

DUREZZA DEGLI INERTI E METODO WINDSOR

Raffaele Pucinotti

*Dipartimento di Meccanica e Materiali, Università “Mediterranea” di Reggio Calabria;
e-mail: raffaele.pucinotti@unirc.it tel. +390965-875223, fax. +390965-875201*

SOMMARIO

La stima della resistenza a compressione dei calcestruzzi in situ con i metodi penetrometrici è fortemente influenzata dalla durezza degli inerti contenuti all'interno della pasta di cemento. Infatti le incertezze nella stima della resistenza in situ aumentano all'aumentare del numero di classi di durezza presenti nei conglomerati cementizi indagati.

Del resto le curve di taratura fornite dai costruttori sono redatte facendo riferimento a calcestruzzi standard confezionati con inerti appartenenti ad un'unica classe di durezza Mohs e pertanto mal si prestano per i calcestruzzi di uso corrente confezionati generalmente con inerti di provenienza fluviale è pertanto appartenenti a più classi di durezza.

Nel presente lavoro viene affrontato il problema della durezza degli inerti. Viene cioè valutata l'influenza della durezza degli inerti sui risultati della stima della resistenza a compressione del calcestruzzo indurito mediante l'applicazione del metodo Windsor. In particolare viene analizzato come la stima della resistenza a compressione del calcestruzzo in situ sia influenzata della durezza degli inerti.

A tal proposito, una serie di modelli e di campioni di conglomerato cementizio sono stati confezionati sia con inerti di provenienza fluviale appartenenti a differenti classi di durezza Mohs sia con aggregate provenienti da frantoio ed appartenenti ad una singola classe.

La resistenza a compressione del calcestruzzo stimata con il metodo Windsor viene confrontata con quella ottenuta su carote estratte dai modelli stessi.

La stima della resistenza a compressione del calcestruzzo utilizzato per confezionare i modelli viene effettuata scegliendo per gli inerti la più probabile durezza “equivalente”. Le applicazioni hanno confermato come il sistema Windsor è più affidabile quando gli aggregati utilizzati per confezionare i calcestruzzi appartengono a poche classi di durezza Mohs.

Introduzione

La valutazione della resistenza a compressione dei calcestruzzi in situ riveste un ruolo fondamentale per l'ingegnere strutturista che si trova ad affrontare le problematiche relative alla valutazione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti e non solo.

Infatti, la sua importanza è ancora più evidente tutte le volte in cui si renda necessaria la valutazione e la stima dello stato di degrado di elementi strutturali oppure sia richiesta la stima dello stato di “salute” di una costruzione attraverso la valutazione del suo stato di sicurezza.

Non è facile infatti la determinazione della resistenza “attuale” dei calcestruzzi in situ; si tratta infatti di un'operazione molto delicata ed estremamente isidiosa. Pertanto attesa

l'importanza che questa riveste per le analisi strutturali deve essere affrontata con la giusta cautela e la corretta responsabilità.

Soprattutto deve essere affrontata da tecnici dotati di adeguata conoscenza e ottima capacità interpretativa.

Subito dopo San Giuliano c'è stata la corsa, da parte di molte amministrazioni, all'affidamento di incarichi per la valutazione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti, soprattutto di edilizia scolastica.

Contemporaneamente sono nate, sul mercato numerose aziende dotate delle strumentazioni più moderne e sofisticate ed in grado di condurre indagini non distruttive in situ su elementi strutturali di qualsiasi forma e materiale.

Di queste alcune sono praticamente improvvisate, composte da personale tecnico quasi per nulla formato.

Se si unisce a ciò la scarsa conoscenza da parte di molti professionisti delle tecniche di indagine non distruttiva nonché l'avventatezza e la leggerezza con cui procedono alla comprensione ed interpretazione dei risultati delle indagini, ne viene fuori una miscela che accresce notevolmente i rischi.

E' evidente allora come la conduzione e l'interpretazione di indagini così delicate non possono essere affidate alla conduzione ed interpretazione di improvvisati "patologi strutturali".

Pertanto, le incertezze relative alla corretta esecuzione di indagini non distruttive, finalizzate alla valutazione dello stato di "salute" di elementi strutturali, devono essere considerate con estrema attenzione da parte degli operatori.

In Italia ormai da un po' di tempo le associazioni e gli operatori del settore hanno raggiunto tale consapevolezza e si stanno adoperando con estrema rapidità: da una parte, mediante l'attivazione di corsi per la qualificazione del personale tecnico e per la creazione di figure professionali adeguate e dall'altra, attraverso la redazione di procedure operative standard tali da rendere la conduzione delle indagini non distruttive indipendenti dall'operatore e quindi più affidabili (almeno in termini di procedura).

Le offerte formative da una parte, le linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive, (in fase di ultimazione presso il Servizio Tecnico Centrale), dall'altra, rappresentano un chiaro esempio di questa tendenza.

Presso il Laboratorio di Prove sui Materiali e Sulle Strutture del Dipartimento di Meccanica e Materiali dell'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria e presso lo stabilimento dell'Azienda Ambrocem di Ambrogio Leandro (Calcestruzzi e Movimenti di Terra), sono stati confezionati una serie di campioni in conglomerato cementizio con lo scopo di valutare l'influenza della durezza degli inerti sui risultati delle prove penetrometriche e quindi sulla stima della resistenza a compressione.

Nel seguito vengono riportati i primi risultati della campagna sperimentale ed effettuati alcuni confronti tra le curve interpolanti i risultati sperimentali e le curve di correlazione fornite dalle ditte produttrici del sistema Windsor.

Verranno inoltre effettuate alcune considerazioni sull'utilizzo delle tecniche penetrometriche nella stima della resistenza a compressione del calcestruzzo in situ e sull'attendibilità dei risultati.

1. Le Indagini Penetrometriche

I metodi penetrometrici si basano sulla determinazione della profondità di penetrazione di una sonda (in lega di acciaio) infissa nel calcestruzzo con una certa energia.

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.

1.1. Il Metodo Windsor

Con il nome di “Windsor probe equipment” viene indicato il sistema più diffuso per la conduzione di indagini penetrometriche; esso è composto 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, una volta impostata la durezza dell’inerte misurato nella scala Mohs (Figura 1).

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.

E’ opportuno sottolineare che proprio per i calcestruzzi più scadenti, per i quali servono stime più accurate della resistenza a compressione del calcestruzzo sotto indagine, gli scarti derivanti dalla presenza di più classi di durezza Mohs degli inerti, diventano più marcati ed il metodo quindi più incerto, in quanto più legato alla corretta assegnazione della durezza equivalente da assegnare agli inerti.

A questo si aggiunge la considerazione che comunque i conglomerati nella maggior parte dei casi vengono confezionati con inerti di provenienza fluviale che, molto spesso, contengono inerti appartenenti a classi di durezza variabili tra 3 e 7.



Figura 1: Windsor probe equipment – a) pistola (1), sonda (2), carica balistica (3) – b) dima (1), dispositivo di misura digitale (2).

Si ricorda che la durezza degli inerti viene universalmente misurata facendo riferimento alla scala Mohs (Figura 2).

Questa suddivide gli inerti in 10 classi; la prima classe, individuata con il numero 1 si riferisce al talco (all’inerte più tenero), l’ultima classe, la numero 10, si riferisce al

diamante (all'elemento più duro).



Figura 2: Inerti campione utilizzati nella stima della durezza Mohs.

2. I Campioni

Due differenti gruppi di campioni sono stati preparati e successivamente sottoposti a prova [3].

Il primo gruppo indicato con la sigla WSF è stato confezionato con inerti di provenienza fluviale, mentre il secondo, indicato con la sigla WSS, è stato confezionato, invece, con inerti provenienti da frantoio (Figura 3).

Per ciascun gruppo di campioni e per ciascuna classe di resistenza considerata in fase di preparazione dei campioni sono stati confezionati anche una serie di cubetti di calcestruzzo di lato 150 mm.

Inoltre da ciascun modello sono state estratte due carote le successive operazioni di confronto (Figura 4).

2.1. Campioni WSF confezionati con inerti provenienti da fiume

Utilizzando inerti facilmente reperibili sul mercato e provenienti dal torrente Valanidi di Reggio Calabria, sono stati confezionati un totale di 12 modelli 600x600x200-mm.

Il diametro massimo degli aggregati era di 25 mm con durezza Mohs variabile tra 3 e 7.

In particolare:

- 6 campioni sono stati confezionati per ottenere un calcestruzzo di classe C20/25;
- 6 per ottenere invece un calcestruzzo di classe C25/30.

I diversi valori di resistenza a compressione sono stati ottenuti variando opportunamente la composizione ed il rapporto acqua-cemento dei calcestruzzi confezionati [3].



Figura 3: Inerti utilizzati: a sinistra inerti fluviali; a destra inerti di frantoio



Figura 4: Carotaggi sui Modelli

2.2. Campioni WSS confezionati con inerti provenienti da cava

Gli inerti utilizzati per confezionare questi campioni, erano provenienti dalla Basilicata; sono inerti di tipo calcareo con diametro massimo pari a 25 mm e durezza stimata Mohs compresa tra 4 e 5.

Con tali inerti sono stati preparati 6 campioni di dimensioni 600x600x200-mm; in particolare

- 3 appartenenti alla classe di resistenza C20/25;
- 3 appartenenti alla classe C25/30.

Le caratteristiche degli aggregati, la ricetta di impasto e le curve granulometriche degli stessi sono riportati in [3].

3. I Risultati

I risultati delle indagini sperimentali sono di seguito sinteticamente riportati e commentati.

In particolare la Figura 5 riporta in ascissa i valori medi delle lunghezze esposte delle Sonde Windsor misurate sperimentalmente per i singoli campioni ed in ordinata i valori delle resistenze a compressione ricavate con prove a compressione eseguite sulle Carote estratte dai modelli sperimentali.

In particolare in [3] è stato possibile stimare la durezza equivalente per i due diversi tipi di inerte utilizzati:

1. Campioni WSF – Durezza Equivalente Mohs=3.15;
2. Campioni WSS – Durezza Equivalente Mohs=4.50.

Le curve interpolanti per i due diversi tipi di campioni sono riportati nella stessa Figura 5 insieme ai limiti di confidenza al 95%.

Per tali curve ottenute per regressione con il metodo dei minimi quadrati, sono riportati anche i valori dei coefficienti di correlazione R^2 . In entrambi i casi esiste una buona

correlazione con i dati sperimentali.

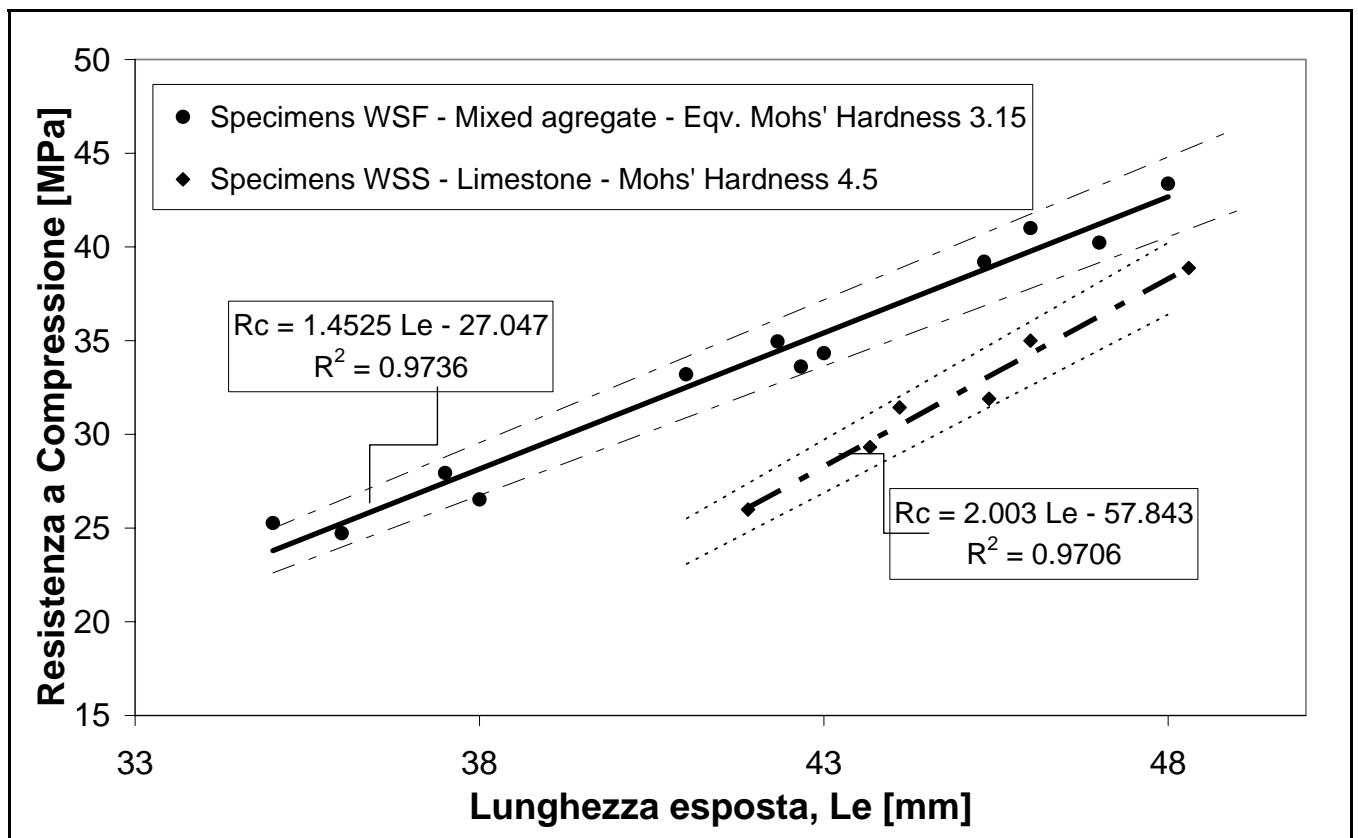


Figura 5: Curve interpolanti - Lunghezza Esposta e Resistenza a Compressione per i Modelli esaminati.

La Figura 6 riporta i punti sperimentali e le curve interpolanti per i due differenti tipi di campioni insieme alle curve di interpolazione che sono resi disponibili dal produttore del "Windsor Probe System".

Si ricorda che queste ultime sono delle curve costruite per differenti valori di durezza Mohs dell'inerte per un calcestruzzo standard.

La procedura seguita per la loro costruzione prevede la preparazione di cubetti di calcestruzzo di 150 mm di lato oppure di cilindri 150x300-mm e di modelli di dimensioni 600x600x200-mm (cioè dei campioni delle stesse dimensioni geometriche di quelli preparati nel presente studio).

Maggiori dettagli su tale procedura possono essere ricavati da [5 e 7].

Come appare evidente dall'osservazione della Figura 6 la curva di interpolazione ottenuta per i campioni confezionati con un solo tipo di inerte (campioni WSS), cioè con campioni appartenenti ad una sola classe di durezza Mohs, si inserisce perfettamente tra le curve standard (le curve fornite con lo strumento) relative alla durezza Mohs 3 e 4. Come si ricorderà infatti i campioni WSS sono stati confezionati con inerte calcareo la cui durezza era stimata essere compresa tra 4 e 5.

Pertanto in questo caso la Sonda Windsor restituisce valori perfettamente in linea con i risultati sperimentali.

Ancora, la curva interpolante oltre ad inserirsi perfettamente tra le curve standard Mohs 4 e Mohs 5 presenta la stessa pendenza di queste.

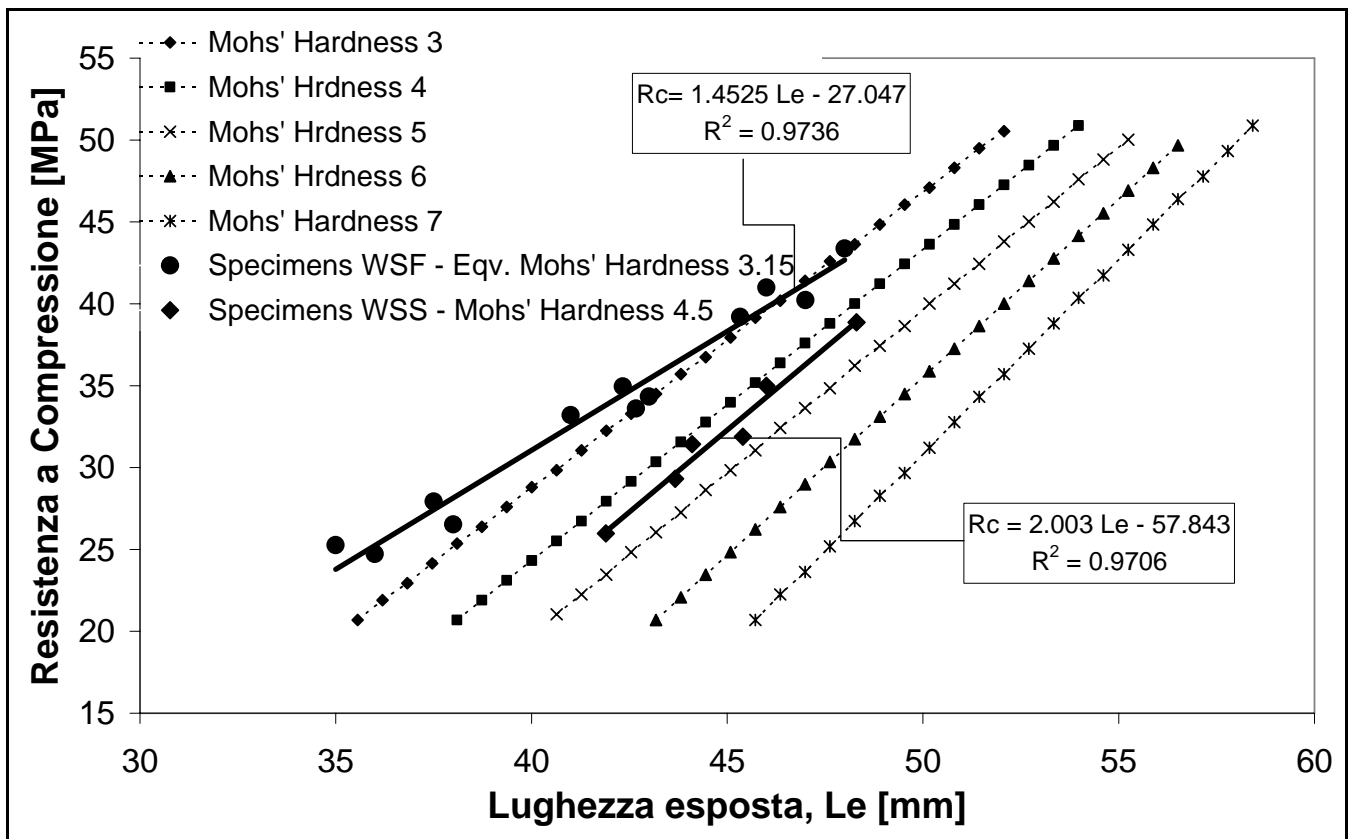


Figura 6: Correlazione tra Lunghezza Esposta e Resistenza a Compressione per i Modelli esaminati ottenute con differenti leggi di correlazione.

Non è così invece per i campioni WSF confezionati con inerti appartenenti a più classi di durezza Mohs. Per i campioni WSF, come si ricorderà, infatti, la durezza dell'inerte era variabile tra 3 e 7.

In questo caso la curva interpolante non solo non si inserisce tra quelle standard relative alla durezza Mohs 3 e 4, ma presenta anche una pendenza completamente differente. Solo per valori della lunghezza esposta compresi tra 45 mm e 50 mm i valori forniti dalla Sonda Windsor restituirebbero stime accettabili della resistenza a compressione sempre se la stima della durezza equivalente dell'inerte venga a sua volta stimata con una buona precisione (3.15 nel caso dei campioni WSF).

4. Conclusioni

Nel presente lavoro sono stati presi in considerazione e riportati i risultati di una campagna di indagine sperimentale condotta su campioni di conglomerato cementizio appositamente confezionati con lo l'obiettivo di valutare l'influenza della durezza dell'inerte sui risultati delle prove penetrometriche.

A tal proposito sono stati confezionati una serie di campioni delle stesse dimensioni di quelli utilizzati per la redazione delle curve di taratura della Sonda Windsor (600x600x200-mm).

In particolare sono stati confezionati campioni sia con calcestruzzi confezionati con inerti appartenenti ad una singola classe di durezza Mohs (valore stimato 4.5) sia con inerti

appartenenti a più classi di durezza (compresa tra 3 e 7).

Le indagini condotte hanno confermato che il metodo Windsor è fortemente influenzato dalla durezza degli inerti, presentando maggiori incertezze all'aumentare del numero delle classi di durezza a cui appartengono gli aggregati che compongono il calcestruzzo.

I risultati ed i confronti sperimentali hanno messo in evidenza che:

- il metodo della Sonda Windsor risulta sicuramente più affidabile quando gli inerti contenuti negli elementi da indagare appartengono a due od al massimo a tre classi di durezza Mohs;
- risulta necessaria, nel caso di calcestruzzo confezionato con inerti appartenenti a più di due classi di durezza Mohs, la redazione di idonee curve di taratura;
- le curve di taratura che vengono fornite in dotazione con lo strumento restituiscono risultati attendibili esclusivamente per calcestruzzi confezionati con inerti appartenenti ad una sola classe di durezza;
- le stesse curve di taratura possono essere utilizzate, con le dovute cautele, per la stima della resistenza per calcestruzzi confezionati con inerti appartenenti anche due o tre classi di durezza Mohs.

Si può pertanto concludere affermando che nel caso di calcestruzzi confezionati con una sola classe di inerti è estremamente importante valutare la corretta durezza dell'unico tipo di inerte presente nel calcestruzzo, nel caso in esame 4.5, mentre nel caso di inerti appartenenti a più classi di durezza, risulta di fondamentale importanza per la stima delle resistenze, la costruzione di idonee curve di taratura.

Infatti la sola stima della durezza equivalente non potrà dare risultati soddisfacenti attesa la differente pendenza che presentano le curve standard (cioè quelle fornite dal costruttore) e le curve di interpolazione ricavate sperimentalmente.

Come è stato possibile osservare, solo per alcuni intervalli di resistenza, ovvero di lunghezza esposta della sonda, le curve standard fornirebbero risultati corretti.

La difficoltà concreta sta nella impossibilità di individuare tale intervallo senza passare attraverso la costruzione di una apposita curva di taratura.

Ringraziamenti

Questo studio è stata possibile grazie al sostegno fornito dalla Regione Calabria.

Si ringrazia l'Azienda Ambrocem di Ambrogio Leandro (Calcestruzzi e Movimenti di Terra), torrente Valanidi Reggio Calabria.

Bibliografia

1 Pucinotti R., Patologia e Diagnostica del Cemento Armato (Indagini non Distruttive e Carotaggi nelle Opere da Consolidare) Dario Flaccovio Editore, 2006;

2 Pucinotti R., L'utilizzo del Metodo Windsor nella Valutazione della Resistenza Meccanica del Conglomerato Cementizio, Convegno Internazionale Crolli e Affidabilità delle Strutture Civili, Università degli Studi di Messina 20-21 Aprile 2006;

3 Pucinotti R., D'Elia A., De Lorenzo R.A., Sonda Windsor: Sperimentazione su Campioni in Conglomerato Cementizio, atti del Convegno Nazionale "Sperimentazione su Materiali e Strutture", pp. 684-693, Venezia, 6-7 dicembre, 2006;

4 Pucinotti R., Indagini non Distruttive nella Valutazione del Degrado di Elementi

Strutturali in Cemento Armato, L'Industria Italiana del Cemento, n.810 giugno 2005;

5 Malhotra V. M., Carino N. J., CRC Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, CRC Press, 1991;

6 Braga F., Dolce M., Masi A., Nigro D., Valutazione delle caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi di bassa resistenza mediante prove non distruttive, L'Industria Italiana del Cemento, 3, pp. 201-208, 1992;

7 Malhotra V. M., and Painter K.P., Evaluation of the Windsor Probe Test for Estimating Compressive strength of Concrete, Mines Branch Investigation Rep. IR 71-50, Ottawa, Canada, 1971.