



Centro Internazionale  
di Aggiornamento  
Sperimentale-Scientifico

SEMINARIO

DICAAR

# DURABILITÀ DELLE COSTRUZIONI - LE INDAGINI IN SITO E TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO

## RUOLO DELLE INDAGINI SPERIMENTALI NELLA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DI COSTRUZIONI ESISTENTI

Ing. M. Valdés – D.I.C.A.AR. Università di Cagliari

CAGLIARI, 8 APRILE 2016



Ai sensi delle NTC è definita **costruzione esistente** quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento, la struttura completamente realizzata [NTC p.8.1]

La **valutazione della sicurezza** è definita come un processo quantitativo volto a :

- ✓ stabilire se una struttura esistente sia in grado o meno di resistere alle combinazioni di azioni previste nelle NTC
- ✓ determinare l'entità massima delle azioni, nelle combinazioni di progetto previste, che la struttura è capace di sostenere con i margini di sicurezza richiesti dalle NTC

**La valutazione della sicurezza** deve permettere di stabilire se:

- ✓ l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- ✓ l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- ✓ sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.

Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a **valutazione della sicurezza** quando ricorra anche una delle seguenti situazioni:

- ✓ **riduzione evidente della capacità resistente** e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura),
- ✓ significativo **degrado e decadimento** delle caratteristiche meccaniche dei materiali,
- ✓ **azioni eccezionali** (urti, incendi, esplosioni),
- ✓ situazioni di funzionamento ed uso anomalo, **deformazioni** significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione;
- ✓ provati **gravi errori** di progetto o di costruzione;
- ✓ **cambio della destinazione d'uso** della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;
- ✓ **interventi non dichiaratamente strutturali**, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidità.

La valutazione della sicurezza ed il progetto degli interventi sono normalmente affetti da un **grado di incertezza diverso**, non necessariamente maggiore, da quello degli edifici di nuova progettazione

L'esistenza di fatto della struttura comporta la possibilità di determinare le effettive caratteristiche meccaniche dei materiali e delle diverse parti strutturali, che possono avere anche notevole variabilità, nell'ambito della stessa struttura, e non possono essere imposte come dati progettuali da conseguire in fase costruttiva, come avviene per una costruzione nuova.

**Una corretta e accurata valutazione riduce le incertezze che, in una costruzione nuova, sono insite nel passaggio dal dato di progetto alla realizzazione.**

Nelle costruzioni esistenti è cruciale la **conoscenza della struttura** (geometria e dettagli costruttivi) **e dei materiali** che la costituiscono (calcestruzzo, acciaio, mattoni, malta, ecc.).

Per questo motivo la norma introduce un'altra categoria di fattori, i **“fattori di confidenza”**, strettamente legati al **livello di conoscenza** conseguito nelle indagini conoscitive, e che vanno preliminarmente a ridurre i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente, per ricavare i valori da adottare, nel progetto o nella verifica, e da ulteriormente ridurre, quando previsto, mediante i coefficienti parziali di sicurezza.

La verifica tecnica di un edificio esistente comporta le seguenti attività:

## **I. ANALISI STORICO-CRITICA.**

Difficoltà nel reperimento dei disegni originali di progetto necessari a ricostruirne la storia progettuale e costruttiva.

Necessità di raccogliere una documentazione sufficientemente completa sulla loro storia edificatoria per ricostruire ed interpretare le diverse fasi edilizie.

È opportuno svolgere delle considerazioni sullo sviluppo storico del quartiere in cui l'edificio è situato cercando di acquisire informazioni sugli aspetti urbanistici e storici che ne hanno condizionato e guidato lo sviluppo, con particolare riferimento agli aspetti di interesse per l'edificio in esame

**conclusioni di tipo operativo per la modellazione meccanica globale dell'edificio**

## II. RILIEVO

Il rilievo si compone di un insieme di procedure relazionate e mirate alla conoscenza della geometria esterna delle strutture e dei dettagli costruttivi. Questi ultimi possono essere occultati alla vista (ad esempio disposizione delle armature nelle strutture in c.a.) e possono richiedere rilievi a campione e valutazioni estensive per analogia.

Mentre relativamente a **dettagli costruttivi e proprietà dei materiali** si accettano crescenti livelli di approfondimento dell'indagine, **per la geometria esterna, si richiede che il rilievo sia compiuto in maniera quanto più completa e dettagliata possibile**, ai fini della definizione del modello strutturale necessario alla valutazione della sicurezza per le azioni prese in esame.

La rappresentazione dei risultati del rilievo dovrà essere effettuata attraverso piante, prospetti e sezioni, oltre che con particolari costruttivi di dettaglio.

Ing. Monica Valdés

### III. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

Il piano delle indagini parte sia della fase diagnostica che del progetto vero e proprio, e dovrà essere predisposto nell'ambito di un quadro generale volto a mostrare le motivazioni e gli obiettivi delle indagini stesse.

Nel caso in cui vengano effettuate prove sulla struttura, attendibili ed in numero statisticamente significativo, *i valori delle resistenze meccaniche dei materiali da utilizzare nel calcolo strutturale vengono desunti dalle prove in situ sui materiali e prescindono dalle classi di resistenza previste nelle NTC.*



Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, saranno individuati i “livelli di conoscenza” dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali), e definiti i correlati **fattori di confidenza**, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello.

Si definiscono tre livelli di conoscenza:

### **livello di conoscenza LC1:**

quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, ***verifiche in situ limitate*** sui dettagli costruttivi ed **indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali**; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1.35**.

### **livello di conoscenza LC2:**

quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, ***verifiche in situ estese ed esaustive*** sui dettagli costruttivi ed **indagini in situ estese sulle proprietà dei materiali**; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1.2**

### **livello di conoscenza LC3:**

quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, ***verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi***, **indagini in situ esaustive sulle proprietà dei materiali**; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1**

In relazione al tipo di struttura in esame le NTC stabiliscono i parametri minimi necessari ad ottenere il livello di conoscenza desiderato

Tabella C8A.1.1 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate  Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1.35
LC2			Indagini in situ estese  Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.20
LC3		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ esaustive  -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1  -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).  -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1.00

Tabella C8A.1.2 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

# Progetto della campagna di indagini sperimentali

La pianificazione delle indagini strumentali rappresenta una fase cruciale della verifica di sicurezza di un edificio perché la tipologia di indagini eseguite e i risultati ottenuti possono condizionare pesantemente il progetto finale di riqualificazione/restauro o ristrutturazione

Le aree di prova, da cui devono essere estratti i campioni o sulle quali saranno eseguite le prove, devono essere scelte in modo da permettere la valutazione della resistenza meccanica della struttura o di una sua parte interessata all'indagine. Le aree ed i punti di prova debbono essere preventivamente identificati e selezionati in relazione agli obiettivi

***La dimensione e la localizzazione dei punti di prova dipendono dal metodo prescelto, mentre il numero di prove da effettuare dipende dall'affidabilità desiderata nei risultati***

Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

Le Norme tecniche (app. C8A), forniscono al progettista delle indicazioni riguardo la tipologia di indagini in situ da eseguire e la loro estensione per la verifica delle proprietà dei materiali, in relazione al LC desiderato.

## **Costruzioni in muratura**

Paragrafo C8A.1.A - Appendice C8A - Circolare n° 617/2009

### **LC1 - Indagini in situ limitate:**

in questo caso si tratta di sole “**indagini visive**” che servono a completare le informazioni sulle proprietà dei materiali ottenute dalla letteratura, o dalle regole in vigore all’epoca della costruzione.

Tali indagini visive sono condotte dopo la **rimozione di una zona di intonaco** di almeno 1m x 1m, al fine di individuare forma e dimensione dei blocchi di cui è costituita, eseguita preferibilmente in corrispondenza degli angoli, al fine di **verificare anche le ammorsature tra le pareti murarie.**

E’ da valutare, anche in maniera approssimata, la **compattezza della malta.** Importante è anche valutare la capacità degli elementi murari di assumere un comportamento monolitico in presenza delle azioni, tenendo conto della qualità della connessione interna e trasversale attraverso saggi localizzati, che interessino lo spessore murario.

## **LC2 - Indagini in situ estese:**

Le indagini visive di cui al LC1 sono effettuate in questo caso in maniera estesa e sistematica, con **saggi superficiali ed interni per ogni tipo di muratura presente.**

Possono essere eseguite **Prove con martinetto piatto doppio e prove di caratterizzazione della malta** (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, etc.), e eventualmente di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) consentono di individuare la tipologia della muratura.

**È opportuna una prova per ogni tipo di muratura presente.**

**Metodi di prova non distruttivi** (prove soniche, prove sclerometriche, penetrometriche per la malta, etc.) possono essere impiegati a complemento delle prove richieste.

Qualora esista una chiara, comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi, in sostituzione delle prove sulla costruzione oggetto di studio possono essere utilizzate prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona.



### LC3 - Indagini in situ esaustive:

Servono per ottenere **informazioni quantitative sulla resistenza del materiale**. Oltre alle prove richieste dalle indagini in situ estese si effettua una ulteriore serie di prove sperimentali che, per numero e qualità, siano tali da **consentire di valutare le caratteristiche meccaniche della muratura**.

La misura delle caratteristiche meccaniche della muratura si ottiene mediante esecuzione di prove, in situ o in laboratorio (su elementi non disturbati prelevati dalle strutture dell'edificio). Le prove possono in generale comprendere ***prove di compressione diagonale su pannelli o prove combinate di compressione verticale e taglio***. *Metodi di prova non distruttivi possono essere impiegati in combinazione, ma non in completa sostituzione di quelli sopra descritti*. Qualora esista una chiara, comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi, in sostituzione delle prove sulla costruzione oggetto di studio possono essere utilizzate prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona

# Costruzioni in c.a. e in acciaio

Circolare N.617/2009, Tabelle C8A.1.3.a e C8A.1.3.b – sono indicati esattamente la percentuale di elementi strutturali primari da indagare per ciascun tipologia (travi, pilastri, pareti, ...), privilegiando comunque gli elementi che svolgono un ruolo più critico nella struttura, quali generalmente i pilastri.

Tabella C8A.1.3a – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)(a)	Prove (sui materiali) (b)(c)
	Per ogni tipo di elemento “primario” (trave, pilastro...)	
Verifiche limitate	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m2 di piano dell’edificio, 1 campione di armatura per piano dell’edificio
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m2 di piano dell’edificio, 2 campioni di armatura per piano dell’edificio
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell’armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m2 di piano dell’edificio, 3 campioni di armatura per piano dell’edificio

Ing. Monica Valdés

Tabella C8A.1.3b – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in acciaio

	Rilievo (dei collegamenti)(a)	Prove (sui materiali) (b)
	Per ogni tipo di elemento “primario” (trave, pilastro...)	
Verifiche limitate	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 15% degli elementi	1 provino di acciaio per piano dell'edificio, 1 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio
Verifiche estese	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 35% degli elementi	2 provini di acciaio per piano dell'edificio, 2 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 50% degli elementi	3 provini di acciaio per piano dell'edificio, 3 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio

La definizione della numerosità dei provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati nelle tabelle della norma, ha valore indicativo e dovrebbe essere adattata ai singoli casi, tenendo conto dei seguenti aspetti:

- ❖ Nel controllo del ***raggiungimento delle percentuali di elementi indagati*** ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle **eventuali situazioni ripetitive**, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.
- ❖ Le **prove sugli acciai sono finalizzate all'identificazione della classe dell'acciaio** utilizzata con riferimento alla **normativa vigente all'epoca** di costruzione.  
Ai fini del raggiungimento del numero di prove sull'acciaio necessario per il livello di conoscenza è opportuno **tener conto dei diametri (nelle strutture in c.a.) o dei profili (nelle strutture in acciaio) di più diffuso impiego** negli elementi principali con esclusione delle staffe.

- ❖ **Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.**
- ❖ **Il numero di provini riportato nelle tabelle può esser variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale.**

Nel caso del calcestruzzo in opera tali caratteristiche sono spesso legate alle modalità costruttive tipiche dell'epoca di costruzione e del tipo di manufatto, di cui occorrerà tener conto nel pianificare l'indagine. Sarà opportuno, in tal senso, prevedere l'effettuazione di una seconda campagna di prove integrative, nel caso in cui i risultati della prima risultino fortemente disomogenei.

# ESEMPIO DI PROGETTO DI UNA CAMPAGNA DIAGNOSTICA SU UN EIFICIO IN C.A.

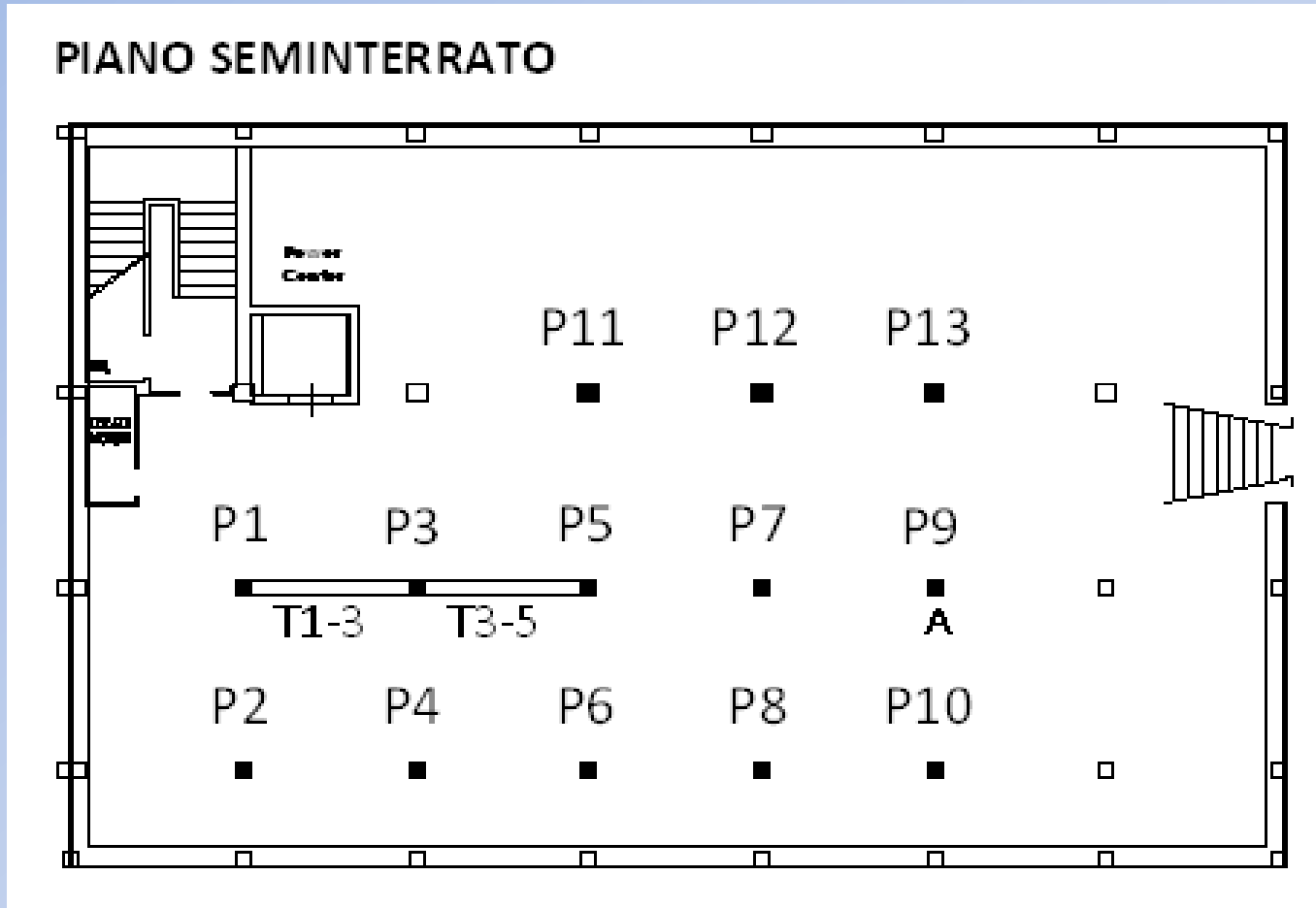
**livello di conoscenza adeguato “LC2”**

(Circ.C.S.LL.PP. N° 617 del 02/02/2009 – p. C8A. 1.B)

<b>Livello di conoscenza</b>	<b>Dettagli strutturali</b>	<b>Proprietà dei materiali</b>	<b>Fattore di confidenza</b>
LC2 conoscenza adeguata	quantità e disposizione dell'armatura verificata per almeno il 35% degli elementi primari (travi, pilastri)	2 provini di cls per 300m <sup>2</sup> di piano dell'edificio; 2 campioni di armatura per piano dell'edificio	FC = 1.20

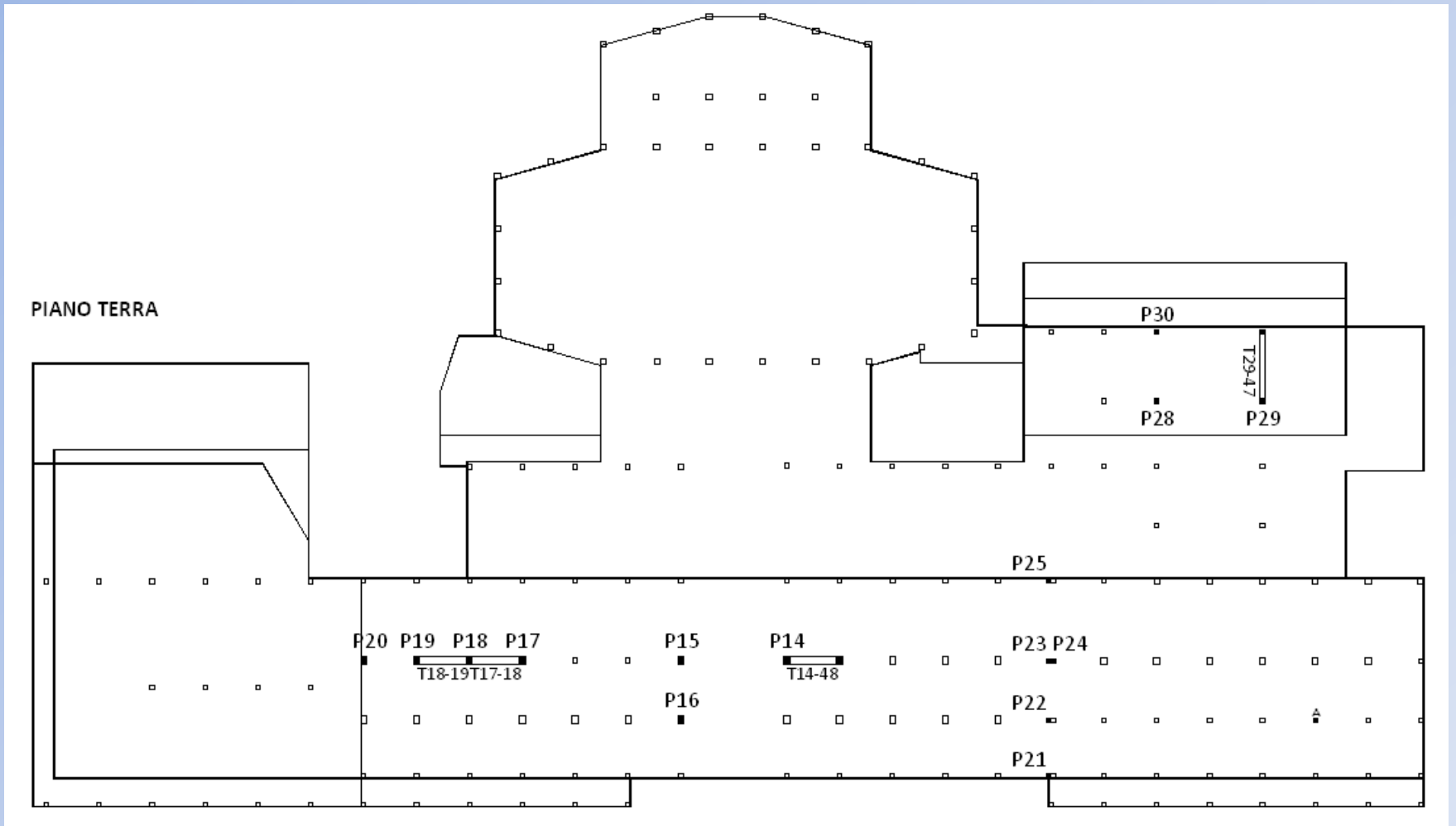
Circa il 50% delle prove distruttive sul cls sono state sostituite con almeno il triplo di prove non distruttive, tarate su quelle distruttive.

Planimetrie dell'edificio:



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

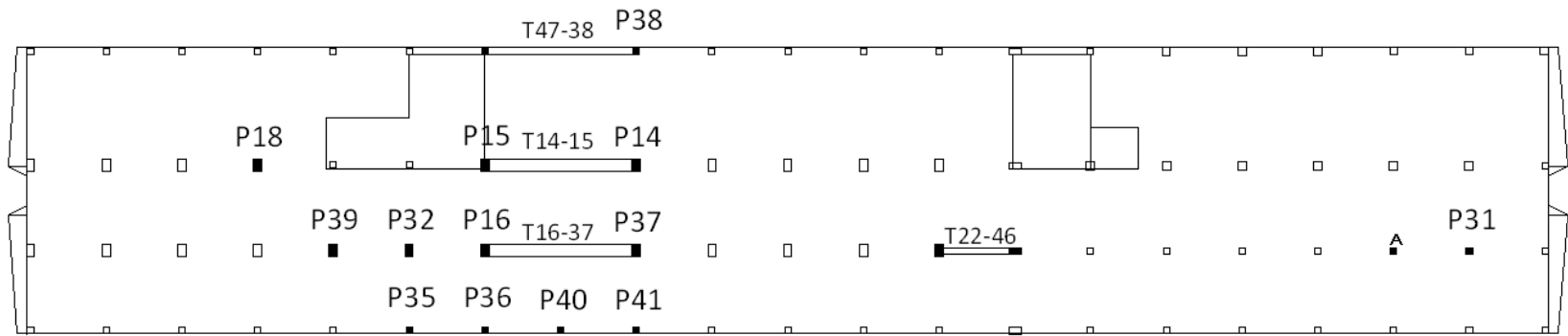


Ing. Monica Valdés

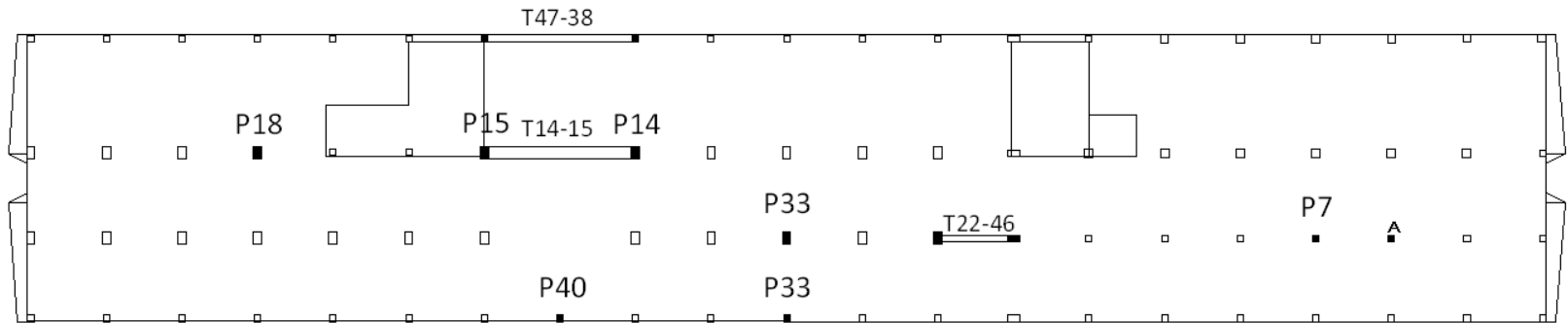
Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari



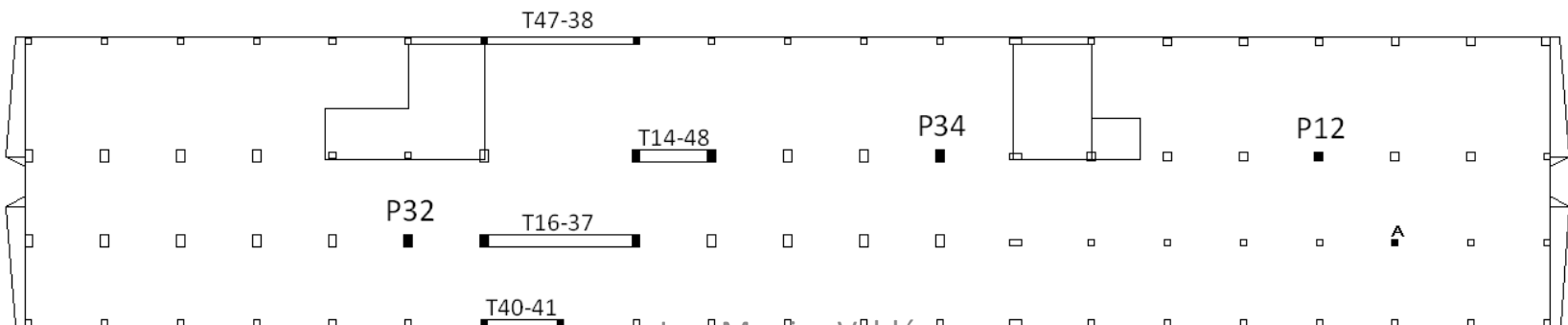
## PIANO SECONDO



## PIANO TERZO



## PIANO QUARTO



Ing. Monica Valdés

Inoltre, le NTC indicano che il numero di provini suggerito può essere variato, anche in diminuzione, in relazione alle **caratteristiche di omogeneità** del materiale

Ai fini del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati richieste, si tiene conto delle **eventuali situazioni ripetitive**, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.

Tabella definitiva prove eseguite

Livello	superficie (m <sup>2</sup> )	n. provini di cls		n. campioni di armatura	
		Previsto	Effettivo	Previsto	Effettivo
Piano seminterrato	415	2	5	2	0
Piano terra	3600	12	10	2	2
Piano secondo	1600	6	4	2	2
Piano terzo	1600	6	4	2	2
Piano quarto	1600	6	3	2	2

## Tabella riepilogativa delle prove sui materiali

<b>Livello</b>	<b>n. prove non distruttive</b>	<b>n. provini di cls</b>	<b>n. campioni di armatura</b>
Piano seminterrato	23	5	0
Piano terra	31	10	2
Piano secondo	16	4	2
Piano terzo	11	4	2
Piano quarto	9	3	2

# Indagine Magnetometrica

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- ✓ **UNI EN ISO 15548-1 e 2** - *Apparecchiatura per controllo mediante correnti indotte Parte 1: Caratteristiche della strumentazione e modalità di verifica*  
*Parte 2: Caratteristiche della sonda e modalità di verifica*

## PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

La tecnica di rilevamento elettromagnetico permette di rilevare materiali ferromagnetici nascosti come i ferri d'armatura superficiali.

Gli strumenti impiegati per tale scopo, i **pacometri**, si basano sugli effetti delle correnti vaganti. Un campo magnetico di 1kHz è emesso da un solenoide situato nella sonda (emettitore), alimentato da tensione variabile.

Le correnti vaganti che si sviluppano nell'oggetto attraversato dal campo magnetico (i.e. barra di armatura) generano un ulteriore campo magnetico che modifica l'impedenza di un solenoide rilevatore (sensore), anche esso installato nella sonda. La misura della variazione di impedenza dipende dalla posizione dell'oggetto ferromagnetico rispetto alla sonda e dalla sua dimensione: quanto maggiore è la dimensione, tanto maggiore è il segnale rilevato dalla sonda.

# STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

## Pacometro Elcometer 331 Mod. S.

Lo strumento è dotato di unità centrale e apposita sonda di ricerca, e indica la posizione del ferro sia in modo digitale, mediante un display sul quale compare un numero che rappresenta il valore del copriferro, sia mediante l'illuminazione del LED posto sulla sonda di ricerca, sia mediante un segnale sonoro di intensità crescente con il diminuire della distanza del ferro dalla onda



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

# Indagine Sclerometrica

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO:

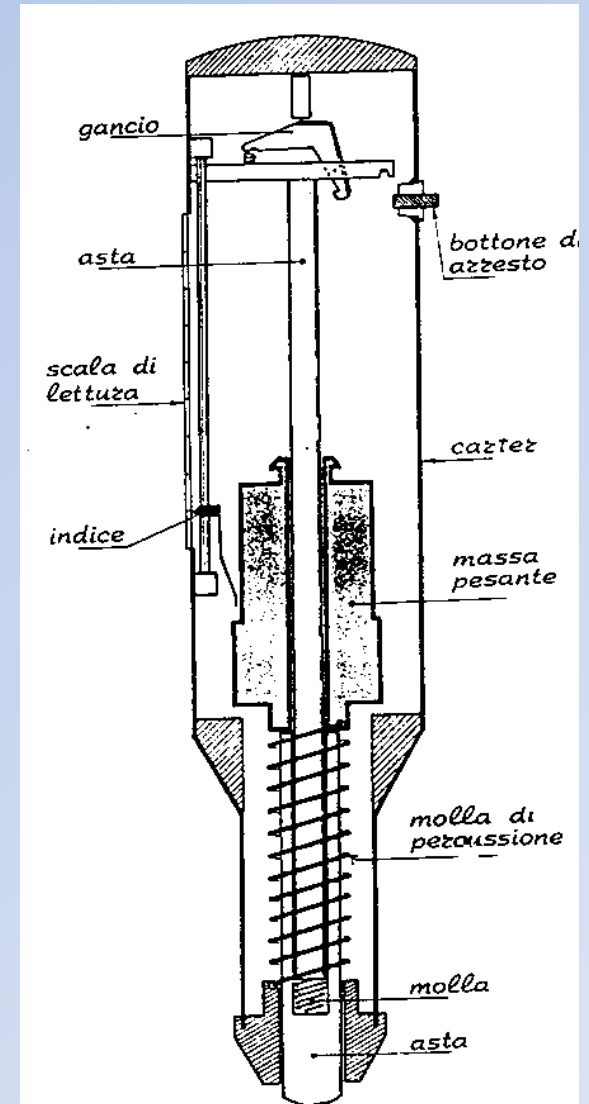
- ✓ UNI EN 12504-2 “*Testing concrete in structures. Non-destructive testing. Determination of rebound number*”
- ✓ *Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive* (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici STC, ed. Febbraio 2008) – *Punto 12.4: Stima delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in opera mediante l'indice di rimbalzo (o sclerometrico)*

# PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Lo sclerometro consente la misurazione dell'**Indice di rimbalzo  $I_r$** , cioè l'energia restituita dal calcestruzzo ad una massa battente, in proporzione all'energia fornita.

Lo sclerometro è costituito in un maglio di acciaio caricato da una molla che, quando viene rilasciato colpisce un pistone di acciaio a contatto con la superficie del calcestruzzo.

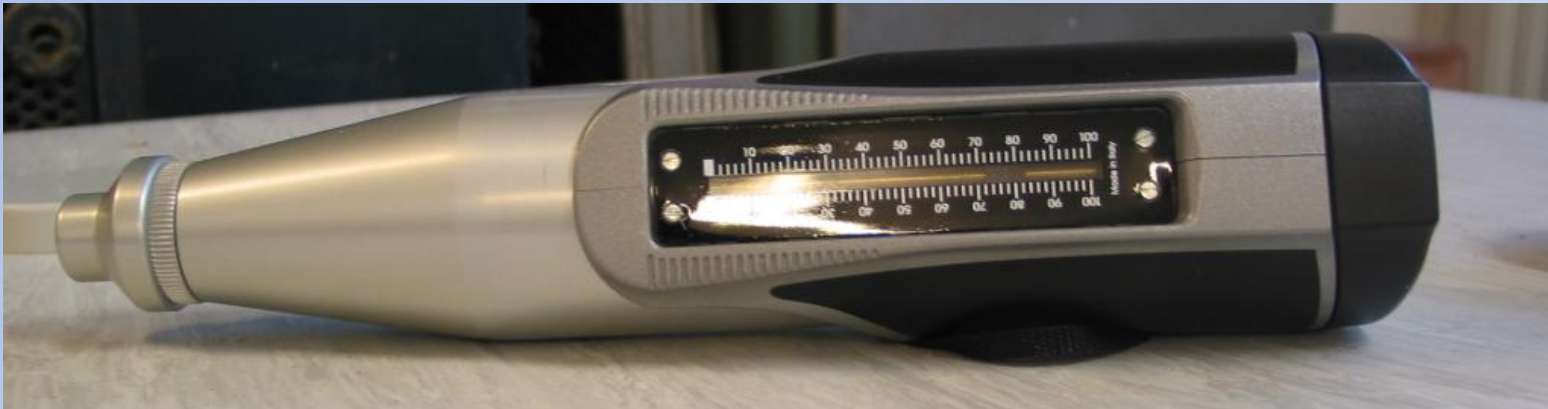
La distanza di rimbalzo del martello di acciaio dal pistone di acciaio viene misurata su una scala lineare applicata al telaio dello strumento.





## STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per l'esecuzione delle prove è stato utilizzato uno **sclerometro mod. Concreto N** prodotto dalla ditta **NovaTest** con regolare **certificato di taratura** preventivamente verificato attraverso la **propria incudine di taratura**



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

## **Incudine di taratura**

incudine di acciaio per la verifica del martello, caratterizzata da una durezza minima di 52 HRC, una massa di  $(16 \pm 1)$  kg e un diametro di circa 150 mm.

## **Pietra abrasiva**

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



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

## PROCEDURA DI PROVA

- Individuazione di una zona di misura priva di ferri di armatura in prossimità della superficie (preventivamente identificata mediante indagine pacometrica), priva di evidenti vespai, zone scalfite o fessurate, forti porosità o rilevanti irregolarità superficiali, e possibilmente asciutta. **La superficie di prova non deve essere intonacata. L'area da sottoporre a prova deve essere approssimativamente di 300 mm x 300 mm**
- Pulizia e lisciatura della superficie con pietra abrasiva, in dotazione allo strumento; **Le superfici levigate o frattazzate possono essere sottoposte a prova senza rettifica.**



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

– esecuzione di non meno di **9 battute sclerometriche** all'interno della zona di misura, secondo una griglia preliminarmente definita, mantenendo lo sclerometro perpendicolare alla superficie di misura.



Le impronte non devono essere sovrapposte e distare almeno 25 mm tra loro e dai bordi. Si deve tenere lo stesso angolo di battuta per tutte le misure relative ad un campo.

Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

Al fine di evitare deformazioni del calcestruzzo che potrebbero invalidare la prova, le superfici da saggiare devono avere almeno **100 mm di spessore**.

Condizione essenziale affinché il sistema funzioni correttamente è che la massa del calcestruzzo deve essere praticamente infinita in relazione con la massa dell'organo mobile, altrimenti parte dell'energia sarebbe trasferita al calcestruzzo come energia cinetica.

Lo sclerometro deve essere utilizzato a una temperatura compresa tra 10 C e 35 C.

**Il risultato della prova si ritiene valido e accettabile se almeno l'80% dei valori non differisce dalla mediana per meno del 30%.**

**In caso contrario deve essere scartata l'intera serie delle misure.**

## Fattori che possono influenzare il risultato

- ✓ **tipo, dosaggio e dimensioni degli aggregati:** un conglomerato con aggregati di piccole dimensioni può essere considerato sostanzialmente omogeneo, ma in caso contrario la misura è fortemente influenzata dal fatto che la battuta interessi una particella di aggregato o una zona di malta; per questo motivo le normative impongono la determinazione dell'indice di rimbalzo come media di un numero sufficientemente elevato di determinazioni
- ✓ **tipo e dosaggio di cemento:** i diversi tipi di cemento Portland possono comportare differenze fino al 10% nella valutazione della resistenza; un incremento di dosaggio influisce più sull'indice di rimbalzo che sulla resistenza, portando quindi ad una sovrastima di questa ultima
- ✓ **condizioni superficiali:** una **superficie umida** comporta una riduzione dell'indice di rimbalzo, come pure la presenza di un degrado superficiale, mentre **la carbonatazione** ne provoca un incremento; le superfici di getto contro casseri in legno possono dare luogo a misure anomale; **la rugosità**, in assenza di una accurata preparazione della superficie, provoca una riduzione dell'indice di rimbalzo, mentre **l'assorbimento dell'acqua** di impasto ne provoca un aumento.

A causa dei suddetti fattori, la normativa europea specifica che il **metodo sclerometrico non può essere inteso come una alternativa per la determinazione della resistenza alla compressione del calcestruzzo, ma, con una opportuna correlazione, può fornire solo una stima della resistenza in situ.**

Per la valutazione della resistenza in situ del cls si devono applicare le indicazioni della norma UNI EN 13791

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

Va inoltre ricordato che la stessa norma informa che ciascun tipo e formato di sclerometro deve possedere delle proprie curve di correlazione e dovrebbe essere utilizzato solo con la classe di resistenza ed il tipo di calcestruzzo per la quale è stato progettato.



Su ciascun elemento strutturale indagato è stato determinato l'indice di Rimbalzo  $I_r$  come mediana delle battute effettuate su ciascuna area di prova.

## RISULTATI

Valore massimo  $I_{r,max} = 51$

Valore minimo  $I_{r,min} = 25$

# Prova di Pull-Out

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO:

✓ UNI EN 12504-3 *“Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 3: Determinazione della forza di estrazione”*

✓ *Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici STC, ed. Febbraio 2008) – Punto 12.6: Stima delle caratteristiche meccaniche in opera mediante la forza di estrazione (pull-out).*

# PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il metodo è basato sulla misura della forza necessaria per estrarre dal calcestruzzo un inserto metallico standardizzato, che può essere installato nel calcestruzzo fresco, predisponendolo nelle casseforme (**tassello pre-inserito**), o inserito in fori effettuati nel calcestruzzo indurito (**tassello post-inserito**).

Il metodo utilizzato in questa campagna di prove è quello col tassello post- inserito, del tipo **FZA 14x40** del diametro **F14 mm**, **classe 8.8**.

## STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La strumentazione utilizzata durante la campagna di indagini è prodotta dalla ditta **Novatest**

La forza è applicata mediante un martinetto idraulico collegato all'inserto ed un anello di reazione che contrasta con la superficie del calcestruzzo. Durante l'operazione viene estratto un cono di materiale, pertanto di fatto la prova è parzialmente distruttiva.



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

## PROCEDURA DI PROVA

- ✓ individuazione di una zona di misura idonea. La zona di calcestruzzo interessata dalla prova è stata preventivamente indagata con il pacometro, per evitare la presenza di ferri di armatura;
- ✓ estrazione del tassello di calcestruzzo secondo la seguente procedura:
  - a. esecuzione del foro ortogonalmente alla superficie del calcestruzzo mediante un trapano elettrico pneumatico a roto-percussione;



Ing. Monica Valdés

- b. evacuazione della polvere dal foro con un getto di aria compressa;
- c. inserimento del tassello per tutta la sua lunghezza e sua forzatura per espansione contro le pareti del foro;



- d. posizionamento del martinetto sul calcestruzzo ed inserimento del tirante nel foro del martinetto avvitandolo con forza nel tassello;

Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

e. centratura del martinetto rispetto al tassello ed esecuzione della prova di estrazione applicando un incremento graduale del carico nel martinetto ( $0.5 \pm 0.2 \text{ kN/s}$ ) attraverso una pompa manuale;

✓ misura della forza  $F$  (kN) di estrazione e registrazione del risultato.



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

**La forza di estrazione è la media di tre estrazioni eseguite sullo stesso elemento strutturale**

Il risultato è valido se lo scostamento dei valori rilevati in ciascuna area di prova è inferiore del 20% dalla media dei tre valori

## **RISULTATI**

Valore massimo  $F_{\max} = 42,2 \text{ kN}$

Valore minimo  $F_{\min} = 22,1 \text{ kN}$



# Prova Ultrasonica

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

✓ UNI EN 12504-4 *“Prove sul calcestruzzo nelle strutture. Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici”*

✓ *Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive* (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici STC, ed. Febbraio 2008) – *Punto 12.5: Stima delle caratteristiche meccaniche in opera mediante la velocità di propagazione di micro-impulsi*

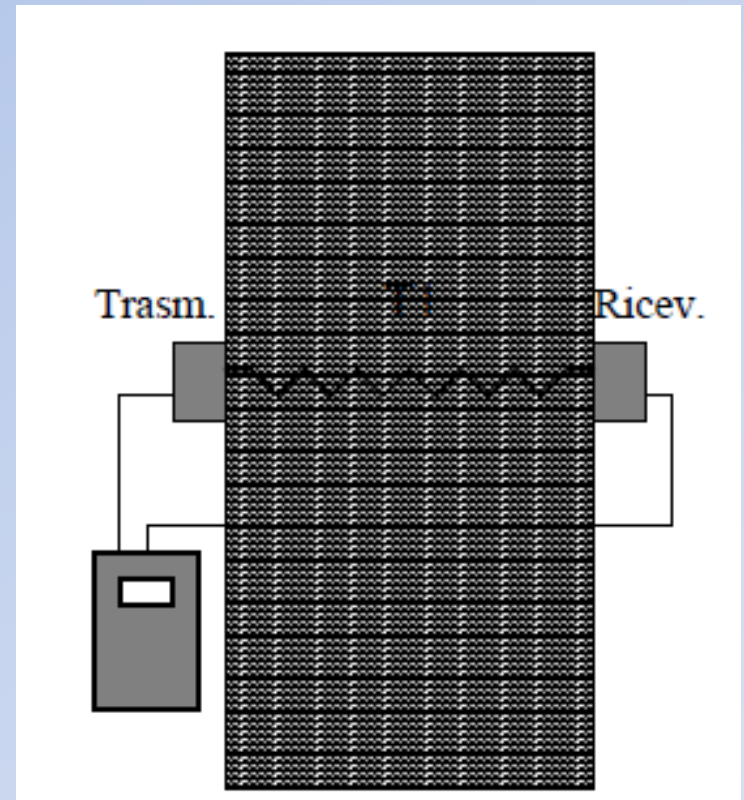
# PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il metodo consiste in genere nel **misurare il tempo impiegato dal segnale per attraversare il materiale lungo la traiettoria** congiungente i punti di immissione e ricezione del segnale stesso. Dalla misura del tempo di transito si ricava quindi la **velocità del segnale come semplice rapporto spazio/tempo**, dove lo spazio è la lunghezza della traiettoria considerata.

La velocità del segnale ultrasonico è legata alle caratteristiche fisiche e meccaniche del materiale attraversato, e consente dunque di ricavare importanti informazioni sullo stato di conservazione del materiale stesso e sul suo grado di omogeneità.

Velocità crescenti sono generalmente associate a migliore qualità del materiale

È stata impiegata la metodologia diretta o “**per trasparenza**”, nella quale le sonde emettitore e ricevitore sono disposte in asse sulle superfici opposte dell’elemento, e la loro distanza (lunghezza della traiettoria) coincide con lo spessore dell’elemento stesso



# STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Il set strumentale impiegato per condurre le prove è il Pundit Lab+ Proceq®, costituito da:

- un sensore piezoelettrico ( $f=54\text{kHz}$ ) per l'immissione del segnale ultrasonico nel materiale,
- un sensore piezoelettrico ( $f=54\text{kHz}$ ) per la sua ricezione,
- una centralina per l'emissione, il condizionamento, l'immagazzinamento e l'analisi preliminare dei segnali.

Prima dell'esecuzione delle prove il set strumentale è stato calibrato utilizzando l'apposita barra di calibrazione in dotazione



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

# PROCEDURA DI PROVA

- ✓ individuazione di una zona di misura idonea. La zona di calcestruzzo interessata dalla prova è stata preventivamente indagata con il pacometro, per evitare la presenza di ferri di armatura;
- ✓ Definizione dei punti di prova situati su due facce opposte dell'elemento strutturale , perfettamente in asse fra di loro;
- ✓ Realizzazione dell'accoppiamento trasduttore – superficie cls mediante apposito gel ultrasonico;
- ✓ Misura del tempo di arrivo del primo fronte dell'impulso



Ing. Monica Valdés



Su ciascuna area di prova sono state effettuate **12 misure lungo 12 traiettorie parallele** di lunghezza pari allo spessore del pilastro (o della trave), distanti circa 20 cm dagli spigoli e a interasse di circa 15 cm, a cavallo tra le staffe

## RISULTATI

Valore massimo  $V_{\max} = 4177 \text{ m/s}$

Valore minimo  $V_{\min} = 3309 \text{ m/s}$

# Carotaggi

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

UNI EN 12504-1 *Prelievo sul calcestruzzo nelle strutture – Carote – Prelievo, esame e prova di compressione*

## STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Carotiere ad acqua **Hilti Mod. DD 130**

Sono state prelevate carote del diametro nominale  $\phi 60$  mm e lunghezza pari alla larghezza dell'elemento da cui provenivano



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

Avendo a disposizione tutta la sezione del pilastro o della trave, in generale è stato possibile ricavare **due provini da ogni carota**, aventi rapporto lunghezza-diametro uguale a due, da sottoporre a prova di compressione.



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari



# Prova colorimetrica

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

UNI EN 13295 - *Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della resistenza alla carbonatazione*

## PROCEDURA DI PROVA

Si spruzza sulla superficie di cls da indagare una soluzione alcolica all'1% di fenolftaleina. La parte di calcestruzzo non carbonatata diventerà di colore rosa, mentre quella carbonatata rimarrà incolore. Si può così misurare la profondità di penetrazione dell'anidride carbonica nel calcestruzzo.



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

# Prova di compressione sul cls

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

**UNI EN 12390-3** *Prova sul calcestruzzo indurito – Resistenza alla compressione dei provini*

**UNI EN 12390-4** *Prova sul calcestruzzo indurito - Resistenza alla compressione - Specifiche per macchine di prova*

**I provini prelevati sono stati ridotti in campioni aventi rapporto  $h/D = 2$  per un totale di 26 campioni sottoposti a prova di compressione**

$$f_c = F/A_c$$

**La resistenza calcolata è la media delle resistenze dei due campioni ricavati dalla stessa carota**

**Le resistenze ricavate sono comprese tra  $15 \text{ N/mm}^2$  e  $32 \text{ N/mm}^2$ , con valore medio pari a  $22,8 \text{ N/mm}^2$**

Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

# Prova di trazione sull'acciaio

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

**UNI EN ISO 15630-1** *Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 1: Barre, rotoli e fili per calcestruzzo armato*

## PROCEDURA DI PROVA

Le barre sono state tagliate e ripulite dalla ruggine e dai residui di cls mediante spazzolatura meccanica

Sono state misurate, pesate, ed è stato determinato il Diametro della Barra equipesante.

Eseguita la prova, sono stati determinati il limite di snervamento, la tensione di rottura e l'allungamento sotto carico massimo:

$$f_t = F_m / A_{eq}$$

$$f_y = F_{eH} / A_{eq}$$

$$A_{gt} = A_g + R_m / 2000$$

Sono state prelevate **8 barre di lunghezza 60 cm** circa, diametri nominali  $\Phi 8$ ,  $\Phi 10$ ,  $\Phi 12$ ,  $\Phi 16$ ,  $\Phi 20$



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari



	<b>RISULTATI</b>			
	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_t/f_y$	$A_{gt}$ (%)
<b>Valore medio</b>	368	529	1,44	14,9
<b>Dev. St.</b>	65,6	90,1	0,08	4,81

Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

# ANALISI DEI RISULTATI

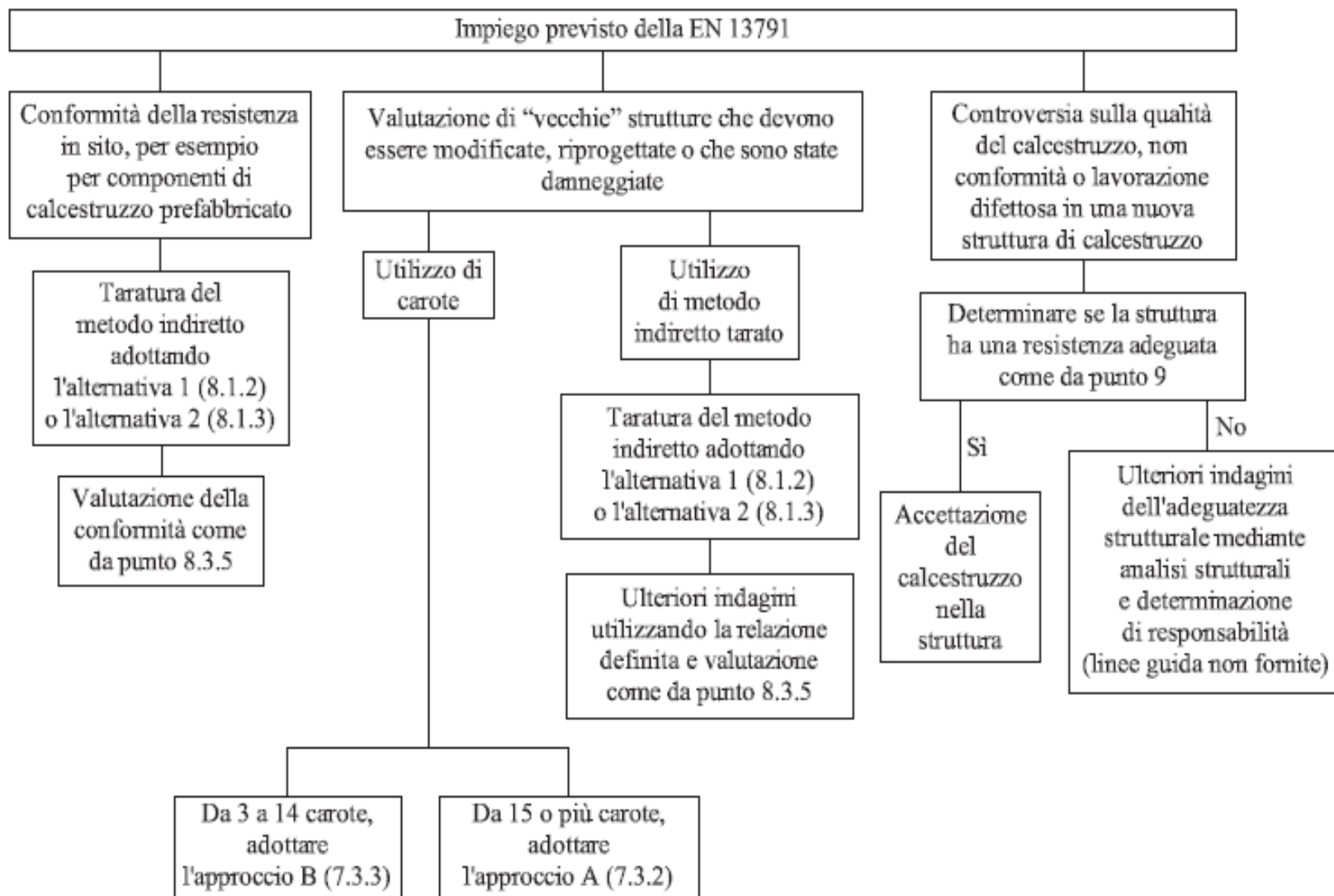
## CALIBRAZIONE DELLE PROVE NON DISTRUTTIVE SULE PROVE DISTRUTTIVE

Ciascun parametro non distruttivo è stato messo in relazione diretta con la resistenza a compressione determinata mediante prova di compressione su carote.

I dati sono stati analizzati mediante regressioni ed è stata individuata la curva che fornisce il **coefficiente di determinazione** maggiore

La procedura è descritta nella norma UNI EN 13791 e ripresa anche nelle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale .....

## Diagramma di flusso 1



Il **coefficiente di determinazione**, (più comunemente  $R^2$ ), è una proporzione tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato.

Non esiste una definizione concordata di  $R^2$ . Nelle regressioni lineari semplici esso è semplicemente il quadrato del **coefficiente di correlazione**:

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS} = 1 - \frac{RSS}{TSS}$$

$$ESS = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad TSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad RSS = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

dove:

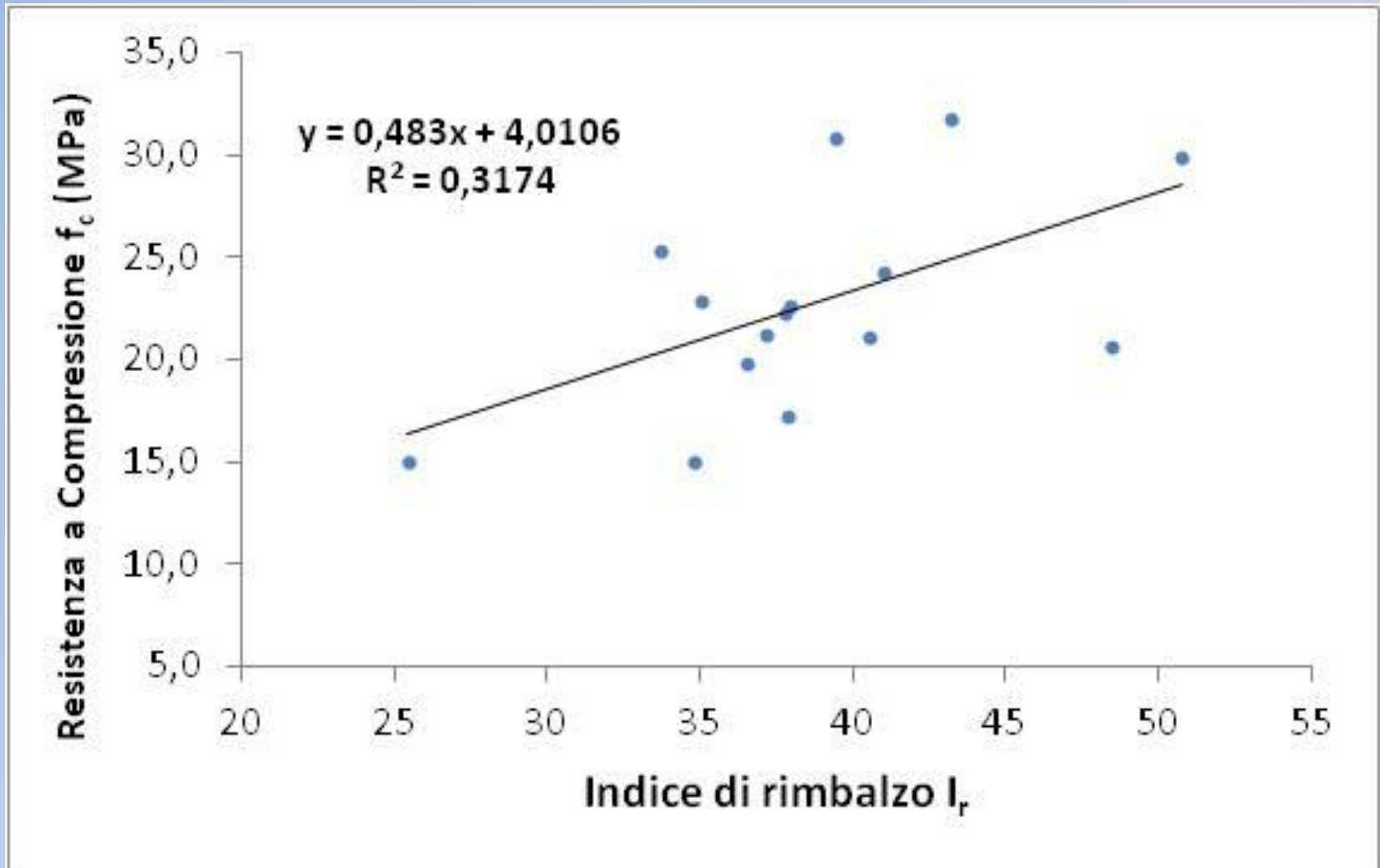
- **ESS** è la devianza spiegata dal modello (*Explained Sum of Squares*);
- **TSS** è la devianza totale (*Total Sum of Squares*);
- **RSS** è la devianza residua (*Residual Sum of Squares*);

Con:

- $y_i$  i dati osservati (resistenza delle carote);
- $\bar{y}$  la loro media;
- $\hat{y}_i$  dati stimati dal modello ottenuto dalla regressione

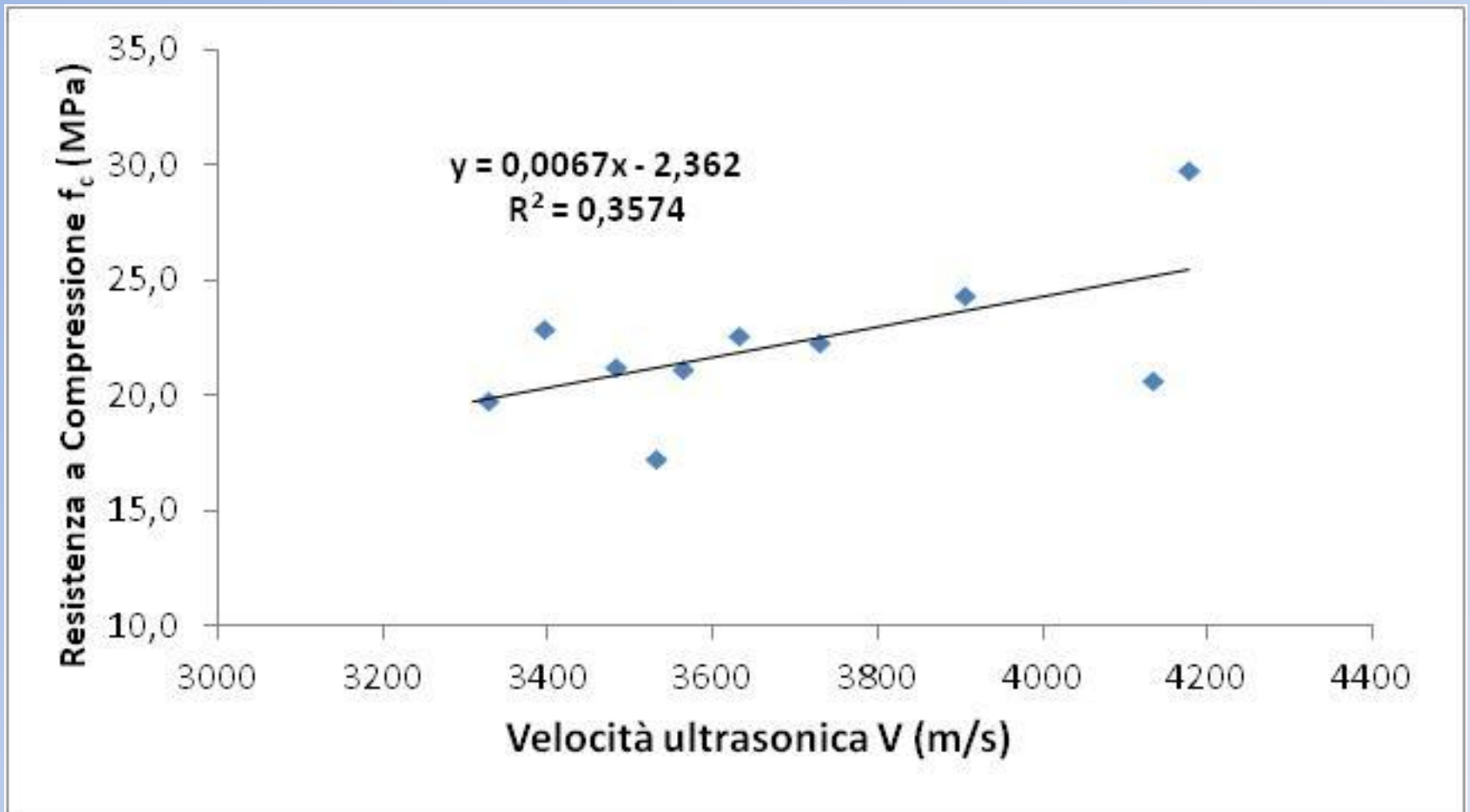
Ing. Monica Valdés





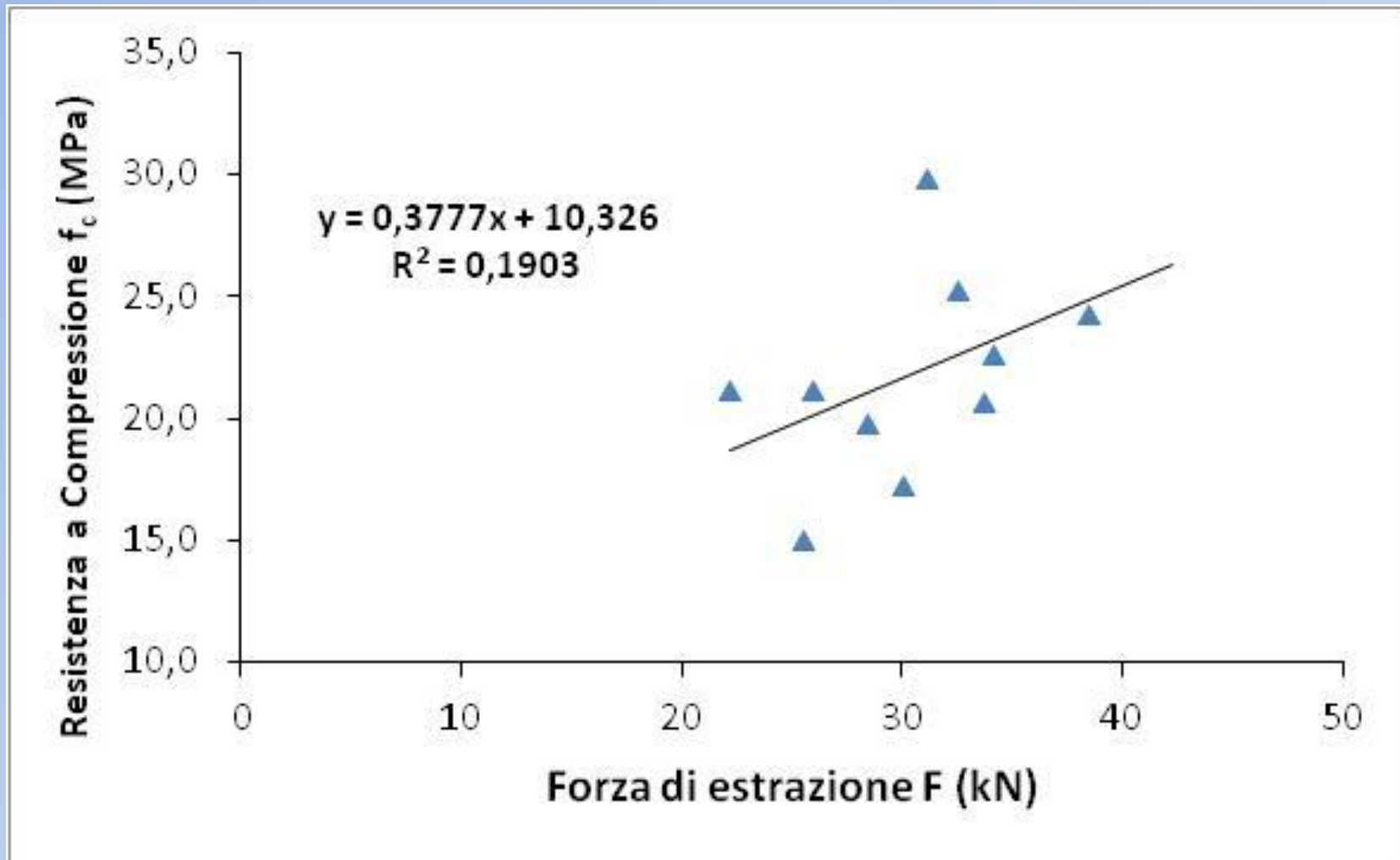
Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari



Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari

# Regressioni a più parametri non distruttivi

## Correlazione a due parametri

Equazione di correlazione	Coefficiente di determinazione $R^2$
$f_c = 1,136 + 0,316 I_r + 0,264 F$	0,3540
$f_c = - 0,962 + 0,078 I_r + 0,005 V$	0,3624
$f_c = - 7,76 - 0,098 F + 0,009 V$	0,4584

## Correlazione a tre parametri

Equazione di correlazione	Coefficiente di determinazione $R^2$
$f_c = -6,2043 + 0,066 I_r + 0,0075 V - 0,07654 F$	0,4559

# Riepilogo dei risultati

	Acciaio				Calcestruzzo	
	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_t/f_y$	$A_{gt}$ (%)	$f_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	
					Carote	PND
<b>Valore medio</b>	368	529	1,44	14,9	22,8	21,63
<b>Dev. St.</b>	65,6	90,1	0,08	4,81	5,04	2,23

## Determinazione delle resistenze di progetto

### Calcestruzzo

$$f_{cm,is} = 22,0 \text{ MPa}$$

$$f_{cd,is} = \frac{f_{cm,is}}{FC \cdot \gamma_c}$$

### Acciaio

$$f_{ym,is} = 368 \text{ MPa}$$

$$f_{yd,is} = \frac{f_{ym,is}}{FC \cdot \gamma_s}$$

## Con riferimento agli SLU

$$f_{cd,is} = \frac{22}{1,2 \cdot 1,5} = 12,2 \text{ MPa}$$

$$f_{yd,is} = \frac{368}{1,2 \cdot 1,15} = 266,7 \text{ MPa}$$

### NOTA

L'approccio delle NTC è diverso da quello previsto nella *UNI EN 13791* e nelle *Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive*

$$\text{min} \left\{ \begin{array}{l} f_{ck,is} = f_{cm,is} - k \cdot s \\ f_{ck,is} = f_{cmin,is} + 4 \end{array} \right. \quad s = \text{scarto quadratico medio}$$

$$f_{ck,is} = \min \begin{cases} 22 - 1,48 \cdot 3,6 = 16,7 \text{ MPa} \\ 15,6 + 4 = 19,6 \text{ MPa} \end{cases}$$

Da cui, secondo le NTC, per gli SLU:

$$f_{cd,is} = \frac{f_{ck,is}}{\gamma_c} = \frac{16,7}{1,5} = 11,1 \text{ MPa}$$

L'approccio con l'utilizzo dei FC, che prescindono dalle classi discretizzate previste nelle norme per le nuove costruzioni, appare in questo caso, meno conservativo.

## BIBLIOGRAFIA

- ✓ Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) – Cap. 8 “Costruzioni esistenti”
- ✓ Istruzioni per l’applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008 (C.M. 02/02/2009, n.617) – Cap. C8 “Costruzioni esistenti” e C8A “Appendice al Cap. C8
- ✓ *Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive* (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici STC, ed. Febbraio 2008)
- ✓ UNI EN 13791 - *Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo*
- ✓ UNI EN ISO 15548-1 e 2 - *Apparecchiatura per controllo mediante correnti indotte - Parte 1: Caratteristiche della strumentazione e modalità di verifica*  
*- Parte 2: Caratteristiche della sonda e modalità di verifica*

Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari



- ✓UNI EN13295 *“Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della resistenza alla carbonatazione”*
- ✓UNI EN 12504-1 *“Prelievo sul calcestruzzo nelle strutture – Carote – Prelievo, esame e prova di compressione”*
- ✓UNI EN 12504-2 *“Testing concrete in structures. Non-destructive testing. Determination of rebound number”*
- ✓UNI EN 12504-3 *“Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 3: Determinazione della forza di estrazione*
- ✓UNI EN 12504-4 *“Prove sul calcestruzzo nelle strutture. Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici”*
- ✓UNI EN ISO 15630-1 *“Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 1: Barre, rotoli e fili per calcestruzzo armato”*

- ✓ UNI EN 12390-3 *Prova sul calcestruzzo indurito – Resistenza alla compressione dei provini*
- ✓ UNI EN 12390-4 *Prova sul calcestruzzo indurito - Resistenza alla compressione - Specifiche per macchine di prova*
- ✓ EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures - Part-1-1: General rules and rules for buildings

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE!**

Ing. Monica Valdés

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura - Università di Cagliari