



COMUNE DI TROINA

Provincia Regionale di Enna
REGIONE SICILIANA



PROVINCIA REGIONALE DI ENNA
SETTORE VI "PATRIMONIO IMMOBILIARE - EDILIZIA SCOLASTICA"
SERVIZIO EDILIZIA SCOLASTICA

VERIFICHE SISMICHE DI CUI ALL'ORDINANZA P.C.M. 3274/2003 E SS.II.MM. - D.A. N° 1372 DEL 28/12/2005 - D.M. 14/01/2008 - D.D.G. N. 445/2009 - DI ALCUNI EDIFICI SCOLASTICI E PATRIMONIALI DELLA PROVINCIA REGIONALE DI ENNA

ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE E PER GEOMETRI "E. MAJORANA" TROINA



PERIZIA TECNICA CONSUNTIVA

Raggruppamento temporaneo tra professionisti

dott. ing. Giuseppe Puleo

via Kennedy 60
95024 Acireale

dott. ing. Marco Muratore

via Cesare Vivante 69
95123 Catania

dott. ing. Andrea Toscano

via Vittorio Emanuele III 341
95032 Belpasso (CT)

Titolo progetto

Verifica dei livelli di sicurezza sismica

ai sensi dell' Ordinanza P.C.M. n° 3274/03 e s.m.i.
dell'Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri
"E. Majorana" via Aldo Moro n.147, Troina - (EN)



PTC 01



POSIZIONE 1315

RELAZIONE SULLE INDAGINI
E SUI MATERIALI

AGGIORNAMENTI

REV.	DATA	CAUSALE
09/2012	10/2012	PRIMA EMISSIONE

IL R.U.P.

Il presente documento è proprietà dei tecnici firmatari
E' vietata ogni riproduzione non autorizzata ai sensi di legge

PROVINCIA REGIONALE DI ENNA
SETTORE VI "PATRIMONIO IMMOBILIARE – EDILIZIA SCOLASTICA"
SERVIZIO EDILIZIA SCOLASTICA

**VERIFICHE SISMICHE DI CUI ALL'ORDINANZA P.C.M. 3274/2003 E SS.II.MM. – D.A. N°1372 DEL
28/12/2005 – D.M. 14/01/2008 – D.D.G. N. 445/2009 – DI ALCUNI EDIFICI SCOLASTICI E
PATRIMONIALI DELLA PROVINCIA REGIONALE DI ENNA**

ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE E PER GEOMETRI "E. MAJORANA" TROINA

PERIZIA TECNICA CONSUNTIVA
PTC 01 – RELAZIONE SULLE INDAGINI E SUI MATERIALI

SOMMARIO

<u>INTRODUZIONE</u>	<u>7</u>
<u>1. ANAGRAFICA DELL'OPERA</u>	<u>9</u>
1.1. FASI COSTRUTTIVE	9
1.2. DESCRIZIONE DELL'OPERA	9
1.2.1. Corpo originario	9
1.2.2. Ampliamento	11
1.2.3. Aula magna	13
1.3. SOGGETTI INTERVENUTI NELLA FASE PROGETTUALE	14
1.3.1. Progetto generale	14
1.3.2. Progetto dell'ampliamento	14
1.3.3. Progetto dell'aula magna	14
1.4. SOGGETTI INTERVENUTI NELLA FASE COSTRUTTIVA	15
1.4.1. Progetto generale	15
1.4.2. Progetto dell'ampliamento	15
1.4.3. Verifica statica delle strutture	15
<u>2. FONTI CONSULTATE E DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO ACQUISITA</u>	<u>16</u>
2.1. FONTI	16
2.1.1. Progetto generale	16
2.1.2. Progetto dell'ampliamento	18
2.1.3. Progetto dell'aula magna	19
2.2. EVENTUALE DOCUMENTAZIONE ACQUISITA IN TEMPI SUCCESSIVI ALLA COSTRUZIONE	19
2.3. RILIEVO STRUTTURALE GEOMETRICO E DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI	19
2.4. PROVE IN SITU E IN LABORATORIO	19

3.	DEFINIZIONE DELLE STRUTTURE OGGETTO DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA	20
3.1.	SCHEDA DI LIVELLO "0"	20
3.2.	RIFERIMENTI NORMATIVI	21
3.3.	STRUTTURE ESCLUSE DALLA VERIFICA	21
3.4.	STRUTTURE OGGETTO DI VERIFICA	21
4.	OBIETTIVI E CRITERI DEL PIANO DELLE INDAGINI	23
4.1.	OBIETTIVI	23
4.2.	DATI RICHIESTI PER LA CONOSCENZA DELL'ORGANISMO STRUTTURALE	23
4.2.1.	Geometria	23
4.2.2.	Dettagli costruttivi	24
4.2.3.	Proprietà dei materiali	25
4.2.4.	Metodo di analisi	26
4.2.5.	Fattori di confidenza	26
4.3.	DATI RICHIESTI PER IL CONSEGUIMENTO DEL LIVELLO DI CONOSCENZA ADEGUATA LC2	26
4.3.1.	Identificazione dell'organismo strutturale e verifica del rispetto dei criteri di regolarità	26
4.3.2.	Identificazione delle strutture di fondazione	26
4.3.3.	Identificazione delle categorie di suolo	26
4.3.4.	Informazione sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti	27
4.3.5.	Informazioni su possibili difetti locali dei materiali	27
4.3.6.	Informazioni su possibili difetti nei particolari costruttivi (dettagli delle armature, eccentricità travi-pilastro, eccentricità pilastro-pilastro, collegamenti trave-colonna e colonna-fondazione, etc.)	27
4.3.7.	Informazioni sulle norme impiegate nel progetto originale incluso il valore delle eventuali azioni sismiche di progetto	27
4.3.8.	Descrizione della classe d'uso, della categoria e dalla vita nominale	27
4.3.9.	Rivalutazione dei carichi variabili, in funzione della destinazione d'uso	27
4.3.10.	Informazione sulla natura e l'entità di eventuali danni subiti in precedenza e sulle riparazioni effettuate.	27
5.	RILIEVI, INDAGINI, PROVE	28
5.1.	MINIMI DI NORMATIVA	28
5.2.	IDENTIFICAZIONE DELLA GEOMETRIA	28
5.2.1.	Pilastri corpo originario	28
5.2.2.	Impalcato e travi corpo originario	30
5.2.3.	Pilastri ampliamento	33
5.2.4.	Impalcato e travi ampliamento	34
5.3.	DETTAGLI COSTRUTTIVI	35
5.3.1.	Pilastri corpo originario	35
5.3.2.	Impalcato e travi corpo originario	36
5.3.3.	Riepilogo rilievi dettagli costruttivi corpo originario	37
5.3.4.	Pilastri ampliamento	38

5.3.5. Impalcato e travi ampliamento	38
5.3.6. Riepilogo rilievo dei dettagli costruttivi ampliamento	39
5.4. PROPRIETÀ DEI MATERIALI	40
5.4.1. Pilastrini corpo originario	40
5.4.2. Travi corpo originario	40
5.4.3. Riepilogo prove sui materiali corpo originario	40
5.4.4. Pilastrini ampliamento	41
5.4.5. Travi ampliamento	41
5.4.6. Riepilogo prove sui materiali ampliamento	42
5.5. CRITERI GENERALI PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI SIGNIFICATIVI DA INDAGARE	42
6. INDAGINI STRUTTURALI	45
6.1. VARIANTE AL PIANO DI INDAGINE	45
6.2. CALENDARIO ESECUZIONI INDAGINI	46
6.3. OPERAZIONI PRELIMINARI	46
6.4. OPERAZIONI DI RIPRISTINO	46
6.5. INDAGINI PACOMETRICHE (BS 1881:204)	47
6.6. PRELIEVO CAMPIONE CALCESTRUZZO (UNI EN 12504-1/2002)	47
6.7. PROVE PER LA DETERMINAZIONE DELLA PROFONDITÀ DI CARBONATAZIONE (UNI 9944/1992)	48
6.8. PROVE MECCANICHE SUI CAMPIONI DI CALCESTRUZZO (UNI EN 12390-3/2003)	49
6.9. PROVA DI PULL-OUT (UNI 10157/1992)	50
6.10. MISURA SCLEROMETRICA (UNI EN 12504-2:200)	51
6.11. PROVE DI TRAZIONE SUI CAMPIONI DI ACCIAIO (UNI EN 10002-1:2004)	51
6.12. PROVA VICKERS (DIN 50150 – ASTM E 140)	52
6.13. ALTRE PROVE SUI MATERIALE E RIFERIMENTI NORMATIVI SPECIALISTICI	53
7. IDENTIFICAZIONE GEOTECNICA	55
7.1. DATI DISPONIBILI	55
7.1.1. Progetto originario	55
7.1.2. Progetto dell'ampliamento	57
7.1.3. Progetto dell'aula magna	58
7.2. CARATTERISTICHE MECCANICHE	59
7.3. RISPOSTA SISMICA LOCALE	60
7.3.1. Riferimenti normativi	60
7.3.2. Velocità delle onde (P) e (S)	60
7.3.3. Amplificazione topografica	61
7.3.4. Indagine sismica a rifrazione ReMi	62
8. IDENTIFICAZIONE DELLA GEOMETRIA E DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI	65
8.1. LA GEOMETRIA	65
8.2. I DETTAGLI COSTRUTTIVI	65
8.2.1. Indagini pacometriche	67

8.2.2. Saggi strutturali	73
9. IDENTIFICAZIONE DEI MATERIALI STRUTTURALI	76
9.1. CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO STRUTTURALE	76
9.2. CALCESTRUZZO DA PROGETTO	77
9.2.1. Corpo originario	77
9.2.2. Ampliamento	78
9.3. INDAGINI SUL CALCESTRUZZO	78
9.3.1. Corpo originario sclerometrie	80
9.3.2. Ampliamento sclerometrie	85
9.3.3. Fema 274	94
9.3.4. ASTM	94
9.3.5. R. Dutron	95
9.3.6. Linee Guida per il calcestruzzo strutturale – Consiglio Superiore sui LL. PP. (2008)	95
9.3.7. Sintesi dei risultati	96
9.4. CONFRONTO RESISTENZA CALCESTRUZZO DA PROGETTO E DA INDAGINE	99
9.4.1. Corpo originario	101
9.4.2. Ampliamento	101
9.5. CARATTERISTICHE MECCANICHE DELL'ACCIAIO DELLE ARMATURE	102
9.6. ACCIAIO DA PROGETTO	103
9.6.1. Corpo originario	103
9.6.2. Ampliamento	103
9.7. INDAGINI SULL'ACCIAIO	104
9.8. CONFRONTO RESISTENZA ACCIAIO DA PROGETTO E DA INDAGINE	109
10. INDAGINI GEOGNOSTICHE	110
11. ALLEGATI	111
BIBLIOGRAFIA E REFERENZE TECNICHE	112
AZIONI SULLE STRUTTURE E NORMA DI DETTAGLIO PER LA ZONA SISMICA	112
REFERENZE TECNICHE	112
INDICE DELLE FIGURE	113
INDICE DELLE TABELLE	115
RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI E DEL TERRENO	117
CALCESTRUZZO	117
ACCIAIO	117
TERRENO	117

INTRODUZIONE

La presente relazione descrive i risultati delle indagini strutturali e geotecniche finalizzate alla valutazione della sicurezza sismica dell'edificio che ospita l'Istituto Tecnico Commerciale "E. Majorana" di Troina (EN) di proprietà della Provincia Regionale di Enna.

Lo scopo principale di tale approfondimento è stabilire i livelli di sicurezza sismica dell'edificio nei confronti delle azioni di progetto previste dalle norme tecniche vigenti (D.M. 14/01/08); a tal fine la Circolare Cons. Sup. LL.PP. 617 del 19 febbraio 2009 e l'OPCM 3431/2005 forniscono le regole applicative.

Il progetto delle indagini (di cui alla Perizia Tecnica Esecutiva) ha consentito un livello di conoscenza adeguata "LC2" attraverso una campagna di prove in sito ed in laboratorio sia di tipo distruttivo sia di tipo semidistruttivo o non distruttivo. L'acquisizione della documentazione progettuale, i rilievi a campione eseguiti sull'immobile per il riscontro delle geometrie rinvenute nel progetto originario nonché le indagini effettuate assicurano un'elevata consapevolezza dell'organismo strutturale in termini di identificazione della geometria, dei dettagli costruttivi e dei materiali.

E' stato conseguito un **livello di conoscenza adeguata LC2** che ha consentito l'applicazione, in fase di modellazione, dell'**analisi statica non lineare (pushover)** per la determinazione della curva di capacità della struttura.

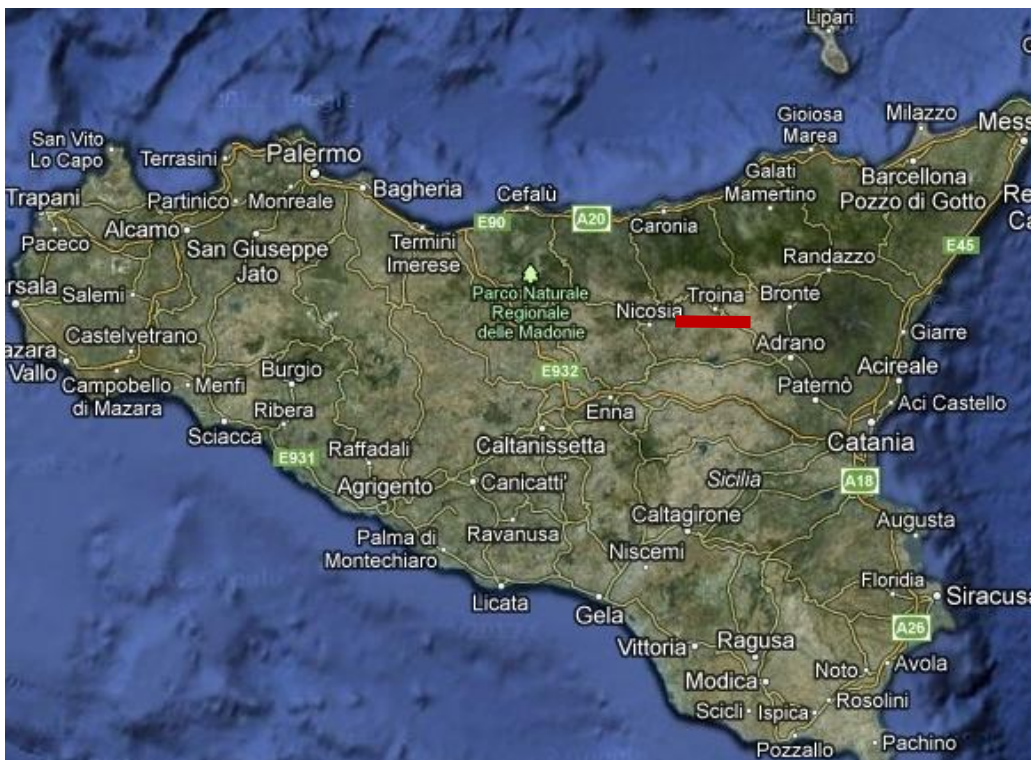


Figura 1 – Inquadramento di Troina



Figura 2 – Ortofoto dell'area di ubicazione dell'I.T.C. di Troina



Figura 3 – Planivolumetrico dell'I.T.C. di Troina



Figura 5 – Pianta piano primo (corpo originario)

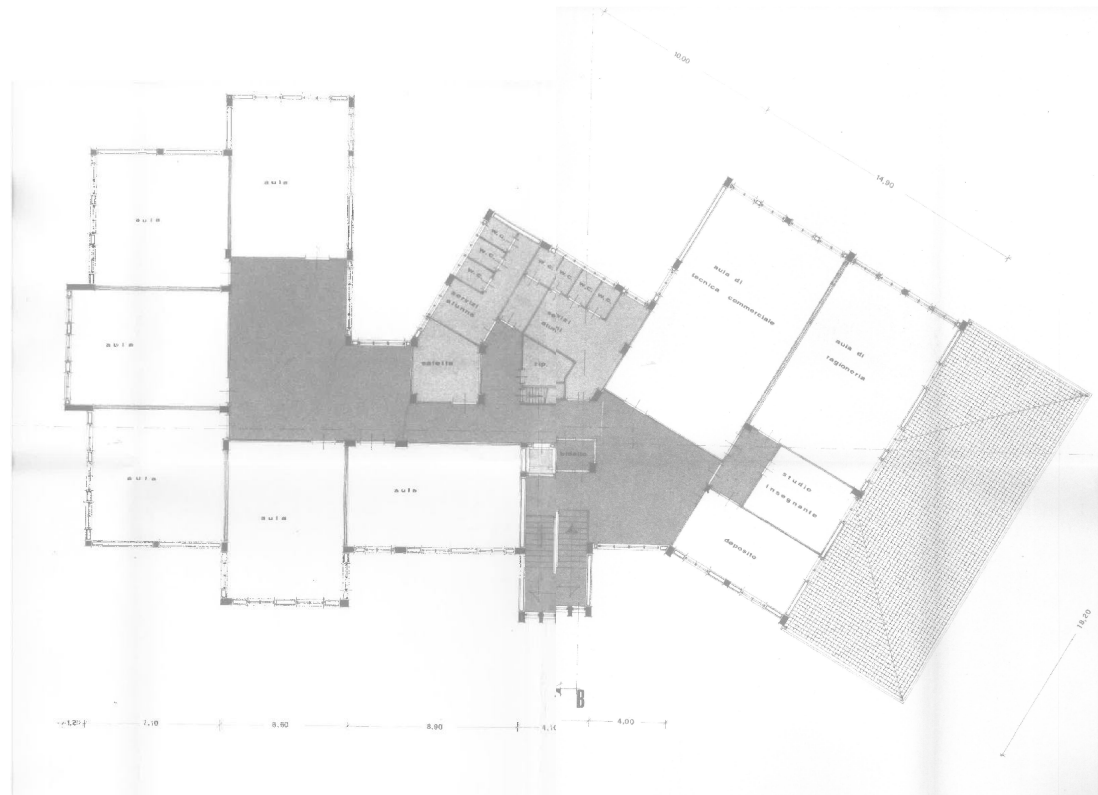


Figura 6 – Pianta piano secondo (corpo originario)

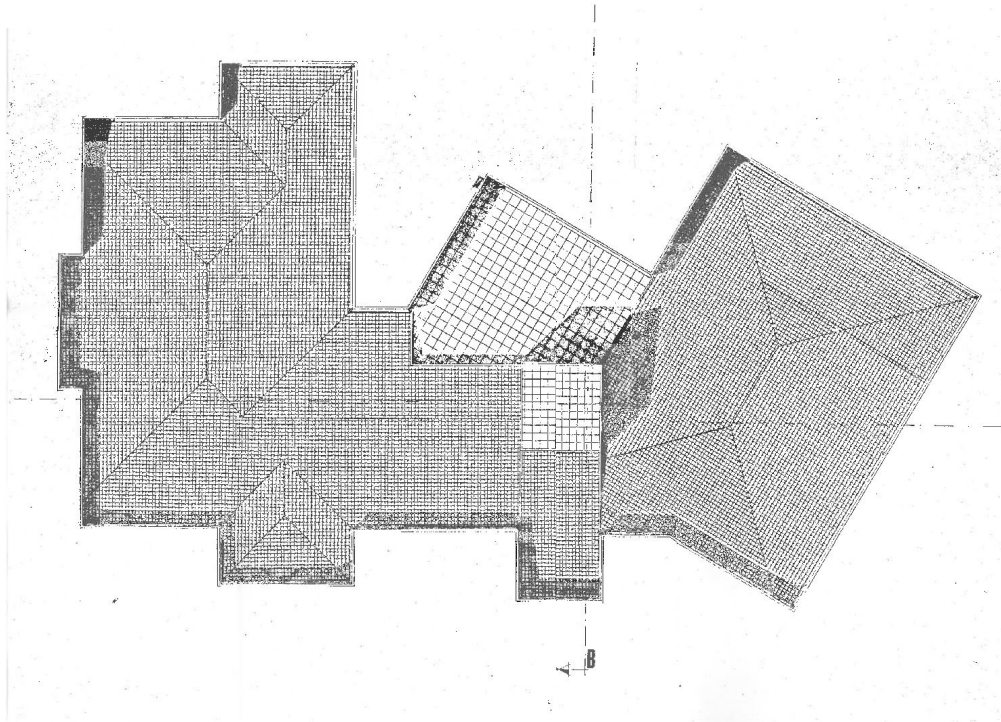


Figura 7 – Pianta copertura (corpo originario)

1.2.2. Ampliamento

Le strutture del corpo denominato Ampliamento sono intelaiate in cemento armato, con solai latero-cementizi e scale a soletta piena. L'edificio è realizzato in aderenza al corpo originario sul prospetto nord, con un giunto strutturale di circa 10 cm, con la maglia strutturale arretrata rispetto alla sagoma; il giunto non è rispettato per le strutture portate (tramezzature e tamponamenti).

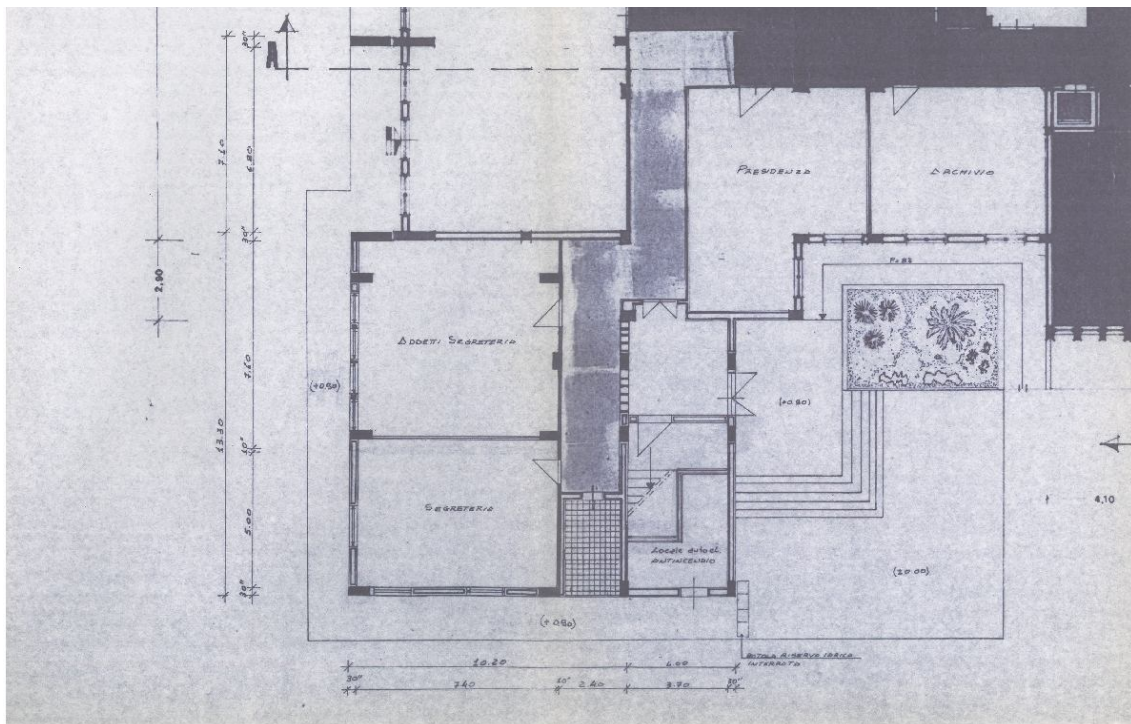


Figura 8 – Pianta piano terra (ampliamento)

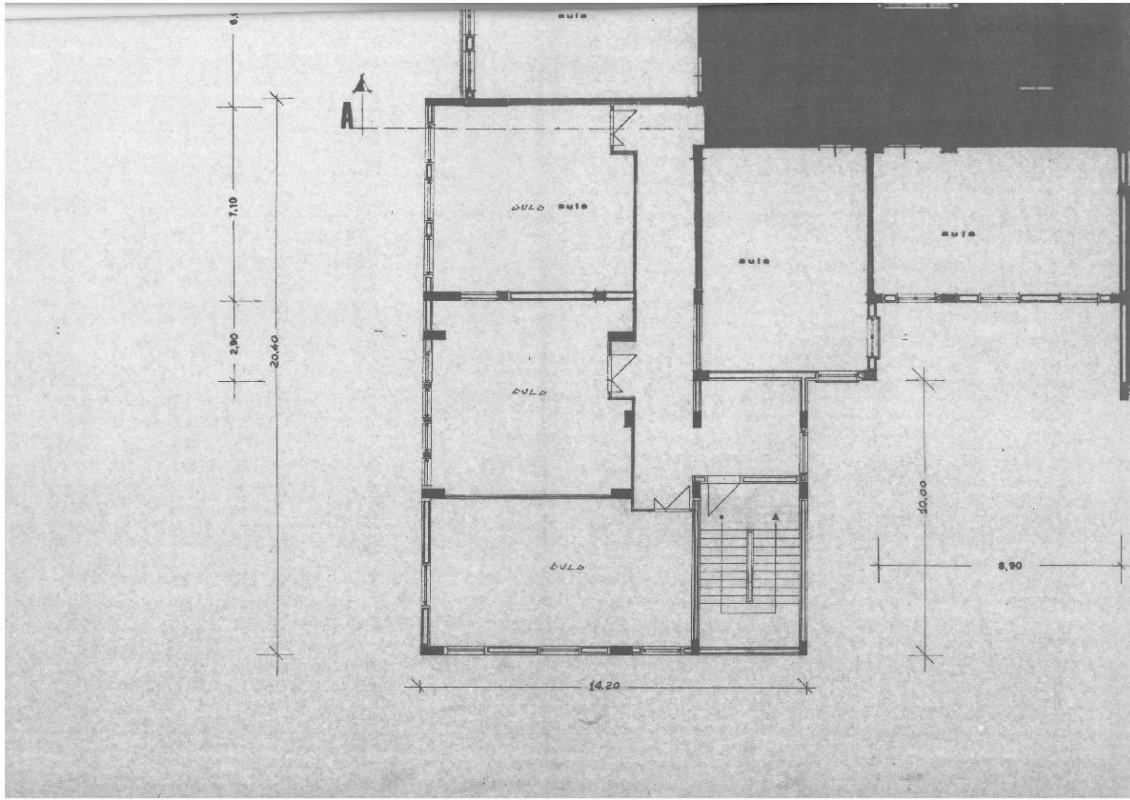


Figura 9 – Pianta primo e secondo piano (ampliamento)

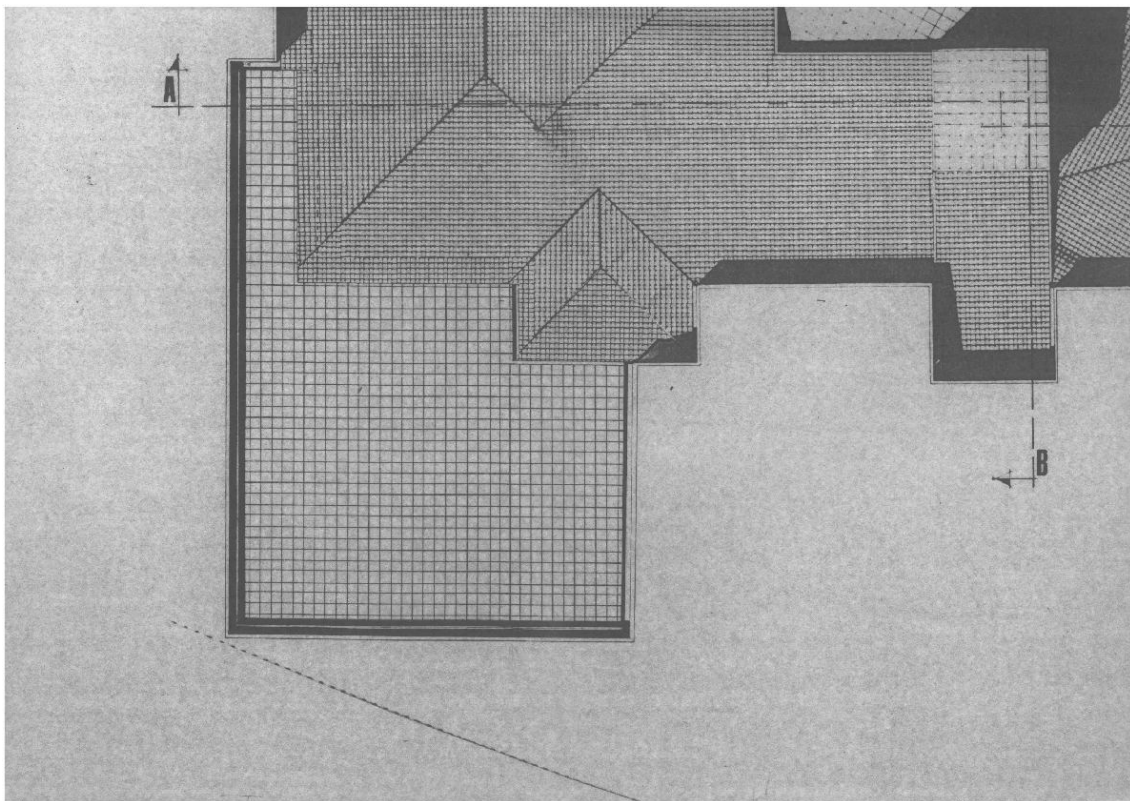


Figura 10 – Pianta copertura (ampliamento)

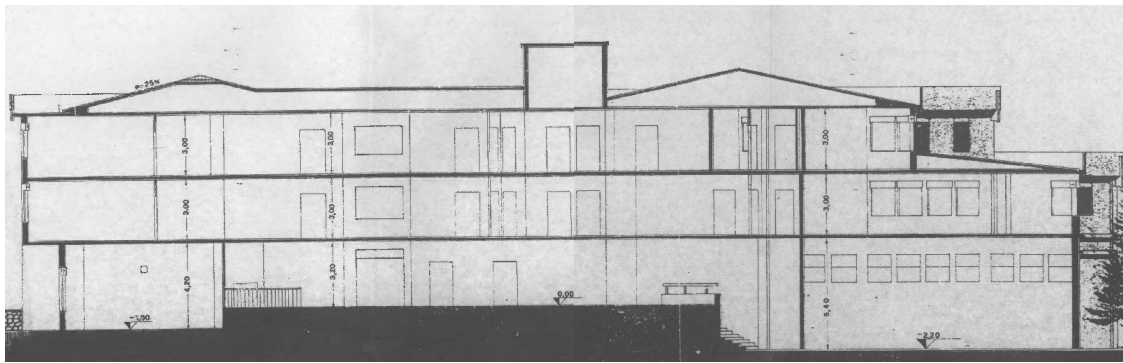


Figura 11 – Sezione longitudinale

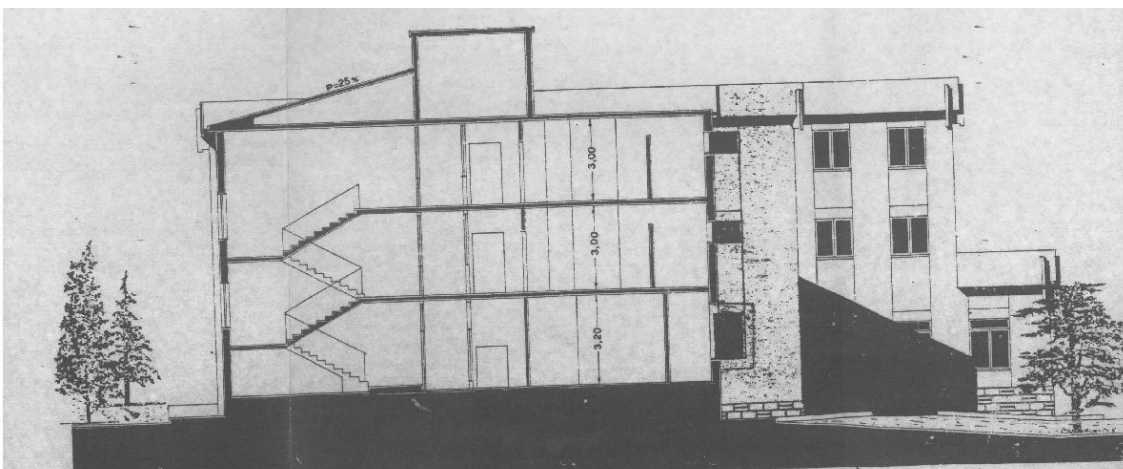


Figura 12 – Sezione trasversale

1.2.3. Aula magna

L'edificio che ospita l'aula magna dell'I.T.C. è un immobile di recente realizzazione, strutturalmente isolato ed indipendente dall'edificio originario. Per la sua recente realizzazione, tale corpo non è oggetto della presente verifica dei livelli di sicurezza sismica.



Figura 13 – Vista dell'aula magna e dell'I.T.C. da via Don Luigi Sturzo

1.3. Soggetti intervenuti nella fase progettuale

1.3.1. Progetto generale

L'immobile è stato realizzato a seguito di un appalto concorso relativo alla costruzione di un edificio da destinare ad istituto tecnico commerciale nel Comune di Troina. L'appalto è stato aggiudicato alla Ditta costruttrice Severino Vincenzo Impresa Costruzioni, via Roma 119, Enna.

I progettisti incaricati dall'impresa sono l'ing. Vincenzo Gagliardi, iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Enna al n.73, per il progetto architettonico e strutturale, l'ing. Antonino Alvano, iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Enna al n.86, per la progettazione degli impianti tecnici (Tabella 1).

La relazione geologica di accompagnamento al progetto è stata redatta dal dott. Francesco Paolo Patrinicola, iscritto all'Albo Nazionale dei Geologi al n. 861. La relazione è supportata da indagini in sito eseguite dall'impresa specializzata Pangea s.r.l.; dette indagini consistono in un sondaggio a carotaggio continuo e tredici sondaggi penetrometrici.

Tabella 1 – Dati del progetto generale

Ente appaltante	Provincia Regionale di Enna
Anno progettazione	1978
Progettista architettonico	ing. Vincenzo Gagliardi, iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Enna al n.73
Progettista degli impianti	ing. Antonino Alvano, iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Enna al n.86,
Progettista delle strutture	ing. Vincenzo Gagliardi, iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Enna al n.73
Geologo	dott. Francesco Paolo Patrinicola, iscritto all'Albo Nazionale dei Geologi al n. 861
Impresa esecutrice indagini geognostiche	Pangea s.r.l., Enna

1.3.2. Progetto dell'ampliamento

L'edificio che ospita l'Istituto Tecnico Commerciale è stato oggetto di un recente ampliamento. Il progetto per l'ampliamento e modifiche dell'edificio scolastico adibito a sede dell'Istituto Tecnico Commerciale di Troina è corredato di calcoli strutturali muniti di visto ai sensi dell'art.18 della Legge 2.2.1974 n.68 prot. n. 2307 del 1 aprile 1997; il progetto strutturale, redatto nel febbraio 1997, è a firma dell'ing. Giuseppe Alberti, Ordine Ingegneri di Enna n.174 (Tabella 2).

Tabella 2 – Dati del progetto dell'ampliamento

Ente appaltante	Provincia Regionale di Enna
Anno progettazione	1994
Progettista architettonico	ing. Giovanni Petronio (coord.), geom. Branciforte, geom. Schillaci e geom. Accardi, Ufficio Tecnico – Settore VI – Provincia Regionale di Enna
Progettista delle strutture	ing. Giuseppe Alberti, iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Enna al n.174 (anno 1997)

1.3.3. Progetto dell'aula magna

In prossimità delle strutture originarie e dell'ampliamento è stata realizzata una nuova aula magna. Il progetto per la realizzazione di una Aula magna nell'Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri di

Troina a firma del progettista ing. Alfio di Costa (Albo degli Ingegneri di Enna, n. 249); la relazione geologica è stata redatta dal dott. geol. Lorena Di Marco (Ordine Regionale dei Geologi n.1934). Il progetto è munito di visto ai sensi dell'art. 18 della L.64/74 prot. n. 3569 del 13.7.2001 (Tabella 3).

Tabella 3 – Dati del progetto dell'aula magna

Ente appaltante	Provincia Regionale di Enna
Anno progettazione	2000
Progettista architettonico	ing. Alfio Di Costa, iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Enna al n.249 (anno 2000)
Progettista delle strutture	ing. Alfio Di Costa, iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Enna al n.249 (anno 2000)
Geologo	dott. geol. Lorena Di Marco, iscritta all'Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia al n.1934
Impresa esecutrice indagini geognostiche	Studio di geologia tecnica & ambientale dott. geol. Giovanni Cavallaro, Laboratorio GEOTER s.n.c. Servizi Geologici & Ambientali, v.le Dei Platani n.1b, Paternò

1.4. Soggetti intervenuti nella fase costruttiva

1.4.1. Progetto generale

Le opere sono state dirette dall'ing. Paolo Andolina per conto dell'impresa Severino Vincenzo, affidataria dell'appalto.

Il collaudo statico e tecnico-amministrativo è stato affidato all'ing. Vincenzo Buscemi (Tabella 4).

Tabella 4 – Dati del progetto generale

Anno di costruzione	1978-1981
Direttore dei lavori	ing. Paolo Andolina, iscritto all'Albo degli Ingegneri di Enna al n. 40
Collaudatore statico	ing. Vincenzo Buscemi
Impresa esecutrice	Severino Vincenzo Impresa Costruzioni, via Roma 119 Enna

1.4.2. Progetto dell'ampliamento

L'impresa esecutrice delle opere è del geom. Caniglia Luigi, via Cavallotti in Troina, la Direzione lavori è affidata all'arch. Silvestra Adriana Livoi Silvio (Ordine Architetti di Enna n.116), il collaudo all'ing. Giuseppe Bonomo (Tabella 5).

Tabella 5 – Dati del progetto dell'ampliamento

Anno di costruzione	1997
Direttore dei lavori	arch. Silvestra Adriana Livoi Silvio, iscritta all'Ordine Architetti di Enna al n.116
Collaudatore statico	ing. Giuseppe Bonomo, iscritto all'Albo degli Ingegneri di Enna al n. 160
Impresa esecutrice	geom. Caniglia Luigi, via Cavallotti, Troina

1.4.3. Verifica statica delle strutture

Su incarico dell'amministrazione provinciale di Enna (Determina Presidenziale n.456 del 5.12.2002) è stata affidata agli ingg. Francesco Castano, iscritto all'Albo degli Ingegneri di Enna al n.130 e Lucio

Castello, iscritto all'Albo degli Ingegneri di Enna al n.231, la verifica statica straordinaria delle strutture dell'Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "E. Majorana" di Troina. La verifica, la cui necessità è derivata da un quadro fessurativo verificatosi su strutture non portanti, è conclusa con esito favorevole e con asseverazione dell'idoneità statica e sismica delle strutture.

2. FONTI CONSULTATE E DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO ACQUISITA

2.1. Fonti

Le fonti consultate, che hanno consentito l'acquisizione integrale della documentazione di progetto utile allo svolgimento dell'incarico sono:

- Provincia Regionale di Enna, Ufficio Tecnico, Settore VI
- Ufficio del Genio Civile di Enna
- Documenti di progetto con particolare riferimento a relazioni geologiche, geotecniche e strutturali ed elaborati grafici strutturali

2.1.1. Progetto generale

La Provincia Regionale di Enna ha messo a disposizione copiosa documentazione relativa al Progetto Generale per la Costruzione dell'edificio Scolastico datato 26 ottobre 1978. La documentazione del PROGETTO GENERALE fornita è la seguente:

- Tav.1 Relazione tecnica
- Tav.2 Relazione geologica e indagini geognostiche
- Tav.3 Planimetria generale della zona di insediamento con piano quotato
- Tav.4 Planimetria generale urbanistica
- Tav.5 Piano particellare con elenco delle ditte da espropriare e stima delle indennità di esproprio
- Tav. 10 Prospetto nord est
- Tav. 11 Prospetto sud est
- Tav. 12 Prospetto sud ovest
- Tav. 13 Prospetto nord ovest
- Tav. 14 Sezioni
- Tav. 15 Pianta quotata del piano terra con proposta di arredamento
- Tav. 16 Pianta piano terra con indicazione degli impianti
- Tav. 17 Pianta quotata del primo piano
- Tav. 18 Pianta 1° piano con indicazione degli impianti
- Tav. 19 Pianta quotata del secondo piano con proposta di arredamento
- Tav. 20 Pianta 2° piano con indicazione degli impianti
- Tav. 21 Sezioni morfologiche
- Tav. 22 Abaco e caratteristiche degli infissi esterni ed interni
- Tav. 23 Particolari costruttivi e decorativi
- Tav. 24 Rete idrica e relativi principali manufatti
- Tav. 25 Rete fognante e relativi principali manufatti
- Tav. 26a Rete elettrica e relativi principali manufatti
- Tav. 26b Rete telefonica e relativi principali manufatti
- Tav. 27 Rete stradale
- Tav. 28a Calcolo antisismico delle strutture
- Tav. 28b Planimetria pilastri (Bordi fissi)

- Tav. 28c Planimetria travi di fondazione
- Tav. 28d Carpenteria piano terra
- Tav. 28e Carpenteria primo piano
- Tav. 28 Carpenteria secondo piano (soffitto e tetto)
- Tav. 29 Analisi dei prezzi
- Tav. 30 Computo metrico estimativo
- Tav. 31 Capitolato speciale d'appalto
- Tav. 31a Calcolo analitico della tabella di incidenza
- Tav. 32 Allegato al capitolato speciale d'appalto: elenco prezzi

Attraverso la richiesta di accesso agli atti formulata al Genio Civile di Enna dai tecnici verificatori con prot. n. 13540 del 16.01.2012, sono stati acquisiti i documenti del progetto delle strutture originario depositati dalla Impresa Costruttrice Severino Vincenzo muniti di visto ai sensi dell'art. 17 della Legge 2-2-1974 n.64 apposto il 29 maggio 1979.

La documentazione inerente al CALCOLO DELLE STRUTTURE IN C.A. RELATIVO AL PROGETTO PER LA COSTRUZIONE DI UN EDIFICIO DA DESTINARE A ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE – TROINA acquisita è la seguente:

- N.O. Legge n.64 del 2-2-1974, art. 17 del 12.2.1979 n.735
- Richiesta N.O. ai sensi della Legge n.64 del 2-2-1974 prot. n. 3219 del 7.V.1979
- Richiesta certificato di conformità art. 28 della L.64/74 prot. n. 5966 del 23.9.1981
- Verbale di accertamento del 28.9.1981 propedeutico al rilascio del Certificato art. 28 della L.64/74
- Certificato di conformità art. 28 della L.64/74 prot. n. 5966 del 29.9.1981
- Relazione tecnica illustrativa del calcolo delle strutture in c.a.
- Tav.1 Planimetria ed armatura pilastri
- Tav.2 Carpenteria fondazioni
- Tav.3 Armatura travi di fondazione
- Tav.4 Carpenteria solaio copertura piano terra
- Tav.5 Armatura travi solaio copertura piano terra
- Tav.6 Carpenteria solaio copertura primo piano
- Tav.7 Armatura travi solaio copertura primo piano
- Tav.8 Carpenteria soffitto
- Tav.9 Armatura travi solaio copertura secondo piano
- Tav.11 Carpenteria scala

Gli elaborati del PROGETTO GENERALE acquisiti a completamento di quanto disponibile è la seguente:

- Tav.6 Pianta piano terra
- Tav.7 Pianta primo piano
- Tav.8 Pianta secondo piano
- Tav.9 Pianta della copertura

Inoltre sono stati acquisiti gli elaborati relativi alle opere esterne:

- Relazione di calcolo ed esecutivi muri di sostegno (a fondazione diretta e su pali)
- Disegni esecutivi scala esterna

La documentazione progettuale sotto il profilo costruttivo è completa.

2.1.2. Progetto dell'ampliamento

La documentazione relativa all'ampliamento è stata messa a disposizione dalla Provincia Regionale di Enna; gli atti acquisiti consistono nel progetto architettonico e delle strutture datati 8/11/1994 e sono quelli di seguito elencati:

- Tav. 2 Planimetria generale attuale
- Tav. 6 Pianta copertura attuale
- Tav. 7 Prospetto sud est attuale
- Tav. 8 Prospetto nord ovest attuale
- Tav. 9 Prospetto nord est attuale
- Tav. 10 Sezioni attuali
- Tav. 11 Corografia di progetto
- Tav. 16 Pianta copertura di progetto
- Tav. 17 Prospetto sud est di progetto
- Tav. 18 Prospetto nord ovest di progetto
- Tav. 19 Prospetto nord est di progetto
- Tav. 20 Sezioni di progetto
- Tav. 24 Pianta piano terra – Impianto di riscaldamento
- Tav. 25 Pianta primo piano – Impianto di riscaldamento
- Tav. 26 Pianta secondo piano – Impianto di riscaldamento
- Tav. 27 Pianta piano terra – Impianto elettrico e di illuminazione
- Tav. 28 Pianta primo piano – Impianto elettrico e di illuminazione
- Tav. 29 Pianta secondo piano – Impianto elettrico e di illuminazione
- Tav. 30 Pianta fili fissi, pianta fondazione, particolari travi e pilastri
- Tav. 31 Carpenteria primo solaio, particolari travi
- Tav. 32 Carpenteria secondo solaio, particolari travi
- Tav. 33 Carpenteria terzo solaio, particolari travi
- Tav. 34 Carpenteria solaio di copertura, particolari travi
- Calcoli statici preliminari a firma dei progettisti (1994)

Sono stati acquisiti gli elaborati aggiornati datati 14 febbraio 1997, muniti di visto del Genio Civile di Enna ai sensi dell'art. 18 della Legge 2.2.1974 n.64 prot. n. 2307 del 1 aprile 1997, di seguito elencati:

- Planimetria generale delle aree
- Tav.1 Corografia
- Tav.2 Planimetria generale attuale
- Tav.3 Pianta piano terra attuale
- Tav.4 Pianta piano primo attuale
- Tav.5 Pianta piano secondo attuale
- Tav. 6 Pianta copertura attuale
- Tav. 7 Prospetto sud est attuale
- Tav. 8 Prospetto nord ovest attuale
- Tav. 9 Prospetto nord est attuale
- Tav. 10 Sezioni attuali
- Tav. 11 Corografia di progetto
- Tav. 12 Planimetria generale di progetto
- Tav. 13 Pianta piano terra di progetto

- Tav. 14 Pianta piano primo di progetto
- Tav. 15 Pianta piano secondo di progetto
- Tav. 16 Pianta copertura di progetto
- Tav. 17 Prospetto sud est di progetto
- Tav. 18 Prospetto nord ovest di progetto
- Tav. 19 Prospetto nord est di progetto
- Tav. 20 Sezioni di progetto
- Relazione tecnica illustrativa e di calcolo delle strutture
- Fascicolo dei calcoli
- Pianta fili fissi edificio
- Carpenteria secondo solaio
- Carpenteria terzo solaio
- Carpenteria copertura
- Esecutivi di cantiere: tabella pilastri
- Esecutivi di cantiere: travate

Gli atti acquisiti presso il Genio Civile di Enna, a completamento dell'intera documentazione progettuale costruttiva aggiornata al 1997, sono i seguenti:

- Carpenteria fondazioni
- Carpenteria primo solaio
- Carpenteria scala

La documentazione progettuale è considerata solo ai fini della valutazione degli eventuali effetti indotti alla struttura dell'edificio originario.

2.1.3. Progetto dell'aula magna

Presso il Genio Civile di Enna è stata acquisita la documentazione relativa al Progetto per la realizzazione di una Aula magna nell'Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri di Troina a firma del progettista ing. Alfio di Costa (Albo degli Ingegneri di Enna, n. 249) e del dott. geol. Lorena Di Marco (Ordine Regionale dei Geologi n.1934) con visto ai sensi dell'art. 18 della L.64/74 prot. n. 3569 del 13.7.2001. La documentazione, utile ai fini dell'incarico ricevuta, è la seguente:

- Tav.R06 Relazione geotecnica
- Relazione Geologica Esecutiva con indagini in situ eseguite da GEOTER s.n.c.

2.2. Eventuale documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione

Sono stati acquisiti gli elaborati architettonici in formato digitale relativi al Piano di emergenza con indicazione delle vie d'esodo, messi a disposizione dalla Provincia Regionale di Enna.

2.3. Rilievo strutturale geometrico e dei dettagli costruttivi

Non sono stati acquisiti rilievi strutturali geometrici e dei dettagli costruttivi.

2.4. Prove in situ e in laboratorio

Sono state acquisite le prescrizioni del progetto riportate nella relazione tecnica e negli elaborati strutturali per tutti i corpi strutturali; sono stati altresì acquisiti i certificati di prova in laboratorio sui materiali della costruzione (calcestruzzo e acciaio) del corpo Ampliamento. Non sono disponibili documenti ufficiali successivi alla realizzazione.

Sono inoltre disponibili numerose indagini geognostiche per la caratterizzazione del suolo di fondazione sia sotto al profilo di resistenza meccanica sia sotto al profilo di amplificazione sismica locale.

3. DEFINIZIONE DELLE STRUTTURE OGGETTO DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

3.1. Scheda di livello "0"

Si riporta di seguito la scheda di livello 0" redatta dall'U.T. della Provincia di Enna con identificazione dell'edificio (Figura 14).



 Repubblica Italiana Regione Siciliana		Censimento dei dati di "Livello 0" per opere di interesse regionale, strategiche ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico (Ordinanza n. 3274/2003 - Art. 2, commi 3 e 4 D.G.R. n. 4018/2003 e DDG 3/2004)		 Dipartimento Regionale di Protezione	
SCHEDA EDIFICI					
Opera ricadente nell'elenco (DGG M. 3 15 gennaio 2004)			B.1.a	Codice D.R.P.C. 08601802800	
Sezione 1 Dati identificativi dell'edificio					
Regione: SICILIA		Codice Istat: 19		Scheda N.: 240	
Provincia: Enna		Codice Istat: 086		Data: 06/04/2005	
Comune: Troina		Codice Istat: 018		Aggregato strutturale composto da: edifici: 1 Edificio N. 1	
Frazione / Località:		Particelle: 15, , ,		Foglio: 26 Allegato:	
Interno al centro abitato: <input checked="" type="checkbox"/> Esterno al centro abitato: <input type="checkbox"/>		Posizione edificio:		Coordinate Geografiche ed Altimetriche	
Indirizzo: Via Aldo Moro		Isolato <input checked="" type="checkbox"/> Interno <input type="checkbox"/> D'estremità <input type="checkbox"/> D'angolo <input type="checkbox"/>		E 2483.477 UTM <input type="checkbox"/>	
Numero civico: 147		C.A.P.: 94018		N 4182.482 Gauss-Bogota <input checked="" type="checkbox"/>	
Codice: B1A06		Destinazione: Scuole secondarie (Licei, istituti tecnici e professionali)			
Denominazione/Funzione:		Istituto Tecnico Comm. e per Geometri			
Proprietario: Pubblica		Provincia Regionale di Enna			
Ente/Soggetta Utilizzatore:		Ministero della Pubblica Istruzione			
Patrimonio monumentale:		Bene vincolato BB.CC.AA: [MO] Tipologia oggetto: (codice schema MARS)			
		Gerarchia oggetto: Bene individuo Bene complesso Bene componente			
Sezione 2 Dati dimensionali e costruttivi					
A	N. Piani totali con interassi	B	Altezza media di piano (m)	C	Superficie media di piano
	4		320		1.120
D			Anno di progettazione: 1975		
E			Anno di ultimazione della costruzione: 1979		
F			Nessun intervento eseguito sulle strutture dopo la <input checked="" type="checkbox"/>		
G			Struttura progettata prima della classificazione sismica comunale <input type="checkbox"/>		
H			Interventi di modifica sostanziale alla struttura Anno: <input type="checkbox"/>		
H1			Adeguamento: <input type="checkbox"/>		
H2			Miglioramento: <input type="checkbox"/>		
H3			Altro: <input type="checkbox"/>		
Sezione 3 Materiale strutturale principale della struttura					
Cemento Armato		Acciaio		Acciaio - Calcestruzzo	
Muratura		Legno		Misto (muratura e C.A.)	
Prefabbricati in C.A. o		Altro		H	
A <input checked="" type="checkbox"/>		B <input type="checkbox"/>		C <input type="checkbox"/>	
D <input type="checkbox"/>		E <input type="checkbox"/>		F <input type="checkbox"/>	
G <input type="checkbox"/>		H <input type="checkbox"/>		I <input type="checkbox"/>	
Sezione 4 Dati di esposizione					
A		Opera utilizzata (>9/12 anni) <input checked="" type="checkbox"/>		Numero di persone presenti durante la fruizione ordinaria dell'edificio	
B		Numero max. 328		Numero medio: 110	
D		Aperto al pubblico <input checked="" type="checkbox"/>		Soggetti deboli <input checked="" type="checkbox"/>	
Sezione 5 Dati geomorfologici					
Morfologia del sito			Fenomeni franosi		
Cresta A <input checked="" type="checkbox"/>		Pendio forte B <input type="checkbox"/>		Pendio leggero C <input type="checkbox"/>	
Pianura D <input type="checkbox"/>		Assenti E <input checked="" type="checkbox"/>		Presenti F <input type="checkbox"/>	
Sezione 6 Danno e Agibilità					
A		Danno da sisma <input type="checkbox"/>		B	
Degradato strutturale <input type="checkbox"/>		C		Cedimento fondale <input type="checkbox"/>	
D		Altre tipologie di danno <input type="checkbox"/>		Agibilità	
Agibile <input checked="" type="checkbox"/>		Parzialmente agibile <input type="checkbox"/>		Temporaneamente inagibile <input type="checkbox"/>	
Inagibile <input type="checkbox"/>		Codice fiscale proprietario: 80000810663		Responsabile Geom. Elisabetta Antonino Tel. 0935/521225 Email	
Scheda D.R.P.C. versione 8.0 del 15/08/2004					

Figura 14 – Scheda di livello "0"

3.2. Riferimenti normativi

L'art.2 comma 3 dell'Ordinanza P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica, pubblicata nella Gazz. Uff. 8 maggio 2003, n. 108 recita: *"È fatto obbligo di procedere a verifica, da effettuarsi a cura dei rispettivi proprietari, ai sensi delle norme di cui ai suddetti allegati, sia degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso. Le verifiche di cui al presente comma dovranno essere effettuate entro cinque anni dalla data della presente ordinanza e riguardare in via prioritaria edifici ed opere ubicate nelle zone sismiche 1 e 2, secondo quanto definito nell'allegato 1"*. Al comma 5 è precisato che *"Nel caso di opere progettate secondo le norme vigenti successivamente al 1984 e relative, rispettivamente, alla prima categoria per quelle situate in zona 1, alla seconda categoria per quelle in zona 2 ed alla terza categoria per quelle in zona 3, non è prescritta l'esecuzione di una nuova verifica di adeguatezza alla norma"*.

3.3. Strutture escluse dalla verifica

La struttura dell'aula magna è successiva al 1984; non essendo intervenuto cambio della classificazione sismica del territorio nel quale è ubicato (II categoria all'epoca della progettazione, zona sismica 2 nella riclassificazione dell'Ordinanza P.C.M. 3274/2003), la verifica di adeguatezza alla norma per questo corpo strutturale non è necessaria.

3.4. Strutture oggetto di verifica

Le strutture oggetto della valutazione dei livelli di sicurezza sismica sono quelle che costituiscono il corpo originario e l'ampliamento; saranno altresì valutate le interferenze fra i due corpi (originario e ampliamento) dovute agli spostamenti sismici.

Per quanto concerne la volumetria complessiva del corpo originario questa è ottenuta considerando le altezze effettive delle varie parti dell'immobile:

Parametro	Fondazioni	Piano terra	Piano primo	Piano secondo
Zona aula magna (H=4.50m)	370x1.20	370x4.50		
Zona palestra (H=5.70m)	350x1.40	350x5.70	945x3.30	805x3.30
Zona atrio (H=3.30m)	315x0.80	315x3.30		
Superficie [m ²]	1035	1035	945	805
Volume [m ³]	1186	4700	3118	2656

Per quanto concerne la volumetria complessiva del corpo in ampliamento questa è ottenuta considerando le relative altezze di interpiano.

Parametro	Fondazioni	Calpestio	Piano terra	Piano primo	Piano secondo
	185x1.50	185x1.70	185x3.30	195x3.30	205x3.30
Superficie [m ²]	1.85	1855	1855	195	205
Volume [m ³]	277	315	610	643	675

I dati metrici fondamentali che descrivono la geometria e la struttura dell'edificio del Corpo originario sono riportati nella Tabella 6.

Tabella 6 – Caratteristiche geometriche del corpo originario

Parametro	Unità	Corpo originario
Elevazioni interrato		–
Elevazioni fuori terra		3
Superficie solaio calpestio piano terra	m ²	–
Superficie primo impalcato	m ²	1035
Superficie secondo impalcato	m ²	945
Superficie terzo impalcato	m ²	805
Volume lordo (compreso fondazioni)	m ³	11660
Pilastrini: numero al 1°, 2° e 3° ordine (numero totale di sezioni)		69/65/55 (12)
Setti e/o nuclei in c.a.		–
Travi: numero al 1°, 2° e 3° impalcato (numero totale di sezioni)		88/82/70 (11)

I dati metrici fondamentali che descrivono la geometria e la struttura dell'Ampliamento sono riportati nella Tabella 7.

Tabella 7 – Caratteristiche geometriche dell'ampliamento

Parametro	Unità	Ampliamento
Elevazioni interrato		–
Elevazioni fuori terra		4
Superficie solaio calpestio piano terra	m ²	185
Superficie primo impalcato	m ²	185
Superficie secondo impalcato	m ²	195
Superficie terzo impalcato	m ²	205
Volume lordo (compreso fondazioni)	m ³	2520
Pilastrini: numero al 1°, 2° e 3° ordine (numero totale di sezioni)		15 (3)
Setti e/o nuclei in c.a.		–
Travi: numero al 1°, 2° e 3° impalcato (numero totale di sezioni)		24/24/24 (4)

4. OBIETTIVI E CRITERI DEL PIANO DELLE INDAGINI

4.1. Obiettivi

Il progetto delle indagini mira al conseguimento di un livello di conoscenza adeguata "LC2" attraverso una campagna di prove in sito ed in laboratorio sia di tipo distruttivo sia di tipo semi-distruttivo o non distruttivo. L'acquisizione della documentazione progettuale originaria, i rilievi eseguiti sull'immobile nonché le indagini predisposte assicurano un elevato livello di approfondimento della conoscenza dell'organismo strutturale in termini di identificazione:

- della geometria;
- dei dettagli costruttivi;
- dei materiali.

L'acquisizione dei dati necessari all'identificazione è stata predisposta secondo quanto previsto al paragrafo 11.3 dell'O.P.C.M. 3431/2005 e all'allegato A del capito 8 della Circ. 617/2009.

Il livello di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi e i fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali. Le procedure per ottenere i dati richiesti sulla base dei disegni di progetto e/o di prove in situ sono descritte nel seguito per gli edifici in c.a. e acciaio. La relazione tra livelli di conoscenza, metodi di analisi e fattori di confidenza è illustrata nella Tabella 8.

Tabella 8 (Tabella C8A.1.2) – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile

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

4.2. Dati richiesti per la conoscenza dell'organismo strutturale

4.2.1. Geometria

La geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso viene effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni. I dati

raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare o non lineare.

Disegni originali di carpenteria: descrivono la geometria della struttura, gli elementi strutturali e le loro dimensioni, e permettono di individuare l'organismo strutturale resistente alle azioni orizzontali e verticali.

Disegni costruttivi o esecutivi: descrivono la geometria della struttura, gli elementi strutturali e le loro dimensioni, e permettono di individuare l'organismo strutturale resistente alle azioni orizzontali e verticali. In aggiunta essi contengono la descrizione della quantità, disposizione e dettagli costruttivi di tutte le armature, nonché le caratteristiche nominali dei materiali usati.

Rilievo visivo: serve a controllare la corrispondenza tra l'effettiva geometria della struttura e i disegni originali di carpenteria disponibili. Comprende il rilievo a campione della geometria di alcuni elementi. Nel caso di modifiche non documentate intervenute durante o dopo la costruzione, sarà eseguito un rilievo completo descritto al punto seguente.

Rilievo completo: serve a produrre disegni completi di carpenteria nel caso in cui quelli originali siano mancanti o si sia riscontrata una non corrispondenza tra questi ultimi e l'effettiva geometria della struttura. I disegni prodotti dovranno descrivere la geometria della struttura, gli elementi strutturali e le loro dimensioni, e permettere di individuare l'organismo strutturale resistente alle azioni orizzontali e verticali con lo stesso grado di dettaglio proprio di disegni originali.

Per l'identificazione della geometria, i dati raccolti includono i seguenti:

- identificazione del sistema resistente alle forze orizzontali in entrambe le direzioni;
- tessitura dei solai;
- dimensioni geometriche di travi, pilastri e pareti;
- larghezza delle ali di travi a T;
- possibili eccentricità fra travi e pilastri ai nodi.

4.2.2. *Dettagli costruttivi*

I dettagli sono noti da un'estesa verifica in situ oppure parzialmente noti dai disegni costruttivi originali incompleti. In quest'ultimo caso viene effettuata una limitata verifica in situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

Progetto simulato: serve, in mancanza dei disegni costruttivi originali, a definire la quantità e la disposizione dell'armatura in tutti gli elementi con funzione strutturale o le caratteristiche dei collegamenti. E' eseguito sulla base delle norme tecniche in vigore e della pratica costruttiva caratteristica all'epoca della costruzione.

Verifiche in situ limitate: servono per verificare la corrispondenza tra le armature o le caratteristiche dei collegamenti effettivamente presenti e quelle riportate nei disegni costruttivi, oppure ottenute mediante il progetto simulato.

Verifiche in situ estese: servono quando non sono disponibili i disegni costruttivi originali come alternativa al progetto simulato seguito da verifiche limitate, oppure quando i disegni costruttivi originali sono incompleti.

Verifiche in situ esaustive: servono quando non sono disponibili i disegni costruttivi originali e si desidera un livello di conoscenza accurata (LC3).

Le verifiche in situ sono effettuate su un'opportuna percentuale degli elementi strutturali primari per ciascun tipologia di elemento (travi e pilastri), come indicato nella Tabella C8A.1.3, privilegiando comunque gli elementi che svolgono un ruolo più critico nella struttura, quali generalmente i pilastri.

Per l'identificazione dei dettagli costruttivi, i dati raccolti devono includere i seguenti:

- quantità di armatura longitudinale in travi, pilastri e pareti;
- quantità e dettagli di armatura trasversale nelle zone critiche e nei nodi trave-pilastro;
- quantità di armatura longitudinale nei solai che contribuisce al momento negativo di travi a T;
- lunghezze di appoggio e condizioni di vincolo degli elementi orizzontali;
- spessore del copriferro;
- lunghezza delle zone di sovrapposizione delle barre.

4.2.3. Proprietà dei materiali

Informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali di prova, o da estese verifiche in situ. Nel primo caso sono anche eseguite limitate prove in situ; se i valori ottenuti dalle prove in situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, sono eseguite estese prove in situ. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare. La valutazione della sicurezza nel caso di conoscenza adeguata è eseguita mediante metodi di analisi lineare o non lineare, statici o dinamici.

Calcestruzzo: la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove di compressione fino a rottura.

Acciaio: la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura con determinazione della resistenza a snervamento e della resistenza e deformazione ultima, salvo nel caso in cui siano disponibili certificati di prova di entità conforme a quanto richiesto per le nuove costruzioni, nella normativa dell'epoca.

Metodi di prova non distruttivi: Sono ammessi metodi di indagine non distruttiva di documentata affidabilità, che non possono essere impiegati in completa sostituzione di quelli sopra descritti, ma sono consigliati a loro integrazione, purché i risultati siano tarati su quelli ottenuti con prove distruttive. Nel caso del calcestruzzo, è importante adottare metodi di prova che limitino l'influenza della carbonatazione degli strati superficiali sui valori di resistenza.

Prove in situ limitate: servono a completare le informazioni sulle proprietà dei materiali ottenute o dalle normative in vigore all'epoca della costruzione, o dalle caratteristiche nominali riportate sui disegni costruttivi, o da certificati originali di prova.

Prove in situ estese: servono per ottenere informazioni in mancanza sia dei disegni costruttivi, che dei certificati originali di prova, oppure quando i valori ottenuti dalle prove limitate risultano inferiori a quelli riportati nei disegni o certificati originali.

Prove in situ esaustive: servono per ottenere informazioni in mancanza sia dei disegni costruttivi, che dei certificati originali di prova, oppure quando i valori ottenuti dalle prove limitate risultano inferiori a quelli riportati nei disegni o certificati originali, e si desidera un livello di conoscenza accurata (LC3).

Per l'identificazione dei materiali, i dati raccolti includono i seguenti:

- resistenza del calcestruzzo;
- resistenza a snervamento, di rottura e deformazione ultima dell'acciaio.

Le prove opportune nei diversi casi sono indicate nella Tabella 9.

Tabella 9 (Tab. C8A.1.3a) – Definizione dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

Rilievo (dei dettagli costruttivi) (a)	Prove (sui materiali) (b)(c)
Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro, etc)	
Verifiche	La quantità e disposizione dell'armatura è 1 provino di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio,

limitate	verificata per almeno il 15% degli elementi	1 campione di armatura per piano dell'edificio
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

NOTE ESPLICATIVE ALLA TABELLA C8A.1.3 (a, b)

Le percentuali di elementi da verificare ed il numero di provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati nella Tabella C8A.1.3 hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, tenendo conto dei seguenti aspetti:

(a) Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle eventuali situazioni ripetitive, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.

(b) Le prove sugli acciai sono finalizzate all'identificazione della classe dell'acciaio utilizzata con riferimento alla normativa vigente all'epoca di costruzione. Ai fini del raggiungimento del numero di prove sull'acciaio necessario per il livello di conoscenza è opportuno tener conto dei diametri (nelle strutture in c.a.) o dei profili (nelle strutture in acciaio) di più diffuso impiego negli elementi principali con esclusione delle staffe.

(c) Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.

(d) Il numero di provini riportato nelle tabelle 8A.3a e 8A.3b può esser variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale. Nel caso del calcestruzzo in opera tali caratteristiche sono spesso legate alle modalità costruttive tipiche dell'epoca di costruzione e del tipo di manufatto, di cui occorrerà tener conto nel pianificare l'indagine. Sarà opportuno, in tal senso, prevedere l'effettuazione di una seconda campagna di prove integrative, nel caso in cui i risultati della prima risultino fortemente disomogenei.

4.2.4. Metodo di analisi

Il metodo di analisi individuato è l'analisi statica non lineare, con le precisazioni riportate al paragrafo 7.3.4.1. del D. M. 14 gennaio 2008 con la limitazioni della tabella C8A.1.2 della Circolare n. 617/2009.

4.2.5. Fattori di confidenza

I fattori di confidenza FC indicati nella Tabella C8A.1.2 sono utilizzati per definire le resistenze dei materiali da utilizzare nelle formule di capacità degli elementi. Le resistenze medie, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono divise per i Fattori di Confidenza.

4.3. Dati richiesti per il conseguimento del livello di conoscenza adeguata LC2

4.3.1. Identificazione dell'organismo strutturale e verifica del rispetto dei criteri di regolarità

L'organismo strutturale è stato identificato mediante i disegni originali di progetto verificati con rilievi in situ a campione.

4.3.2. Identificazione delle strutture di fondazione

Le strutture di fondazione sono identificate mediante i disegni originali di progetto e ispezione visiva diretta delle parti visibili (fuori terra o tramite le intercapedini) e/o mediante pozzetti esplorativi.

4.3.3. Identificazione delle categorie di suolo

La caratterizzazione della categoria di suolo è effettuata sulla scorta della documentazione geologica disponibile, corredata da numerose indagini geognostiche:

- relazione geologica del progetto originario corredata di n.1 sondaggio a carotaggio continuo (11.5 m) e di n. 13 sondaggi penetrometrici;
- relazione geologica del progetto di ampliamento corredata di n.1 sondaggio a carotaggio continuo (10.0 m) con prelievo di campione e prove di laboratorio, e di n.3 traverse sismiche a due scoppi.

- relazione geologica del progetto di ampliamento corredata di n.1 un sondaggio meccanico e di una prova SPT, con prelievo di un campione indisturbato e prova di taglio diretto, nonché tre traverse sismiche a rifrazione per la determinazione delle sismo-sezione con riferimenti litostratigrafici e la velocità di propagazione delle onde sismiche.

Per un'ulteriore conferma della categoria di sottosuolo ottenuta dai dati forniti nelle indagini geognostiche disponibili, è stata eseguita una prova ReMi che consente di ricostruire l'andamento delle onde sismiche da taglio lungo la profondità del terreno (almeno sino a 30 metri di profondità) attraverso un impulso passivo.

4.3.4. *Informazione sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti*

Le informazioni sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali sono desunte dagli elaborati di progetto disponibili e riscontrati mediante rilievo a campione.

Le informazioni sui quantitativi di armature e sui dettagli costruttivi sono desunte dai disegni costruttivi originari completi e da limitate verifiche in sito.

4.3.5. *Informazioni su possibili difetti locali dei materiali*

Le informazioni su difetti locali dei materiali sono desunte da controllo visivo e da saggi conoscitivi su elementi strutturali scelti a campione.

4.3.6. *Informazioni su possibili difetti nei particolari costruttivi (dettagli delle armature, eccentricità trave-pilastro, eccentricità pilastro-pilastro, collegamenti trave-colonna e colonna-fondazione, etc.)*

Le informazioni su difetti nei particolari costruttivi sono desunte da controllo visivo e da saggi conoscitivi su elementi strutturali scelti a campione.

4.3.7. *Informazioni sulle norme impiegate nel progetto originale incluso il valore delle eventuali azioni sismiche di progetto*

Le norme impiegate nella redazione del progetto sono desunte dalle relazioni tecniche illustrative acquisite nelle quali vengono richiamate i principali riferimenti normativi.

In particolare per quanto concerne la progettazione delle strutture in cemento armato le norme sono quelle richiamate nella *Relazione tecnica illustrativa del calcolo delle strutture in c.a.*

4.3.8. *Descrizione della classe d'uso, della categoria e dalla vita nominale*

La classe d'uso, la vita nominale e il periodo di riferimento dell'azione sismica sono definiti sulla scorta di quanto disciplinato dal § 2.4 delle Norme tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008.

4.3.9. *Rivalutazione dei carichi variabili, in funzione della destinazione d'uso*

I carichi di progetto, desumibili dalla relazione di calcolo, sono rivalutati in relazione alla destinazione d'uso dei locali (azioni variabili) e delle effettive caratteristiche costruttive (pesi propri e sovraccarichi permanenti) rilevate in sede di rilievo.

4.3.10. *Informazione sulla natura e l'entità di eventuali danni subiti in precedenza e sulle riparazioni effettuate.*

In corrispondenza del giunto tra il corpo di fabbrica originario e l'ampliamento recente, anche a causa della mancanza di alcuni accorgimenti costruttivi sugli elementi non strutturali, risultano danni e quadri fessurativi riparati e riverificatisi. Non risultano danni alle strutture portanti. Pertanto non è previsto il rilievo di quadri fessurativi, fuori piombo, cedimenti o altre manifestazioni di dissesto sulle strutture dell'edificio.

5. RILIEVI, INDAGINI, PROVE

5.1. Minimi di normativa

Disponendo dei disegni costruttivi completi e delle specifiche originali di progetto, sono stati definiti i livelli di approfondimento delle verifiche e delle prove da eseguire in sito sulla scorta della tabella C8A.1.2 della Circolare Cons. Sup. LL.PP. 617 del 19 febbraio 2009.

In particolare:

- la conoscenza dei dettagli costruttivi da disegni originari richiede il completamento delle informazioni mediante limitate verifiche in situ;
- la conoscenza delle proprietà dei materiali dalle specifiche originali di progetto richiede limitate prove in situ.

Quanto sopra descritto è riportato nelle successive Tabella 10 e Tabella 11, derivate da quelle della circolare.

Tabella 10 – Estratto della Tabella C8A.1.2

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione	Disegni costruttivi incompleti con verifiche in situ	Dalle specifiche originali di progetto con limitate prove in situ	Analisi statica non lineare	1.20

Tabella 11 – Estratto della Tabella C8A.1.3a

	Rilievo (dei dettagli costruttivi) (a)	Prove (sui materiali) (b)(c)
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro)	
<i>Verifiche limitate</i>	<i>La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi</i>	<i>1 provino di cls. per 300 m² di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio</i>

5.2. Identificazione della geometria

Per quanto concerne la geometria essa è nota in quanto, sulla scorta dei rilievi effettuati a campione, si è verificata la rispondenza del costruito ai disegni originali recuperati nella fase di Perizia Tecnica Esecutiva. Il sistema laterale resistente è rappresentato dall'insieme di travi e pilastri in cemento armato che costituiscono complessivamente "l'ossatura" dell'edificio.

5.2.1. Pilastri corpo originario

I pilastri rastremano lungo l'altezza variando frequentemente di sezione da un ordine al successivo; nell'ambito dello stesso ordine i pilastri possono avere geometria molto diversa l'uno dall'altro anche se sono presenti numerosi elementi caratterizzati dalla stessa sezione ed armatura longitudinale e per taglio. Dalle carpenterie e dalla tabella dei pilastri (Figura 15) si contano al primo ordine n. 69, al secondo ordine n.65 e al terzo ordine n. 55 pilastri e, rispettivamente, n.29, n.26 e n.26 famiglie ottenute accorpando i pilastri identici per sezione geometrica, armatura longitudinale filante, armatura di rinforzo nella zona di estremità e staffatura. Dall'esame dei dettagli costruttivi del progetto originale (Figura 16) si evince che per

le zone nodali non sono previste prescrizioni esecutive in merito alle armature a taglio, in fase di indagine l'assenza di tale dettaglio costruttivo è stata verificata.

Il telaio nell'ala della palestra, individuato dai fili esterni 45-67, è caratterizzato all'ultimo impalcato dall'assenza dei pilastri nei fili 51 e 57; le travi convergenti su tali nodi sono pertanto unificate con ampiezza della campata notevolmente maggiore rispetto ai piani inferiori. Si pone l'attenzione in fase di verifica all'irregolarità in campata del telaio e del carico sui pilastri all'ultimo impalcato.

Dimensioni ed armatura pilastri

PILASTRO	PRIMO PIANO						SECONDO PIANO					
	LATO X		LATO Y		STAFFE	SEZIONE	LATO X		LATO Y		STAFFE	SEZIONE
	X	Y	POS. 1	POS. 2			POS. 1	POS. 2	X	Y		
1	130	30	Ø16/12		Ø16/12							
2	150	30	Ø16/12									
3	150	30	Ø16/12		Ø16/12		Ø16/12		Ø16/12			
4	150	30	Ø16/12		Ø16/12		Ø16/12		Ø16/12			
5	150	30	Ø16/12		Ø16/12		Ø16/12		Ø16/12			
6	150	30	Ø16/12		Ø16/12		Ø16/12		Ø16/12			
7	40	30	Ø16/12									
8	30	30	Ø16/12									
9	40	30	Ø16/12									
10	30	30	Ø16/12									
11	50	30	Ø16/12									
12	30	30	Ø16/12									
13	30	30	Ø16/12									
14	30	30	Ø16/12									
15	30	30	Ø16/12									
16	30	30	Ø16/12									
17	30	30	Ø16/12									
18	30	30	Ø16/12									
19	30	30	Ø16/12									
20	30	30	Ø16/12									
21	30	30	Ø16/12									
22	30	30	Ø16/12									
23	30	30	Ø16/12									
24	30	30	Ø16/12									
25	30	30	Ø16/12									
26	30	30	Ø16/12									
27	30	30	Ø16/12									
28	30	30	Ø16/12									
29	30	30	Ø16/12									
30	30	30	Ø16/12									
31	30	30	Ø16/12									
32	30	30	Ø16/12									
33	30	30	Ø16/12									
34	30	30	Ø16/12									
35	30	30	Ø16/12									
36	30	30	Ø16/12									
37	30	30	Ø16/12									
38	30	30	Ø16/12									
39	30	30	Ø16/12									
40	30	30	Ø16/12									
41	30	30	Ø16/12									
42	30	30	Ø16/12									
43	30	30	Ø16/12									
44	30	30	Ø16/12									
45	30	30	Ø16/12									
46	30	30	Ø16/12									
47	30	30	Ø16/12									
48	30	30	Ø16/12									
49	30	30	Ø16/12									
50	30	30	Ø16/12									
51	30	30	Ø16/12									
52	30	30	Ø16/12									
53	30	30	Ø16/12									
54	30	30	Ø16/12									
55	30	30	Ø16/12									
56	30	30	Ø16/12									
57	30	30	Ø16/12									
58	30	30	Ø16/12									
59	30	30	Ø16/12									
60	30	30	Ø16/12									
61	30	30	Ø16/12									
62	30	30	Ø16/12									
63	30	30	Ø16/12									
64	30	30	Ø16/12									
65	30	30	Ø16/12									
66	30	30	Ø16/12									
67	30	30	Ø16/12									
68	30	30	Ø16/12									
69	30	30	Ø16/12									

NOTA
 AL PRIMO E SECONDO PIANO I MONCONI CONTRASSEGNA TI
 CON * SONO DISPOSTI SOLO SUPERIORMENTE.
 AL PIANO TERRA I MONCONI CONTRASSEGNA TI CON *
 SONO DISPOSTI SOLO INFERIORMENTE.

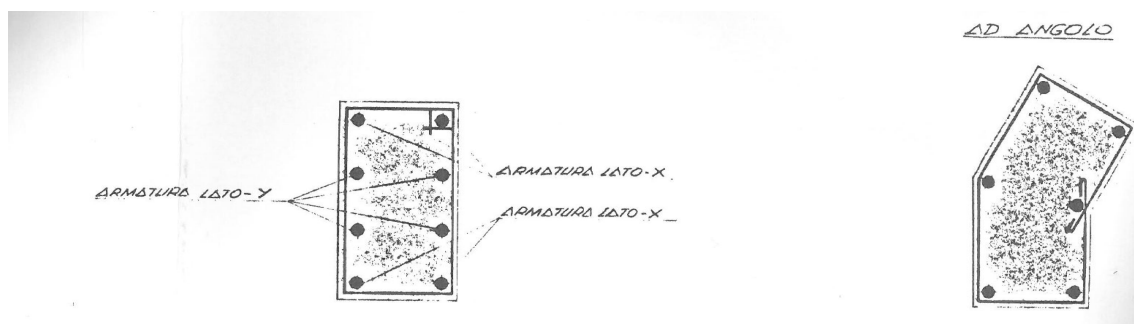


Figura 15 – Tabella dei pilastri del progetto originario

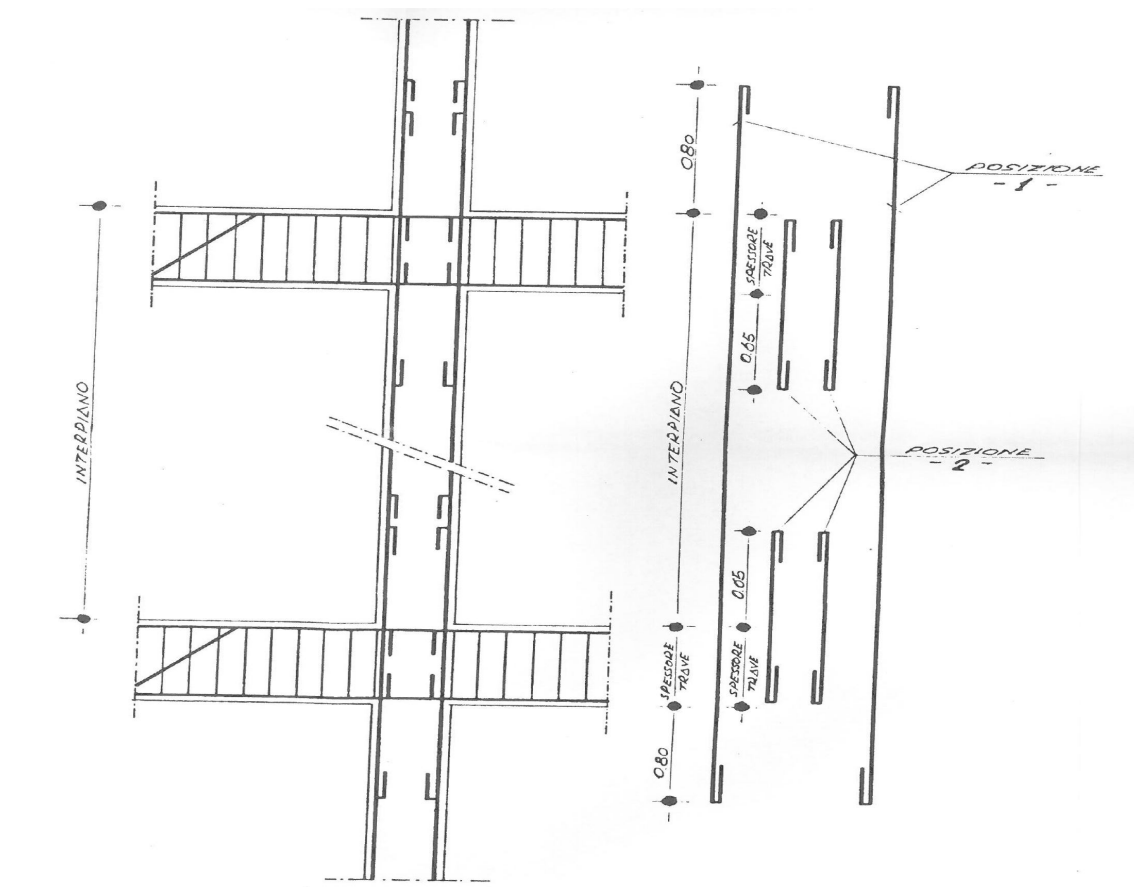


Figura 16 – Dettaglio costruttivo pilastri corpo originario

5.2.2. Impalcato e travi corpo originario

La carpenteria di impalcato si ripete per i 3 ordini con piccole differenze dovute alle variazioni di sagoma dell'edificio lungo l'altezza. Gli elementi principali di ciascun impalcato sono caratterizzati da una certa ripetitività, con un numero non particolarmente elevato di sezioni di trave impiegate. La ripetitività dello schema strutturale di impalcato è ancora più accentuata lungo l'altezza dell'edificio con sezioni identiche ai tre livelli in molte travate disposte lungo i quattro allineamenti dell'edificio. Le sezioni impiegate sono costanti all'interno di ciascuna travata, con poche eccezioni. Sono presenti 13 allineamenti in direzione X e 9 in direzione Y (da aula magna a corpo scala), 7 allineamenti longitudinali rispetto all'allineamento della palestra Ξ , 10 in direzione ortogonale Ψ (da atrio a palestra).

Al primo ordine sono presenti complessive 88 travi e 7 sezioni impiegate.

Sezione	telai X	telai Y	telai Ξ	telai Ψ	Totale
30 x 70	19	25	3	9	56
30 x 100	-	-	16	4	20
100 x 25	2	1	-	-	3
120 x 25	-	1	-	-	1
150 x 25	-	-	-	3	3
20 x 70	2	-	-	-	2
20 x 50	1	2	-	-	3

Al secondo ordine sono presenti complessive 82 travi con 8 sezioni impiegate

Sezione	telai X	telai Y	telai Ξ	telai Ψ	Totale
30 x 50	10	14	13	10	46
30 x 70	9	8	6	3	26
100 x 25	-	1	-	-	1
120 x 25	-	1	-	-	1
40 x 80	-	-	-	1	1
40 x 100	-	-	-	2	2
20 x 70	2	-	-	-	2
20 x 50	1	2	-	-	3

Al terzo ordine sono presenti complessive 70 travi con 8 sezioni impiegate

Sezione	telai X	telai Y	telai Ξ	telai Ψ	Totale
30 x 50	10	14	9	8	41
30 x 70	9	7	1	3	20
100 x 25	-	1	-	-	1
120 x 25	-	1	-	-	1
40 x 80	-	-	-	1	1
100 x 16	-	-	1	-	1
20 x 70	2	-	-	-	2
20 x 50	1	2	-	-	3

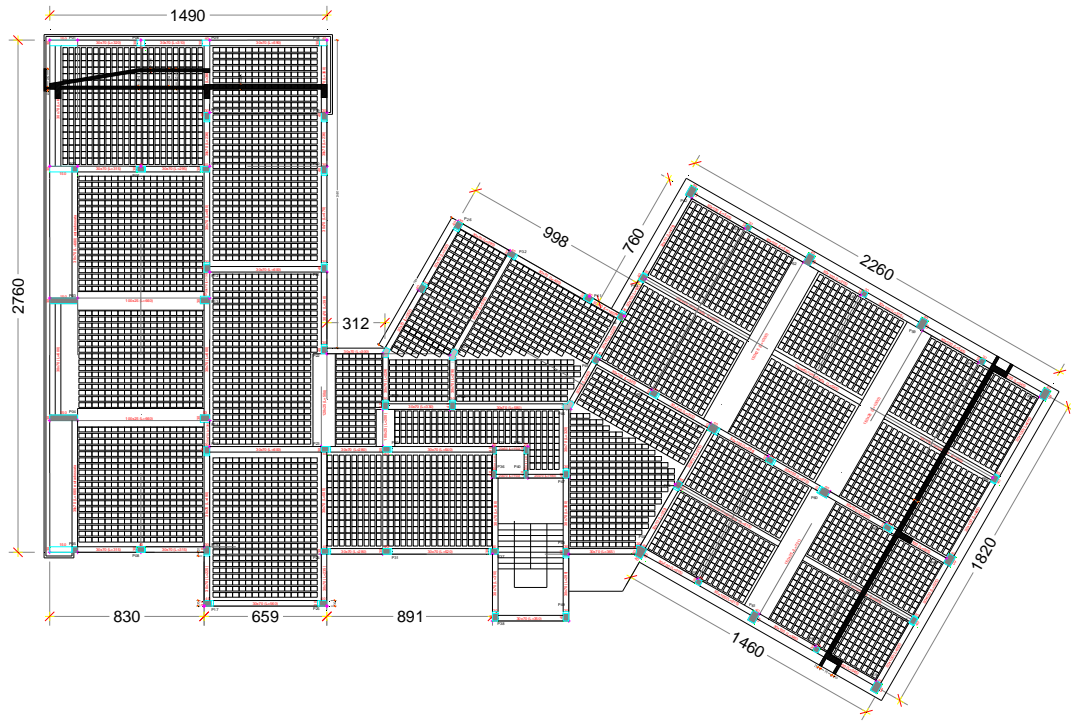


Figura 17 – Carpenteria primo solaio corpo originario

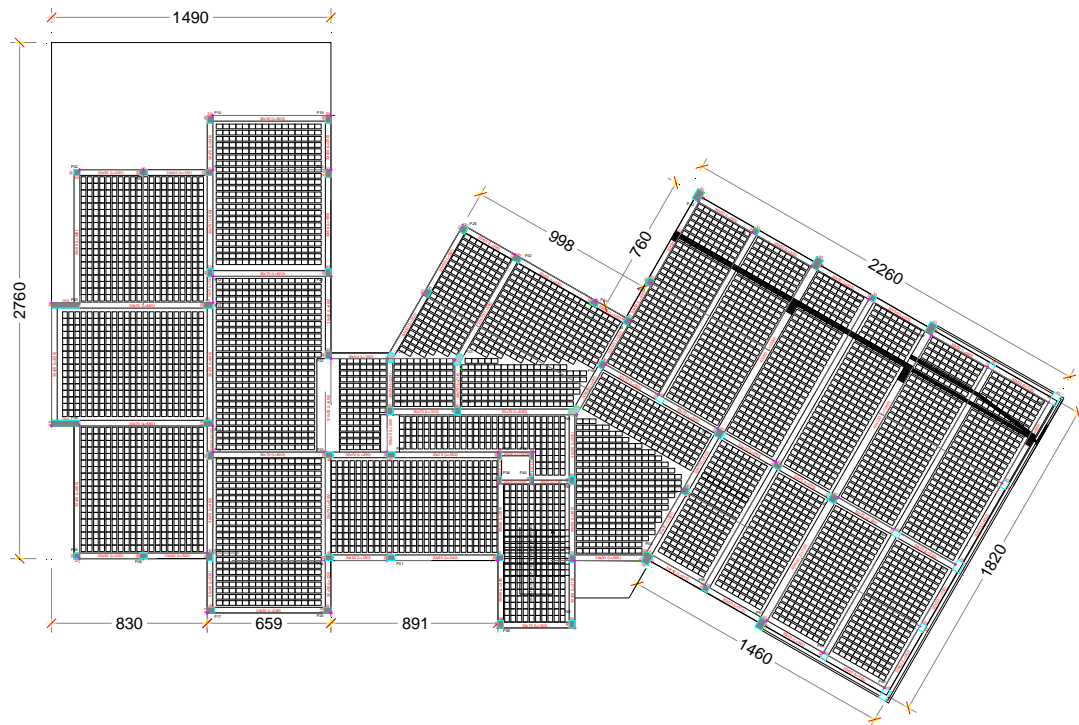


Figura 18 – Carpenteria secondo solaio corpo originario

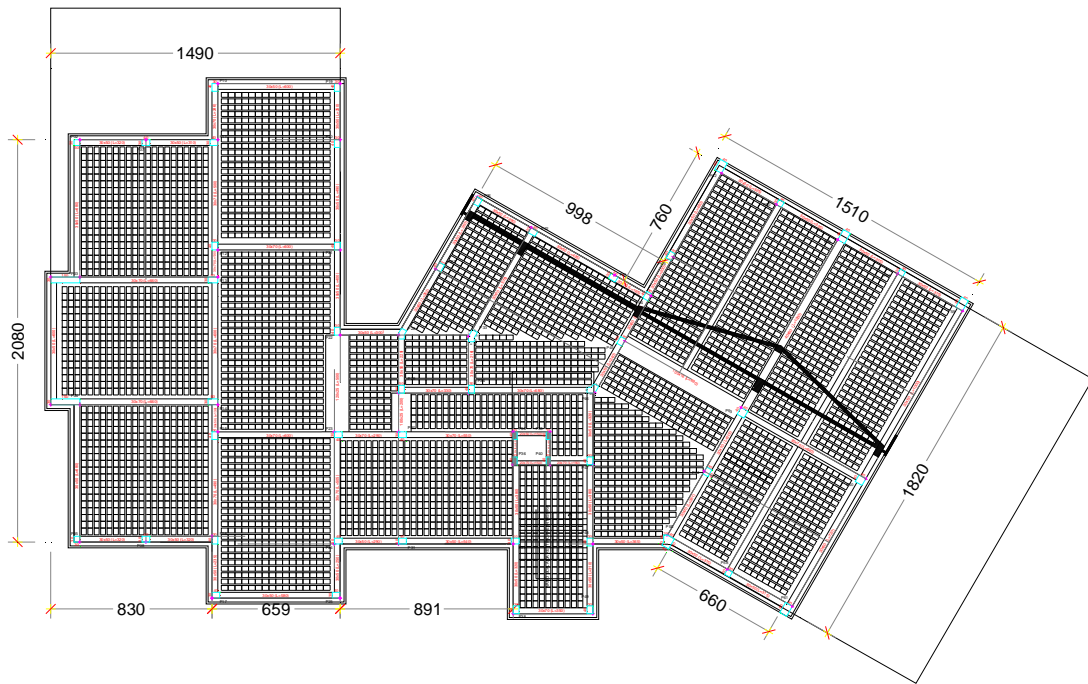


Figura 19 – Carpenteria terzo solaio corpo originario

5.2.3. Pilastrri ampliamento

I pilastri si mantengono a sezione costante lungo l'altezza; dalle tabelle dei pilastri e dalle carpenterie, disponibili in modo completo, si evincono sia le sezioni geometriche sia le armature (Figura 20). Si contano 15 pilastri a piano, ripetuti per tutte le elevazioni, con 4 sezioni distinte.

DITTA: PROVINCIA DI ENNA	
MATERIALI PREVISTI CLASSE CALCESTRUZZO 250 KC = 85 KG/CMQ. ACCIATO AD MIS. FER 3F < CONTR. KF = 2200 KG/CMQ.	AMPLIAMENTO E MODIFICHE DELLO EDIFICIO SCOLASTICO ADIBITO A SEDE DELL'ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE DI TROINA.
TABELLA PILASTRI	
ESECUTIVI DI CANTIERE	
IL DIRETTORE DEI LAVORI PUBBLICI IL GEOMETRA RESPONSABILE DEL COMMITTENTE	
REGIONE SICILIANA ASSOCIATO LAVORI PUBBLICI UFFICIO DEL GENIO CIVILE DI ENNA Visto ai sensi e per gli effetti dell'art. 18 della Legge 2.2.1974 n. 84 con riferimento all'auto- autorizzazione N. 2307 ET/PA/... 57 arreata, altresì, l'originato Copia, in pari dato, ai sensi dell'art. 4 della Legge 5.11.1971 n. 2008.	
14 FEB. 1997	

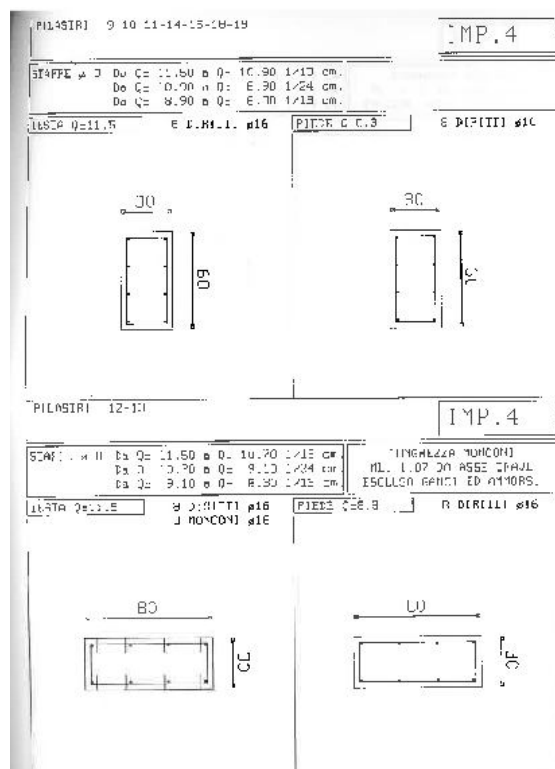


Figura 20 – Stralcio tabelle dei pilastri ampliamento

5.2.4. Impalcato e travi ampliamento

La carpenteria di impalcato si ripete per i 4 ordini con differenze assai modeste dovute alle variazioni di sagoma dell'edificio adiacente lungo l'altezza; tali variazioni di sagoma sono realizzate con aggetti, le strutture principali rimangono invariate. Gli elementi principali di ciascun impalcato sono caratterizzati da una forte ripetitività, con un numero ridotto di sezioni di trave impiegate. La ripetitività dello schema strutturale di impalcato è ancora più accentuata lungo l'altezza dell'edificio con sezioni identiche ai quattro livelli in molte travate disposte secondo gli allineamenti dell'edificio. Le sezioni impiegate sono costanti all'interno di ciascuna travata, con poche eccezioni (Figura 21).

Sono presenti 6 allineamenti in direzione X, 4 in direzione Y; le pilastrate sono 15 a tutti i 4 ordini presenti con tre diverse sezioni geometriche (30x100, 30x80 e 30x60), le travi sono 24, si ripetono a ciascun impalcato ed hanno quattro diverse sezioni:

Sezione	telai X	telai Y	Totale
100 x 30	–	1	1
30 x 80	4	–	4
30 x 65	5	13	18
60 x 30	1	–	1

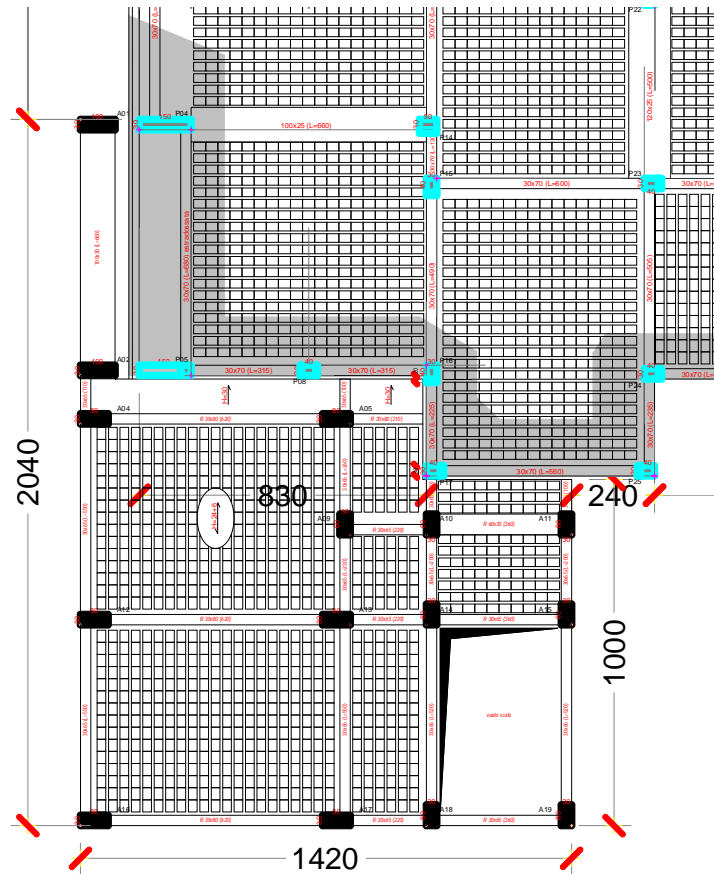


Figura 21 – Carpenteria piano tipo dell'ampliamento

5.3. Dettagli costruttivi

5.3.1. Pilastri corpo originario

Per quanto concerne il rilievo dei dettagli costruttivi, è stato conseguito un limitato livello di indagine corrispondente al 15% degli elementi, sono state considerate le pilastrate più rappresentative ai vari ordini la cui ripetitività è stata sfruttata per maturare una migliore conoscenza dell'organismo strutturale.

Sezione	1° impalcato	2° impalcato	3° impalcato	Ripetitività	Rappresentatività geometrica globale [%]
150 x 30	5	2	2	9	4.76
40 x 30	3	16	13	32	16.93
50 x 30	16	2	2	20	10.58
50 x 40	2	2	-	4	2.12
30 x 40	-	22	20	42	22.22
30 x 50	22	1	-	23	12.17
20 x 40	4	4	4	12	6.35
30 x 60	2	2	2	6	3.17
40 x 40	-	-	1	1	0.53
40 x 60	8	7	6	21	11.11
60 x 40	2	-	-	2	1.06
30 x 30	5	7	5	17	9.00

Il 15% degli elementi da indagare si traduce ai tre ordini nel seguente numero di verifiche dei dettagli costruttivi:

Verifiche limitate sui pilastri di piano		
1° impalcato	0.15 x 69 = 10.35	11
2° impalcato	0.15 x 65 = 9.75	10
3° impalcato	0.15 x 55 = 8.25	9

Sulla scorta delle sezioni di pilastri identificati ai vari ordini sono state selezionate le seguenti tipologie da indagare ai vari ordini:

	Sezioni indagate		Rappresentatività geometrica nel piano [%]	Rappresentatività geometrica globale [%]
	1° impalcato	30 x 50	50 x 30	38 su 69 (55.07 %)
2° impalcato	30 x 40	40 x 30	38 su 65 (58.46 %)	74 su 189 (39.15 %)
3° impalcato	30 x 40	40 x 30	33 su 55 (60.00 %)	74 su 189 (39.15 %)

Nella scelta dei pilastri da indagare a ciascun piano, si privilegiano quegli elementi più importanti nello schema statico e in termini di risposta sismica.

5.3.2. Impalcato e travi corpo originario

Per quanto concerne il rilievo dei dettagli costruttivi, dovendo conseguire un limitato livello di indagine corrispondente al 15% degli elementi, sono state considerate le travi più rappresentative ai vari ordini la cui ripetitività può essere sfruttata per maturare una migliore conoscenza dell'organismo strutturale.

Sezione	1° impalcato	2° impalcato	3° impalcato	Ripetitività	Rappresentatività geometrica globale [%]
30 x 50	–	46	41	87	36.25
30 x 70	56	26	20	102	42.50
30 x 100	20	–	–	20	8.33
100 x 25	3	1	1	5	2.08
120 x 25	1	1	1	3	1.25
150 x 25	3	–	–	3	1.25
40 x 80	–	1	1	2	0.83
40 x 100	–	2	–	2	0.83
100 x 16	–	–	1	1	0.43
20 x 70	2	2	2	6	2.50
20 x 50	3	3	3	9	3.75

Il 15% degli elementi da indagare si traduce ai tre ordini nel seguente numero di verifiche dei dettagli costruttivi:

Verifiche limitate sulle travi di piano		
1° impalcato	0.15 x 88 = 13.20	14
2° impalcato	0.15 x 82 = 12.75	13
3° impalcato	0.15 x 70 = 10.50	11

Sulla scorta delle sezioni di trave identificate ai vari ordini sono state selezionate le seguenti tipologie da indagare ai vari ordini

	Sezioni indagate		Rappresentatività geometrica nel piano	Rappresentatività geometrica globale
1° impalcato	30 x 70	30 x 100	76 su 88 (86.36 %)	122 su 240 (50.83 %)
2° impalcato	30 x 50	30 x 70	72 su 82 (87.80 %)	189 su 240 (78.75 %)
3° impalcato	30 x 50	30 x 70	61 su 70 (87.14 %)	189 su 240 (78.75 %)

Nella scelta delle travi da indagare a ciascun piano si privilegiano quegli elementi più importanti nello schema statico e in termini di risposta sismica.

5.3.3. Riepilogo rilievi dettagli costruttivi corpo originario

Le indagini sui dettagli costruttivi da eseguire per ciascun piano dell'edificio sono riepilogate nella seguente Tabella 12.

Tabella 12 – Riepilogo delle verifiche limitate

	Verifiche limitate		
	Pilastrini	Travi	Totale
1° impalcato	11	14	25
2° impalcato	10	13	23
3° impalcato	9	11	20

Il rilievo è eseguito mediante saggi e mediante rilievi pacometrici nel rapporto di circa 1 a 4 (Tabella 13).

Tabella 13 – Riepilogo delle verifiche limitate

	Verifiche limitate		
	Totale	Saggi	Rilievi indiretti
1° impalcato	25	5	20
2° impalcato	23	5	18
3° impalcato	20	4	16

Il rilievo è eseguito mediante saggi preferibilmente sui pilastrini la cui funzione sismo-resistente è più significativa (sezioni di maggiore dimensione, con controllo delle regioni critiche e nodali).

5.3.4. Pilastrini ampliamento

Per quanto concerne il rilievo dei dettagli costruttivi, volendo conseguire un limitato livello di indagine corrispondente al 15% degli elementi, sono state considerate le pilastrate più rappresentative ai vari ordini la cui ripetitività può essere sfruttata per maturare una migliore conoscenza dell'organismo strutturale.

Sezione	1° impalcato	2° impalcato	3° impalcato	4° impalcato	Ripetitività	Rappresentatività geometrica globale [%]
100 x 30	2	2	2	2	8	13.33
80 x 30	6	6	6	6	24	40.00
30 x 60	7	7	7	7	28	46.67

Il 15% degli elementi da indagare si traduce ai tre ordini nel seguente numero di verifiche dei dettagli costruttivi:

Verifiche limitate sui pilastrini di piano		
calpestio p.t.	0.15 x 15 = 2.25	3
1° impalcato	0.15 x 15 = 2.25	3
2° impalcato	0.15 x 15 = 2.25	3
3° impalcato	0.15 x 15 = 2.25	3

Sulla scorta delle sezioni di pilastrini identificati ai vari ordini sono state selezionate le seguenti tipologie da indagare ai vari ordini:

	Sezioni indagate		Rappresentatività geometrica nel piano [%]	Rappresentatività geometrica globale [%]
calpestio p.t.	30 x 60	80 x 30	13 su 15 (86.67 %)	52 su 60 (86.67 %)
1° impalcato	80 x 30	100 x 30	8 su 15 (53.33 %)	32 su 60 (53.33 %)
2° impalcato	30 x 60	–	7 su 15 (46.67 %)	28 su 60 (46.67 %)
3° impalcato	80 x 30	–	6 su 15 (40.00 %)	24 su 60 (40.00 %)

Nella scelta dei pilastrini da indagare a ciascun piano, si privilegiano quegli elementi più importanti nello schema statico e in termini di risposta sismica. Dato l'elevato grado di ripetitività degli elementi alle diverse elevazioni, previa verifica in sito, si può estendere il risultato del singolo rilievo agli altri pilastrini caratterizzati dalla stessa geometria.

5.3.5. Impalcato e travi ampliamento

Per quanto concerne il rilievo dei dettagli costruttivi, volendo conseguire un limitato livello di indagine corrispondente al 15% degli elementi, sono state considerate le travi più rappresentative ai vari ordini la cui ripetitività può essere sfruttata per maturare una migliore conoscenza dell'organismo strutturale.

Sezione	1° impalcato	2° impalcato	3° impalcato	4° impalcato	Ripetitività	Rappresentatività geometrica globale [%]
100 x 30	1	1	1	1	4	4.17
60 x 30	1	1	1	1	4	4.17
30 x 80	4	4	4	4	16	16.66
30 x 65	18	18	18	18	72	75.00

Il 15% degli elementi da indagare si traduce ai tre ordini nel seguente numero di verifiche dei dettagli costruttivi:

Verifiche limitate sulle travi di piano		
calpestio p.t.	0.15 x 24 = 3.60	4
1° impalcato	0.15 x 24 = 3.60	4
2° impalcato	0.15 x 24 = 3.60	4
3° impalcato	0.15 x 24 = 3.60	4

Sulla scorta delle sezioni di trave identificate ai vari ordini sono state selezionate le seguenti tipologie da indagare ai vari ordini

	Sezioni indagate		Rappresentatività geometrica nel piano	Rappresentatività geometrica globale
calpestio p.t.	30 x 65	30 x 80	22 su 24 (91.67 %)	88 su 96 (91.67 %)
1° impalcato	30 x 65	30 x 80	22 su 24 (91.67%)	88 su 96 (91.67 %)
2° impalcato	30 x 65	–	18 su 24 (75.00 %)	72 su 96 (75.00 %)
3° impalcato	30 x 80	–	4 su 24 (16.67 %)	16 su 96 (16.67 %)

Nella scelta delle travi da indagare a ciascun piano si privilegiano quegli elementi più importanti nello schema statico e in termini di risposta sismica. Dato l'elevato grado di ripetitività degli elementi alle diverse elevazioni, previa verifica in sito, si potranno estendere il risultato del singolo rilievo alle altre travi caratterizzate dalla stessa geometria.

5.3.6. Riepilogo rilievo dei dettagli costruttivi ampliamento

Le indagini sui dettagli costruttivi da eseguire per ciascun piano dell'edificio sono riepilogate nella seguente Tabella 14.

Tabella 14 – Riepilogo delle verifiche limitate

	Verifiche limitate		
	Pilastrini	Travi	Totale
calpestio p.t.	3	4	7
1° impalcato	3	4	7
2° impalcato	3	4	7
3° impalcato	3	4	7

Data l'identica geometria degli elementi di impalcato le verifiche dei dettagli costruttivi saranno aumentate rispetto ai minimi di normativa ai piani più bassi, maggiormente sollecitati dal sisma e quindi più significativi di quelli sovrastanti. Il rilievo è eseguito mediante rilievi indiretti; saranno eseguiti un numero limitato di saggi solo per verifica della rispondenza del costruito al progetto esecutivo (Tabella 15).

Tabella 15 – Riepilogo delle verifiche limitate

	Verifiche limitate		
	Totale	Saggi	Rilievi indiretti
calpestio p.t.	7	2	6
1° impalcato	7	–	12
2° impalcato	7	–	6
3° impalcato	7	–	6

Il rilievo è eseguito mediante saggi preferibilmente sui pilastri la cui funzione sismo-resistente è più significativa (sezioni di maggiore dimensione, con controllo delle regioni critiche e nodali). Dato l'elevato grado di ripetitività degli elementi alle diverse elevazioni, i risultati del singolo rilievo saranno estesi agli altri elementi simili (pilastri e travi ai vari ordini), caratterizzati dalla stessa geometria e stesso schema statico.

5.4. Proprietà dei materiali

5.4.1. Pilastri corpo originario

Per quanto concerne i materiali, dovendo conseguire un limitato livello di indagine, è necessario un provino di calcestruzzo per 300 m² di piano dell'edificio ed un campione di armatura per piano.

	S [mq]	Provini di calcestruzzo	Campioni di armatura
1° impalcato	1035	1035/300 = 3.45	4
2° impalcato	945	945/300 = 3.15	4
3° impalcato	805	805/300 = 2.68	3

5.4.2. Travi corpo originario

Per quanto concerne i materiali, dovendo conseguire un limitato livello di indagine, è necessario un provino di calcestruzzo per 300 m² di piano dell'edificio ed un campione di armatura per piano.

	S [mq]	Provini di calcestruzzo	Campioni di armatura
fondazione	1035	1035/300 = 3.45	4
1° impalcato	1035	1035/300 = 3.45	4
2° impalcato	945	945/300 = 3.15	4
3° impalcato	805	805/300 = 2.68	3

5.4.3. Riepilogo prove sui materiali corpo originario

Le prove da eseguire per ciascun piano dell'edificio sono riepilogate nella seguente Tabella 16.

Tabella 16 – Riepilogo prove limitate

	Provini di calcestruzzo			Campioni di armatura		
	Pilastrati	Travi	Totale	Pilastrati	Travi	Totale
fondazione	–	4	4	–	1	1
1° impalcato	4	4	8	1	1	2
2° impalcato	4	4	8	1	1	2
3° impalcato	3	3	6	1	1	2

Le prove sui materiali sono previste di tipo diretto in misura minima del 50 %; le prove di tipo indiretto sono previste nella misura del triplo di quelle residue necessarie al raggiungimento dei minimi di normativa (Tabella 17).

Tabella 17 – Riepilogo prove limitate

	Provini di calcestruzzo			Campioni di armatura		
	Totale	Dirette	Indirette	Totale	Dirette	Indirette
fondazione	4	2	6	1	1	–
1° impalcato	8	4	12	2	1	3
2° impalcato	8	4	12	2	1	3
3° impalcato	6	3	9	2	1	3

Le prove sugli acciai sono finalizzate all'identificazione della classe dell'acciaio utilizzata con riferimento alla normativa vigente all'epoca di costruzione. Ai fini del raggiungimento del numero di prove sull'acciaio necessario per il livello di conoscenza si terrà conto dei diametri di più diffuso impiego negli elementi principali con esclusione delle staffe. Il numero di provini e di campioni potrà essere variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale.

5.4.4. Pilastrati ampliamento

L'accertamento dei materiali per il corpo strutturale dell'ampliamento è finalizzato alla definizione di un modello di calcolo attendibile dal quale desumere le interferenze con le strutture del corpo originario. Con riferimento al calcestruzzo e all'acciaio impiegati per questo corpo strutturale, sono disponibili i certificati originari di prova. Tenuto conto delle finalità sopra indicate, si considera accettabile un diverso rapporto tra indagini dirette ed indirette secondo quanto riportato nelle tabelle seguenti. Per quanto concerne i materiali calcestruzzo e acciaio si prevede un limitato livello di indagine.

	S [mq]	Provini di calcestruzzo	Campioni di armatura
calpestio p.t.	185	185/300 = 0.61	1
1° impalcato	185	185/300 = 0.61	1
2° impalcato	195	195/300 = 0.65	1
3° impalcato	205	205/300 = 0.68	1

5.4.5. Travi ampliamento

Per quanto concerne i materiali si prevede un livello di indagine limitato.

	S [mq]	Provini di calcestruzzo		Campioni di armatura	
fondazione	185	185/300 = 0.61	1	1	1
calpestio p.t.	185	185/300 = 0.61	1	1	1
1° impalcato	185	185/300 = 0.61	1	1	1
2° impalcato	195	195/300 = 0.65	1	1	1
3° impalcato	205	205/300 = 0.68	1	1	1

5.4.6. Riepilogo prove sui materiali ampliamento

Le prove da eseguire per ciascun piano dell'edificio sono riepilogate nella seguente Tabella 18.

Tabella 18 – Riepilogo prove limitate

	Provini di calcestruzzo			Campioni di armatura		
	Pilastrati	Travi	Totale	Pilastrati	Travi	Totale
fondazione	–	1	1	–	1	1
calpestio p.t.	1	1	2	1	1	2
1° impalcato	1	1	2	1	1	2
2° impalcato	1	1	2	1	1	2
3° impalcato	1	1	2	1	1	2

Le prove sui materiali sono previste di tipo diretto e di tipo indiretto (Tabella 19).

Tabella 19 – Riepilogo prove limitate

	Provini di calcestruzzo			Campioni di armatura		
	Totale	Dirette	Indirette	Totale	Dirette	Indirette
fondazione	1	1	3	1	1	–
calpestio p.t.	2	1	12	2	1	–
1° impalcato	2	1	9	2	–	6
2° impalcato	2	–	6	2	–	6
3° impalcato	2	–	6	2	–	6

Le prove sugli acciai sono finalizzate all'identificazione della classe dell'acciaio utilizzata con riferimento alla normativa vigente all'epoca di costruzione. Ai fini del raggiungimento del numero di prove sull'acciaio necessario per il livello di conoscenza si terrà conto dei diametri di più diffuso impiego negli elementi principali con esclusione delle staffe. Il numero di provini e di campioni potrà essere variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale.

5.5. Criteri generali per l'individuazione degli elementi strutturali significativi da indagare

Tratto da Regione Toscana – Giunta Regionale, Settore – Servizio Sismico Regionale, Interventi sperimentali di prevenzione per la riduzione del rischio sismico programma regionale vulnerabilità sismica edifici in cemento armato (VSCA) – istruzioni tecniche – Criteri per lo svolgimento di indagini diagnostiche finalizzate alla valutazione della qualità dei materiali in edifici esistenti in c.a.

Poiché per motivi economici e di tempo non è pensabile estendere la campagna di prove su tutti gli elementi strutturali dell'edificio indagato, occorre prevedere le indagini su un numero di elementi tale da

rappresentare in maniera significativa le caratteristiche medie dei getti di calcestruzzo in termini di omogeneità, di qualità, di resistenza meccanica e di degrado della struttura nella sua interezza.

In tale fase è necessario mediare tra diverse esigenze:

- non arrecare troppi danni alle strutture (con l'esecuzione di carotaggi);
- contenere i costi;
- limitare i margini di incertezza dei dati di prova operando con metodi diversi accoppiabili tra loro e utilizzando le varie prove per tararne altre (i sondaggi di tipo distruttivo vengono utilizzati anche per tarare le indagini non distruttive).

Occorre precisare che:

- le strutture progettate per resistere anche a sollecitazioni di tipo orizzontale hanno in genere i telai portanti orditi almeno in entrambe le direzioni;
- le strutture progettate per sopportare soltanto i carichi verticali, quando appartenenti a zone non classificate sismiche al momento della redazione del progetto, spesso sono caratterizzate dalla presenza di telai portanti orditi in una sola direzione;
- anche in zone classificate sismiche da tempo è facile trovare edifici in c.a. progettati e realizzati con telai portanti orditi in una sola direzione e con orizzontamenti non sufficientemente rigidi.

In base a queste considerazioni si può assumere che, in ogni caso, i piani più bassi sono i più sollecitati ai carichi verticali e alle azioni sismiche ed è pertanto necessario in queste zone che il calcestruzzo risponda in modo più rigoroso a standard di resistenza meccanica elevati. Tra i pilastri dei piani bassi, i più sollecitati per azioni sismiche si trovano in genere in posizione di bordo o d'angolo, inoltre, i pilastri non confinati da tamponature sono i più soggetti alla formazione di cerniere plastiche alle estremità, con possibile formazione di un meccanismo di collasso di piano (piano soffice).

I fattori di valutazione da tenere quindi presente nella scelta degli elementi strutturali disponibili risultano sostanzialmente i seguenti:

- difficoltà tecnico-operative: è opportuno procedere nella scelta degli elementi da indagare in maniera tale da non arrecare troppi danni alle strutture (con l'esecuzione di un numero eccessivo di prelievi e di operazioni di ripristino), contenere i costi sia delle indagini (numero di prove) sia del ripristino (evitare di indagare elementi difficilmente accessibili), limitare i margini d'incertezza dei dati di prova operando con metodi diversi confrontabili tra loro (i sondaggi di tipo distruttivo sono, infatti, utilizzati anche per tarare le indagini non distruttive);
- privilegiare l'elemento pilastro rispetto all'elemento trave in considerazione del concetto di gerarchia delle resistenze nella formazione delle cerniere plastiche che conducono al meccanismo di collasso di una struttura intelaiata;
- livello di sollecitazione presente nell'elemento strutturale: occorre scegliere ove possibile alcuni tra gli elementi presenti nella struttura mediamente sollecitati, provvedendo a verificarne lo stato tensionale degli elementi da indagare con un'attenta analisi dei carichi verticali, qualora si prevedesse di eseguire prove di tipo diretto (prelievo di campioni di cls da sottoporre a prova di compressione, con conseguente ed inevitabile indebolimento delle sezioni resistenti);
- disposizione del sistema resistente: l'individuazione degli elementi strutturali campione è opportuna per maglie di telaio e per piani, ovvero è opportuno eseguire almeno una prova diretta per ogni piano ed almeno una prova indiretta per ogni maglia di telaio, al fine di verificare con uniformità ad ogni livello la qualità strutturale di tutti i telai esistenti;
- dimensioni planovolumetriche e presenza di nuclei rigidi: in un edificio di limitato sviluppo planivolumetrico e privo di nuclei rigidi in c.a. collocati in posizione eccentrica o di bordo o d'angolo,

caratterizzato da maglie strutturali distribuite uniformemente, la scelta degli elementi strutturali da indagare può effettuarsi senza particolari accorgimenti, in quanto è da ritenersi bassa la probabilità di effetti torsionali.

- individuazione delle armature: deve essere effettuata sulla base degli elaborati progettuali originari sia per i ferri longitudinali che per le staffe, avendo cura di verificarne la corrispondenza con lo stato di fatto per mezzo di indagine effettuata con il pacometro ed eventualmente saggi. La corretta ed accurata esecuzione di tali operazioni consentirà, infatti, di evitare modifiche in corso d'opera al programma d'indagine previsto, dovute al pericolo di incorrere nel taglio di porzioni di barre di armatura durante il prelievo di un campione.

Poiché negli edifici in c.a. esistenti si identificano come più probabili i meccanismi di collasso di piano (travi forti e colonne deboli), nella scelta degli elementi strutturali da indagare si tende a privilegiare l'elemento pilastro rispetto all'elemento trave; le travi saranno interessate dall'esecuzione di indagini di tipo indiretto. In particolare:

Elemento pilastro:

Occorre scegliere quale zona di prova, quella soggetta a modeste sollecitazioni tenendo presente che:

- alle estremità del pilastro, zone caratterizzate dagli stati tensionali più elevati, a causa della segregazione dei componenti del cls si possono ottenere valori di resistenza falsati;
- la diminuzione di sezione resistente derivante dal prelievo può comportare problemi in una zona particolarmente sollecitata e in presenza di un calcestruzzo di qualità scadente; non verranno quindi prese in considerazione zone limitrofe al piede o alla testa del pilastro. Pertanto si sceglierà una zona in una fascia intermedia rispetto all'altezza del pilastro, dove il momento è pressoché nullo, caratterizzata da calcestruzzo abbastanza omogeneo.

Elemento trave:

Anche per l'elemento trave è necessario escludere le zone maggiormente sollecitate; per la trave in genere non si hanno fenomeni di segregazione dei componenti del calcestruzzo, se non alla base della trave stessa. Si sceglieranno, per comodità operative, travi emergenti rispetto al solaio e si eseguirà l'eventuale carotaggio sul fianco della trave, avendo cura, ove possibile, di porsi a circa 1/5 della luce.

Inoltre, per evitare di incorrere nel taglio dei ferri di armatura, si sceglieranno quali zone da indagare quelle poste in prossimità dell'asse neutro, dove si hanno le tensioni inferiori, avendo però particolare cura di procedere ad un'attenta indagine pacometrica preventiva, poiché è in queste le zone si localizzano i ferri sagomati deputati ad assorbire le sollecitazioni di taglio.

Nel corso delle indagini, può rendersi necessaria una variazione del programma di prove a causa di fatti, non prevedibili prima dell'inizio delle prove, che possono impedire o interrompere l'esecuzione di una o più indagini (come la presenza di pluviali inclusi nei pilastri, armature non rilevabili dallo strumento, canalizzazioni di impianti negli elementi strutturali). Per questo è necessario individuare nel programma preliminare un numero di elementi strutturali da sottoporre a prova più ampio rispetto a quello effettivo, affinché i tecnici regionali che seguono direttamente le operazioni di prelievi in cantiere possano intervenire per individuare i nuovi elementi da indagare.

6. INDAGINI STRUTTURALI

Le indagini strutturali consistono in prove distruttive e non distruttive; tutte le tipologie di prove sono disciplinate da specifiche norme UNI, per l'edificio in questione sono state previste le seguenti tipologie di prove:

- indagini pacometriche;
- prelievo campione di calcestruzzo mediante carotaggio;
- prove per la determinazione della profondità di carbonatazione;
- prove di laboratorio su carote di calcestruzzo;
- prove indirette sul calcestruzzo (sclerometrie);
- prelievo campione acciaio;
- prove di laboratorio su campioni di acciaio;
- prove indirette su acciaio (Vickers).

Le quantità di ciascuna indagine da eseguire per il raggiungimento del Livello di Conoscenza LC2 sono state precedentemente stabilite nella prima fase progettuale (Perizia Tecnica Esecutiva) in cui sono stati anche individuati gli elementi strutturali da indagare in funzione della loro rappresentatività globale. Per maggiori approfondimenti si rimanda ai precedenti capitoli 4 e 5.

6.1. Variante al piano di indagine

Per assicurare la piena funzionalità dell'edificio durante lo svolgimento delle indagini pianificate nella Perizia Tecnica Esecutiva è stato necessario, in corso d'opera, apportare alcune varianti al piano di indagine scegliendo differenti elementi strutturali da indagare rispetto a quelli previsti. Talune indagini sono state dislocate su altri elementi che fanno parte dello stesso gruppo in termini di ripetitività e di rappresentatività strutturale. Pertanto non sono stati modificati i quantitativi di elementi da verificare già previsti nella Perizia Tecnica Esecutiva e confacenti al Livello di Conoscenza Adeguata con i disegni costruttivi originali noti.

Gli elaborati del piano di indagine aggiornato sono riportati nell'*Allegato 1.3*.

Nella seguente tabella sono riportate le varianti al piano di indagine originario.

<i>Corpo originario</i>			
Impalcato	Elemento previsto	Elemento indagato	Indagini eseguite
fondazione	trave P26-P32	trave P32-P41	sclerometria – estr. carota
1°	pilastro P02	pilastro P03	pocometria
1°	trave P05-P08	trave P15-P16	pac. – saggio – scler. – carota – vickers
1°	trave P28-P29	trave P26-P27	pac. – saggio – scler. – vickers
1°	trave P55-P58	trave P45-P51	pac – saggio – scler. – carota – vickers
2°	trave P28-P29	trave P27-P28	pac. – saggio – scler. – carota – vickers
2°	trave P21-P22	trave P20-P21	pac. – saggio – scler. – vickers
2°	trave P54-P55	trave P53-P54	saggio – scler. – carota – vickers
<i>Ampliamento</i>			
Impalcato	Elemento previsto	Elemento indagato	Indagini eseguite
1°	pilastro A01	pilastro A02	pocometria
1°	trave A16-A17	trave A04-A05	pac. – scler. – vickers

6.2. Calendario esecuzioni indagini

Le indagini sulle strutture in esame sono state svolte nei giorni indicati nella tabella seguente

<i>Data</i>	<i>Ubicazione e descrizione lavori</i>
27/06/2012	Indagini al 1° impalcato
28/06/2012	Indagini in fondazione e al 1° impalcato – Ripristini al 1° impalcato
29/06/2012	Indagini al 1° impalcato – Ripristini in fondazione e al 1° impalcato
02/07/2012	Indagini al 2° e 3° impalcato – Ripristini al 1° e 2° impalcato
04/07/2012	Indagini al 3° – Ripristini al 3° e 2° impalcato
05/07/2012	Indagini in fondazione – Ripristini in fondazione e al 3° impalcato

6.3. Operazioni preliminari

L'area soggetta ad indagine è indicata sulla faccia dell'elemento, in modo da consentire l'avvio delle operazioni preliminari di rimozione del rivestimento (intonaco, etc.). Prima di ogni prova distruttiva (prelievo di carota di calcestruzzo o di barra d'armatura) è necessario effettuare una verifica pacometrica dell'area interessata. Effettuato il prelievo del campione è opportuno provvedere tempestivamente al ripristino della sezione mediante l'apporto di materiali adeguati. E' di notevole importanza richiudere immediatamente il foro provocato dalle operazioni di carotaggio effettuate per evitare di sottoporre ad ulteriore stress gli elementi strutturali indagati.

Le fasi di intervento sono le seguenti:

- Predisposizione delle attrezzature necessarie e rimozione del rivestimento (piastrelle, intonaco, o altro materiale posto a ricoprimento dell'elemento strutturale), mediante scalpello e martello, fino allo strato superficiale di calcestruzzo, avendo cura di lasciare il più indisturbato possibile lo strato superficiale di lattime cementizio. L'operazione di cui al punto 1. deve essere estesa per l'intera larghezza del pilastro e per un'altezza totale in mezzeria di 60 cm (almeno 80 cm nei pilastri da sottoporre a carotaggio).
- Rilevazione della disposizione dei ferri d'armatura dell'elemento strutturale indagato mediante pacometro e loro segnatura sull'elemento stesso tramite gessetti o altro. Tale operazione deve essere eseguita, ove previsto, su entrambe le facce evidenziando sia le barre longitudinali che le staffe. La necessità di eseguire tale fase operativa con grande attenzione è legata all'esigenza di non intercettare di barre d'armatura durante l'operazione di carotaggio.
- Individuazione di 2 aree d'indagine: la prima all'interno del quadrante compreso tra due staffe consecutive e posto ad un'altezza da terra pari a metà altezza del pilastro; la seconda deve risultare all'interno del quadrante immediatamente superiore od inferiore al primo ed in asse con la precedente, evitando sempre dove possibile il prelievo di carote eccentriche. Nel caso in cui le dimensioni dell'elemento strutturale e la disposizione delle barre d'armatura lo richiedessero, la seconda area d'indagine può essere individuata nello stesso passo di staffe della prima.

6.4. Operazioni di ripristino

Il ripristino dell'area interessata dall'indagine avviene in due fasi; la prima prevede il ripristino strutturale, la seconda prevede il ripristino delle finiture dell'elemento indagato. Il ripristino strutturale deve essere effettuato mediante l'impiego di materiali idonei che garantiscano la completa solidarizzazione tra elemento e il materiale d'apporto. Per quanto riguarda l'armatura prelevata, questa è ripristinata mediante saldatura con apporto di acciaio FeB44k (B450C) ad aderenza migliorata, qualora l'acciaio originario

presenti caratteristiche di saldabilità ovvero mediante sovrapposizione in caso contrario. Per il ripristino della sezione è utilizzata una malta a ritiro compensato con tutte le necessarie lavorazioni preliminari di pulizia e preparazione del calcestruzzo per un'aderenza ottimale con la malta antiritiro. La fase successiva prevede il rifacimento dell'intonaco e la pitturazione della superfici danneggiate.

6.5. Indagini pacometriche (BS 1881:204)

Scopo delle prove pacometriche è l'identificazione delle armature metalliche annegate all'interno delle strutture. Per la determinazione della dimensione e posizione delle armature metalliche o di altri elementi metallici impiegati nella costruzione si fa ricorso ad un rivelatore magnetico di metalli ferrosi. Una corrente alternata con frequenza prefissata e costante scorre attraverso la bobina della sonda creando un campo magnetico. La forma della sonda fa sì che il campo magnetico allungato secondo l'asse della sonda sia distribuito sul piano; l'eventuale presenza di oggetti metallici che si trovano nell'area di influenza di questo campo alterano il voltaggio della bobina.

L'operatore osserva la massima deviazione del misuratore il quale indica l'ubicazione della mezzeria della barra d'armatura intercettata, mentre la copertura di calcestruzzo si legge direttamente in mm se risulta noto il diametro della barra. Se questa dimensione non è conosciuta, è possibile effettuare una stima precisa sia della profondità sia del diametro della barra, effettuando una serie di letture a distanza via via crescente, interponendo tra la sonda e l'elemento indagato delle tavolette di spessore noto e valutando la conseguente variazione delle letture (Figura 22).



Figura 22 – Esecuzione prova pacometrica

6.6. Prelievo campione calcestruzzo (UNI EN 12504-1/2002)

Il carotaggio del calcestruzzo permette una valutazione della resistenza meccanica attraverso la prova di compressione in laboratorio dei provini cilindrici prelevati in sito. La carota appena estratta andrà immediatamente contrassegnata con pennarello e fotografata a fianco del foro di estrazione.

Il trasporto dovrà avvenire con la massima cautela, onde evitare la formazione di fessurazioni per inflessioni o vibrazioni, proteggendo la carota con appositi prodotti (palline di polistirolo ...) ed inserendola in cassette di trasporto rigide.

Le carote saranno tagliate e rettificare presso un Laboratorio Prove Materiali ufficiale.



Figura 23 – Prelievo campione calcestruzzo mediante carotiere

6.7. Prove per la determinazione della profondità di carbonatazione (UNI 9944/1992)

La prova ha lo scopo di misurare la profondità di carbonatazione dello strato superficiale del calcestruzzo. Il calcestruzzo possiede un valore di pH di circa 12,5, cosa che gli conferisce un carattere fortemente alcalino. Questa forte alcalinità costituisce una protezione naturale dell'armatura contro la corrosione (passivazione).

Il fenomeno chimico è conseguente all'anidride carbonica dell'aria che, penetrando nei pori del calcestruzzo, neutralizza la calce libera presente. Il pH dello strato superficiale del calcestruzzo si abbassa fino a scendere a valori inferiori a 9 provocando il fenomeno della carbonatazione.

In questo stato il calcestruzzo è fortemente permeabile e riduce la capacità protettiva; fornisce inoltre, allo strato superficiale, una durezza superiore che tende ad ingannare i metodi di determinazione della resistenza a compressione misurati con sclerometro e pull-out.

L'indagine consiste nello spalmare il liquido sulla superficie della carota dopo aver pulito accuratamente con uno straccio. La soluzione di fenolfaleina, all'1% di alcool etilico, reagisce col calcestruzzo provocando un cambiamento di colore, da bianco trasparente a rosso violetto nella parte non carbonatata (Figura 24).

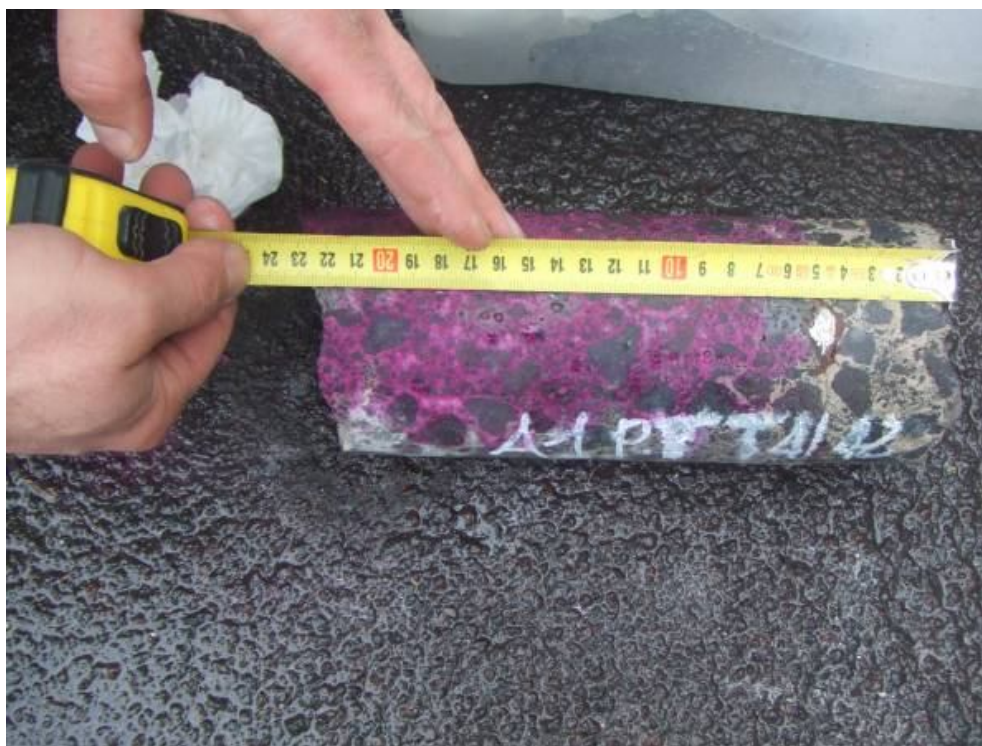


Figura 24 – Misura dello strato di calcestruzzo soggetto a carbonatazione

L'analisi va condotta subito dopo il prelievo della carota per evitare che si formi un film superficiale carbonatato lungo tutta la superficie che impedirebbe la reazione con la fenolftaleina.

Per valutare lo spessore dello strato di calcestruzzo degradato dagli agenti atmosferici si può procedere alla misura della profondità di carbonatazione in situ, attraverso l'esecuzione di microcarotaggi su elementi strutturali con differenti ubicazioni planimetriche.

La profondità di carbonatazione può anche essere misurata nebulizzando il reagente in fori di diametro 30mm realizzati negli elementi indagati, previa pulizia degli stessi.

Le carote prelevate per essere sottoposte a prova di schiacciamento possono, prima di essere compresse, essere sottoposte alla verifica con fenolftaleina.

6.8. Prove meccaniche sui campioni di calcestruzzo (UNI EN 12390-3/2003)

Sui campioni di calcestruzzo prelevati andranno eseguite prove di compressione monoassiale. Nella valutazione della resistenza del conglomerato sarà necessario considerare il disturbo apportato durante la fase di prelievo dei campioni secondo tecniche consolidate riportate in bibliografie e nelle norme internazionali (Figura 25).



Figura 25 – Fasi di prova di compressione sui campioni di calcestruzzo

6.9. Prova di Pull-out (UNI 10157/1992)

La metodologia d'indagine consente di determinare la resistenza media del calcestruzzo, R_{mc} , mediante l'estrazione di un tassello in un foro appositamente svasato internamente; attraverso la battitura della testa del tassello si produce l'allargamento della parte radiale interna consentendo una perfetta adesione alle pareti. Viene quindi applicato un martinetto oleodinamico che poggia su una superficie circolare; attraverso il tiro del tassello si determina la rottura di un cono di calcestruzzo.

Il valore della forza massima necessaria consente, attraverso delle curve sperimentali di correlazione, di pervenire al valore della R_{mc} . La rottura della parte sottoposta a tensione avviene per compressione-taglio tra la parte allargata del tassello e la base del martinetto. Vanno eseguite almeno 3 estrazioni per ogni elemento strutturale in studio utilizzando la media dei risultati ottenuti (Figura 26).



Figura 26 – Prova di pull-out

6.10. Misura sclerometrica (UNI EN 12504-2:200)

Lo sclerometro consiste in una massa battente di acciaio, azionata da una molla, che contrasta un'asta di percussione a contatto sulla superficie di prova del calcestruzzo. Il valore di rimbalzo della massa battente è misurata mediante un indice di lettura trascinato su una scala lineare alloggiata nella cassa dello sclerometro. Per l'esecuzione della prova vanno rispettate delle regole di buona esecuzione:

- indagare su elementi di spessore >150 mm;
- evitare zone che presentano nidi di ghiaia, scalfitture, porosità elevata;
- individuare preventivamente la tessitura di armatura mediante pacometro;
- l'asse dello strumento dovrà essere perfettamente ortogonale alla superficie da indagare
- evitare battute in prossimità o in corrispondenza dell'armatura;
- non ripetere più battute nello stesso punto dell'elemento strutturale;

Devono essere eseguite 12 battute scartando i due valori maggiori e mediando i 10 rimanenti. L'indice di rimbalzo va trasformato in Resistenza cubica attraverso le curve di correlazione legate alla direzione d'uso dello sclerometro (Figura 27). Lo sclerometro è uno strumento indicato per una valutazione su calcestruzzi giovani, in quanto il fenomeno della carbonatazione del calcestruzzo provoca l'indurimento dello strato superficiale provocando una alterazione del fenomeno di rimbalzo.

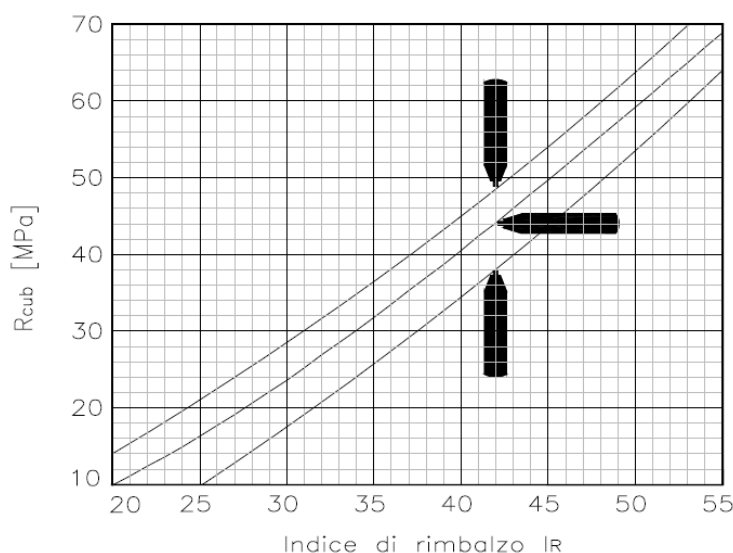


Figura 27 – Relazione tra Indice di battuta e resistenza cubica del calcestruzzo

6.11. Prove di trazione sui campioni di acciaio (UNI EN 10002-1:2004)

Dalle strutture dell'edificio verranno prelevati campioni di armatura, successivamente sottoposti a prova di trazione presso Laboratori Ufficiali di Prove Materiali per desumere i seguenti parametri:

- carico di snervamento
- carico di rottura
- allungamento percentuale a rottura

Il prelievo dei campioni di armatura (Figura 28) deve accertare anche il tipo di acciaio (liscio o ad aderenza migliorata) e la saldabilità del materiale. Per ogni prelievo è necessario il ripristino dell'armatura per saldatura (ove possibile) o per sovrapposizione di nuove barre di caratteristiche simili o superiori.



Figura 28 – Prelievo campione acciaio

6.12. Prova Vickers (DIN 50150 – ASTM E 140)

La prova con microdurometro Vickers permette di ottenere una valutazione della resistenza meccanica dell'acciaio in sito. Per la sua semplicità consente di estendere la prova ad una grande quantità di elementi permettendo una efficace valutazione statistica.

La misura della durezza si ottiene premendo la punta di diamante dello strumento sulla superficie dell'acciaio e producendo un'impronta; in questo modo si carica progressivamente una molla elicoidale contenuta nel corpo della sonda. Quando il carico ha raggiunto un valore corrispondente a quello di taratura lo strumento rileva automaticamente la misura dell'impronta e la memorizza. Un segnale acustico avverte che il processo di misura è completato. Per ogni area di indagine si eseguono 8 misure che sono mediate scartando il valore più alto e quello più basso.

Il valore medio di durezza Vickers (HV) ottenuto per singolo elemento è convertito nella scala Brinell secondo le norme DIN. Dai valori ricavati dalle indagini sperimentali sul materiale si può ricavare la resistenza a rottura per trazione caratteristica:

$$R_{tk} = R_{tm} - 1,64 SQ$$

dove:

- R_m è il valore medio di tutti i risultati
- SQ è lo scarto quadratico.



Figura 29 – Esecuzione prova Vickers

6.13. Altre prove sui materiale e riferimenti normativi specialistici

Per quanto non espressamente richiamato nel piano di indagine per le ulteriori prove che si ritenessero necessarie ai fini di una migliore conoscenza dell'organismo strutturale si fa riferimento alle norme UNI-EN riportate nella Tabella 20 e Tabella 21.

Tabella 20 – Prove sul calcestruzzo

Indagini non distruttive	
Ultrasonica	UNI EN 12504-4:2005
Termografia all'infrarosso	UNI 10824-1/2000
Georadar	
Semidistruttive	
Pistola di Windsor	BS 1881:207
Pullout	UNI EN 10157/1992
Distruttive	
Carotaggi	UNI EN 12504-1/2002
Prove di laboratorio	
Requisiti provini	UNI EN 12390-1/2002
Resistenza a flessione	UNI EN 12390-5/2002
Resistenza a trazione indiretta	UNI EN 12390-6/2002
Massa volumica	UNI EN 12390-7/2002
Determinazione frequenza risonante	UNI 9771/1990
Profondità penetrazione acqua sotto pressione	UNI EN 12390-8/2002
Profondità penetrazione acqua alla press. atm.	UNI 7699:2005
Determ. modulo elastico secante a compress.	UNI 6556/1976
Resistenza al degrado per cicli di gelo e disgelo	UNI 7087/2002

Tabella 21 – Prove sull'acciaio

Non distruttive	
Mappatura del potenziale	UNI 10174/1993

Prove di laboratorio	
Prova di piega	UNI EN ISO 7438:2005
Prova di aderenza su barre di acciaio	CNR UNI 10020/1971
Prova di resilienza su provetta Charpy	UNI EN 10045-1/1992

7. IDENTIFICAZIONE GEOTECNICA

7.1. Dati disponibili

7.1.1. Progetto originario

Dagli elaborati del progetto originario si ricavano le risultanze di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo e di 13 sondaggi penetrometrici.

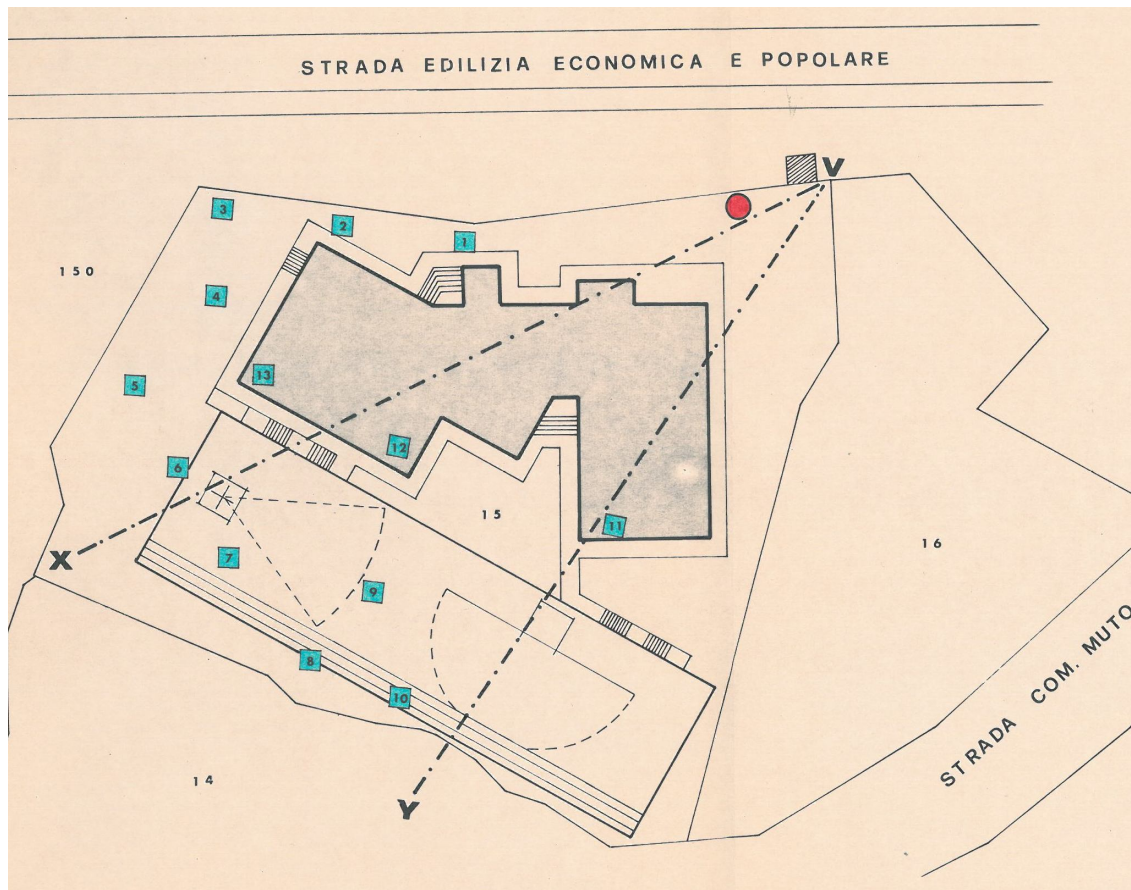


Figura 30 – Ubicazione delle indagini geognostiche

Attraverso il carotaggio continuo è stata ricostruita la colonna stratigrafica riportata in Figura 31, che individua la seguente stratigrafia:

- terreno vegetale da p.c. a -0.90 m
- argilla debolmente scagliettata bruna da -0.90 m a -2.60 m
- argilla fittamente scagliettata azzurra da -2.60 m in poi.

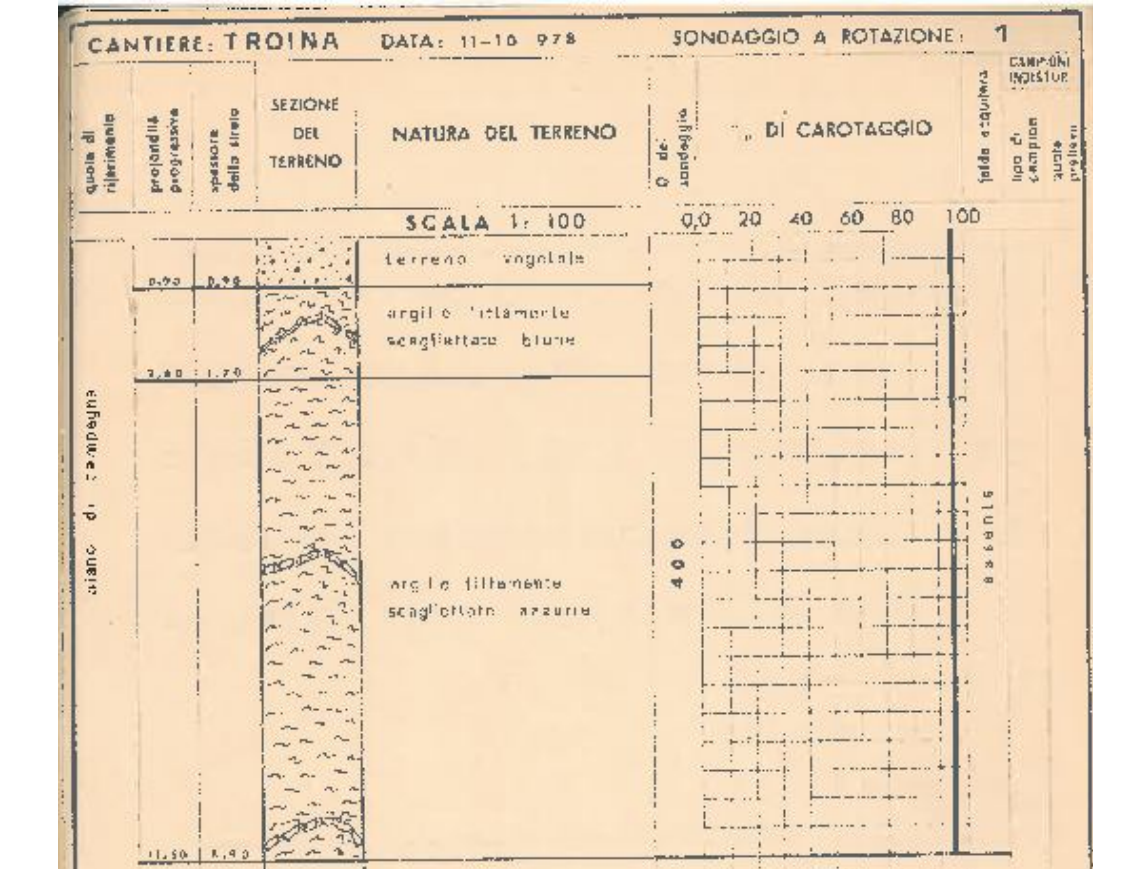


Figura 31 – Colonna stratigrafica

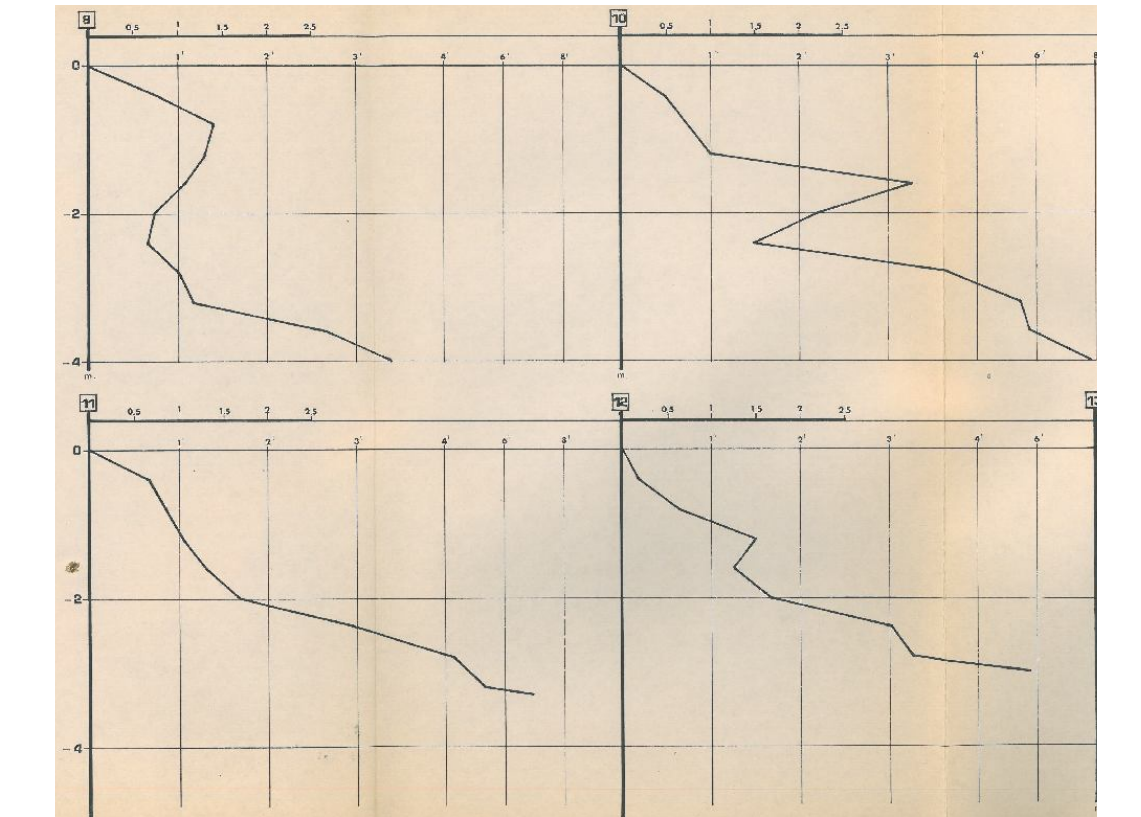


Figura 32 – Prove penetrometriche

Interpolando i risultati del sondaggio con le prove penetrometriche (Figura 32) è stato ricostruito il profilo stratigrafico del terreno lungo gli allineamenti V-X e V-Y riportato in Figura 33.

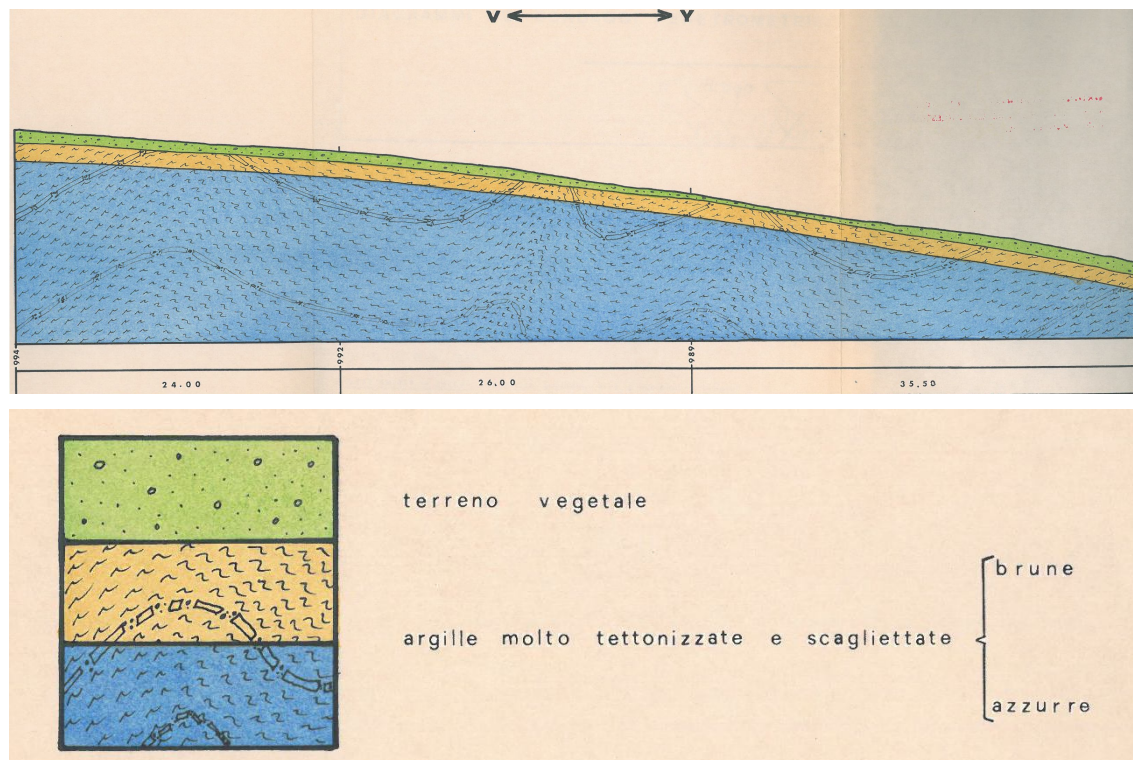


Figura 33 – Profilo stratigrafico

Nel progetto strutturale il Geologo incaricato non fornisce indicazioni esplicite sui parametri geomeccanici da impiegare per la caratterizzazione degli strati di terreno individuati, bensì solo la resistenza limite ed ammissibile da impiegare per le verifiche di portanza. La tensione ammissibile sul terreno è assunta pari a 1.35 kg/cm² (0.135 MPa).

Dalle relazione di calcolo delle opere di sostegno il progettista assume i seguenti parametri per le verifiche geotecniche dei muri a fondazione diretta:

- Coesione in condizioni non drenate: $c' = 0.00 \text{ kg/cm}^2$
- Angolo di attrito interno: $\phi = 30^\circ$
- Peso dell'unità di volume: $\gamma = 1800 \text{ kg/m}^3$

Questi dati si riferiscono sia ai terreni di spinta a tergo del paramento sia per la fondazione e sono poco significativi ai fini delle verifiche geotecniche del te.

Per le verifiche geotecniche dei muri su pali sono assunti seguenti parametri cautelativi

- Coesione in condizioni non drenate: $c' = 0.00 \text{ kg/cm}^2$
- Angolo di attrito interno: $\phi_m = 22^\circ$
- Peso dell'unità di volume: $\gamma = 1600 \text{ kg/m}^3$

7.1.2. Progetto dell'ampliamento

Dagli elaborati del progetto dell'ampliamento non si desumono ulteriori informazioni di natura geologica.

7.1.3. Progetto dell'aula magna

Dagli elaborati del progetto dell'aula magna si desume l'omogeneità del sub strato di terreno interessato dalle opere di fondazione; dalla relazione geotecnica a firma del progettista si ricava la seguente successione stratigrafica:

- Una formazione superficiale di materiale di riporto che si può assumere ininfluente ai fini geotecnici in quanto da asportare, presente fino a -80 cm;
- Una formazione intermedia da -80 a -240 cm costituita da argille scagliose alterate con inglobate clasti quarzarenitici che di fatto non può assumersi attesa la eterogeneità e consistenza geomeccanica come idonea all'accoglimento della formazione fondazionale dei manufatti;
- A partire da -240 e in relazione ai manufatti in progetto, da considerare praticamente come spessore indefinito, è presente la formazione che nelle nostre assunzioni sarà intesa come la formazione di base, costituita da argille scagliose grigie di elevata consistenza. (...)

La caratterizzazione meccanica dei terreni è stata eseguita sulla scorta di un sondaggio meccanico e di una prova SPT a quota 4.20m dal piano campagna. E' stato prelevato un campione indisturbato di argille in classe Q4 secondo le norme A.G.I. 1977 che in laboratorio ha restituito le seguenti caratteristiche fisiche:

Parametro	Valore
Campione	C1
Classe	Q4
Profondità dal p.c.	4.20 m
Peso di volume umido	2.220 g/cmc
Peso di volume secco	1.988 g/cmc
Peso specifico dei granuli	2.220 g/cmc
Peso di volume saturo	2.271 g/cmc
Contenuto in acqua	11.68 %
Indice dei vuoti	0.395
Porosità	28.34 %
Saturazione	81.92 %

Dalla prova di taglio diretto eseguita sul campione indisturbato (prova triassiale U. U.) sono stati desunti i seguenti parametri per le condizioni non drenate:

- Coesione in condizioni non drenate: $c_u = 0.80 \text{ kg/cm}^2$
- Angolo di attrito interno: $\phi_b = 0^\circ$
- Peso dell'unità di volume: $\gamma = 2200 \text{ kg/m}^3$

Per quanto concerne le condizioni drenate è indicato un angolo di attrito interno:

- angolo d'attrito interno $\phi' = 23.00^\circ$

Per la realizzazione dell'aula magna sono state inoltre eseguite tre traverse sismiche a rifrazione che hanno consentito la determinazione delle sismo-sezione con riferimenti litostratigrafici e la velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione (P).

La velocità di queste ultime è in stretta correlazione con la velocità delle onde di taglio (S), dato necessario per la caratterizzazione sismica locale. Dai tre sondaggi sismici a rifrazione sono stati desunti i seguenti valori:

Dato	Strato	Sondaggio SS1	Sondaggio SS2	Sondaggio SS3
Tipo di terreno	1°	aerati tipo Soil-like	aerati tipo Soil-like	aerati tipo Soil-like
	2°	tipo Rock-like	tipo Rock-like	tipo Rock-like
Velocità onde (P)	1°	793 m s ⁻¹	560 m s ⁻¹	473 m s ⁻¹
	2°	1912 m s ⁻¹	1898 m s ⁻¹	1983 m s ⁻¹
Spessori riscontrati	1°	1.99÷2.44 m	strato: 1.59÷2.33 m	strato: 2.06÷3.09 m
	2°	indefinito	indefinito	indefinito
Litologia assimilata	1°	riporto + argille scagliose alterate	riporto + argille scagliose alterate	riporto + argille scagliose alterate
	2°	argille scagliose a consistenza elevata	argille scagliose a consistenza elevata	argille scagliose a consistenza elevata

Il quadro delle indagini geognostiche effettuate nell'ambito del progetto dell'aula magna è completato da un'indagine di tipo SPT eseguita nel foro del sondaggio a carotaggio continuo a 4.20 m dal piano campagna. Il numero di colpi della prova è

$$N_{SPT} = 25$$

Da questo valore, attraverso la formula di Road Bridge Specification (Shioi & Fucuni, 1982), è ricavato il valore dell'angolo di attrito interno in condizioni drenate (32.30°), che corretto attraverso un fattore di sicurezza 1.4 fornisce il valore di riferimento per le calcolazioni geotecniche:

- angolo d'attrito interno $\phi' = 23.0^\circ$

7.2. Caratteristiche meccaniche

Sulla scorta di quanto contenuto nella relazione geologica redatta determinazione delle caratteristiche meccaniche dei terreni, la stratigrafia geologica del sito consiste in un primo strato di terreno agrario e da uno strato inferiore aventi le seguenti caratteristiche meccaniche:

Sulla scorta di quanto contenuto nella relazione geologica e delle indagini in sito condotte per la determinazione delle caratteristiche meccaniche dei terreni, la stratigrafia geologica del sito consiste in:

- **STRATO 1. Terreno di riempimento da p.c. a -0.90 m (ininfluente)**
- **STRATO 2. Argilla bruna da -0.90 a -2.60 m (ininfluente)**
- **STRATO 3. Argilla grigia da -2.60 a -30.0 m**

CONDIZIONI NON DRENATE (Dal calcolo delle strutture del progetto originario e dell'aula magna)

- peso specifico $\gamma = 22.00 \text{ kN m}^{-3}$
- angolo d'attrito interno $\phi_u = 0.00^\circ$
- coesione $c_u = 8.00 \text{ kPa}$

CONDIZIONI DRENATE (Dal calcolo dell'aula magna)

- peso specifico $\gamma = 22.00 \text{ kN m}^{-3}$
- angolo d'attrito interno $\phi' = 23.00^\circ$
- coesione $c' = 0.00 \text{ kPa}$

7.3. Risposta sismica locale

7.3.1. Riferimenti normativi

Il D. M. 14.01.2008 "Nuove norme e tecniche per le costruzioni" ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, richiede la valutazione degli effetti locali sulla risposta sismica mediante specifiche analisi, oppure mediante un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III dello stesso D.M.). In relazione alla classificazione sismica del sottosuolo, sulla scorta delle indagini svolte in sito, non è possibile definire in modo univoco la velocità delle onde di taglio misurate nello spessore significativo di terreno pari a 30.0 m. Per la valutazione dell'accelerazione sismica spettrale è necessario, secondo quanto stabilito dal D.M. 14 gennaio 2008 con la Tabella 22 di seguito riportata, definire la categoria di appartenenza del suolo di fondazione.

Tabella 22 (Tabella 3.2.II) – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 0 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

7.3.2. Velocità delle onde (P) e (S)

Le onde di pressione (P) o di compressione, conosciute anche come primarie o onde P, viaggiano più velocemente, ad una velocità compresa tra 1,5 e 8 Km/s nella crosta terrestre.

Le onde di taglio conosciute anche come secondarie o onde S viaggiano più lentamente circa il 60 % della velocità delle onde P.

Il valore del rapporto V_p/V_s , in solidi "poissoniani" e' pari a:

$$V_p/V_s = \sqrt{3} = 1.732$$

La velocità delle onde varia di un fattore 10 o più all'interno della Terra, il rapporto tra le velocità medie delle onde P e delle onde S risulta circa costante, in special modo nel settore crostale.

Dai valori dei sondaggi sismici effettuati si possono ricavare i seguenti valori cautelativi:

Dato	Strato	Descrizione / valore
Tipo di terreno	1°	aerati tipo Soil-like
	2°	tipo Rock-like
Velocità onde (P)	1°	473 m s ⁻¹
	2°	1898 m s ⁻¹
Spessori riscontrati	1°	3.09 m
	2°	indefinito
Litologia assimilata	1°	riporto + argille scagliose alterate
	2°	argille scagliose a consistenza elevata

Tenuto conto delle differenze tra la quota del piano di indagine dell'aula magna e quello fondazionale dell'edificio scolastico, quest'ultimo posto al di sopra di circa 2.0 m, si possono ricavare i valori delle onde di taglio dai valori di velocità delle onde di volume, e, mediando su 30 m di volume significativo previsto dalla normativa, si può determinare il parametro $V_{S,30}$ necessario per la caratterizzazione del suolo di fondazione:

N°	Tipo terreno	Spessore [m]	V_p [m s ⁻¹]	V_s [m s ⁻¹]	$V_{s,30}$ [m s ⁻¹]
Strato	1° aerati tipo Soil-like riporto + argille scagliose alterate	3.09+2.00 ~ 5.00	473	273	729
	2° tipo Rock-like argille scagliose a consistenza elevata	indefinito			

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1..N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} = \frac{30}{\frac{5.0}{273} + \frac{25.0}{1095}} = 729 \text{ m s}^{-1}$$

In Tabella 23 sono riepilogati i parametri e i rispettivi valori per la definizione della categoria di suolo:

Tabella 23 – Riepilogo parametri per la definizione della categoria di suolo

Tipo di prova	Parametro	Valore	Limiti	Categoria
Traversa sismica	$V_{s,30}$ [m s ⁻¹]	729	$360 < V_{s,30} < 800$	B

Il suolo è classificabile, cautelativamente, come **suolo di tipo B** ovvero *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

7.3.3. Amplificazione topografica

La conformazione geomorfologica del sito è classificabile, ai sensi del D.M. 14.01.2008 come in cresta; pertanto il coefficiente di topografia per la determinazione delle spettro di risposta elastico è stato assunto cautelativamente pari a:

$$S_T = 1.40$$

7.3.4. Indagine sismica a rifrazione ReMi

Per poter valutare gli eventuali effetti di amplificazione locale dovuti all'attraversamento delle onde sismiche degli strati superficiali di terreno, e ad ulteriore conferma delle valutazioni geotecniche eseguite sulla base della documentazione disponibile, è stata eseguita una indagine "Refraction Microtremor" (di seguito ReMi) che si basa sulla modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh. Essa è stata condotta in prossimità dell'edificio oggetto della verifica e la relazione geologica-technica redatta dalla *Diagnosis* s.r.l. è riportata integralmente nell' *Allegato 1.1*.

La più comune prova MASW, ha una procedura operativa molto simile alla ReMi e consente una dettagliatissima ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo, ma offre limitazioni per quanto riguarda la profondità di investigazione che difficilmente riesce ad oltrepassare i venti metri vincolo che la prova ReMi non manifesta. Inoltre la prova ReMi si può ben eseguire in ambienti "ostili" quali quelli urbani. Ciò è possibile grazie al fatto che il rumore rappresenta la fonte di segnale utile per ottenere le informazioni richieste.

La prova eseguita mediante sismica di superficie con l'impiego di 16 geofoni interposti ad una distanza di 2,0 metri sul piano orizzontale, consente la determinazione del parametro di riferimento V_{S30} ovvero la velocità media delle onde di taglio in uno spessore di terreno profondo 30 metri dal piano di campagna.

Il V_{S30} così calcolato, individua il "tipo di sotto-suolo" secondo le prescrizioni di cui alla *tabelle 3.2.II e 3.2.III* del D.M. 14/01/2008 (Tabella 22).

Per ottenere un profilo V_s bisogna registrare un treno d'onde superficiali derivate dal rumore di fondo.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. Una volta scomposto il sismogramma, si determina la velocità di fase e la frequenza e di ogni segnale e si costruisce la cosiddetta curva di dispersione. Dall'inversione di quest'ultima si ottiene il profilo delle V_s . Le onde di superficie sono generate dal rumore ambientale. Si riportano di seguito le differenti tipologie di onde.

- A: onde in aria
- B: onde dirette
- C: onde di superficie
- D: onde riflesse
- E: onde rifratte
- F: onde riverberate
- G: rumore ambientale

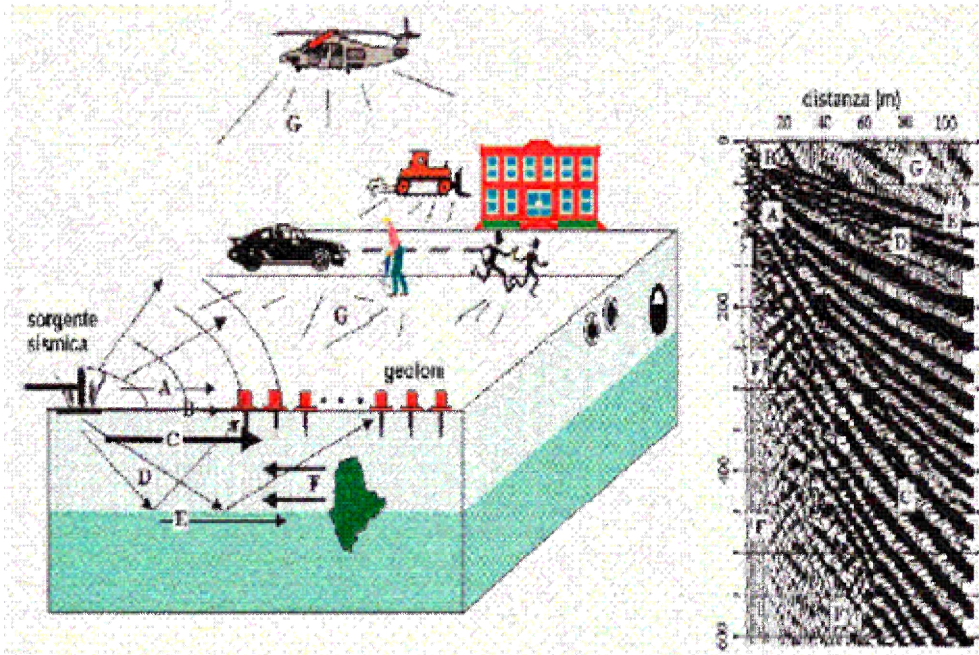


Figura 34 – Tipologie di onde

La strumentazione utilizzata per questa prova Figura 35 è costituita da:

- Sismografo;
- Geofoni.

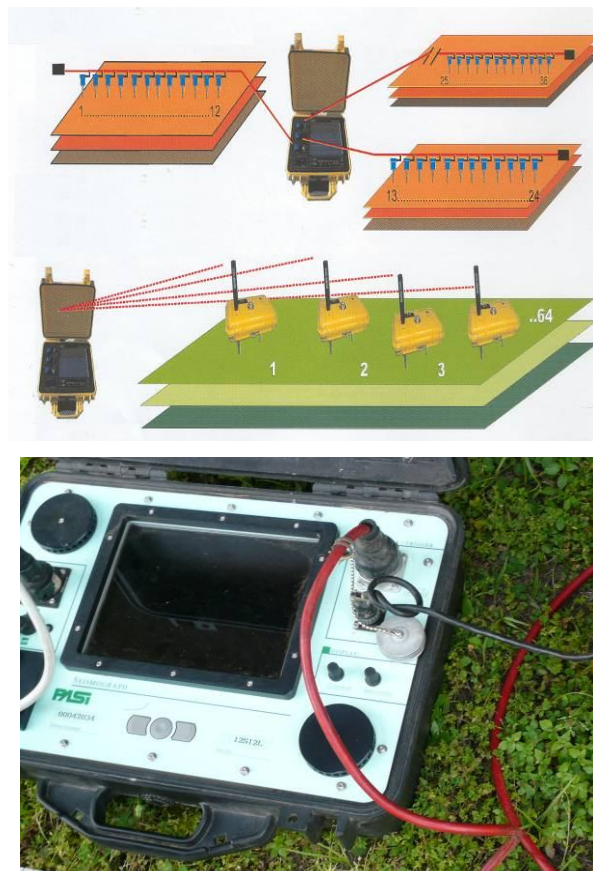


Figura 35 – Strumentazione prova ReMi

Per l'edificio in questione è stata predisposta una stesa con 16 geofoni lungo uno dei lati dell'edificio così come rappresentato.

L'interpretazione dei risultati e la stesura dei documenti d'indagine è stata effettuata da un geologo abilitato. La relazione conclusiva (*Allegato 1.1.*) comprende informazioni generali riguardanti il cantiere, le metodologie operative, gli strumenti utilizzati, ecc.

8. IDENTIFICAZIONE DELLA GEOMETRIA E DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI

8.1. La geometria

Per quanto concerne la geometria essa è nota in quanto, sulla scorta dei rilievi effettuati a campione, si è verificata la rispondenza del costruito ai disegni originali recuperati nella fase di Perizia Tecnica Esecutiva. Il sistema laterale resistente è rappresentato dall'insieme di travi e pilastri in cemento armato che costituiscono complessivamente "l'ossatura" dell'edificio sia del corpo originario che dell'ampliamento.

I dati acquisiti o rilevati a campione in sede di indagine hanno permesso il confronto con gli elaborati esecutivi di progetto del:

- sistema resistente in entrambe le direzioni (dimensioni campate e altezze telai);
- sistema di fondazione;
- tessitura, spessore e orditura dei solai;
- orientamento e dimensioni geometriche degli elementi strutturali principali (travi e pilastri).

Dalle verifiche effettuate è emersa la corrispondenza delle geometrie di progetto con le geometrie realizzate. Pertanto il riferimento essenziale per l'elaborazione geometrica dei modelli strutturali sono le carpenterie del progetto originario disponibili fra la documentazione acquisita. Si rimanda all'*Allegato 1.2.* per la consultazione delle piante di carpenterie rielaborate in occasione del presente lavoro nelle quali sono individuate le geometrie degli elementi strutturali principali (pilastri e travi) e le orditure dei solai, ottenute dai rilievi e dai documenti originari di progetto.

8.2. I dettagli costruttivi

Per l'identificazione dei dettagli costruttivi, i dati raccolti includono le seguenti informazioni che sono state confrontate con le indicazioni contenute negli elaborati del progetto strutturale originario:

- quantità d'armatura longitudinale in travi, pilastri;
- quantità e dettagli d'armatura trasversale nelle zone critiche e nei nodi trave-pilastro;
- quantità d'armatura longitudinale nei solai;
- lunghezze d'appoggio e condizioni di vincolo degli elementi orizzontali;
- spessore del copriferro;
- lunghezza delle zone di sovrapposizione delle barre.

Attraverso dei saggi a campione sono definite le quantità d'armatura longitudinale e trasversale presenti negli elementi strutturali principali. Per il raggiungimento del livello di conoscenza adeguato dei dettagli costruttivi è effettuata una "limitata" verifica in sito essendo già noti dai disegni costruttivi originali.

Tali verifiche hanno l'obiettivo di accertare la corrispondenza tra i disegni disponibili e quanto realizzato, oltre.

In particolare sono eseguite diffuse indagini pacometriche in corrispondenza delle regioni critiche degli elementi strutturali principali e secondari, degli ancoraggi e delle sovrapposizioni; in taluni casi, dei saggi strutturali con asportazioni del copriferro, hanno consentito il rilievo diretto del diametro e del numero di armature presenti convalidando sia quanto emerso dalle indagini pacometriche e sia le indicazioni del progetto originario.

Per la definizione delle armature si è ricorso agli elaborati esecutivi originari che hanno trovato pieno riscontro nelle indagini effettuate in entrambi i corpi strutturali.

L'assenza di staffe all'interno dei nodi trave-pilastro è stata confermata sia dai saggi strutturali e sia da alcune indagini pacometriche. Si riporta la documentazione fotografica del saggio S7 eseguito sul corpo

originario, nell'intersezione della trave P26–P27 al 1° impalcato e del pilastro P26 (Figura 36) in cui per l'intera altezza del saggio di 35cm circa non sono state rinvenute staffe all'interno del nodo. In maniera analogo, l'indagine pacometrica P18 eseguita nell'ampliamento, in corrispondenza del pianerottolo di interpiano della scala sul filo A16, denuncia la mancata prosecuzione delle staffe del pilastro all'interno del nodo (Figura 37).

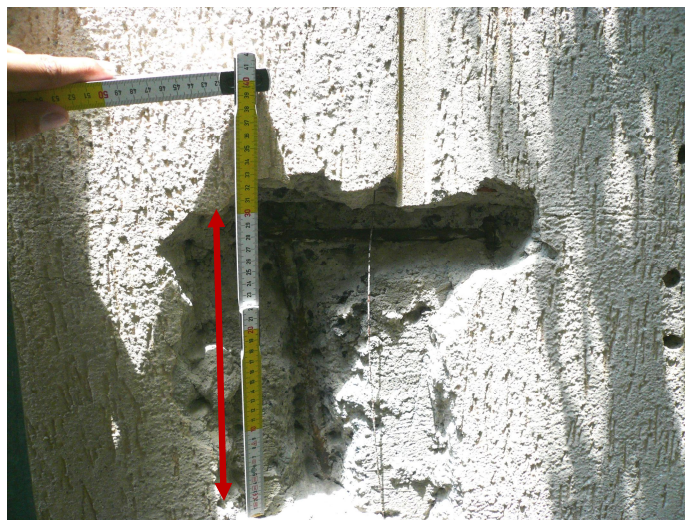


Figura 36 – Saggio strutturale S7, assenza di staffe nel nodo



Figura 37 – Pacometria P18, assenza di staffe nel nodo

8.2.1. Indagini pacometriche

Le pacometrie eseguite sul corpo strutturale originario e sull'ampliamento hanno confermato i quantitativi di armature previsti nel progetto originario. Sono rispettati i passi delle armature longitudinali e delle staffe. Di seguito si riportano alcuni confronti fra i report delle pacometrie riportate nell'Allegato 1.1. (Report delle indagini) e gli esecutivi originari disponibili.

Pilastro P03	1° impalcato (corpo originario)	P2
---------------------	--	-----------

Report dell'indagine

<table border="1"> <tr> <td>Prova P2 Pilastro P03</td> <td>Pianta: 1° Impalcato</td> <td>Ubicazione: vedi pianta</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Geometria elemento:</td> </tr> <tr> <td>L [cm]: 30</td> <td>L1 [cm]: 150</td> <td></td> </tr> </table>	Prova P2 Pilastro P03	Pianta: 1° Impalcato	Ubicazione: vedi pianta	Geometria elemento:			L [cm]: 30	L1 [cm]: 150		
Prova P2 Pilastro P03	Pianta: 1° Impalcato	Ubicazione: vedi pianta								
Geometria elemento:										
L [cm]: 30	L1 [cm]: 150									
<p>Lato 30: (4+4 Ø 20) + (1+1 Ø 14) Lato 150: 6+6 Ø 14 st Ø 6 / 21</p>										

Legenda armature Pilastro:

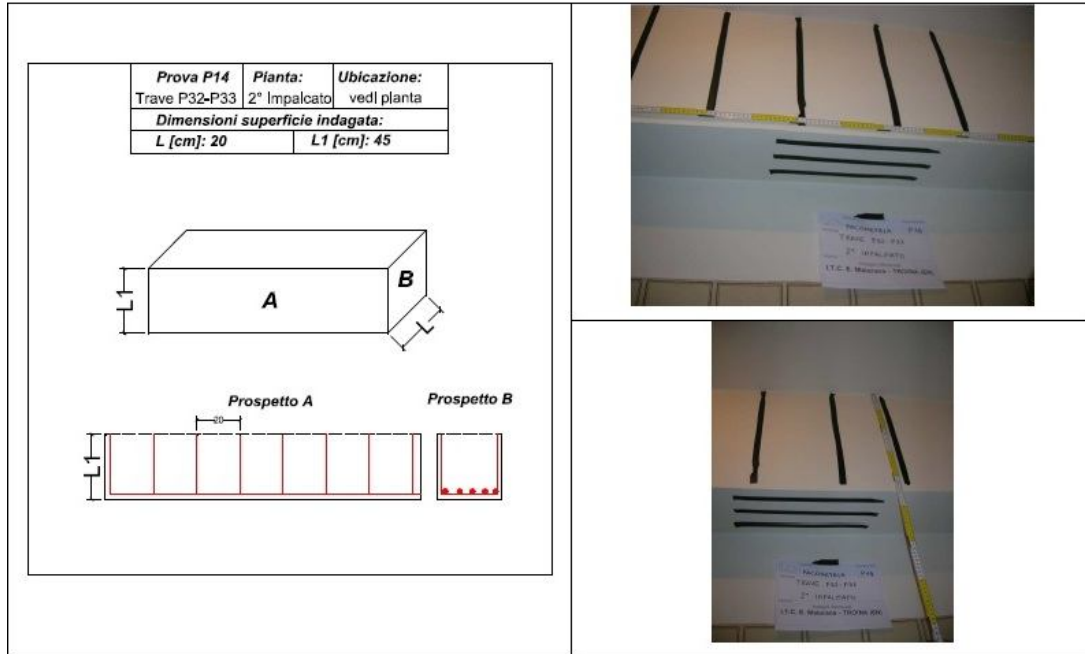
Dimensioni pilastro 30 x 150 cm; Superficie indagata: 30 x 75 cm

Ubicazione: vedi pianta 1° Impalcato

- Barre longitudinali: lato 30 = 4 ϕ 20 + 1 ϕ 14 ;
lato 75 = 3 ϕ 14;
- Staffe ϕ 6/21 cm;

Esecutivo originario

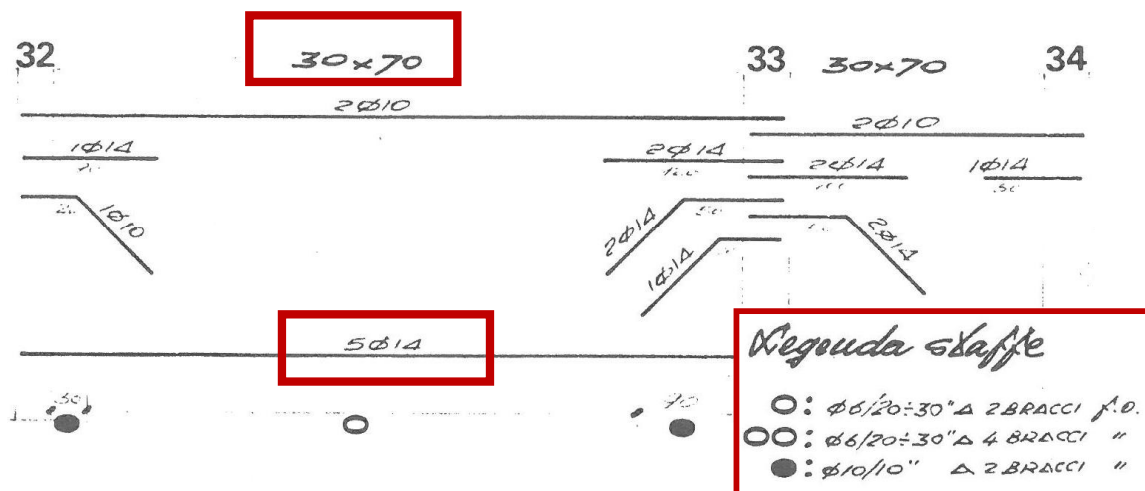
PILASTRO	PIANO TERRA						STAFFE
	SEZIONE	ARMATURA					
		LATO X		LATO Y			
X	Y	POS. 1	POS. 2	POS. 1	POS. 2		
1	150	30	6+6 ϕ 14	/	/	2+2 ϕ 20*	ϕ 6/21"
2	150	30	6+6 ϕ 14	/	/	2+2 ϕ 20*	"
3	150	30	6+6 ϕ 14	/	1+1 ϕ 14	4+4 ϕ 20*	"
4	150	30	6+6 ϕ 14	/	1+1 ϕ 14	4+4 ϕ 20*	"
5	150	30	6+6 ϕ 14	/	/	/	"
6	40	30	2+2 ϕ 14	/	/	/	"
7	50	30	2+2 ϕ 14	/	/	/	"

Trave P32-P33**2° impalcato (corpo originario)****Prova P14****Report dell'indagine****Legenda armature Trave:**

Dimensioni Trave 30 x 70 cm; Superficie indagata: 20 x 45 cm

Ubicazione: vedi pianta 2° Impalcato

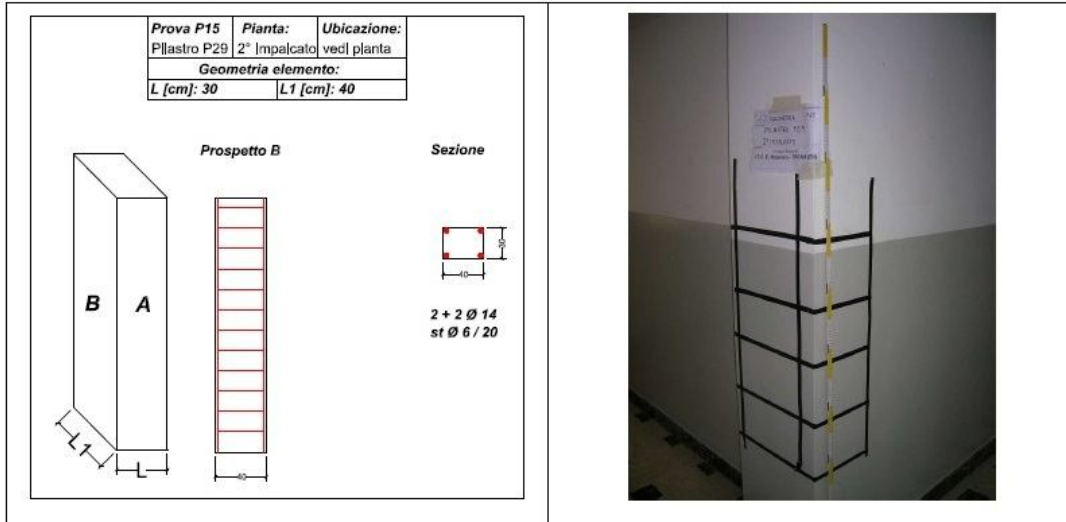
- Barre longitudinali: sotto 5 ϕ 14; rilevati 3 ϕ 14 in 20 cm;
- Staffe ϕ 6/20 cm.

Esecutivo originario

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO TRA PROFESSIONISTI

Pilastro P29	2° impalcato (corpo originario)	Prova P15
---------------------	--	------------------

Report dell'indagine



Legenda armature Pilastro:

Dimensioni pilastro 30 x 40 cm;

Ubicazione: vedi pianta 2° Impalcato

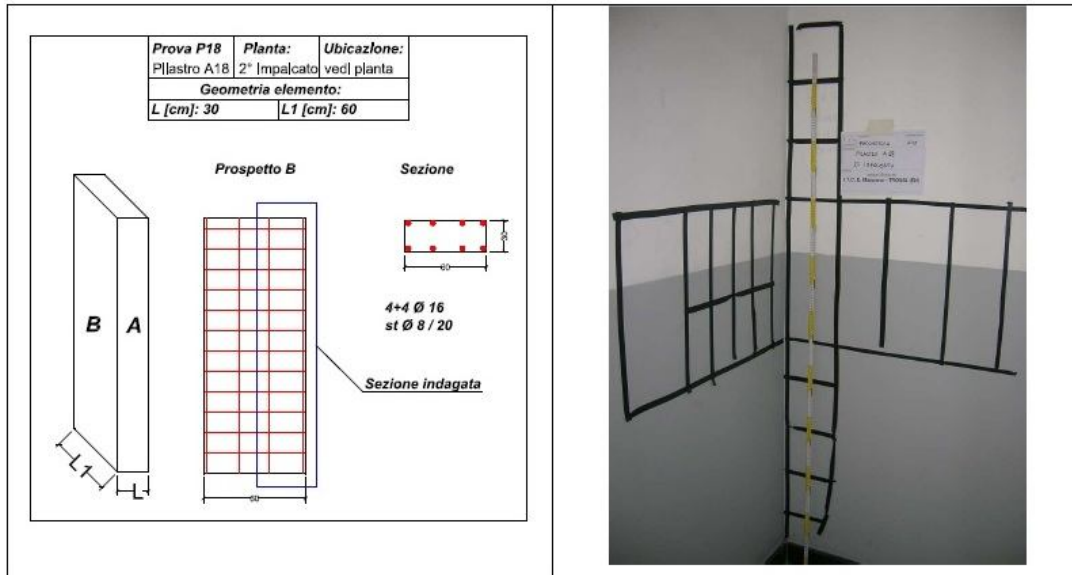
- Barre longitudinali: 2+2 ϕ 14;
- Staffe ϕ 6/20 cm;

Esecutivo originario

40	30	2+2 ϕ 14	/	/	/	"
30	40	2+2 ϕ 14	/	/	/	"
30	40	2+2 ϕ 14	/	/	/	"
30	40	2+2 ϕ 14	/	1+1 ϕ 12	/	"
30	40	2+2 ϕ 14	/	/	/	"
40	30	2+2 ϕ 14	/	/	/	"
40	30	2+2 ϕ 14	/	/	2+2 ϕ 14	"
40	30	2+2 ϕ 14	/	/	/	"
30	40	2+2 ϕ 14	/	1+1 ϕ 12	/	"
30	40	2+2 ϕ 14	/	/	/	"

Pilastro A18	2° impalcato (ampliamento)	Prova P18
---------------------	-----------------------------------	------------------

Report dell'indagine

**Legenda armature Pilastro:**

Dimensioni pilastro 30 x 60 cm; indagati 21 cm

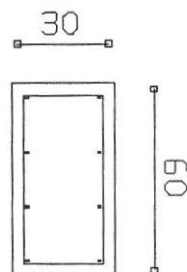
Ubicazione: vedi pianta 2° Impalcato

- Barre longitudinali: 4+4 ϕ 16; indagati 2 ϕ 16 in 21 cm;
- Staffe ϕ 8/20 cm; non sono presenti staffe sul nodo.

Esecutivo originario

STAFFE ϕ 8	Da Q= 6.50	a Q= 5.90	1/13 cm.
	Da Q= 5.90	a Q= 5.70	1/24 cm.
	Da Q= 5.70	a Q= 5.10	1/13 cm.

IESIA Q=6.5	B DIRITTI ϕ16	PIEDE Q=5.1
-------------	--------------------------------------	-------------



Pilastro A04	3° impalcato (ampliamento)	Prova P22
---------------------	-----------------------------------	------------------

Report dell'indagine

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: small;">Prova P22</td> <td style="font-size: small;">Pianta:</td> <td style="font-size: small;">Ubicazione:</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">Pilastro A04</td> <td style="font-size: small;">3° Impalcato</td> <td style="font-size: small;">vedi pianta</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; font-size: small;">Geometria elemento:</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">L [cm]: 30</td> <td colspan="2" style="font-size: small;">L1 [cm]: 80</td> </tr> </table> 	Prova P22	Pianta:	Ubicazione:	Pilastro A04	3° Impalcato	vedi pianta	Geometria elemento:			L [cm]: 30	L1 [cm]: 80		
Prova P22	Pianta:	Ubicazione:											
Pilastro A04	3° Impalcato	vedi pianta											
Geometria elemento:													
L [cm]: 30	L1 [cm]: 80												

Legenda armature Pilastro:

Dimensioni pilastro 30 x 80 cm; indagati 30 x 43 cm

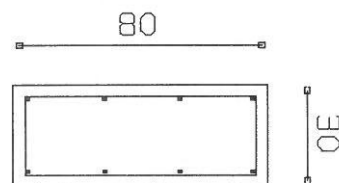
Ubicazione: vedi pianta 3° Impalcato

- Barre longitudinali: 4+4 $\phi 16$; indagati 2 $\phi 16$ in 43 cm;
- Staffe $\phi 8/21$ cm.

Esecutivo originario

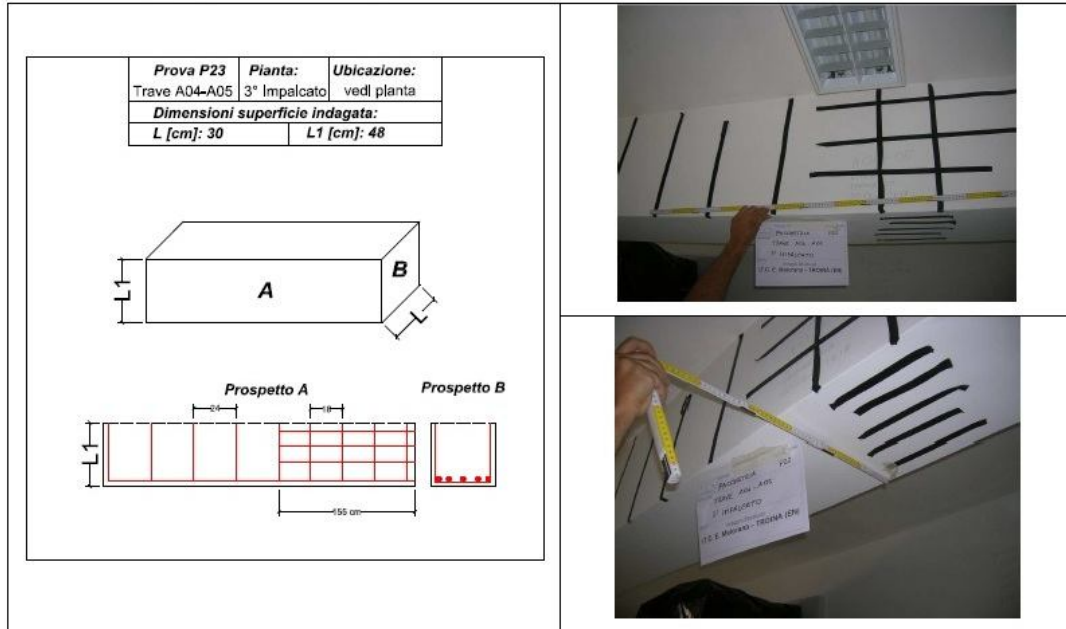
STAFFE $\phi 8$	Da Q= 8.30 a Q= 7.50	1/13 cm.
	Da Q= 7.50 a Q= 5.90	1/24 cm.
	Da Q= 5.90 a Q= 5.10	1/13 cm.

IESIA Q=8.3	8 DIRITTI $\phi 16$	PIEDE Q:
-------------	---------------------------------------	----------



Trave A04-A05**3° impalcato (ampliamento)****Prova P23**

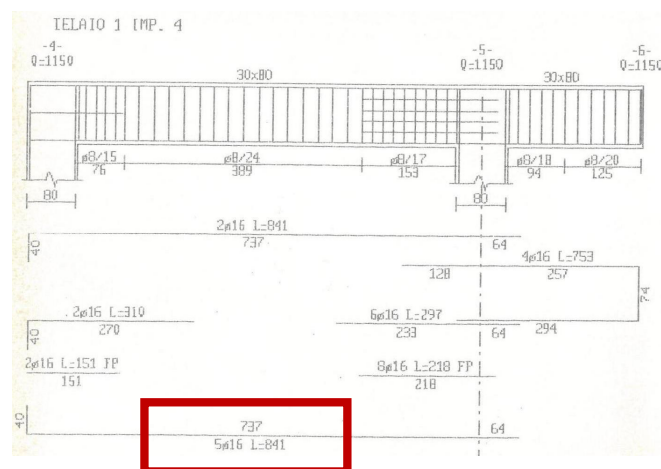
Report dell'indagine

**Legenda armature Trave:**

Dimensioni Trave 30 x 80 cm; Superficie indagata: 30 x 48 cm

Ubicazione: vedi pianta 3° Impalcato

- Barre longitudinali: sotto 5 ϕ 16; presenti anche 2 ϕ 16 a parete all'estremità della trave per circa 155 cm;
- Staffe ϕ 8/24 cm in mezzeria; le staffe si infittiscono all'estremità (ϕ 8/18 cm) per una lunghezza pari a circa 155 cm.

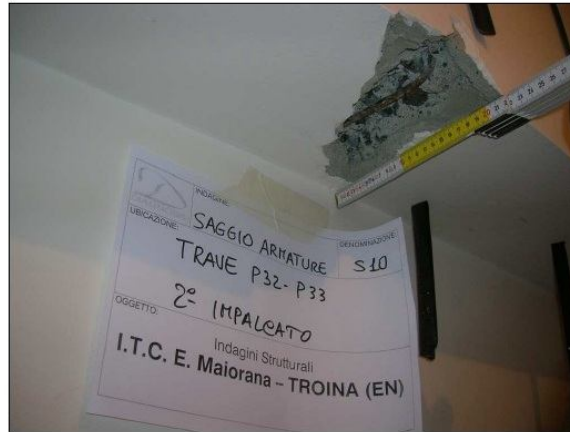
Esecutivo originario

8.2.2. Saggi strutturali

Dopo aver asportato il copriferro, sono stati eseguiti dei rilievi diretti del diametro delle armature, della tipologia di barre presenti negli elementi indagati e dello stato di avanzamento della corrosione. I saggi diretti hanno anche consentito di convalidare i risultati delle indagini indirette eseguite tramite pacometro, verificandone la corrispondenza tra le due metodologie. Di seguito si riportano alcuni confronti fra i report dei saggi eseguiti e gli esecutivi strutturali.

Pilastro P32-P33	2° impalcato (corpo originario)	S10
-------------------------	--	------------

Report dell'indagine



Saggio diretto effettuato sulla trave P32-P33 (30 x 70 cm).

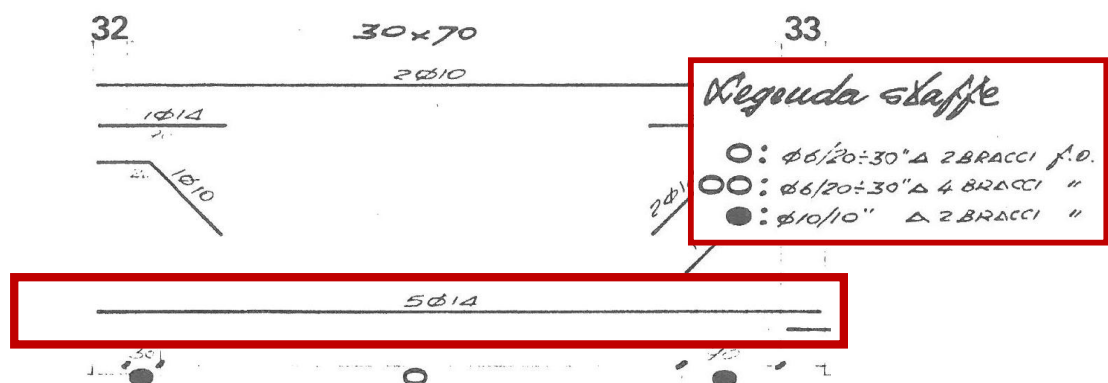
Ubicazione: vedi pianta 2° Impalcato

Le esplorazioni hanno permesso di individuare le seguenti misure:

- ferri longitudinali sotto 3 ϕ 14 in 20 cm;
- Staffe ϕ 6/20 cm in mezzera;
- copriferro = 3 cm.

Da un'analisi visiva le armature appaiono in buono stato di conservazione, e non è stato individuato alcun fenomeno di corrosione.

Esecutivo originario



Pilastro P54	2° impalcato (corpo originario)	S13
---------------------	--	------------

Report dell'indagine



Saggio diretto effettuato sul pilastro P29 (30 x 40 cm)- 2° Impalcato.

Ubicazione: vedi pianta 2° Impalcato

Le esplorazioni hanno permesso di individuare le seguenti misure sul lato 40 cm:

- ferri longitudinali ϕ 14;
- staffe ϕ 6/20;
- copriferro = 3 cm.

Da un'analisi visiva le armature appaiono in buono stato di conservazione, e non è stato individuato alcun fenomeno di corrosione.

Esecutivo originario

40	60	6+6 ϕ 20	1	1+1 ϕ 14	1	"
50	40	6+6 ϕ 20	1+1 ϕ 20*	1	1	ϕ 6/20"
30	40	2+2 ϕ 14	2+2 ϕ 14	1	1	ϕ 6/21"
40	60	2+2 ϕ 20	1	1+1 ϕ 14	1	"
30	30	2+2 ϕ 14	1	1	1+1 ϕ 12	ϕ 6/18"

Pilastro A09	Fondazioni (ampliamento)	S19
---------------------	---------------------------------	------------

Report dell'indagine



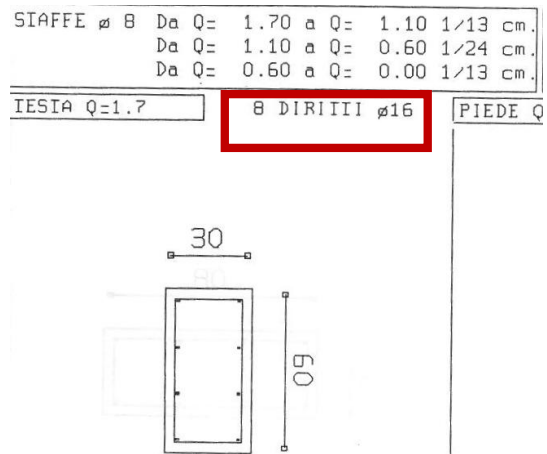
Saggio diretto effettuato sul pilastro A09 (30 x 60 cm)- calpestio.

Ubicazione: vedi pianta calpestio

Le esplorazioni hanno permesso di individuare le seguenti misure:

- ferri longitudinali 4+4 ϕ 16
- staffe ϕ 8/20;
- copriferro = 2,5 cm.

Esecutivo originario



9. IDENTIFICAZIONE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Le indagini eseguite, i cui risultati sono riportati nella relazione redatta dalla *Diagnosis s.r.l., Allegato 1.1.*, hanno accertato, oltre al rilievo geometrico di cui si è discusso, le proprietà meccaniche dei materiali:

- calcestruzzo strutturale;
- acciaio in barre.

9.1. Caratteristiche meccaniche del calcestruzzo strutturale

La valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo è stata ottenuta mediante sclerometrie (prove indirette) e l'estrazione di campioni cilindrici di calcestruzzo (prove dirette) con successiva prova di compressione fino a rottura. Prima dell'esecuzione delle prove di compressione delle carote estratte è stata accertata la presenza di fenomeni di carbonatazione, eliminando la parte degradata dal provino onde evitarne l'influenza sui valori di resistenza. Il campione è stato sottoposto a misurazione geometrica, pesato e rettificato presso il laboratorio autorizzato all'esecuzione delle prove sui materiali da costruzione LA. SP. EDIL s.r.l. sito in contrada Fureria snc – 95032 Belpasso (CT)

Il complesso strutturale è stato indagato con un numero totale di 27 prove sclerometriche e 16 carote. Le prove sono state suddivise fra il corpo originario e l'ampliamento come riportato nella Tabella 24

Tabella 24 – Quantitativi carote e sclerometrie

	Sclerometrie	Carote
Corpo originario	16	13
Ampliamento	11	3
<i>Totale</i>	<i>27</i>	<i>16</i>

Le prove sono state eseguite in posizioni differenti fra i vari piani ottenendo una distribuzione planimetrica omogenea dei prelievi con informazioni distribuite su tutta la struttura. Per maggiore dettagli sul calcolo del numero di elementi da indagare si rimanda al paragrafo 6. La collocazione planimetrica delle prove eseguite ai vari impalcati è consultabile negli elaborati grafici riportati nell' *Allegato 1.3.*

Tabella 25 – Ubicazione sclerometrie

Sclerometria (N°)	Elemento indagato	Sclerometria (N°)	Elemento indagato
1	Pilastro P8 – 1° impalcato	15	Pilastro A18 – 2° impalcato
2	Pilastro A16 – 1° impalcato	16	Trave A13-A17 – 2° impalcato
3	Trave A04-A05 – 1° impalcato	17	Pilastro A04 – 1° impalcato
4	Trave P45-P51 – 1° impalcato	18	Pilastro P08 – 3° impalcato
5	Pilastro P26 – 1° impalcato	19	Trave A04-A05 – 3° impalcato
6	Trave P15-P16 – 1° impalcato	20	Trave P05-P08 – 3° impalcato
7	Trave P32-P41 – Fondazione	21	Trave P15-P16 – 3° impalcato
8	Trave P26-P27 – 1° impalcato	22	Pilastro A05 – Calpestio
9	Trave P27-P28 – 2° impalcato	23	Pilastro A09 – Calpestio
10	Trave P20-P21 – 2° impalcato	24	Trave A04-A05 – Calpestio
11	Trave P32-P33 – 2° impalcato	25	Trave P05-P08 – Fondazione
12	Pilastro P29 – 2° impalcato	26	Trave A04-A05 – Fondazione
13	Pilastro P54 – 2° impalcato	27	Trave A04-A05 – Calpestio
14	Trave P53-P54 – 2° impalcato		

Tabella 26 – Ubicazioni carote

Carota (N°)	Elemento indagato	Carota (N°)	Elemento indagato
C1	Pilastro P8 – 1° impalcato	C9	Trave P53–P54 – 2° impalcato
C2	Pilastro A16 – 1° impalcato	C10	Pilastro P54 – 2° impalcato
C3	Trave P45–P51 – 1° impalcato	C11	Trave P05–P08 – 3° impalcato
C4	Pilastro P26 – 1° impalcato	C12	Pilastro P08 – 3° impalcato
C5	Trave P15–P16 – 1° impalcato	C13	Pilastro P29 – 3° impalcato
C6	Trave P32–P41 – Fondazione	C14	Pilastro A05 – calpestio
C7	Trave P27–P28 – 2° impalcato	C15	Trave P05–P08 – fondazione
C8	Pilastro P29 – 2° impalcato	C16	Trave A04–A05 – fondazione

Per il raggiungimento del Livello di *Conoscenza Adeguata LC2* attraverso "limitate prove in-situ" è necessario verificare che le caratteristiche dei materiali previste in progetto siano inferiori dei risultati ottenuti dalla prove in-situ. A tal proposito si riporta la porzione del paragrafo CA.1.B.3 della Circolare n.617 del 2009 per maggiore chiarimento: "Informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali di prova, o da estese verifiche in situ. Nel primo caso sono anche eseguite limitate prove in situ; se i valori ottenuti dalle prove in situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, sono eseguite estese prove in situ...."

9.2. Calcestruzzo da progetto

9.2.1. Corpo originario

Materiali Arredisti
- Calcestruzzo Rbk 300
- Ferro FeB44K.

Figura 38 – Calcestruzzo da progetto – corpo originario

La sigle *Rbk 300* è una "vecchia" nomenclatura del calcestruzzo in cui "b" deriva da beton (calcestruzzo in francese); esso corrisponde all'attuale *Rck 30* in cui "c" deriva da concrete (calcestruzzo in inglese). La diversità numerica deriva anch'essa dal tradizionale sistema di misura ovvero: 300kg/cmq=30N/mm². In conclusione la classe del calcestruzzo previsto in progetto è **C25/30**. Si riportano di seguito le sue caratteristiche meccaniche.

Tabella 27 – Caratteristiche calcestruzzo da progetto – corpo originario

Classe	25 / 30
- resistenza cilindrica caratteristica	$f_{ck} = 25,0$ MPa
- resistenza cubica caratteristica	$R_{ck} = 30,0$ MPa
- resistenza media a compressione (par. 11.2.10.1)	$f_{cm} = 33,0$ MPa
- modulo elastico (par. 11.2.10.3)	$E = 31476$ MPa
- resistenza di calcolo a compressione (par. 4.1.2.1.1.1)	$f_{cd} = 14,17$ MPa
- resistenza media a trazione (par. 11.2.10.2)	$f_{ctm} = 2,56$ MPa
- resistenza caratteristica a trazione (par. 11.2.10.2)	$f_{ctk} = 1,80$ MPa
- resistenza di calcolo a trazione (par. 4.1.2.1.1.2)	$f_{ctd} = 1,20$ MPa
- resistenza caratteristica di aderenza (par. 4.1.2.1.1.4)	$f_{bk} = 4,04$ MPa
- resistenza di calcolo di aderenza (par. 4.1.2.1.1.4)	$f_{bd} = 2,69$ MPa

9.2.2. Ampliamento



Figura 39 – Calcestruzzo da progetto – ampliamento

Il calcestruzzo previsto in fase progettuale sul corpo dell'ampliamento è un R_{ck} 25, la classe di appartenenza è **C20/25**. Si riportano di seguito le sue caratteristiche meccaniche.

Tabella 28 – Caratteristiche calcestruzzo da progetto – ampliamento

Classe	20 / 25
- resistenza cilindrica caratteristica	$f_{ck} = 20,0$ MPa
- resistenza cubica caratteristica	$R_{ck} = 25,0$ MPa
- resistenza media a compressione (par. 11.2.10.1)	$f_{cm} = 28,0$ MPa
- modulo elastico (par. 11.2.10.3)	$E = 29962$ MPa
- resistenza di calcolo a compressione (par. 4.1.2.1.1.1)	$f_{cd} = 11,33$ MPa
- resistenza media a trazione (par. 11.2.10.2)	$f_{ctm} = 2,21$ MPa
- resistenza caratteristica a trazione (par. 11.2.10.2)	$f_{ctk} = 1,55$ MPa
- resistenza di calcolo a trazione (par. 4.1.2.1.1.2)	$f_{ctd} = 1,03$ MPa
- resistenza caratteristica di aderenza (par. 4.1.2.1.1.4)	$f_{bk} = 3,48$ MPa
- resistenza di calcolo di aderenza (par. 4.1.2.1.1.4)	$f_{bd} = 2,32$ MPa

9.3. Indagini sul calcestruzzo

Le indagini eseguite sul calcestruzzo mirano alla valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo distintamente per il corpo originario e per l'ampliamento.

Sul corpo originario sono state eseguite 16 sclerometrie e 13 carotaggi, mentre sull'ampliamento sono state eseguite 11 sclerometrie e 3 carotaggi.

Di seguito si riportano le letture degli indici di rimbalzo delle sclerometrie eseguite e i valori della corrispondente resistenza del calcestruzzo sia per il corpo originario che per l'ampliamento

Le celle colorate in grigio contengono gli indici di rimbalzo scartati (valori massimi e minimi).



Figura 40 – Esecuzione prova sclerometrica



Figura 41 – Esecuzione carota C12

9.3.1. *Corpo originario sclerometrie*

SCLEROMETRIA N° 1				ELEMENTO			Pilastro P8 – 1° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Letture Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	33	33	42	10	9	8	28,04	23,28
2	46	36	37				33,88	28,12
3	40	34	40				36,49	30,29
4	38	34	40				35,32	29,32
5	38	35	38				34,74	28,83
6	38	38	40				38,27	31,77
7	37	37	37				34,74	28,83
8	39	36	38				35,90	29,80
9	34	32	37				29,67	24,63
10	32	36	39				35,61	29,56
11	35	38	38				33,88	28,12
12	36	37	37				33,88	28,12
<i>Ir medio efficace</i>	37	35	39	<i>Valor medio (MPa)</i>			34,20	28,39

SCLEROMETRIA N° 4				ELEMENTO			Trave P45–P51 – 1° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Letture Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	36	33	35	7	10	10	29,67	24,63
2	35	33	40				29,67	24,63
3	33	35	38				31,89	26,47
4	36	37	38				35,61	29,56
5	35	34	34				30,22	25,08
6	35	32	36				30,22	25,08
7	34	30	37				32,17	26,70
8	33	38	35				29,67	24,63
9	32	37	33				31,33	26,00
10	35	37	32				33,02	27,41
11	32	34	38				33,02	27,41
12	36	37	38				35,61	29,56
<i>Ir medio efficace</i>	34	35	36	<i>Valor medio (MPa)</i>			31,84	26,43

SCLEROMETRIA N° 5				ELEMENTO			Pilastro P26 – 1° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Letture Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	35	30	37	10	9	7	33,02	27,41
2	42	33	33				28,04	23,28
3	36	32	37				31,33	26,00
4	39	36	34				33,59	27,88
5	37	33	32				31,33	26,00
6	40	32	38				34,16	28,35
7	36	30	32				33,02	27,41
8	34	33	32				28,04	23,28
9	39	32	32				32,17	26,70
10	36	37	35				33,02	27,41
11	35	36	36				32,45	26,94
12	36	38	39				33,02	27,41
<i>Ir medio efficace</i>	37	34	36	<i>Valor medio (MPa)</i>			31,93	26,50

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO TRA PROFESSIONISTI

SCLEROMETRIA N° 6				ELEMENTO			Trave P15-P16 - 1° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	34	38	36	10	10	9	31,33	26,00
2	33	36	32				30,50	25,31
3	37	37	37				34,74	28,83
4	35	36	36				32,45	26,94
5	35	34	32				30,50	25,31
6	37	35	34				31,89	26,47
7	40	35	35				31,33	26,00
8	36	35	37				33,02	27,41
9	37	37	34				33,02	27,41
10	37	32	33				31,33	26,00
11	34	33	36				30,22	25,08
12	32	34	40				29,67	24,63
<i>Ir medio efficace</i>	36	35	35	<i>Valor medio (MPa)</i>			31,67	26,28

SCLEROMETRIA N° 7				ELEMENTO			Trave P32-P41 - Fondazione ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	32	26	32	7	9	8	21,85	18,13
2	32	23	30				23,35	19,38
3	32	25	28				16,14	13,40
4	30	24	28				18,93	15,71
5	30	34	28				23,35	19,38
6	28	29	29				21,35	17,72
7	32	33	30				25,66	21,30
8	31	28	31				23,35	19,38
9	31	31	30				24,37	20,23
10	27	30	34				23,35	19,38
11	29	30	32				23,86	19,80
12	31	34	30				24,11	20,01
<i>Ir medio efficace</i>	30	28	31	<i>Valor medio (MPa)</i>			22,47	18,65

SCLEROMETRIA N° 8				ELEMENTO			Trave P26-P27 - 1° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	28	26	32	10	9	8	21,35	17,72
2	28	23	30				21,85	18,13
3	24	25	28				15,46	12,84
4	30	24	28				14,79	12,28
5	27	34	28				18,93	15,71
6	27	29	29				20,86	17,31
7	22	33	30				25,66	21,30
8	26	28	31				20,86	17,31
9	24	31	30				20,86	17,31
10	29	30	34				22,59	18,75
11	29	30	32				23,86	19,80
12	28	34	30				21,85	18,13
<i>Ir medio efficace</i>	27	28	31	<i>Valor medio (MPa)</i>			20,74	17,22

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO TRA PROFESSIONISTI

SCLEROMETRIA N° 9				ELEMENTO			Trave P27-P28 – 2° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	30	36	35				23,35	19,38
2	38	38	39				37,08	30,78
3	38	36	35				36,49	30,29
4	40	36	38				36,49	30,29
5	36	37	37				34,74	28,83
6	36	36	40				-	-
7	40	40	37	7	7	6	34,74	28,83
8	36	37	36				33,88	28,12
9	38	37	40				35,61	29,56
10	37	37	35				34,74	28,83
11	37	38	37				35,32	29,32
12	39	39	40				38,27	31,77
<i>Ir medio efficace</i>	37	38	37	<i>Valor medio (MPa)</i>			34,61	28,73

SCLEROMETRIA N° 10				ELEMENTO			Trave P20-P21 – 2° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	42	36	35				43,81	36,36
2	39	44	39				41,31	34,29
3	36	43	35				45,71	37,94
4	42	42	38				41,31	34,29
5	44	46	37				34,74	28,83
6	38	40	40				38,27	31,77
7	39	43	37	9	10	6	39,48	32,77
8	38	38	36				35,32	29,32
9	44	38	40				36,49	30,29
10	37	39	35				36,49	30,29
11	41	43	37				40,70	33,78
12	43	44	40				46,68	38,74
<i>Ir medio efficace</i>	40	41	37	<i>Valor medio (MPa)</i>			40,03	33,22

SCLEROMETRIA N° 11				ELEMENTO			Trave P32-P33 – 2° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	39	35	36				33,02	27,41
2	36	38	38				34,74	28,83
3	39	36	33				33,02	27,41
4	35	40	34				30,50	25,31
5	38	36	36				34,16	28,35
6	32	37	38				35,61	29,56
7	33	35	36	7	8	8	30,50	25,31
8	32	37	36				33,88	28,12
9	38	35	37				35,61	29,56
10	37	36	38				33,88	28,12
11	39	38	37				35,61	29,56
12	37	38	38				35,61	29,56
<i>Ir medio efficace</i>	36	37	36	<i>Valor medio (MPa)</i>			33,84	28,09

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO TRA PROFESSIONISTI

SCLEROMETRIA N° 12				ELEMENTO			Pilastro P29 - 2° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	33	34	34	10	10	9	29,13	24,17
2	28	36	35				-	-
3	31	34	32				26,98	22,39
4	33	35	33				29,13	24,17
5	29	34	34				26,98	22,39
6	32	33	33				27,51	22,83
7	34	33	34				29,13	24,17
8	33	34	31				27,51	22,83
9	32	35	33				28,58	23,72
10	36	32	35				-	-
11	33	34	31				27,51	22,83
12	34	35	30				30,50	25,31
<i>Ir medio efficace</i>	32	34	33	<i>Valor medio (MPa)</i>			28,29	23,48

SCLEROMETRIA N° 13				ELEMENTO			Pilastro P54 - 2° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	47	33	39	9	9	10	45,71	37,94
2	46	42	48				51,62	42,84
3	46	39	41				43,81	36,36
4	50	36	45				41,00	34,03
5	43	37	39				39,48	32,77
6	46	34	41				40,70	33,78
7	33	33	39				38,27	31,77
8	39	35	36				34,74	28,83
9	42	36	37				37,08	30,78
10	37	36	41				36,49	30,29
11	50	37	44				41,00	34,03
12	38	39	40				38,27	31,77
<i>Ir medio efficace</i>	43	37	41	<i>Valor medio (MPa)</i>			40,68	33,77

SCLEROMETRIA N° 14				ELEMENTO			Trave P53-P54 - 2° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	41	40	40	9	9	10	40,70	33,78
2	50	38	39				37,38	31,02
3	30	37	44				47,65	39,55
4	40	38	38				38,27	31,77
5	40	38	49				44,44	36,88
6	40	40	40				40,09	33,27
7	42	42	42				43,81	36,36
8	50	37	45				49,62	41,18
9	49	38	39				43,81	36,36
10	41	40	48				41,00	34,03
11	42	46	44				45,71	37,94
12	43	43	46				47,65	39,55
<i>Ir medio efficace</i>	42	40	43	<i>Valor medio (MPa)</i>			43,34	35,97

SCLEROMETRIA N° 18				ELEMENTO			Pilastro P08 – 3° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	35	32	40	10	9	9	35,61	29,56
2	40	40	36				37,68	31,27
3	36	34	38				33,02	27,41
4	38	40	34				38,27	31,77
5	34	41	35				31,33	26,00
6	42	36	38				37,68	31,27
7	44	40	38				41,31	34,29
8	35	40	35				34,16	28,35
9	38	36	34				34,74	28,83
10	46	34	38				33,02	27,41
11	36	41	42				33,02	27,41
12	35	37	40				35,32	29,32
<i>Ir medio efficace</i>	38	37	38	<i>Valor medio (MPa)</i>			35,43	29,41

SCLEROMETRIA N° 20				ELEMENTO			Trave P05-P08 – 3° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	45	42	41	10	10	10	45,07	37,41
2	44	36	44				47,65	39,55
3	52	40	41				41,00	34,03
4	42	42	42				43,81	36,36
5	41	44	43				45,07	37,41
6	40	44	40				42,55	35,32
7	40	44	42				43,81	36,36
8	41	46	38				41,93	34,80
9	42	45	42				45,71	37,94
10	37	40	44				43,81	36,36
11	44	40	44				45,07	37,41
12	42	44	46				45,71	37,94
<i>Ir medio efficace</i>	42	43	42	<i>Valor medio (MPa)</i>			44,27	36,74

SCLEROMETRIA N° 21				ELEMENTO			Trave P15-P16 – 3° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	40	40	39	10	10	10	40,09	33,27
2	38	36	44				41,93	34,80
3	36	42	43				44,75	37,15
4	42	39	38				39,48	32,77
5	37	38	38				35,90	29,80
6	38	42	42				41,31	34,29
7	42	44	41				44,44	36,88
8	38	44	40				41,31	34,29
9	44	48	44				47,65	39,55
10	40	46	42				45,07	37,41
11	46	43	46				45,71	37,94
12	44	44	41				45,71	37,94
<i>Ir medio efficace</i>	40	42	41	<i>Valor medio (MPa)</i>			42,78	35,51

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO TRA PROFESSIONISTI

SCLEROMETRIA N° 25				ELEMENTO			Trave P05-P08 - Fondazione ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Letture Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	26	23	31	9	9	8	17,52	14,54
2	25	25	24				15,69	13,02
3	26	25	23				16,83	13,97
4	24	24	24				14,79	12,28
5	28	23	25				18,22	15,13
6	26	27	24				17,06	14,16
7	27	27	23				18,93	15,71
8	23	31	23				-	-
9	24	27	26				17,06	14,16
10	25	29	26				18,46	15,32
11	25	30	27				19,41	16,11
12	23	27	27				18,93	15,71
<i>Ir medio efficace</i>	25	27	25	<i>Valor medio (MPa)</i>			17,54	14,56

9.3.2. Ampliamento sclerometrie

SCLEROMETRIA N° 2				ELEMENTO			Pilastro A16 - 1° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Letture Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	35	31	33	7	8	9	29,67	24,63
2	30	34	30				29,67	24,63
3	34	38	34				29,67	24,63
4	34	34	33				29,13	24,17
5	32	35	35				29,67	24,63
6	30	37	33				31,33	26,00
7	33	37	38				33,02	27,41
8	31	35	30				28,04	23,28
9	30	38	39				-	-
10	33	38	34				28,85	23,95
11	30	35	37				33,02	27,41
12	36	37	38				35,61	29,56
<i>Ir medio efficace</i>	33	36	35	<i>Valor medio (MPa)</i>			30,70	25,48

SCLEROMETRIA N° 3				ELEMENTO			Trave A04-A05 – 1° impalcato ($\alpha=90^\circ$)	
Battuta	Lettura I_r ($\alpha=0^\circ$)			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	27,3	31,7	36,1	9	9	10	25,98	21,56
2	24,3	29,7	37,1				24,42	20,27
3	30	29,7	37,1				28,94	24,02
4	33	31,7	32,7				27,19	22,57
5	30,7	36,1	36,1				30,17	25,04
6	25,3	38,1	36,1				33,19	27,55
7	30,7	32,9	35				27,83	23,10
8	25,3	32,9	34				28,77	23,88
9	36,1	36,1	28,3				33,19	27,55
10	28,7	34	32,9				26,24	21,78
11	38,1	34	38,3				29,67	24,63
12	30,7	37,2	29,7				27,30	22,66
<i>I_r medio efficace</i>	30	34	35	<i>Valor medio (MPa)</i>			28,57	23,72

SCLEROMETRIA N° 15				ELEMENTO			Pilastro A18 – 2° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura I_r			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	28	36	32	8	10	7	29,67	24,63
2	29	37	34				28,58	23,72
3	30	42	30				23,35	19,38
4	36	37	30				33,88	28,12
5	33	30	34				28,85	23,95
6	31	32	30				25,66	21,30
7	28	41	32				33,88	28,12
8	28	32	34				28,04	23,28
9	30	33	31				25,40	21,08
10	36	38	30				34,74	28,83
11	40	36	30				33,02	27,41
12	35	33	34				29,67	24,63
<i>I_r medio efficace</i>	33	36	33	<i>Valor medio (MPa)</i>			29,56	24,54

SCLEROMETRIA N° 16				ELEMENTO			Trave A13-A17 – 2° impalcato ($\alpha=90^\circ$)	
Battuta	Lettura I_r ($\alpha=0^\circ$)			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	42,5	35,1	33,9	8	9	10	37,91	31,47
2	34	36,1	40,5				37,02	30,73
3	40,5	37,2	38,3				37,68	31,27
4	36,1	34	44,7				31,41	26,07
5	44,8	31,7	37,2				35,09	29,12
6	38,2	31,7	40,4				38,81	32,22
7	36,1	32,7	39,4				33,13	27,50
8	42,4	33,9	37,1				36,14	29,99
9	36,1	33,9	39,2				33,70	27,97
10	35,1	42,4	40,3				35,96	29,85
11	34,2	36,1	39,4				36,05	29,92
12	34,2	33,9	38,3				33,19	27,55
<i>I_r medio efficace</i>	38	35	39	<i>Valor medio (MPa)</i>			35,51	29,47

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO TRA PROFESSIONISTI

SCLEROMETRIA N° 17				ELEMENTO			Pilastro A04 - 1° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcM (MPa)
1	34	32	35	10	10	10	29,13	24,17
2	36	29	42				38,27	31,77
3	33	30	39				30,50	25,31
4	38	30	39				32,45	26,94
5	41	35	37				33,02	27,41
6	30	32	36				27,51	22,83
7	36	30	40				31,89	26,47
8	36	33	33				30,50	25,31
9	35	32	34				29,13	24,17
10	36	37	35				33,02	27,41
11	36	36	44				33,02	27,41
12	35	38	36				32,17	26,70
<i>Ir medio efficace</i>	35	33	37	<i>Valor medio (MPa)</i>			31,72	26,32

SCLEROMETRIA N° 19				ELEMENTO			Trave A04-A05 - 3° impalcato ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcM (MPa)
1	34	32	40	9	9	9	40,09	33,27
2	34	40	36				36,49	30,29
3	36	34	38				33,02	27,41
4	36	40	34				36,49	30,29
5	41	41	35				36,49	30,29
6	42	36	38				34,74	28,83
7	38	40	38				37,68	31,27
8	38	40	35				35,90	29,80
9	38	36	34				34,74	28,83
10	36	34	38				33,02	27,41
11	37	41	42				34,74	28,83
12	35	37	40				35,32	29,32
<i>Ir medio efficace</i>	37	37	38	<i>Valor medio (MPa)</i>			35,73	29,65

SCLEROMETRIA N° 22				ELEMENTO			Pilastro A05 - Calpestio ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcM (MPa)
1	31	32	33	8	9	10	26,45	21,95
2	33	29	28				23,35	19,38
3	29	32	30				23,86	19,80
4	34	32	36				28,04	23,28
5	30	30	34				25,40	21,08
6	28	27	34				29,67	24,63
7	30	32	32				25,40	21,08
8	28	34	30				23,35	19,38
9	28	29	27				21,85	18,13
10	36	32	30				24,88	20,65
11	35	30	35				28,58	23,72
12	33	34	34				28,85	23,95
<i>Ir medio efficace</i>	32	31	32	<i>Valor medio (MPa)</i>			25,81	21,42

SCLEROMETRIA N° 23				ELEMENTO			Pilastro A09 – Calpestio ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcM (MPa)
1	27	33	29	9	10	10	20,37	16,91
2	31	31	30				24,37	20,23
3	34	29	33				24,88	20,65
4	36	31	28				25,92	21,52
5	27	31	27				21,85	18,13
6	34	28	29				21,11	17,52
7	26	26	28				18,46	15,32
8	29	28	28				20,86	17,31
9	33	28	30				23,86	19,80
10	31	30	31				24,37	20,23
11	27	27	32				21,35	17,72
12	25	26	34				-	-
<i>Ir medio efficace</i>	30	29	30	<i>Valor medio (MPa)</i>			22,49	18,67

SCLEROMETRIA N° 24				ELEMENTO			Trave A04–A05 – Calpestio ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcM (MPa)
1	32	29	31	9	8	12	25,66	21,30
2	35	33	33				25,92	21,52
3	30	36	29				24,37	20,23
4	28	36	28				28,04	23,28
5	26	32	34				25,92	21,52
6	31	30	34				25,66	21,30
7	27	29	36				25,92	21,52
8	29	34	32				25,66	21,30
9	33	37	30				26,45	21,95
10	34	29	30				22,84	18,96
11	31	30	28				24,11	20,01
12	35	32	29				-	-
<i>Ir medio efficace</i>	31	33	31	<i>Valor medio (MPa)</i>			25,51	21,17

SCLEROMETRIA N° 26				ELEMENTO			Trave A04–A05 – Fondazione ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura Ir			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcM (MPa)
1	28	27	27	7	8	10	18,93	15,71
2	28	28	28				20,37	16,91
3	30	28	28				21,35	17,72
4	32	29	29				23,35	19,38
5	36	29	32				24,11	20,01
6	28	25	34				-	-
7	30	25	30				23,35	19,38
8	28	31	31				24,88	20,65
9	29	36	28				21,11	17,52
10	32	36	31				25,66	21,30
11	33	32	33				27,51	22,83
12	30	33	32				25,92	21,52
<i>Ir medio efficace</i>	31	30	30	<i>Valor medio (MPa)</i>			23,32	19,36

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO TRA PROFESSIONISTI

SCLEROMETRIA N° 27				ELEMENTO			Trave A04-A05 - Calpestio ($\alpha=0^\circ$)	
Battuta	Lettura <i>Ir</i>			Battute efficaci			Resistenze del cls battute efficaci	
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	Rcm (MPa)	fcm (MPa)
1	32	30	32	7	9	6	26,45	21,95
2	32	32	34				27,51	22,83
3	34	34	30				29,67	24,63
4	34	34	30				29,67	24,63
5	35	32	34				29,13	24,17
6	30	34	30				29,67	24,63
7	32	36	36				26,45	21,95
8	30	30	30				-	-
9	36	32	35				28,85	23,95
10	34	33	34				29,13	24,17
11	30	32	30				26,45	21,95
12	36	31	32				25,66	21,30
<i>Ir medio efficace</i>	33	33	34	<i>Valor medio (MPa)</i>		28,06	23,29	

La Tabella 29 e la Tabella 30 riportano i risultati delle sclerometrie e i valori medi di resistenza del calcestruzzo per ciascuno dei due corpi strutturali.

Tabella 29 – Caratteristiche calcestruzzo indagini sclerometriche – corpo originario

Sclerometria (N°)	Elemento indagato	Valori medi		
		Ir medio	R _{cm} (MPa)	f _{cm} (MPa)
1	Pilastro P8 – 1° impalcato (α=0°)	37	34,20	28,39
4	Trave P45–P51 – 1° impalcato (α=0°)	35	31,84	26,43
5	Pilastro P26 – 1° impalcato (α=0°)	35	31,93	26,50
6	Trave P15–P16 – 1° impalcato (α=0°)	35	31,67	26,28
7	Trave P32–P41 – Fondazione (α=0°)	30	22,47	18,65
8	Trave P26–P27 – 1° impalcato (α=0°)	29	20,74	17,22
9	Trave P27–P28 – 2° impalcato (α=0°)	37	34,61	28,73
10	Trave P20–P21 – 2° impalcato (α=0°)	40	40,03	33,22
11	Trave P32–P33 – 2° impalcato (α=0°)	37	33,84	28,09
12	Pilastro P29 – 2° impalcato (α=0°)	33	28,29	23,48
13	Pilastro P54 – 2° impalcato (α=0°)	40	40,68	33,77
14	Trave P53–P54 – 2° impalcato (α=0°)	41	43,34	35,97
18	Pilastro P08 – 3° impalcato (α=0°)	38	35,43	29,41
20	Trave P05–P08 – 3° impalcato (α=0°)	42	44,27	36,74
21	Trave P15–P16 – 3° impalcato (α=0°)	41	42,78	35,51
25	Trave P05–P08 – Fondazione (α=0°)	26	17,54	14,56
VALORI MEDI			33,35	27,68

Tabella 30 – Caratteristiche calcestruzzo indagini sclerometriche – ampliamento

Sclerometria (N°)	Elemento indagato	Valori medi		
		Ir medio	R _{cm} (MPa)	f _{cm} (MPa)
2	Pilastro A16 – 1° impalcato (α=0°)	35	30,70	25,48
3	Trave A04–A05 – 1° impalcato (α=90°)	33	28,57	23,72
15	Pilastro A18 – 2° impalcato (α=0°)	34	29,56	24,54
16	Trave A13–A17 – 2° impalcato (α=90°)	37	35,51	29,47
17	Pilastro A04 – 1° impalcato (α=0°)	35	31,72	26,32
19	Trave A04–A05 – 3° impalcato (α=0°)	37	35,73	29,65
22	Pilastro A05 – Calpestio (α=0°)	32	25,81	21,42
23	Pilastro A09 – Calpestio (α=0°)	29	22,49	18,67
24	Trave A04–A05 – Calpestio (α=0°)	32	25,51	21,17
26	Trave A04–A05 – Fondazione (α=0°)	30	23,32	19,36
27	Trave A04–A05 – Calpestio (α=0°)	33	28,06	23,29
VALORI MEDI			28,82	23,92

In definitiva il valor medio della resistenza delle sclerometrie per ciascun corpo è:

- Corpo originario f_{cm(scl)} = 27,68 Mpa
- Ampliamento f_{cm(scl)} = 23,92 Mpa

Per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo sono stati eseguiti 13 carotaggi sul corpo originario e 3 carotaggi sull'ampliamento distribuiti su travi e pilastri ad ogni impalcato, il quantitativo di indagini distruttive è stato valutato al fine di raggiungere i quantitativi necessari per *limitate indagini in situ*. Prima dell'esecuzione delle prove di compressione sulle carote estratte è stata accertata la presenza di fenomeni di carbonatazione delle carote, eliminando la parte degradata dal provino onde evitarne l'influenza sui valori di resistenza. Il campione è stato sottoposto a misurazione geometrica, pesato e rettificato presso il laboratorio autorizzato all'esecuzione delle prove sui materiali da costruzione LA. SP. EDIL s.r.l. sito in contrada Furera snc – 95032 Belpasso (CT).

Le prove sono state eseguite in posizioni differenti fra i vari piani ottenendo una distribuzione planimetrica abbastanza omogenea dei prelievi con informazioni distribuite su tutta la struttura.

Nella Tabella 31 è riportata la collocazione dei carotaggi suddivisi per i due corpi strutturali come dalla seguente legenda



















	Corpo originario
	Ampliamento

Tabella 31 – Caratteristiche carote estratte (*Diagnosis s.r.l.*)

PROVA	ELEMENTO STRUTTURALE	PIANTA	DIAMETRO [Φ]	LUNGHEZZA CAROTA [cm]
 C1	Pilastro P08	1° impalcato	100	26
 C2	Pilastro A16	1° impalcato	100	24
 C3	Trave P45-P51	1° impalcato	100	23
 C4	Pilastro P26	1° impalcato	100	24
 C5	Trave P15-P16	1° impalcato	100	24
 C6	Trave P32-P41	fondazione	100	26
 C7	Trave P27-P28	2° impalcato	100	23
 C8	Pilastro P29	2° impalcato	100	25
 C9	Trave P53-P54	2° impalcato	100	24
 C10	Pilastro P54	2° impalcato	100	25
 C11	Trave P05-P08	3° impalcato	80	21
 C12	Pilastro P08	3° impalcato	100	25
 C13	Pilastro P29	3° impalcato	100	28
 C14	Pilastro A05	calpestio	80	27
 C15	Trave P05-P08	fondazione	100	26
 C16	Trave A04-A05	fondazione	100	28

La Tabella 32 riporta i risultati delle prove di resistenza a compressione sui carotaggi eseguiti su ciascun corpo. Si rimanda all'*Allegato 1.1.* per il report completo delle prove di compressione eseguite. Negli elaborati grafici dell'*Allegato 1.3.* sono indicate le ubicazioni dei carotaggi in planimetria.

Tabella 32 – Risultati prove di compressione carote (LA.SP.EDIL s.r.l.)

RISULTATI DELLA PROVA*														
N°	Carota Sigla	Data Prova	Dimensioni ¹			Sez. (mm ²)	Peso (kg)	Massa Volum. (kg/m ³)	Carico di rottura (kN)	Resistenza (N/mm ²)	Umidità Superf. ²	Preparaz. provino ³	Rottura ⁴	
			∅ mm	h mm	∅/h									
1	C1	26/07/12	94,6	94,2	1,0	7018	1,448	2191	149,7	21,3	A	M	S	
2	C2	26/07/12	94,6	94,2	1,0	7022	1,453	2196	132,0	18,8	A	M	S	
3	C3	26/07/12	94,6	94,0	1,0	7024	1,472	2229	164,4	23,4	A	M	S	
4	C4	26/07/12	94,5	94,4	1,0	7012	1,455	2199	184,8	26,4	A	M	S	
5	C5	26/07/12	94,6	94,2	1,0	7021	1,493	2256	155,3	22,1	A	M	S	
6	C6	26/07/12	94,6	94,3	1,0	7022	1,45	2190	133,2	19,0	A	M	S	
7	C7	26/07/12	94,6	94,0	1,0	7022	1,51	2289	163,3	23,3	A	M	S	
8	C8	26/07/12	94,6	94,0	1,0	7024	1,424	2158	130,2	18,5	A	M	S	
9	C9	26/07/12	94,6	93,9	1,0	7018	1,471	2231	145,5	20,7	A	M	S	
10	C10	26/07/12	94,5	94,0	1,0	7016	1,455	2205	130,7	18,6	A	M	S	
11	C11	26/07/12	73,6	73,7	1,0	4247	0,701	2239	111,6	26,3	A	M	S	
12	C12	26/07/12	94,6	94,1	1,0	7019	1,476	2235	152,8	21,8	A	M	S	
13	C13	26/07/12	94,5	93,6	1,0	7017	1,419	2162	133,8	19,1	A	M	S	
14	C14	26/07/12	73,7	73,9	1,0	4269	0,717	2273	68,3	16,0	A	M	S	
15	C15	26/07/12	94,2	94,0	1,0	6962	1,46	2230	130,3	18,7	A	M	S	
16	C16	26/07/12	94,5	94,0	1,0	7017	1,506	2284	124,6	17,8	A	M	S	

*: non sono presenti armature (trasversali e/o longitudinali) dopo la preparazione dei provini.

¹: dimensioni dopo la preparazione del provino

²: condizione di umidità della superficie provino al momento della prova (B= bagnata, A= asciutta)

³: metodo utilizzato per la preparazione delle superficie del provino (T = taglio, M = Molatura, R = rettifica mediante cappatura con cemento alluminoso)

⁴: S = Soddisfacente; NS (A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K) = non soddisfacente come da UNI EN 12390-3.

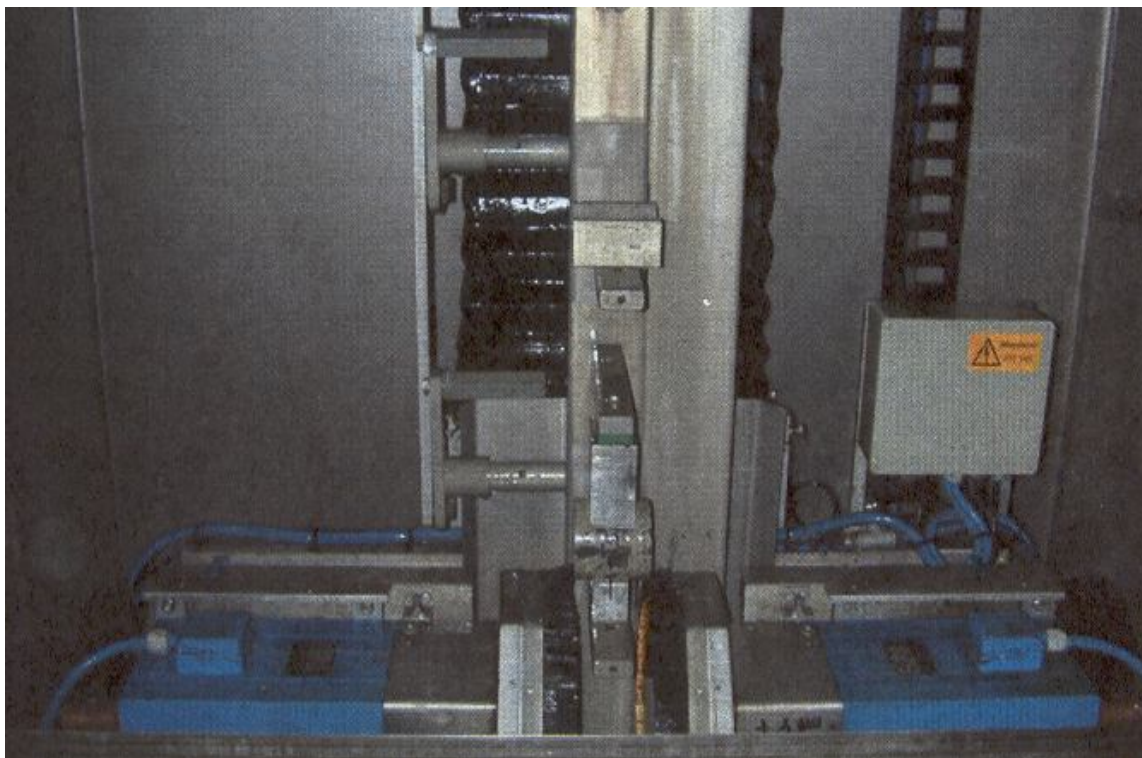


Figura 42 – Taglio della carota di cls

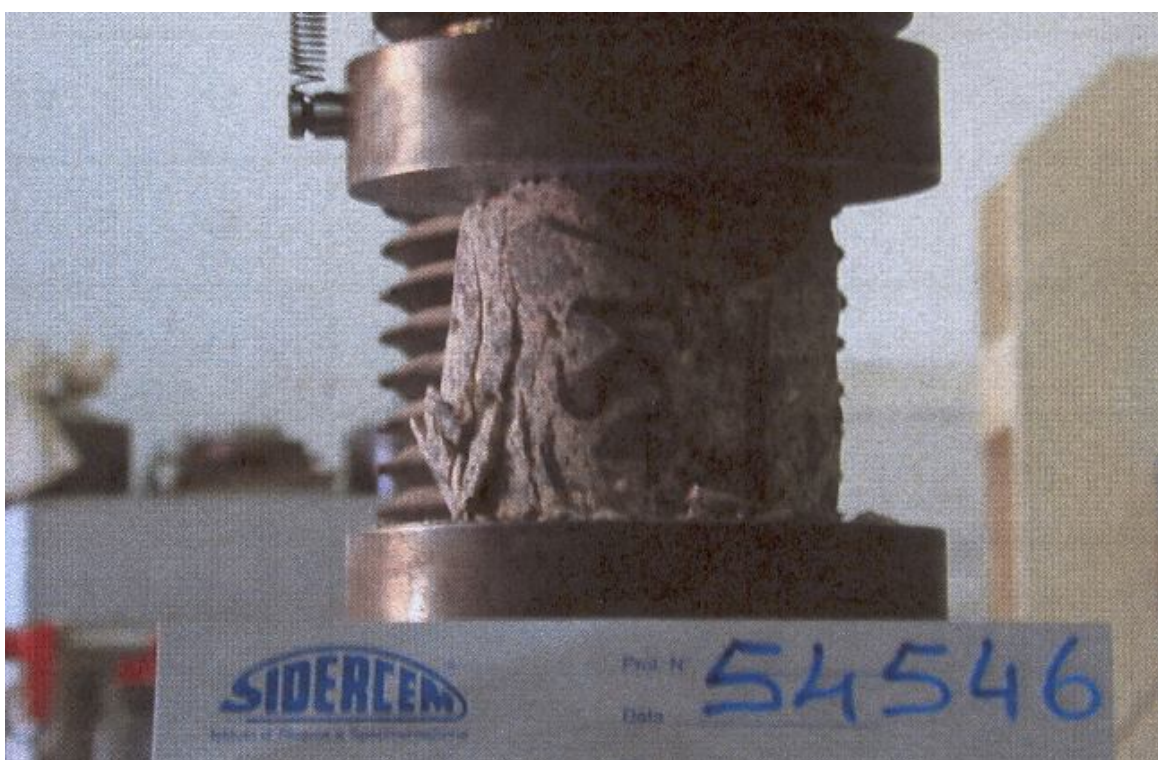


Figura 43 – Prova di compressione della carota di cls

I risultati delle carote sono stati interpretati utilizzando le diverse formule note in letteratura, fornite da Norme internazionali e Referenze tecniche qualificate. In particolare sono stati considerati i metodi di seguito descritti.

9.3.3. Fema 274

Per convertire le N resistenze ottenute sulle carote $f_{car,i}$ nelle resistenze equivalenti in-situ $f_{cls,i}$ viene fornita la seguente relazione:

$$f_{cls,i} = (F_{h/D} \times F_{dia} \times F_r) (F_{mc} \times F_{torc}) f_{car,i}$$

dove i coefficienti nella prima parentesi servono a correggere la resistenza delle carote estratte per ottenere resistenze su campioni cilindrici di diametro 100 mm, rapporto altezza diametro h/D pari a 2 e prive di armature incluse:

- $F_{h/D}$ è il coefficiente correttivo relativo al rapporto h/D, da assumere pari a 0.87, 0.93, 0.96, 0.98 e 1.00 per h/D pari, rispettivamente, a 1.0, 1.25, 1.50, 1.75 e 2.00;
- 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;
- F_r è il coefficiente correttivo relativo alla presenza di armature, da assumere pari a 1.00, 1.08 e 1.13 per la presenza, rispettivamente, di nessuna barra, 1 e 2 barre.
- I coefficienti nella seconda parentesi portano in conto le differenze tra le condizioni della carota e quelle del calcestruzzo nella struttura:
- F_{mc} porta in conto l'effetto del contenuto di umidità nella carota al momento della prova, da assumere pari a 1.09 per carote sature d'acqua e pari a 0.96 per carote completamente asciutte;
- F_{torc} è il coefficiente di disturbo per torcimento da sforzo torcente che, se il prelievo è effettuato tramite una valida attrezzatura da personale esperto in modo da poter rendere minimo il disturbo, comporta riduzioni medie della resistenza di rottura di circa il 10% (Barbarito); quindi può assumersi $F_{torc}=1/0.90$.

9.3.4. ASTM

Per convertire le N resistenze ottenute sulle carote $f_{car,i}$ nelle resistenze equivalenti in-situ $f_{cls,i}$ viene fornita la seguente relazione:

$$f_{cls,i} = (F_{h/D} \times F_{torc} \times F_{dir}) f_{car,i}$$

dove:

- $F_{h/D}$ è il coefficiente correttivo relativo al rapporto h/D, da assumere pari a 0.91, 0.94, 0.97, 0.99 e 1.00 per h/D pari, rispettivamente, a 1.0, 1.25, 1.50, 1.75 e 2.00;
- F_{torc} è lo stesso coefficiente riportato nel metodo Fema 274 ($F_{torc}=1/0.90$);
- F_{dir} è il coefficiente che tiene conto della direzione del carico di rottura applicato sulla carota rispetto alla direzione di costipamento del getto: se le due direzioni fossero parallele si avrebbe una riduzione della resistenza di rottura della carota dell'ordine del 5–8% in cls di classe 250 kg/cm², valore che però tende ad annullarsi con il migliorare della classe stessa. Nel caso in esame, essendo al direzione di rottura ortogonale a quella di costipamento del getto $F_{dir}=1$.

9.3.5. R. Dutron

In questo ulteriore caso, viene determinata la resistenza cubica partendo dalle resistenze ottenute sulle carote $f_{car,i}$, deve essere applicata la seguente relazione:

$$R_{cls,i} = (F_{Dutron} \times F_{torc} \times F_{dir}) f_{car,i}$$

dove:

- F_{Dutron} è il coefficiente proposto da Dutron, che permette di passare dalla resistenza cilindrica a quella cubica di lato 15 cm e di tener conto delle dimensioni della carota sottoposta a schiacciamento, è pari a:
- $F_{Dutron} = 1.05 / (0.65 + 0.7 / ((1 + D/20) \times (H/D) 1.25))$
- in cui:
- D è il diametro della carota in cm
- H è l'altezza della carota in cm
- F_{torc} è lo stesso coefficiente riportato nel metodo Fema 274 ($F_{torc} = 1/0.90$);
- F_{dir} è lo stesso coefficiente riportato nel metodo Fema 274 ($F_{dir} = 1$).
- La resistenza cilindrica è pari all'83% di quella cubica.

9.3.6. Linee Guida per il calcestruzzo strutturale – Consiglio Superiore sui LL. PP. (2008)

Le recenti "Linee Guida" del Consiglio Superiore sui Lavori Pubblici (2008), con riferimento alla valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in situ, stabiliscono che la resistenza "ottenuta attraverso il carotaggio sia non inferiore a 0.85 volte la resistenza cilindrica del calcestruzzo messo in opera". In questo senso la resistenza misurabile in situ è diversa da quella potenziale che avrebbe avuto lo stesso calcestruzzo se confezionato in provini con procedure standard. La resistenza del calcestruzzo è variabile in funzione della snellezza del campione ovvero del rapporto h/d in riferimento alla dimensione 150/300 mm.

Tabella 33 – Fattori di conversione fra provini cilindrici di diverse dimensioni

Dimensioni h/d mm/mm	100/200	150/300	200/400	250/500	300/600
Indici delle resistenze a compressione su cilindri di dimensioni h/d	102%	100%	97%	95%	91%

Lo stress a torsione sul cls causato dalla carotatrice durante l'estrazione del prelievo si considera in maniera analoga al metodo Fema 274 ($F_{torc} = 1/0.90$);

Inoltre, viene stabilito che la resistenza di carote con rapporto d'aspetto unitario possa essere assimilata a quelle di provini cubici, mentre quando il rapporto h/d=2.0, la resistenza cubica R_c è pari a $f_c/0.83$.

9.3.7. Sintesi dei risultati

I metodi sopra citati applicati per tutte le carote sottoposte a prova di compressione forniscono i valori delle resistenze meccaniche del calcestruzzo distintamente per pilastri e travi e per fondazione.

Tabella 34 – Resistenze del calcestruzzo dei carotaggi su travi e pilastri – *Corpo originario*

						Fema 274		ASTM		R. Dutron		Linee guida 2008		Valori medi	
Carota	Ubicazione	Diametro	Altezza	Snellezza	Resistenza sperimentale carota $f_{c,i}$	f_c	R_c	f_c	R_c	f_c	R_c	f_c	R_c	f_{cm}	R_{cm}
n°		mm	mm		MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
C1	Pil. P08 1° imp.	94,6	94,2	1,00	21,30	20,59	24,81	21,54	25,95	18,29	22,04	19,26	23,20	19,92	24,00
C3	Tr. P45-P51 1° imp.	94,6	94,0	0,99	23,40	22,62	27,25	23,66	28,51	20,07	24,18	21,16	25,49	21,88	26,36
C4	Pil. P26 1° imp.	94,5	94,4	1,00	26,40	25,52	30,75	26,69	32,16	22,70	27,35	23,87	28,76	24,70	29,75
C5	Tr. P15-P16 1° imp.	94,6	94,2	1,00	22,10	21,36	25,74	22,35	26,92	18,98	22,86	19,98	24,07	20,67	24,90
C7	Tr. P27-P28 2° imp.	94,6	94,0	0,99	23,30	22,52	27,14	23,56	28,38	19,98	24,08	21,07	25,38	21,78	26,24
C8	Pil. P29 2° imp.	94,6	94,0	0,99	18,50	17,88	21,55	18,71	22,54	15,87	19,12	16,73	20,15	17,30	20,84
C9	Tr. P53-P54 2° imp.	94,6	93,9	0,99	20,70	20,01	24,11	20,93	25,22	17,74	21,38	18,72	22,55	19,35	23,31
C10	Pil. P10 2° imp.	94,5	94,0	0,99	18,60	17,98	21,66	18,81	22,66	15,96	19,23	16,82	20,26	17,39	20,95
C11	Tr. P05-P08 3° imp.	73,6	73,7	1,00	26,30	25,42	30,63	26,59	32,04	21,94	26,43	23,78	28,65	24,43	29,44
C12	Pil. P08 3° imp.	94,6	94,1	0,99	21,80	21,07	25,39	22,04	26,56	18,71	22,54	19,71	23,75	20,38	24,56
C13	Pil. P29 3° imp.	94,5	93,6	0,99	19,10	18,46	22,24	19,31	23,27	16,35	19,70	17,27	20,81	17,85	21,50
Media					21,95	21,22	25,57	22,20	26,75	18,78	22,63	19,85	23,92	20,51	24,71

Tabella 35 – Resistenze del calcestruzzo dei carotaggi sulle fondazioni – *Corpo originario*

						Fema 274		ASTM		R. Dutron		Linee guida 2008		Valori medi	
Carota	Ubicazione	Diametro	Altezza	Snellezza	Resistenza sperimentale carota $f_{c,i}$	f_c	R_c	f_c	R_c	f_c	R_c	f_c	R_c	f_{cm}	R_{cm}
n°		mm	mm		MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
C6	Tr. P32-P41 Fond.	94,6	94,3	1,00	19,00	18,37	22,13	19,21	23,15	16,32	19,67	17,18	20,70	17,77	21,41
C14	Tr. P05-P08 Fond.	94,2	94,0	1,00	18,70	18,08	21,78	18,91	22,78	16,07	19,36	16,91	20,37	17,49	21,07
Media					18,85	18,22	21,95	19,06	22,96	16,19	19,51	17,04	20,53	17,63	21,24

Tabella 36 – Resistenze del calcestruzzo dei carotaggi su travi e pilastri – *Ampliamento*

						Fema 274		ASTM		R. Dutron		Linee guida 2008		Valori medi	
Carota	Ubicazione	Diametro	Altezza	Snellezza	Resistenza sperimentale carota f_{ci}	f_c	R_c	f_c	R_c	f_c	R_c	f_c	R_c	f_{cm}	R_{cm}
						MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
n°		mm	mm		MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
C2	Pil. A16 1° imp.	94,6	94,2	1,00	18,80	18,17	21,90	19,01	22,90	16,14	19,45	17,00	20,48	17,58	21,18
C14	Pil. A05 "calpestio"	73,7	73,9	1,00	16,00	15,47	18,63	16,18	19,49	13,36	16,10	14,47	17,43	14,87	17,91
Media					17,40	16,82	20,27	17,59	21,20	14,75	17,77	15,73	18,95	16,22	19,55

Tabella 37 – Resistenze del calcestruzzo dei carotaggi sulle fondazioni – *Ampliamento*

						Fema 274		ASTM		R. Dutron		Linee guida 2008		Valori medi	
Carota	Ubicazione	Diametro	Altezza	Snellezza	Resistenza sperimentale carota f_{ci}	f_c	R_c	f_c	R_c	f_c	R_c	f_c	R_c	f_{cm}	R_{cm}
						MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
C16	Tr. A04-A05 Fond.	94,5	94,0	0,99	17,80	19,56	23,56	18,00	21,68	15,27	18,40	16,09	19,39	17,23	20,76
Media					17,80	19,56	23,56	18,00	21,68	15,27	18,40	16,09	19,39	17,23	20,76

Nella Tabella 38 si riassumo i valori medi di resistenza del calcestruzzo estratto

Tabella 38 – Resistenze cilindriche medie dei carotaggi ragguagliate a D/H=150/300

Corpo strutturale	FEMA 274	ASTM	R. Dutron	L. G. 2008	Valor medio travi e pilastri	Valor medio fondazione
	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
Originario	20,95	21,72	18,38	19,42	20,51	17,63
Ampliamento	17,13	17,73	14,92	15,85	16,22	17,23

Per determinare la resistenza del calcestruzzo da confrontare con la classe prevista in progetto, sono stati mediati i valori delle carote (prove dirette) e delle sclerometrie (prove indirette). In particolare in accordo a quanto previsto dalla Circolare n°617 del 2009 le prove indirette sono state ponderate con peso pari a 1/3 rispetto alle prove dirette.

Da una media dei valori $f_{cm(car)}$ e $f_{cm(scl)}$ pesati sul numero di carote e sclerometrie è stata ricavata la resistenza del calcestruzzo a base di calcolo.

Tabella 39 – Resistenza calcestruzzo a base di calcolo su travi e pilastri – Corpo originario

	Valor medio [Mpa]	Quantità [n°]	Valor medio ponderato [Mpa]
$f_{cm(car)}$	20,51	11	23,12
$f_{cm(scl)}$	29,26	14/3=4,67	

Tabella 40 – Resistenza calcestruzzo a base di calcolo sulle fondazioni – Corpo originario

	Valor medio [Mpa]	Quantità [n°]	Valor medio ponderato [Mpa]
$f_{cm(car)}$	17,63	1	17,22
$f_{cm(scl)}$	16,61	2/3=0,67	

Tabella 41 – Resistenza calcestruzzo a base di calcolo su travi e pilastri – Ampliamento

	Valor medio [Mpa]	Quantità [n°]	Valor medio ponderato [Mpa]
$f_{cm(car)}$	16,22	2	21,31
$f_{cm(scl)}$	24,38	10/3=3,33	

Tabella 42 – Resistenza calcestruzzo a base di calcolo sulle fondazioni; Ampliamento

	Valor medio [Mpa]	Quantità [n°]	Valor medio ponderato [Mpa]
$f_{cm(car)}$	17,23	1	17,76
$f_{cm(scl)}$	19,36	1/3=0,33	

Pertanto i valori di calcolo per il calcestruzzo strutturale sono:

- **Corpo originario** $f_{cm} = 23,12 \text{ Mpa}$ per travi e pilastri;
 $f_{cm} = 17,22 \text{ Mpa}$ per le fondazioni;
- **Ampliamento** $f_{cm} = 21,31 \text{ Mpa}$ per travi e pilastri;
 $f_{cm} = 17,76 \text{ Mpa}$ per le fondazioni;

La resistenza da adottare nei calcoli viene riferita al valore medio delle resistenze in-situ ottenute, diviso il fattore di confidenza nel caso di verifiche non lineari in termini di deformazioni (SLU), altrimenti nel caso di verifiche non lineari in termini di resistenza (SLE) diviso il fattore di confidenza ed il coefficiente parziale del materiale:

- $FC = 1,20$
- $\gamma_m = 1,50$

La resistenza caratteristica può essere valutata secondo le relazioni riportate al paragrafo 11.2.10.1 del D.M. 14.01.2008:

- $f_{ck} = f_{cm} \times 0,85 \text{ MPa}$
- $R_{ck} = f_{ck} / 0,83 \text{ MPa}$

Il modulo di elasticità è stato ottenuto dalla relazione fornita dalle norme tecniche:

- $E_{cm} = 22.000 \times [f_{cm}/10]^{0,3}$

Per la valutazione della capacità deformativa delle sezioni critiche di travi e pilastri si è impiegato il suddetto valore.

Nelle verifiche globali si è utilizzato un modello a rigidità fessurata ottenuto assumendo una riduzione del modulo di elasticità in funzione del tipo di elemento strutturale, come suggerito dalla normativa americana FEMA356 di cui si riporta la tabella relativa. In particolare per le travi si è utilizzato un modulo di elasticità ridotto del 50% e per il pilastri un modulo ridotto del 30%.

Tabella 43 – Valori della rigidità fessurata secondo FEMA 356

Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial Rigidity
Beams—nonprestressed	$0.5E_cJ_g$	$0.4E_cA_w$	—
Beams—prestressed	E_cJ_g	$0.4E_cA_w$	—
Columns with compression due to design gravity loads $\geq 0.5 A_g f'_c$	$0.7E_cJ_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Columns with compression due to design gravity loads $\leq 0.3 A_g f'_c$ or with tension	$0.5E_cJ_g$	$0.4E_cA_w$	E_sA_s
Walls—uncracked (on inspection)	$0.8E_cJ_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Walls—cracked	$0.5E_cJ_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Flat Slabs—nonprestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_cA_g$	—
Flat Slabs—prestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_cA_g$	—

Di seguito si riporta il riepilogo dei valori dei parametri meccanici principali del calcestruzzo impiegati nell'ambito delle verifiche di sicurezza eseguite mediante un modello di calcolo tridimensionale.

Tabella 44 – Valori a base di calcolo del calcestruzzo

Parametro	Simbolo	Fattore di confidenza FC	Coefficiente parziale	Corpo orig. Travi/Pilastrini [MPa]	Corpo orig. Fondazioni [MPa]	Ampliamento Travi/Pilastrini [MPa]	Ampliamento Fondazioni [MPa]
Resistenza cilindrica media	f_{cm}	1,20	1,50	23,12	17,22	21,31	17,76
Modulo elastico	E_{cm}	-	-	28.289	25.895	27.605	26.136
Modulo elastico sezione fessurata pilastrini	$E_{c,fesspil}$	-	-	19.802	18.126	19.323	18.272
Modulo elastico sezione fessurata travi	$E_{c,fesstr}$	-	-	14.144	12.947	13.802	13.068

9.4. Confronto resistenza calcestruzzo da progetto e da indagine

Il confronto della resistenza ottenuta dalla indagini in situ con la classe del calcestruzzo ipotizzata in fase progettuale, presuppone la conversione della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera in una classe equivalente prevista nella UNI EN 206-1.

La norma UNI EN 13791 e le *Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale* del 2008 consentono la conversione dal valore medio a quello caratteristico del calcestruzzo attraverso due differenti approcci legati al numero di prove eseguite:

- approccio A \longrightarrow numero di prove ≥ 15
- approccio B \longrightarrow numero di prove < 15 (comunque > 3)

Secondo l'approccio A la resistenza caratteristica del calcestruzzo in opera (espressa in MPa) è data:

$$f_{ck, is} = \min \left[\begin{matrix} f_{m(n), is} - k_2 \cdot s \\ f_{is, lowest} + 4 \end{matrix} \right]$$

dove:

- $f_{ck, is}$ resistenza caratteristica del calcestruzzo in situ;
- $f_{m(n), is}$ resistenza media delle prove in situ;
- k_2 coefficiente che in mancanza di indicazioni specifiche si può assumere pari a 1,48;
- s rappresenta la deviazione standard dei risultati delle prove (valore minimo 2MPa);

Secondo l'approccio B la resistenza caratteristica del calcestruzzo in opera (espressa in MPa) è data:

$$f_{ck, is} = \min \left[\begin{array}{l} f_{m(n), is} - k \\ f_{is, lowest} + 4 \end{array} \right]$$

dove:

- k assume valori differenti al variare del numero di prove considerate, vale 5 nel caso di un numero di prove compreso tra 10 e 14; vale 6 nel caso di un numero di prove compreso tra 9 e 7 mentre vale 7 nel caso di un numero di prove compreso tra 6 e 3.
- $f_{is, lowest}$ resistenza minima in situ.

La resistenza caratteristica in situ, ottenuta tramite l'approccio A o B, si converte nella classe di resistenza del cls in opera tramite la seguente relazione

$$f_{ck, prog} = \frac{f_{ck, is(150 \times 300)}}{0,85}$$

dove:

- $f_{ck, prog}$ resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo di progetto;
- $f_{ck, is(150 \times 300)}$ resistenza caratteristica cilindrica in situ per un provino 150x300 mm.

La conversione tra provini cilindrici con differenti rapporti h/d deve essere effettuato tramite i valori della Tabella 33.

Tabella 45 – Conversione classe cls in resistenza caratteristica in situ – UNI EN 13791

Compressive strength class according to EN 206-1	Ratio of in-situ characteristic strength to characteristic strength of standard specimens	Minimum characteristic in-situ strength N/mm ²	
		$f_{ck, is, cyl}$	$f_{ck, is, cube}$
C8/10	0,85	7	9
C12/15	0,85	10	13
C16/20	0,85	14	17
C20/25	0,85	17	21
C25/30	0,85	21	26
C30/37	0,85	26	31
C35/45	0,85	30	38
C40/50	0,85	34	43
C45/55	0,85	38	47
C50/60	0,85	43	51
C55/67	0,85	47	57
C60/75	0,85	51	64
C70/85	0,85	60	72
C80/95	0,85	68	81
C90/105	0,85	77	89
C100/115	0,85	85	98

NOTE 1 The in-situ compressive strength may be less than that measured on standard test specimens taken from the same batch of concrete.

NOTE 2 The ratio 0,85 is part of γ_c in EN 1992-1-1: 2004.

Per l'edificio in esame, devono essere considerate sia le indagini dirette e sia le indirette con peso pari a 1/3.

Tabella 46 – Quantitativi indagini (carote e sclerometrie) – Corpo originario

	Sclerometrie	Carote	Totale
Travi e Pilastr	14/3=4,67	11	15,67
Fondazioni	2/3=0,67	1	1,67

Tabella 47 – Quantitativi indagini (carote e sclerometrie) – Ampliamento

	Sclerometrie	Carote	Totale
Travi e Pilastr	2/3=0,67	1	1,67
Fondazioni	1/3=0,33	1	1,33

9.4.1. Corpo originario

Di seguito si applica l'approccio A in cui:

- $f_{m(n),is}$ = 23,12 MPa
- k_2 = 1,48
- s è stato considerato pari a 2 MPa
- $f_{is,lowest}$ = 17,22 MPa

$$f_{ck,is(100x200)} = \min \left[\begin{array}{l} 23,12 - 1,48 \cdot 2,00 \\ 17,22 + 4 \end{array} \right] = 20,22 MPa$$

In definitiva applicando la conversione dalla resistenza caratteristica in situ e quella di progetto si ottiene:

$$f_{ck,prog} = \frac{f_{ck,is(150x300)}}{0,85} = \frac{20,22}{0,85} = 23,80 MPa$$

Pertanto dalle prove in situ eseguite sul corpo originario è stata determinata una classe equivalente del calcestruzzo delle travi e dei pilastr corrispondente a quella impiegata in progetto **C25/30**.

In accordo con la normativa vigente, le "limitate prove in-situ" eseguite sul corpo strutturale sono efficaci per il raggiungimento del Livello di Conoscenza Adeguata LC2.

9.4.2. Ampliamento

Di seguito si applica l'approccio B in cui:

- $f_{m(n),is}$ = 21,31 MPa
- k = vale 5 avendo eseguito un numero di prove compreso tra 10 e 14;
- $f_{is,lowest}$ = 18,67 MPa

$$f_{ck,is(100x200)} = \min \left[\begin{array}{l} 21,31 - 5 \\ 18,67 + 4 \end{array} \right] = 16,31 MPa$$

Applicando la conversione dalla resistenza caratteristica in situ a quella di progetto si ottiene:

$$f_{ck,prog} = \frac{f_{ck,is(150x300)}}{0,85} = \frac{16,31}{0,85} = 19,20 MPa$$

Pertanto dalle prove in situ eseguite sull'ampliamento è stata determinata una classe equivalente del calcestruzzo delle travi e dei pilastr corrispondente a quella impiegata in progetto **C20/25**.

In accordo con la normativa vigente, le "limitate prove in-situ" eseguite sul corpo strutturale sono efficaci per il raggiungimento del Livello di Conoscenza Adeguata LC2.

9.5. Caratteristiche meccaniche dell'acciaio delle armature

La valutazione delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio è stata ottenuta mediante Vickers (prove indirette) e l'estrazione di campioni di armature (prove dirette) con successiva prova di trazione fino a rottura. Prima dell'esecuzione delle prove di compressione delle carote estratte è stata accertata la presenza di fenomeni di corrosione. Il campione è stato sottoposto a misurazione geometrica, pesato e rettificato presso il laboratorio autorizzato all'esecuzione delle prove sui materiali da costruzione LA. SP. EDIL s.r.l. sito in contrada Fureria snc – 95032 Belpasso (CT)

Il complesso strutturale è stato indagato con un numero totale di 20 prove Vickers e 6 campioni di barre di armatura. Le prove sono state suddivise fra il corpo originario e l'ampliamento come riportato nella Tabella 48.

Tabella 48 – Quantitativi Vickers ed estrazione di barre

	Vickers	Campioni di barre
Corpo originario	12	4
Ampliamento	8	2
<i>Totale</i>	<i>20</i>	<i>6</i>

Le prove sono state eseguite in posizioni differenti fra i vari piani ottenendo una distribuzione planimetrica abbastanza omogenea con informazioni distribuite su tutta la struttura. Per maggiori dettagli sul calcolo del numero di elementi da indagare si rimanda al capitolo 6 o alla Perizia Tecnica Esecutiva. La collocazione planimetrica delle prove eseguite ai vari impalcati è consultabile negli elaborati grafici riportati nell' *Allegato 1.3*.

Tabella 49 – Ubicazioni Vickers

Vickers (N°)	Elemento indagato	Vickers (N°)	Elemento indagato
V1	Pilastro P8 – 1° impalcato	V11	Pilastro P54 – 2° impalcato
V2	Pilastro A16 – 1° impalcato	V12	Pilastro A18 – 2° impalcato
V3	Trave A04-A05 – 1° impalcato	V13	Trave A13-A17 – 2° impalcato
V4	Trave P45-P51 – 1° impalcato	V14	Trave P05-P08 – 3° impalcato
V5	Trave P15-P16 – 1° impalcato	V15	Pilastro P8 – 3° impalcato
V6	Trave P26-P27 – 1° impalcato	V16	Pilastro A04 – 3° impalcato
V7	Trave P27-P28 – 2° impalcato	V17	Trave A04-A05 – 3° impalcato
V8	Trave P20-P21 – 2° impalcato	V18	Trave P15-P16 – 3° impalcato
V9	Trave P32-P33 – 2° impalcato	V19	Pilastro A05 – calpestio
V10	Trave P53-P54 – 2° impalcato	V20	Trave A04-A05 – calpestio

Tabella 50 – Ubicazioni estrazioni barre

Barre (N°)	Elemento indagato
B1	Pilastro P8 – 1° impalcato
B2	Pilastro P54 – 2° impalcato
B3	Pilastro P8 – 3° impalcato
B4	Pilastro A05 – calpestio
B5	Trave P05-P08 – fondazione
B6	Trave A04-A05 – fondazione

9.6. Acciaio da progetto

9.6.1. Corpo originario

Materiali Arreviski
 - Calcestruzzo R'bk 300
 - Ferbo FeB44k.

Figura 44 – Calcestruzzo da progetto – corpo originario

Si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche dell'acciaio FeB44k.

Tabella 51 – Caratteristiche acciaio da progetto – corpo originario

Acciaio	FeB44k
- tensione di snervamento	$f_y =$ 430,0 MPa
- tensione di rottura	$f_t =$ 540,0 MPa
- modulo elastico	$E =$ 206000 MPa
- tensione ammissibile	$\sigma_{amm} =$ 255,00 MPa
- allungamento a rottura	$=$ 12,00 %
- coefficiente parziale del materiale	$g_s =$ 1,15

9.6.2. Ampliamento

DITTA: PROVINCIA DI ENNA

DITTA: PROVINCIA DI ENNA

MATERIALI PREVISTI
 CLASSE CALCESTRUZZO 250
 KC = 85 KG/CMQ.
 ACCIAIO
AD.MIGL. FeB 38 k CONIR.
 KF = 2200 KG/CMQ.

AMPLIAMENTO E MODIFICHE DELLO EDIFICIO SCOLASTICO ADIBITO A SEDE DELL'ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE DI TROINA.


TABELLA PILASTRI


MATERIALI PREVISTI
 CLASSE CALCESTRUZZO 250
 KC = 85 KG/CMQ.
 ACCIAIO
AD.MIGL. FeB 38 k CONIR.
 KF = 2200 KG/CMQ.

AMPLIAMENTO E MODIFICHE DELLO EDIFICIO SCOLASTICO ADIBITO A SEDE DELL'ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE DI TROINA.

IMPALCATO N. 2

ESECUTIVI DI CANTIERE


 IL CALCOLATORE


 IL DIRETTORE LAVORI

IL COMMITTENTE

ESECUTIVI DI CANTIERE

IL CALCOLATORE

IL DIRETTORE LAVORI

IL COMMITTENTE

Figura 45 – Calcestruzzo da progetto – ampliamento

Si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche dell'acciaio FeB38k

Tabella 52 – Caratteristiche acciaio da progetto – ampliamento

Acciaio	FeB38k
- tensione di snervamento	$f_y = 380,0$ MPa
- tensione di rottura	$f_t = 450,0$ MPa
- modulo elastico	$E = 206000$ MPa
- tensione ammissibile	$\sigma_{amm} = 215,00$ MPa
- allungamento a rottura	$= 14,00$ %
- coefficiente parziale del materiale	$g_s = 1,15$

9.7. Indagini sull'acciaio

Le indagini eseguite mirano alla valutazione delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio distintamente per il corpo originario e per l'ampliamento.

Sul corpo originario sono state eseguite 12 Vickers e 4 estrazioni di barre, mentre sull'ampliamento sono state eseguite 8 Vickers e 2 estrazioni di barre.

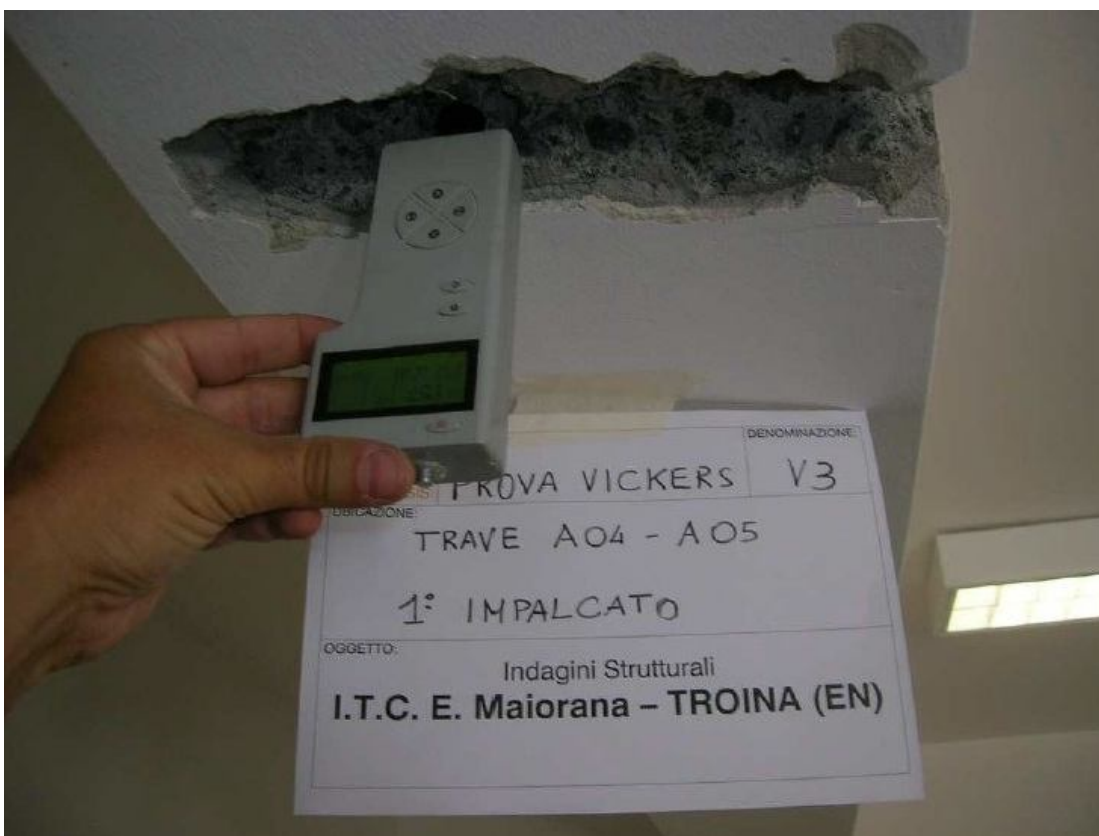


Figura 46 – Prova Vickers



Figura 47 – Estrazione barra B2

Di seguito nella si riportano i risultati delle prove Vickers eseguite sui due corpi suddivisi come dalla seguente legenda.

	Corpo originario
	Ampliamento

Tabella 53 – Risultati prove Vickers (*Diagnosis s.r.l.*)

PROVA	ELEMENTO STRUTTURALE	PIANTA	LETTURE				DUREZZA Hvmed	RESISTENZA A TRAZIONE [Mpa]
V1	Pilastro P08 - BARRA	1° impalcato	111	130	106	129	119	382
			108	104	129	131		
V2	Pilastro A16 - BARRA	1° impalcato	123	118	118	105	119	382
			118	123	124	122		
V3	Trave A04-A05 - BARRA	1° impalcato	107	135	115	129	120	385
			125	119	120	109		
V4	Trave P45-P51 - BARRA	1° impalcato	132	135	112	117	117	376
			105	112	117	105		
V5	Trave P15-P16 - BARRA	1° impalcato	116	137	119	125	121	388
			134	121	115	103		
V6	Trave P26-P27 - BARRA	1° impalcato	125	127	120	125	120	385
			117	109	123	117		
V7	Trave P27-P28 - BARRA	2° impalcato	135	110	123	125	120	385
			110	121	121	116		
V8	Trave P20-P21 - BARRA	2° impalcato	132	105	115	125	120	385
			120	108	132	122		
V9	Trave P32-P33 - BARRA	2° impalcato	120	121	117	124	120	385
			125	119	122	115		
V10	Trave P53-P54 - BARRA	2° impalcato	110	114	118	132	119	382
			133	100	113	132		
V11	Pilastro P54 - BARRA	2° impalcato	118	105	101	117	114	370
			119	120	105	126		
V12	Pilastro A18 - BARRA	2° impalcato	121	129	124	106	119	382
			114	118	114	122		
V13	Trave A13-A17 - BARRA	2° impalcato	121	119	124	116	119	382
			114	128	114	112		
V14	Trave P05-P08 - BARRA	3° impalcato	73	86	99	118	114	370
			127	149	131	125		
V15	Pilastro P08 - BARRA	3° impalcato	115	122	105	116	119	382
			118	125	129	120		
V16	Pilastro A04 - BARRA	3° impalcato	121	135	113	119	118	380
			131	108	104	115		
V17	Trave A04-A05 BARRA	3° impalcato	109	112	127	109	120	385
			121	127	121	133		
V18	Trave P15-P16 BARRA	3° impalcato	103	124	118	130	120	385
			133	109	122	120		
V19	Pilastro A05 - BARRA	calpestio	135	130	120	109	119	382
			118	125	116	102		
V20	Trave A04-A05 BARRA	calpestio	115	129	116	120	120	385
			118	115	125	124		

La Tabella 54 riporta i risultati delle prove di resistenza a trazione dei prelievi di barre eseguiti su ciascun corpo. Si rimanda all'*Allegato 1.1.* per il report completo delle prove di trazione eseguite. Negli elaborati grafici dell'*Allegato 1.3.* sono indicate le ubicazioni delle estrazioni di barre in planimetria.

Tabella 54 – Risultati prove di trazione delle barre

sigla	Trazione									PRODUTTORE
	d_n mm	S_e mm ²	f_y N/mm ²	f_t N/mm ²	(f_t/f_y)	$(f_y/f_{y, nom})$	A_t %	A_g %	A_{gt} %	
B1	14	143,56	437	639	1,46	0,97	26,4	13,4	13,8	Produttore non identificato tra quelli presenti presso il STC
B2	14	148,85	445	652	1,46	0,99	26,2	12,8	13,1	Produttore non identificato tra quelli presenti presso il STC
B3	12	114,09	568	801	1,41	1,26	20,4	11,3	11,7	Produttore non identificato tra quelli presenti presso il STC
B4	18	239,14	486	564	1,16	1,08	28,6	10,6	10,9	Produttore non identificato tra quelli presenti presso il STC
B5	10	78,16	398	478	1,20	0,88	24,2	13,4	13,7	Produttore non identificato tra quelli presenti presso il STC
B6	18	241,73	482	576	1,20	1,07	24,8	9,6	9,9	Produttore non identificato tra quelli presenti presso il STC

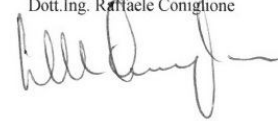
Legenda:

d_n diametro nominale della barra; S_e sezione efficace della barra; f_y tensione di snervamento; f_t tensione di rottura; (f_t/f_y) rapporto tra tensione di rottura e tensione di snervamento; $(f_y/f_{y, nom})$ rapporto tra tensione di snervamento e tensione caratteristica di snervamento; A_t allungamento su cinque diametri, dopo rottura; A_g allungamento non proporzionale sotto carico massimo; A_{gt} allungamento totale sotto carico massimo.

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. Giuseppe Musumeci



Il Direttore del Laboratorio
Dott. Ing. Raffaele Coniglione




Dai risultati riportati per ciascun provino è stato ricavato il valore medio di seguito confrontato con le caratteristiche dell'acciaio da progetto.

Tabella 55 – Resistenze medie prove Vickers – Corpo originario

Vickers (N°)	Elemento indagato	f_{yVic} [Mpa]	f_{ymVic} [Mpa]
V1	Pilastro P08 – 1° impalcato	382	
V4	Trave P45-P51 – 1° impalcato	376	
V5	Trave P15-P16 – 1° impalcato	388	
V6	Trave P26-P27 – 1° impalcato	385	
V7	Trave P27-P28 – 2° impalcato	385	
V8	Trave P20-P21 – 2° impalcato	385	
V9	Trave P32-P33 – 2° impalcato	385	381
V10	Trave P53-P54 – 2° impalcato	382	
V11	Pilastro P54 – 2° impalcato	370	
V14	Trave P05-P08 – 3° impalcato	370	
V15	Pilastro P08 – 3° impalcato	382	
V18	Trave P15-P16 – 3° impalcato	385	

Tabella 56 – Resistenze medie prove Vickers – Ampliamento

Vickers (N°)	Elemento indagato	f_{yVic} [Mpa]	f_{ymVic} [Mpa]
V2	Pilastro A16 – 1° impalcato	382	383
V3	Trave A04–A05 – 1° impalcato	385	
V12	Pilastro A18 – 2° impalcato	382	
V13	Trave A13–A17 – 2° impalcato	382	
V16	Pilastro A04 – 3° impalcato	380	
V17	Trave A04–A05 – 3° impalcato	385	
V19	Pilastro A05 – calpestio	382	
V20	Trave A04–A05 – calpestio	385	

Da una media dei valori $f_{ym(bar)}$ e $f_{ym(Vic)}$ pesati sul numero di prove di trazione (prove dirette) e Vickers (prove indirette) è stata ricavata la resistenza delle barre d'acciaio a base di calcolo. Le Vickers, essendo delle prove indirette, hanno peso pari a 1/3 rispetto alle prove di trazione nel calcolo della media.

Le prove eseguite non hanno manifestato differenze, in termini di resistenza, per l'acciaio impiegato nelle strutture in elevazione e nella fondazione. E' stata individuata una classe di resistenza unica per ciascun corpo strutturale.

Tabella 57 – Resistenza acciaio a base di calcolo su travi e pilastri – Corpo originario

	Valor medio [MPa]	Quantità [n°]	Valor medio ponderato [MPa]
$f_{ym(bar)}$	462	4	422
$f_{ym(Vic)}$	381	12/3=4	

Tabella 58 – Resistenza calcestruzzo a base di calcolo sulle fondazioni – Ampliamento

	Valor medio [MPa]	Quantità [n°]	Valor medio ponderato [MPa]
$f_{ym(bar)}$	484	2	426
$f_{ym(Vic)}$	383	8/3=2,67	

Pertanto i valori di calcolo per il calcestruzzo strutturale sono:

- **Corpo originario** $f_{cm} = 422 \text{ MPa}$
- **Ampliamento** $f_{cm} = 426 \text{ MPa}$

La resistenza e l'allungamento a rottura dell'acciaio sono stati ricavati dalla media dei risultati delle prove di trazione delle barre d'acciaio prelevate. Di seguito la Tabella 59 riporta le resistenze meccaniche delle armature per ciascuno dei due corpi strutturali.

La resistenza da adottare nei calcoli viene riferita al valore medio delle resistenze in-situ ottenute, diviso il fattore di confidenza nel caso di verifiche non lineari in termini di deformazioni (SLU), altrimenti nel caso di verifiche non lineari in termini di resistenza (SLE) diviso il fattore di confidenza ed il coefficiente parziale del materiale:

- $FC = 1,20$
- $\gamma_m = 1,15$

Per quanto concerne il modulo di elasticità dell'acciaio esso è usualmente pari al valore:

- $E_s = 206000 = 2,06 \times 10^5 \text{ MPa}$

Tabella 59 – Valori a base di calcolo per l'acciaio

Parametro	Simbolo	Fattore di confidenza FC	Coefficiente parziale	Corpo originario	Ampliamento
Tensione di snervamento	f_{ym} [MPa]	1,20	1,15	422	426
Tensione di rottura	f_{tm} [MPa]	1,20	1,15	643	520
Modulo elastico	E_s [MPa]	-	-	$2,06 \times 10^5$	$2,06 \times 10^5$
Allungamento a rottura	A_{rm} [%]	-	-	10,9	10,4

9.8. Confronto resistenza acciaio da progetto e da indagine

Le resistenze allo snervamento ottenute dalla media dei valori delle prove in situ convalidano le classi di acciaio previste in progetto **FeB44k e FeB38k** rispettivamente per il corpo originario e l'ampliamento. In particolare è stata rilevata una resistenza media delle barre di acciaio impiegate nell'ampliamento maggiore della classe FeB38k, non si esclude pertanto l'impiego di un acciaio con caratteristiche meccaniche migliori di quelle previste in progetto.

In accordo con la normativa vigente, le "limitate prove in-situ" eseguite sul corpo strutturale sono efficaci per il raggiungimento del Livello di Conoscenza Adeguata LC2.

10. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per poter valutare gli eventuali effetti di amplificazione locale, dovuti all'attraversamento delle onde sismiche degli strati superficiali di terreno sono stati utilizzati i parametri ottenuti dalla indagine "Refraction Microtremor" (di seguito ReMi) che si basa sulla modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh. Essa è stata condotta in prossimità dell'edificio oggetto della verifica e la relazione geologica-technica redatta dalla *Diagnosis s.r.l.* è riportata integralmente nell' *Allegato 1.1.*

La più comune prova MASW, ha una procedura operativa molto simile alla ReMi e consente una dettagliatissima ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo, ma offre limitazioni per quanto riguarda la profondità di investigazione che difficilmente riesce ad oltrepassare i venti metri vincolo che la prova ReMi non manifesta. Inoltre la prova ReMi si può ben eseguire in ambienti "ostili" quali quelli urbani. Ciò è possibile grazie al fatto che il rumore rappresenta la fonte di segnale utile per ottenere le informazioni richieste.

La prova eseguita mediante sismica di superficie con l'impiego di 16 geofoni interposti ad una distanza di 2,0 metri sul piano orizzontale, consente la determinazione del parametro di riferimento V_{S30} ovvero la velocità media delle onde di taglio in uno spessore di terreno profondo 30 metri dal piano di campagna.

Il V_{S30} così calcolato, individua il "tipo di sotto-suolo" secondo le prescrizioni di cui alla *tabelle 3.2.II e 3.2.III* del D.M. 14/01/2008, (Tabella 22).

I valori numerici ottenuti dalla prova ReMi per ogni singolo strato di terreno indagato fino alla profondità di 30 metri sono riassunti nella Tabella 60.

Tabella 60 – Risultati prova ReMi

Strato	ReMi	
	da-a (m)	Vs (medie)
1	0,0-0,9	124,5 m/s
2	0,9-12,3	671 m/s
3	12,3-24,5	420 m/s
4	24,5-30	550,9 m/s
VS30	0-30	407,59 m/s

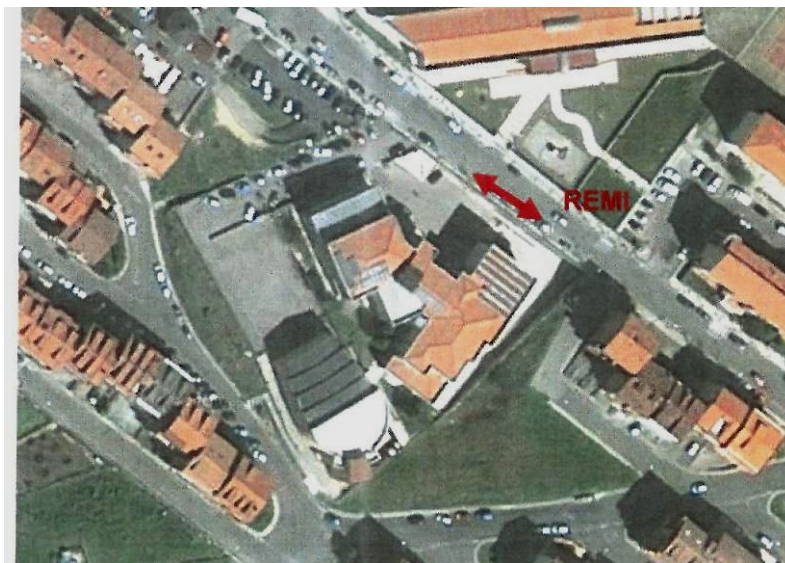


Figura 48 – Ubicazione prova ReMi

In conclusione, dalla relazione geologico–tecnica allegata, è stata individuata la categoria di sottosuolo in cui ricade la costruzione oggetto della verifica mediante i seguenti dati:

- $V_{S30} = 407,59$ m/s
- Categoria di suolo B

La categoria di suolo individuata dalle relazioni e dati geologici acquisiti e analizzati nel capitolo 7 è stata confermata dalla prova ReMi eseguita.

11. ALLEGATI

- *Allegato 1.1.* Indagini strutturali e report di Laboratorio – *Diagnosis s.r.l.*;
- *Allegato 1.2.* Carpenterie aggiornate;
- *Allegato 1.3.* Piano di indagine aggiornato;
- *Allegato 1.4.* Documentazione fotografica.

Tecnici incaricati

dott. ing. Giuseppe Puleo
via Kennedy 60
95024 Acireale

dott. ing. Marco Muratore
via Cesare Vivante, 69
95123 Catania

dott. ing. Andrea Toscano
via Vittorio Emanuele III, 341
95032 Belpasso

BIBLIOGRAFIA E REFERENZE TECNICHE

Azioni sulle strutture e norma di dettaglio per la zona sismica

- **D.M. 14 gennaio 2008** – Norme tecniche per le costruzioni
- **Circolare 2 febbraio 2009 n.617 C.S.LL.PP.** – Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008

Referenze tecniche

- **UNI EN 206-1/2001** – Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità.
- **Linee Guida sul calcestruzzo strutturale**, Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (febbraio 2008)
- **UNI ENV 1992-1-1 Parte 1-1**: Regole generali e regole per gli edifici.
- **UNI EN 1998 – 1** – Azioni sismiche e regole sulle costruzioni
- Ordinanza P.C.M. 3274/2003 come modificata dall'Ordinanza P.C.M. 3431 del 3/5/05
- DPCM 21-10-2003 Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4, dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003
- FEMA 356 Seismic Rehabilitation Prestandard
- UNI EN 12504-1/2002: Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Carote – Prelievo
- UNI EN 12390-1/2002: Prova sul calcestruzzo indurito – Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseforme
- UNI EN 12390-3/2002: Prova sul calcestruzzo indurito – Resistenza alla compressione dei provini
- UNI 9771/1990 determinazione parametri elastici dinamici mediante frequenza di risonanza
- UNI 9944/1992: Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo.
- BS 1881:204/1988 Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters
- UNI EN 10002-1:2004 Materiali metallici. Prova di trazione. Metodo di prova (a temperatura ambiente)
- UNI EN 13791-1-2007 Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture in cls
- ASTM C 1197: 1992

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento di Troina	7
Figura 2 – Ortofoto dell'area di ubicazione dell'I.T.C. di Troina.....	8
Figura 3 – Planivolumetrico dell'I.T.C. di Troina	8
Figura 4 – Pianta piano terra (corpo originario)	9
Figura 5 – Pianta piano primo (corpo originario)	10
Figura 6 – Pianta piano secondo (corpo originario).....	10
Figura 7 – Pianta copertura (corpo originario)	11
Figura 8 – Pianta piano terra (ampliamento)	11
Figura 9 – Pianta primo e secondo piano (ampliamento)	12
Figura 10 – Pianta copertura (ampliamento)	12
Figura 11 – Sezione longitudinale	13
Figura 12 – Sezione trasversale	13
Figura 13 – Vista dell'aula magna e dell'I.T.C. da via Don Luigi Sturzo	13
Figura 14 – Scheda di livello "0"	20
Figura 15 – Tabella dei pilastri del progetto originario	30
Figura 16 – Dettaglio costruttivo pilastri corpo originario	30
Figura 17 – Carpenteria primo solaio corpo originario	32
Figura 18 – Carpenteria secondo solaio corpo originario	32
Figura 19 – Carpenteria terzo solaio corpo originario	33
Figura 20 – Stralcio tabelle dei pilastri ampliamento	34
Figura 21 – Carpenteria piano tipo dell'ampliamento	35
Figura 22 – Esecuzione prova pacometrica.....	47
Figura 23 – Prelievo campione calcestruzzo mediante carotiere.....	48
Figura 24 – Misura dello strato di calcestruzzo soggetto a carbonatazione	49
Figura 25 – Fasi di prova di compressione sui campioni di calcestruzzo	50
Figura 26 – Prova di pull-out	50
Figura 27 – Relazione tra Indice di battuta e resistenza cubica del calcestruzzo	51
Figura 28 – Prelievo campione acciaio	52
Figura 29 – Esecuzione prova Vickers.....	53
Figura 30 – Ubicazione delle indagini geognostiche	55
Figura 31 – Colonna stratigrafica.....	56
Figura 32 – Prove penetrometriche	56
Figura 33 – Profilo stratigrafico	57
Figura 34 – Tipologie di onde	63
Figura 35 – Strumentazione prova ReMi.....	63
Figura 36 – Saggio strutturale S7, assenza di staffe nel nodo	66
Figura 37 – Pacometria P18, assenza di staffe nel nodo.....	66
Figura 38 – Calcestruzzo da progetto – corpo originario	77
Figura 39 – Calcestruzzo da progetto – ampliamento.....	78
Figura 40 – Esecuzione prova sclerometrica.....	79
Figura 41 – Esecuzione carota C12	79

Figura 42 – Taglio della carota di cls.....	93
Figura 43 – Prova di compressione della carota di cls.....	93
Figura 44 – Calcestruzzo da progetto – corpo originario	103
Figura 45 – Calcestruzzo da progetto – ampliamento.....	103
Figura 46 – Prova Vickers.....	104
Figura 47 – Estrazione barra B2.....	105
Figura 48 – Ubicazione prova ReMi	111

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Dati del progetto generale	14
Tabella 2 – Dati del progetto dell'ampliamento.....	14
Tabella 3 – Dati del progetto dell'aula magna.....	15
Tabella 4 – Dati del progetto generale	15
Tabella 5 – Dati del progetto dell'ampliamento.....	15
Tabella 6 – Caratteristiche geometriche del corpo originario.....	22
Tabella 7 – Caratteristiche geometriche dell'ampliamento	22
Tabella 8 (Tabella C8A.1.2) – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile	23
Tabella 9 (Tab. C8A.1.3a) – Definizione dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.	25
Tabella 10 – Estratto della Tabella C8A.1.2	28
Tabella 11 – Estratto della Tabella C8A.1.3a	28
Tabella 12 – Riepilogo delle verifiche limitate	37
Tabella 13 – Riepilogo delle verifiche limitate	37
Tabella 14 – Riepilogo delle verifiche limitate	39
Tabella 15 – Riepilogo delle verifiche limitate	40
Tabella 16 – Riepilogo prove limitate	41
Tabella 17 – Riepilogo prove limitate	41
Tabella 18 – Riepilogo prove limitate	42
Tabella 19 – Riepilogo prove limitate	42
Tabella 20 – Prove sul calcestruzzo	53
Tabella 21 – Prove sull'acciaio	54
Tabella 22 (Tabella 3.2.II) – Categorie di sottosuolo.....	60
Tabella 23 – Riepilogo parametri per la definizione della categoria di suolo.....	61
Tabella 24 – Quantitativi carote e sclerometrie	76
Tabella 25 – Ubicazione sclerometrie	76
Tabella 26 – Ubicazioni carote.....	77
Tabella 27 – Caratteristiche calcestruzzo da progetto – corpo originario	77
Tabella 28 – Caratteristiche calcestruzzo da progetto – ampliamento.....	78
Tabella 29 – Caratteristiche calcestruzzo indagini sclerometriche – corpo originario.....	90
Tabella 30 – Caratteristiche calcestruzzo indagini sclerometriche – ampliamento	90
Tabella 31 – Caratteristiche carote estratte (<i>Diagnosis s.r.l.</i>).....	91
Tabella 32 – Risultati prove di compressione carote (<i>LA.SP.EDIL s.r.l.</i>).....	92
Tabella 33 – Fattori di conversione fra provini cilindrici di diverse dimensioni	95
Tabella 34 – Resistenze del calcestruzzo dei carotaggi su travi e pilastri – <i>Corpo originario</i>	96
Tabella 35 – Resistenze del calcestruzzo dei carotaggi sulle fondazioni – <i>Corpo originario</i>	96
Tabella 36 – Resistenze del calcestruzzo dei carotaggi su travi e pilastri – <i>Ampliamento</i>	97
Tabella 37 – Resistenze del calcestruzzo dei carotaggi sulle fondazioni – <i>Ampliamento</i>	97
Tabella 38 – Resistenze cilindriche medie dei carotaggi ragguagliate a D/H=150/300	97
Tabella 39 – Resistenza calcestruzzo a base di calcolo su travi e pilastri – <i>Corpo originario</i>	97
Tabella 40 – Resistenza calcestruzzo a base di calcolo sulle fondazioni – <i>Corpo originario</i>	98
Tabella 41 – Resistenza calcestruzzo a base di calcolo su travi e pilastri – <i>Ampliamento</i>	98

Tabella 42 – Resistenza calcestruzzo a base di calcolo sulle fondazioni; Ampliamento	98
Tabella 43 – Valori della rigidezza fessurata secondo FEMA 356	99
Tabella 44 – Valori a base di calcolo del calcestruzzo	99
Tabella 45 – Conversione classe cls in resistenza caratteristica in situ – UNI EN 13791	100
Tabella 46 – Quantitativi indagini (carote e sclerometrie) – Corpo originario	101
Tabella 47 – Quantitativi indagini (carote e sclerometrie) – Ampliamento	101
Tabella 48 – Quantitativi Vickers ed estrazione di barre	102
Tabella 49 – Ubicazioni Vickers	102
Tabella 50 – Ubicazioni estrazioni barre	102
Tabella 51 – Caratteristiche acciaio da progetto – corpo originario	103
Tabella 52 – Caratteristiche acciaio da progetto – ampliamento	104
Tabella 53 – Risultati prove Vickers (<i>Diagnosis s.r.l.</i>)	106
Tabella 54 – Risultati prove di trazione delle barre	107
Tabella 55 – Resistenze medie prove Vickers – Corpo originario	107
Tabella 56 – Resistenze medie prove Vickers – Ampliamento	108
Tabella 57 – Resistenza acciaio a base di calcolo su travi e pilastri – Corpo originario	108
Tabella 58 – Resistenza calcestruzzo a base di calcolo sulle fondazioni – Ampliamento	108
Tabella 59 – Valori a base di calcolo per l'acciaio	109
Tabella 60 – Risultati prova ReMi	110
Tabella 61 – Valori a base di calcolo del calcestruzzo	117
Tabella 62 – Valori a base di calcolo per l'acciaio	117

RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI E DEL TERRENO

Calcestruzzo

Tabella 61 – Valori a base di calcolo del calcestruzzo

Parametro	Simbolo	Fattore di confidenza FC	Coefficiente parziale	Corpo orig. Travi Pilastri [MPa]	Corpo orig. Fondazioni [MPa]	Ampliamento Fondazioni [MPa]	Ampliamento Fondazioni [MPa]
Resistenza cilindrica media	f_{cm}	1,20	1,50	23,12	17,22	21,31	17,76
Modulo elastico	E_{cm}	-	-	28.289	25.895	27.605	26.136
Modulo elastico sezione fessurata pilastri	$E_{c,fesspil}$	-	-	19.802	18.126	19.323	18.272
Modulo elastico sezione fessurata travi	$E_{c,fesstr}$	-	-	14.144	12.947	13.802	13.068

Acciaio

Tabella 62 – Valori a base di calcolo per l'acciaio

Parametro	Simbolo	Fattore di confidenza FC	Coefficiente parziale	Corpo originario	Ampliamento
Tensione di snervamento	f_{ym} [MPa]	1,20	1,15	422	426
Tensione di rottura	f_{tm} [MPa]	1,20	1,15	643	520
Modulo elastico	E_s [MPa]	-	-	2,06x10⁵	2,06x10⁵
Allungamento a rottura	A_{rm} [%]	-	-	10,9	10,4

Terreno

- $V_{S,30} = 407,59$ m/s
- **Categoria di suolo B**