



A.O.R.N. Santobono - Pausilipon
Ospedale Santobono

Viale Mario Fiore, 6 - 80129 Napoli

DIRETTORE GENERALE
Dott.ssa Anna Maria Minicucci

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Marcello PARLATO



PROGETTISTI



MANDATARIA:
MYTHOS CONSORZIO STABILE S.C.AR.L
Consorzio Stabile Mythos S.c.ar.l
Via Trottechien 61, 11100 Aosta
mythos.ao@mythos.pro

MANDANTI:
G.M.N. ENGINEERING s.r.l.



G.M.N. ENGINEERING s.r.l.
Servizi di Ingegneria e Geologia

SIRIO INGEGNERIA Ing. Vitanantonio Polito



RESPONSABILE INTEGRAZIONE SPECIALISTICHE
Ing. Fabio INZANI

RESPONSABILE ESPERTO IN PROGETTAZIONE SANITARIA E OSPEDALIERA
Arch. Margherita CARABILLO'

PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI E SPECIALI
Ing. Stefano BONFANTE

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA
Arch. Margherita CARABILLO'

BIM MANAGER
Arch. Stefano CARERA

PROGETTAZIONE STRUTTURALE
Prof. Ing. P. MASSAROTTI

PROGETTAZIONE IMPIANTI TERMOMECCANICI
Dott. Ing. Fabio INZANI

COORDINATORE SICUREZZA IN PROGETTAZIONE
Ing. Luca Giordo

PROGETTO ESECUTIVO			COMMESSA:	TW1927
DISCIPLINA: STRUTTURE Stato di progetto			NUMERO ELABORATO:	TW1927.PE.0011.RAV.PNN.ST.R.00
TITOLO ELABORATO: Relazione sui materiali			DATA CONSEGNA:	08/10/2020
Revisione			NOME FILE:	
01			FORMATO ELABORATO:	A4
02				
03				
04				
05			SCALA ELABORATO:	----

SOMMARIO

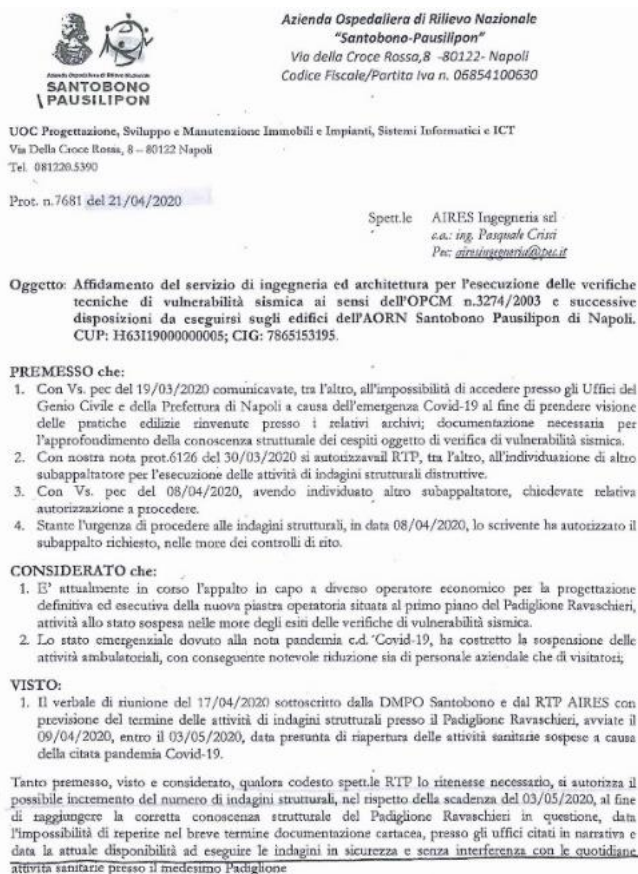
1. PREMESSA	2
2. SINTESI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI.....	4
3. ILLUSTRAZIONE CAMPAGNA DI INDAGINI	5
3.1 GEOMETRIA.....	6
3.2 DETTAGLI COSTRUTTIVI	6
3.3 PROPRIETÀ DEI MATERIALI	8
4. PROVE SUL CALCESTRUZZO	9
4.1 PROVE DI RESISTENZA A COMPRESSIONE.....	9
4.2 PROVE SONREB.....	13
4.3 SINTESI DEI RISULTATI	18
5. PROVE SULLE BARRE DI ARMATURA.....	18
5.1 PROVE DI RESISTENZA A TRAZIONE.....	18
5.2 PROVE DUROMETRICHE	19
5.3 SINTESI DEI RISULTATI	20
6. CONCLUSIONI	21

1. PREMESSA

Il Raggruppamento Temporaneo di Professionisti costituito da AIREs Ingegneria srl (capogruppo), Sirio Ingegneria Consorzio Stabile (mandante), Ing. Stefano Senes (mandante), è stato individuato dall'Azienda Ospedaliera di Rilievo Nazionale Santobono Pausilipon (di seguito Santobono-Pausilipon), come soggetto incaricato delle verifiche tecniche di vulnerabilità sismica di alcuni edifici del Presidio Ospedaliero Santobono ("Padiglione Santobono-Torre", "Padiglione Ravaschieri", "Tunnel", "Edifici di servizio") e del Presidio Ospedaliero Pausilipon ai sensi dell'O.P.C.M. n. 3274 ss.mm.ii del 20 marzo 2003.

La presente relazione è parte degli elaborati costituenti la verifica tecnica dell'edificio "Padiglione Ravaschieri", compreso nel P.O. Santobono dell'A.O.R.N. Santobono-Pausilipon, ed è relativa alla illustrazione della campagna di accertamenti ed indagini eseguita nel rispetto delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (DM 17/01/2018), a seguire denominate NTC, e relativa "Circolare alle Norme Tecniche per le Costruzioni" (Circolare n. 7/2019" del 21/01/2019) di seguito denominata Circolare NTC.

Con PEC prot. n. 7681 del 21/04/2020 (che si riporta a seguire), l'A.O.R.N. Santobono Pausilipon, nella persona del RUP Ing. Gerardo Palmieri, vista l'impossibilità di reperire la documentazione progettuale presso il Genio Civile e la Prefettura di Napoli a causa dell'emergenza Covid-19, autorizzava l'RTP ad incrementare il numero delle indagini strutturali al fine di raggiungere la corretta conoscenza strutturale del Padiglione Ravaschieri.



PEC Prot. 7681 del 21/04/2020, trasmessa al RTP dal RUP Ing. Gerardo Palmieri

Pertanto, in virtù dell'incremento delle indagini si è passato da un livello di conoscenza LC2 previsto in capitolato ad un livello di conoscenza LC3.

Difatti per l'attingimento di LC2 sarebbe stato sufficiente eseguire le seguenti indagini relativamente alle caratteristiche meccaniche dei materiali e dei dettagli costruttivi

P.O. SANTOBONO - PADIGLIONE RAVASCHIERI							
TIPOLOGIA STRUTTURALE	C.A.	CAMPAGNA PER: CEMENTO ARMATO					
LIVELLO DI CONOSCENZA	LC2						
SPECIFICHE MATERIALI (CERTIF. MATERIALI)	NO						
Riferimenti normativi:	Superficie [mq]	Materiali: Estese prove		Coefficiente di omogeneità del materiale		Sostituzione di carote con prove Sonreb	
Norme tecniche per le costruzioni: "D.M. 17/01/2018"		Carote ogni 300 mq:	Barre al piano:	0%	0%	3 sonreb ogni 1 carote	
Circolare esplicativa alle NTC2018: "Circolare del 21/01/2019 n. 7"		2	2	N. carote cls	N. campioni di armatura	N. carote cls da effettuare	N. prove SONREB da effettuare
Piano -1	2246	16	2	16	2	-	-
Piano 0	1944	14	2	14	2	-	-
Piano 1	1944	14	2	14	2	-	-
Piano 2	925	6	2	6	2	-	-
Piano 3	895	6	2	6	2	-	-
Piano 4	895	6	2	6	2	-	-
Piano 5	895	6	2	6	2	-	-
Totale		68	14	68	14	0	0

Indagini necessarie per il conseguimento del Livello di Conoscenza LC2 – Proprietà dei materiali

P.O. SANTOBONO - PADIGLIONE RAVASCHIERI									
TIPOLOGIA COSTRUTTIVA	C.A.	CAMPAGNA PER: CEMENTO ARMATO - INDAGINI PACOMETRICHE							
LIVELLO DI CONOSCENZA	LC2								
GRAFICI ORIGINARI	NO								
Riferimenti normativi:	Numero Pilastri	Numero Travi	Numero Setti	COEFFICIENTI DI RIPETIBILITA'			Dettagli: Indagini estese		
Norme tecniche per le costruzioni: "D.M. 17/01/2018"				PILASTRI	TRAVI	SETTI			
Circolare esplicativa alle NTC2018: "Circolare del 21/01/2019 n. 7"				0%	0%	0%	35%		
				n. Pilastri rappresentativi	n. Travi rappresentativi	n. Setti rappresentativi	N. pilastri da verificare	N.Travi da verificare	N.Setti da verificare
Piano -1	123	124	0	123	124	0	44	44	0
Piano 0	100	121	0	100	121	0	35	43	0
Piano 1	100	121	0	100	121	0	35	43	0
Piano 2	60	55	0	60	55	0	21	20	0
Piano 3	51	50	0	51	50	0	18	18	0
Piano 4	51	50	0	51	50	0	18	18	0
Piano 5	51	50	0	51	50	0	18	18	0
Totale							189	204	0
							393		

Indagini necessarie per il conseguimento del Livello di Conoscenza LC2 – Verifica dei dettagli costruttivi

A seguito dell'incremento sopra detto, sono state eseguite le seguenti indagini, che hanno consentito il conseguimento del livello di conoscenza LC3, i cui valori minimi sono riportati nelle tabelle di cui ai paragrafi a seguire:

Carote cls		SonReb		Estrazione barre di armatura		Durometriche su barre di armatura		Pacometriche	
Piano -1	26	Piano -1	0	Piano -1	3	Piano -1	0	Piano -1	132
Piano 0	23	Piano 0	0	Piano 0	4	Piano 0	0	Piano 0	121
Piano 1	19	Piano 1	6	Piano 1	3	Piano 1	0	Piano 1	112
Piano 2	12	Piano 2	0	Piano 2	2	Piano 2	3	Piano 2	51
Piano 3	9	Piano 3	6	Piano 3	2	Piano 3	3	Piano 3	52
Piano 4	8	Piano 4	3	Piano 4	2	Piano 4	3	Piano 4	51
Piano 5	9	Piano 5	0	Piano 5	3	Piano 5	0	Piano 5	52
Totale	106	Totale	15	Totale	19	Totale	9	Totale	571

Risulta evidente che il numero delle indagini integrative è il seguente:

- Carotaggi: n° 106-68 = 38
- Barre: n° 19-14 = 5
- Pacometriche: n° 571-393 = 178
- Sonreb: n° 15
- Durometriche: n° 9

2. SINTESI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI

Nel complesso percorso della verifica di vulnerabilità sismica particolare importanza riveste la conoscenza del manufatto che deve essere la più completa possibile.

La fase delle indagini assume pertanto un ruolo indispensabile per la definizione delle successive operazioni ed in tale campo fondamentale è l'apporto del contributo che possono fornire le varie tecniche di indagine.

Tali metodi di prova consentono di conoscere con un grado di attendibilità sufficientemente elevato le caratteristiche meccaniche dei materiali in situ e successivamente forniscono parametri indispensabili per la formulazione di un modello di funzionamento della struttura nel suo insieme.

La valutazione della sicurezza di un edificio esistente è una operazione molto delicata, sia per la natura particolare del problema stesso, sia per le incertezze che accompagnano la conoscenza dei materiali e l'attendibilità dei risultati delle indagini e dei procedimenti di calcolo.

È necessario che i dati raccolti con le indagini siano, per qualità e quantità, pienamente rappresentativi delle caratteristiche dell'opera. Ciò significa che, in linea generale e compatibilmente con i costi ragionevolmente sostenibili, le indagini devono permettere di stimare correttamente le proprietà dei materiali e il riconoscimento dei dettagli costruttivi.

La campagna delle indagini diagnostiche-strumentali e dei saggi a vista è stata predisposta sulla scorta della documentazione progettuale originaria (laddove disponibile), dei sopralluoghi, dei rilievi metrici e dopo avere individuato le aree di maggiore rilevanza strutturale.

In tal modo si è evitata una massiccia campagna di indagini che poteva fornire risultati ripetitivi e arrecare danni più o meno invasivi all'edificio nel suo complesso.

Lo scopo delle indagini diagnostiche ha riguardato sia la conoscenza della natura dei materiali (calcestruzzo e acciaio da c.a.) sia il riconoscimento dei dettagli costruttivi (armature presenti nelle sezioni resistenti: quantità e disposizione).

La società TEKONOMISURE s.r.l. con sede in Santa Maria Capua Vetere (CE), individuata dal RTP come società subappaltatrice per l'esecuzione delle indagini in situ, ha eseguito la campagna di indagini diagnostiche consistente in: estrazione di carote di cls e di barre di armatura; indagini sclerometriche e ultrasoniche (SonReb), durometriche, pacometriche, endoscopiche, prova di carico su solaio. Sono stati eseguiti, altresì, saggi a vista sulle strutture di fondazione e in elevazione.

Le prove di laboratorio, compressione dei provini di calcestruzzo e trazione sulle barre di armatura estratte, sono state eseguite dalla società GEO-IN s.r.l., laboratorio autorizzato ai sensi della legge 1086/71, avente sede in Benevento.

L'identificazione della disposizione e quantità delle armature metalliche presenti nelle sezioni resistenti è stata eseguita mediante indagini "indirette" pacometriche integrate a campione da saggi a vista che hanno permesso la misura "diretta" dei diametri al fine di ottimizzare e calibrare le indagini pacometriche.

Per i dettagli costruttivi e per i materiali sono stati privilegiati comunque gli elementi che svolgono un ruolo maggiormente critico nella struttura in termini di resistenza all'azione sismica, così come suggerito al punto C8.5.2.2 della Circolare NTC.

Sono stati poi eseguiti diversi saggi a vista per chiarire alcuni dubbi non risolvibili con lo studio della documentazione rinvenuta né con il rilievo (come, per esempio, la individuazione della tipologia e la caratterizzazione della stratigrafia di alcuni divisori e tamponature, solai, ecc.).

Per l'esatta ubicazione dei punti di prova si rimanda agli elaborati redatti nell'ambito del presente incarico (Cfr. rapporti di prova e relativi allegati).

La campagna di indagini e prove è stata sufficiente per il conseguimento del Livello di Conoscenza— **LC3**.

Le seguenti tabelle, già proposte in premessa, riportano un riepilogo delle indagini sui materiali e dei dettagli costruttivi eseguite sull'edificio "Ravaschieri".

Carote cls		SonReb		Estrazione barre di armatura		Durometriche su barre di armatura		Pacometriche	
Piano -1	26	Piano -1	0	Piano -1	3	Piano -1	0	Piano -1	132
Piano 0	23	Piano 0	0	Piano 0	4	Piano 0	0	Piano 0	121
Piano 1	19	Piano 1	6	Piano 1	3	Piano 1	0	Piano 1	112
Piano 2	12	Piano 2	0	Piano 2	2	Piano 2	3	Piano 2	51
Piano 3	9	Piano 3	6	Piano 3	2	Piano 3	3	Piano 3	52
Piano 4	8	Piano 4	3	Piano 4	2	Piano 4	3	Piano 4	51
Piano 5	9	Piano 5	0	Piano 5	3	Piano 5	0	Piano 5	52
Totale	106	Totale	15	Totale	19	Totale	9	Totale	571

Nel seguito si riporta, per l'edificio "Ravaschieri", il dettaglio delle indagini e prove effettuate in relazione ai diversi aspetti che definiscono il livello di conoscenza e precisamente: geometria, dettagli costruttivi e proprietà dei materiali.

3. ILLUSTRAZIONE CAMPAGNA DI INDAGINI

L'edificio "Ravaschieri", come già dettagliato negli altri elaborati di verifica, è un edificio in c.a. che si eleva per 7 piani.

La struttura, come si evince da alcune tavole del progetto architettonico originario rinvenuto presso gli archivi dell'azienda ospedaliera, risale all'inizio degli anni '60.

Le ricerche documentali intraprese presso gli archivi del Genio Civile e della Prefettura di Napoli si sono rivelate infruttuose, non consentendo di ritrovare documenti di interesse strutturale relativi alla progettazione e all'esecuzione dell'edificio.

Dai documenti consultati emerge il nominativo del progettista Ing. Augusto Biraghi e dell'impresa esecutrice "Pasquale Corsicato".

Le caratteristiche costruttive riscontrate, nonché lo studio della documentazione rinvenuta, hanno evidenziato che l'edificio "Ravaschieri", nel suo complesso, è stato concepito come un "unicum", per cui si è proceduto per alcune indagini a considerare gli aspetti comuni di tipo globale e per altri aspetti, per una maggiore precisione di analisi, si è proceduto ad una trattazione per singoli corpi di fabbrica.

3.1 Geometria

La geometria dell'edificio è stata ricavata mediante i grafici originali integrati da un rilievo metrico ex-novo "completo".

Ai fini del riconoscimento della geometria strutturale, il rilievo geometrico è stato opportunamente integrato dai diversi saggi a vista, all'uopo integrate da indagini endoscopiche, eseguiti sia sugli elementi strutturali che non strutturali (ad esempio tamponature e sui divisori)

Le risultanze dei saggi a vista e delle indagini sono riportate negli appositi report redatti nell'ambito del presente incarico.

3.2 Dettagli costruttivi

Non avendo a disposizione il progetto delle strutture, ai fini del raggiungimento del Livello di Conoscenza - **LC3**, per la verifica dei dettagli costruttivi sono state eseguite "*indagini esaustive*" che prevede il controllo del 50% degli elementi in c.a..

La quantità dei dettagli costruttivi da verificare è stata dedotta nel rispetto della tabella C8.5.V della Circolare NTC.

Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si è tenuto anche conto delle situazioni ripetitive presenti, che hanno consentito di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetitività, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale (cfr. Note esplicative alla tabella C8.5.V della Circolare NTC). Nel caso specifico, trattandosi di edificio progettato per resistere ai soli carichi verticali, è stato riscontrato che le tipologie degli elementi in c.a. presentano comunque delle percentuali di ripetitività alte.

Le indagini in-situ basate sui dettagli strutturali sono state quindi effettuate su una congrua percentuale degli elementi strutturali, privilegiando, tra le tipologie di elementi strutturali quelle che rivestono un ruolo di primaria importanza nella struttura quali i pilastri.

Pertanto, in base alle considerazioni sopra enunciate si riportano delle tabelle riepilogative con il totale complessivo delle indagini minime previste e di quelle effettivamente eseguite, da cui è possibile riscontrare che queste ultime, nell'ottica di maggior cautela, risultano in numero di gran lunga maggiore rispetto alle prime, qualora si considerasse anche la presenza di ripetitività delle sezioni resistenti, che a seguito della campagna di indagine è possibile stimare nell'ordine del 30-40%.

P.O. SANTOBONO - PADIGLIONE RAVASCHIERI									
TIPOLOGIA COSTRUTTIVA	C.A.								
LIVELLO DI CONOSCENZA	LC3								
GRAFICI ORIGINARI	NO	CAMPAGNA PER: CEMENTO ARMATO - INDAGINI PACOMETRICHE							
Riferimenti normativi:	Numero Pilastri Numero Travi Numero Setti			COEFFICIENTI DI RIPETIBILITA'			Dettagli: Indagini esaustive		
Norme tecniche per le costruzioni: "D.M. 17/01/2018"				PILASTRI	TRAVI	SETTI			
Circolare esplicativa alle NTC2018: "Circolare del 21/01/2019 n. 7"				0%	0%	0%	50%		
				n. Pilastri rappresentativi	n. Travi rappresentativi	n. Setti rappresentativi	N. pilastri da verificare	N.Travi da verificare	N.Setti da verificare
Piano -1	123	124	0	123	124	0	62	62	0
Piano 0	100	121	0	100	121	0	50	61	0
Piano 1	100	121	0	100	121	0	50	61	0
Piano 2	60	55	0	60	55	0	30	28	0
Piano 3	51	50	0	51	50	0	26	25	0
Piano 4	51	50	0	51	50	0	26	25	0
Piano 5	51	50	0	51	50	0	26	25	0
Totale							270	287	0
TOTALE							557		

Indagini necessarie per il conseguimento del Livello di Conoscenza LC3
Verifica dei dettagli costruttivi con ripetitività 0%

P.O. SANTOBONO - PADIGLIONE RAVASCHIERI									
TIPOLOGIA COSTRUTTIVA	C.A.								
LIVELLO DI CONOSCENZA	LC3								
GRAFICI ORIGINARI	NO	CAMPAGNA PER: CEMENTO ARMATO - INDAGINI PACOMETRICHE							
Riferimenti normativi:	Numero Pilastri Numero Travi Numero Setti			COEFFICIENTI DI RIPETIBILITA'			Dettagli: Indagini esaustive		
Norme tecniche per le costruzioni: "D.M. 17/01/2018"				PILASTRI	TRAVI	SETTI			
Circolare esplicativa alle NTC2018: "Circolare del 21/01/2019 n. 7"				40%	40%	40%	50%		
				n. Pilastri rappresentativi	n. Travi rappresentativi	n. Setti rappresentativi	N. pilastri da verificare	N.Travi da verificare	N.Setti da verificare
Piano -1	123	124	0	74	74	0	37	37	0
Piano 0	100	121	0	60	73	0	30	37	0
Piano 1	100	121	0	60	73	0	30	37	0
Piano 2	60	55	0	36	33	0	18	17	0
Piano 3	51	50	0	31	30	0	16	15	0
Piano 4	51	50	0	31	30	0	16	15	0
Piano 5	51	50	0	31	30	0	16	15	0
Totale							163	173	0
TOTALE							336		

Indagini necessarie per il conseguimento del Livello di Conoscenza LC3
Verifica dei dettagli costruttivi con ripetitività 40%

P.O. SANTOBONO - PADIGLIONE RAVASCHIERI					
PROVE EFFETTIVAMENTE ESEGUITE					
	Pilastrì	Travi	Setti	Altri elementi: Solai	Totale
Piano -1	70	59	0	3	132
Piano 0	70	50	0	1	121
Piano 1	57	55	0	0	112
Piano 2	36	15	0	0	51
Piano 3	30	22	0	0	52
Piano 4	21	30	0	0	51
Piano 5	26	26	0	0	52
Totale	310	257	0	4	571

*Indagini effettivamente eseguite per il conseguimento del Livello di Conoscenza LC3
Verifica dei dettagli costruttivi*

Le indagini pacometriche, che rappresentano una misura indiretta del diametro e della posizione delle barre, sono state confrontate e validate, da puntuali saggi a vista consistiti nella asportazione del copriferro e nella messa a nudo delle armature. Si è potuto così osservare, anche laddove è stata preventivamente eseguita l'indagine pacometrica, la posizione precisa delle barre e misurarne il diametro con il calibro.

I confronti così eseguiti hanno permesso un generale raffronto dei risultati ottenuti riducendo al minimo l'errore dovuto alle indagini pacometriche che sono per loro natura misurazioni di tipo indiretto, suscettibili pur sempre di un qualche errore di precisione.

3.3 Proprietà dei materiali

Per la struttura in oggetto, non avendo a disposizione le specifiche originarie dei materiali, ai fini del raggiungimento del livello di conoscenza - **LC3**, per le proprietà dei materiali, sono state eseguite "esaustive prove in situ" equivalenti per il calcestruzzo all'esecuzione di 3 carotaggi ogni 300 mq e per l'acciaio a tre estrazioni di campioni per piano.

Si osserva che con la definizione della campagna di indagine proposta, si è cercato di mediare tra diverse esigenze, quali a titolo esemplificativo e non esaustivo:

- non arrecare troppi danni alle strutture (con l'esecuzione di un numero eccessivo di prelievi strutturali e di operazioni di ripristino strutturale ed estetico/funzionali);
- assicurare la funzionalità operativa della struttura sanitaria in ogni momento dovendo gli edifici in interesse rimanere in esercizio al momento dell'effettuazione delle prove stesse.

La quantità dei provini da sottoporre ai test di laboratorio è stata dedotta nel rispetto della tabella C8.5.V della Circolare NTC.

La stessa Circolare tende a precisare in più punti che le percentuali di elementi da indagare ed il numero di prove sui materiali da effettuare hanno valore solo indicativo dovendo poi essere adattate ai singoli casi anche sulla scorta delle scelte proprie del progettista.

Inoltre, la nota esplicativa (c) alla tabella C8.5.V introduce la possibilità di sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con almeno il triplo di prove non distruttive.

Sono state estratte un totale n. 106 carote di calcestruzzo, per le quali si è proceduto all'esecuzione di prove di schiacciamento in laboratorio e prove atte a misurare la profondità di carbonatazione. A supporto, sono state eseguite n. 15 prove non distruttive combinate SonReb, equivalenti all'estrazione di n. 5 carote di calcestruzzo.

Sono state effettuate n. 19 estrazioni di barre di armatura, per le quali si è proceduto all'esecuzione di prove di trazione in laboratorio. Le predette prove sono state integrate mediante l'esecuzione in situ di n. 9 prove non distruttive Durometriche, equivalenti all'estrazione di n. 3 barre di armatura.

L'esecuzione delle prove nel loro complesso ha consentito di coprire tutti i corpi di fabbrica e per ogni corpo tutti i piani.

Le prove effettuate, in numero e loro localizzazione, sono riportate negli elaborati redatti nell'ambito del presente incarico.

L'individuazione degli elementi strutturali da indagare è stata effettuata in maniera tale da ottenere un campione significativo di elementi, in grado di rappresentare le caratteristiche medie dei getti di cls della struttura nella loro interezza, in termini di omogeneità e di resistenza meccanica, in base ai principi e criteri indicati in precedenza.

Per le finalità della presente prestazione sono stati privilegiati, quanto a numero di elementi indagati ed accuratezza dell'indagine, quelli che svolgono un ruolo maggiormente "critico" nello schema strutturale, quali generalmente i pilastri rispetto alle travi, non tralasciando comunque di indagare quest'ultime.

4. PROVE SUL CALCESTRUZZO

4.1 Prove di resistenza a compressione

La resistenza in situ del calcestruzzo, le norme, e la letteratura del settore, evidenziano come la stessa, determinata mediante la compressione di carote prelevate dalla struttura, sia in generale minore di quella ricavata dalla prova di compressione di campioni maturati in condizioni di laboratorio. Tale difformità è legata a differenti motivazioni che possono essere suddivise in due grandi categorie: l'una relativa alle condizioni di posa in opera e di maturazione, l'altra ai disturbi arrecati ai campioni mediante il prelievo. Per quanto attiene il primo aspetto, così come indicato dalle NTC 2008, che si riporta integralmente, *"Il valor medio della resistenza del calcestruzzo in opera (definita come resistenza strutturale) è in genere inferiore al valor medio della resistenza dei prelievi in fase di getto maturati in condizioni di laboratorio (definita come resistenza potenziale)"*.

Per quanto attiene il secondo aspetto, come facilmente comprensibile, le operazioni di prelievo comportano un degrado locale delle caratteristiche meccaniche e, quindi, del campione che si preleva. Tali perdite, generalmente, risultano trascurabili per l'elemento strutturale oggetto di indagine, date le limitate dimensioni del foro in esso realizzato, ma molto influenti sulla resistenza del campione prelevato. L'entità sarà commisurata alle cure che si adottano nelle operazioni di prelievo, ma anche alle caratteristiche meccaniche del materiale di partenza ed al diametro della carota. Il disturbo arrecato dall'operazione di taglio (usura) provocata dalla corona diamantata si propaga radialmente nel materiale circostante individuando un volume avente in sezioni la forma di una corona circolare con diametro medio pari a quello del carotiere, ed una lunghezza di poco maggiore a quella del campione prelevato.

Stante la necessità di valutare la resistenza in situ dei calcestruzzi, è necessario utilizzare formulazioni che ne consentano comunque una stima.

L'interpretazione delle resistenze delle carote, è un problema che non trova soluzione nella normativa tecnica nazionale, poiché non esiste uno standard nazionale di riferimento sulla materia.

La letteratura tecnico-scientifica e diverse normative danno una serie di indicazioni per i fattori sopra elencati mediante l'applicazione dei coefficienti correttivi che, applicati al valore f_{core} (Resistenza della carota), consentono di ottenere sia il valore di resistenza cilindrica effettiva, sia la resistenza cubica in situ.

Il metodo qui utilizzato per la interpretazione delle prove è quello proposto da Masi, essendo un metodo che ha trovato maggiore affermazione nella letteratura tecnica e non in ultimo in diversi documenti o circolari emanate sia a livello nazionale che regionale, molto probabilmente per la completezza in termini di applicazione dei diversi coefficienti correttivi.

Secondo tale metodo quindi la trasformazione della resistenza di carota (f_{core}) in resistenza cilindrica effettiva (f_{cil}) passa attraverso la seguente relazione:

$$f_{cil} = [f(h/d) * f(dia) * f(a) * f(d)] f_{core}$$

dove:

- $f(h/d)$ è il coefficiente correttivo per rapporti h/d diversi da 2, pari a $2/(1.5 + d/h)$;
- $f(dia)$ è il coefficiente correttivo relativo al diametro, da assumere pari a 1.06, 1.00 e 0.98 per d pari, rispettivamente, a 50, 100 e 150 mm e interpolato linearmente per valori intermedi;
- $f(a)$ è il coefficiente correttivo relativo alla presenza di armature incluse, variabile tra 1.03 per barre di piccolo diametro a 1.13 per barre di diametro elevato.
- $f(d)$ è il coefficiente correttivo per tener conto del disturbo arrecato alla carota nelle operazioni di estrazione. Tenendo conto del fatto che il rimaneggiamento è tanto maggiore quanto minore è la qualità del calcestruzzo da carotare, il metodo propone di assumere $f(d)=1.20$ per $R_{car} < 20$ MPa, e $f(d) = 1.10$ per $R_{car} > 20$ MPa.

Infine, per ottenere la Resistenza Cubica in Situ a partire da quella cilindrica effettiva si applica la seguente relazione:

$$f_{cub} = f_{cil} / 0.83$$

Nel corso delle operazioni di prelievo delle carote è stata misurata anche la profondità di carbonatazione del calcestruzzo, così da valutare il potenziale grado di protezione alla corrosione delle barre di armatura.

La misura della profondità di carbonatazione è regolata dalla norma UNI 9944. Essa avviene osservando il viraggio della fenoltaleina, che, in ambiente basico, ovvero in assenza di carbonatazione, si colora di rosso-violetto. Pertanto, spruzzando sulla superficie cilindrica del campione, immediatamente dopo l'estrazione, una soluzione di fenoltaleina all'1% in alcol etilico, è stato osservato il calcestruzzo carbonatato come quella parte che non mostra una colorazione rosso-violetto.

Pertanto, nella tabella che segue i valori delle resistenze cilindriche e cubiche ottenute dalle prove eseguite e i relativi valori medi in base alla trattazione sopra descritta (Masi).

Per il calcestruzzo, si riporta una tabella riepilogativa con i risultati delle prove di compressione eseguite sulle carote estratte, ordinate nel seguito per singolo piano.

P.O. SANTOBONO - PADIGLIONE RAVASCHIERI												
Identificativo Prova	Identificativo Elemento	Note: sigla laboratorio	Piano	f core	d	l/d	F(l/d)	F(dia)	F(a)	F(d)	f cil	f cub
				daN/cm ²	mm	-	-	-	-	-	daN/cm ²	daN/cm ²
-1-C1	Pilastro	-1-C1	-1	395,5	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,10	350,2	422,0
-1-C1.1	Pilastro	-1-C1.1	-1	187,6	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	185,7	223,7
-1-C2	Pilastro	-1-C2	-1	319,4	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	289,6	348,9
-1-C3	Pilastro	-1-C3	-1	183,0	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,20	176,6	212,7
-1-C3.1	Pilastro	-1-C3.1	-1	225,8	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	204,8	246,7
-1-C4	Pilastro	-1-C4	-1	168,0	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	167,7	202,1
-1-C5	Pilastro	-1-C5	-1	146,4	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	145,0	174,7
-1-C6	Pilastro	-1-C6	-1	362,2	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,10	319,4	384,8
-1-C6.1	Pilastro	-1-C6.1	-1	380,0	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	346,1	417,0
-1-C7	Pilastro	-1-C7	-1	290,3	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,10	255,8	308,2
-1-C7.1	Trave	-1-C7.1	-1	279,8	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	256,0	308,5
-1-C8	Pilastro	-1-C8	-1	235,4	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,10	207,8	250,3
-1-C8.1	Pilastro	-1-C8.1	-1	234,0	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	212,2	255,7
-1-C9	Pilastro	-1-C9	-1	330,9	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	300,6	362,1
-1-C9.1	Pilastro	-1-C9.1	-1	234,5	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	212,7	256,2
-1-C10	Pilastro	-1-C10	-1	337,6	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	307,1	370,1
-1-C11	Trave	-1-C11	-1	178,1	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	176,1	212,2
-1-C12	Pilastro	-1-C12	-1	192,8	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,20	185,9	223,9
-1-C13	Pilastro	-1-C13	-1	297,3	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,10	261,7	315,3
-1-C14	Pilastro	-1-C14	-1	276,8	73,0	1,0	0,8	1,03	1	1,10	252,3	303,9
-1-C15	Pilastro	-1-C15	-1	195,1	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,20	187,9	226,4
-1-C16	Pilastro	-1-C16	-1	280,0	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,10	246,8	297,4
-1-C17	Pilastro	-1-C17	-1	307,2	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	279,3	336,6
-1-C18	Pilastro	-1-C18	-1	298,0	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	270,4	325,8
-1-C19	Pilastro	-1-C19	-1	259,6	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	235,9	284,3
-1-C20	Pilastro	-1-C20	-1	233,6	74,0	1,0	0,8	1,03	1	1,10	213,1	256,7
0-C1	Pilastro	0-C1	0	273,6	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	248,1	298,9
0-C1.1	Pilastro	0-C1.1	0	299,4	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	272,7	328,5
0-C2	Pilastro	0-C2	0	240,7	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	219,1	264,0
0-C2.1	Pilastro	0-C2.1	0	252,7	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	229,8	276,8
0-C3	Pilastro	0-C3	0	184,8	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,20	178,1	214,6
0-C4	Pilastro	0-C4	0	190,7	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,20	184,1	221,8
0-C5	Pilastro	0-C5	0	187,0	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,20	179,9	216,7
0-C5.1	Pilastro	0-C5.1	0	283,8	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	257,8	310,6
0-C5.2	Pilastro	0-C5.2	0	314,6	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	286,1	344,7
0-C6	Pilastro	0-C6	0	314,8	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,10	277,4	334,2
0-C7	Pilastro	0-C7	0	225,8	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	205,4	247,5
0-C8	Pilastro	0-C8	0	288,4	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	262,0	315,6
0-C9	Pilastro	0-C9	0	281,3	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,10	248,9	299,9
0-C9.1	Pilastro	0-C9.1	0	239,6	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	217,8	262,4
0-C10	Pilastro	0-C10	0	272,3	73,0	1,0	0,8	1,03	1	1,10	249,5	300,6
0-C11	Pilastro	0-C11	0	300,9	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,10	266,3	320,9
0-C11.1	Pilastro	0-C11.1	0	278,2	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	253,1	304,9
0-C12	Pilastro	0-C12	0	273,9	73,0	1,0	0,8	1,03	1	1,10	249,9	301,1
0-C13	Pilastro	0-C13	0	180,4	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,20	174,4	210,1
0-C14	Pilastro	0-C14	0	163,8	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,20	157,6	189,9
0-C17	Pilastro	0-C17	0	114,4	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	113,4	136,6
0-C19	Pilastro	0-C19	0	214,5	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	195,2	235,1
0-C21	Pilastro	0-C21	0	239,3	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	217,1	261,6

1-C1	Pilastro	1-C1	1	427,3	94,4	1,0	0,8	1,00	1	1,10	376,8	454,0
1-C1.1	Pilastro	1-C1.1	1	370,5	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	338,3	407,6
1-C1.2	Pilastro	1-C1.2	1	184,8	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	183,5	221,1
1-C2	Pilastro	1-C2	1	296,0	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	268,7	323,8
1-C2.1	Pilastro	1-C2.1	1	356,3	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	323,3	389,5
1-C3	Pilastro	1-C3	1	198,6	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	196,5	236,7
1-C4	Pilastro	1-C4	1	281,0	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	254,8	307,0
1-C5	Pilastro	1-C5	1	234,3	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	213,1	256,7
1-C7	Pilastro	1-C7	1	257,3	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	233,3	281,1
1-C8	Pilastro	1-C8	1	220,2	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	200,2	241,2
1-C9	Pilastro	1-C9	1	257,1	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	233,9	281,8
1-C10	Pilastro	1-C10	1	230,8	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	211,6	255,0
1-C11	Pilastro	1-C11	1	193,5	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	192,2	231,5
1-C12	Pilastro	1-C12	1	243,7	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	221,5	266,8
1-C14	Pilastro	1-C14	1	215,6	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	195,6	235,7
1-C16	Pilastro	1-C16	1	201,1	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	184,0	221,7
1-C17	Pilastro	1-C17	1	192,4	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	190,7	229,7
1-C18	Pilastro	1-C18	1	275,5	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	250,9	302,3
1-C19	Pilastro	1-C19	1	214,5	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	194,7	234,6
2-C1	Pilastro	2-C1	2	428,3	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	391,7	471,9
2-C2	Pilastro	2-C2	2	305,4	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	277,7	334,6
2-C2.1	Pilastro	2-C2.1	2	291,4	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	264,3	318,4
2-C3	Pilastro	2-C3	2	299,9	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	273,7	329,8
2-C4	Pilastro	2-C4	2	315,1	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	285,9	344,5
2-C5	Pilastro	2-C5	2	326,8	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	297,5	358,4
2-C6	Pilastro	2-C6	2	309,1	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	281,4	339,0
2-C6.1	Pilastro	2-C6.1	2	270,4	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	246,0	296,4
2-C7	Pilastro	2-C7	2	274,3	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	249,0	300,0
2-C9	Pilastro	2-C9	2	239,6	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	218,2	262,9
2-C11	Pilastro	2-C11	2	255,0	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	231,9	279,4
2-C12	Pilastro	2-C12	2	303,8	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	276,8	333,5
3-C1	Pilastro	3-C1	3	271,3	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	247,2	297,9
3-C1.1	Pilastro	3-C1.1	3	284,4	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	260,6	314,0
3-C2	Pilastro	3-C2	3	295,3	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	268,4	323,3
3-C3	Pilastro	3-C3	3	299,2	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	273,2	329,2
3-C3.1	Pilastro	3-C3.1	3	296,9	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	269,8	325,1
3-C3.2	Pilastro	3-C3.2	3	328,9	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	300,0	361,5
3-C4	Pilastro	3-C4	3	254,3	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	231,5	278,9
3-C4.1	Pilastro	3-C4.1	3	299,0	73,0	1,0	0,8	1,03	1	1,10	272,3	328,1
3-C5	Pilastro	3-C5	3	321,8	73,0	1,0	0,8	1,03	1	1,10	292,8	352,8
4-C1	Pilastro	4-C1	4	194,2	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	192,7	232,2
4-C1.1	Pilastro	4-C1.1	4	210,8	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	191,4	230,6
4-C1.2	Pilastro	4-C1.2	4	259,4	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	235,2	283,4
4-C2	Pilastro	4-C2	4	183,0	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	181,4	218,6
4-C3	Pilastro	4-C3	4	238,2	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	216,3	260,5
4-C4	Pilastro	4-C4	4	255,9	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	233,9	281,8
4-C5	Pilastro	4-C5	4	228,5	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	208,4	251,1
4-C9	Pilastro	4-C9	4	251,5	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	228,7	275,5
5-C1	Pilastro	5-C1	5	183,0	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	181,4	218,6
5-C1.1	Pilastro	5-C1.1	5	291,1	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	264,7	318,9
5-C2	Pilastro	5-C2	5	159,5	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,20	158,5	190,9
5-C2.1	Pilastro	5-C2.1	5	271,3	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	246,4	296,9
5-C3	Pilastro	5-C3	5	276,2	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	251,7	303,2
5-C4	Pilastro	5-C4	5	248,1	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	226,6	273,0
5-C6	Pilastro	5-C6	5	255,0	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	232,4	280,0
5-C7	Pilastro	5-C7	5	260,5	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	238,2	287,0
5-C9	Pilastro	5-C9	5	353,9	74,4	1,0	0,8	1,03	1	1,10	322,1	388,1
MEDIA f cub											288,4	

4.2 Prove SonReb

Per quanto riguarda i metodi di prova non distruttivi, quello più diffuso per la stima dell'omogeneità e delle proprietà meccaniche del calcestruzzo è il metodo combinato SONREB (SONic + REBound = ultrasuoni + sclerometro) basato su un'opportuna combinazione del metodo sclerometrico e del metodo ultrasonico. In particolare, la prova sclerometrica consiste nel misurare l'altezza di rimbalzo (indice di rimbalzo S) di una massa battente dopo che questa è stata proiettata, con una data energia, contro la superficie dell'elemento da indagare e nel correlare tale indice con la resistenza a compressione del calcestruzzo. La bassa affidabilità del metodo sclerometrico impiegato singolarmente è essenzialmente determinata dal fatto che la prova coinvolge soltanto lo strato superficiale del materiale, per cui il risultato può non essere rappresentativo del calcestruzzo interno. Ad esempio, il fenomeno della carbonatazione che interessa solo lo strato superficiale del calcestruzzo aumentandone la rigidità può portare a valori dell'indice di rimbalzo maggiori di quelli rappresentativi del calcestruzzo interno. D'altra parte l'impiego del metodo ultrasonico si basa sulla misurazione del tempo impiegato da onde soniche, di frequenza compresa tipicamente nell'intervallo 40-120 kHz, ad attraversare un mezzo compreso tra una sonda trasmittente ed una ricevente collocate a distanza nota ricavandone la velocità di propagazione V . Anche in questo caso detto parametro meccanico potrebbe essere direttamente correlato alla resistenza del materiale, tuttavia il calcestruzzo non è un mezzo omogeneo, isotropo ed elastico, per cui il legame tra velocità di propagazione e caratteristiche meccaniche dovrebbe tenere conto delle reali proprietà chimico-fisiche del materiale (rapporto acqua/cemento, età del conglomerato, contenuto di umidità, presenza di armature e stato di sollecitazione). In particolare: a) all'aumentare del rapporto acqua cemento la velocità rimane pressoché costante mentre la resistenza può diminuire significativamente; b) a causa delle micro fessurazioni che si verificano nel tempo la velocità tende a diminuire con l'età di stagionatura, al contrario della resistenza che in genere aumenta nel tempo per il continuare delle reazioni di indurimento; c) all'aumentare del contenuto di umidità si registra un aumento della velocità fino al 5% (ASTM, 2002) ed una diminuzione della resistenza; d) all'aumentare dei livelli di sforzo oltre il 50% del carico di rottura lo stato di fessurativo che ne consegue determina una sempre maggiore riduzione della velocità fino a valori praticamente nulli in corrispondenza del carico di rottura. Da tali considerazioni si evidenzia quindi la difficoltà di correlare direttamente il valore della velocità ultrasonica con la resistenza a compressione del calcestruzzo. Da quanto detto emerge che il contenuto di umidità fa sottostimare l'indice di rimbalzo e sovrastimare la velocità ultrasonica, e che, al contrario, all'aumentare dell'età del calcestruzzo, il valore dell'indice sclerometrico aumenta mentre la velocità ultrasonica tende a diminuire per cui l'uso combinato dei due metodi delle due prove sclerometria ed ultrasonica consente di compensare in parte gli errori commessi usando singolarmente le due metodologie.

Si riportano nella tabella a seguire le velocità di propagazione delle onde dedotte dall'esecuzione delle prove soniche e gli indici di rimbalzo desunti dalle prove sclerometriche. Le predette prove sono state eseguite dal laboratorio TEKONOMISURE s.r.l.. Seguono inoltre alcune immagini relative all'esecuzione delle prove in situ.

Denominazione Manufatto	Tipologia Elemento	Sigla della misura	Indice di rimbalzo (media)	Distanza Sonde (cm)	Velocità Ultrasuoni
PIANO1	PILASTRO	SO1	27,4	15	3666 m/s
PIANO1	PILASTRO	SO2	30,6	20	4259 m/s
PIANO1	PILASTRO	SO3	29,5	10	3817 m/s
PIANO1	PILASTRO	SO4	29,7	25	3760 m/s
PIANO1	PILASTRO	SO5	28,1	30	3933 m/s
PIANO1	PILASTRO	SO6	26,9	30	3618 m/s
PIANO3	PILASTRO	SO1	34,7	10	4281 m/s
PIANO3	PILASTRO	SO2	36,2	15	4183 m/s
PIANO3	PILASTRO	SO3	30,3	10	4207 m/s
PIANO3	PILASTRO	SO4	28,5	15	3770 m/s
PIANO3	PILASTRO	SO5	24,3	15	3271 m/s
PIANO3	PILASTRO	SO6	27,2	15	3992 m/s
PIANO4	PILASTRO	SO1	22,3	20	3120 m/s
PIANO4	PILASTRO	SO2	31,1	10	4388 m/s
PIANO4	PILASTRO	SO3	27,4	10	3609 m/s



Premesso che l'esecuzione delle prove indirette sono state eseguite principalmente per stimare l'omogeneità del calcestruzzo su un numero di elementi strutturali maggiore, si riporta a seguire una valutazione della resistenza del calcestruzzo stimata correlando, come proposto nella maggior parte dei modelli previsionali disponibili in letteratura, l'indice di rimbalzo IS e la velocità di propagazione degli ultrasuoni V usualmente adottando la seguente tipologia di funzione:

$$R_c = a \cdot I_s^b \cdot V_u^c$$

dove R_c è la resistenza cubica del calcestruzzo.

In letteratura sono disponibili numerose formulazioni di natura empirica che consentono di stimare la resistenza del calcestruzzo con il metodo combinato SonReb. Tra esse sono state prese in considerazione le seguenti:

$$\text{Di Leo, Pascale (1994)} \quad R_c = 1.2 \cdot 10^{-9} I_s^{1.058} V_u^{2.446}$$

in cui la velocità di propagazione del segnale ultrasonico V_u è da inserire in m/sec, e

$$\text{Gasparik (1984)} \quad R_c = 0.0286 \cdot I_s^{1.246} V_u^{1.85}$$

in cui la velocità V_u deve essere espressa in km/sec.

Si riporta a seguire una tabella riepilogativa con i risultati delle prove SonReb ordinate nel seguito per piano.

P.O. SANTOBONO - PADIGLIONE RAVASCHIERI								
Identificativo Prova	Identificativo Elemento	Note: sigla laboratorio	Piano	Indice rimbalzo (media) - Sclerom	Velocità ultrasuoni - Sonica	Resistenza Di Leo	Resistenza Gasparik	Media
					m/s	daN/cm ²	daN/cm ²	daN/cm ²
1-S01	Pilastro	1-S01	1	27,4	3666	208,1	195,69	201,9
1-S02	Pilastro	1-S02	1	30,6	4259	337,6	296,34	317,0
1-S03	Pilastro	1-S03	1	29,5	3817	248,4	231,18	239,8
1-S04	Pilastro	1-S04	1	29,7	3760	241,1	226,73	233,9
1-S05	Pilastro	1-S05	1	28,1	3933	253,9	229,98	241,9
1-S06	Pilastro	1-S06	1	26,9	3618	197,6	186,64	192,1
3-S01	Pilastro	3-S01	3	34,7	4281	390,5	349,93	370,2
3-S02	Pilastro	3-S02	3	36,2	4183	385,9	353,40	369,6
3-S03	Pilastro	3-S03	3	30,3	4207	324,2	286,15	305,2
3-S04	Pilastro	3-S04	3	28,5	3770	232,3	216,44	224,4
3-S05	Pilastro	3-S05	3	24,3	3271	138,7	136,46	137,6
3-S06	Pilastro	3-S06	3	27,2	3992	254,4	227,01	240,7
4-S01	Pilastro	4-S01	4	22,3	3120	112,8	112,34	112,6
4-S02	Pilastro	4-S02	4	31,1	4388	369,4	319,55	344,5
4-S03	Pilastro	4-S03	4	27,4	3609	200,3	190,09	195,2
								248,4

Come descritto in precedenza, l'esecuzione delle prove indirette ultrasoniche e sclerometriche, hanno principalmente lo scopo di fornire un'indicazione sulle caratteristiche di omogeneità dei valori di resistenza del materiale ricavabili mediante l'utilizzo del metodo Sonreb applicando formulazioni disponibili in letteratura. Nel caso specifico, come si può osservare dalla tabella soprastante, i valori stimati di resistenza si addensano attorno al valore medio pari a circa 250 daN/cm² corrispondente alla classe di calcestruzzo maggiormente utilizzata all'epoca di realizzazione dell'edificio. Tale circostanza, tra l'altro, indica che i valori di resistenza del calcestruzzo sono caratterizzati da buone caratteristiche di omogeneità. Per quanto riguarda invece le verifiche numeriche, si preferisce utilizzare come valore di resistenza quello ricavabile dalle prove di schiacciamento eseguite in laboratorio sulle carote estratte in situ.

Infine, premesso che per l'edificio in oggetto non sono state rinvenute specifiche dei materiali del progetto originario, un discorso più ampio sull'omogeneità si ritiene comunque doveroso eseguirlo utilizzando anche i valori di resistenza delle carote.

Dato il numero di prove eseguite sulle carote di calcestruzzo, al fine di valutarne l'omogeneità dei risultati si è ritenuto opportuno elaborare/interpretare i valori delle resistenze a compressione riportate nella tabella precedente (Masi), attraverso lo studio delle distribuzioni delle frequenze (assolute, relative e cumulate) riferite ai valori del campione statistico che manifesta una distribuzione di tipo gaussiana attorno a un valor medio.

Nel caso specifico, la variabile fisica che si intende descrivere è rappresentata dalle misure delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo (resistenza cubica in situ), i cui valori possono allontanarsi da quello medio per una serie di motivi: variazioni nel confezionamento del

calcestruzzo; problematiche di getto; degrado che ha subito il materiale nel tempo; disturbi arrecati ai campioni durante la fase di estrazione; ecc.

Ai fini della stima della omogeneità dei risultati si è proceduto quindi con una analisi della distribuzione dei dati ottenuti che prevede la identificazione di classi di valori di resistenza e del calcolo delle frequenze assolute e relative per ciascuna classe.

Le classi, infatti, sono utilizzate nello studio della distribuzione delle frequenze quale modalità quantitativa per agevolare l'interpretazione delle informazioni ottenute da una certa numerosità di dati disponibili. La identificazione delle classi deve essere operata al fine di avere una rappresentazione caratteristica dei campioni indagati e in modo tale da avere un intervallo i cui valori abbiano un significato simile e allo stesso tempo intervalli di valori che non siano né troppo grandi né troppo piccoli.

Per la scelta dell'estremo inferiore e superiore di ogni classe (limiti della classe) si è proceduto per analogia a quanto indicato dalla normativa tecnica NTC18 per i controlli di accettazione del calcestruzzo di nuova realizzazione.

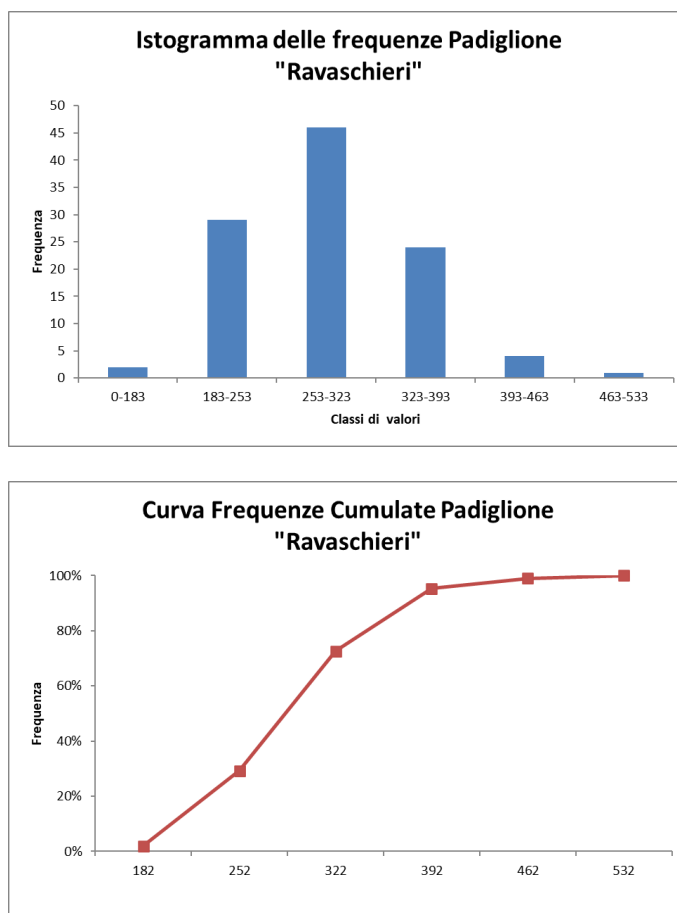
La normativa infatti anche per i calcestruzzi di nuova esecuzione ammette una certa variazione statistica ai fini del controllo di accettazione, ammettendo che il valore minimo di resistenza dei provini sia non minore di 35 daN/cm² rispetto alla resistenza caratteristica e che il valore medio di resistenza dei provini sia non minore della stessa resistenza caratteristica di progetto incrementata di 35 daN/cm².

Poiché la normativa tecnica ammette quindi una variazione rispetto alla resistenza caratteristica di progetto in un range di ± 35 daN/cm² per i calcestruzzi di nuovo confezionamento, appare congruo per diretta analogia utilizzare un siffatto range di variazione anche per il controllo di materiali su edifici esistenti, dove il valore di riferimento per la resistenza è il valore di resistenza cubica medio delle carote in luogo appunto della resistenza caratteristica di progetto.

In tal modo si è proceduto quindi ad identificare le classi di intervalli a partire dall'intervallo comprendente il valore medio e avente come limiti inferiori e superiori rispettivamente $R_m - 35$ (daN/cm²) e $R_m + 35$ (daN/cm²) e procedendo poi a ritroso alla individuazione delle restanti classi di intervalli poste al di sotto e al di sopra della classe contenente il valore medio di resistenza cubica.

Nella tabella a seguire e nel corrispondente istogramma, sono riportate quindi le frequenze con cui i singoli valori sperimentali, per un totale di 106 valori, ricorrono all'interno della classi/intervalli di resistenza adottati in base ai criteri sopra descritti.

Valore medio di resistenza		288,00		
Intervalli di resistenza cls [daN/cm ²]		Frequenze Assolute	Frequenze Relative	Frequenze Cumulate
\geq	$<$			
		0	0,0%	0,0%
0	183	2	1,9%	1,9%
183	253	29	27,4%	29,2%
253	323	46	43,4%	72,6%
323	393	24	22,6%	95,3%
393	463	4	3,8%	99,1%
463	533	1	0,9%	100,0%
Totale		106	100,00%	



Il grafico assume la tipica forma a campana della distribuzione di Gauss, e mette in evidenza come la frequenza più elevata (pari a 46), dei valori delle resistenze a compressione dei campioni si assesta nell'intervallo (253-323 daN/cm²) che contiene il valore medio sperimentale pari a 288 daN/cm².

In termini percentuali, frequenze relative, si può quindi affermare che circa il 43% dei risultati è contenuto nell'intervallo che comprende il valore medio di resistenza sperimentale pari a 288 daN/cm² e che quindi tale percentuale rappresenta dal punto di vista ingegneristico un indicatore dell'omogeneità della campionatura.

Pertanto, dall'analisi dei risultati delle prove effettuate si evince che:

- 1) Il valore medio di resistenza di 288 daN/cm² è superiore alle caratteristiche di resistenza del corrispondente calcestruzzo maggiormente utilizzato all'epoca di realizzazione dell'edificio (Rck 250);
- 2) Sono stati indagati campioni significativi di elementi strutturali a tutti i piani dell'edificio in oggetto e che, nella maggioranza dei casi (cfr. frequenze cumulate), il valore di resistenza cubica in situ è maggiore del corrispondente valore relativo al calcestruzzo Rck 250;
- 3) Accertato che l'omogeneità del campione risulta molto elevata, in base alla lettera "d" delle note alla tabella C8.5.V della Circolare NTC sarebbe stato possibile ridurre il numero di prove. Tuttavia, non avendo rinvenuto il progetto strutturale originario, è stato scelto di tralasciare tale lecita riduzione, al fine di conseguire una conoscenza maggiormente cautelativa delle caratteristiche meccaniche del materiale cls.

4.3 Sintesi dei risultati

In base a tutto quanto sopra osservato ai fini della caratterizzazione della resistenza a compressione del calcestruzzo da utilizzare nelle analisi numeriche, si assume il valore medio sperimentale derivante dalle prove di laboratorio **R_m = 288 daN/cm²**, che tra l'altro risulta compatibile con i valori di resistenza dei calcestruzzi tipicamente utilizzati all'epoca di realizzazione dell'edificio (R_{ck} 250).

Infine, si segnala che le prove di carbonatazione eseguite sulle carote di calcestruzzo estratte hanno evidenziato che in talune circostanze tale fenomeno interessa uno spessore del calcestruzzo confrontabile con lo spessore del copriferro.

5. PROVE SULLE BARRE DI ARMATURA

5.1 Prove di resistenza a trazione

L'esecuzione delle prove sull'acciaio è avvenuta secondo la classica modalità della prova di trazione su barre d'armatura, così come regolata dalle NTC 2018 e dalla norma UNI EN 10002/1.

Essendo già a suo tempo l'acciaio un prodotto industrializzato, si può notare che esso possiede un'elevata stabilità di comportamento e le sue caratteristiche meccaniche erano già accertate presso lo stabilimento di produzione.

Si chiarisce che le barre di acciaio sono state prelevate ad ogni piano dell'edificio e in posizioni tali da coprire tutti i possibili lotti di realizzazione.

Le prove di trazione sugli acciai hanno restituito i valori di resistenza a snervamento e a rottura evidenziati nella tabella seguente:

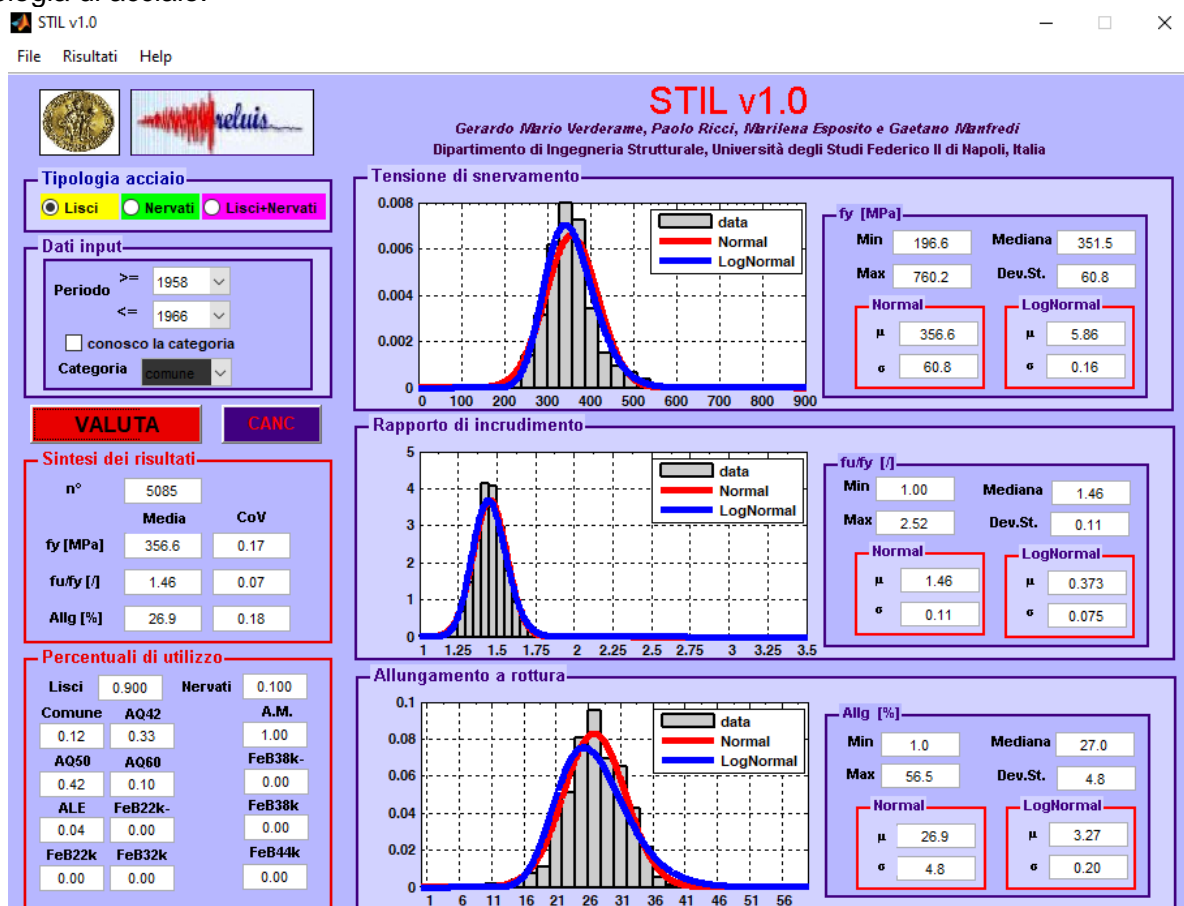
P.O. SANTOBONO - PADIGLIONE RAVASCHIERI							
Identificativo Prova	Identificativo Elemento	Sigla laboratorio	Piano	Diametro	Tipo	Resistenza Snervamento	Resistenza Rottura
				mm		N/mm ²	N/mm ²
-1-B1	Pilastro	-1-B1	-1	18	Liscio	320,4	464,3
-1-B1.1	Pilastro	-1-B1.1	-1	14	A.M.	527,6	620,4
-1-B2	Pilastro	-1-B2	-1	16	Liscio	378,9	575,3
0-B1	Pilastro	0-B1	0	18	Liscio	330,1	468,8
0-B2	Pilastro	0-B2	0	20	Liscio	332,6	492,6
0-B3	Pilastro	0-B3	0	16	Liscio	252,8	345,6
0-B4	Pilastro	0-B4	0	6	Liscio	336,3	562,0
1-B1	Pilastro	1-B1	1	18	Liscio	407,4	566,1
1-B2	Pilastro	1-B2	1	16	Liscio	382,4	533,0
1-B3	Pilastro	1-B3	1	10	Liscio	341,9	499,1
2-B1	Pilastro	2-B1	2	18	Liscio	280,8	459,0
2-B2	Pilastro	2-B2	2	12	Liscio	333,5	457,8
3-B1	Pilastro	3-B1	3	12	Liscio	347,3	555,8
3-B2	Pilastro	3-B2	3	18	Liscio	347,9	492,9
4-B1	Pilastro	4-B1	4	14	Liscio	269,8	371,8
4-B1.1	Pilastro	4-B1.1	4	18	Liscio	333,4	468,7
5-B1	Pilastro	5-B1	5	12	Liscio	347,2	460,7
5-B1.1	Pilastro	5-B1.1	5	12	Liscio	353,9	473,7
5-B3	Pilastro	5-B3	5	12	Liscio	375,9	502,0
media barre liscie						337,4	486,1
media barre A.M.						527,6	620,4

Le prove hanno evidenziato la presenza di acciaio del tipo liscio tranne che per un solo campione che è risultato del tipo ad aderenza migliorata e che probabilmente è frutto di piccoli interventi di riparazione locale realizzati in tempi recenti.

Non avendo le specifiche dei materiali di progetto, ma solo riferimenti inerenti all'epoca di progettazione e, visti i risultati delle prove di trazione le quali hanno fornito per l'acciaio di tipo liscio

un valore medio di resistenza a rottura pari a 481,6 N/mm², è possibile dedurre che l'acciaio in oggetto può essere classificato come acciaio liscio tipo Aq42.

Inoltre, i risultati delle prove distruttive sono stati validati dalla consultazione del database STIL della RELUIS ("Le caratteristiche meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate dal 1950 al 1980" - G.M.Verderame, P.Ricci, M.Esposito, F.C.Sansiviero – atti convegno AICAP memorie 63) utilizzando come dato di input il presumibile periodo di edificazione della struttura e la tipologia di acciaio.



Come si può riscontrare, i valori di resistenza allo snervamento forniti dal database sono concordi con i valori di resistenza allo snervamento sperimentali desunti dalle prove di trazione.

5.2 Prove Durometriche

L'esecuzione delle prove durometriche, trattandosi di metodologie di tipo indiretto, ha principalmente lo scopo di fornire un'indicazione sulle caratteristiche di omogeneità dei valori di resistenza del materiale. Nel caso specifico, come si può osservare dalla tabella riportata nel report delle indagini, i valori stimati di resistenza hanno restituito per gli acciai indagati buone caratteristiche di omogeneità.

Il test di durezza integrato è stato eseguito secondo il metodo di rimbalzo dinamico (secondo gli standard ASTM A956 e DIN 50.156). Il metodo misura indirettamente la perdita di energia di un corpo impattante. Una molla proietta il corpo verso il materiale di prova ed il suo penetratore sferico colpisce la superficie dell'oggetto ad una velocità definita. L'indentazione creata assorbe una parte dell'energia in modo da ridurre la sua velocità originale. Più morbido è il materiale più grande è il rientro e più alta è la perdita di energia. Le velocità prima e dopo l'impatto vengono

misurate in una modalità senza contatto, attraverso un piccolo magnete permanente situato all'interno del corpo impattante che induce una tensione durante il suo passaggio attraverso una bobina. La tensione creata è proporzionale alla velocità.

Si riporta a seguire la tabella estratta dal report sulle indagini diagnostiche redatto dal laboratorio Teknomisure in cui sono riassunti i risultati delle prove in oggetto.

ID	N° BATTUTA	CONVERSION MODE	MATERIAL GROUP	HV	Equivalenza N/mm ²
D1-P2	1	DYNA	st	98	323,22
D2-P2	2	DYNA	st	82	274,64
D3-P2	3	DYNA	st	102	336,16
D1-P3	4	DYNA	st	103	339,49
D2-P3	5	DYNA	st	181	581,44
D3-P3	6	DYNA	st	111	365,75
D1-P4	7	DYNA	st	85	294,2
D2-P4	8	DYNA	st	80	261,6
D3-P4	9	DYNA	st	82	274,64
MATERIAL GROUP					

5.3 Sintesi dei risultati

Le prove sugli acciai hanno restituito i valori di resistenza a snervamento e a rottura evidenziati nella tabella seguente, dove al fine di limitare l'invasività sulle strutture e nel rispetto del numero di prove previste dalle norme, si è proceduto ad eseguire anche prove integrative di tipo non distruttive (cfr. durometriche).

P.O. SANTOBONO - PADIGLIONE RAVASCHIERI					
Identificativo Prova	Tipo prova	Piano	Tipo	Resistenza Snervamento	Resistenza Rottura
				N/mm ²	N/mm ²
-1-B1	Estrazione barra	-1	Liscio	320,4	464,3
-1-B1.1	Estrazione barra	-1	A.M.	527,6	620,4
-1-B2	Estrazione barra	-1	Liscio	378,9	575,3
0-B1	Estrazione barra	0	Liscio	330,1	468,8
0-B2	Estrazione barra	0	Liscio	332,6	492,6
0-B3	Estrazione barra	0	Liscio	252,8	345,6
0-B4	Estrazione barra	0	Liscio	336,3	562,0
1-B1	Estrazione barra	1	Liscio	407,4	566,1
1-B2	Estrazione barra	1	Liscio	382,4	533,0
1-B3	Estrazione barra	1	Liscio	341,9	499,1
2-B1	Estrazione barra	2	Liscio	280,8	459,0
2-B2	Estrazione barra	2	Liscio	333,5	457,8
2-D1	Durometrica	2	Liscio	-	323,2
2-D2	Durometrica	2	Liscio	-	274,6
2-D3	Durometrica	2	Liscio	-	336,2
3-B1	Estrazione barra	3	Liscio	347,3	555,8
3-B2	Estrazione barra	3	Liscio	347,9	492,9
3-D1	Durometrica	3	Liscio	-	339,5
3-D2	Durometrica	3	Liscio	-	581,4
3-D3	Durometrica	3	Liscio	-	365,8
4-B1	Estrazione barra	4	Liscio	269,8	371,8
4-B1.1	Estrazione barra	4	Liscio	333,4	468,7
4-D1	Durometrica	4	Liscio	-	294,2
4-D2	Durometrica	4	Liscio	-	261,6
4-D3	Durometrica	4	Liscio	-	274,6
5-B1	Estrazione barra	5	Liscio	347,2	460,7
5-B1.1	Estrazione barra	5	Liscio	353,9	473,7
5-B3	Estrazione barra	5	Liscio	375,9	502,0
		media barre lisce		337,4	437,0
		media barre A.M.		527,6	620,4

In definitiva, ai fini della caratterizzazione della resistenza allo snervamento dell'acciaio da utilizzare nelle analisi numeriche, si assume il valore medio sperimentale ottenuto dalla esecuzione delle prove di trazione sulle barre lisce **$F_{ym} = 3374 \text{ daN/cm}^2$** .

Non avendo le specifiche dei materiali di progetto, ma solo riferimenti inerenti all'epoca di progettazione e, visti i risultati delle prove di trazione le quali hanno fornito per l'acciaio di tipo liscio un valore medio di resistenza a rottura pari a 4370 daN/cm^2 , è possibile dedurre che l'acciaio in oggetto può essere classificato come acciaio liscio tipo Aq42.

6. CONCLUSIONI

Le caratteristiche meccaniche dei materiali che sono state assunte nelle analisi numeriche, sono state determinate in relazione ai risultati delle indagini e delle prove sperimentali, al livello di conoscenza raggiunto ed in accordo con le specifiche tecniche di cui alla Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018 e relativa Circolare NTC.

Il dettaglio delle indagini eseguite e i certificati di laboratorio comprensivi di allegati fotografici, nonché l'ubicazione delle stesse, è riportato nel report redatto dalla società incaricata delle indagini a cui si rimanda per maggiori dettagli.