplosiva opportunamente calibrata. Una volta sparato un particolare chiodo di acciaio nel calcestruzzo si misura la profondità di penetrazione del chiodo stesso.



La misura della profondità di penetrazione della sonda, o meglio la parte di sonda non infissa nel calcestruzzo, può essere messa in relazione con la resistenza a compressione del calcestruzzo stesso.



Prova con sonda Windsor

L'apparecchiatura è composta dalla pistola, dalle sonde, da un dispositivo per il controllo della distanza minima tra le sonde (di forma triangolare) e, nelle versioni più recenti, da un dispositivo di misura digitale che fornisce direttamente la resistenza stimata del calcestruzzo, una volta impostata la durezza dell'inerte misurato nella scala Mohs.



Prova con sonda Windsor



Esecuzione della prova con sonda Windsor



Prova con sonda Windsor

Il valore di tale resistenza è correlata alla lunghezza di esposizione della sonda da una legge di correlazione standard ed impostata, dalla casa costruttrice del sistema, in funzione della durezza Mohs selezionata.

Per la stima della resistenza occorre conoscere anche la durezza dell'aggregato che compone il calcestruzzo in prova.

Il metodo Mohs è universalmente riconosciuto come metodo di classificazione di durezza con valori da 1 a 10. Assieme all'apparecchiatura per la prova, il produttore fornisce una serie di nove pietre di paragone, ciascuna rappresentativa di un particolare valore di durezza Mohs.



Prova con sonda Windsor

La determinazione della durezza dell'aggregato avviene in maniera diretta, sfregando le pietre in dotazione con l'inerte prelevato dall'area di prova, in modo che si scalfiscano. Si comincia con la pietra più dura (durezza Mohs 9) e si procede con le altre, concludendo l'operazione quando risulta essere l'inerte a scalfire la pietra di prova.



Esempio di indagine SonReb



Ricerca delle barre d'armatura da escludere dal percorso delle indagini



Esempio di indagine SonReb



Tracciamento delle barre di armatura rilevate



Esempio di indagine SonReb



Regolarizzazione della superficie con pastiglia al carburo di silicio



Esempio di indagine SonReb



Verifica visiva delle aree da sottoporre ad indagini



Esempio di indagine SonReb



Tracciamento dei punti su cui effettuare le battute sclerometriche



Esempio di indagine SonReb



Tracciamento dei punti su cui effettuare le battute sclerometriche



Esempio di indagine SonReb



Area di prova pronta per le battute sclerometriche



Esempio di indagine SonReb



Area di prova pronta per le battute sclerometriche



Esempio di indagine SonReb



Verifica dello sclerometro all'incudine di taratura



Esempio di indagine SonReb



Esecuzione delle battute sclerometriche



Esempio di indagine SonReb



Esecuzione delle battute sclerometriche



Esempio di indagine SonReb



Individuazione dei percorsi per la prova ultrasonica
(trasmissione diretta)



Esempio di indagine SonReb



Applicazione di grasso per l'accoppiamento acustico delle sonde



Esempio di indagine SonReb



Verifica della strumentazione alla barra di taratura



Esempio di indagine SonReb



Esecuzione dell'indagine ultrasonica per trasmissione diretta



Esempio di indagine SonReb



Esecuzione dell'indagine ultrasonica per trasmissione diretta



Bibliografia

Norme tecniche per le costruzioni , pubblicate sul Supplemento Ordinario della G.U. n. 29 del 4.02.2008 con l'approvazione del **Decreto 14 gennaio 2008** del Ministero delle Infrastrutture.

Circolare Esplicativa Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 contenente ***“Istruzioni per l’applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008”***.

Norma UNI EN 206-1:2006

Norme UNI EN delle serie 12350, 12390, 12504

Roberto Giacchetti, Stefano Bufarini, Vincenzo D’Aria – ***Il controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura***, casa editrice EPC Libri – 2005.



Questa presentazione è scaricabile dal sito

www.diagnosticastrutturale.it

Per info sulla associazione MASTER

www.masteritalia.org

