



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e dell'Architettura

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Edile

Costruzioni storiche:

verso un database regionale sulle caratteristiche meccaniche delle varie
tipologie di calcestruzzo presenti nel territorio marchigiano

Historical constructions:

towards a regional database on the mechanical characteristics of the various types
of concrete present in the Marche region

Relatore:

Prof. Ing. Enrico Quagliarini

Correlatore:

Ing. Francesco Monni

Candidato: Margherita Caprari

ANNO ACCADEMICO 2018/2019

INDICE

INTRODUZIONE.....	3
CAPITOLO 1: QUADRO NORMATIVO	5
1.1 NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI.....	5
1.2 IL “CAPITOLO 8” DELLE NTC 2018	5
CAPITOLO 2: IL CALCESTRUZZO	8
2.1 MATERIALE	8
2.1.1 IL CEMENTO.....	9
2.1.2 GLI AGGREGATI	9
2.1.3 L’ACQUA.....	11
2.2 RESISTENZA A COMPRESSIONE	13
2.3 PROVE SUL CALCESTRUZZO.....	14
2.3.1 PROVE DISTRUTTIVE	14
2.1.2 PROVE NON DISTRUTTIVE.....	16
CAPITOLO 3: FASI, STRUMENTI E METODI	22
3.1 DATI RICAIVATI DA METODO SONREB.....	23
3.2 DATI RICAIVATI DAL METODO COMPRESSIONE PROVINO CILINDRICO.....	25
CAPITOLO 4: RISULTATI DELLE ANALISI CONDOTTE	28
CAPITOLO 5: CONCLUSIONI	34
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	36

INTRODUZIONE

Nell'ambito delle attività condotte durante il tirocinio del Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Edile – Università Politecnica delle Marche sono state analizzate le norme tecniche per le costruzioni recentemente introdotte dal Decreto Ministeriale n. 42, di seguito indicate come NTC 2018.

Tali norme vanno a rivedere quanto stabilito dalle precedenti Norme Tecniche per le Costruzioni introdotte con il Decreto Ministeriale n. 29 del 14 gennaio 2008 in cui vengono definiti i principi di progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni di nuova progettazione, nonché quelli relativi alle strutture esistenti.

Con tali norme vengono definiti i principi riguardo l'esecuzione di un'opera edilizia, nonché le caratteristiche dei materiali e dei prodotti utilizzati nelle specifiche fasi di lavorazione, quali, ad esempio: muratura, calcestruzzo, acciaio ecc., in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica, stabilità e durabilità nel tempo.

La problematica della valutazione delle prestazioni strutturali degli edifici esistenti è al centro dell'attenzione sia del campo normativo e che della ricerca che in quello professionale.

Le più recenti norme o linee guida nazionali pongono la loro attenzione sul tema della determinazione della sicurezza delle strutture esistenti. In merito a ciò, nelle norme vengono affrontati aspetti fondamentali relativi sia alle procedure finalizzate al raggiungimento di idonei livelli di conoscenza degli elementi strutturali sia alle metodologie di analisi e di verifica.

Con riferimento alle strutture esistenti in c.a. un aspetto certamente centrale è rappresentato dalla corretta valutazione della resistenza a compressione del calcestruzzo.

La stima della resistenza meccanica del calcestruzzo è influenzata sia dalla metodologia impiegata per ricavarla (prove distruttive o non distruttive, indubbiamente entrambe affette da incertezze) sia dalla forte eterogeneità del materiale in opera che, presenta sensibili variazioni della resistenza.

Pertanto, in questa tesi, si è analizzata la tematica della resistenza del calcestruzzo nelle costruzioni esistenti, materiale per il quale però non si dispone di nessuna tabella ministeriale di riferimento (al contrario della muratura, ad esempio).

Per tanto l'obiettivo finale di questa tesi sarà quello di individuare una metodologia per arrivare a stilare una tabella, almeno a livello regionale, delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo delle costruzioni esistenti.

CAPITOLO 1: QUADRO NORMATIVO

1.1 NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Le NTC 2018 (D.M. n. 42 del 17 gennaio 2018) dettano i principi da seguire nel progetto, nell'esecuzione e nel collaudo delle costruzioni e delle opere infrastrutturali e le prestazioni che gli edifici devono raggiungere in termini di resistenza meccanica e stabilità

La relativa Circolare esplicativa, pubblicata in data 11 febbraio 2019, è un documento di fondamentale importanza che ha l'obiettivo di fornire agli operatori indicazioni, elementi informativi ed integrazioni, sulle nuove NTC e ne favorisce una più corretta, agevole e diffusa applicazione, rispondendo così all'esigenza di migliorare la sicurezza sia delle strutture esistenti che di quelle nuove e contribuendo alla messa in sicurezza del patrimonio immobiliare e infrastrutturale del Paese.

1.2 IL "CAPITOLO 8" DELLE NTC 2018

Con il capitolo 8 si stabiliscono le disposizioni da seguire per gli interventi sulle costruzioni esistenti.

Vengono stabiliti i criteri generali per la valutazione della sicurezza e il controllo degli interventi da attuarsi su una costruzione esistente, in quanto struttura completamente realizzata alla data della redazione di valutazione di sicurezza sia per la definizione dei modelli strutturali della costruzione esistente, sia nelle fasi di progettazione ed esecuzione dei lavori.

Tre sono i fattori fondamentali necessari che s'intersecano nelle fasi conoscitive di una struttura esistente:

- Geometria;
- Particolari costruttivi;
- Proprietà meccaniche dei materiali utilizzati, rilevati dalle indagini sperimentali.

I valori delle resistenze meccaniche dei vari materiali vanno valutati sulla base delle indagini conoscitive effettuate sul manufatto edilizio e/o sulla base della documentazione disponibile, in riferimento alla qualità delle prove effettuate sulla struttura medesima.

Per la valutazione della sicurezza si deve determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla presente normativa.

L'incremento del livello di sicurezza si persegue, essenzialmente, operando sulla concezione strutturale globale con interventi, anche locali.

Sia la valutazione della sicurezza che la progettazione degli interventi non possono prescindere quindi da un'adeguata analisi sulle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti la struttura.

La modalità operativa per definire la conoscenza di una struttura esistente, utile sia per la valutazione della sicurezza che per la redazione dei progetti genericamente valida per tutte le costruzioni esistenti, si basa sulle seguenti attività:

- Analisi storico critica: ha lo scopo di ricostruire il processo di realizzazione e le successive modifiche subite durante la costruzione;
- Rilievo: in cui viene definita sia la geometria complessiva dell'organismo resistente che quella degli elementi costruttivi;

- Caratterizzazione meccanica dei materiali: per la conoscenza delle caratteristiche meccaniche di degrado dei materiali utilizzati sulla base della documentazione disponibile, nonché di verifiche in situ e di indagini sperimentali;
- Calcolo delle azioni: valide sia per la valutazione della sicurezza, sia per il progetto degli interventi di mutatura da effettuarsi sulla costruzione.

A valle di queste attività si potrà definire un “Livello di conoscenza” ed un “Fattore di confidenza”, come si deduce dalla seguente tabella:

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	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		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

Tabella 1 - C8A.1.2

CAPITOLO 2: IL CALCESTRUZZO

2.1 MATERIALE

Con il termine calcestruzzo si intende un conglomerato artificiale, ottenuto mediante elementi lapidei di diversa natura e dimensione, mescolati tra loro e coesi mediante una malta.

Il calcestruzzo è composto da uno scheletro di materiali naturali di diversa dimensione (granulometria) ottenuta mescolando elementi più grandi (pietrisco, rocce, o ghiaia) con altri più sottili (sabbia) collegati attraverso un legante (comunemente il cemento Portland), la cui presa è attivata dall'aggiunta di acqua.

Nelle strutture in calcestruzzo armato, il calcestruzzo rappresenta l'elemento quantitativamente dominante ed è quello che conferisce alle strutture il loro aspetto esteriore, in quanto l'acciaio, utilizzato in percentuale molto minore, è normalmente inglobato nell'impasto cementizio e quindi non visibile. Nonostante questo, l'acciaio svolge un ruolo molto importante, spesso decisivo, nella resistenza della struttura. La difficoltà nel rilevarne la presenza e la quantità costituisce uno dei principali ostacoli alla valutazione della sicurezza delle costruzioni esistenti.

2.1.1 IL CEMENTO

Vi sono diversi tipi di cemento, tutti però variati del capostipite *cemento Portland*. Il cemento Portland si ottiene per cottura ad alta temperatura (circa 1400 °C) di una miscela di rocce calcaree e argilla.

Il prodotto di cottura (clinker) viene quindi finemente macinato in mulini a sfere, in modo da ottenere un prodotto che reagisce rapidamente quanto posto a contatto con l'acqua.

I cementi sono classificati, tra l'altro, in base alla resistenza a compressione. Questa resistenza si riferisce a quella di una malta ottenuta con sabbia di granulometria normalizzata nel rapporto volumetrico 1:3 (una parte di cemento e tre di sabbia) e acqua, nel rapporto 1:0.5 (mezza parte di acqua per una di cemento).

Le classi di resistenza vanno da 32.5 a 52.5, dove questi numeri indicano la resistenza minima della malta dopo 28 giorni di maturazione.

2.1.2 GLI AGGREGATI

Il cemento costituisce il collante che tiene insieme lo "scheletro" del calcestruzzo, costituito da materiali inerti che non partecipano alle reazioni chimiche della presa e dell'indurimento.

Gli aggregati costituiscono la parte dominante (in peso) tra i costituenti del calcestruzzo e sono formati da materiali naturali, quali sabbia e pietrisco, o artificiali, come l'argilla espansa.

Caratteristica degli aggregati è di essere formati da un'opportuna miscela di elementi di diversa dimensione (granulometria).

L'opportunità di impiegare materiali di dimensioni diverse dipende dal fatto che se si usassero elementi di uguale dimensioni resterebbe un'elevata percentuale di vuoti, che dovrebbero essere riempite dalla pasta cementizia, con ovviamente l'aumento della quantità e quindi del costo del calcestruzzo.

La granulometria di un aggregato si rappresenta normalmente attraverso la sua *curva granulometrica* che si ottiene riportando in ascisse il diametro dei fori e in ordinate la percentuale (in peso) della parte passante attraverso setacci di diametro crescente.

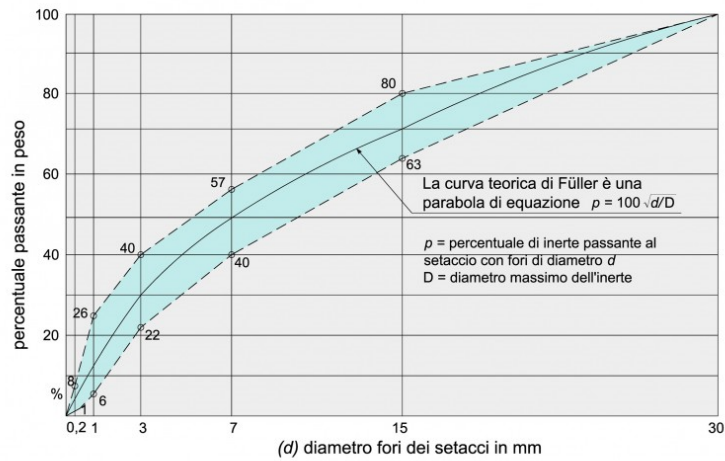


Figura 1 - Curva granulometrica.

La curva granulometrica ottimale è quella di Fuller, ottenuta nell'ipotesi di particelle di forma sferica. La curva teorica di Fuller ha la semplice legge:

$$p = 100 \sqrt{\frac{d}{d_{max}}}$$

Dove p indica la percentuale di passante, d il diametro dei fori del setaccio e d_{max} il diametro massimo degli inerti utilizzati.

2.1.3 L'ACQUA

L'acqua, come si è detto, ha la funzione di reagire con il cemento, dando luogo alle reazioni di idratazione, da cui derivano la presa e l'indurimento del calcestruzzo.

Il quantitativo di acqua strettamente necessario a questo scopo è circa il 25% del peso del cemento. In realtà il quantitativo che normalmente si impiega è molto superiore, perché l'acqua svolge anche la funzione di rendere lavorabile l'impasto.

La lavorabilità del calcestruzzo, cioè la consistenza del calcestruzzo allo stato fresco, è una proprietà molto importante, perché da essa dipende la facilità con cui il getto andrà a riempire la cassaforma in ogni suo angolo, senza che si formino vuoti che andrebbero a compromettere in modo rilevante la resistenza della struttura.

Il modo più semplice di misurare la consistenza del calcestruzzo è lo *slump test*, che si esegue mediante il cono di Abrams.

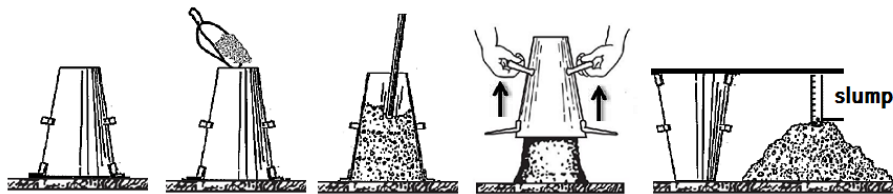


Figura 2 - Slump test mediante cono di Abrams.

Un secchio a forma tronco-conica e privo di fondo, di dimensioni standard, viene riempito di calcestruzzo tenendo la base maggiore poggiata su di un piano quando si infila il cono, dopo aver opportunamente costipato il cls mediante un pestello, si misura l'abbassamento subito dal calcestruzzo privato del contenitore.

La normativa UNI 9858 distingue per il calcestruzzo cinque classi di crescente fluidità, indicate con le sigle S1, S2, S3, S4, S5. La relazione tra l'entità dello slump, misurata con il cono di Abrams, e la classe di consistenza è riportata nella seguente tabella:

Slump (cm)	Classe di consistenza	Terminologia
0 – 4	S1	Terra umida
5 – 9	S2	Plastica
10 – 15	S3	Semifluida
16 – 20	S4	Fluida
>20	S5	Superfluida

Tabella 2 - Abbassamento al cono di Abrams e classi di consistenza secondo UNI 9858.

2.2 RESISTENZA A COMPRESSIONE

Dal punto di vista normativo il calcestruzzo è contraddistinto dal valore caratteristico della sua resistenza a compressione, misurata su provini cilindrici (diametro base = 150 mm, altezza = 300 mm) e indica con il simbolo f_{ck} , o cubici, di lato 150 mm (simbolo R_{ck}).

Il valore caratteristico della resistenza è quel valore per cui vi è una probabilità del 5% che la resistenza effettiva sia minore di esso.

A causa del confinamento esercitato dall'attrito tra la superficie del provino e i piatti della pressa, la resistenza cubica è maggiore di quella cilindrica; mediamente si può assumere:

$$R_{ck} = 1.2f_{ck} \quad (f_{ck} = 0.83 R_{ck})$$

Il calcestruzzo è classificato nelle norme UNI EN 206 – 1:2006, in base alla resistenza e contraddistinto con la sigla Cx/y in cui x e y indicano il valore (caratteristico, in MPa) misurato rispettivamente su provini cilindrici e cubici.

Classe	f_{ck}	R_{ck}
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

Tabella 3 - Classi di resistenza del calcestruzzo.

2.3 PROVE SUL CALCESTRUZZO

Nelle strutture esistenti per determinare la resistenza a compressione, parametro più significativo tra quelli che definiscono le proprietà meccaniche del calcestruzzo, è necessario eseguire delle prove in situ. Queste prove possono essere:

- Distruttive (D);
- Non Distruttive (ND).

2.3.1 PROVE DISTRUTTIVE

Come detto, le indagini, siano esse distruttive o non distruttive, necessitano di particolare cura affinché si pervenga ad una conoscenza delle caratteristiche reali dei materiali.

Ciò vale in special modo per le prove distruttive effettuate su campioni di calcestruzzo ("carote") estratti dalla struttura mediante carotaggio.

In particolare, sia la fase di estrazione del campione, sia quella di manipolazione e preparazione per la prova devono minimizzare il disturbo ad esso arrecato, onde evitarne un eccessivo danneggiamento che, riducendone la capacità resistente, rende la carota non rappresentativa del calcestruzzo da cui è stata prelevata.

Tipicamente, nella prova di compressione dei campioni cilindrici, affinché il valore misurato non sia influenzato dall'effetto di confinamento delle piastre di carico della pressa, si preferisce realizzare provini con un rapporto tra altezza e diametro della base pari a due.

I valori di resistenza a compressione così ottenuti (f_c) possono poi essere ricondotti ai valori di resistenza dei campioni cubici (R_c) dividendo per un coefficiente pari a 0,83.

Laddove tali prove di compressione vengono eseguite su carote prelevate da elementi in calcestruzzo di strutture esistenti, si tende invece a sottoporre a prova campioni cilindrici con rapporto unitario tra altezza e diametro in modo da ricavare la resistenza cilindrica (f_c) ottenendo così la resistenza cubica (R_c) tramite la seguente formula:

$$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$$



Figura 3 - Rottura compressione cilindrica.

2.1.2 PROVE NON DISTRUTTIVE

I metodi di prova non distruttivi più diffusi per la stima delle proprietà meccaniche del calcestruzzo sono:

- *Metodo Sclerometrico.*

Strumento usato per questo tipo di metodo è lo sclerometro (figura 5) di Schmidt, brevettato nel 1948. Si basa sul principio secondo il quale l'entità del rimbalzo di una massa elastica, quantificato dall'indice di rimbalzo sclerometrico I_m , dipende dalla durezza della superficie sulla quale essa urta.



Figura 4 – Sclerometro.

È necessario che la massa urtata sia preponderante rispetto a quella urtante, che quindi l'energia della massa urtante non vada sotto forma di energia cinetica per la massa urtata.

La durezza può essere messa in relazione con la resistenza del materiale tramite delle curve che correlano l'indice di rimbalzo sclerometrico, ricavato dalla struttura in esame, alla resistenza cubica R_{ck} , ricavata dai provini in laboratorio.

Le curve, tarate su provini standard in laboratorio, sono fornite dal produttore stesso e mostrano un andamento crescente della resistenza cubica a compressione con l'indice di durezza all'urto.

Le prove sclerometriche vengono eseguite in conformità con la Norma UNI EN 12504-2:2001 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Prove non distruttive – Determinazione dell'indice sclerometrico".

- *Metodo Ultrasonico.*

Questo metodo di basa sulla misura della propagazione delle onde ultrasoniche, con frequenze comprese tra i 20 e i 150 kHz, per valutare la qualità e il degrado del calcestruzzo. Tale indagine è un valido strumento per individuare i vuoti, lesioni o fessurazioni.

È quindi incerta la sua applicazione al fine di determinare la resistenza del calcestruzzo sebbene la praticità della prova, applicabile a qualsiasi tipo di costruzione, induca a studiare i numerosi fattori che condizionano le relazioni esistenti e velocità sonica misurata in sito.

La stima della resistenza a compressione del conglomerato è di tipo correlativo in quanto la velocità di propagazione degli ultrasuoni non è direttamente associata alla resistenza; la correlazione sperimentale è molto attendibile perché la velocità è legata al modulo elastico e alla densità del mezzo, come pure lo è la resistenza.

La norma che disciplina la determinazione dei tempi di propagazione di impulsi di vibrazione in campioni o strutture di calcestruzzo è la UNI EN 12504-4:2009, *“Prove sul calcestruzzo nelle strutture. Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici”*.

- *Metodo combinato SonReb.*

Il metodo SonReb (dal prefisso SON di “ultrasonico” e dal suffisso REB di “rimbalzo”) è una metodologia combinata perché correla l’indice di rimbalzo sclerometrico I_m , la velocità ultrasonica V_m e la resistenza a compressione cubica del calcestruzzo R_c , il vantaggio dei metodi precedenti è che minimizza l’errore dovuto ai fattori perturbativi che influenzano la resistenza stimata dallo sclerometro e dal metodo ultrasonico.

Il SonReb è applicabile solo se tali fattori perturbativi influenzano in maniera opposta la stima della resistenza cercata.

I fattori perturbativi più importanti sono:

- Il contenuto dell’acqua del calcestruzzo, il quale influisce in maniera positiva sulla resistenza stimata dal metodo ultrasonico ma in maniera negativa su quella stimata dal metodo sclerometrico;
- L’età del conglomerato, la quale fa sì che la resistenza stimata dallo sclerometro sia superiore a quella reale per via della superficie esterna carbonatata del calcestruzzo, e che la resistenza stimata tramite metodologia ultrasonica sia inferiore.

La forma analitica che meglio sembra descrivere il legame funzionale tra i due parametri non distruttivi e la resistenza cubica stimata R_c del calcestruzzo in situ è di tipo esponenziale: $R_c = a N^b V^c$

in cui R_c è la resistenza cubica stimata espressa in MPa, V è la velocità di propagazione espressa in m/s e N è l'indice di rimbalzo dello sclerometro; mentre le costanti a , b , c dipendono da diversi fattori legati alle modalità che caratterizzano la campagna sperimentale.

In letteratura tecnica sono presenti diverse funzioni di correlazione, ma quelle maggiormente utilizzate hanno le seguenti espressioni:

- Giacchetti – Lacquaniti:

$$R_{c_1} = 7.546 \cdot 10^{-11} \cdot N^{1.4} \cdot V^{2.6}$$

- Gasparik:

$$R_{c_2} = 8.06 \cdot 10^{-8} \cdot N^{1.246} \cdot V^{1.85}$$

- DeLeo – Pascale:

$$R_{c_3} = 1.20 \cdot 10^{-9} \cdot N^{1.058} \cdot V^{2.446}$$

In alternativa all'impiego delle funzioni di correlazione presenti in letteratura si può adottare una procedura mediante la quale è possibile ricavare una funzione di correlazione specifica per il sito, in cui le costanti a , b , c sono calcolate imponendo che sia minima la somma dei quadrati delle differenze tra i valori della resistenza veri e quelli stimati.

Il metodo SonReb presenta il vantaggio di non arrecare alcun danno alla struttura.

Per la sua applicazione occorre che l'elemento strutturale sia accessibile su due superfici opposte, in modo da poter applicare il metodo ultrasonico per trasparenza.

Nel punto scelto per la misura è opportuno predisporre di una superficie priva di disturbi ed impurità, ottenibile eliminando strati superficiali di rivestimento, intonaci o rugosità.



Figura 5 - Metodo SonReb, combinazione sclerometro e ultrasuoni.

- *Metodo Pull-Out.*

L'indagine pull-out è una prova semi-distruttiva per la determinazione della forza di estrazione di un inserto metallico pre-inglobato o post inserito nell'elemento in calcestruzzo da sottoporre a prova.

Tale prova è normata dalla UNI EN 12504-3:2005 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 3: Determinazione della forza di estrazione".

La prova si basa sulla corrispondenza esistente tra il carico unitario di rottura a compressione del calcestruzzo e la forza necessaria ad estrarre un inserto metallico standardizzato pre-inglobato nel calcestruzzo fresco o post inserito nel calcestruzzo indurito.



Figura 7 - Metodo Pull Out.

CAPITOLO 3: FASI, STRUMENTI E METODI

Nello studio effettuato si è fatto riferimento ai dati forniti dalla società A.h.R.T.E. s.r.l. (acronimo di “Architectural heritage Restoration through Tailored Engineering”), fornitrice di relazioni e dati di prove, di edifici così suddivisi:

NOME EDIFICIO	PROVINCIA	ANNO DI COSTRUZIONE	SUPERFICIE (mq)	PIANI
A	ANCONA	1970	510	3
B	ANCONA	1966	990	4
C	ANCONA	1960	560	3
D	ANCONA	1973	1500	3
E	ANCONA	1960	320	3
F	ANCONA	1977	880	2

Tabella 4 - Edifici presi in esame.

Tutti edifici forniti dalla società A.h.R.T.E. sono di uso pubblico (scuole) poste tutte nella provincia di Ancona.

Per ogni singolo edificio sono state realizzate le caratteristiche a compressione (Rck) tramite prove distruttive e non, con lo scopo di riuscire a definire una caratterizzazione media del calcestruzzo a livello regionale.

NOME EDIFICIO	SONREB	PULL OUT	COMPRESSIONE PROVINI CILINDRICI
A ('70)	X		X
B ('66)		X	X
C ('60)	X		X
D ('73)	X		X
E ('60)			X
F ('77)			X

Tabella 5 - Metodi per determinare Rck.

Si è notato che in tutti gli edifici viene utilizzata la prova a compressione su provini cilindrici; solamente su tre campioni viene effettuato il metodo SonReb, mentre il metodo Pull Out viene svolto solo su un campione (Tabella 2) e dunque tralasciato nel nostro studio poiché non risulta essere utile.

Si procede quindi tenendo in considerazione i rimanenti due metodi: SonReb e compressione dei provini cilindrici.

3.1 DATI RICAVATI DA METODO SONREB

I dati ricavati dalle prove SonReb sono:

EDIFICIO A

	ID. SONREB	T/P	V	IR
			(m/s)	
Edificio A ('70)	A1	P	3797	41
	A2	P	3553	42
	A3	P	3482	41
	A7	P	2138	46
	A8	P	2846	48
	A9	P	3222	44
	A4	T	2734	32
	A5	T	3460	39
	A6	T	2083	35
	A10	T	2611	35

EDIFICIO C

	ID. SONREB	T/P	V	IR
			(m/s)	
Edificio C ('60)	C1	P	3040	47
	C2	P	2978	43
	C3	P	2876	49
	C7	P	2888	39
	C8	P	2263	38
	C9	P	3232	41
	C12	P	2742	45
	C13	P	2791	40
	C14	P	3011	39
	C10	T	3334	41
	C11	T	2810	41
	C4	T	2953	42
	C5	T	2160	41
	C6	T	2489	41

EDIFICIO D

	ID. SONREB	T/P	V	IR
			(m/s)	
<i>Edificio D ('73)</i>	D1	P	2832	48
	D2	P	2763	40
	D3	P	2304	41
	D4	P	2800	43
	D5	P	2237	39
	D8	P	1624	38
	D9	P	3769	45
	D10	P	3609	49
	D11	P	3367	42
	D12	P	3653	43
	D13	P	3453	44
	D14	P	3578	46
	D15	P	3569	46
	D16	P	3685	50
	D17	P	3841	52
	D18	P	3776	48
	D19	P	3601	48
	D20	P	3354	41
	D6	T	2097	39
	D7	T	2661	40

In cui:

T/P = Trave/Pilastro

V = Velocità ultrasonica

IR = Indice di Rimbalzo

3.2 DATI RICAVATI DAL METODO COMPRESIONE PROVINO CILINDRICO

I dati ricavati dal metodo compressione provino cilindrico sono:

EDIFICIO A

	ID. PROVINO	T/P	H/D (N/mm ²)	f_c	R_c
				(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio A ('70)	A1	P	2	13,4	16,1
	A2	P	2	8,8	10,6
	A3	T	2	12,7	15,3
	A4	T	2	8,8	10,6
	A5	T	1	9,4	9,4

EDIFICIO B

	ID. PROVINO	T/P	H/D (N/mm ²)	f_c	R_c
				(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio B ('66)	B1	P	1	12,1	12,1
	B3	P	1	13,3	13,3
	B5	P	1	17,1	17,1
	B7	P	1	8,5	8,5
	B8	P	1	8,2	8,2
	B11	P	1	5	5
	B12	P	1	5,9	5,9
	B15	P	1	11,5	11,5
	B16	P	1	10,2	10,2
	B19	P	1	13,1	13,1
	B20	P	1	14,1	14,1
	B24	P	1	8,6	8,6
	B25	P	1	4,7	4,7
	B2	T	1	7,9	7,9
	B4	T	1	12,8	12,8
	B6	T	1	14,2	14,2
	B9	T	1	4,3	4,3
	B10	T	1	8,6	8,6
	B13	T	1	13,7	13,7
	B14	T	1	6,5	6,5
	B17	T	1	14,2	14,2
	B18	T	1	8,3	8,3
	B21	T	1	11,8	11,8
	B22	T	1	9,7	9,7
	B23	T	1	17,3	17,3

EDIFICIO C

	ID. PROVINO	T/P	H/D (N/mm ²)	f_c	R_c
				(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio C ('60)	C1	P	2	8,8	10,6
	C3	P	2	14,3	17,2
	C5	P	1	14,1	14,1
	C2	T	1	12,1	12,1
	C4	T	2	10,6	12,8

EDIFICIO D

	ID. PROVINO	T/P	H/D (N/mm ²)	f_c	R_c
				(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio D ('73)	D1	P	1	27,7	27,7
	D2	P	2	30,2	36,4
	D3	P	1	21,8	21,8
	D4	P	1	16,0	16,0
	D5	P	1	25,9	25,9
	D6	P	2	13,2	16,0
	D9	P	2	15,3	18,4
	D10	P	2	13,4	16,1
	D11	P	2	16,2	19,5
	D12	P	2	10,6	12,8
	D13	P	2	7,5	9,0
	D19	P	2	17,7	21,3
	D20	P	2	15,9	19,2
	D21	P	2	16,6	20,0
	D22	P	2	16,9	20,4
	D23	P	2	12,7	15,3
	D29	P	1	12,1	12,1
	D30	P	2	20,2	24,3
	D31	P	2	10,3	12,4
	D32	P	2	8,8	10,6
	D33	P	2	19,4	23,4
	D7	T	2	14,3	17,2
	D8	T	1	24,4	24,4
	D14	T	2	22,7	27,3
	D15	T	2	12,5	15,1
	D16	T	2	16,2	19,5
	D17	T	2	17,4	20,9
	D18	T	2	20,3	24,5
	D24	T	2	14,4	17,4
	D25	T	2	16,8	20,2
	D26	T	2	12,2	14,7
	D27	T	2	19,0	22,9
	D28	T	2	18,4	22,2
	D34	T	1	13,0	13,0
	D35	T	1	11,8	11,8
	D36	T	2	7,4	8,9
	D37	T	2	13,7	16,5
	D38	T	1	11,0	11,0

EDIFICIO E

	ID. PROVINO	T/P	H/D (N/mm ²)	f_c	R_c
				(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio E ('60)	E1	P	2	22,8	27,5
	E2	P	2	9,7	11,7
	E6	P	2	25,8	31
	E7	P	2	33,1	39,9
	E8	P	2	25,8	31
	E3	T	1	25	25
	E4	T	1	19,4	19,4
	E5	T	1	20,9	20,9
	E9	T	1	17,1	17,1
	E10	T	1	14,3	14,3
	E11	T	1	19,1	19,1

EDIFICIO F

	ID. PROVINO	T/P	H/D (N/mm ²)	f_c	R_c
				(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio F ('77)	F1	P	2	4,6	5,54
	F3	P	2	10,7	12,9
	F6	P	2	5,8	6,99
	F2	T	1	15,8	15,8
	F4	T	2	12,5	15,06
	F5	T	1	11,8	11,8

In cui:

T/P = Trave/Pilastro

H/D = rapporto tra altezza e diametro (capitolo 2.3.1.)

f_c = Resistenza a compressione provino cilindrico

R_c = Resistenza a compressione provino cubico

CAPITOLO 4: RISULTATI DELLE ANALISI CONDOTTE

Vengono considerati i dati ricavati dalle prove SonReb e compressione provini cilindrici e viene effettuata la media di ogni categoria:

- *Metodo SonReb.*

In riferimento alle tabelle, precedentemente esposte nel capitolo 3.1 viene eseguito un ulteriore studio considerando le formule (capitolo 2.3.2.):

- Giacchetti – Lacquaniti:

$$Rc_1 = 7.546 \cdot 10^{-11} \cdot N^{1.4} \cdot V^{2.6}$$

- Gasparik:

$$Rc_2 = 8.06 \cdot 10^{-8} \cdot N^{1.246} \cdot V^{1.85}$$

- DeLeo – Pascale:

$$Rc_3 = 1.20 \cdot 10^{-9} \cdot N^{1.058} \cdot V^{2.446}$$

Viene dunque riportata, per ogni singolo elemento, la sua resistenza a compressione effettuata su provino cubico.

Successivamente viene eseguita la media delle resistenze appena trovate, ricavando così la Rc media di ogni singolo provino.

In fine viene effettuata la media divisa per elemento strutturale.

EDIFICIO A

	ID. SONREB	T/P	V	IR	Rc1	Rc2	Rc3	Rc Media	Media elemento strutturale
			(m/s)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio A ('70)	A1	P	3797	41	28,23	34,50	34,74	32,49	23,85
	A2	P	3553	42	24,56	31,44	30,29	28,77	
	A3	P	3482	41	22,54	29,39	28,11	26,68	
	A7	P	2138	46	7,45	13,76	9,63	10,28	
	A8	P	2846	48	16,63	24,63	20,28	20,51	
	A9	P	3222	44	20,33	27,80	25,05	24,40	
Edificio A ('70)	A4	T	2734	32	8,49	13,80	11,97	11,42	13,65
	A5	T	3460	39	20,67	27,30	26,25	24,74	
	A6	T	2083	35	4,75	9,33	6,77	6,95	
	A10	T	2611	35	8,54	14,17	11,76	11,49	

EDIFICIO C

	ID. SONREB	T/P	V	IR	Rc1	Rc2	Rc3	Rc Media	Media elemento strutturale	
			(m/s)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
Edificio C ('60)	C1	P	3040	47	19,17	27,11	23,30	23,19	18,22	
	C2	P	2978	43	16,04	23,36	20,17	19,85		
	C3	P	2876	49	17,59	25,77	21,26	21,54		
	C7	P	2888	39	12,92	19,54	16,87	16,44		
	C8	P	2263	38	6,61	12,05	9,04	9,23		
	C9	P	3232	41	18,57	25,61	23,42	22,53		
	C12	P	2742	45	13,79	21,22	17,29	17,43		
	C13	P	2791	40	12,25	18,93	15,94	15,71		
	C14	P	3011	39	14,40	21,11	18,68	18,06		
	C10	T	3334	41	20,13	27,12	25,27	24,18		16,24
	C11	T	2810	41	12,90	19,77	16,64	16,44		
	C4	T	2953	42	15,19	22,33	19,27	18,93		
	C5	T	2160	41	6,51	12,15	8,74	9,13		
	C6	T	2489	41	9,41	15,79	12,36	12,52		

EDIFICIO D

	ID. SONREB	T/P	V	IR	Rc1	Rc2	Rc3	Rc Media	Media elemento strutturale	
			(m/s)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
Edificio D ('73)	D1	P	2832	48	16,42	24,41	20,03	20,29	26,74	
	D2	P	2763	40	11,93	18,58	15,55	15,35		
	D3	P	2304	41	7,70	13,69	10,24	10,54		
	D4	P	2800	43	13,67	20,84	17,34	17,28		
	D5	P	2237	39	6,65	12,18	9,03	9,29		
	D8	P	1624	38	2,79	6,52	4,02	4,44		
	D9	P	3769	45	31,54	38,22	37,65	35,80		
	D10	P	3609	49	31,75	39,22	37,05	36,00		
	D11	P	3367	42	21,36	28,46	26,56	25,46		
	D12	P	3653	43	27,29	34,08	33,24	31,54		
	D13	P	3453	44	24,34	31,60	29,67	28,54		
	D14	P	3578	46	28,41	35,68	33,93	32,67		
	D15	P	3569	46	28,23	35,51	33,72	32,49		
	D16	P	3685	50	34,47	41,80	39,83	38,70		
	D17	P	3841	52	40,57	47,39	45,95	44,64		
	D18	P	3776	48	34,69	41,56	40,49	38,91		
	D19	P	3601	48	30,67	38,07	36,05	34,93		
	D20	P	3354	41	20,44	27,43	25,65	24,51		
	D6	T	2097	39	5,62	10,81	7,71	8,05		11,08
	D7	T	2661	40	10,82	17,33	14,18	14,11		

- Metodo compressione provini cilindrici.

In riferimento alle tabelle, precedentemente esposte nel capitolo 3.2 viene eseguito un ulteriore studio ricavando per ogni edificio la resistenza cubica e cilindrica a compressione per ogni categoria di elementi costruttivi (trave e pilastro):

EDIFICIO A

	ID. PROVINO	T/P	H/D (N/mm ²)	f_c	R_c	f_c Media edificio	R_c Media edificio
				(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio A ('70)	A1	P	2	13,4	16,1	11,10	13,35
	A2	P	2	8,8	10,6		
	A3	T	2	12,7	15,3	10,30	11,77
	A4	T	2	8,8	10,6		
	A5	T	1	9,4	9,4		

EDIFICIO B

	ID. PROVINO	T/P	H/D (N/mm ²)	f_c	R_c	f_c Media edificio	R_c Media edificio
				(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio B ('66)	B1	P	1	12,1	12,1	10,18	10,18
	B3	P	1	13,3	13,3		
	B5	P	1	17,1	17,1		
	B7	P	1	8,5	8,5		
	B8	P	1	8,2	8,2		
	B11	P	1	5	5		
	B12	P	1	5,9	5,9		
	B15	P	1	11,5	11,5		
	B16	P	1	10,2	10,2		
	B19	P	1	13,1	13,1		
	B20	P	1	14,1	14,1		
	B24	P	1	8,6	8,6		
	B25	P	1	4,7	4,7		
	B2	T	1	7,9	7,9	10,78	10,78
	B4	T	1	12,8	12,8		
	B6	T	1	14,2	14,2		
	B9	T	1	4,3	4,3		
	B10	T	1	8,6	8,6		
	B13	T	1	13,7	13,7		
	B14	T	1	6,5	6,5		
	B17	T	1	14,2	14,2		
	B18	T	1	8,3	8,3		
	B21	T	1	11,8	11,8		
	B22	T	1	9,7	9,7		
	B23	T	1	17,3	17,3		

EDIFICIO C

	ID. PROVINO	T/P	H/D (N/mm ²)	f_c	R_c	f_c Media edificio	R_c Media edificio
				(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio C ('60)	C1	P	2	8,8	10,6	12,40	13,97
	C3	P	2	14,3	17,2		
	C5	P	1	14,1	14,1		
	C2	T	1	12,1	12,1	11,35	12,45
	C4	T	2	10,6	12,8		

EDIFICIO D

	ID. PROVINO	T/P	H/D (N/mm ²)	f_c	R_c	f_c Media edificio	R_c Media edificio
				(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio D ('73)	D1	P	1	27,7	27,7	16,59	18,98
	D2	P	2	30,2	36,4		
	D3	P	1	21,8	21,8		
	D4	P	1	16,0	16,0		
	D5	P	1	25,9	25,9		
	D6	P	2	13,2	16,0		
	D9	P	2	15,3	18,4		
	D10	P	2	13,4	16,1		
	D11	P	2	16,2	19,5		
	D12	P	2	10,6	12,8		
	D13	P	2	7,5	9,0		
	D19	P	2	17,7	21,3		
	D20	P	2	15,9	19,2		
	D21	P	2	16,6	20,0		
	D22	P	2	16,9	20,4		
	D23	P	2	12,7	15,3		
	D29	P	1	12,1	12,1		
	D30	P	2	20,2	24,3		
	D31	P	2	10,3	12,4		
	D32	P	2	8,8	10,6		
	D33	P	2	19,4	23,4		
	D7	T	2	14,3	17,2	15,61	18,08
	D8	T	1	24,4	24,4		
	D14	T	2	22,7	27,3		
	D15	T	2	12,5	15,1		
	D16	T	2	16,2	19,5		
	D17	T	2	17,4	20,9		
	D18	T	2	20,3	24,5		
	D24	T	2	14,4	17,4		
	D25	T	2	16,8	20,2		
	D26	T	2	12,2	14,7		
	D27	T	2	19,0	22,9		
	D28	T	2	18,4	22,2		
	D34	T	1	13,0	13,0		
	D35	T	1	11,8	11,8		
	D36	T	2	7,4	8,9		
	D37	T	2	13,7	16,5		
	D38	T	1	11,0	11,0		

EDIFICIO E

	ID. PROVINO	T/P	H/D (N/mm ²)	f_c	R_c	f_c Media edificio	R_c Media edificio
				(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio E ('60)	E1	P	2	22,8	27,5	23,44	28,22
	E2	P	2	9,7	11,7		
	E6	P	2	25,8	31		
	E7	P	2	33,1	39,9		
	E8	P	2	25,8	31		
	E3	T	1	25	25	19,30	19,30
	E4	T	1	19,4	19,4		
	E5	T	1	20,9	20,9		
	E9	T	1	17,1	17,1		
	E10	T	1	14,3	14,3		
	E11	T	1	19,1	19,1		

EDIFICIO F

	ID. PROVINO	T/P	H/D (N/mm ²)	f_c	R_c	f_c Media edificio	R_c Media edificio
				(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
Edificio F ('77)	F1	P	2	4,6	5,54	7,03	8,48
	F3	P	2	10,7	12,9		
	F6	P	2	5,8	6,99		
	F2	T	1	15,8	15,8	13,37	14,22
	F4	T	2	12,5	15,06		
	F5	T	1	11,8	11,8		

Si è creata quindi una tabella (tabella A) in cui per ogni elemento strutturare (trave/pilastro) e per ogni metodo di determinazione R_c vengono eseguite delle medie per verificare la presenza o meno di un andamento logico.

NOME EDIFICIO	SONREB			COMPR. PROVINI CILINDRICI			SONREB + COMPR. PROVINI		
	P	T	P + T	P	T	P + T	P	T	P + T
EDIFICIO A	23,85	13,65	19,77	13,35	11,77	12,4	21,22	12,84	17,31
EDIFICIO B	-	-	-	10,18	10,76	10,46	-	-	-
EDIFICIO C	18,22	16,24	17,51	13,97	12,45	13,36	17,15	15,15	16,42
EDIFICIO D	26,74	11,08	25,18	18,75	18,50	18,58	22,56	17,34	20,85
EDIFICIO E	-	-	-	28,22	19,30	23,35	-	-	-
EDIFICIO F	-	-	-	8,48	14,22	11,35	-	-	-

Tabella A – Considerazioni divise per elementi portanti e prove.

Si sono fatte poi ulteriori suddivisioni (tabella B e C):

EDIFICI ANNI 60'	SONREB			COMPR. PROVINI CILINDRICI			SONREB + COMPR. PROVINI		
	P	T	P + T	P	T	P + T	P	T	P + T
EDIFICIO B	-	-	-	10,18	10,76	10,46	-	-	-
EDIFICIO C	18,22	16,24	17,51	13,97	12,45	13,36	17,15	15,15	16,42
EDIFICIO E	-	-	-	28,22	19,30	23,35	-	-	-

Tabella B – Suddivisione anni 60'.

EDIFICI ANNI 70'	SONREB			COMPR. PROVINI CILINDRICI			SONREB + COMPR. PROVINI		
	P	T	P + T	P	T	P + T	P	T	P + T
EDIFICIO A	23,85	13,65	19,77	13,35	11,77	12,4	21,22	12,84	17,31
EDIFICIO D	26,74	11,08	25,18	18,75	18,50	18,58	22,56	17,34	20,85
EDIFICIO F	-	-	-	8,48	14,22	11,35	-	-	-

Tabella C – Suddivisione anni 70'.

In conclusione, analizzando la media dei pilastri e delle travi (p/t) e considerando dunque, l'unione delle due ultime tabelle, (tabella D) possiamo notare che la resistenza a compressione (R_c) subisce un aumento di circa 10 N/mm² (es. da 16,42 a 26,42) nel corso degli anni '60 e '70.

Quindi si nota che la resistenza a compressione è aumentata

Possiamo dire che le gli edifici costruiti nel corso degli anni 70, risultano avere una maggiore resistenza a compressione, dunque, una migliore qualità di calcestruzzo.

EDIFICI	SONREB			COMPR. PROVINI CILINDRICI			SONREB + COMPR. PROVINI		
	P	T	P + T	P	T	P + T	P	T	P + T
ANNI 60'	18,22	16,24	17,51	15,97	14,04	15,10	17,15	15,15	16,42
ANNI 70'	22,34	16,13	20,13	21,50	15,93	19,46	25,36	17,79	26,42

Tabella D - Valori medi degli edifici costruiti tra gli anni '60 e '70.

CAPITOLO 5: CONCLUSIONI

Considerando l'obiettivo inizialmente posto, ossia la creazione di un database regionale per il calcestruzzo, lo studio svolto parte dall'analisi della normativa vigente D.M. n. 42 del 17 gennaio 2018 (NTC 2018).

All'interno di tale decreto è stato analizzato, con particolare interesse, il capitolo 8 dove si stabiliscono i *criteri generali* per la valutazione della sicurezza e il controllo degli interventi da attuarsi su una *costruzione esistente*; nello specifico di tale tesi è stato oggetto di studio il seguente materiale: il CALCESTRUZZO.

Successivamente vengono valutati i dati forniti dalla società ARTE analizzando le prove svolte da quest'ultima e confrontando, dunque, tutti i valori di compressione, cilindrica e cubica, forniti.

La società rileva un numero di campioni pari a sei (6) edifici esistenti presenti all'interno del territorio marchigiano, nello specifico nella provincia di Ancona, edificati negli anni 1960 e 1970.

È stato osservato che, per tutti i casi di studio, viene effettuata la prova a compressione cilindrica; inoltre tre (3) campioni sono stati analizzati anche tramite la prova SonReb, mentre solamente un (1) edificio viene esaminato tramite il metodo Pull Out.

Nel corso del nostro studio, considerando i risultati di quest'ultima prova, si è deciso di tralasciare i risultati poiché non risultano essere utili.

Si è stilata dunque una tabella, di seguito riportata, dalla quale si è ricavato, per ogni elemento strutturale e per ogni tipologia di prova effettuata, la resistenza media a compressione cubica.

NOME EDIFICIO	SONREB			COMPR. PROVINI CILINDRICI			SONREB + COMPR. PROVINI		
	P	T	P + T	P	T	P + T	P	T	P + T
EDIFICIO A	23,85	13,65	19,77	13,35	11,77	12,4	21,22	12,84	17,31
EDIFICIO B	-	-	-	10,18	10,76	10,46	-	-	-
EDIFICIO C	18,22	16,24	17,51	13,97	12,45	13,36	17,15	15,15	16,42
EDIFICIO D	26,74	11,08	25,18	18,75	18,50	18,58	22,56	17,34	20,85
EDIFICIO E	-	-	-	28,22	19,30	23,35	-	-	-
EDIFICIO F	-	-	-	8,48	14,22	11,35	-	-	-

Tabella A – Considerazioni divise per elementi portanti e prove.

Successivamente viene creata la tabella D effettuando una divisione per anno di costruzione ottenendo, così, un ulteriore metodo di valutazione.

Si delinea, dunque, un aumento dell'Rck (resistenza a compressione cubica media) pari a 10 N/mm².

EDIFICI	SONREB			COMPR. PROVINI CILINDRICI			SONREB + COMPR. PROVINI		
	P	T	P + T	P	T	P + T	P	T	P + T
ANNI 60'	18,22	16,24	17,51	15,97	14,04	15,10	17,15	15,15	16,42
ANNI 70'	22,34	16,13	20,13	21,50	15,93	19,46	25,36	17,79	26,42

Tabella D - Valori medi degli edifici costruiti tra gli anni '60 e '70.

Si osservi come gli edifici negli anni '70 risultano avere una maggiore resistenza a compressione cubica rispetto a quelli realizzati negli anni '60. I primi, dunque, presentano una migliore qualità di calcestruzzo.

In definitiva possiamo affermare che l'obiettivo finale della tesi, ovvero quello di stilare una tabella a livello regionale delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo, non è risultato possibile poiché il numero dei campioni non è sufficiente.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Decreto Ministeriale 2018 n. 42 del 17 gennaio 2018;
- Decreto Ministeriale 2008 n. 29 del 14 gennaio 2008;
- Circolare esplicativa, 11 febbraio 2019;
- Capitolo 8 delle NTC 2018;
- Norma UNI EN 12504 - 2: 2001 “Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Prove non distruttive – Determinazione dell’indice sclerometrico”;
- Norma UNI EN 12504 - 4: 2009, “Prove sul calcestruzzo nelle strutture. Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici”;
- Renato Giannini - “Teoria e tecnica delle costruzioni civili” – CittàStudi edizioni.