



COMUNE DI NAPOLI  
 DIREZIONE CENTRALE PIANIFICAZIONE E GESTIONE DEL TERRITORIO - SITO UNESCO  
 SERVIZIO PROGRAMMA UNESCO E VALORIZZAZIONE DELLA CITTÀ STORICA

## Programma Operativo Regionale FESR Campania 2007-2013

Asse 6 Sviluppo urbano e qualità della vita

Obiettivo operativo 6.2 - Napoli e area metropolitana

Grande Progetto *Centro storico di Napoli valorizzazione del sito UNESCO*

# COMPLESSO MONUMENTALE DI SAN PAOLO MAGGIORE



I Progettisti:

**CFC GROUP S.R.L.**

CFC GROUP S.R.L.  
 Viale Kennedy 5 - 80124 Napoli  
 P.IVA 06720040830

ing. Salvatore Masciolo  
 tel. 3341207887  
 e-mail: [Salvatore.Masciolo@cfcgroup.it](mailto:Salvatore.Masciolo@cfcgroup.it)

COMUNE DI NAPOLI  
 Città Metropolitana di Napoli



## RESTAURO E RIFUNZIONALIZZAZIONE DEL COMPLESSO MONUMENTALE DI SAN PAOLO MAGGIORE

*Intervento di riparazione e consolidamento statico del Chiostro*

# Si

## Relazione Geologica ed indagini

Il committente	Il direttore dei lavori	L'impresa esecutrice	Il Collaudatore	REV.01 10/2021
----------------	-------------------------	----------------------	-----------------	-------------------



---

## **5.2.2\_Relazione geologica\_San Paolo Maggiore**

---

**Restauro Complesso San Paolo Maggiore  
Via San Paolo 9/D**

---

**Geologo: dott. G. Abagnale**

---

---

**Committente:  
CFC Group S.r.l.**

---

---

**Data. gennaio 2021**

---

**PREMESSA**

**INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

**CARATTERI GEOMORFOLOGICI**

**CARATTERI IDROGEOLOGICI**

**ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO**

**ELABORAZIONE PROVE**

**UNITA' LITOTECNICHE**

**CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

## PREMESSA

Su incarico della società *CFC Group S.r.l.*, si è provveduto alla stesura della presente relazione geologica relativa al *Restauro del Complesso di San Paolo Maggiore* in Napoli, mediante la caratterizzazione geotecnica dei terreni del sottosuolo di interesse e la modellazione sismica del sito di costruzione.

Le indagini geognostiche eseguite dalla società INGE S.r.l., autorizzata dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con Decreto n°154 del 19.04.2011, sono consistite in:

- caratterizzazione sismica del sito con indagini specifiche di sismica passiva a stazione singola HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*);
- prove penetrometrica DPSH con prelievo di campione indisturbato per la caratterizzazione geotecnica in laboratorio dei terreni interessati dal progetto.

Lo studio è stato condotto in osservanza alle seguenti normative vigenti:

Decreto Ministeriale 17.01.2018 Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni.

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Eurocodice 8 (1998) Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture.

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003) Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. – UNI Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002).

Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002).

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il punto altimetricamente più elevato è in corrispondenza di S. Aniello a Caponapoli (68 m s.l.m.), mentre sul versante prospiciente il mare la quota più alta si raggiunge nella zona di S.Marcellino.

Poco distante da detti luoghi, nell'area compresa tra via Grande Archivio e via Duomo, vi è una depressione dovuta ad una insenatura lungo la linea di costa dove, in epoca medioevale, vi era un accesso al mare attraverso Portanova.

Il pianoro era circoscritto su tre lati da profondi fossati naturali che fungevano da baluardo difensivo il lato mare era protetto da un salto (ad eccezione dell'insenatura poc'anzi descritta). A testimoniare questa antica morfologia vi sono ancora oggi, nonostante i tagli operati dal risanamento, le differenze di quota che si rilevano tra l'altura di S.Giovanni Maggiore rispetto alla sottostante via Sedile di Porto, quelle del monastero di S.Marcellino e di S.Agostino alla Zecca rispetto all'area posta a monte di c.so Umberto I.

Un altro salto esisteva, tra via Tribunali e via Spaccanapoli, una riprova di ciò ci viene dal tempio dei Dioscuri (attuale basilica di S.Gaetano) che si trovava molto più in alto delle costruzioni oggi visibili al di sotto della chiesa di S.Lorenzo Maggiore. L'evidenza morfologica attuale ci è data dalla pendenza di via S.Gregorio Armeno.

Il confine settentrionale del pianoro era determinato dal fossato dell'attuale piazza Cavour, quello nordorientale dal solco d'erosione dell'Arena alla Sanità.

Ad occidente il pianoro era delimitato dal solco dell'Arenella, questo come abbiamo già visto, aveva origine in prossimità dell'odierna p.zza Arenella proseguendo per via Arenella, via Battistello Caracciolo, via delle Nocelle, via Francesco Saverio Correr per sfociare nell'attuale p.zza Dante e procedere, quindi, per via Monteoliveto al mare.

Il complesso di San Paolo Maggiore è una basilica monumentale di Napoli situata in piazza San Gaetano, nel centro antico della città, tra le quote di 37÷38 metri s.l.m.. Piazza San Gaetano, con la chiesa di San Paolo Maggiore da un lato, quella di



San Lorenzo Maggiore dall'altro e la seicentesca statua del santo al centro, rappresenta lo snodo del centro antico di Napoli.

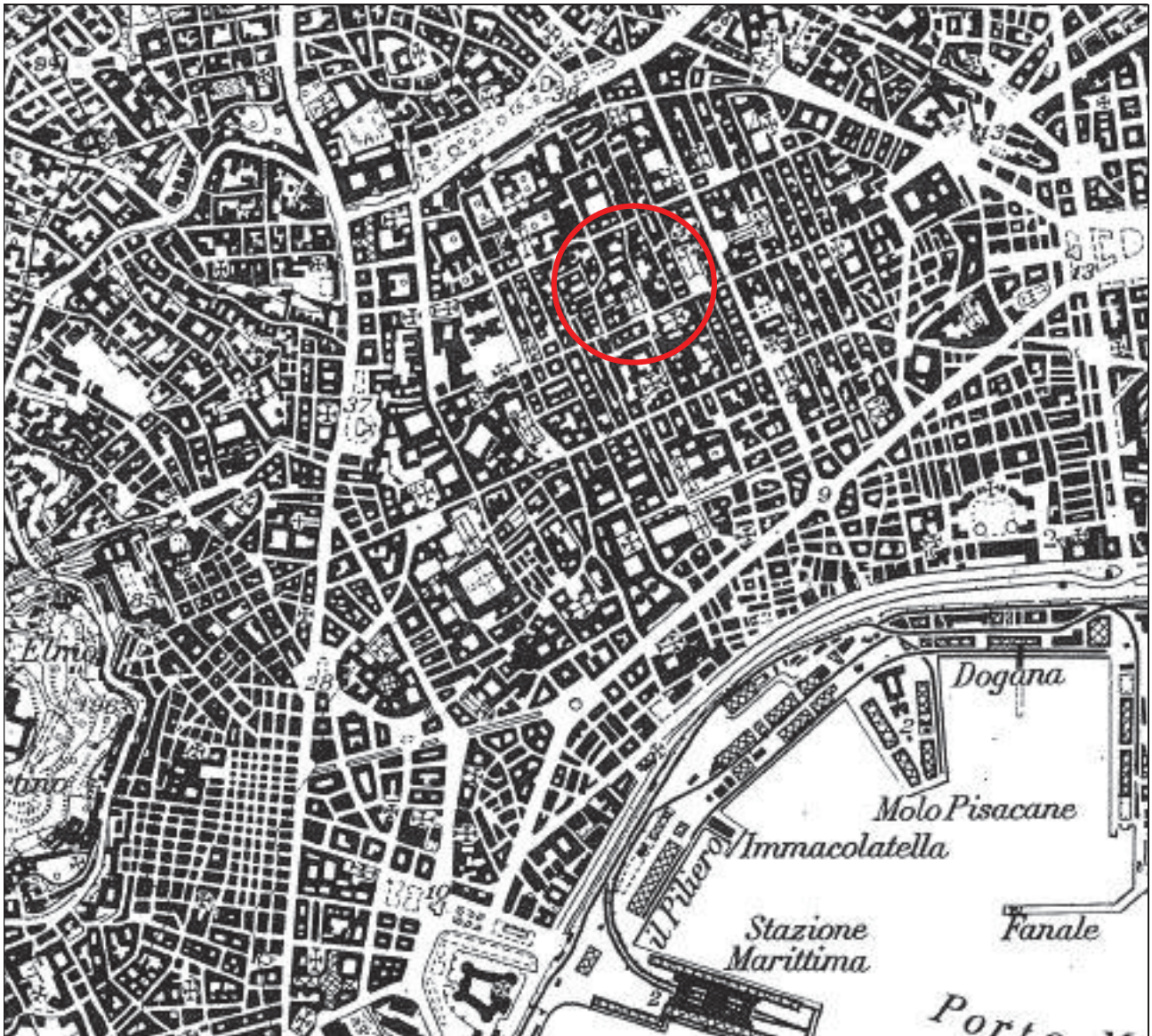


Immagine da google earth Coordinate: 40.851708°N - 14.256677°E

Adiacenti al complesso ci sono i due chiostri monumentali. Il chiostro grande, situato alle spalle dell'abside, adibito ad archivio dei documenti notarili, a partire dal 1700 fino ai giorni nostri; il chiostro piccolo caratterizzato da una serie di colonne antiche appartenenti all'originaria chiesa paleocristiana.

Riferendosi alla cartografia ufficiale il settore indagato è incluso nel foglio 184 edito dall'I.G.M. in scala 1:100.000 e precisamente nella tavoletta I SO "Napoli" in scala 1:25.000.





Stralcio della Carta I.G.M. tavoletta I SO "Napoli" in scala 1:25.000

I terreni rinvenuti sono attribuibili all'attività esplosiva quaternaria dei Campi Flegrei e, subordinatamente, del Vesuvio. L'attività dei Campi Flegrei secondo una classica interpretazione risulta suddivisa in tre periodi:

Nel primo periodo si colloca la messa in posto della formazione dell'Ignimbrite Campana di età pleistocenica datata circa 35.000 anni fa.

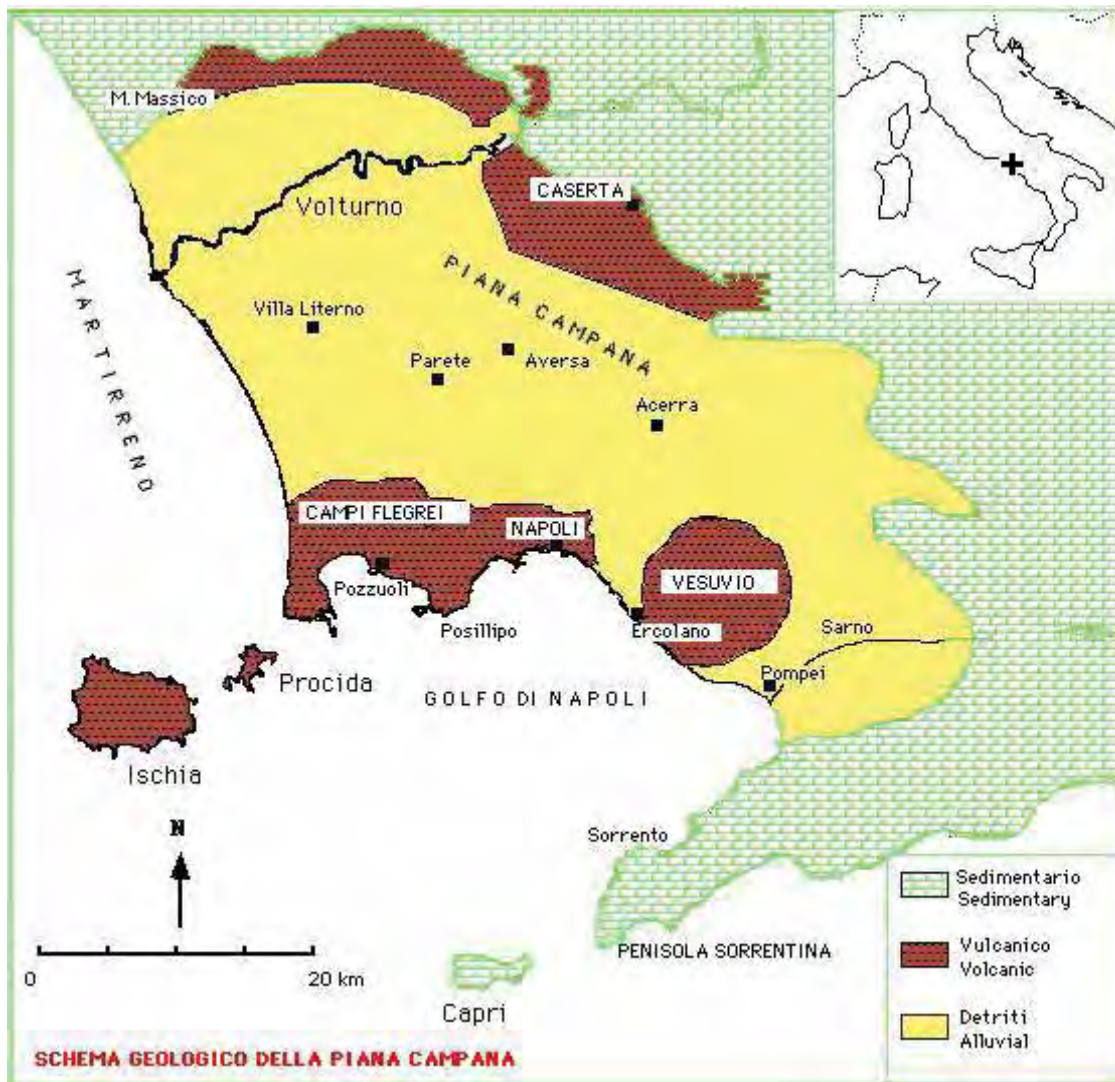
Al secondo periodo è attribuita la formazione del "Tufo Giallo Napoletano" nelle due facies litoide ed incoerente (età compresa tra 12.000÷10.000 anni).

Separati dai precedenti da un paleosuolo si rinvergono i prodotti del terzo periodo, all'interno dei quali i prodotti più diffusamente riconoscibili comprendono tra l'altro



due livelli di pomici (Pomici Principali di Agnano e di Agnano M.te Spina) intercalati da un livello quasi completamente humificato (età stimata circa 4.000 anni).

Al tetto della formazione del terzo periodo, sono osservabili ceneri grigie stratificate provenienti dall'eruzione denominata di Avelino (3.800 anni).



I terreni investigati sono attribuibili, a partire dal top della collina fino a circa 7,0 m di profondità, ai prodotti del terzo periodo flegreo t3- piroclastiti indifferenziate e t'3 lapilli pozzolanici paleosuoli, e dai 7,0 m fino ad una profondità significativa ai prodotti del secondo periodo flegreo tufo giallo napoletano nella sua facies incoerente tp passante successivamente alla facies tufacea sottostante tg - (vedi stralcio carta geologica).





carta geologica



Prodotti piroclastici dei Flegrei e ceneri vesuviane d'età storica (av).  
Lapilli chiari non differenziati, depositi piroclastici e loro suoli nella pianura circumflegrea (tt), ricoprenti generalmente la formazione (p).



Prodotti piroclastici indifferenziati provenienti da vari centri eruttivi flegrei: cineriti e pozzolane chiare. Nell'area urbana partenopea e del F. Sebeto: lapilli pozzolanici straterellati, ceneri e pomice grige, suoli con molluschi terrestri, ghiaie fluviali, limo e terre torbose; passanti a facies marina litoranea (sabbie grossolane), selmastra nel settore SE; tufiti argillosi dell'estuario del paleo-Sebeto (tt).



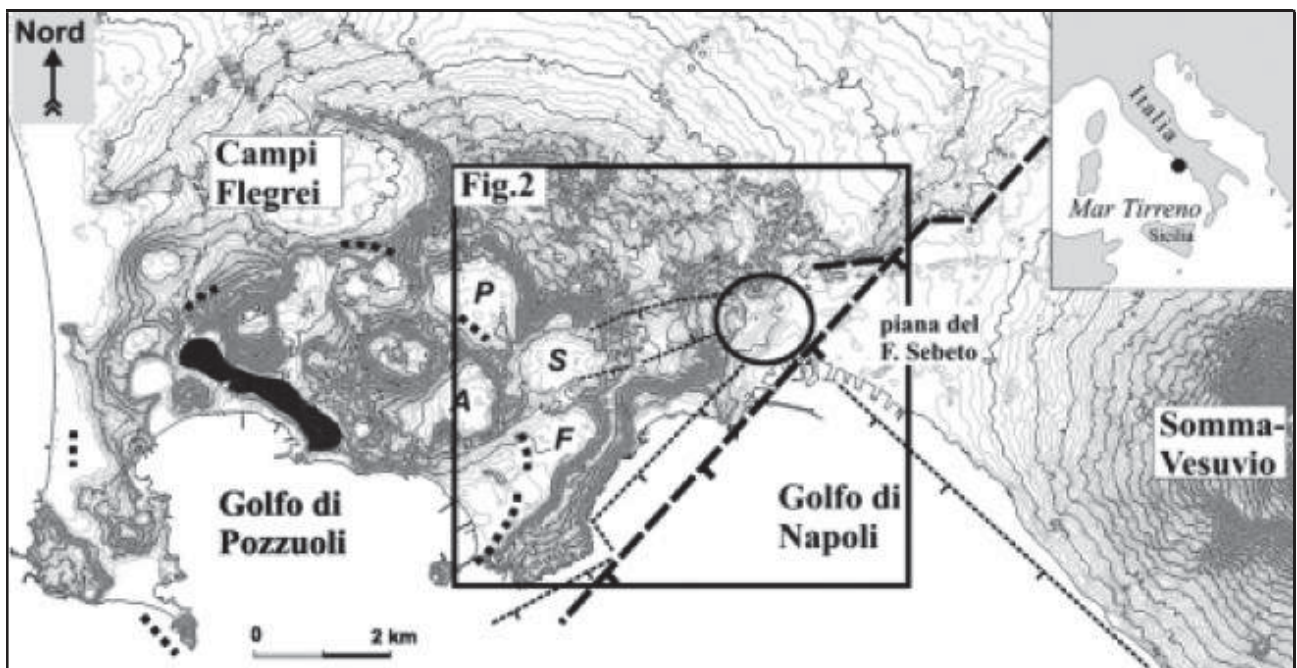
Serie comprensiva: lapilli pozzolanici, paleosuoli intercalati con rari resti di mammiferi (*Capra hircus* L.) (t3), soprastanti in parte, ai prodotti piroclastici di Agnano (tt).



Tufo con pomice alterate e scorie, in banchi (= "tufo giallo napolitano", Auct.) a M. Gauro, Campiglione, Camaldoli, L. d'Averno, Cuma etc.; facies caotica (M. Ruscello, Sanseverino, Archiaverno, Posillipo-Capodimonte, etc.); facies superiore grigia a pomice argentee (= "Mappamonte", Auct.) e inferiore verde (tg). Facies poco coerente (pozzolana) (tp). Tufo inferiore giallo-biancastro stratificato, con scorie, alla base del M. Ginestra (tg).



La città di Napoli è ubicata nel settore orientale dei Campi Flegrei; un campo vulcanico attivo da almeno 47 Ka BP e che, avendo dato prevalentemente eruzioni esplosive, ha un rilievo dominato da tufi e piroclastiti sciolte (Rosi e Sbrana, 1987). Con l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano (TGN; 15 Ka BP Deino *et al.*, 2004) si ebbe la formazione di un'ampia caldera centrale, aperta ad ingressioni del Mar Tirreno, nella quale si concentrò la successiva attività eruttiva con genesi di molti edifici minori, per lo più monogenici e del tipo *tuff ring* (fig.1). Oltre che da queste attività costruttive, l'evoluzione della caldera è stata caratterizzata da una vivace vulcano-tettonica, la quale ha indotto ulteriori e più circoscritti collassi e moti di risorgenza che, intorno a quattromila anni fa, sollevarono sino a 60 m s.l.m. il terrazzo marino de La Starza (Cinque *et al.*, 1985). L'area flegrea è inoltre nota per i bradisismi documentati dall'epoca romana ai nostri giorni, (Barberi *et al.*, 1984; Cinque *et al.*, 1997; Morhange *et al.*, 2006), sebbene tali fenomeni siano ricostruibili anche per epoche più antiche.



In tratteggio sono indicate le principali faglie ad attività olocenica, in puntinato alcuni frammenti della caldera del TGN. L'area con campitura grigia rappresenta il terrazzo marino de La Starza. Le sigle P, S e F: depressioni di Pianura, Soccavo, Fuorigrotta; A: depressione interna alla cinta policroterica di Agnano. Il cerchio racchiude il Centro Storico della città di Napoli.

Ricade nella caldera flegrea del TGN solo la estrema porzione occidentale del territorio di Napoli, ove si hanno gli edifici della cinta di Agnano e le depressioni di Fuorigrotta, Soccavo e Pianura. All'area extra-calderica appartengono, invece, tutti gli altri rilievi collinari di Napoli, limitati verso S e SE da alcuni elementi della complessa *fault zone* che delimita a settentrione il *graben* del Golfo di Napoli e la valle del F. Sebeto con accertata attività nel tardo Pleistocene ed Olocene (Milia *et al.*, 2003; Bellucci, 1994, 1998; Irollo *et al.* 2005). Le colline di Napoli sono formate in prevalenza da vulcaniti pre-calderiche e dal TGN, quest'ultimo con spessori di almeno 100 m in prossimità dei suoi centri eruttivi e fino a 30 m circa ove ammantava rilievi pre-esistenti.

Seguono le piroclastiti distali delle eruzioni intracalderiche, con potenza complessiva di molti metri. Ad esse, nelle zone basse, si intercalano piroclastiti rimaneggiate da dilavamenti di versante e da trasporti torrentizi. Lungo la costa di Napoli, l'Olocene medio e superiore è rappresentato da un complesso litorale e transizionale che marca l'apice ingressivo della trasgressione post glaciale e le successive progradazioni.

Nell'area del Centro Storico, infine, gli ultimi 2.5 Ka circa sono a luoghi rappresentati da strati di riporto antropico finalizzati a livellare progressivamente la topografia urbana.

Nei suoi tratti maggiori, la geomorfologia di Napoli risulta controllata dall'attività vulcanica e tettonica che caratterizza l'area nel tardo Quaternario. A ciò si aggiungono rimodellamenti fluvio-denudazionali del rilievo strutturale, nonché l'intaglio di falesie e la crescita di piane costiere durante la trasgressione post-glaciale.

Le colline tufacee di Napoli hanno assunto il loro assetto morfo-strutturale con le eruzioni flegree del tardo Pleistocene (fino a 15 Ka BP) e con l'attività della articolata *fault zone* che decorre lungo il margine NE della piana del Sebeto e lungo la costa settentrionale del Golfo di Napoli. Dopo l'eruzione del TGN (15 Ka), con un livello



marino ancora vicino al minimo glacio-eustatico würmiano, i versanti costieri vengono tagliati da incisioni torrentizie che si approfondiscono ben oltre lo zero attuale. All'apice della trasgressione post glaciale si delinea un profondo seno nell'area depressa e pianeggiante del F. Sebeto, mentre al piede delle colline del centro storico di Napoli s'instaura uno scenario di costa alta che vede il formarsi di una baia di sommersione nella zona di Piazza Municipio e di piccole *rias* alla foce di alcuni torrenti.

L'erosione di una piattaforma d'abrasione (più facile sui teneri terreni post-TGN), si arresta localmente sotto la pre-esistente scarpata di faglia SMA. I depositi litorali associati a questo evento risultano, almeno nel *pdsD*, poco anteriori all'eruzione di M. Spina (4.1 Ka) e probabilmente non superano i 5 Ka circa nelle altre località indagate. Confrontando le quote dei *marker* di *l.m.r.* disponibili con le curve eustatiche isostatiche da aree tirreniche tettonicamente stabili, si ottengono, per Napoli, stime della subsidenza totale tardo-olocenica che, a causa delle barre d'errore, variano tra 4 e 7 m circa.

Mentre il fronte della Piana del Sebeto giunge all'altezza del *pdsG* già nel Bronzo medio-recente, l'area del *pdsD* sviluppa una spiaggia emersa successivamente all'eruzione di M. Spina con tracce di frequentazione documentate a partire dal Bronzo medio, che mentre ancora più ad est si delinea la baia  $\alpha$  perdura fino al Tardo Antico.

Essa era stata scelta come area portuale della città, verosimilmente per la sua forma semichiusa e protetta dalle tempeste di Libeccio e Ponente, che nel Golfo di Napoli agiscono con l'energia maggiore. Le quote dei *marker* di *l.m.r.*, confrontate con le curve ed i dati eustatici disponibili (fra cui Schmiedt, 1972; Pirazzoli, 1976; Alessio *et al.*, 1994; Morhange *et al.*, 2001; Lambeck *et al.*, 2004) evidenziano una subsidenza postgreca di entità variabile tra 2.5 e 5.5 m nel *pdsU*, tra 2 e 4 m nel *pdsM*, tra 0.5 e 2.5 m nel *pdsD* ed ancora minore nel *pdsG* (il ricorso a tali *range* è dovuto alle imprecisioni che emergono nella comparazione tra i *sea level marker* e le curve

eustatiche di riferimento). Nella zona orientale (*pdsD* incluso) tale moto sembra concentrato nei secoli VI-IV a.C., mentre nella zona occidentale esso si diluisce su tempi più lunghi: fino al III sec. d.C. nel *pdsM* e fino al sec. d.C. nel *pdsu*. Ciò consente di estendere anche a Napoli l'intensa e disomogenea mobilità del suolo già nota per l'area flegrea. I dati relativi ad epoche successive, ancora in corso di studio, suggeriscono una subsidenza da moderata ( $\leq 1$  m circa) ad assente a partire dal Medioevo.

La geologia dell'area urbana di Napoli risulta molto complessa in quanto è il prodotto della sovrapposizione di diversi fenomeni naturali: vulcanismo e tettonica ancora attivi, processi sedimentari, inoltre la posizione costiera, determinano una grande influenza delle variazioni eustatiche del livello del mare.

L'area urbana di Napoli è ubicata nella parte centrale-occidentale della grande depressione tettonica denominata Piana Campana. Il substrato geologico su cui è costruita la città è costituito da rocce vulcaniche, di età compresa tra il Pleistocene Sup. e l'Olocene medio che rappresentano il margine sud-orientale dei Campi Flegrei.

L'area urbana si sviluppa su zone pianeggianti costituite essenzialmente da sedimenti alluvionali e su rilievi collinari, costituite da rocce vulcaniche lapidee e sciolte la cui morfologia è controllata dalla tettonica recente e dall'evoluzione morfologica, particolarmente attiva durante l'Olocene.

Il territorio di Napoli è attraversato o meglio, lo era, e lo sarebbe tuttora se le sue acque non fossero sottratte per i diversi usi, da un solo corso d'acqua perenne: il Sebeto, nella depressione che separa la Zona Flegrea e la terra di lavoro dalle propaggini del Somma Vesuvio. La rete idrografica Napoletana ha carattere prevalentemente torrentizio.

Il sottosuolo è stato sfruttato fin dall'antichità (circa 27.000 anni fa) per l'estrazione di materiale lapideo da costruzione, e usato per creare comode vie di collegamento

fra le varie parti dell'area urbana e per costruire sottoservizi (acquedotti e fognature).

In particolare, l'area in esame ubicata nella zona collinare che comprende i rilievi su cui si sviluppa gran parte dell'area urbana. Essi sono costituiti da un substrato rappresentato dal Tufo Giallo Napoletano di spessore variabile da alcune decine di metri a oltre 100 metri, ricoperto da terreni piroclastici sciolti riferibili alle varie eruzioni degli Apparti Flegrei con spessore variabile da 8-10 metri a oltre 50 metri.

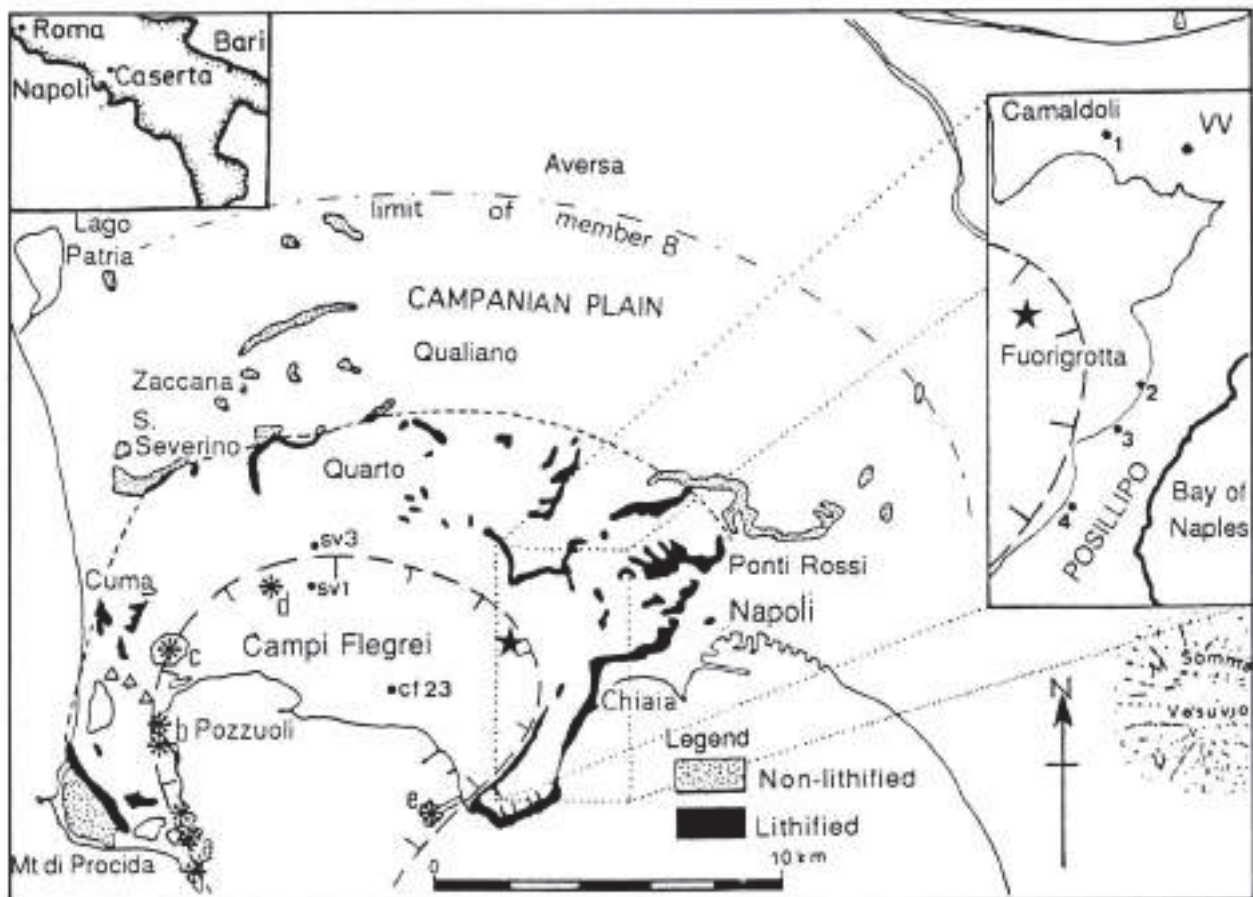
Il livello guida sul quale si basa la ricostruzione stratigrafica dei depositi della città di Napoli e di tutta l'area dei Campi Flegrei è rappresentato dai depositi del Tufo Giallo Napoletano. La sua continuità stratigrafica nell'area è piuttosto omogenea e permette di suddividere l'attività vulcanica dei Campi Flegrei in tre o Quattro Cicli (De Lorenzo 1904; Rosi et al. 1983; Di Girolamo et al. 1984;) schematizzabili come segue:

- Prodotti precedenti l'eruzione dell'Ignimbrite Campana;
- Depositi dell'Ignimbrite Campana (circa 35.000 anni fa) e della formazione Piperno-Breccia Museo;
- Prodotti dei Tufi Biancastri, dei Tufi Antichi (18.000 -15.000 anni fa) e del Tufo Giallo Napoletano (12.000 anni fa);
- Piroclastiti e tufi di vulcani monogenici Flegrei da 10.000 anni fa all'eruzione del Monte Nuovo avvenuta nel 1538.



## CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'elemento morfologico sul quale viene edificata l'antica città di Neapolis e individuato nel tavolato di origine strutturale denominato "Pendino" formato dall'unità del TGN ricoperta da quelle piroclastiche della Serie Urbana Recente, e delimitato dai corsi d'acqua discendenti dalle alture del Vomero e di Capodimonte, denominati "lavinai". Esso degrada verso SE ove è delimitato da una paleofalesia costiera, associata alla trasgressione Versiliana, direttamente osservabile da Pizzo Falcone, lungo l'attuale C/so Umberto I, fino a raggiungere, verso E, l'odierna Piazza Garibaldi, ove è stata ricostruita lungo il margine settentrionale della piazza. Gli studi suddetti pongono l'accento anche sui dati stratigrafici a supporto della ricostruzione della presenza di un'area portuale antica.



L'intensa urbanizzazione ha profondamente mascherato e modificato la morfologia originaria e su ampi settori non consente di fare osservazioni dirette sui terreni affioranti.

La morfologia della città di Napoli è tipica di un territorio vulcanico la cui attività come prima esplicito è stata in prevalenza esplosiva, con la deposizione di depositi di ceneri, e sabbie.

La zona collinare di Napoli è caratterizzato alla sommità di tavolati e da rotture di pendenza in corrispondenza dei lati interni degli edifici vulcanici o di quelli esterni.

Il monte “*Echia*” è un rilievo costituito da un blocco tufaceo affiorante a zone (Soprattutto settore SW), in altro luogo risulta coperto da spessori variabili di piroclastiti.

Il blocco tufaceo di Monte Echia si spinge fino a circa 80 m. al di sotto del livello marino.

Dal punto di vista geomorfologico, non si rilevano nicchie di distacco di fenomeni franosi in atto o quiescenti, nè elementi tali da far ritenere la zona instabile o potenzialmente franosa, in relazione ai litotipi ed alle caratteristiche morfologiche esistenti così come si evince anche dallo stralcio della “*Carta Stralcio per l'assetto idrogeologico e idraulico*” (foglio 447110), adottato dall'ex Autorità di Bacino della Campania Centrale, oggi Distrettuale dell'Appennino Meridionale.

La tav. 12 foglio n° 3 (Vincoli Geomorfologici) allegata alla variante al Piano Regolatore generale del Comune di Napoli ubica il sito in oggetto nel perimetro delle “*area a instabilità Bassa*”

Oltre alla morfologia superficiale bisogna considerare la stabilità in relazione alla presenza di cavità sotterranee poichè gran parte del sottosuolo dell'area storica è interessato dalla presenza di cavità.

La presenza dell'attività cavatoria risale all'epoca greca, tali cavità sono risultate adibite ad uso vario, da piscine per vivai, a catacombe, acquedotti e cisterne.

Il tufo Giallo Napoletano è un idoneo materiale da costruzione per cui nei secoli è stato cavato, provocando la presenza di numerose cavità.

Nell'area in esame non è indicata alcuna cavità significativa ma giova ricordare che nell'area di Chiaia era presente una delle tante diramazioni dell'acquedotto della

Bolla (ramo di Chiaia), più precisamente una di queste diramazioni attraversa a circa 30 m. di profondità Piazza S. Maria degli Angeli per proseguire per Via Monte di Dio. Dalle cartografie del *rischio idrogeologico* dell'ex Autorità di Bacino Campania Centrale, è emerso che il sito non rientra nelle zone classificate a *rischio frana* e a *rischio idraulico*.



Carta del rischio frana Tavola 447123





Carta del rischio idraulico Tavola 447123

Per quanto riguarda la presenza di cavità nel sottosuolo si segnala che l'acquedotto della bolla, il più antico della città, attribuibile al periodo greco, è costituito di manufatti in *opus reticulatum* lungo alcuni cunicoli sotterranei, che a partire da Volla, dopo un percorso di circa 2 km, giunge in corrispondenza della antica cinta muraria in prossimità del fossato di S. Anna a Capuana, dove prosegue il suo tracciato sotterraneo all'interno della città antica, seguendo una sorta di spartiacque morfologico relativo posto alla quota di 12 m s.l.m, dal quale partono i canali secondari ("rami") e le diramazioni, lungo le quali, a loro volta, venivano perforati i pozzi che approvvigionavano la popolazione.

Probabilmente alcune diramazione dell'acquedotto della bolla interessano anche l'area di studio, come è possibile osservare nella figura che segue, ma la sua profondità di rinvenimento, situata a circa 20 metri dalla superficie, consente di escludere interferenze tra gli stessi e la staticità del manufatto oggetto di intervento.



Rete di cunicoli e cisterne appartenenti all'acquedotto della bolla

## **CARATTERI IDROGEOLOGICI**

I terreni affioranti e presenti nel sottosuolo dell'area investigata sono rappresentati da terreni piroclastici provenienti dai centri eruttivi dei Campi flegrei.

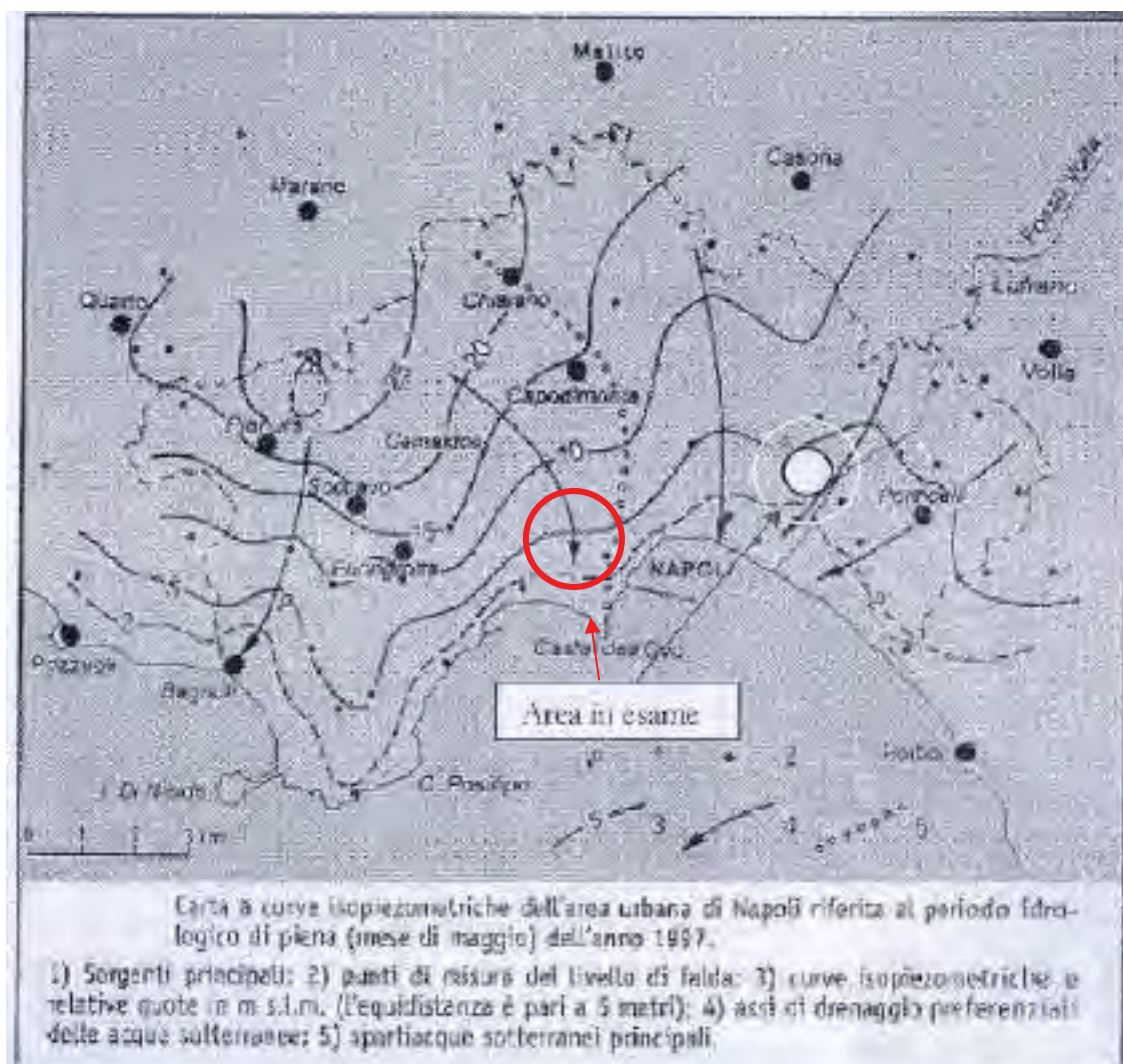
Dal punto di vista idrogeologico tali depositi posseggono un coefficiente di permeabilità medio basso per porosità, essendo costituiti da terreni a struttura granulare di taglia sabbioso limosa prevalentemente incoerenti.

Tali caratteristiche permettono alle acque di precipitazione meteorica di infiltrarsi efficacemente nel sottosuolo eliminando l'innescò di processi di impaludamento dovuto al ristagno localizzato delle acque, e di ruscellamento concentrato o diffuso sul fronte della scarpata. La sistemazione artificiale a terrazzi della scarpata e le opere esistenti di regimazione e raccolta delle acque, unite all'assenza di falda



freatica contribuiscono positivamente al quadro idrogeologico generale dell'area. L'acqua di infiltrazione all'interno dei depositi presenti nell'area assume una direzione di movimento essenzialmente di tipo verticale, tendente al raggiungimento della falda freatica profonda che localmente è segnalata ad una quota compresa tra i 30 e i 32 m di profondità dal p.c..

Tuttavia non si può escludere con certezza assoluta, in concomitanza di eventi pluviometrici eccezionalmente copiosi e/o concentrati in brevi spazi temporali, la possibilità di formazione di falde sospese a carattere temporaneo.



carta delle isopiezometriche della città di Napoli

La composizione del sottosuolo di Napoli è data da prodotti piroclastici, sciolti o litoidi, caratterizzati da reciproci rapporti geometrici molto variabili sia in senso verticale che orizzontale.



Il risultato di tale diversità comporta l'esistenza di una circolazione idrica caotica contrassegnata dall'esistenza di più falde sovrapposte, interconnesse tra loro.

Il contesto idrologico areale della zona esame del presente studio è rappresentato essenzialmente da due complessi: quello più superficiale caratterizzato da una permeabilità secondaria (mediamente permeabile); il secondo complesso quello tufaceo e caratterizzato da un tipo di permeabilità secondario per fratturazione.

L'area oggetto di studio è ubicata all'interno di un'area idrogeologica denominata "area urbana di Napoli".

L'area rappresenta una struttura vulcanica molto eterogenea e caratterizzata da un assetto stratigrafico - strutturale variabile da zona a zona, ciò è da porre in relazione con la giacitura, la potenza, la granulometria dei terreni sciolti, il grado di fessurazione dei termini lapidei e la presenza di numerose lineazioni vulcaniche tettoniche.

Ne deriva pertanto uno schema di circolazione idrica sotterranea per "falde sovrapposte" ma tra loro interconnesse, sia per l'interdigitalizzazione di depositi a vario grado di permeabilità, sia tramite flussi di drenanza.

Ciò nonostante, nell'ambito di tale schematizzazione, è stato osservato che le falde maggiormente produttive sono localizzate tutte nel Tufo Giallo Napoletano (TGN) fratturato e le relative quote di livellamento non si discostano in modo rilevante tra loro.

Pertanto, diversi autori (Civita et al. 1973; Celico et al, 1988) concordano nel ritenere valida uno schema idrico a falda unica, costituita da vari orizzonti idraulicamente interconnessi per la mancanza di veri e propri impermeabili sufficientemente estesi.

L'andamento della morfologia piezometrica ha consentito di considerare la struttura sostanzialmente autonoma ed indipendente dalle falde della Piana Campana. L'area di ricarica principale è stata individuata in una zona di alto piezometrico di Capodimonte.

La falda circola prevalentemente nel Complesso tufaceo mediamente trasmissivo ( $10^{-4} < T < 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ).

Tra gli elementi idrogeologici di maggiore interesse, si riconosce un'importante spartiacque sotterraneo che, dalla periferia settentrionale di Napoli (Chiaiano), si sviluppa dapprima in direzione NO-SE e successivamente all'altezza di Capodimonte verso Sud fino a raggiungere il mare in prossimità di Castel dell'Ovo.

Nell'area di studio la falda è presente a circa 32 m di profondità dal p.c., a una quota assoluta di circa 5÷6 m s.l.m., con un gradiente idraulico compreso tra lo 0.2% e lo 0.8%

E' possibile rinvenire dei livelli di falda a profondità inferiori, probabilmente dovuto alla presenza di livelli a granulometria diversa è all'origine di locali livelli idrici "sospesi", poco produttivi, effimeri, occasionali dopo le piogge.

### **ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO**

Nel territorio del comune di Napoli vi è un numero limitato di litotipi ed essi presentano natura essenzialmente vulcanica.

Su tutti prevalgono i prodotti flegrei rispetto a quelli vesuviani la cui presenza è limitata quasi esclusivamente all'area orientale della città.

Questo andamento litologico può essere riassunto dividendo i prodotti in tre categorie:

- Lave;
- prodotti piroclastici;
- alluvioni.

I prodotti piroclastici vanno a loro volta suddivisi in:

- piroclastiti lapidee;
- piroclastiti sciolte.

Nell'area di Napoli la presenza di lave è rara.

- PIROCLASTITI LITOIDI

I prodotti piroclastici litoidi vanno suddivisi in cinque unità litologiche:

- Tufo grigio;
- Piperno;
- Tufo Giallo Napoletano;
- Tufo Giallo Stratificato;
- Tufo Giallo Vesuviano
- Tufo grigio

E' una piroclastite di colore grigiastro a matrice cineritica, nella massa vi è presenza di pomici e di piccole scorie laviche. Spesso lo si rinviene anche in facies giallastra o grigio giallastra. E' generalmente ben cementato, ma non mancano casi in cui la cementazione è molto debole tanto che nei sondaggi viene scambiato per una piroclastite sciolta. Nell'area di Napoli non è presente in affioramento in quanto si trova sepolta dai prodotti posteriori della caldera flegrea. E', geneticamente, associato ad una grossa eruzione esplosiva dei Campi Flegrei, che emise una grande quantità di ceneri tanto che la formazione la si ritrova in tutta la piana Campana e in molti punti dell'Appennino casertano, beneventano e avellinese, nonché sulla penisola sorrentina.

Ha caratteristiche meccaniche molto variabili a secondo del luogo di affioramento. Infatti in alcuni punti si ritrova ben litificato, in altri presenta una debole cementazione. Mediamente le caratteristiche meccaniche possono essere riassunte come segue:

- Resistenza allo schiacciamento ad espansione laterale libera - 25-60 Kg/cm<sup>2</sup>;
- Peso specifico apparente 1,20 -1,60 t/m<sup>3</sup>.

#### Tufo Giallo Napoletano

Il Tufo Giallo Napoletano è il prodotto vulcanico più rappresentativo della litologia urbana. Infatti gli affioramenti si rinvengono un po' dappertutto sulle aree collinari e ai bordi di queste, tanto da costituire il basamento della città. Si tratta di una



piroclastite, ovvero una roccia formatasi per deposizione di ceneri, pomici e frammenti litici a seguito di una eruzione vulcanica.

Il Tufo Giallo Napoletano è una roccia a matrice prevalente. La frazione ghiaiosa è rappresentata da pomici, spesso degradate, e da frammenti litici di origine lavica a composizione prevalentemente trachitico-latitica e subordinatamente alcalin-trachitico e trachibasaltico. Generalmente la roccia si presenta di colore giallo paglierino più o meno intenso, a secondo della varietà, è scalfibile con un'unghia tranne che in alcuni tipi più duri dove la scalfitura può avvenire solo tramite una punta d'acciaio.

Nelle varietà normali il Tufo Giallo Napoletano è, come già accennato, scalfibile con un'unghia, ciononostante la resistenza allo schiacciamento, che è il parametro che definisce la capacità di una roccia a resistere a dei carichi, è sufficientemente alto per poter permetterne l'utilizzo. Questo parametro è molto variabile da varietà a varietà anche nell'ambito dello stesso giacimento tanto che fra i cavaatori napoletani vi era il detto "la pietra muta da palmo a palmo".

Nelle varietà più scadenti la resistenza allo schiacciamento si aggira intorno ai 20 Kg/cm<sup>2</sup> per arrivare a circa 175 Kg/cm<sup>2</sup> in quelle più resistenti. Il valore medio si aggira sui 50 Kg/cm<sup>2</sup>.

Per essere utilizzata la pietra deve avere una resistenza di almeno 30 Kg/cm<sup>2</sup> in quanto le varietà più scadenti possono dare luogo, nel tempo, a fenomeni di schiacciamento con conseguente rottura dei conci e quindi compromissione dell'opera realizzata. Anche il Tufo Giallo Napoletano, come tutte le rocce, se ridotto in forma di lastre offre una resistenza maggiore rispetto al concio.

#### PIROCLASTITI SCIOLTE

Le piroclastiti sciolte, presenti sul territorio di Napoli, sono dei materiali di origine vulcanica, dovuti ad eruzioni di tipo esplosivo, la cui granulometria varia, generalmente tra 5 mm e 0,05 mm. La frazione più grossa, 5 mm, è costituita generalmente da pomici che si rinvencono sotto forma di banchi e/o lenti di varia

grandezza e spessore. Molto più' diffusi sono i depositi a granulometria inferiore contenenti solo frammenti di dimensioni più' grosse. Da ciò divideremo le piroclastiti sciolte in due formazioni, Pomici e Pozzolane.

#### Pomici

Le pomici sono brandelli di lava molto soffiati, leggeri e porosi, con una struttura essenzialmente vetrosa. Quelle presenti nell'area di Napoli hanno dimensioni che raramente superano il centimetro. Si rinvengono in strati dallo spessore variabile da pochi cm fino a circa 2 m.

Questi materiali sono stati molto usati, in passato, per la costruzione di solai battuti "battuto di lapillo". Queste strutture erano realizzate mischiando le pomici con grassello di malta, quindi gettate in opera e battute fino ad ottenere un solaio che aveva una spiccata caratteristica di leggerezza.

#### Pozzolana

Con questo termine a Napoli si definiscono le piroclastiti sciolte, a tetto del Tufo Giallo Napoletano, che hanno una granulometria compresa fra le sabbie e i limi. Esse ammantano tutta l'area cittadina, costituendo la maggior parte dei terreni affioranti. Rivestono una grande importanza, da un punto di vista tecnico, in quanto costituiscono il substrato fondale di buona parte degli edifici esistenti sul territorio cittadino. Inoltre è da tenere presente una caratteristica peculiare delle pozzolane, cioè quella di avere una reattività idraulica se mischiate con calce idrata o con cemento, cioè hanno la capacità di reagire, cementandosi, anche se immerse in acqua.

Questa proprietà, che era conosciuta già all'epoca di Roma, viene detta "proprietà pozzolanica". Oggi questi materiali vengono utilizzati per produrre i cementi idraulici che vengono detti "cementi pozzolanici".

Data l'importanza di questi terreni è opportuno approfondire gli aspetti tecnici.

Le pozzolane hanno una granulometria non omogenea che va dalla sabbia limosa al limo sabbioso. Vi è anche presenza di una piccola componente ghiaiosa costituita

da pomici e in subordine da piccoli frammenti litici. I granuli hanno una superficie molto irregolare, scabrosa. Questa irregolarità fa sì che la massa dei granuli, una volta depositati, si incastrino in maniera tale da dare alla massa una coesione che gli consente di reggere fronti di scavo quasi verticali.

Questa coesione viene detta "apparente" in quanto se questi materiali vengono saturati d'acqua questa proprietà viene a mancare. Questo fatto fa sì che in caso di perdite d'acqua nei sottoservizi cittadini gli edifici, prossimi alla perdita, se fondati su pozzolane vanno soggetti a cedimenti a volte anche notevoli. Questo fatto può essere spiegato con un aumento della pressione interstiziale, dovuta all'acqua, che tende a far assumere alle particelle una configurazione con minori spazi interstiziali, con una conseguente diminuzione di volume che si esplica con cedimenti fondali.

Il meccanismo di deposizione delle pozzolane comporta che all'interno di questa formazione le caratteristiche meccaniche varino con la profondità. Queste variazioni sono legate alle caratteristiche granulometriche, all'alterazione subita dopo la messa in posto, alla porosità, al grado di addensamento. I valori meccanici quindi variano al variare della profondità, con un andamento molto irregolare che alterna pozzolane con caratteristiche meccaniche elevate con pozzolane con caratteristiche basse. Molto accentuate sono anche le variazioni laterali.

Dall'analisi di numerose prove di laboratorio effettuate su questi materiali si possono riassumere le seguenti caratteristiche:

- granulometria: da sabbia limosa a limo sabbioso;
- angolo di attrito interno: da 30° a 38°;
- coesione: mediamente 0,25 Kg/cm<sup>2</sup>;
- porosità: mediamente 25%;
- peso specifico apparente: mediamente 1,4 t/m<sup>3</sup>.

Queste caratteristiche fanno sì che le Pozzolane vengano classificate come buoni terreni di fondazione.

Come si è già visto nella descrizione della morfologia della città, Napoli si presenta topograficamente e geologicamente molto articolata. Infatti, rispetto alla definizione della città che si sviluppa su un'enorme placca di tufo giallo, vi sono notevoli evidenze riscontrabili nei tagli artificiali e naturali e dai numerosi dati sulle opere in sotterraneo che confermano che la storia geologica della città è stata molto intensa prima della deposizione dell'unità litoide, il Tufo Giallo Napoletano, che ha uniformato, mantellandolo, il sottosuolo. Inoltre al di sopra del Tufo Giallo Napoletano si rileva sempre, nella città, una successione piuttosto regolare di piroclastiti sciolte intercalate a paleosuoli, legate alla deposizione dei prodotti delle eruzioni recenti dei Campi Flegrei.

La regolarità della successione è dovuta al fatto che si tratta di depositi di eruzioni distali che si sedimentano con meccanismi essenzialmente da caduta da nubi eruttive a volta di altezza notevole. I paleosuoli rappresentano periodi di quiete in cui è possibile la formazione di suoli vegetali più o meno sviluppati in relazione al periodo di quiete. In questa successione si riconoscono i prodotti di diverse eruzioni flegree a partire dall'eruzione di Minopoli e delle Pomici Principali (Agnano), avvenute intorno a 9.000 anni fa e rappresentate rispettivamente da una successione di scorie nerastre distribuite prevalentemente nell'area dei Camaldoli e segnalate con spessori ridotti, circa 10 cm, nella zona di p.zza Carlo III, e le seconde da una serie di livelli di pomici grigie intercalate a sottili livelli cineritici presenti in tutta l'area napoletana, vesuviana settentrionale e parte della piana Campana fino ai contrafforti Appenninici.

La serie che viene indicata come "serie urbana recente" si chiude con due livelli di pomici indicate in letteratura come pomici A e B di Astroni ed attribuite pi di recente all'eruzione di M.te Spina (Conca di Agnano) avvenuta circa 4.000 anni fa e, dopo un sottile paleosuolo, con livelli di ceneri da caduta legate all'eruzione di Astroni di circa 3.800 anni fa.



Ritornando all'attività precedente all'eruzione del Tufo Giallo Napoletano si rileva la presenza di numerosi depositi vulcanici legati all'attività antica localizzata nella città. Si rilevano, infatti, tufi con caratteri simili ai tufi recenti che costituiscono i conii tufacei dei Campi Flegrei.

Tutti questi prodotti, citati in modo sommario, evidenziano un'intensa attività vulcanica locale non molto diversa da quella che si è sviluppata negli ultimi 10.000 anni all'interno dei Campi Flegrei. Al di sotto di questi prodotti si riscontrano, nell'area orientale della città, i depositi dell'Ignimbrite Campana rappresentati da tufi di colore grigio violaceo ricchi di scorie nere più o meno saldati. Il centro storico di antichissima urbanizzazione non offre nessun affioramento da poter analizzare in quanto tutto coperto dagli edifici che si sono susseguiti nel corso dei secoli.

Per poter capire la situazione esistente, nel sottosuolo, si hanno a disposizione solo pochi sondaggi dalla letteratura e la conoscenza delle numerose cavità esistenti al di sotto dell'abitato.

Facendo riferimento al livello del tufo giallo e descrivendo la serie dei materiali recenti, si ha:

P.zza Carità. Tufo Giallo a 18 m dal p.c.

Via Roma palazzo Motta. Fino a 29 m materiali sciolti non meglio identificati. Via Roma angolo via S.Brigida. Tufo Giallo a 14 m dal p.c.

P.zza Dante. Tufo Giallo a 16,50 m dal p.c.

Via S.Anna dei Lombardi. Fino a 19 m materiali sciolti non meglio identificati. Via Roma angolo via Forno Vecchio. Tufo Giallo a 17 m dal p.c.

P.zza Bellini. Tufo Giallo a 16,50 m dal p.c. Via Monte Oliveto. Tufo Giallo a 16 m dal p.c. Via Medina. Tufo Giallo a 20 m dal p.c.

P.zza Municipio. Tufo Giallo a 21 m dal p.c. Via Sapienza. Tufo Giallo a 17 m dal p.c.

P.zza Miraglia. Tufo Giallo a 20 m dal p.c.

L'esame dei pozzi di accesso all'acquedotto ci confermano il dato deducibile dai pochi sondaggi, cioè che la quota del Tufo Giallo è, nell'area, variabile in un intervallo che va dai 15 ai 20 metri di profondità. La stratigrafia dell'area può essere riassunta come segue.

Fino a 5 metri dal p.c. materiali di riporto, ovvero antico livello della città greca (vedi scavo di S. Lorenzo Maggiore o fondazioni del teatro romano nella zona di via Sapienza).

Da 5-10 m fino a 15-20 m, piroclastiti sciolte (serie urbana recente). Data la morfologia questi materiali sono in sede o poco rimaneggiati.

Da 15-20 m, Tufo Giallo caotico ben diagenizzato.

Le indagini eseguite per il lavoro in oggetto hanno permesso la ricostruzione dell'assetto litostratigrafico locale.

I terreni affioranti sono riferibili all'attività esplosiva quaternaria dei Campi Flegrei.

La successione litostratigrafia ricostruita, anche mediante sondaggi presenti in bibliografia, può essere schematizzata dall'alto verso il basso come segue:

- Unità litotecnica 1 - Terreni di riporto ed eluvio colluviali di limitato spessore (inferiore al metro), di spessore di 0.3 m, addensati.
- Unità litotecnica 2 – Depositi piroclastici, per uno spessore di circa 3.6 m. Piroclastiti cineritico lapillose di colore da marrone a grigio, di taglia sabbiosa medio fine debolmente limosa, poco addensate.
- Unità litotecnica 3 – per uno spessore totale di circa 5.4 m. Piroclastite cineritica di colore grigio avana di taglia sabbiosa fine ricca in pomici grigio chiaro diffuse e concentrate in livelli pluridecimetrici di taglia ghiaiosa, da moderatamente addensate ad addensate. (Olocene); alla base di questa unità si riscontra la presenza di un litotipo marrone, sabbioso debolmente limoso, di spessore di 1.2 m (Olocene), addensato.
- Unità litotecnica 4 – Depositi pozzolanici, coerenti, dalla profondità di circa 10.5 m, ben addensato. (Olocene).

# STRATIGRAFIA -

SCALA 1: 75 Pagina 1/1

Riferimento: Complesso San Paolo Maggiore Via San Paolo 9/D	Sondaggio:
Località: Napoli	Quota: 38 m
Impresa esecutrice: INGE S.r.l.	Data: gennaio 2021
Coordinate:	Redattore:
Perforazione:	

o 1000	E 7	A 1	Dz	metri m	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	SPT		RQD % 0-100	m	DESCRIZIONE
									30T	15			
				0.5									Terreni di riporto ed eluvio colluviali di limitato spessore (inferiore al metro), di spessore di 0.5 m, addensati
				3.6									Depositi piroclastici, per uno spessore di circa 3.6 m. Proclastiti cineritico lapillosa di colore da marrone a grigio, di taglia sabbiosa medio fine debolmente limosa, poco addensate
				9.3									Proclastite cineritica di colore grigio avano di taglia sabbiosa fine ricca in pomici grigio chiaro diffuse e concentrate in livelli pluridecimetri di taglia ghiaiosa, da moderatamente addensate ad addensate. (Olocene)
				10.5									Litotipo marrone, sabbioso debolmente limoso, di spessore di 1.2 m (Olocene), addensato
				15.4									Depositi pozzolanici, coerenti, dalla profondità di circa 10.5 m, ben addensato. (Olocene)

E' assente la falda acquifera per la profondità investigata

## UNITA' LITOTECNICHE

Sulla base delle risultanze delle prove in sito e di laboratorio è possibile definire il seguente quadro litotecnico di riferimento per la progettazione delle strutture. Le unità litostratigrafiche individuate sono state raggruppate in Unità Litotecniche con caratteristiche fisiche e fisico meccaniche omogenee.

**Unità Litotecnica 1** - Terreni di riporto ed eluvio colluviali di limitato spessore (0.30 m). Tali depositi sono caratterizzati da proprietà fisico-meccaniche variabili, con riferimento alla elaborazione delle prove, la caratterizzazione geomeccanica di tali terreni può essere assunta come segue:

Densità relativa %	53
Angolo di attrito (°)	32
Coesione kg/cm <sup>2</sup>	0.95
Modulo di deformazione kg/cm <sup>2</sup>	57

**Unità Litotecnica 2** - Depositi piroclastici, per uno spessore di circa 3.6 m. Piroclastiti cineritico lapillose di colore da marrone a grigio, di taglia sabbiosa medio fine debolmente limosa, poco addensate.

Con riferimento alle risultanze delle prove eseguite si ritiene di dover assumere per tali terreni la seguente parametrizzazione geomeccanica:

Densità relativa %	25
Angolo di attrito (°)	28
Coesione kg/cm <sup>2</sup>	0.37
Modulo di deformazione kg/cm <sup>2</sup>	24



**Unità Litotecnica 3** - per uno spessore totale di circa 5.4 m. Piroclastite cineritica di colore grigio avana di taglia sabbiosa fine ricca in pomici grigio chiaro diffuse e concentrate in livelli pluridecimetrici di taglia ghiaiosa, da moderatamente addensate ad addensate. (Olocene); alla base di questa unità si riscontra la presenza di un litotipo marrone, sabbioso debolmente limoso, di spessore di 1.2 m (Olocene), addensato.

Con riferimento alle risultanze delle prove eseguite si ritiene di dover assumere per tali terreni la seguente parametrizzazione geomeccanica:

Densità relativa %	39
Angolo di attrito (°)	30
Coesione kg/cm <sup>2</sup>	0.68
Modulo di deformazione kg/cm <sup>2</sup>	45

alla base di questa unità si riscontra la presenza di un litotipo marrone, sabbioso debolmente limoso di spessore di 1,2 m (Olocene), addensato.

Densità relativa %	56
Angolo di attrito (°)	32
Coesione kg/cm <sup>2</sup>	1.12
Modulo di deformazione kg/cm <sup>2</sup>	72

**Unità Litotecnica 4** – Depositi pozzolanici, coerenti, dalla profondità di circa 10.5 m, ben addensato. (Olocene).

Questa unità litotecnica costituisce il substrato relativamente alle formazioni investigate ed è caratterizzata da buone qualità fisico-meccaniche.

Con riferimento alla elaborazione delle prove eseguite su questi terreni la caratterizzazione geomeccanica può essere assunta come segue:

Densità relativa %	76
Angolo di attrito (°)	35
Coesione kg/cm <sup>2</sup>	2.14
Modulo di deformazione kg/cm <sup>2</sup>	135

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le indagini geognostiche realizzate hanno permesso di definire l'assetto stratigrafico locale per il *Restauro del Complesso di San Paolo Maggiore* in Napoli.

I terreni di sedime fanno parte dell'unità litotecnica costituita da piroclastiti riferibili all'attività esplosiva quaternaria dei Campi Flegrei.

La successione litostratigrafia ricostruita può essere schematizzata dall'alto verso il basso come segue:

- Unità litotecnica 1 - Terreni di riporto ed eluvio colluviali di limitato spessore (inferiore al metro), di spessore di 0.3 m, addensati.
- Unità litotecnica 2 – Depositi piroclastici, per uno spessore di circa 3.6 m. Piroclastiti cineritico lapillose di colore da marrone a grigio, di taglia sabbiosa medio fine debolmente limosa, poco addensate.
- Unità litotecnica 3 – per uno spessore totale di circa 5.4 m. Piroclastite cineritica di colore grigio avana di taglia sabbiosa fine ricca in pomici grigio chiaro diffuse e concentrate in livelli pluridecimetrici di taglia ghiaiosa, da moderatamente addensate ad addensate. (Olocene); alla base di questa unità si riscontra la presenza di un litotipo marrone, sabbioso debolmente limoso, di spessore di 1.2 m (Olocene), addensato.
- Unità litotecnica 4 – Depositi pozzolanici, coerenti, dalla profondità di circa 10.5 m, ben addensato. (Olocene).

Dal punto di vista geomorfologico l'area risulta stabile, infatti dalle cartografie del *rischio idrogeologico* dell'ex Autorità di Bacino Campania Centrale, è emerso che il sito non rientra nelle zone classificate a *rischio frana* e a *rischio idraulico*.

Dall'analisi dei risultati della indagine sismico - tecnica condotta nell'ambito di studio si deduce che il profilo stratigrafico di riferimento è attribuito cautelativamente alla categoria C, e condizioni topografiche attribuite alla categoria T1.

La falda freatica nei terreni investigati risulta assente quindi si escludono interazioni tra la falda e la sovrastruttura in questione, e finanche processi di liquefazione dei terreni in caso di sisma.

Sant'Antonio Abate, gennaio 2021

Il Tecnico:  
Dott. Geol. Giuseppe Abagnale

**COMUNE**

*NAPOLI*

# INDAGINI GEOGNOSTICHE GEOTECNICHE E GEOFISICHE

**CANTIERE:**

*COMPLESSO SAN PAOLO MAGGIORE – VIA SAN PAOLO 9/D – NAPOLI (NA)*

**COMMITTENTE:**

*CFG GROUP SRL*

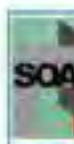
*Data Gennaio 2020*

INGE s.r.l.

*Il direttore tecnico*  
Dott. Geol. Antonio Petriccione



Certificate No.: 5607023/0  
TA Code: 28134  
Original Certification Date: 03/12/2009  
Current Certification Date: 10/01/2017  
Certificate Expiry Date: 12/31/2023



Attestazione di qualificazione  
alla esecuzione di lavori pubblici  
n. 4023/50/01  
Categoria OS20B Classifica II  
Valida dal 04/12/2019 al 03/12/2024



Aut. Min. N. 9300566 del 03-11-2009 Cir. 7410/STC - Provved. 10/01/2017  
Aut. Min. N. 154 del 09-04-2011 Cir. 7479/STC - Provved. 10/01/2017



## 1. INDICE

<b>1. INDICE</b>	<b>2</b>
<b>2. PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>3. Prove penetrometriche dinamiche pesanti (D.P.S.H.)</b>	<b>4</b>
3.1.1. GENERALITÀ	4
3.1.2. CARATTERISTICHE	4
3.1.3. INTERPRETAZIONE	5
3.1.4. FORMULE DI CORRELAZIONE UTILIZZATE	5
<b>4. Prove geotecniche di Laboratorio</b>	<b>9</b>
<b>4.1. Caratteristiche Fisiche Generali</b>	<b>9</b>
4.1.1. PESO DI VOLUME PER FUSTELLAMENTO	9
4.1.2. PESO DI VOLUME SECCO E CONTENUTO D'ACQUA	9
4.1.3. PESO SPECIFICO DEI GRANI	9
<b>4.2. Analisi Granulometrica</b>	<b>10</b>
<b>4.3. Prova di taglio diretto consolidata drenata</b>	<b>10</b>
<b>5. SISMICA PASSIVA Hvsr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)</b>	<b>12</b>
<b>5.1. Generalità</b>	<b>12</b>
<b>5.2. Rumore sismico ambientale</b>	<b>13</b>
5.2.1. Metodologia	13
5.2.2. Strumentazione	16

### ALLEGATI:

- 1. Certificati prova penetrometrica dinamica pesante DPSH**
- 2. Certificati prove geotecniche di laboratorio**
- 3. Elaborati sismica passiva HVSR**

## 2. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dalla CFG Group srl (Ordine n. 01/2021 del 05/01/20221 – Cantiere 11449153), il giorno 12/01/2021, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche su un cantiere ubicato in Via Sa Paolo 9/D – Complesso San Paolo Maggiore – Napoli (NA).

Le prove ed analisi eseguite sono consistite in:

- ◆ *1 prova penetrometrica dinamica pesante DPSH*
- ◆ *Prove geotecniche di laboratorio eseguite su un campione indisturbato*
- ◆ *1 indagine sismica passiva HVSR*

Nelle pagine successive si riporta una breve descrizione delle prove e delle indagini eseguite, in allegato i risultati ottenuti sotto forma di certificati.



### 3. Prove penetrometriche dinamiche pesanti (D.P.S.H.)

#### 3.1.1. GENERALITÀ

Nel corso della campagna di indagini geognostiche è stata eseguita n. 1 prova penetrometrica dinamica pesante spinta sino alla profondità di 15.00 metri dal piano campagna.

Le prove penetrometriche dinamiche pesanti vengono eseguite con il Penetrometro Dinamico Pesante Pluristandard della Pagani TG 63-200 KN.

Esse consistono nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione.

La prova fornisce una valutazione qualitativa e quantitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati. Le informazioni fornite dalle prove sono di tipo continuo poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione.

Il campo di utilizzazione della prova è molto vasto, viene infatti eseguita in tutti i tipi di terreno sia coesivo che granulare (dalle argille alle ghiaie).

A termine dell'esecuzione della prova è stato prelevato n. 1 campione indisturbato sottoposto successivamente a prove geotecniche di laboratorio.

Il campione è stato prelevato mediante un apposito campionatore costituito da un sistema a punta conica su cui è montata una fustella a pareti sottili "tipo shelby" della lunghezza di 60 centimetri e diametro interno 85 millimetri.

Il dispositivo, in fase di infissione, permette che la fustella sia chiusa dalla punta conica, per cui essa viene infissa a pressione fino alla quota desiderata; a questo punto la punta conica che chiude la fustella, mediante una rotazione delle aste di manovra, viene estratta liberando l'apertura inferiore della fustella, che con una successiva infissione si riempie con il campione indisturbato. Il campione così prelevato ha una classe di qualità che a seconda del tipo di terreno varia da Q4 a Q5.

#### 3.1.2. CARATTERISTICHE

La prova viene eseguita con attrezzatura e modalità standard EMILIA 30 appresso descritte:

- il maglio ha un peso  $Q = 63.50$  Kg;
- l'altezza di caduta del maglio è costante ed è pari ad  $H = 75$  cm;
- peso testa, guida, ecc.  $q=15$  Kg

- lunghezza aste  $L=1.00$  metri
- peso delle aste  $6.00$  Kg/m
- diametro della aste  $\phi=32$  mm
- angolo di apertura della punta  $\alpha=60^\circ$
- diametro della base della punta conica  $D=50.5$  mm
- Area della punta  $20$  cm<sup>2</sup>
- la registrazione dei colpi  $N$  avviene ogni qual volta il gruppo di infissione ha un abbassamento nel terreno pari a  $30$  cm;
- Energia specifica del colpo  $7.9375$  Kg/cm<sup>2</sup>
- Coefficiente di correlazione con l'NSPT  $1.01$

### 3.1.3. INTERPRETAZIONE

Diagrammando su un grafico cartesiano il numero di colpi  $N_{\text{spt}}$  in funzione della profondità, è possibile individuare strati caratterizzati da un numero di colpi pressoché simile determinando una stratigrafia geotecnica dei terreni attraversati.

Mediando i valori della resistenza all'avanzamento del gruppo di infissione, rilevati nell'ambito di ognuno degli strati così individuati, si possono ricavare le caratteristiche geotecniche dei terreni che li compongono. In particolare, attraverso opportune formule di correlazione (riportate nel paragrafo seguente), si ricavano una serie di parametri identificativi: la resistenza alla punta del penetrometro statico ( $R_p$ ), la resistenza a rottura non drenata che, opportunamente correlata, permette di quantificare l'angolo di attrito interno medio ( $\phi$ ) e la coesione non drenata ( $C_u$ ), il modulo edometrico ( $E_{ed}$ ) che fornisce le indicazioni sulla compressibilità dei terreni, la densità relativa ( $D_r$ ) per la determinazione dello stato di addensamento dei terreni. Le caratteristiche geotecniche dei vari strati individuati vengono riportate, per ogni prova, in una tabella riassuntiva insieme al grafico e al listato del numero di colpi misurati ogni  $30$  cm.

### 3.1.4. FORMULE DI CORRELAZIONE UTILIZZATE

#### 3.1.4.1. TERRENI DI NATURA GRANULARE

##### RESISTENZA ALLA PUNTA $R_p$ (Kg/cm<sup>2</sup>)

La correlazione con la resistenza alla punta del penetrometro statico viene ricavata mediante la formula:



$$R_p = 4N_{SCPT} \text{ (D'Apollonia e altri 1970)}$$

A tale formula è applicato un coefficiente correttivo in funzione del peso delle aste

#### DENSITÀ RELATIVA $D_r$ (%)

$$D_r = \left[ \frac{N_{SCPT}}{32 + 0.288 \cdot \sigma'} \right]^{0.5} \text{ (Skempton)}$$

con  $\sigma'$  = pressione efficace in Kg/cm<sup>2</sup>;

$N_{SCPT}$  = numero di colpi medio nello strato.

Il metodo è valido per le sabbie da fini a grossolane, per qualunque valore di pressione efficace, in depositi normalmente consolidati. Nel caso di depositi ghiaiosi il valore di  $D_r$  (%) viene sovrastimato, nei depositi limosi viene sottostimato.

#### ANGOLO DI ATTRITO $\phi$ (°)

Questo metodo correla  $\phi$  (°) con la densità relativa dello strato:

$$\phi = 26 + 0.14 \cdot D_r \text{ (Schmertmann)}$$

in cui  $D_r$  = densità relativa(%);

Il metodo è valido per sabbie e ghiaie in genere.

#### MODULO DI DEFORMAZIONE O EDOMETRICO $E$ (Kg/cm<sup>2</sup>)

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$E = 3 \cdot R_p \text{ (Schmertmann)}$$

con  $R_p$  = Resistenza alla punta media nello strato.

Il metodo è valido per le sabbie in genere. La relazione non considera l'influenza della pressione efficace che, parità di  $N_{scpt}$  determina una diminuzione di  $E$  con la profondità.

#### MODULO DI TAGLIO PER BASSE DEFORMAZIONI $G_0$ (Kg/cm<sup>2</sup>)

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$G_0 = 7.84 \cdot \phi \cdot \sigma' \text{ (Sherif & Ishibashi)}$$

con  $\phi$  = angolo di resistenza al taglio(°);

$\sigma'$  = pressione efficace (Kg/cm<sup>2</sup>);

Il metodo è valido per tutti i terreni di tipo incoerente.

### 3.1.4.2. TERRENI DI NATURA COESIVA

#### COESIONE NON DRENATA $C_u$ (Kg/cm<sup>2</sup>)

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$C_u = \frac{R_p - \sigma_v}{20}$$

con  $R_p$  = Resistenza alla punta (Kg/cm<sup>2</sup>);

$\sigma_v$  = pressione verticale totale (Kg/cm<sup>2</sup>);

#### MODULO EDOMETRICO $E_{ed}$ (Kg/cm<sup>2</sup>)

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$E_{ed} = N_{SCPT} \cdot 10^{1.163 - 0.029 \cdot N_{SCPT}} \quad (\text{Sanglerat})$$

con  $N_{scpt}$  = numero di colpi medio misurato nello strato;

Il metodo è valido per i terreni coesivi in genere (dai limi plastici alle argille).

#### GRADO DI SOVRACONSOLIDAZIONE $OCR$

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$OCR = \left[ \frac{C_u}{\sigma' \cdot KK} \right]^{1.25} \quad (\text{Ladd \& Foot})$$

con  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>) = coesione non drenata dello strato;

$\sigma'$  (Kg/cm<sup>2</sup>) = pressione efficace a metà strato;

$KK$  = parametro correttivo in funzione della profondità =  $7 - K_p$

$K_p$  viene calcolato come segue:

se la profondità media dello strato è  $\leq 1$ m:

$$K_p = 0.2 \cdot \frac{P}{l}$$

$P$  (m) = profondità media dello strato

$l$  (m) = passo di lettura della prova

se la profondità media è compresa fra 1 e 4 m:

$$Kp = \frac{0.2}{l} + \left[ \frac{0.35 \cdot (P - 1)}{l} \right]$$

se la profondità media è superiore a 4 m:

$$Kp = \frac{0.2}{l} + \left[ 0.35 \left( \frac{3}{l} \right) \right] + \left[ \frac{0.5(P - 4)}{l} \right]$$

### MODULO DI TAGLIO DINAMICO $G_0$ ( $t/m^2$ )

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$G_0 = a \cdot (N_{SPT})^{0.78} \quad (\text{Ohsaki \& Iwasaki})$$

Il metodo è valido per i terreni coesivi in genere (dai limi plastici alle argille).

## 4. Prove geotecniche di Laboratorio

Sul 2 campioni indisturbati sono state effettuate analisi di laboratorio consistenti in prove preliminari di identificazione e di misura della resistenza al taglio (*Pocket Penetrometer e Vane Test*) e poi nelle seguenti prove:

- ◆ *Caratteristiche fisiche generali*
- ◆ *Analisi granulometrica per setacciatura e per sedimentazione*
- ◆ *Prova di taglio diretto consolidata drenata (C.I.D.)*

### 4.1. Caratteristiche Fisiche Generali

Per la determinazione delle caratteristiche fisiche naturali del terreno si è proceduto in laboratorio come segue:

#### 4.1.1. PESO DI VOLUME PER FUSTELLAMENTO

Dal campione estratto, mediante piccole fustelle, a bordo tagliente e di volume noto, si ricavano provini indisturbati da pesare con una precisione di 0.01 g. Conoscendo sia il peso sia il volume del materiale, se ne calcola il peso di volume. Le pesate sono state eseguite con una bilancia SARTORIUS con precisione 0.01 grammi

#### 4.1.2. PESO DI VOLUME SECCO E CONTENUTO D'ACQUA

I campioni di cui al punto precedente sono riposti in una stufa ad essiccare ad una temperatura di 105-110° per la durata di 12 ore. Conoscendo il volume, il peso ed il peso secco dei provini, viene ricavato il peso di volume del secco ed il contenuto d'acqua. Le pesate sono state eseguite con una bilancia SARTORIUS con precisione 0.01 grammi

#### 4.1.3. PESO SPECIFICO DEI GRANI

Per la determinazione del peso specifico dei grani è inserito all'interno di un picnometro una quantità nota (circa 30-50 g) di materiale secco, riempito per metà di acqua distillata e riposto sotto vuoto per il tempo necessario ad espellere tutti i gas. Dopodiché si procede a riempire il picnometro esattamente fino al segno riportato sul collo e a pesare il tutto con una precisione di 0.01 g. Viene poi ripetuta la pesata del picnometro pieno solo di acqua distillata fino alla tacca riportata sul collo e, per

differenza, si ricava il volume spostato dalle particelle solide. Da questi dati è possibile ricavare il peso specifico delle particelle solide dopodiché, per correlazione, vengono calcolati l'indice dei vuoti, la porosità ed il grado di saturazione del campione. Le pesate sono state eseguite con una bilancia SARTORIUS con precisione 0.01 grammi.

#### **4.2. Analisi Granulometrica**

L'obiettivo dell'analisi granulometrica di un terreno è quello di raggruppare, in diverse classi di grandezza, le particelle che lo costituiscono e di determinare successivamente le percentuali in peso di ciascuna classe, riferite al peso secco iniziale del campione. La distribuzione granulometrica delle particelle che costituiscono un campione risulta indispensabile per avere indicazioni circa il comportamento meccanico del terreno, la sua permeabilità, il decorso dei cedimenti nel tempo, ecc.

La procedura per effettuare un'analisi granulometrica per *vagliatura* è quella di scegliere, per quartature successive, una quantità sufficiente di materiale rappresentativo del campione, essiccare questo materiale in stufa e pesarlo. Quest'ultimo si ripone quindi sulla pila di setacci muniti di fondo e coperchio e riposti con apertura via via decrescente; essi vengono fatti vibrare in modo da separare i granuli in frazioni di dimensioni pressoché uguali, ciascuna trattenuta al corrispondente setaccio. Successivamente si pesa il trattenuto ad ogni setaccio e si ricava la percentuale di passante al setaccio stesso. Con questa tecnica è possibile determinare la distribuzione delle dimensioni delle particelle fino al diametro di 0.075 mm. La distribuzione dei granuli di dimensioni inferiori a questo valore (cioè le particelle di limo ed argilla) viene effettuata per via indiretta, basandosi sui tempi di *sedimentazione* delle particelle in acqua distillata. In questo modo si arrivano ad identificare elementi di dimensioni minime dell'ordine di 1 micron. Le pesate sono state eseguite con una bilancia SARTORIUS con precisione 0.01 grammi.

#### **4.3. Prova di taglio diretto consolidata drenata**

La prova di taglio diretto viene eseguita con la cosiddetta scatola di Casagrande per determinare le caratteristiche meccaniche del terreno. Vengono preparati, in apposite fustelle, tre provini quadrati di 4 cm di lato e 2 cm di altezza, vengono sistemate nell'apposita Scatola di Casagrande e messi nell'alloggiamento della macchina di taglio. La scatola viene sommersa di acqua e, tramite un sistema



di pesi e di leve, sottoposta per 24 ore, a tre diverse pressioni di consolidazione che sono rispettivamente la metà del valore della pressione litostatica in sito, il valore della pressione in sito ed il doppio di questa. Tramite un micrometro con precisione 0.001 mm a tempi prestabiliti, vengono misurati ed annotati prendendo i cedimenti subiti da ogni provino. Dalla curva dei cedimenti in funzione del tempo è possibile ricavare vari parametri tra cui la velocità a cui il provino può essere rotto. Successivamente, con una velocità di spostamento della parte bassa della scatola pari al valore precedentemente determinato, ogni provino viene portato a rottura e la resistenza che il provino oppone al moto della scatola stessa viene misurato mediante un micrometro con precisione 0.001 mm. Diagrammando i risultati di tutte le misurazioni effettuate, come riportato in allegato, si ottiene l'angolo di attrito e la coesione del terreno.

In nessuna delle prove eseguite sono stati riscontrati comportamenti anomali tali da dover essere registrati sul certificato. L'attrezzatura usata è una scatola di taglio e macchina di taglio della NUOVA SANVITO con velocità di avanzamento regolabile con una precisione 0.01 micron/minuto.



## 5. SISMICA PASSIVA Hvsr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

### 5.1. Generalità

Nel corso della campagna di indagini geognostiche è stata eseguita n. 1 misura di microtremore a stazione singola HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), comunemente nota con il termine H/V.

Tale tecnica è stata condotta secondo gli standard e i criteri stabiliti dagli ICMS e indicati nel Volume di Ingegneria Sismica n°2/11 per la misura delle frequenze fondamentali riscontrabili in varie situazioni lito-stratigrafiche.

In particolare, la risposta sismica di sito, attraverso il calcolo della frequenza di risonanza, è stata investigata applicando la tecnica di Nakamura (1989), valutando quindi, nell'intervallo di frequenze 0.1÷64.0 Hz, i rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale del moto del suolo (H/V). Tale tecnica, secondo le procedure validate dal SESAME, è stata applicata valutando preliminarmente il valore medio (media geometrica) delle due distinte componenti orizzontali N-S (HL) e E-W (HT).

Per le registrazioni è stata utilizzata una stazione sismica digitale compatta e leggera, equipaggiata con sismometro a banda larga e ad alta sensibilità (Dispositivo digitale portatile Gemini-2 - PASI), costituito da una terna di velocimetri a breve periodo smorzati criticamente.

Le caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata (masse ridotte, struttura rigida non risonante costituita da materiali non-diffrangenti, dinamica di oltre 23 bit, ottimizzazione automatica del guadagno per ogni campione, frequenza di campionamento fino a 1.024 campioni per secondo, accuratezza relativa >10<sup>-4</sup> nell'intervallo di frequenze 0.1-200 Hz) hanno consentito una buona qualità del segnale sismico acquisito sulle tre componenti (verticale, longitudinale e trasversale).



*Acquisizione rumore sismico ambientale*

## **5.2. Rumore sismico ambientale**

Il rumore sismico detto anche vibrazione sismica ambientale, è costituito da onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di  $10^{-4} - 10^{-2}$  mm. Se ci riferiamo alle frequenze, il rumore sismico è detto microtremore se contiene alte frequenze ( $> 0,5$  Hz), ed è detto microsisma per basse frequenze.

Per quanto riguarda l'origine del rumore sismico, è certo che le sorgenti dei microsismi sono le perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti, mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche come il traffico veicolare, le attività industriali etc. e si propagano come onde superficiali di Rayleigh.

### 5.2.1. Metodologia

Durante la propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo è possibile, in alcuni casi, osservare un'amplificazione del moto al suolo dovuto al contrasto di impedenza acustica tra gli strati più superficiali.

Questo fenomeno è detto "effetto di sito". Risulta necessario far ricorso a metodologie che permettano di definire come i terreni di copertura del "bedrock" possano influenzare l'ampiezza delle onde in superficie.

Uno dei metodi più utilizzati per stimare la frequenza dell'amplificazione del modo fondamentale è il metodo del rapporto spettrale H/V o HVSR.

La tecnica del rapporto H/V consiste nel calcolare il rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (dato dalla media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali N-S ed E-W) e dalla componente verticale V. Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate in una singola stazione posta su sedimenti.

Il metodo è stato introdotto nel 1971 da scienziati giapponesi che mostrarono la relazione diretta del rapporto H/V con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Il picco massimo di ampiezza si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale della copertura dei terreni.

Nel 1989, Nakamura propose in Inglese il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura, si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio.

Assumendo che le sorgenti, essendo molto locali, non eccitano la base dello strato dei sedimenti, è possibile stimare la forma spettrale della sorgente del microtremore,  $A_S$ , come funzione della frequenza  $f$ , dal rapporto:

$$A_S(f) = \frac{V_S(f)}{V_B(f)}$$

$V_S$  e  $V_B$  sono gli spettri di ampiezza di Fourier della componente verticale del moto, rispettivamente sulla superficie e alla base dello strato di sedimenti. Si assume poi che una stima degli effetti di sito per un terremoto,  $Se$ , è data da:

$$Se(f) = \frac{H_S(f)}{H_B(f)}$$

in cui  $H_S$  e  $H_B$  sono gli spettri di ampiezza di Fourier del moto orizzontale, rispettivamente sulla superficie e alla base dello strato di sedimenti. Per compensare  $Se$  dello spettro della sorgente, Nakamura suggerisce di calcolare uno spettro modificato  $Sm$  come:

$$Sm(f) = \frac{Se(f)}{A_S(f)} = \frac{\frac{H_S}{H_B}}{\frac{V_S}{V_B}}$$

L'assunzione finale è che si verifichi per tutte le frequenze di interesse:

$$\frac{H_B}{V_B} = 1$$

Nakamura ha infatti dimostrato sperimentalmente che alla base dello strato superficiale, per tutte le frequenze, l'ampiezza della componente orizzontale è all'incirca la stessa di quella verticale, quindi tale rapporto è pari a 1.

Pertanto una stima degli effetti di sito è data dal rapporto spettrale tra il moto orizzontale e verticale sulla superficie.

Si può affermare che la frequenza del picco massimo è correlata con l'ellitticità sulla superficie del modo fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh. Alla frequenza di risonanza l'ellisse dello spostamento di Rayleigh cambia di segno e il rapporto di Nakamura tende teoricamente all'infinito, per cui l'ampiezza del rapporto non può essere correlato all'amplificazione delle onde di taglio.

Le basi teoriche del metodo H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock, in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (modello 1D).

Si consideri un sistema geofisico con due strati a differenti impedenze acustiche. Un'onda che viaggia nel primo mezzo viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa i due strati, interferendo con le onde incidenti. L'interferenza costruttiva dà luogo ad onde le cui ampiezze massime (condizione di risonanza) si ottengono quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. Per tale modello si può dimostrare che la frequenza fondamentale di risonanza ( $f_R$ ) del primo strato relativo alle onde S è pari a:

$$f_R = \frac{V_{S1}}{4H}$$

dove:

$V_{S1}$  ed H sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dello strato più superficiale. Le registrazioni di rumore sismico vengono sottoposte ad operazioni di rimozione della media, di detrending, e di filtraggio in un'opportuna banda di frequenza di interesse. Successivamente vengono suddivise in finestre temporali regolari (25 s) applicando ad esse una funzione di tapering per minimizzare gli effetti di troncamento della serie temporale. Per ogni singola finestra vengono calcolate le trasformate di Fourier, in un'opportuna banda di frequenze, applicando agli spettri di ampiezza



definiti una funzione di smoothing (lisciamento). Per ogni singola finestra temporale viene calcolato una funzione spettrale H/V come rapporto tra la media aritmetica o del modulo degli spettri delle componenti orizzontali e quello della componente verticale. Successivamente i singoli rapporti spettrali sono mediati sull'intero intervallo temporale, definendo una funzione media H/V, caratteristica del sito d'indagine.

L' acquisizione è stata in generale eseguite in condizioni di basso rumore ambientale e di assenza di vento, scegliendo una finestra temporale di acquisizione di 25 minuti, per garantire la stabilità del segnale e filtrare eventuali fenomeni transienti. Attraverso l'utilizzo di una bussola professionale da geologo, inoltre, la componente longitudinale N-S è stata orientata verso Nord nella registrazione del "noise", al fine di confrontare e valutare eventuali amplificazioni polarizzate. I dati registrati su supporto magnetico sono stati quindi elaborati mediante applicativi software commerciali specifici ed altri appositamente predisposti, che hanno operato il trattamento matematico e l'analisi spettrale del segnale.

#### 5.2.2. Strumentazione

Nelle acquisizioni è stato utilizzato un dispositivo digitale portatile Gemini-2 della PASI. Tale strumento è utilizzato per la registrazione del rumore sismico ambientale ma può essere anche impiegato per la registrazione di terremoti o vibrazioni artificiali.

Di seguito si riportano le principali caratteristiche tecniche dello strumento



SPECIFICHE TECNICHE GEMINI -2	
<b>SCHEDA ACQUISIZIONE DATI</b>	
Alimentazione / Registrazione Dati	Tramite porta USB di un PC esterno (di fornitura Clienti)
Conversione Dati	Convertitore A/D Sigma-Delta 24 bit, reali
Frequenza di Campionamento	Max. Freq. 8ksp/s, simultaneamente su 3+1 canali
Rapporto S/N	Max 117 db
Largh. Banda +1- 0,1 dB	105 Hz @ 1ksp/s
Largh. Banda -3 dB	212 Hz @ 1ksp/s
Numero di canali	3 + 1 (trigger)
Formato Dati	SAF (Seismo ASCII Format) / SEG2 (.dat)
<b>SENSORI GEMINI 2</b>	
Freq. nat. di risonanza	2 Hz $\pm$ 10%
Sensibilità	2 V/cm/s <sup>2</sup> $\pm$ 5%
Resistenza interna	5,8 k $\Omega$ $\pm$ 5%
Damping	0,7 $\pm$ 10%
Distorsione armonica	$\leq$ 0,2%
Impedenza d'ingresso	$\geq$ 10 M $\Omega$
Temperatura operativa	da -25°C a +55°C
Bloccaggio sensori	automatico quando non in uso
Dimensioni	Diam: 128 mm h: 175mm
Peso	2,4 Kg

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (D.P.S.H.)

Standard utilizzato: Emilia (30) [peso maglio Kg 63.5, volata cm 75, area punta cmq 20, angolo di apertura della punta 60°]

Committente: CFC Group srl

Id Int. 008 / 21

Cantiere: Complesso San Paolo Maggiore Via San Paolo, 9/D - Napoli (NA)

Coordinate lat. e long.: N40.851720 / E14.256730 Data eseguz. prova: 12/01/2021

Prova (n): DPSH 01 Certificato n° 0009/21 del 15/01/2021

### VALORI MISURATI IN SITU CON PENETROMETRO DINAMICO PESANTE

Prof. (m)	Colpi (N)	Prof. (m)	Colpi (N)	Prof. (m)	Colpi (N)	Prof. (m)	Colpi (N)	Prof. (m)	Colpi (N)
0.30	9	9.30	4						
0.60	3	9.60	10						
0.90	2	9.90	9						
1.20	2	10.20	11						
1.50	1	10.50	11						
1.80	1	10.80	15						
2.10	2	11.10	15						
2.40	2	11.40	15						
2.70	1	11.70	21						
3.00	1	12.00	21						
3.30	1	12.30	19						
3.60	2	12.60	16						
3.90	1	12.90	27						
4.20	3	13.20	21						
4.50	5	13.50	20						
4.80	5	13.80	26						
5.10	12	14.10	15						
5.40	6	14.40	14						
5.70	3	14.70	13						
6.00	2	15.00	20						
6.30	4								
6.60	8								
6.90	5								
7.20	9								
7.50	6								
7.80	6								
8.10	5								
8.40	4								
8.70	4								
9.00	4								

IL RESPONSABILE DI SITO

IL RESPONSABILE DI SITO  
Dott. Geol. Mauro Saponzino

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Giuseppe Riello



Aut. Min. n. 154 del 19/04/11 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prel. di campioni e prove in sito di cui all'art. 59 DPR. 380/01

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (D.P.S.H.)

Standard utilizzato: Emilia (30) [peso maglio Kg 63.5, volata cm 75, area punta cmq 20, angolo di apertura della punta 60°]

Committente: CFC Group srl

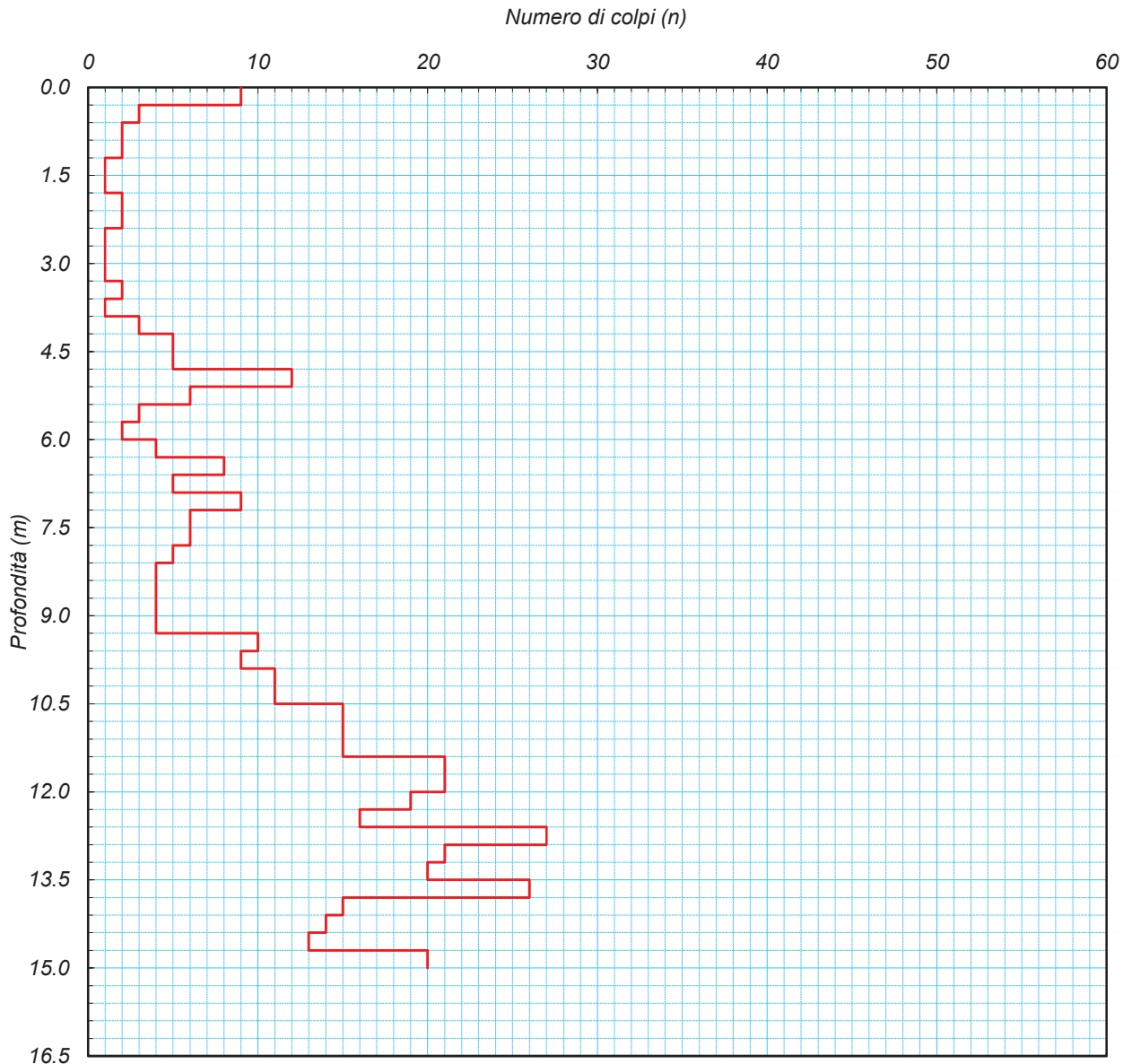
Id Int. 008 / 21

Cantiere: Complesso San Paolo Maggiore Via San Paolo, 9/D - Napoli (NA)

Coordinate lat. e long.: N40.851720 / E14.256730 Data esecuz. prova: 12/01/2021

Prova (n): DPSH 01 Certificato n° 0009/21 del 15/01/2021

GRAFICO NUMERO DI COLPI



IL RESPONSABILE DEL SITO  
Dott. Geol. Mauro Sammartino

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
Dott. Geol. Giuseppe Riefo



Via Taverna Vecchia, 19  
81020 Castel Morrone (CE)  
Tel e Fax 0823399115/961  
www.ingesrl.it - info@ingesrl.it

Attestazione di qualificazione  
alla esecuzione di lavori predefiniti  
n. 4023/50/01  
Categoria OS208 Classifica II  
Valida dal 04/12/2010 al 03/12/2024



Aut. Min. n. 154 del 19/04/11 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prel. di campioni e prove in sito di cui all'art. 59 DPR. 380/01

## PRELIEVO CAMPIONE INDISTURBATO

**Standard utilizzato: AGI (1977) [Fustella a pareti sottili in acciaio inox L=60 cm; D=85 mm]**

Committente: CFC Group srl

Id Int. 008 / 21

Cantiere: Complesso San Paolo Maggiore Via San Paolo, 9/D - Napoli (NA)

Coordinate lat. e long.: 40.851720 - 14.256730 Data eseguz. prova: 12/01/2021

Sigla Campione **DP1 - C1** Profondità di prelievo (m): **1.50 - 2.00**

**Prova (n): DPSH 01** Certificato n° **0009/21** del 15/01/2021

### CAMPIONE PRELEVATO CON CAMPIONATORE INFISSO DAL PENETROMETRO STATICO



Campionatore nella posizione di infissione a pressione



Particolare punta Campionatore nella posizione di infissione a pressione



Particolare fustella Campionatore nella posizione di prelievo a pressione

IL RESPONSABILE DI SITO  
IL RESPONSABILE DI SITO  
Dott. Geol. Mauro Sapountzoglou

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
Dott. Geol. Giuseppe Riello





# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (D.P.S.H.)

Standard utilizzato: Emilia (30) [peso maglio Kg 63.5, volata cm 75, area punta cmq 20, angolo di apertura della punta 60°]

Committente: CFC Group srl

Cantiere: Complesso San Paolo Maggiore Via San Paolo, 9/D - Napoli (NA)

Coordinate lat. e long.: N40.851720 / E14.256730 Data esecuz. prova: 12/01/2021

Prova (n): DPSH 01

## STRATIGRAFIA INTERPRETATIVA

### DATI GENERALI

Strato (n)	1	2	3	4	5
Profondità iniziale (m)	0.00	0.30	3.90	9.30	10.50
Profondità finale (m)	0.30	3.90	9.30	10.50	15.00
Potenza dello strato (m)	0.30	3.60	5.40	1.20	4.50
Peso di volume attribuito (g/cm <sup>3</sup> )	1.50	1.50	1.40	1.50	1.50
Pressione vert efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.05	0.59	1.30	1.58	2.25
Media numero colpi (N)	9	2	5	10	19
Media resist. alla Punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	19.00	8.00	15.00	24.00	45.00

### PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI NATURA GRANULARE

Angolo di attrito (°)	32	28	30	32	35
Densità relativa (%)	53	25	39	56	76
Mod. di deformazione (Kg/cm <sup>2</sup> )	57	24	45	72	135
Mod. taglio dinamico (Kg/cm <sup>2</sup> )	11	128	306	395	617
Stato di addensamento	S	M S	S	M	M

### PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI NATURA COESIVA

Coesione non dren. (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.95	0.37	0.68	1.12	2.14
Modulo edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	41.00	17.00	33.00	52.00	99.00
Grado di sovracons. OCR (-)	105.31	0.16	0.04	0.05	0.04
Mod. di taglio dinam. (t/m <sup>2</sup> )	7'770	2'404	4'913	8'436	13'917
Stato di consistenza	C	T	Med	C	M C

## LEGENDA

### Terreni di natura granulare - Stato di addensamento

M S=Molto sciolto, S=Sciolto, M=Medio, D=Denso, M D=Molto Denso

### Terreni di natura coesiva - Stato di consistenza

M=Molle, T=Tenero, Med=Medio, C=Compatto, M C=Molto Compatto, D=Duro

Castel Morrone (CE), **20/01/2021**

Accettazione n: TER001/21      Data ricevimento: 12/01/21      Data esecuzione prova: 14/01/21

Committente: CFC Group srl

Cantiere: Complesso S. Paolo 9/D - Napoli (NA)

Sondaggio: **DP1**      Campione: **C1**      Profondità di prelievo (m): **1.50 - 2.00**

## IDENTIFICAZIONE DEL TERRENO

(ASTM D2488-00)

### CARATTERI IDENTIFICATIVI

Contenitore: Fustella pareti grosse in acciaio inox      Diametro (cm): 8.20      Lungh. (cm): 43.80  
Massa (Kg) 3.503      Condizione del campione estruso: Buone      Classe di qualità (AGI): Q5

### PROVE DI CONSISTENZA SPEDITIVE

Pocket Penetrometer Test (MPa): > 0.600      Pocket Vane Test (MPa): > 0.200

### CARATTERISTICHE VISIVE

#### DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Piroclastite sabbioso limosa con pomici di dimensioni fino a 1 centimetro. Materiale poco addensato.

#### COLORE (Tavola di Munsell)

10YR grigio scuro 4/1.

#### Foto campione

**LO SPERIMENTATORE**  
Geom. Alfonso Casapulla



**IL DIRETTORE DEL LABORATORIO**  
Dott. Geol. Antonio Petriccione



Castel Morrone (CE), **20/01/2021**

Certificato n. **00071/21**

Accettazione n: **TER001/21**

Data ricevimento: **12/01/21** Data esecuzione prova: **18/01/21**

Committente: **CFC Group srl**

Cantiere: **Complesso S. Paolo 9/D - Napoli (NA)**

Sondaggio: **DP1**

Campione: **C1**

Profondità di prelievo (m): **1.50 - 2.00**

## **CARATTERISTICHE FISICHE DEL TERRENO**

(CNR-UNI 10008-64 BS 1377/75 ASTM D854-83)

### **CONDIZIONI NATURALI**

Peso specifico del terreno $\gamma_s$ (KN/m <sup>3</sup> )	26.00
Peso dell'unità di volume (fustellamento) $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	14.37
Peso dell'unità di volume (pesata idrostatica) $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	
Contenuto d'acqua W (%)	39.26
Peso secco dell'unità di volume $\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	10.32
Indice di porosità e (-)	1.52
Porosità n (-)	0.60
Grado di saturazione S (-)	0.69

### **CONDIZIONI DI SATURAZIONE**

Peso dell'unità di volume immerso in acqua $\gamma'$ (KN/m <sup>3</sup> )	6.42
Peso dell'unità di volume saturo d'acqua $\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	16.23
Contenuto d'acqua $W_{sat}$ (%)	57.36

**LO SPERIMENTATORE**  
Geom. Alfonso Casapulla

**IL DIRETTORE DEL LABORATORIO**  
Dott. Geol. Antonio Petriccione



Castel Morrone (CE), **20/01/2021**

Certificato n. **00072/21**

Accettazione n: TER001/21

Data ricevimento: 12/01/21 Data esecuzione prova: 15/01/21

Committente: CFC Group srl

Cantiere: Complesso S. Paolo 9/D - Napoli (NA)

Sondaggio: **DP1**

Campione: **C1**

Profondità di prelievo (m): **1.50 - 2.00**

## ANALISI GRANULOMETRICA

(ASTM D421-D422-D2217)

### VALORI DETERMINATI MEDIANTE SETACCIATURA

Vaglio ASTM (No)	5	10	20	40	70	140	200
Diametro granuli (mm)	4.000	2.000	0.850	0.425	0.212	0.106	0.075
Peso passante compl. (%)	80.95	72.82	63.58	54.09	45.12	35.89	34.33

### VALORI DETERMINATI MEDIANTE SEDIMENTAZIONE

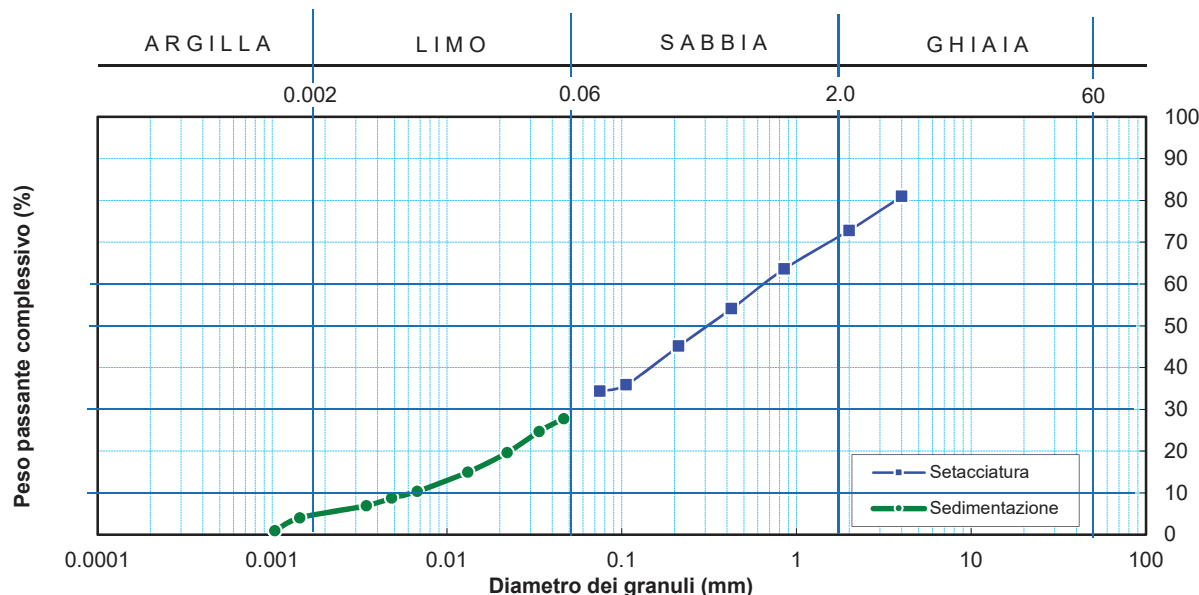
Diametro granuli (mm)	0.047	0.034	0.022	0.013	0.007	0.005	0.003	0.0014	0.0010
Peso passante compl. (%)	27.77	24.69	19.62	14.97	10.35	8.78	6.94	4.03	0.95

### FRAZIONI GRANULOMETRICHE E PARAMETRI CORRELATI

Frazione argillosa < 0.002 mm (%)	4.84	Diametro efficace $D_{10}$ (mm)	0.006316
Frazione limosa < 0.06 mm (%)	26.03	Diametro medio $D_{30}$ (mm)	0.056200
Frazione < 0.074 mm (%)	34.33	Diametro medio $D_{50}$ (mm)	0.327936
Frazione sabbiosa < 2 mm (%)	50.08	Diametro medio $D_{60}$ (mm)	0.689629
Frazione ghiaiosa > 2 mm (%)	19.05	Coefficiente di uniformità $C_u$ (-)	109.19
		Coefficiente di curvatura $C_c$ (-)	0.73

Class. A.G.I. (1977): **sabbia con limo ghiaiosa.**

### DIAGRAMMA DELLA DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA



**LO SPERIMENTATORE**  
Geom. Alfonso Casapulla

**IL DIRETTORE DEL LABORATORIO**  
Dott. Geol. Antonio Petriccione



Castel Morrone (CE), **20/01/2021**

Certificato n. **00073/21**

Accettazione n: TER001/21 Data ricevimento: 12/01/21 Data esecuzione prova: 14/01/21

Committente: CFC Group srl

Cantiere: Complesso S. Paolo 9/D - Napoli (NA)

Sondaggio: **DP1** Campione: **C1** Profondità di prelievo (m): **1.50 - 2.00**

## TAGLIO DIRETTO

(ASTM D 3080-98)

DIMENSIONI DEI PROVINI				VALORI A INIZIO CONSOLIDAZ.		PARAMETRI DELLA CONSOLIDAZIONE			
Prov.	Lunghezza lato l (cm)	Altezza iniziale h (cm)	Area di base A <sub>b</sub> (cm <sup>2</sup> )	Peso di volume γ <sub>i</sub> (KN/m <sup>3</sup> )	Contenuto d'acqua w <sub>i</sub> (%)	Durata consol. δt (ore)	Pressione di consolidazione σ <sub>n</sub> (MPa)	Cedim. finale δh (mm)	Tempo T <sub>100</sub> (min)
1 ■	6.00	2.50	36.00	14.43	42.03	24.00	0.049	1.212	5.16
2 ◆	6.00	2.50	36.00	14.34	42.26	24.00	0.098	2.231	3.31
3 ●	6.00	2.50	36.00	14.26	42.49	24.00	0.196	3.038	2.88

CONSOLIDAZIONE DEI PROVINI						VALORI A FINE CONSOLIDAZ.		
Provino n.1 ■		Provino n.2 ◆		Provino n.3 ●		Prov.	Peso di volume γ <sub>f</sub> (KN/m <sup>3</sup> )	Contenuto d'acqua w <sub>f</sub> (%)
Tempo t (min)	Cedim. δh (mm)	Tempo t (min)	Cedim. δh (mm)	Tempo t (min)	Cedim. δh (mm)	(n)		
0.1	0.98	0.1	1.79	0.1	2.42	1 ■	15.73	47.38
0.25	1.02	0.25	1.88	0.25	2.57	2 ◆	16.25	46.82
0.4	1.04	0.4	1.93	0.4	2.64	3 ●	16.66	46.25
0.5	1.05	0.5	1.95	0.5	2.67			
1	1.06	1	1.98	1	2.71			
2	1.08	2	2.00	2	2.74			
4	1.09	4	2.03	4	2.77			
8	1.11	8	2.05	8	2.80			
15	1.12	15	2.07	15	2.83			
30	1.13	30	2.10	30	2.86			
60	1.15	60	2.12	60	2.89			
120	1.16	120	2.14	120	2.92			
240	1.17	240	2.16	240	2.95			
480	1.19	480	2.19	480	2.98			
960	1.20	960	2.21	960	3.01			
1440	1.21	1440	2.23	1440	3.04			

CARATTERISTICHE DELLA PROVA			
Prov. (n)	Condizione del provino	Orientazione strutturale del provino (°)	Velocità di def. orizz. V <sub>i</sub> (mm/min)
1 ■	Indisturbato	n.d.	0.001
2 ◆	Indisturbato	n.d.	0.001
3 ●	Indisturbato	n.d.	0.001

Note: Prova di taglio eseguita con la scatola di Casagrande.

**LO SPERIMENTATORE**

Geom. Alfonso Casapulla

**IL DIRETTORE DEL LABORATORIO**

Dott. Geol. Antonio Petriccione





Castel Morrone (CE), **20/01/2021**

Certificato n. **00073/21**

Accettazione n: **TER001/21**

Data ricevimento: **12/01/21**

Data esecuzione prova: **14/01/21**

Committente: **CFC Group srl**

Cantiere: **Complesso S. Paolo 9/D - Napoli (NA)**

Sondaggio: **DP1**

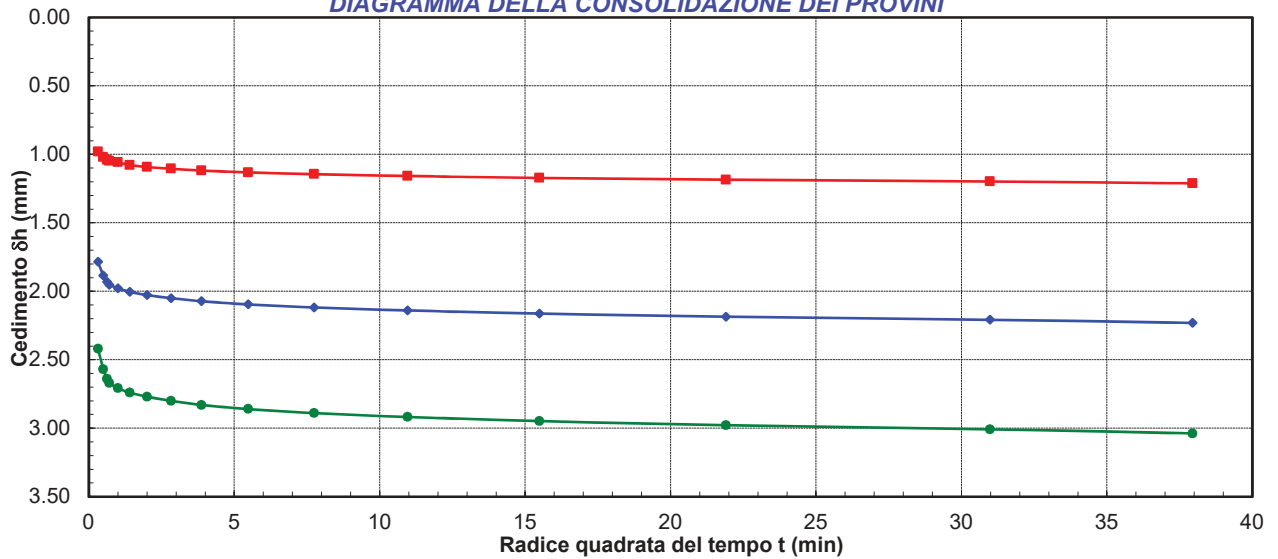
Campione: **C1**

Profondità di prelievo (m): **1.50 - 2.00**

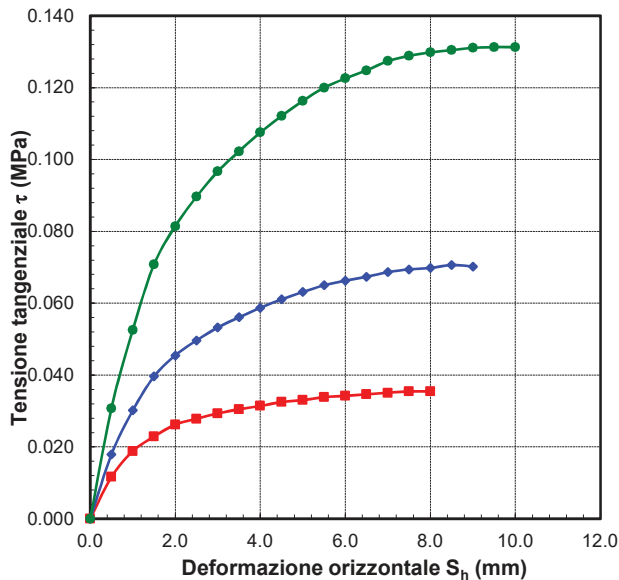
## TAGLIO DIRETTO

(ASTM D 3080-98)

**DIAGRAMMA DELLA CONSOLIDAZIONE DEI PROVINI**

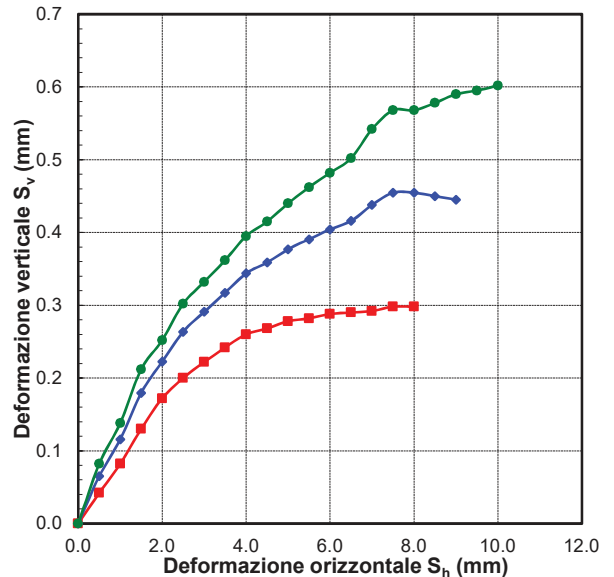


**DIAGRAMMA DEFORMAZIONE-TENSIONE**



**LO SPERIMENTATORE**  
 Geom. Alfonso Casapulla

**DIAGRAMMA DELLE DEFORMAZIONI**



**IL DIRETTORE DEL LABORATORIO**  
 Dott. Geol. Antonio Petriccione



Castel Morrone (CE), **20/01/2021**

Certificato n. **00073/21**

Accettazione n: TER001/21      Data ricevimento: 12/01/21      Data esecuzione prova: 14/01/21

Committente: CFC Group srl

Cantiere: Complesso S. Paolo 9/D - Napoli (NA)

Sondaggio: **DP1**      Campione: **C1**      Profondità di prelievo (m): **1.50 - 2.00**

## TAGLIO DIRETTO

(ASTM D 3080-98)

### VALORI RILEVATI AI COMPARATORI DELLA MACCHINA DI TAGLIO - CONDIZIONI DI PICCO

Provino n.1 ■			Provino n.2 ◆			Provino n.3 ●		
Def. orizz. S <sub>h</sub> (mm)	Def. vert. S <sub>v</sub> (mm)	Tensione tangenziale τ (MPa)	Def. orizz. S <sub>h</sub> (mm)	Def. vert. S <sub>v</sub> (mm)	Tensione tangenziale τ (MPa)	Def. orizz. S <sub>h</sub> (mm)	Def. vert. S <sub>v</sub> (mm)	Tensione tangenziale τ (MPa)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
0.50	0.04	0.012	0.50	0.07	0.018	0.50	0.08	0.031
1.00	0.08	0.019	1.00	0.12	0.030	1.00	0.14	0.053
1.50	0.13	0.023	1.50	0.18	0.040	1.50	0.21	0.071
2.00	0.17	0.026	2.00	0.22	0.045	2.00	0.25	0.081
2.50	0.20	0.028	2.50	0.26	0.050	2.50	0.30	0.090
3.00	0.22	0.029	3.00	0.29	0.053	3.00	0.33	0.097
3.50	0.24	0.030	3.50	0.32	0.056	3.50	0.36	0.102
4.00	0.26	0.031	4.00	0.34	0.059	4.00	0.40	0.108
4.50	0.27	0.032	4.50	0.36	0.061	4.50	0.42	0.112
5.00	0.28	0.033	5.00	0.38	0.063	5.00	0.44	0.116
5.50	0.28	0.034	5.50	0.39	0.065	5.50	0.46	0.120
6.00	0.29	0.034	6.00	0.40	0.066	6.00	0.48	0.123
6.50	0.29	0.035	6.50	0.42	0.067	6.50	0.50	0.125
7.00	0.29	0.035	7.00	0.44	0.069	7.00	0.54	0.127
7.50	0.30	0.035	7.50	0.45	0.069	7.50	0.57	0.129
8.00	0.30	0.035	8.00	0.45	0.070	8.00	0.57	0.130
			8.50	0.45	0.071	8.50	0.58	0.130
			9.00	0.45	0.070	9.00	0.59	0.131
						9.50	0.60	0.131
						10.00	0.60	0.131

**LO SPERIMENTATORE**  
Geom. Alfonso Casapulla



**IL DIRETTORE DEL LABORATORIO**  
Dott. Geol. Antonio Petriccione



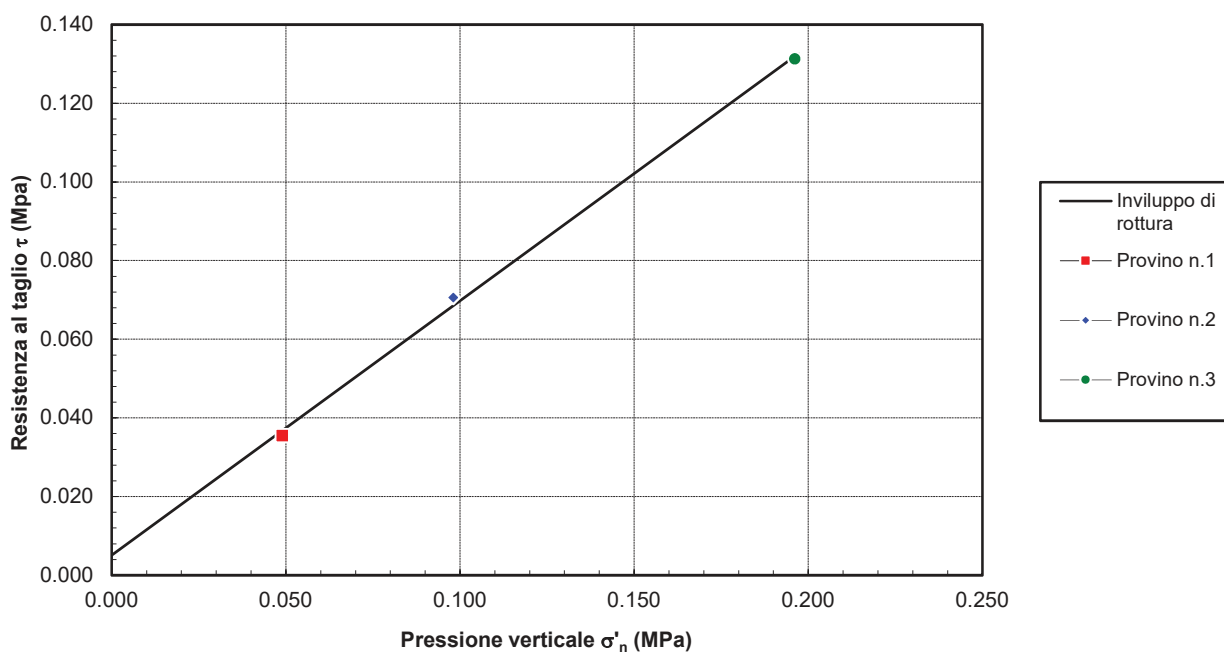
Sondaggio: **DP1**Campione: **C1**Profondità di prelievo (m): **1.50 - 2.00**

## TAGLIO DIRETTO

### CONDIZIONI DI PICCO

Provino	Pressione verticale $\sigma'_n$ (MPa)	Deformazione orizzontale $S_{hf}$ (mm)	Deformazione verticale $S_{vf}$ (mm)	Resistenza al taglio $\tau_f$ (MPa)
1 ■	0.049	7.50	0.30	0.035
2 ◆	0.098	8.50	0.45	0.071
3 ●	0.196	9.50	0.60	0.131

### DIAGRAMMA DELL'INVILUPPO DI ROTTURA - CONDIZIONI DI PICCO



### PARAMETRI DELL'INVILUPPO

Coeff. di determinaz.	Errore stand. sulla stima di c
$r^2$ (-)	$s_v$ (-)
9.99E-01	2.63E-02

**Angolo  
di attrito**  
 $\phi$   
(gradi)

**32.89**

**Coesione  
intercetta**  
**c**  
(Mpa)

**0.005**

## MISURE HVSR

### MISURA HVSR 01

**Committente: CFC Group srl**

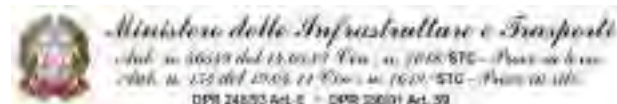
**Cantiere: Complesso San Paolo Maggiore Via San Paolo, 9/D - Napoli (NA)**

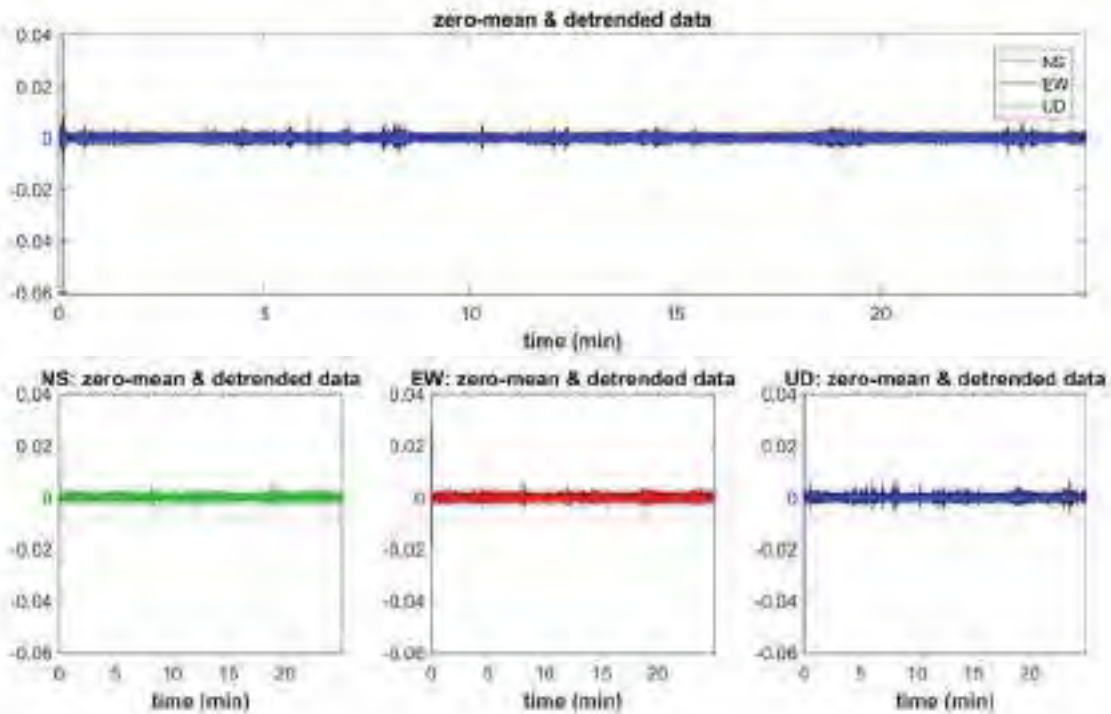
ELABORAZIONE DATI	
Dataset: hvsr_01.seg2	Date: 12/01/2021
Frequenza di campionamento (Hz): 64	Lunghezza finestra (sec): 20
Frequenza minima stabilita [10 cicli]: 0.5Hz	Lunghezza del set di dati analizzato (min): 25.0
Tapering (%): 5	Smoothing (%): 15

CRITERI SESAME	
I risultati ottenuti sono stati acquisiti considerando i dati nell'intervallo di frequenza 0,5-20,0Hz	
Criteria per una curva H / V affidabile	Criteria per un picco H / V chiaro (almeno 5 devono essere soddisfatti)
1. $[f_0 > 10/Lw]$ : $2.596 > 0.5$ (OK) 2. $[nc > 200]$ : $7529 > 200$ (OK) 3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)	1. [exists f- in the range $[f_0/4, f_0]$   $AH/V(f-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 0.7Hz (OK) 2. [exists f+ in the range $[f_0, 4f_0]$   $AH/V(f+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 5.6Hz (OK) 3. $[A_0 > 2]$ : $2.4 > 2$ (OK) 4. $[f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (OK) 5. $[\sigma_A(f) < \epsilon(f)]$ : $0.745 > 0.130$ (NO) 6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ : $0.428 < 1.58$ (OK)
RISULTATI OTTENUTI	
Frequenza di picco (Hz): <b>2.6 (<math>\pm 0.7</math>)</b>	Valore di picco HVSR: <b>2.4 (<math>\pm 0.2</math>)</b>

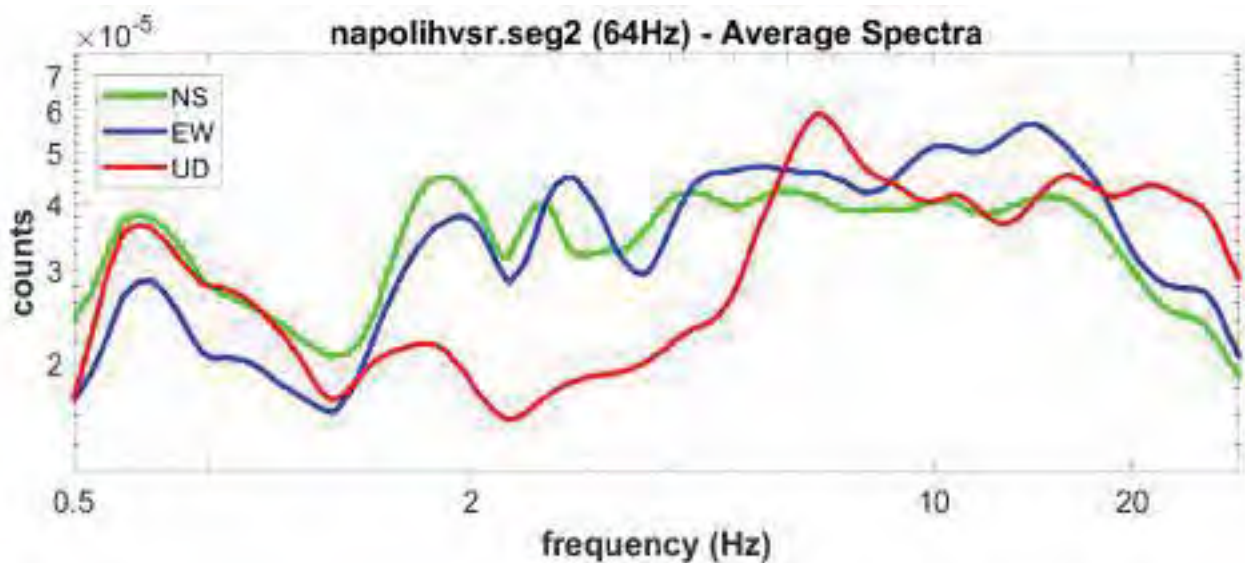


Pag -1-





**Figura 1** Dati grezzi delle componenti orizzontali e verticale



**Figura 2** Grafico singole componenti nel dominio delle frequenze

*NS-componente Nord-Sud; EW-componente Est-Ovest; UD-componente Verticale*





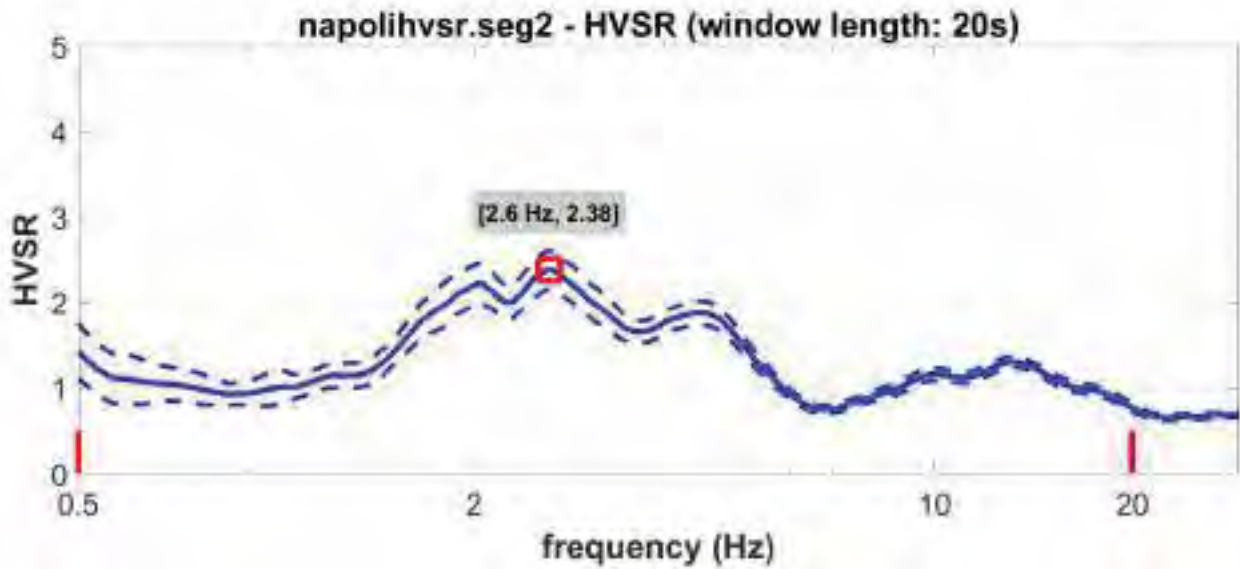


Figura 3 Grafico rapporto spettrale H/V con individuazione della frequenza e valore di picco

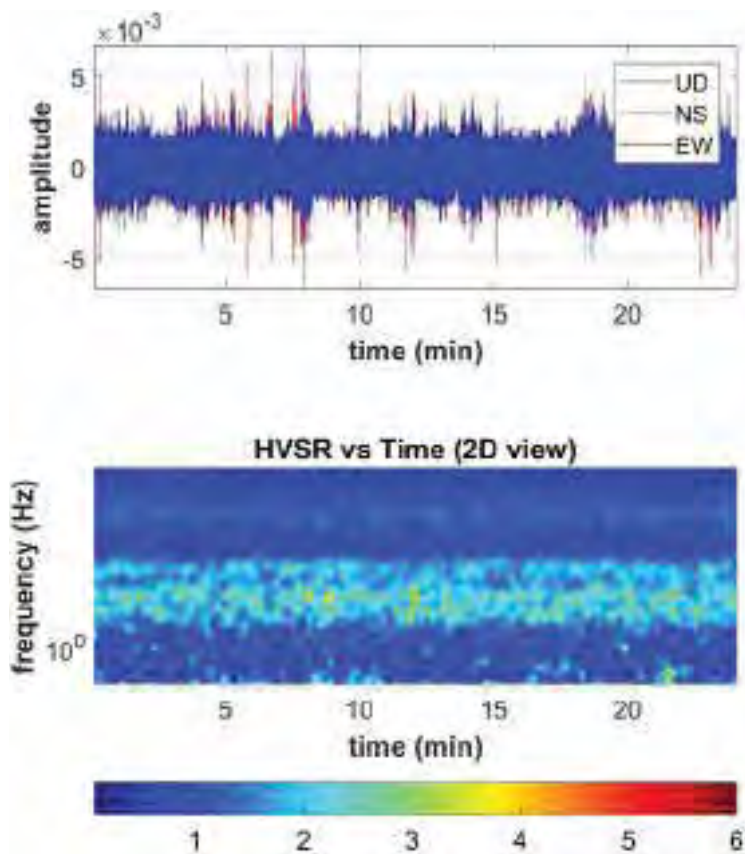


Figura 4 Continuità (Persistenza) del rapporto spettrale H / V



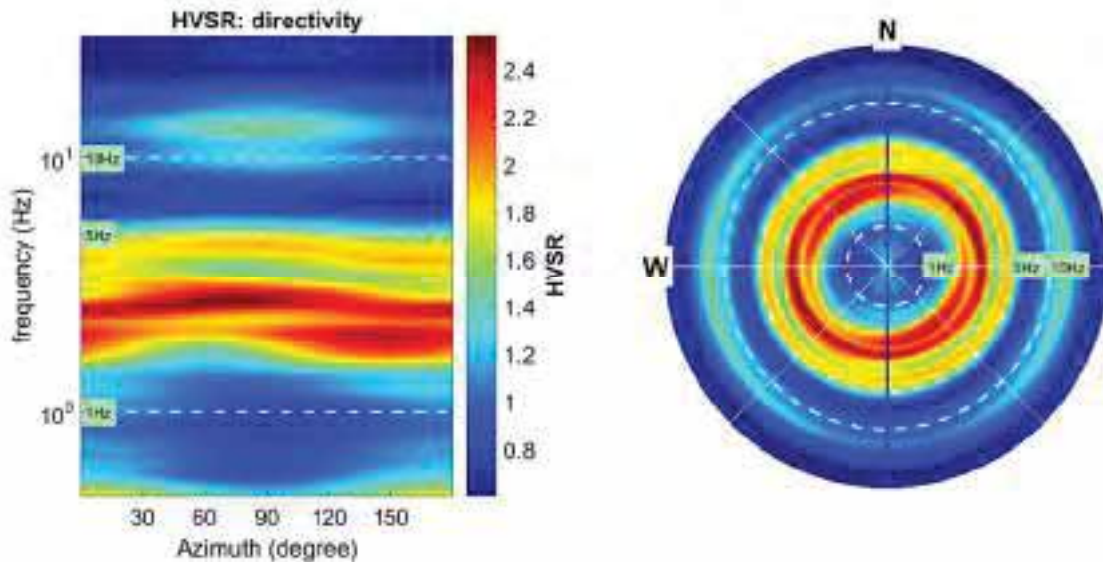


Figura 5 Direzionalità del rapporto spettrale H / V

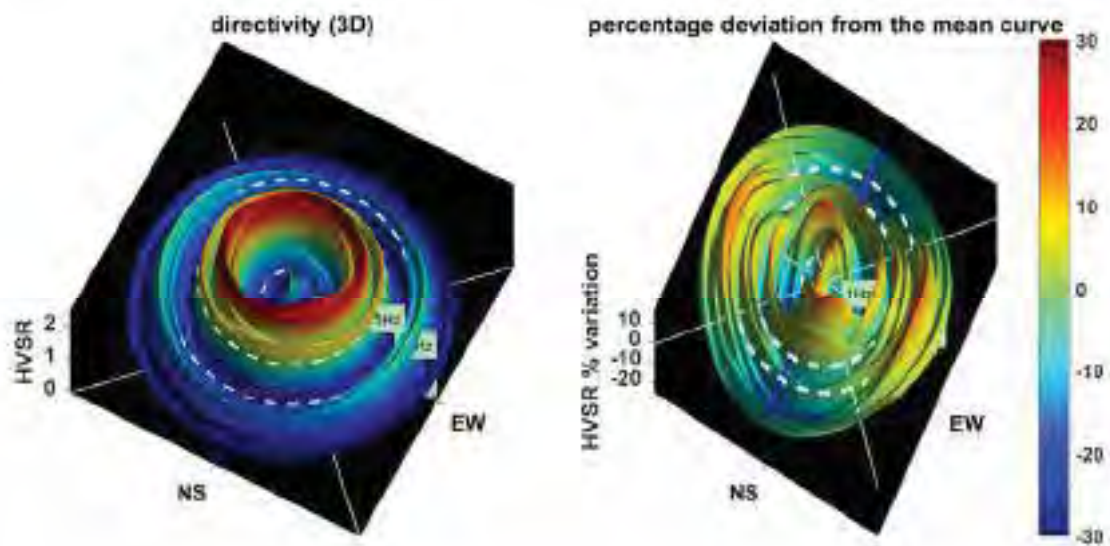


Figura 6 Direzionalità del rapporto spettrale H / V



# **Report fotografico**

## **INDAGINI GEOGNOSTICHE GEOTECNICHE E GEOFISICHE**





*Prove penetrometriche dinamiche pesanti (D.P.S.H.)*



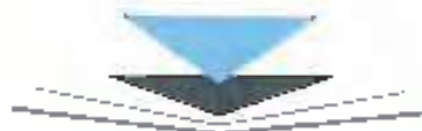


*Prelievo campione indisturbato per prove geotecniche di Laboratorio*





*SISMICA PASSIVA Hvsr*



**Committente:**

**CFC Group srl**  
Via Carlo Poerio n. 9  
80121 Napoli (SA)

**Cantiere:**

**Prove ed indagini nell'ambito del restauro del  
Complesso San Paolo Maggiore**  
Via San Paolo  
80121 Napoli (NA)

**Indagini:**

- Prova con martinetti piatti
- Endoscopia
- Prova penetrometrica su malta
- Determinazione stratigrafia volta
- Determinazione grado di umidità legno
- Prova sonora su legno
- Termografie su legno
- Prova resistografica
- Determinazione della profondità di carbonatazione
- Determinazione della resistenza a compressione su campioni di calcestruzzo
- Prove sclerometriche
- Determinazione della resistenza a trazione su campioni d'armatura
- Determinazione della resistenza a trazione su profilati
- Prova durometrica
- Individuazione dei ferri d'armatura

**Prove eseguite il:**

**16 - 17- 18 novembre 2020**

Certificato n. 673-674/2020 Prove a compressione su campioni di cls

Certificato n.675-676/2020 Prove a trazione su campioni di armatura

Certificato n.677/2020 Prove a trazione profilati

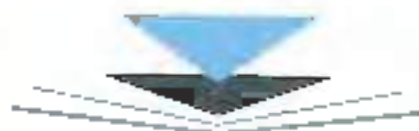
**Allegati al**

**Rapporto di prova n. 110/2020 del 25 novembre 2020**

**Il presente fascicolo si compone di 91 pagine incluse la presente più n. 12 scansioni pacometriche e n.5 planimetrie in allegato.**

*La legge vieta la copia non ufficiale del rapporto di prova e la sua parziale riproduzione, senza approvazione scritta data da questo Laboratorio, il presente rapporto viene fornito al richiedente in originale più due copie; un'ulteriore copia è conservata nell'archivio.*

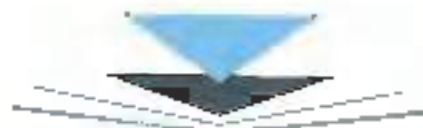




## Sommario

Verbale di prelievo.....	5
Certificato n. 673/2020.....	8
Certificato n. 674/2020.....	9
Certificato n. 675/2020.....	10
Certificato n. 676/2020.....	11
Certificato n. 677/2020.....	12
Prefresa.....	13
Verbale martinetti piatti.....	15
<b>Prova con martinetti piatti.....</b>	<b>16</b>
Prefresa.....	16
Descrizione dell'attrezzatura.....	18
Esecuzione della prova con martinetto singolo.....	19
Esecuzione della prova con martinetto doppio.....	20
Tabella letture prova MS 01.....	22
Tabella letture prova MD 01.....	24
Documentazione fotografica.....	27
Tabella letture prova MS 02.....	28
Tabella letture prova MD 02.....	30
Documentazione fotografica.....	33
<b>Esame endoscopico.....</b>	<b>34</b>
Estratti delle endoscopie.....	35





Prospetti NTC 17/01/2018.....	72
Prospetti NTC 14/01/2008.....	73
Prospetti Decreto Ministero I.L. PP. 14 febbraio 1992.....	74
<b>Ispezioni visive.....</b>	<b>75</b>
<b>Indagine pacometrica.....</b>	<b>80</b>
Misurazione e precisione pacometrica.....	81
Documentazione fotografica.....	81





LABORATORIO EDIL-TEST S.r.l.

ORGANIZZAZIONE CON SISTEMA QUALITÀ  
CERTIFICATO UNI EN ISO 9001:2015

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Concessione 12386/2011  
ex CLS. n° 16596/77 (L. 1086/71)  
ex Accia: n° 21675/80 (L. 1086/71)

## VERBALE DI PRELIEVO

Il Laboratorio "EDIL-TEST" S.r.l. di Battipaglia per incarico di  
CFC GROUP SRL VIA CARLO POERIO 4.9  
80121 NAPOLI (NA)

ha effettuato

n. 4 prelievi di cls  n. 4 prelievi di acciaio  n. 2 PRELIEVI DI PROVA  
presele strutture (oggetto di) RESTAURO COMPLESSO SAN PAOLO  
MAGLIORIS IN NAPOLI

Ubicate in \_\_\_\_\_

Alle prove hanno assistito:

- DIR. ING. MASCOLO SALVATORE

- DIR. ING. CASONE LUCIANO

I prelievi sono stati effettuati seguendo le procedure operative PO.02 e  
PO.09 riportate nel manuale di qualità di codesto Laboratorio.

Inoltre sono state effettuate le seguenti prove

n. \_\_\_\_\_ scansioni paccometriche

n. \_\_\_\_\_ prove durometriche

altro SONDARE, SCIENTOMETRIE, PROVE CARIS E HUMIDITÀ E LEGNO

Si allega n. 2 tabelle con identificazione dei campioni prelevati

Luogo NAPOLI verbale di prelievo n. 76 /2020 del 18/11/2020

I presenti

[Signature]

[Signature]

L'operatore addetto ai prelievi

\_\_\_\_\_

Il Direttore del Laboratorio

[Signature]

Prove su Materiali da Costruzione

Viale delle Industrie - 84091 Battipaglia (SA) - Tel. 0828.303409 - Fax 0828.307085 - e-mail: ediltest@it - www.ediltest.it

Affiliazione all'Associazione Nazionale delle Società di P.E.A. n° 313681113 - I.R.E.A. n° 361129 - Socio A.I.A. Ass. Lab. Ingegneria - Partita IVA: 00587200555



LABORATORIO EDIL-TEST S.p.A.

ORGANIZZAZIONE CON SISTEMA QUALITÀ  
CERTIFICATO UNI EN ISO 9001:2015

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Concessione 12386/2011  
ex CLS n° 16596/77 (L. 1086/71)  
ex Accis n° 20675/80 (L. 1086/71)

Allegato al verbale di prelievo n. \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_

Campioni di ds

n.	Segna	diametro (mm)	Ubicazione	Prova
1	C <sub>1</sub>	φ 80	PILASTRO	COMPRESSI
2	C <sub>2</sub>	φ 80	PILASTRO	"
3	C <sub>3</sub>	φ 80	TRAVE	"
4	C <sub>4</sub>	φ 80	TRAVE	"
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Campioni di Acciaio

n.	Segna	diametro (mm)	Ubicazione
2	P <sub>1</sub>	12	PILASTRO
2	P <sub>2</sub>	12	PILASTRO
3	P <sub>3</sub>	12	TRAVE
4	P <sub>4</sub>	12	TRAVE
5			

Norme:

Tutti i dati di questo verbale sono forniti dal committente o da un tecnico di fiducia.  
La stampa e consegna del certificato avverrà solo a pagamento anticipato.  
Ogni certificato comprende un massimo di 3 risultati di prova per i caricaggi e 3 per i tentativi d'armatura.  
I risultati verranno esposti in ordine cronologico della numerazione dei prelievi.  
Le norme e le tariffe del laboratorio si intendono accettate con firma del richiedente o di un suo delegato.

Edil-Test S.p.A.

Il direttore del laboratorio

Prova ai Materiali da Costruzione

Via delle Industrie - 81051 S. Capua (SA) - Tel. 0828.205109 - Fax 0828.292085 - e-mail: ediltest@tin.it - www.ediltest.it

Arrivato all'Ufficio Nazionale delle Piastre al n° 57666268 - R.E.L. n° 161129 - Scad. A. L. I. Agr. Edil. Ingegneria - Penta IVA: 00587960655



LABORATORIO EDIL-TEST S.p.A.

ORGANIZZAZIONE CON SISTEMA QUALITÀ  
CERTIFICATO UNI EN ISO 9001:2015

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Concessione 13386/2011

ex CLS: n° 16596/77 (L. 1086/71)

ex Acciaio n° 20679/80 (L. 1036/71)

Allegato al verbale di prelievo n. \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_

Campioni di cls			
n.	Sigla	diámetro (mm)	Ubicazione
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Campioni di Acciaio DA PROFILI			
n.	Sigla	diámetro (mm)	Ubicazione
1	P <sub>1</sub> P	SPESORE 9,0	STUCCO
2	P <sub>2</sub> P	SPESORE 9,2	ASCENSORI
3			
4			
5			

Nome:

Tutti i dati di questo verbale sono forniti da' committente o da un tecnico di fiducia

La stampa e consegna dei certificati avverrà solo a pagamento avvenuto

Ogni certificato comprende un massimo di 3 risultati di prova per i carichi e 3 per i tondini d'armatura

I risultati verranno esposti in ordine cronologico della numerazione dei prelievi

Le norme e le tariffe del laboratorio si intendono accettate con firma del richiedente o di un suo delegato

IL CECROGROUP S.p.A.

Il direttore del laboratorio

Prove su Materiali da Costruzione

Viale della Industria - 34071 Umpiega (SA) - Tel. 0828.503119 - Fax 0828.307085 - e-mail: ediltest@cecro.it - www.ediltest.it

Iscrizione all'Albo degli Ingegneri delle Ricerche al n° 515680XP1 - R.G.A. n° 161129 - Socio A.L.I. Ass. Lab. Ingegneria - Partita IVA: 00382900655

Modello A.V.P. di n. 80 del 28.05.2019

**CERTIFICATO DI PROVE A COMPRESSIONE SU CAROTE**  
**UNI EN 12390-3:2019 - UNI EN 12504-1:2019 - DM 17/01/2018**



CERTIFICATO N. 673

BATTIPAGLIA, 23/11/2020

Rif. Verbale Accettazione N. 487 del 20/11/2020

Relasciato a ..... CFC GROUP S.R.L. - VIA CARLO POERIO, 9 - NAPOLI (NA)

Proprietario ..... CFC GROUP S.R.L. - VIA CARLO POERIO, 9 - NAPOLI (NA)

Provenienza dei campioni : Restauro complesso San Paolo Maggiore in Napoli

Richiesta non sottoscritta dal D.L.

Tutti i dati sono forniti dal committente.

**RISULTATI DELLE PROVE**

SERIE	POSIZIONE IN OPERA	DIMENSIONI (mm) diametro altezza	AREA COMP. cm <sup>2</sup>	PIESSE Kg.	CARICO ROTAZIONE N/mm <sup>2</sup>	DATA prelievo	DATA prova	TIPO BOTT.	RETTIF.
C1	PILASTRO	80 60	5026	3.049	13.2	18/11/2020	23/11/2020	4	3
C2	PILASTRO	80 80	5026	0.825	15.0	18/11/2020	23/11/2020	4	3
C3	TRAVE	80 80	5026	0.834	11.9	18/11/2020	23/11/2020	4	3

TIPO DI SOLLECITO: 1) Principale: 2) Obliquo; 3) Radiale; 4) Verticale; 5) Verticale.  
La preparazione dei campioni è stata eseguita con il metodo del nucleo da carote "Piano 55" UNI EN 12390/3;

Verbale di Prelievo: Serie C1 - N. 76  
Serie C2 - N. 76  
Serie C3 - N. 76

Note ..... Macchina COMECOLD Mod. 50-03810 Mod. 030/4552 Classe 1 Taratura 11/20  
Ai sensi del DM 17/01/2018 il prelievo dei campioni ed il collaudo struttura e l'esecuzione delle prove sono state effettuate da Laboratorio EDIL-TEST S.R.L. autorizzato ai sensi dell'Art. 39 del DM 386/2001.

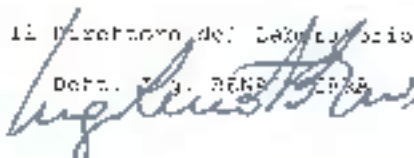
Lo sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

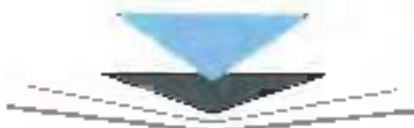
Dr. Ing. RENZO BENE

SPERIMENTATORE

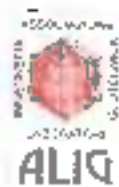
Dr. A. Bruno Ripa





**CERTIFICATO DI PROVE A COMPRESSIONE SU CAROTE**  
UNI EN 12390-3:2019 - UNI EN 12504-1:2019 - DM 17/01/2018



CERTIFICATO N. 674

BATTIPAGLIA, 23/11/2020

Rif. Verbale Accettazione N. 487 del 20/11/2020

Rilasciato a ..... CEC GROUP S.R.L. - VIA CARLO POERIO, 9 - NAPOLI (NA)

Proprietario ..... CEC GROUP S.R.L. VIA CARLO POERIO, 9 NAPOLI (NA)

Provenienza dei campioni : Restauro complesso San Paolo Maggiore in Napoli

Richiesta non sottoscritta dal D.L.  
Tutti i dati sono fornita dal committente.

**RISULTATI DELLE PROVE**

SIRCA	POSIZIONE IN OPERA	DIMENSIONI (cm)		AREA SUPERF. (cm <sup>2</sup> )	MAGG. (mm)	CARICO ROTTURO (N/mm <sup>2</sup> )	DATA prelievo	DATA prova	ESG	RETTIF.
		diámetro	altezza							
C4	TRAVE	80	80	5024	0.244	15.5	18/11/2020	23/11/2020	4	5

TIPO DI STRUTTURA (1)Sopralivello; (2)Sottolivello; (3)Foro di ancoraggio; (4)Linea di Verifica 1  
La capatura dei campioni è stata eseguita con il mt. cm con metodo (1) 2017a (2)2017a (3) UNI EN 12190/1)

Verbali di Prova: Serie C4 N° 76

Note ..... Macchina Controls Mod.53-C3600 Matr.03C74392 - Classe 1 Taratura 11/20  
Al sensi del DM 17/01/2010 il prelievo dei campioni dalla struttura e l'esecuzione delle prove sono state effettuate da Laboratorio EDIL-TEST S.R.L. autorizzato ai sensi dell'Art.59 del DPR 380/2001.

In Spesimentatore

Il Direttore del Laboratorio

SPERIMENTATORE

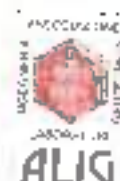
B.A. Bruno Ripa

*B.A. Bruno Ripa*



*Luigi...*

**CERTIFICATO PROVE A TRAZIONE E PIEGAMENTO ACCIAI  
UNI-EN ISO 15630-1:2019 - DM 17/01/2018**



CERTIFICATO N. 675

BATTIPAGLIA, 23/11/2020

Rif. Verbale Accettazione N. 488 del 20/11/2020

Relasciato a ..... CFC GROUP S.R.L. - VIA CARLO POERIO, 9 - NAPOLI (NA)

Proprietario ..... CFC GROUP S.R.L. - VIA CARLO POERIO, 9 - NAPOLI (NA)

Provenienza dei campioni : Restauro complesso San Paolo Maggiore in Napoli

Richiesta non sottoscritta dal D.L.  
Tutti i dati sono forniti dal committente.

**RISULTATI DELLE PROVE**

SEGLA	D EFF (mm <sup>2</sup> )	SEZIONE (mm <sup>2</sup> )	TENS. SNERV. fy (N/mm <sup>2</sup> )	TENS. ROTT. ft (N/mm <sup>2</sup> )	ALL. A su S >	DATA SCELTO	DATA PROVA	POSIZIONE IN OPERA
P1	12.39	136	383.6	532.9	33.7	18/11/2020	23/11/2020	PILASTRO
P2	12.19	116	324.6	414.8	17.7	18/11/2020	23/11/2020	PILASTRO
P3	12.12	115	316.6	415.5	29.5	18/11/2020	23/11/2020	TRAVE


Tutti a bordo neri. Livello equipaggiato

Carichi di Prova: Serie P1 - N. 76  
Serie P2 - N. 76  
Serie P3 - N. 76

Note ..... Macchina E.M.C. Mod. 8017/100 Matr. 210895 - Classe I taratura 11/20  
Ai sensi del DM 17/01/2018 e il prelievo dei campioni dalle strutture e  
l'esecuzione delle prove sono state effettuate da Laboratorio EDIL-TEST S.R.L.  
autorizzato ai sensi dell'Art.39 del DPG 330/2001

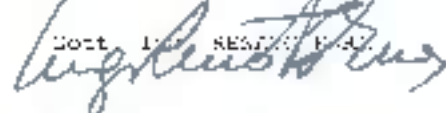
Lo Sperimentatore

**SPERIMENTATORE**  
P.I. Nicola Criscuolo




Il Direttore del Laboratorio

Dott. Ing. **RESINA V.A.**



**CERTIFICATO PROVE A TRAZIONE E PIEGAMENTO ACCIAI  
UNI-EN ISO 15630-1:2019 - DM 17/01/2018**



CERTIFICATO N. 676

BATTIPAGLIA, 23/11/2020

Rif. Verbale Accettazione N. 488 del 20/11/2020

Rilasciato a ..... CFC GROUP S.R.L. - VIA CARLO POERIO, 9 - NAPOLI (NA)

Proprietario ..... CFC GROUP S.R.L. - VIA CARLO POERIO, 9 - NAPOLI (NA)

Provenienza dei campioni : Restauro complesso San Paolo Maggiore in Napoli

Richiesta non sottoscritta dal D.L.  
Tutti i dati sono forniti dal committente.

**RISULTATI DELLE PROVE**

SPESA	S. EFF. (mm²)	SEZIONE (mm²)	TENS. SIERV. E <sub>y</sub> (N/mm²)	TENS. MIT. E <sub>L</sub> (N/mm²)	ALL. S. DI S. B.	DATA PRELIEVO	DATA PROVA	POSIZIONE IN CANTIERA
P4	12.95	131	347.5	431.8	31.2	18/11/2020	23/11/2020	TRAVE

\*della Serie Conso Mac. A equipaggiata

Verbali di Prelievo: Serie I4 ..... 676

Note ..... Macchina F.M.C. Mod. Aut/100 Marr. 210660 - Classe 1 Taratura 11/20  
Ai sensi del DM 17/01/2018 il prelievo dei campioni della struttura e l'esecuzione delle prove sono state effettuate da Laboratorio EDIL-TEST S.R.L. autorizzato ai sensi dell'Art.50 del DPR 360/2001.

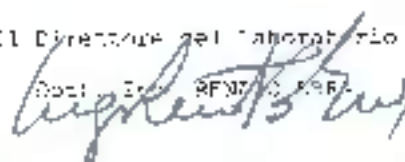
Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

SPERIMENTATORE  
P.I. Nicola Crispuolo



Doc. Edil-TEST S.p.A.



**CERTIFICATO DI PROVE A TRAZIONE SU PROFILATI**  
**UNI EN ISO 6892-1:2020 - UNI EN ISO 377:2017 - DM 17/01/18**



CERTIFICATO N. 577

BATTIPAGLIA, 23/11/2020

Rif. Verbale Accettazione N. 489 del 20/11/2020

Rilasciato a ..... CPC GROUP S.R.L. - VIA CARLO POERIO, 9 - NAPOLI (NA)

Proprietario ..... CPC GROUP S.R.L. - VIA CARLO POERIO, 9 - NAPOLI (NA)

Provenienza dei campioni : Restauro complesso San Paolo Maggiore in Napoli

Richiesta non sottoscritta dal D.L.

Tutti i dati sono forniti dal committente.

Data Prelievo del Materiale : 18/11/2020

**RESULTATI DELLE PROVE**

SIGLA	LARGH. mm.	SPES. mm.	SEZIONE (A)mm <sup>2</sup>	TENS. SOSTENIMENTO N/mm <sup>2</sup>	TRAC. ROTAZIONE N/mm <sup>2</sup>	ALLUNG. % su Lo=5,65*A*E.5	PROVVENIENZA CAMPIONI	TIPO ACCIAIE RICHIESTO	DATA PROVA
P1P	34.0	5.0	335.0	219.4	397.7	30.1	SCALDINATE		23/11/2020
P2P	34.0	5.0	312.8	458.7	171.7	28.6	ASCENSORE		23/11/2020

POSIZIONI IN OPERA : Serie P1P - SCALDINATE  
Serie P2P - ASCENSORE

Note ..... Macchina R.M.J. Mod. A017/100 Matr. 210608 - Classe 1 Taratura 11/20  
Ai sensi del DM 17/01/2018 il prelievo dei campioni della struttura e  
l'esecuzione delle prove sono state effettuate da Laboratorio Edil-Test S.p.A.  
autorizzato ai sensi dell'Art.35 del DPR 380/2001.

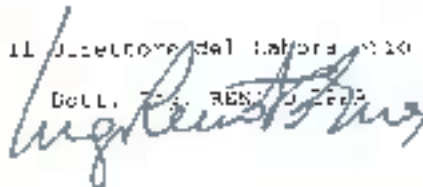
Lo Sperimentatore

SPERIMENTATORE  
P.L. Nicola Criscuolo

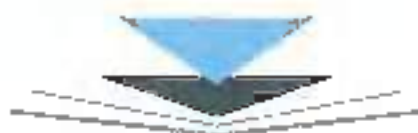


Il Direttore del Laboratorio

Dott. G. RENZI





**Napoli (NA) 16-17-18/11/2020****Rapporto di prova 110/2020****Richiedente:**

OFC Group srl  
Via Carlo Poerio n. 9  
80121 Napoli (SA)

**Cantiere:**

Prove ed Indagini nell'ambito del  
restauro del Complesso San Paolo  
Maggiore  
Via San Paolo  
80121 Napoli (NA)

## Premessa

In data 16, 17, e 18 novembre 2020, su indicazione del responsabile tecnico, sono state eseguite **n. 2 prove con martinetti piatti** sulla muratura.

Per valutare le caratteristiche superficiali dei materiali costituenti la struttura portante sono state eseguite **ispezioni visive e n. 5 prove endoscopiche**.

Per la verifica dello stato di conservazione della malta sono state eseguite **n. 9 prove penetrometriche su malta**.

Per valutare le caratteristiche della parte in c.a. sono stati prelevati **n. 4 campioni di calcestruzzo** mediante sonda a corona diamantata (carotatrice), di tipo adatto alla durezza del calcestruzzo ed al tipo di aggregato in esso contenuto, in corrispondenza delle membrature indicate. È stato altresì eseguito il ripristino mediante malta litotropica additivata con speciali resine d'appretto "Mapegrout BM Mapei".

Dopo l'estrazione, i campioni sono stati vaporizzati con una soluzione di fenoltaleina all'1% per la determinazione della profondità di carbonatazione.

In seguito, i campioni sono stati sottoposti a rettificazione meccanica e cappati con una miscela di sabbia e zolfo, in modo da rendere le superfici di contatto piane e parallele con la macchina di compressione.

Per la verifica delle caratteristiche dell'acciaio d'armatura sono stati eseguiti **n. 4 prelievi di acciaio** dagli elementi strutturali indicati dalla committenza e **n. 2 prelievi da profilati metallici**.

Per individuare la disposizione e l'entità delle armature sono state eseguite **n. 12 scansioni pacometriche** e **n. 12 ispezioni visive** e prove **durometriche**

Sulle capriate in legno sono state effettuate invece **n. 8 prove soniche** e **n. 8 misure dell'umidità** relativa. Inoltre sono state eseguite **n. 14 prove resistografiche**.

In fine è stato eseguito un rilievo in diversi punti delle dimensioni del solaio due carotaggi per la determinazione della stratigrafia delle volte.

Le indagini, eseguite su aree significative, sono corredate da documentazione fotografica e riportate sulla planimetria in allegato.



LABORATORIO EDIL-TEST S.r.l.

ORGANIZZAZIONE CON SISTEMA QUALITÀ  
CERTIFICATO UNI EN ISO 9001:2015

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Concessione 12386/7311  
ex CLS: n° 16596/77 (L. 1086/71)  
ex Azioni n° 20679/80 (L. 1086/71)

## VERBALE PROVAE CON MARTINETTI PIATTI

Il Laboratorio "EDIL-TEST" S.r.l. di Battipaglia per incarico di

CFC GROUP SRL VIA CARLO POEZIO n. 9

80121 NAPOLI (NA)

ha effettuato le prove con martinetti piatti (utilizzando l'attrezzatura Glötzi GmbH) sulle strutture in muratura (del) NELL'AMBITO DEL RESTAURO  
DEL COMPLESSO SAN PAOLO MAGGIORE IN NAPOLI

sito in NAPOLI (NA) - VIA SAN PAOLO

Alle prove hanno assistito:

DIR. ING. SALVATORE MASCOLO

DIR. ING. CASONE LUCIANO

Le strutture sottoposte a prova sono:

MURATURA STRETTATO

MURATURA CHIUSURO

Luogo e data della prova, NAPOLI (NA) 17/11/2020

I presenti  
**CFC GROUP S.R.L.**

Il Direttore del Laboratorio

## Prova con martinetti piatti

### Premessa

Lo studio delle condizioni statiche di una muratura richiede un'approfondita conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei materiali che la compongono.

Questa analisi risulta particolarmente complessa nel caso delle murature di petrame, le quali si presentano eterogenee essendo costituite da materiali dotati di elevate caratteristiche meccaniche alternate a strati di malta con caratteristiche decisamente più scadenti.

L'approccio più semplice a disposizione del progettista per risolvere il problema della caratterizzazione dei materiali è costituito dalle prove meccaniche di tipo distruttivo eseguite su campioni prelevati dalle strutture murarie.

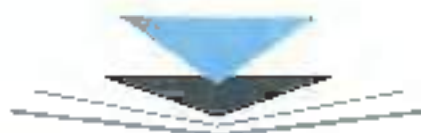
Questi campioni devono essere rappresentativi del comportamento medio globale della struttura, per cui bisogna sottoporre a prove meccaniche campioni di muratura di grandi dimensioni che per difficoltà di estrazione e di trasporto risultano sempre notevolmente disturbati.

Il problema può essere risolto facendo ricorso a speciali prove meccaniche di tipo semi-distruttivo.

Un decisivo contributo in questo senso è fornito da prove basate sull'impiego di speciali martinetti piatti. Infatti, con l'ausilio di questa tecnica di prove è possibile acquisire informazioni sul comportamento statico di una muratura, attraverso l'analisi dei seguenti parametri:

- *Misura dello stato di sollecitazione esistente nelle strutture murarie;*
- *Determinazione delle caratteristiche di deformabilità,*
- *Valutazione delle caratteristiche di resistenza a compressione*





A seconda dei parametri da determinare, la prova può essere eseguita con uno o due martinetti piatti.

La prova eseguita con un martinetto piatto permette di ricavare lo stato di sollecitazione preesistente nella muratura e, con qualche approssimazione anche il modulo di deformabilità.

La prova con due martinetti piatti permette di ricavare tutti i parametri come con un solo martinetto, ma dà anche la possibilità di valutare la resistenza a rottura della muratura.

Le modalità di realizzazione della prova consistono nel realizzare un taglio piano, orizzontale e normale alla parete della muratura, e misurare la convergenza (parziale chiusura) che l'elemento subisce per effetto del taglio.

Il taglio determina nella zona di misura l'annullamento della tensione preesistente.

La convergenza è misurata mediante coppie di punti simmetriche inserite preventivamente nella parete sui due lati del taglio. Dopo aver introdotto il martinetto piatto nel taglio, si mette progressivamente in pressione sino a riportare in condizioni iniziali la geometria del taglio con l'ausilio di una serie di misure tra i punti di riferimento.

In tale condizione il valore della pressione idraulica all'interno del martinetto è, in prima approssimazione, uguale al valore della sollecitazione preesistente all'interno della muratura.

Per la prova con due martinetti inseriti in due tagli piani, paralleli e sovrapposti, la procedura è analoga.

La messa in pressione idraulica dei due martinetti, oltre a fornire il valore della sollecitazione preesistente nella muratura, permette di portare a rottura il conciо murario e di valutare così anche la resistenza a rottura per compressione assiale.

## Relazione sulla prova con martinetti piatti

In data 17 novembre 2020, durante l'esecuzione della campagna di indagini nell'ambito del restauro del complesso San Paolo Maggiore nel comune di Napoli sono state eseguite 2 prove con martinetti piatti.

Scopo della prova era quello di acquisire i parametri caratterizzanti meccanicamente le strutture murarie in oggetto, quali:

- Misura dello stato di sollecitazione esistente;
- Resistenza a compressione del conciò murario;
- Modulo di deformabilità.

La prova eseguita per misurare lo stato di sollecitazione esistente è stata contrassegnata con la sigla **MS**, ed indica che è stata effettuata con un singolo martinetto piatto.

D'altra parte la prova eseguita per misurare la resistenza a compressione ed il modulo di deformabilità è stata contrassegnata con la sigla **MD**, ed indica che è stata effettuata con due martinetti piatti.

Le prove sono state eseguite secondo i criteri e gli accorgimenti di seguito illustrati in ossequio alla normativa ASTM STANDARD C 1196 - 91.

## Descrizione dell'attrezzatura

### Martinetti piatti

Sono stati adoperati martinetti piatti prodotti dalla Götze GmbH, essi sono costituiti da lamierino d'acciaio ad elevata deformabilità e sono di forma semicircolare allungata, aventi le seguenti caratteristiche:

- superficie 761,5 cm<sup>2</sup>
- spessore 3,5 mm



- diametro 34,7 cm
- profondità 25,7 cm
- coefficiente  $k_m$  0,95 (vedi "Tabella di riferimento" allegata)

### Attrezzatura per il taglio

I tagli nella muratura sono stati eseguiti mediante una motorovatrice a trasmissione eccentrica modello PARTNER K950 Ring con motore a combustione interna dotata di disco diamantato di diametro pari a 350 mm, capace di effettuare tagli della profondità di 260 mm e spessore di 5 mm. Si realizza così un taglio netto con minimo disturbo della muratura.

### Sistema idraulico di messa in carico

Per la messa in pressione dei martinetti è stata utilizzata una pompa manuale modello M2H16 06/02 matricola n°1209 prodotta dalla Götzel/Grobfl, dotata di due manometri di precisione di classe 0,6 con fondo scala rispettivamente di 25,0 e 100,0 bar.

### Sistema di misurazione

Gli spostamenti e la deformazione della muratura sono stati rilevati mediante un deformometro meccanico di precisione F. Pizzi con base di misura pari a 200 mm. Le variazioni di misura sono trasmesse ad un micrometro analogico Mitutoyo (matricola n°2118-50) dove una divisione sul quadrante è pari a 0,001 mm di spostamenti delle basi di misura.

## Esecuzione della prova con martinetto singolo

Il rilievo delle tensioni d'esercizio della muratura in situ è basato sulla variazione dello stato tensionale in un punto della struttura per effetto di un taglio eseguito in direzione normale alla superficie muraria.

Come operazione preliminare al taglio sono state sistemate simmetricamente al piano di pressione tre basi di misura da 200 mm, quindi sono state eseguite le letture a campione indisturbato (*letture prima del taglio*).

Dopo questa fase preliminare, è stato eseguito un taglio utilizzando una mototruncatrice a lama circolare. Nel taglio è stato inserito un martinetto piatto avente circa le stesse dimensioni del foro. È stato così rilevato un rilascio delle tensioni attraverso la convergenza delle basi (*letture dopo il taglio*). Dopo aver eseguito quest'ultimo rilevamento si è provveduto a collegare il martinetto alla pompa manuale. Per effetto della pressione incrementata gradualmente, il martinetto ha annullato il rilassamento ed ha riportato la distanza tra le basi a quelle originarie (*letture prima del taglio*).

In queste condizioni la pressione all'interno del martinetto, ( $P$ ), è pari alla sollecitazione preesistente nella muratura a meno di due costanti: una che tiene conto del rapporto tra superficie del martinetto e quella del taglio (coefficiente  $k_t$ ), ed un'altra che tiene conto della rigidità del martinetto (coefficiente  $k_m$ ).

Pertanto la tensione verticale di esercizio della muratura si può calcolare, con buona approssimazione, attraverso la seguente relazione:  $\sigma = P \times k_t \times k_m$ ;

dove:

- $P$  è la pressione che ripristina le originarie condizioni della muratura;
- $k_t$  è il rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio, nel nostro caso è pari a 0,95;
- $k_m$  è una costante che tiene conto delle caratteristiche geometriche del martinetto e della rigidità della saldatura di bordo. Questa costante è determinata dal costruttore del martinetto adoperato, nel nostro caso essa vale 0,95.

## **Esecuzione della prova con martinetto doppio**

**L**a determinazione della resistenza a compressione del concio murario come pure il relativo modulo di deformabilità viene effettuata praticando due tagli paralleli ad una



distanza compresa tra i 40,0 ed i 50,0 cm, in modo da delimitare al massimo un campione di muratura avente dimensioni massime 350 × 500 × 260 mm.

Preliminarmente si individuano nella muratura tre basi di lettura verticali da 200 mm, ed una base di lettura orizzontale sempre da 200 mm, tutte intermedie ai due tagli.

Si eseguono così quattro letture a campione indisturbato, (*letture a pressione 0 bar*), dopo questa fase preliminare, sono stati eseguiti i due tagli utilizzando una mototroncatrice a lama circolare. Nei tagli appena realizzati sono stati inseriti i martinetti.

A questo punto sono stati collegati i due martinetti alla pompa manuale e si è iniziato ad aumentare gradualmente la pressione negli stessi. Così i due martinetti paralleli hanno applicato al campione interposto uno stato di sollecitazione monoassiale, in direzione ortogonale al piano di posa dei conci di muratura.

Ad ogni incremento di carico stabilito è stata eseguita una serie di letture micrometriche sulle basi di riferimento.

Attraverso l'esecuzione di un numero prestabilito di cicli di carico-scarico si è potuto stimare: 1) il modulo di deformabilità della muratura; 2) la resistenza a compressione del concio murario.

Al solito la tensione verticale di rottura della muratura è stata calcolata attraverso la seguente relazione già incontrata nel paragrafo precedente:

$$\sigma = P \times k_1 \times k_m;$$

dove:

- $P$  è la pressione che si legge di volta in volta sul manometro della pompa;
- $k_1$  è il rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio, nel nostro caso è pari a 0,95;
- $k_m$  è una costante che tiene conto delle caratteristiche geometriche del martinetto e della rigidità della saldatura di bordo. Questa costante è determinata dal costruttore del martinetto adoperato, nel nostro caso essa vale 0,95.

**Tabella letture prova MS 01**

**Napoli (NA), 17/11/2020**

**Committente:** CPC Group srl  
Via Carlo Poerio n. 9  
80121 Napoli (SA)

**Prove ed indagini nell'ambito del restauro del  
Complesso San Paolo Maggiore**  
Via San Paolo  
80121 Napoli (NA)

Valori delle letture rilevate durante la prova eseguita su:

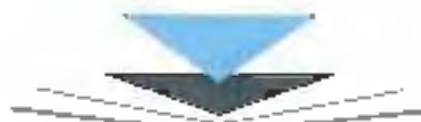
**Muratura Chiostro**

1° Fase: taglio della muratura e letture degli spostamenti

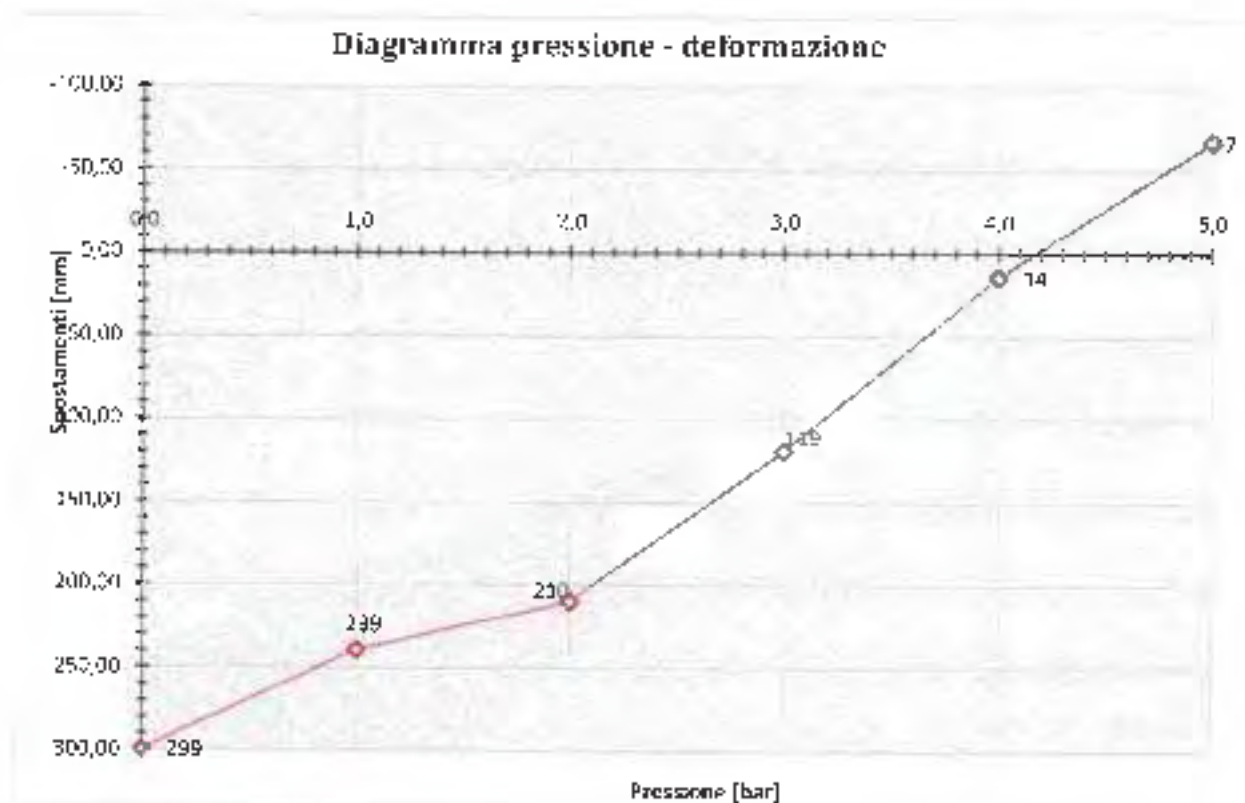
Prova MS01				
Letture	Basi di riferimento			media
	1	2	3	
	[mm]			
<i>Prima del Taglio</i>	201,800	201,655	201,313	201,589
<i>Dopo il Taglio</i>	201,480	201,390	201,000	201,290

2° Fase: inserimento del martinetto e ripristino dello stato tensionale iniziale.

Pressione [bar]	Basi di riferimento			media	ε
	1	2	3		
	[mm]				
0,0	201,480	201,390	201,000	201,290	299
1,0	201,550	201,420	201,080	201,350	239
2,0	201,550	201,460	201,128	201,379	210
3,0	201,640	201,530	201,240	201,470	119
4,0	201,790	201,630	201,305	201,575	14
5,0	201,840	201,760	201,370	201,657	-67



## Grafico prova MS 01



### Risultati

Pressione di ripristino [bar]	4,200
Tensione in situ $N/mm^2$	0,379

Il Direttore del Laboratorio  
dott. ing. Renato *Grillo*

## Tabella letture prova MD 01

**Napoli (NA), 17/11/2020**

Committente:

CFC Group srl  
Via Carlo Poerio n. 9  
80121 Napoli (SA)

**Prove ed indagini nell'ambito del restauro del  
Complesso San Paolo Maggiore  
Via San Paolo  
80121 Napoli (NA)**

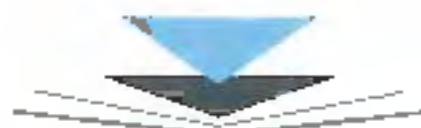
Valori delle letture rilevate durante la prova eseguita su:

**Muratura Chiostrò**

1<sup>o</sup> Fase: letture degli spostamenti e taglio della muratura con inserimento del secondo martinetto.

Prova MD 01					
Letture	Basi di riferimento				media
	Orizzontale	1V	2V	3V	
<i>Prima del Taglio</i>	202,145	202,480	201,000	203,020	202,167
<i>Dopo il Taglio</i>	202,135	202,490	201,055	203,066	202,204

2<sup>o</sup> Fase: inserimento dei martinetti e letture in corrispondenza delle fasi cicliche di carico.



Pressione di lettura	P effettiva	Basi di lettura			media	Deformazione verticale	Orizzontale	ε orizzontale
		1V	2V	3V				
[bar]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[mm]					[μm]	
0	0,00	202,490	201,055	203,066	202,204	0,00	202,135	0,0
1	0,09	202,482	201,040	203,055	202,192	11,33	202,140	-5,0
3	0,28	202,471	201,031	203,033	202,178	25,33	202,145	-10,0
1	0,09	202,476	201,035	203,043	202,184	19,67	202,142	-7,0
0	0,00	202,483	201,050	203,059	202,197	6,33	202,139	-4,0
1	0,09	202,457	201,022	203,036	202,172	32,00	202,146	-11,0
3	0,28	202,427	201,007	203,008	202,147	56,33	202,154	-19,0
5	0,46	202,394	200,984	202,947	202,108	95,33	202,161	-26,0
7	0,64	202,358	200,962	202,911	202,077	126,67	202,177	-42,0
9	0,83	202,304	200,914	202,863	202,027	176,67	202,189	-54,0
12	1,10	202,287	200,865	202,808	201,987	217,00	202,204	-69,0
15	1,38	202,241	200,789	202,745	201,925	278,67	202,263	-128,0
17	1,56	201,887	200,125	202,470	201,474	729,67	202,585	-450,0

### Risultati

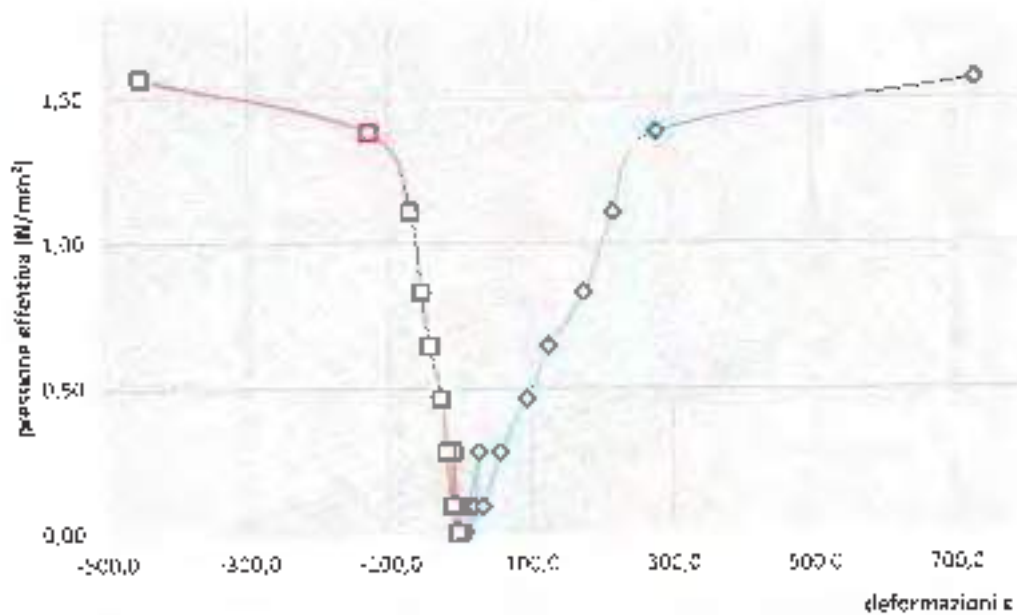
Modulo di elasticità primario E	1253	[N/mm <sup>2</sup> ]	12533	[daN/cm <sup>2</sup> ]
Modulo di elasticità tangenziale G	421	[N/mm <sup>2</sup> ]	4207	[daN/cm <sup>2</sup> ]
Resistenza a compressione	153,43	[N/cm <sup>2</sup> ]	15	[daN/cm <sup>2</sup> ]
Pressione di rottura			17,00	[bar]
Coefficiente di sicurezza effettivo			4,05	

Il Direttore del Laboratorio  
dott. ing. Renato Lira

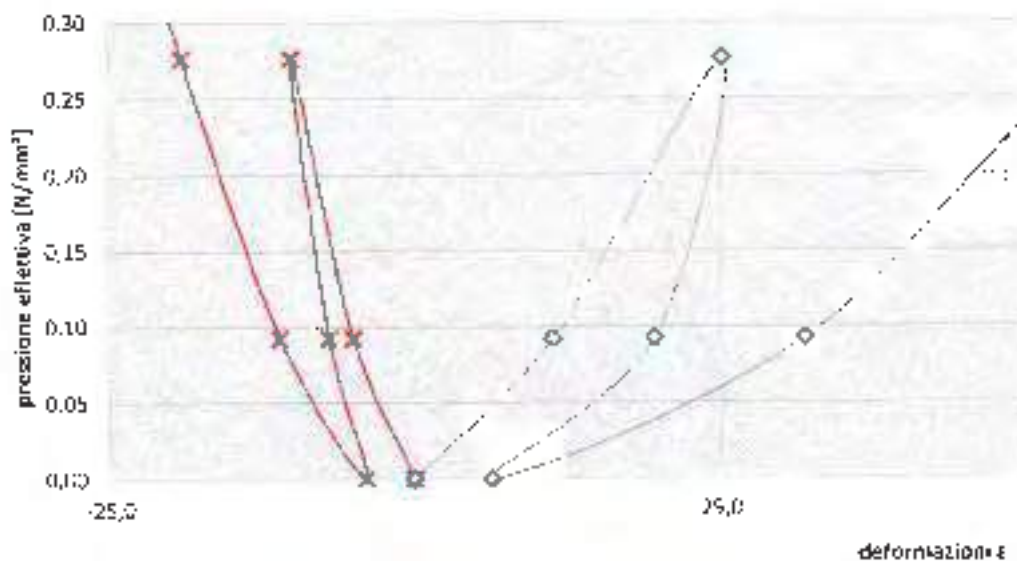


## Grafico prova MD 01

### Diagramma $\sigma$ - $\epsilon$ prova MD 01



### Diagramma $\sigma$ - $\epsilon$ prova MD 01



## Documentazione fotografica



*Esecuzione della prova con martinetto singolo*



*Esecuzione della prova con martinetto doppio*

## Tabella letture prova MS 02

**Napoli (NA), 17/11/2020**

Committente:

CFC Group srl  
Via Carlo Poerio n. 9  
80121 Napoli (SA)

**Prove ed indagini nell'ambito del restauro del  
Complesso San Paolo Maggiore**  
Via San Paolo  
80121 Napoli (NA)

Valori delle letture rilevate durante la prova eseguita su:

### Muratura Studentato

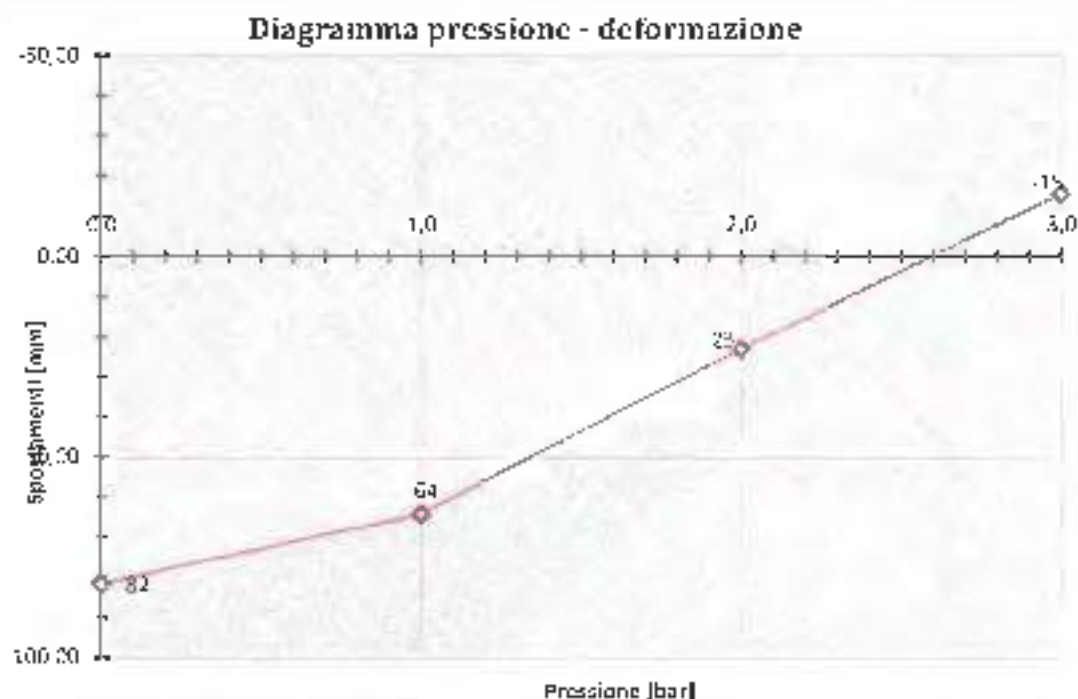
1° Fase: taglio della muratura e letture degli spostamenti

Prova MS02				
Letture	Basi di riferimento			media
	1	2	3	
[mm]				
<i>Prima del Taglio</i>	202,605	204,195	203,400	203,400
<i>Dopo il Taglio</i>	202,520	204,055	203,380	203,318

2° Fase: inserimento del martinetto e ripristino dello stato tensionale iniziale.

Pressione [bar]	Basi di riferimento			media	ε
	1	2	3		
[mm]					
0,0	202,520	204,055	203,380	203,310	82
1,0	202,535	204,089	203,383	203,336	64
2,0	202,596	204,140	203,395	203,377	23
3,0	202,618	204,216	203,412	203,415	-15

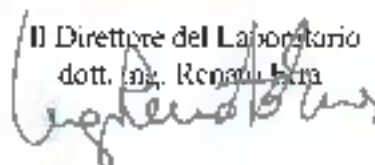
## Grafico prova MS 02



### Risultati

<b>Pressione di ripristino [bar]</b>	<b>2,600</b>
<b>Tensione in situ <math>N/mm^2</math></b>	<b>0,235</b>

Il Direttore del Laboratorio  
dott. ing. Renato Serra



**Tabella letture prova MD 02**

Napoli (NA), 17/11/2020

Committente:CFC Group srl  
Via Carlo Poerio n. 9  
80121 Napoli (SA)**Prove ed indagini nell'ambito del restauro del  
Complesso San Paolo Maggiore  
Via San Paolo  
80121 Napoli (NA)**

Valori delle letture rilevate durante la prova eseguita su:

**Muratura Studentato**

1° Fase: letture degli spostamenti e taglio della muratura con inserimento del secondo martinetto.

Prova MD 02					
Letture	Basi di riferimento				media
	Orizzontale	1V	2V	3V	
<i>Prima del Taglio</i>	200,355	203,330	202,925	204,110	203,455
<i>Dopo il Taglio</i>	200,350	203,360	202,950	204,130	203,480

2° Fase: inserimento dei martinetti e letture in corrispondenza delle fasi cicliche di carico.



Pressione di lettura	P effettiva	Basi di lettura			media	Deformazione verticale	Orizzontale	ε orizzontale
		1V	2V	3V				
[bar]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[mm]						[μm]
0	0,00	203,360	202,950	204,130	203,480	0,00	200,350	0,0
1	0,09	203,348	202,941	204,089	203,459	20,67	200,353	-3,0
3	0,28	203,335	202,933	204,066	203,445	35,33	200,358	-8,0
1	0,09	203,345	202,940	204,078	203,454	23,67	200,354	-4,0
0	0,00	203,354	202,948	204,080	203,461	19,33	200,352	-2,0
1	0,09	203,341	202,928	204,069	203,446	34,00	200,357	-7,0
3	0,28	203,329	202,915	204,041	203,428	51,67	200,361	-11,0
5	0,46	203,320	202,900	204,022	203,414	66,00	200,360	-19,0
7	0,64	203,308	202,878	203,995	203,394	86,33	200,374	-24,0
9	0,83	203,294	202,854	203,977	203,375	105,00	200,388	-38,0
12	1,10	203,278	202,807	203,961	203,349	131,33	200,397	-47,0
15	1,38	203,261	202,758	203,955	203,325	155,33	200,421	-71,0
18	1,66	203,244	202,703	203,944	203,297	183,00	200,439	-89,0
21	1,93	203,228	202,658	203,912	203,266	214,00	200,448	-98,0
25	2,30	203,207	202,607	203,898	203,237	242,67	200,466	-116,0
30	2,76	203,187	202,544	203,874	203,202	278,33	200,497	-147,0
33	3,04	202,874	202,014	203,547	202,812	668,33	200,689	-339,0

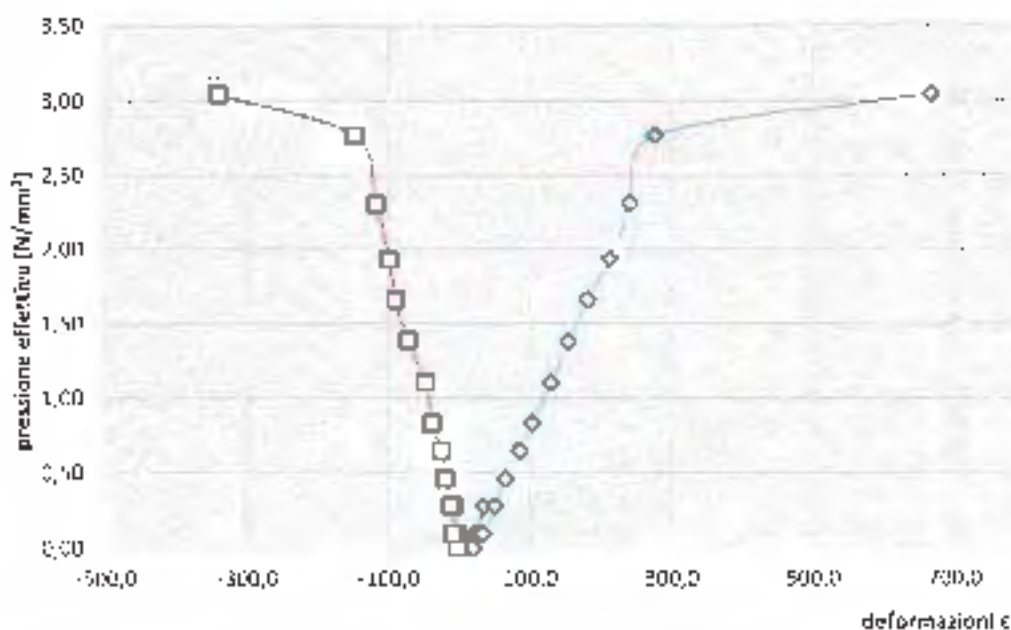
### Risultati

Modulo di elasticità primario E	3213	[N/mm <sup>2</sup> ]	32131	[daN/cm <sup>2</sup> ]
Modulo di elasticità tangenziale G	974	[N/mm <sup>2</sup> ]	9741	[daN/cm <sup>2</sup> ]
Resistenza a compressione	297,83	[N/cm <sup>2</sup> ]	30	[daN/cm <sup>2</sup> ]
Pressione di rottura			33,00	[bar]
Coefficiente di sicurezza effettivo			12,69	

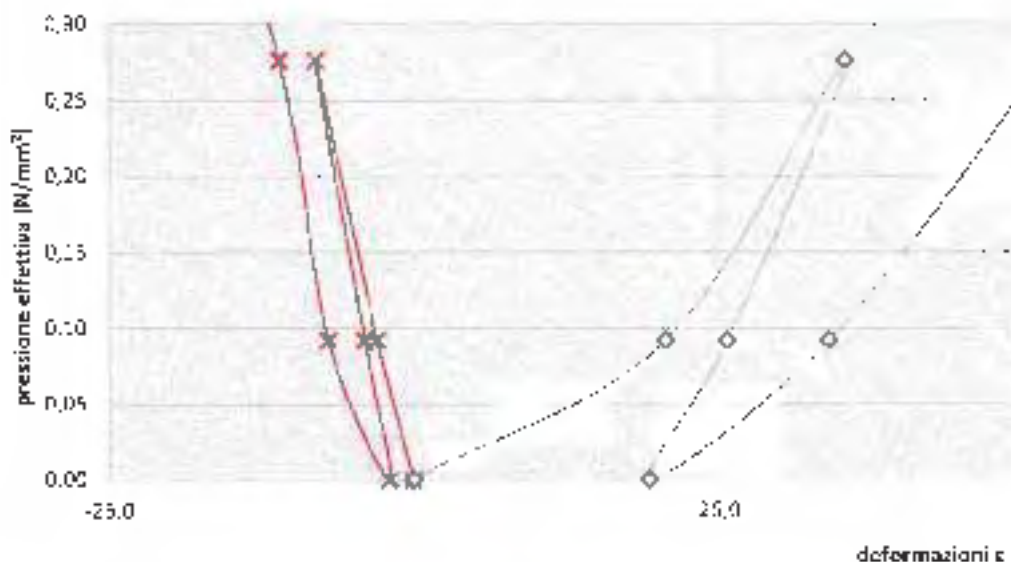
Il Direttore del Laboratorio  
dott. ing. Renato [Firma]

## Grafico prova MD 02

### Diagramma $\sigma$ - $\epsilon$ prova MD 02



### Diagramma $\sigma$ - $\epsilon$ prova MD 02



## Documentazione fotografica



*Esecuzione della prova con martinetto singolo*



*Esecuzione della prova con martinetto doppio*



## Esame endoscopico

L'ispezione dell'interno del solido murario attraverso indagini endoscopiche consente di effettuare tali valutazioni praticando sulla membratura un foro di pochi millimetri di diametro, rivelandosi così un esame poco invasivo.

Sono stati eseguiti n. 5 esami endoscopici praticando un foro di ispezione nei punti indicati dalla committenza.

Le immagini sono state riprese con un obiettivo avente  $f = 2,5$  mm,  $F = 2,0$  ed angolo di percezione pari a  $120^\circ$ . I fori entro cui è stata introdotta la camera per la ripresa erano di diametro pari a 30,0 mm.

Stante la soggettività dell'interpretazione delle immagini si raccomanda ai tecnici interessati un'attenta visione delle stesse.

Il Direttore del Laboratorio  
dott. ing. Renato Tava



## Estratti delle endoscopie



### Particolare endoscopia n. 1

#### **Muratura Chiostro**

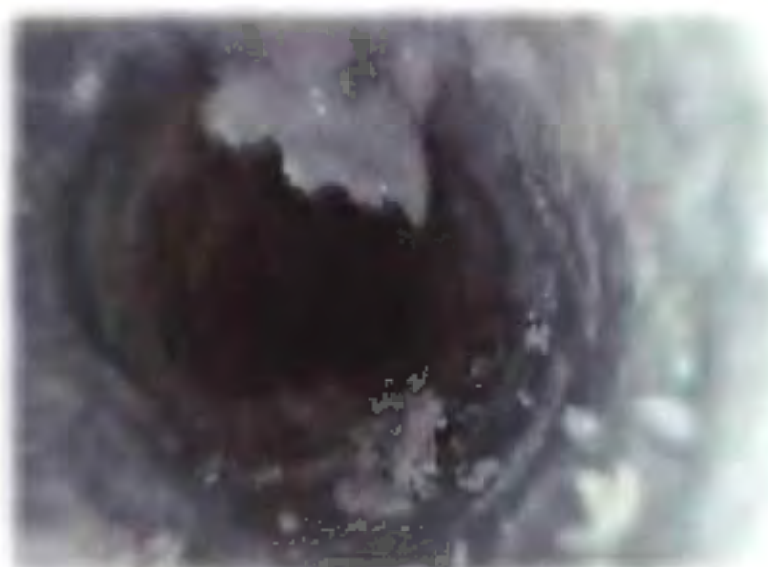
Muratura in pietra tenera listellata (tufo). Non si rilevano vuoti o cavità





**Particolare endoscopia n. 2**  
**Muratura Chiestro**

Muratura in pietra tenera listellata (tufo). Non si rilevano vuoti o cavità



**Particolare endoscopia n. 3**

**Muratura Chiostro**

Muratura in pietra tenera listellata (tufo). Non si rilevano vuoti o cavità



**Particolare endoscopia n. 4**  
**Muratura Chiostro**

Muratura in mattoni rossi listellati. Non si rilevano vuoti o cavità



**Particolare endoscopia n. 5**  
**Muratura Chiostro**

Muratura in mattoni rossi listellati. Non si rilevano vuoti o cavità

## Prova penetrometrica su malta

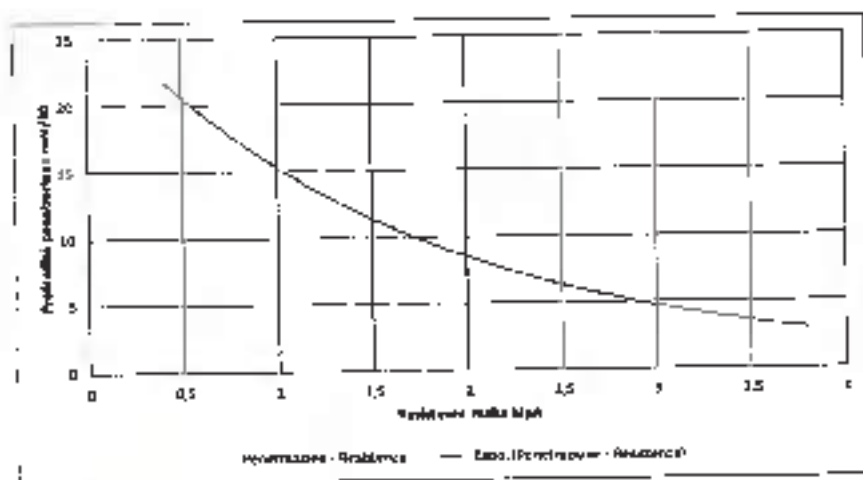
Scopo della prova è stabilire, in situ, la risposta meccanica delle malte nelle murature, attraverso la misurazione della profondità di penetrazione di una punta conica di acciaio, infissa mediante le battute di uno sclerometro.

Il penetrometro per malta utilizzato è costituito da una massa battente collegata da una molla che messa in carica manualmente, colpisce un percussore nel quale viene inserito un puntale (ago) preposto alla perforazione della malta. L'ago puntale realizzato in acciaio legato termina con forma conica con angolo di 25°. L'ago sottoposto ad urti dinamici costanti avanza all'interno del giunto di malta spinge e comprime la malta a lato del proprio percorso. La resistenza che la malta offre all'avanzamento dell'ago è proporzionale alla resistenza meccanica del materiale.

Selezionata la muratura di indagare si è proceduto:

- alla pulizia della stessa rimuovendo l'intonaco
- spezzolatura del giunto di malta orizzontale da verificare
- verifica della lunghezza dell'ago iniziale;
- ad annotare la misura nella tabella report
- eseguire la prova mediante applicazione di n. 10 battute con il percussore
- rilievo della profondità di penetrazione

La curva di correlazione di seguito indicata rappresenta una indicazione del rapporto tra valore di penetrazione e resistenza meccanica della malta. Tali curve non devono essere considerate come riferimento assoluto.

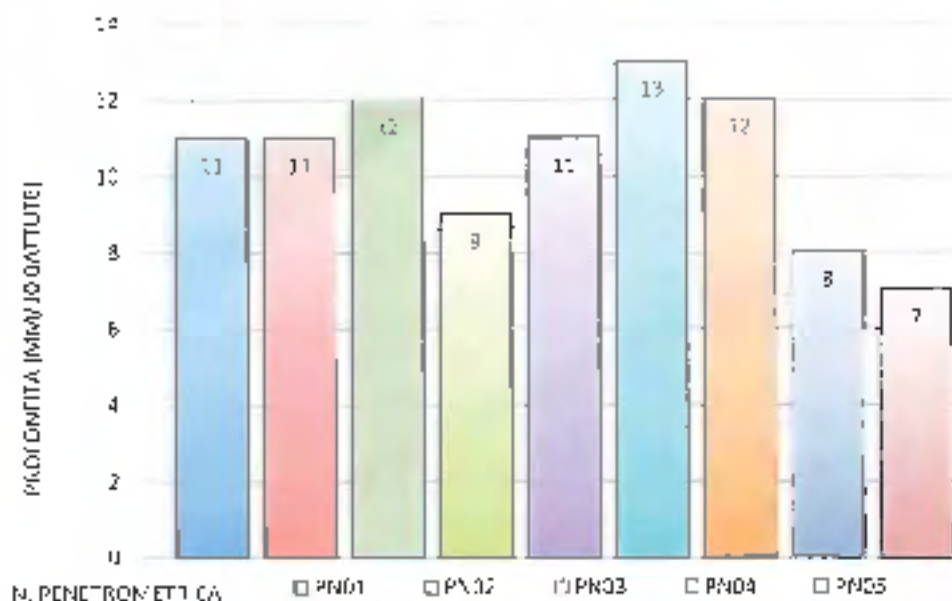




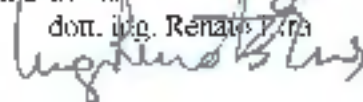
## Risultato delle misurazioni

Identificativo	n.	Ubicazione	Profondità di penetrazione 10 colpi
			mm
PN01	1	Chiostro	11
PN02	2	Chiostro	11
PN03	3	Chiostro	12
PN04	4	Chiostro	9
PN05	5	Chiostro	11
PN06	6	Chiostro	13
PN07	7	Chiostro	12
PN08	8	Studentato	8
PN 09	9	Studentato	7

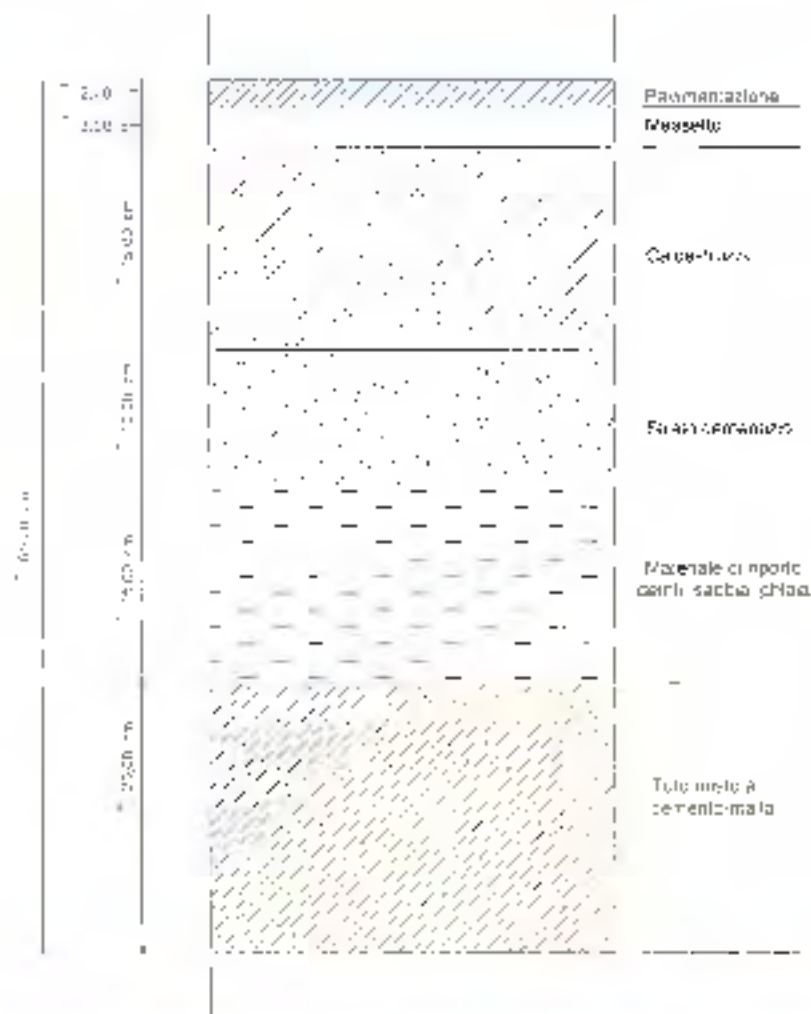
Penetrazione - Serie di battute



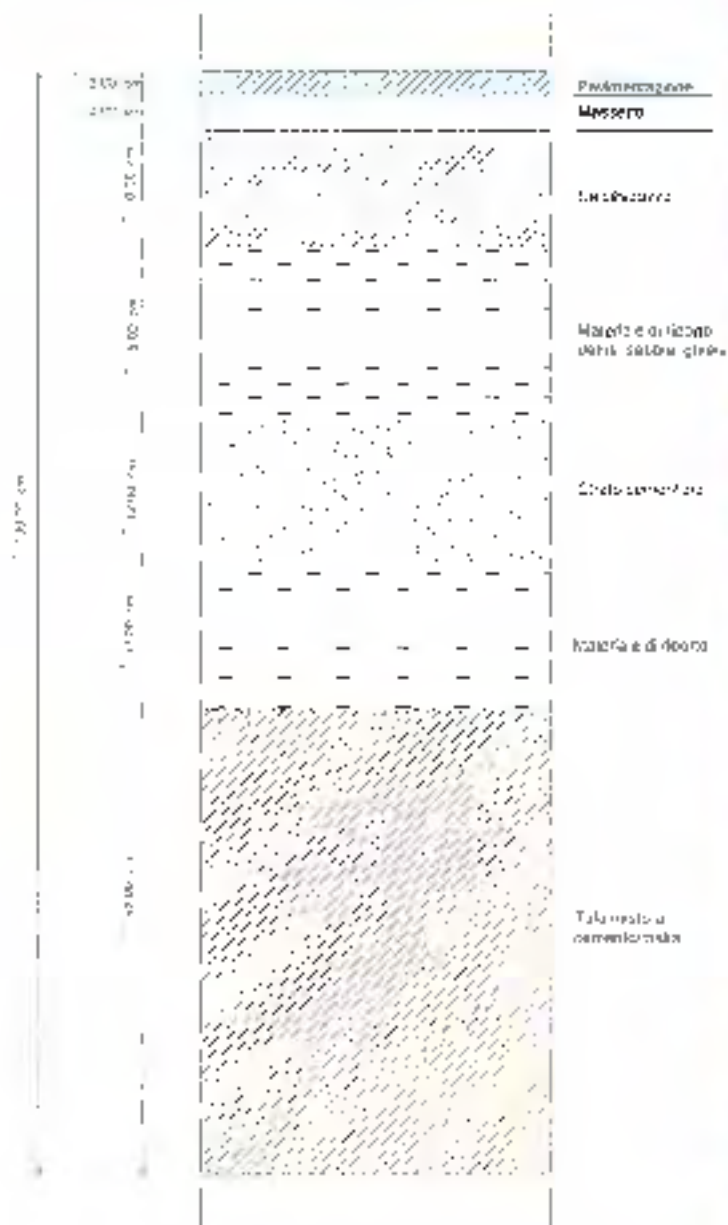
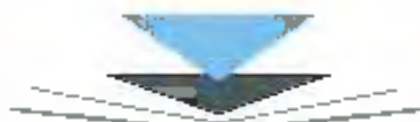
Il Direttore del Laboratorio  
dott. ing. Renato Vira



## Determinazione stratigrafia Volta

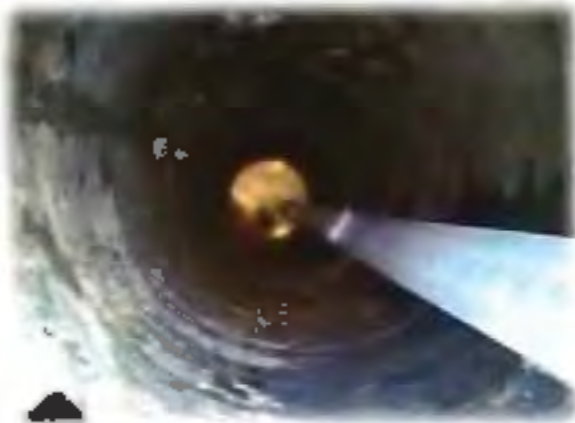


**Stratigrafia n. 1**



Stratigrafia n. 2





Poso per unità di volume determinato

Circa 1550 kg/m<sup>3</sup>

Circa 1650 kg/m<sup>3</sup>

## Determinazione del grado di umidità

La verifica del grado di umidità delle travi è stata effettuata con igrometro digitale **Stanley 1/0-77-030**, con schermo a cristalli liquidi. Temperatura di utilizzo: da 15° a 52° C. Temperatura di conservazione: da -2° a 60° C. Precisione:  $\pm 2\%$ .

Al fine di determinare in grado di umidità sono state registrate n. 3 misure per ogni punto negli ambienti indicati dalla committenza.

I risultati sono riportati nella tabella seguente:

Posizione	Lato	Misura	Umidità Rilevata [%]		
			Media	Media	Media
Capriata	Destro	a	33	Media	31,00
		b	30		
		c	30		
Capriata	Destro	a	35	Media	31,67
		b	28		
		c	32		
Capriata	Sinistro	a	26	Media	25,00
		b	25		
		c	24		
Capriata	Sinistro	a	37	Media	31,33
		b	32		
		c	30		
Capriata	Sinistro	a	28	Media	28,67
		b	26		
		c	32		
Capriata	Destro	a	28	Media	28,00
		b	28		
		c	28		
Corrente inferiore	-	a	32	Media	29,00
		b	25		
		c	30		
Corrente inferiore	-	a	26	Media	26,00
		b	24		
		c	28		

Lo sperimentatore  
p.i. Nicola Cristoforo



il direttore del Laboratorio  
dot. ing. Riccardo Erbani





## Misure mediante ultrasuoni

Il metodo d'indagine con ultrasuoni si basa sulla misura del tempo di propagazione di vibrazioni attraverso il calcestruzzo. Queste vibrazioni hanno una frequenza compresa tra i 20.000 e 150.000 Hz.

Una volta misurata la distanza fra la sonda trasmittente e la sonda ricevente, rilevato il tempo di propagazione da una sonda all'altra e dividendo il primo valore per il secondo, si ottiene la velocità di trasmissione che rappresenta il dato basilare su cui si eseguono le elaborazioni e conclusioni del metodo.

Con la metodologia descritta si può indagare su:

- omogeneità;
- difetti;
- modulo di elasticità dinamico;
- in combinazione con altre indagini, stimare la resistenza.

La velocità di propagazione degli ultrasuoni può essere rilevata attraverso due tipi di misura: diretta e indiretta.

Nella trasmissione diretta le sonde vengono posizionate su due facce opposte (fig.1), nella trasmissione indiretta su due facce ortogonali (fig.2).

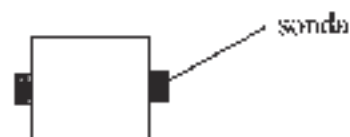


Fig. 1



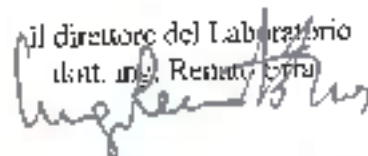
Fig. 2

Per una prima valutazione della qualità del calcestruzzo con inerte calcareo, in base alla velocità degli ultrasuoni, ci si può basare su quanto riportato sul Bollettino CFB n°192 "Diagnosis and assessment of concrete structures", pag. 78 :

Le strutture indagate ed i relativi valori misurati della velocità di propagazione sono riportati nella tabella seguente:

<b>Misure con ultrasuoni</b>						
<b>N.</b>	<b>Identificazione</b>	<b>Lato</b>	<b>Misurazione</b>	<b>Spazio</b>	<b>Velocità</b>	<b>Tempo</b>
				[m]	[m/s]	[msec]
S1	Capriata	Destro	Diretta	0,70	2141	93,4
S2	Capriata	Destro	Diretta	0,20	2172	92,1
S3	Capriata	Sinistro	Diretta	0,20	2107	94,9
S4	Capriata	Sinistro	Diretta	0,20	2028	98,6
S5	Capriata	Sinistro	Diretta	0,20	2148	93,1
S6	Capriata	Destro	Diretta	0,20	2110	94,8
S7	Corrente inferiore	-	Diretta	0,30	2373	126,1
S8	Corrente inferiore	-	Diretta	0,30	2147	139,7

Il direttore del Laboratorio  
Ing. Renato Cerri



## Indagine Termografica

La termografia è una tecnica di telerilevamento, effettuata tramite l'acquisizione di immagini (informazione) nel campo dell'infrarosso.

Con il termine **termografia** si intende la visualizzazione **bidimensionale** della misura di **inaggiamento**. Attraverso l'utilizzo di una **termocamera** (strumento per eseguire controlli di tipo termografico) si eseguono controlli non distruttivi e non intrusivi. Le termocamere rilevano le radiazioni nel campo dell'infrarosso dello spettro elettromagnetico e compiono misure correlate con l'emissione di queste radiazioni.

Questo strumento è in grado di rilevare le temperature dei corpi analizzati attraverso la misurazione dell'intensità di radiazione infrarossa emessa dal corpo in esame. Tutti gli oggetti ad una temperatura superiore alla zero assoluto emettono radiazioni nel campo dell'infrarosso.

La termografia permette di visualizzare valori assoluti e variazioni di temperatura degli oggetti, indipendentemente dalla loro illuminazione nel campo del visibile. La quantità di radiazioni emessa aumenta proporzionalmente alla quarta potenza della temperatura assoluta di un oggetto.

L'indagine termografica permette di determinare la posizione degli elementi strutturali (travetti, pilastri, travi ecc.) essendo essi realizzati con materiale differente rispetto agli elementi non strutturali (tramezzature, pignone ecc) e quindi con un grado di trasmittanza diversa.

Nel seguito si riportano le principali caratteristiche della fotocamera utilizzata:

- Gruppo ottico IR orientabile a 120° con campo visivo 25° x 14°
- Detector microbolometrico 320x240 ad alta sensibilità <0,05°C
- Fotocamera Digitale 1.3 Mpixel integrata completa di illuminatore
- Funzione Picture in Picture (PIP) a finestra variabile o posizionabile
- Zoom digitale 4X continuo
- Display da 3,5" con funzionalità "Touch screen"
- Trattamento antiriflesso del monitor
- UNICO: Puntatore laser con allineamento automatico
- Allarme isolamento
- Punto di rugiada
- Annotazione vocale sulle immagini IR 60 secondi

Nel seguito si riportano le immagini delle termografiche, per l'individuazione dell'ubicazione delle stesse si faccia riferimento agli allegati.

## Immagini termografiche

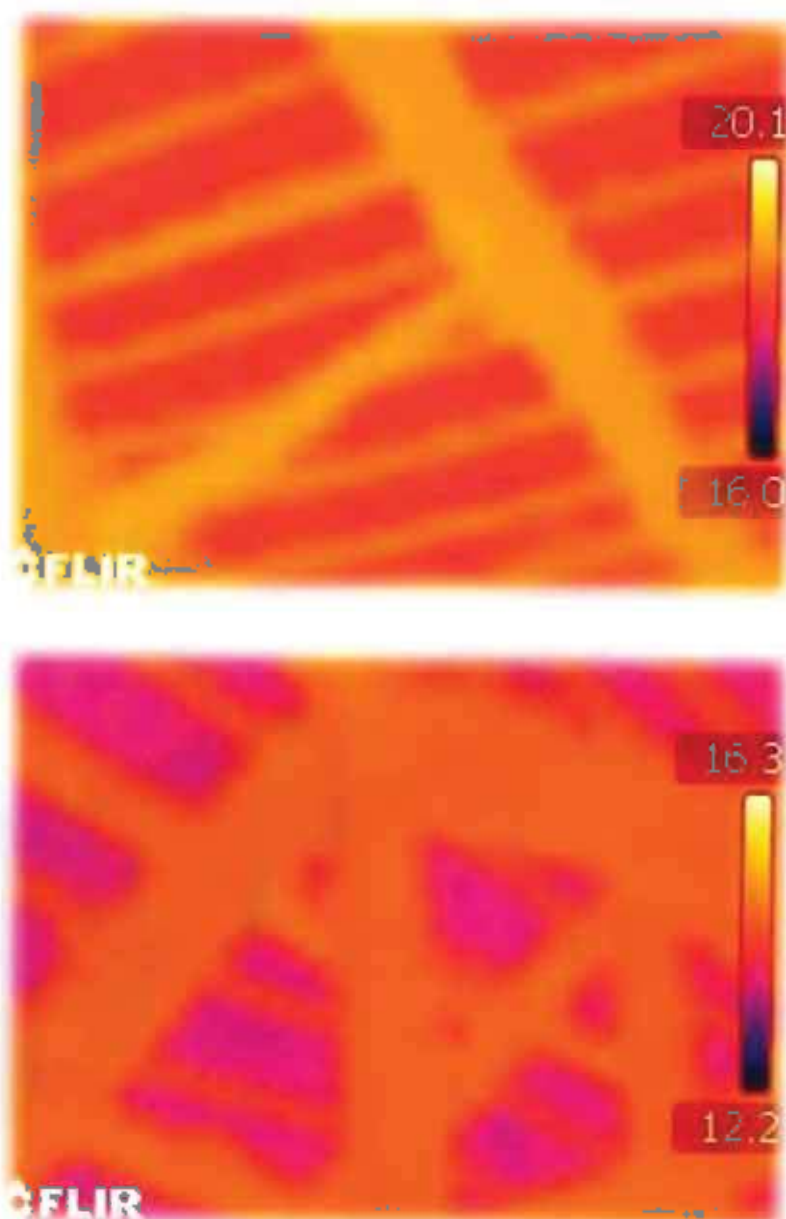
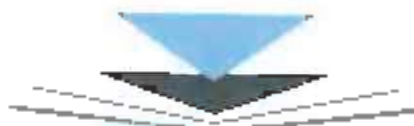


In nessuna delle immagini scattate sono rilevabili particolari difettologie



In nessuna delle immagini scattate sono rilevabili particolari difettologie





In nessuna delle immagini scattate sono rilevabili particolari difettologie

## **Prova resistografica**

Lo scopo della prova è quello di individuare le variazioni di densità tra legno sano e quello decomposto ed effettuare una diagnosi delle aree di decadimento interno dell'elemento sottoposto ad analisi.

Per questo tipo di prova si utilizza uno strumento (Resistograph) che misura la resistenza alla penetrazione di una punta nell'elemento ligneo.

La prova fornisce una valutazione della resistenza meccanica dell'elemento ligneo attraverso la resistenza opposta alla perforazione ottenuta con l'utilizzo di un trapano strumentato: il Resistograph. Lo strumento è fornito di una punta dotata di un movimento combinato di rotazione e di avanzamento a velocità costante, di diametro di 3 mm, che può essere sufficientemente lunga da attraversare interamente la sezione analizzata, senza però lasciare alcun segno visibile esternamente. Per questo motivo il sistema è adatto ad indagare anche strutture di particolare pregio per decori e/o lavorazioni.

La resistenza alla perforazione è concentrata sulla punta dell'ago dal momento che quest'ultima ha uno spessore doppio rispetto allo stelo. Si riesce, quindi, a ricavare una misura della resistenza alla penetrazione in funzione della profondità della struttura. La regolazione elettronica del motore garantisce una velocità costante dell'ago. Questa velocità, preselezionabile dall'utente, deve essere scelta in relazione alle specifiche caratteristiche di densità del legno da esaminare: velocità basse per legni ad elevata densità e velocità alte per legni più teneri.

I risultati della perforazione vengono poi raccolti in un grafico dove in ascissa si riporta la profondità progressiva della punta all'interno della sezione, mentre in ordinata è mostrato un indice della resistenza (in forma di parametro adimensionale) riscontrata durante l'ingresso della punta.

Essendo la resistenza alla perforazione correlata alla densità del legno indagato, lo strumento consente, indirettamente, di misurare le variazioni di densità nella sezione dell'elemento. Queste variazioni forniscono importanti indicazioni sulle caratteristiche del legno come difetti, anomalie ed alterazioni (per esempio presenza di attacchi fungini e da insetti, nodi, spaccature, slittamento di fibre, cipollature anulari, ecc.) in punti specifici della struttura lignea.

La localizzazione dei difetti o delle anomalie si basa sul fatto che il legno anomalo o decomposto ha una massa volumica, e quindi una resistenza alla perforazione, nettamente inferiore a quelle del legno sano. In sintesi questo strumento permette di ottenere informazioni sullo stato di conservazione degli elementi lignei in quelle aree dove la struttura non è accessibile, oppure nei casi in cui l'indagine visiva non restituisca informazioni univoche al tecnico. Va sottolineato che spesso le zone meno accessibili delle strutture, come le estremità delle travi inserite nelle murature, sono quelle più vulnerabili agli agenti degradanti e quindi necessitano di una più accurata indagine conoscitiva.

Il penetrometro utilizzato per l'esecuzione delle misure è il RESI PD 400. Il RESI PD grazie alle innovative caratteristiche e alla nuova struttura ergonomica rende l'esecuzione della prova semplice e intuitiva.

Nel seguito si allega un quadro sinottico delle principali caratteristiche della strumentazione utilizzata.

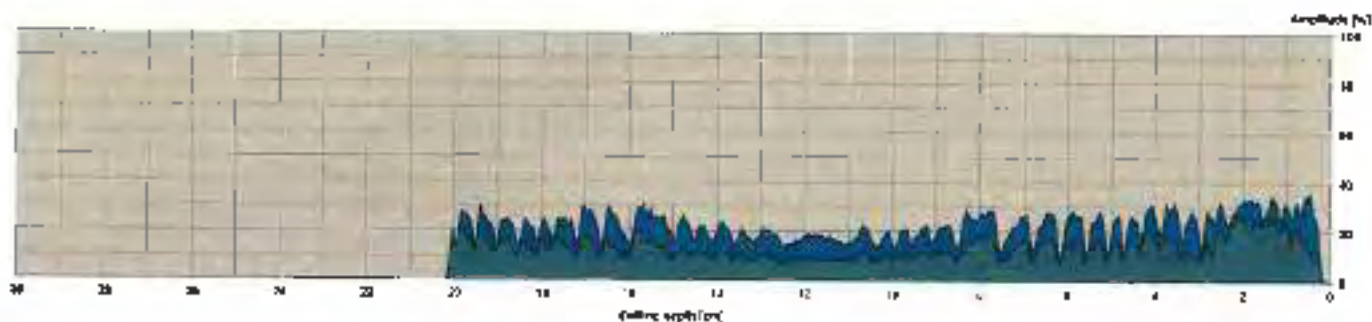
Profondità di perforazione	da 200 a 1000 mm
Risoluzione	0,02/300 mm
Velocità di avanzamento	3 livelli, liberamente regolabili da 15 cm / min a 200 cm / min
Punte speciali dedicate al controllo di pali e travi	Sostituzione delle punte automatica
Peso dello strumento	3 kg
Batteria	2 batterie ricaricabili agli ioni di litio
Carica delle batterie (20 min. per la ricarica completa)	Caricabatteria da rete 220/110 V
Custodia	Contenitore in alluminio rinforzato anti urto
Interfaccia di collegamento	Bluetooth e USB
Unità elettronica <b>waterproof</b>	
Display ampio con tecnologia OLED	

Grazie al software "F-Tools" dedicato è stata effettuata l'analisi dei profili di densità e l'elaborazione dei dati che possono essere presentati sotto forma di grafici, tabelle e schede; inoltre i dati possono essere esportati in formato ASCII, EMF o MSI. Nel seguito si riportano i grafici estratti.



Measuring / object data

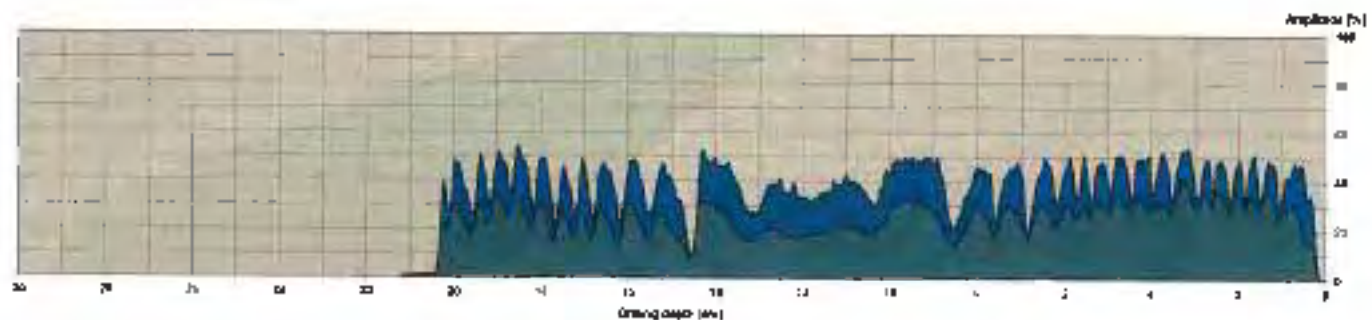
Drilling depth	27.50 m	Speed	2000 rpm	Operator	Luca
ID number		Rock strata	CC	Level	
Date	12/11/2010	Ts	-1	Drill core	
Time	11:17:42	Offset	0.00 m	Type test	Standard
File	23.00000	Log curve	00.00	Location	
				Name	



Prova resistografica n. 1 - Resistenza alla perforazione pressochè costante lungo tutta la sezione

Measuring / object data

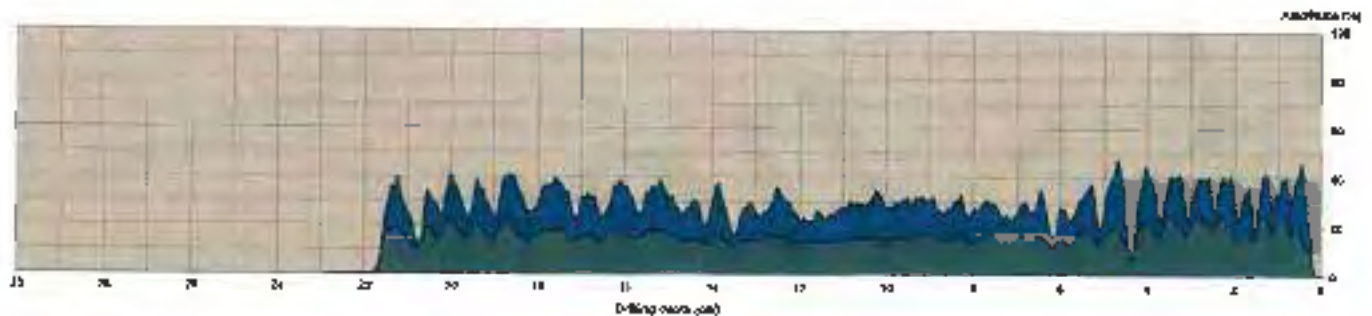
Drilling depth	21.20 m	Speed	2000 rpm	Operator	Luca
ID number		Rock strata	CC	Level	
Date	12/11/2010	Ts	-1	Drill core	
Time	11:25:42	Offset	0.00 m	Type test	Standard
File	30.00000	Log curve	00.00	Location	
				Name	



Prova resistografica n. 2 - Resistenza alla perforazione pressochè costante lungo tutta la sezione - Indice di resistenza ridotto a circa 15 cm

Measuring / object data

Drilling depth	22.20 m	Speed	2000 rpm	Operator	Luca
ID number		Rock strata	CC	Level	
Date	12/11/2010	Ts	-1	Drill core	
Time	11:25:57	Offset	0.00 m	Type test	Standard
File	31.00000	Log curve	00.00	Location	
				Name	

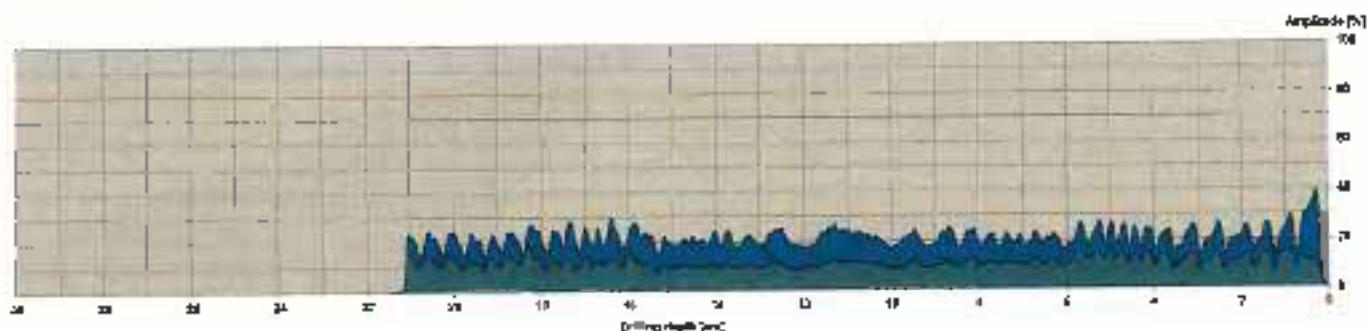


Prova resistografica n. 3 - Resistenza alla perforazione pressochè costante lungo tutta la sezione - Indice di resistenza ridotto a circa 4 cm



Measurement Object: GMR

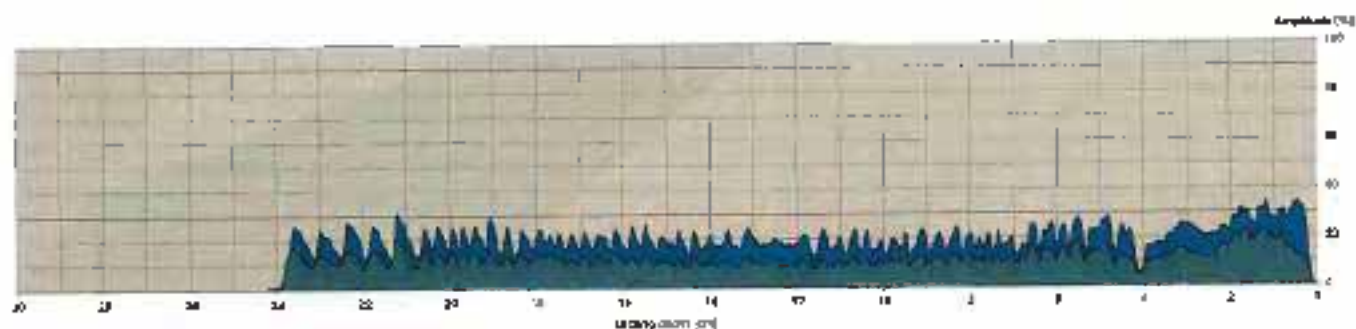
Measurement no.:	11	Speed:	200 mm/s	Diameter:	38
ID number:	01	Revolution:	78	Limit:	100
Drilling depth:	24.1 cm	Drill:	25	Direction:	1
Date:	11/10/20	Depth:	24.170	Speed:	1
Time:	11:24:25	Avg. number:	48.47	Location:	1
Feed:	0.25 mm/rev			Name:	



Prova resistografica n. 4 - Resistenza alla perforazione pressoché costante lungo tutta la sezione

Measurement Object: GMR

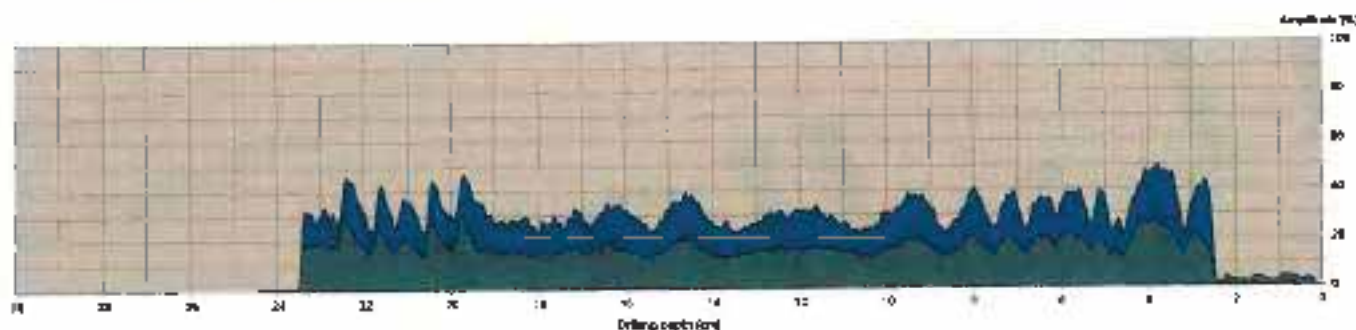
Measurement no.:	11	Speed:	250 mm/s	Diameter:	38
ID number:	01	Revolution:	56	Limit:	100
Drilling depth:	24.1 cm	Drill:	25	Direction:	1
Date:	11/10/20	Depth:	24.170	Speed:	1
Time:	11:24:25	Avg. number:	48.47	Location:	1
Feed:	0.25 mm/rev			Name:	



Prova resistografica n. 5 - Resistenza alla perforazione pressoché costante lungo tutta la sezione - Indice di resistenza ridotto a circa 4 cm

Measurement Object: GMR

Measurement no.:	12	Speed:	250 mm/s	Diameter:	38
ID number:	01	Revolution:	57	Limit:	100
Drilling depth:	24.1 cm	Drill:	25	Direction:	1
Date:	11/10/20	Depth:	24.170	Speed:	1
Time:	11:29:26	Avg. number:	47.107	Location:	1
Feed:	0.25 mm/rev			Name:	



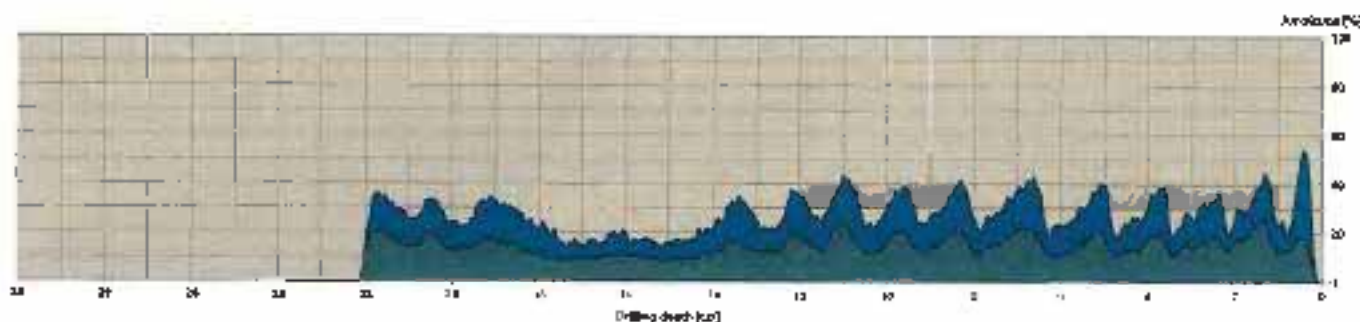
Prova resistografica n. 6 - Resistenza alla perforazione pressoché costante lungo tutta la sezione





Measuring object data

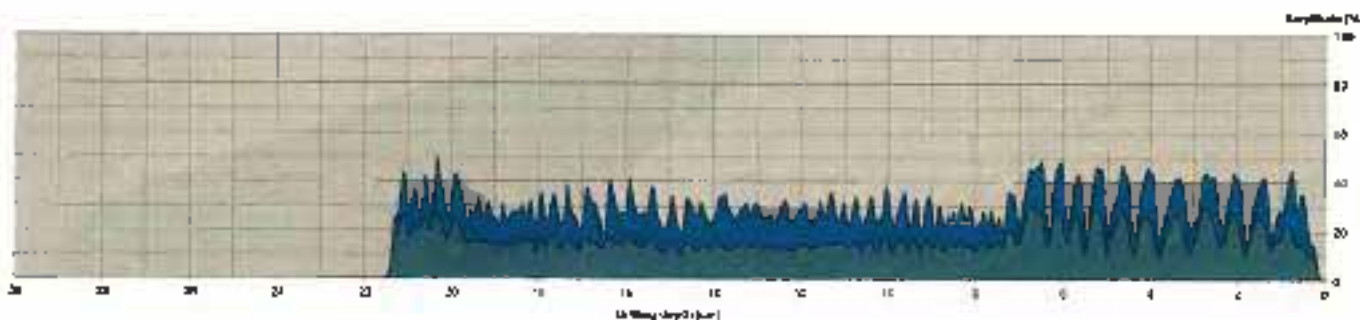
Measuring point No.	7	Speed	2500 rpm	Direction	Vertical
ID no.	8001	Measuring point	01	Level	Level
Drilling depth	14.12 m	Drill	100	Direction	Vertical
Date	14.11.2017	Drill	100	Direction	Vertical
Time	11:28:00	Drill	100	Direction	Vertical
Point	50 centim.	Drill	100	Direction	Vertical



Prova resistografica n. 7 - Resistenza alla perforazione pressochè costante lungo tutta la sezione - Indice di resistenza ridotto tra i 14 e 16 cm

Measuring object data

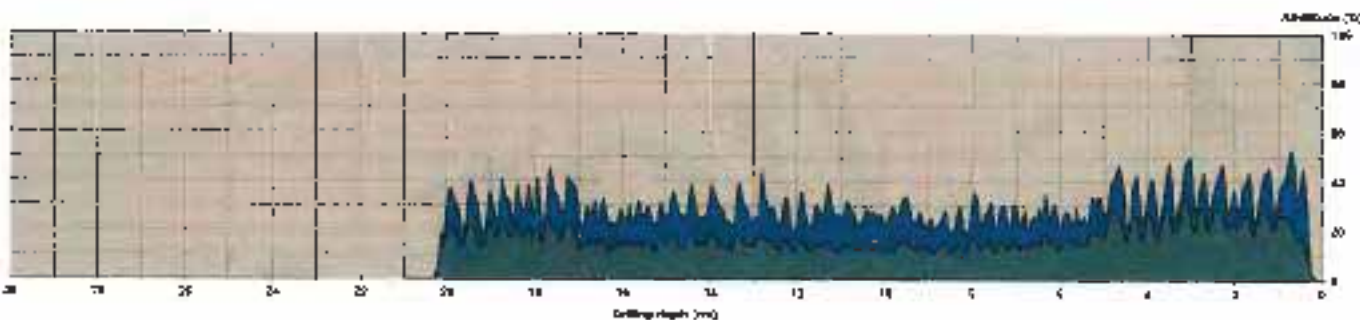
Measuring point no.	8	Speed	2500 rpm	Direction	Vertical
ID no.	8001	Measuring point	01	Level	Level
Drilling depth	13.22 m	Drill	100	Direction	Vertical
Date	14.11.2017	Drill	100	Direction	Vertical
Time	11:29:00	Drill	100	Direction	Vertical
Point	50 centim.	Drill	100	Direction	Vertical



Prova resistografica n. 8 - Resistenza alla perforazione pressochè costante lungo tutta la sezione

Measuring object data

Measuring point no.	9	Speed	2500 rpm	Direction	Vertical
ID no.	8001	Measuring point	01	Level	Level
Drilling depth	21.20 m	Drill	100	Direction	Vertical
Date	14.11.2017	Drill	100	Direction	Vertical
Time	11:30:00	Drill	100	Direction	Vertical
Point	50 centim.	Drill	100	Direction	Vertical

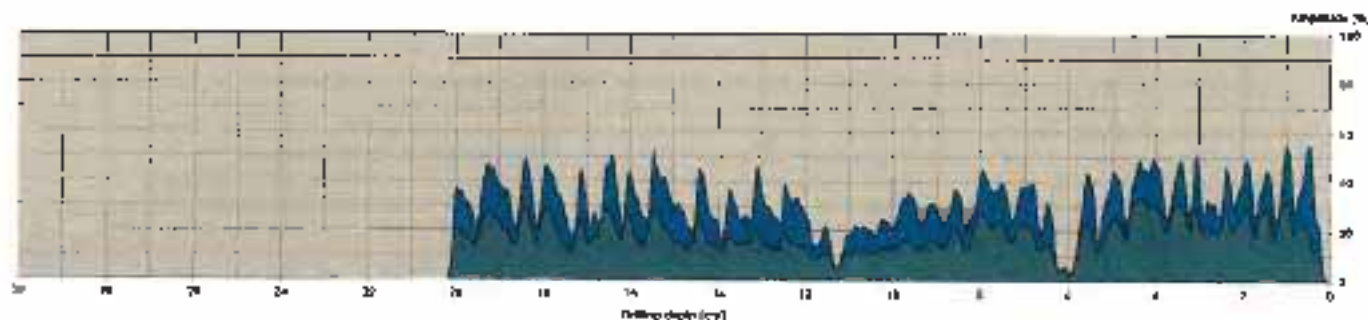


Prova resistografica n. 9 - Resistenza alla perforazione pressochè costante lungo tutta la sezione - Indice di resistenza ridotto a circa 4 cm



Measuring object data

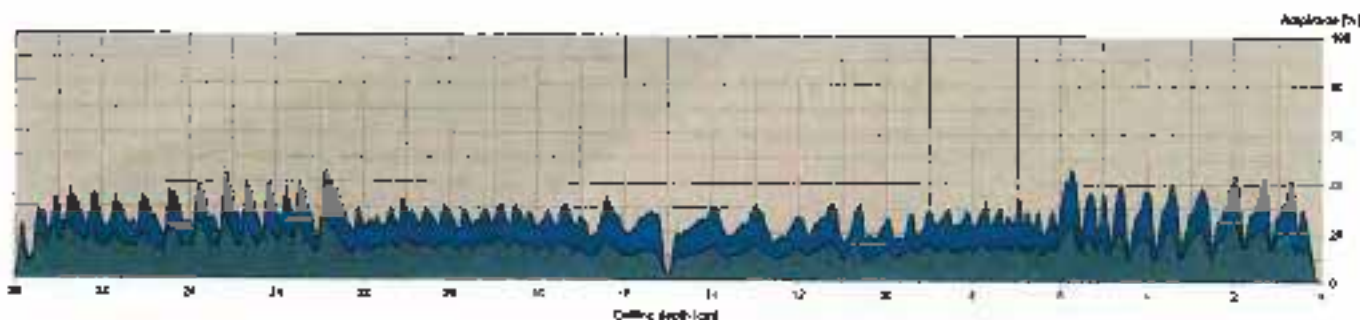
Measurement no.	10	Abbed	7790 cm	Dimension
ID number		Prova alla spinta	ab	Level
Drilling depth	31.15 cm	16	17	Character
Date	14.11.2013	URM	10.12.10	Operator
Time	15.34.12	Arg. Carlo	ab	Location
Post	50 cm			Name



Prova resistografica n. 10 – Resistenza alla perforazione pressoché costante lungo tutta la sezione  
Indice di resistenza ridotto a circa 6 cm e 11 cm

Measuring object data

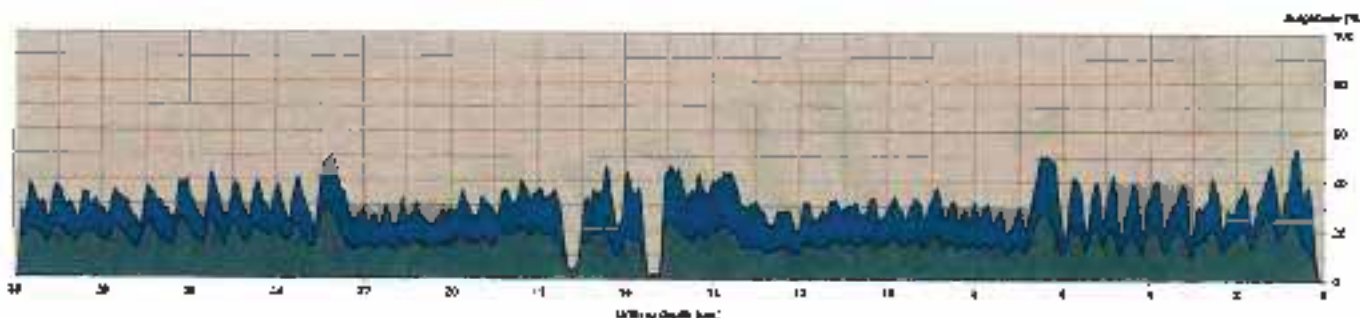
Measurement no.	11	Abbed	7790 cm	Dimension
ID number		Prova alla spinta	ab	Level
Drilling depth	31.15 cm	16	17	Character
Date	14.11.2013	URM	10.12.10	Operator
Time	15.34.12	Arg. Carlo	ab	Location
Post	50 cm			Name



Prova resistografica n. 11 – Resistenza alla perforazione pressoché costante lungo tutta la sezione  
Indice di resistenza ridotto a circa 15 cm

Measuring object data

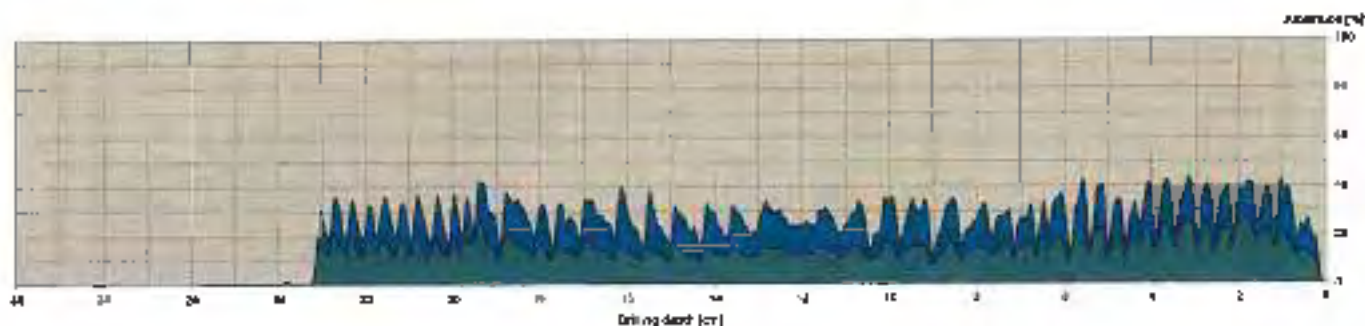
Measurement no.	12	Abbed	7790 cm	Dimension
ID number		Prova alla spinta	ab	Level
Drilling depth	31.15 cm	16	17	Character
Date	14.11.2013	URM	10.12.10	Operator
Time	15.34.12	Arg. Carlo	ab	Location
Post	50 cm			Name



Prova resistografica n. 12 – Resistenza alla perforazione pressoché costante lungo tutta la sezione  
Indice di resistenza ridotto a circa 15 cm e 17 cm

Measuring properties

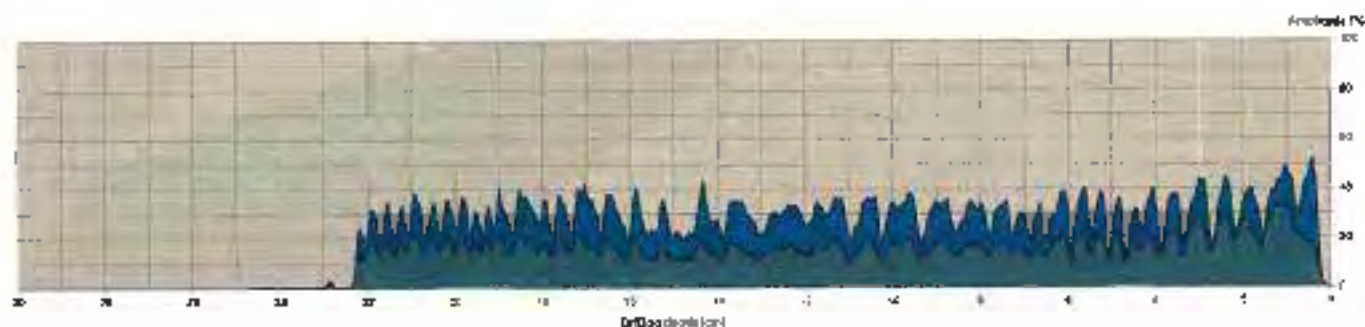
Block diameter (mm)	37	Speed	2500 rpm	Direction	
Drilling bit	12.5 mm	Number of bits	40	Bit type	SDS
Core	12.5 mm	Depth	100 mm	Drill bit	SDS
Time	11.48.51	Avg. core	47.17	Location	
Feed	20 g/min			Area	



Prova resistografica n. 13 – Resistenza alla perforazione pressochè costante lungo tutta la sezione

Measuring properties

Block diameter (mm)	37	Speed	2500 rpm	Direction	
Drilling bit	12.5 mm	Number of bits	40	Bit type	SDS
Core	12.5 mm	Depth	100 mm	Drill bit	SDS
Time	13.41.52	Avg. core	49.18	Location	
Feed	20 g/min			Area	



Prova resistografica n. 14 – Resistenza alla perforazione pressochè costante lungo tutta la sezione

il direttore del Laboratorio  
dott. ing. Renato [Signature]



## Determinazione della profondità di carbonatazione

Le aggressioni chimiche a cui risulta soggetta una struttura in calcestruzzo derivano da molteplici cause. La più frequente causa di degrado deriva dalla presenza di anidride carbonica che combinandosi con l'acqua reagisce con i componenti alcalini del calcestruzzo, quali la calce libera ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) dando origine a carbonati, quali il carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Tale fenomeno, chiamato carbonatazione, è accompagnato da una riduzione del pH del calcestruzzo che, dalla fascia di valori compresa tra 12,5 e 13,5 si sposta a valori compresi tra 8,0 e 9,0. Tali valori sono inferiori a quelli necessari a garantire alle armature metalliche la protezione da passivazione. La gravità di tale fenomeno è legata allo spessore del copriferro ed alla permeabilità del calcestruzzo.

Le misure della profondità di carbonatazione sono state eseguite sui campioni di calcestruzzo prelevati dalle strutture oggetto d'indagine.

I campioni sono stati tagliati a secco secondo piani normali alla superficie esposta all'aria, liberati dalle polveri e spruzzati mediante nebulizzatore con soluzione di fenolftaleina all'1% d'alcol etilico. La fenolftaleina vira al rosso al contatto con materiale il cui pH sia maggiore di circa 9,2 e rimane incolore per valori di pH minori.

N°	Simbolo	Membratura	Profondità di carbonatazione [mm]				
			M1	M2	M3	Scarto	Media
1	C1	Pilastro	Completamente carbonata				
2	C2	Pilastro	Completamente carbonata				
3	C3	Trave	Completamente carbonata				
4	C4	Trave	45	48	48	1,7	47,0

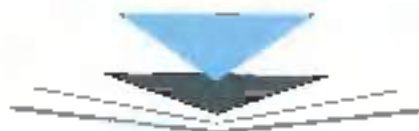
Il responsabile del settore  
p.i. Nicola Casciolo



Il Direttore del Laboratorio  
dott. ing. Renato Esposito







## Determinazione della resistenza a compressione

Le prove per la determinazione della caratteristica meccanica di resistenza a compressione sono state eseguite secondo le norme UNI EN 12504-1:2019 e UNI EN 12390-3:2019 su provini di forma cilindrica, aventi diametro pari a 80 mm, e rapporto L/D come indicato in tabella.

Per le prove di compressione è stata utilizzata una macchina di prova Controls 50 C3600 di capacità massima pari a 1.500 kN.

I risultati sono riportati nella tabella seguente:

N°	Simbolo	Membratura	l/d	Area		Peso [kg]	Carico di rottura		Resistenza unitaria	
				[cm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]		[kg]	[kN]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	C1	Pilastro	1	50,27	5027	0,849	7283,4	71,5	144,90	14,2
2	C2	Pilastro	1	50,27	5027	0,825	7697,2	75,5	153,13	15,0
3	C3	Trave	1	50,27	5027	0,844	6117,2	60,0	121,70	11,9
4	C4	Trave	1	50,27	5027	0,846	7929,7	77,8	157,76	15,5

*Condizioni di prova: Temperatura ambiente 18,5 °C  
Umidità relativa 45%*

Il responsabile del settore  
p.i. Nicola Casciolo

Il Direttore del Laboratorio  
dott. ing. Renato Tira

## Battute sclerometriche

Scopo dell'indagine sclerometrica è quello di una rapida misura della resistenza a compressione dei manufatti di calcestruzzo. Il funzionamento dello strumento si basa sul rimbalzo di una massa battente su di un pistone che si appoggia sulla superficie del calcestruzzo; quanto più elevata è la sua resistenza, tanto maggiore è il rimbalzo  $R_u$ .

Misurando su di una scala questo rimbalzo e riportandolo sulle curve dei diagrammi relativi (che tengono conto della eventuale e differente inclinazione dello sclerometro rispetto al piano orizzontale) si ricava la resistenza a compressione  $W$  in  $\text{kg/cm}^2$ .

Ogni singola operazione è stata condotta su superfici lisce ed uniformi evitando elementi irregolari e porosi, nidi di ghiaia e giunti di cassetatura.

I valori della durezza all'urto  $R_u$  sono la media delle 10 (sono state effettuate 12 battute sclerometriche, trascurandone il valore più alto e il più basso) battute eseguite sui singoli elementi strutturali.

Trattandosi di un'indagine effettuata con metodi statistici si sono ricavati la media e lo scarto quadratico medio in base ai quali è stato possibile determinare la resistenza con la formula  $R = R_u \pm \text{scarto}$ .

Lo scarto quadratico medio è calcolato in base alla formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - R_u)^2}{n-1}}$$

Le misure sclerometriche sono ben correlabili con le misure ultrasoniche.

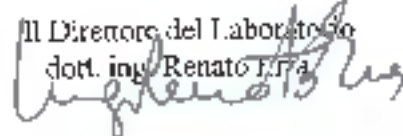
La prova sclerometrica è un metodo di analisi molto pratico e rapido, ma ha lo svantaggio di saggiare solo strati di superfici che potrebbero essere alterati.

I risultati sono sensibili ad alcuni parametri quali umidità, carbonatazione, presenza di armatura e granulometria degli inerti. L'uso combinato dei due metodi, ultrasonico e sclerometrico, consente una stima della resistenza del calcestruzzo più precisa ed attendibile di quella conseguibile con un solo metodo di prova.

Le prove sclerometriche sono state eseguite conformemente alla normativa UNI EN 12504-2: 2001. I valori misurati sono riportati nella tabella seguente:

Battute sclerometriche																	
N.	Identificazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$R_v$	Scarto	$W[\text{Kg}/\text{cm}^2] \pm DW$	
1	Trave	30	24	32	24	26	24	28	26	24	20	28	24	26	2,20	133	40
2	Pilastro	20	24	24	32	30	28	26	36	36	28	24	24	28	4,09	163	74
3	Pilastro	30	30	34	30	32	28	26	34	20	26	24	29	29	3,13	173	56
4	Pilastro	36	32	30	28	24	24	24	24	26	36	28	24	28	4,09	163	74
5	Travetto	34	32	34	24	34	36	34	38	38	20	36	34	34	2,67	255	40
6	Trave	34	36	30	26	26	20	28	26	28	28	30	28	28	2,46	163	44
7	Trave	36	34	24	24	24	32	34	24	28	28	26	30	28	3,98	163	72
8	Pilastro	34	38	30	28	24	24	24	26	26	20	28	28	27	3,16	143	57
9	Pilastro	36	32	26	24	28	28	26	28	32	32	26	26	28	2,63	163	47
10	Trave	34	24	28	24	24	24	28	30	26	26	20	28	26	2,20	133	40
11	Trave	24	32	24	28	28	26	26	32	28	32	32	26	28	2,90	163	52
12	Trave	28	24	26	28	24	24	24	24	24	24	24	24	25	1,35	122	24
13	Pilastro	28	24	24	24	28	28	26	20	24	28	28	24	26	1,99	133	36
14	Travetto	36	34	38	36	34	34	38	30	34	38	30	32	35	2,50	255	45

Il Direttore del Laboratorio  
dott. ing. Renato Lira



## Determinazione della resistenza a trazione armatura

La prova per la determinazione della resistenza a trazione è stata eseguita secondo le norme UNI-EN ISO 15630-1:2010 e UNI-ISO 10065 sulle barre prelevate dalle membrature indicate sulla pianta allegata.

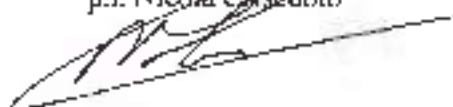
Per le prove di trazione è stata utilizzata una macchina di prova RMU A0:7/100 di capacità massima pari a 600 kN.

I risultati sono riportati nella tabella seguente:

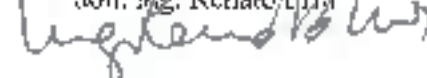
Barra [n°]	Elemento strutturale	Ø eff. [mm]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Tensione di snervamento fy		Tensione di rottura ft		Allungamento [%]
				[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
P1	Pilastro Studentato	12,19	116,77	44,8	383,7	62,2	532,7	33,6
P2	Pilastro Studentato	12,19	116,77	37,9	324,6	50,6	433,3	32,3
P3	Trave Studentato	12,12	115,29	36,5	316,6	47,9	415,5	29,5
P4	Trave Studentato	12,95	131,63	45,8	347,9	57,1	433,8	31,1

*Condizioni di prova: Temperatura ambiente 17,5 °C  
Umidità relativa 42%*

Il Responsabile di settore  
p.i. Nicola Cristoforo



Il Direttore del Laboratorio  
dott. ing. Renato Ferra





## Determinazione della resistenza a trazione su profilato metallico

La prova per la determinazione della resistenza a trazione è stata eseguita secondo le norme **UNI-EN ISO 15630-1:2010** e **CNI-ISO 10065** sulle barre prelevate dalle membrature indicate sulla pianta allegata.

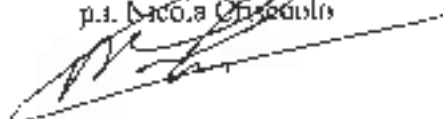
Per le prove di trazione è stata utilizzata una macchina di prova **RMU A017/100** di capacità massima pari a **600 kN**.

I risultati sono riportati nella tabella seguente:

Provino			Sezione	Tensione di snervamento $f_y$		Tensione di rottura $f_t$		Allungamento	
Tipo	[n°]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]	
Studentato	P1	34,00	9,00	306,00	85,5	279,4	121,7	397,7	30,1
Ascensore	P2	33,00	9,20	312,80	142,3	454,9	241,4	771,7	28,6

*Condizioni di prova: Temperatura ambiente 16,5 °C  
Umidità relativa 48%*

Il responsabile di settore  
p.i. Nicola Chiodulo



Il direttore del Laboratorio  
dott. Ing. Renzo Tala



## Prova durometrica

Scopo dell'indagine è quella di determinare la durezza dell'acciaio e di conseguenza effettuare una stima della resistenza a trazione delle barre d'armatura.

Il durometro è uno strumento digitale che permette di rilevare la durezza di barre di armatura, i cui valori, mediante correlazioni presenti nell'UNI EN ISO 18265, permettono di stimare la resistenza a trazione senza prelevare un campione su cui eseguire prove di laboratorio. Questa tipologia di prova non è intercambiabile con il prelievo di campioni di barre d'armatura/profili d'acciaio, su cui eseguire le prove di resistenza a trazione di laboratorio, ma permette di estendere la stima della resistenza a trazione ad un maggior numero di elementi.

Dal punto di vista operativo preventivamente, dopo aver individuato la barra mediante pacometro, si rimuove il copriferro per una porzione adeguata alla corretta preparazione del campione di armatura stesso; sulla porzione di barra scoperta viene creata una superficie piatta e a bassa rugosità su cui verrà eseguita la prova.

Il principio della prova è molto simile a quello dello sclerometro da calcestruzzo: una sonda con una punta a elevata durezza caricata da una molla, causando una deformazione plastica alla superficie del campione, che si traduce in una perdita di energia cinetica. Questa perdita di energia è quantificata misurando la differenza di velocità d'impatto e quella di rimbalzo sulla superficie del campione ad una data distanza dalla superficie. Si eseguono una serie di misure (minimo 3, massimo 10) su punti distinti della barra. L'elettronica dello strumento elabora i segnali registrati fornendo la lettura della resistenza a trazione dell'acciaio in base a delle correlazioni esistenti in letteratura tra la durezza (grandezza effettivamente misurata, dallo strumento, in scala Leeb, HL) e la resistenza a trazione dell'acciaio.

## Metodo LEEB

Il metodo utilizzato nell'esecuzione dell'indagine in oggetto è il Metodo Leeb. Esso è basato sul principio introdotto da Dietmar Leeb nel 1975. Concettualmente è definito come il rapporto tra la velocità di rimbalzo del corpo d'impatto e la velocità d'impatto, successivamente moltiplicate per 1000. In base al tipo di metallo il metodo Leeb indica il rapporto di durezza e può anche essere convertito in altre scale (ad esempio HB, HV, HRC etc). Sfruttando lo stesso principio è possibile misurare anche il carico di rottura in riferimento all'acciaio. Il principio di funzionamento si basa sull'applicazione di una certa forza a un corpo d'impatto di un certo peso, che andrà a toccare la superficie da misurare. Lo strumento misura rispettivamente la velocità d'impatto e quella di rimbalzo quando il percussore sferico è situato a 1mm dalla superficie da misurare.

Quando si utilizza il principio dinamico di Leeb, il valore di durezza viene derivato dalla perdita di energia di un corpo di impatto, detto dardo, dopo essere stato scagliato contro il provino ed essere, appunto rimbalzato. Il principio è molto simile a quello dello scleroscopio di Shore.

Il quoziente Leeb ( $v_r/v_i$ ) viene considerato come espressione dell'energia persa dal dardo nell'impatto grazie alla deformazione plastica del provino: il dardo rimbalzerà più velocemente per corpi con maggiore durezza rispetto a corpi più morbidi. Il valore della scala Leeb è ottenibile dalla seguente formula:

$$HL = 1000 \times (v_r/v_i)$$

Dove:

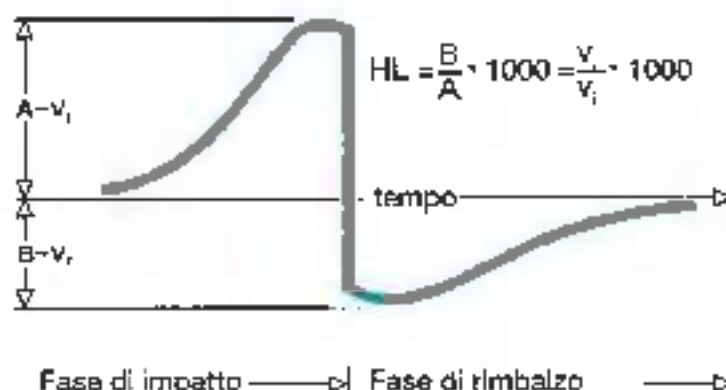
HL è il valore di durezza in scala Leeb,

$v_r$  è la velocità di rimbalzo del dardo,

$v_i$  è la velocità di impatto del dardo.

Il dardo è magnetizzato e nella parte di appoggio della sonda ad impatto è posta una bobina. È noto che un magnete in movimento all'interno della bobina indurrà una tensione nel filo della bobina, e che questa tensione è direttamente proporzionale alla velocità del

magnete che passa nella bobina. Praticamente quindi la scala di Leeb è ottenuta dalla formula  $1000 \times (V_r/V_i)$  dove  $V_r$  e  $V_i$  sono le tensioni rispettivamente di rimbalzo e di impatto misurate sulla bobina.



## Strumentazione Utilizzata

### Durezza a Rimbalzo

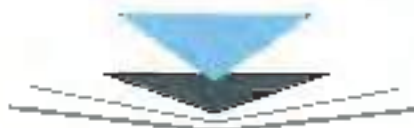
Il durezza a rimbalzo è uno strumento portatile utilizzato per la misurazione della durezza dei materiali. Dimensioni compatte e molto robusto, misura la durezza dei metalli in scala Leeb, Vickers, Brinell e con calcolo del carico di rottura, con memoria delle misure effettuate. Lo strumento consente il trasferimento dati tramite software dedicato.

Viene fornito con sonda a rimbalzo tipo "D" di serie, e Set di anelli adattatori (opzionale) che permettono di operare su tutte le superfici concave e convesse.

### Principio di funzionamento

Il principio di funzionamento dei durezza è pressoché identico per le varie tipologie: una punta di forma varia, viene spinta con una forza nota contro il materiale da testare, e seconda della durezza del materiale e direttamente proporzionale ad essa, questo penetrerà per una certa profondità. Misurando la profondità di penetrazione o la dimensione dell'impronta si ha l'indicazione della durezza del materiale.





Il durometro a rimbalzo, avendo all'interno le curve di correlazione già iscritte, restituisce direttamente la durezza del materiale in base alla scala selezionata.

#### Caratteristiche tecniche

- Vasta gamma di materiali misurabili.
  - Schermo LCD: retroilluminato
  - La dotazione standard include la sonda tipo D
  - Riconoscimento automatico del tipo di sonda
  - Direzione Sonda: 360°
- 
- Visualizzazione scale durezza: HRB HRC HV HB HS HLD
  - Memoria: 100 gruppi
  - Informazioni di carica della batteria
  - Funzione di calibratura
  - Software opzionale di connessione con il PC
  - 2 Batterie tipo AA garantiscono un'autonomia di 100 ore
  - Autospegnimento per il risparmio energetico
  - Conforme secondo Standard ASTM A965 e DIN 50156
  - Funzioni sul display: Direzione d'impatto, consumo batteria, scala di durezza, il valore di durezza, valore medio, tipo di materiale, numero misura
  - Durezze misurabili: HRB - HRC - HV - HB - HS - HLD
- 
- Informazioni di misura:
- Forza d'impatto: 11.Nmm
  - Massa penetratore: 5.5g
  - Minimo spessore del pezzo: 5mm
  - Minimo spessore riporti: 0.8mm
  - Rugosità max. superficie Ra: 1.6µm
  - Massima durezza pezzo: 950HV

Inoltre la strumentazione in possesso del Laboratorio Edil-Test srl ha a disposizione anelli di supporto che servono per utilizzare il durometro a rimbalzo all'interno o all'esterno di cilindri o parti sferiche.

## Risultati delle misurazioni

A seguito della apertura, è stata esaminata la superficie dei tondi per valutare la presenza della nervatura e lo stato di corrosione. Attraverso spazzole lamellari e carte abrasive, si è raggiunta la finitura superficiale richiesta da norma.

Non si è ritenuto opportuno spianare i tondi, ma ci si è limitati a rasare la nervatura, preservando la curvatura della superficie. Tale curvatura, per problemi d'appoggio della sonda, può inficiare la prova; nella prova sono stati comunque utilizzati anelli adattatori, nonnati e commercialmente disponibili in varie forme, che sono stati applicati alla base della sonda dello strumento, risolvendo il problema dell'appoggio.

Si anticipa che da sperimentazioni si è riscontrato che la media delle prove Leeb è confidente con il limite di snervamento del campione sottoposto a prova di trazione.

La strumentazione utilizzata è in grado di restituire il valore di resistenza in Mpa.

Identificativo n.	Riferimento	Membratura	Armatura	Tensione di snervamento
				N/mm <sup>2</sup>
1	Is 01	Trave Studentato	Longitudinale	390
2			Trasversale	388
3	Is 02	Travetto Studentato	Treccia	411
4			Treccia	394
5	Is 04	Trave Studentato	Longitudinale	398
6			Trasversale	370
7	Is 06	Trave Studentato	Longitudinale	388
8			Trasversale	376
9	Is 07	Trave Studentato	Longitudinale	362
10			Trasversale	375
11	Is 09	Travetto Studentato	Treccia	410
12			Treccia	401
13	Is 10	Filastro Studentato	Longitudinale	376
14	Is 12	Filastro Studentato	Longitudinale	369
15	Putrella	Zona Ascensore	Ipe	366
16	Putrella	Zona Ascensore	Ipe	374
17	Putrella	Zona Ascensore	Ipe	369
18	Putrella	Solaio studentato	Ipe	294

Il Direttore del Laboratorio  
dott. ing. Renato Firra

*Si riportano nel paragrafo successivo i valori regolamentari estratti dalla NTC 2018,  
NTC 2008 e dal Decreto del Ministero LL. PP. 14 Febbraio 1992.*

## Acciaio da profilati

### Prospetti NTC 17/01/2018

Tab. A.2.1 - Laminati a caldo con profili a sezione aperta piatti e larghi

Nome e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	t ≤ 30 mm		30 mm < t ≤ 90 mm	
	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{tk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{tk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	355	470
S 450	440	560	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	570
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/MEL	275	370	255	360
S 355 M/MEL	355	470	335	450
S 420 M/MEL	420	525	390	500
S 460 M/MEL	460	540	430	530
S460 Q/Q0/Q1	460	570	440	550
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

Tab. A.2.2 - Laminati a caldo con profili a sezione arrotondata

Nome e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	t ≤ 30 mm		30 mm < t ≤ 90 mm	
	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{tk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{tk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
UNI EN 10210-1				
S 235 HE	235	390	215	340
S 275 HE	275	430	255	410
S 355 HE	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
UNI EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 275 MH/MELH	275	360		
S 355 MH/MELH	355	470		
S 420 MH/MELH	420	500		
S 460 MH/MELH	460	530		
S 460 NH/NLH	460	550		

## Prospetti NTC 14/01/2008

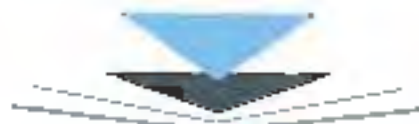
Tabella 11.3.EX - Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
UNI EN 10023-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10023-3				
S 275 NNL	275	390	255	375
S 355 NNL	355	490	335	470
S 430 NNL	430	520	390	520
S 460 NNL	460	540	430	540
UNI EN 10023-4				
S 275 MNL	275	370	275	360
S 355 MNL	355	470	335	450
S 420 MNL	420	520	390	520
S 460 MNL	460	540	430	530
UNI EN 10025-2				
S 235 W	235	360	215	360
S 355 W	355	510	335	490

Tabella 11.3.N - Laminati a caldo con profili a sezione chiusa

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
UNI EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	360
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NHALEH	275	390	255	370
S 355 NHALEH	355	490	335	470
S 420 NHALEH	420	510	390	520
S 460 NHALEH	460	560	430	550





## Barre D'Armatura Prospetti NTC 17/01/2018

### 11.3.2. ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai cedevoli qualificati secondo le procedure di cui al precedente § 11.2.1.2 e controllati con le modalità riportate nel § 11.3.2.1.

#### 11.3.2.1 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO B450C

L'acciaio per calcestruzzo armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali della tensione di snervamento e della tensione a carico massimo da utilizzare nei calcoli:

Tab. 11.3.1a

$f_{yk}$	450 N/mm <sup>2</sup>
$f_{tk}$	510 N/mm <sup>2</sup>

e deve rispettare i requisiti indicati nella seguente Tab. 11.3.1b:

Tab. 11.3.1b

Caratteristica	Requisiti	Fruite (%)
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	5.0
Tensione caratteristica a carico massimo	$f_{tk}$	5.0
	$f_{tk}/f_{yk}$	≥ 1,15
		≤ 1,35
	$f_{tk}/f_{yk}$	5.0
Allungamento	$\epsilon_{yk}$	27.5%
Diametro del mandrillo per prove di piegamento a 90° e successiva rottura senza cricche:		
	per $d \leq 12$ mm	4.0
	per $12 < d \leq 16$ mm	5.0
	per $16 < d \leq 25$ mm	8.0
	per $25 < d \leq 40$ mm	10.0

Per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche vale quanto indicato al § 11.3.2.3.

#### 11.3.2.2 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO B450A

L'acciaio per calcestruzzo armato B450A, caratterizzato dai medesimi valori nominali della tensione di snervamento e della tensione a carico massimo dell'acciaio B450C, deve rispettare i requisiti indicati nella seguente Tab. 11.3.1c:

Tab. 11.3.1c

Caratteristica	Requisiti	Fruite (%)
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	5.0
Tensione caratteristica a carico massimo	$f_{tk}$	5.0
	$f_{tk}/f_{yk}$	≥ 1,27
		100
	$f_{tk}/f_{yk}$	100
Allungamento	$\epsilon_{yk}$	≥ 27.5%
Diametro del mandrillo per prove di piegamento a 90° e successiva rottura senza cricche:		
	per $d \leq 10$ mm	1.0

Per l'accertamento delle caratteristiche meccaniche vale quanto indicato al § 11.3.2.3.

## Prospetti NTC 14/01/2008

### 11.3.2 ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai salitabili qualificati secondo le procedure di cui al precedente § 11.3.1.2 e controllati con le modalità riportate nel § 11.3.2.11.

#### 11.3.2.1 Acciaio per cemento armato B450C

L'acciaio per cemento armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzarsi nei calcoli:

Tabella 11.3.1a

$f_{t,sn}$	455 N/mm <sup>2</sup>
$f_{t,rot}$	540 N/mm <sup>2</sup>

e deve rispettare i requisiti indicati nella seguente Tab. 11.3.1b

Tabella 11.3.1b

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento $f_{t,sn}$	$\geq f_{t,sn}$	5,0
Tensione caratteristica di rottura $f_{t,rot}$	$\geq f_{t,rot}$	5,0
$(f_{t,sn}/f_{t,rot})$	$> 1,15$	10,0
$(f_{t,rot}/f_{t,sn})$	$\leq 1,25$	10,0
Allungamento $(A_{g,0,2})$	$\geq 5,5 \%$	10,0
Diametro del manubrio per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche		
per $\phi \leq 12$ mm	4 $\phi$	
per $13 \leq \phi \leq 16$ mm	5 $\phi$	
per $16 < \phi \leq 25$ mm	8 $\phi$	
per $25 < \phi \leq 40$ mm	10 $\phi$	

Per l'accettazione delle caratteristiche meccaniche vale quanto indicato al § 11.3.2.5.

#### 11.3.2.2 Acciaio per cemento armato B450A

L'acciaio per cemento armato B450A, caratterizzato dai medesimi valori nominali delle tensioni di snervamento e rottura dell'acciaio B450C, deve rispettare i requisiti indicati nella seguente Tab. 11.3.1c.

Tabella 11.3.1c

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento $f_{t,sn}$	$\geq f_{t,sn}$	5,0
Tensione caratteristica di rottura $f_{t,rot}$	$\geq f_{t,rot}$	5,0
$(f_{t,sn}/f_{t,rot})$	$> 1,05$	10,0
$(f_{t,rot}/f_{t,sn})$	$\leq 1,25$	10,0
Allungamento $(A_{g,0,2})$	$\geq 2,5 \%$	10,0
Diametro del manubrio per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche		
per $\phi \leq 10$ mm	4 $\phi$	

## Prospetti Decreto Ministero LL. PP. 14 febbraio 1992

### Prospetto 1 - Acciai in barre tonde lisce

TIPO DI ACCIAIO		Fe B 22 k	Fe B 32 k
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$ N/mm <sup>2</sup> [kgf/mm <sup>2</sup> ]	≈ 215 [≈ 22]	≈ 315 [≈ 32]
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$ N/mm <sup>2</sup> [kgf/mm <sup>2</sup> ]	≈ 335 [≈ 34]	≈ 490 [≈ 50]
Allungamento $A_5$	%	≈ 24	≈ 23
Piegamento a 180° su mandrino avente diametro	D	2 Ø	3 Ø

### Prospetto 2 - Acciai in barre ad aderenza migliorata



TIPO DI ACCIAIO		Fe B 38 k	Fe B 44 k
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	N/mm <sup>2</sup> [kgf/mm <sup>2</sup> ]	≈ 375 [≈ 38]	≈ 430 [≈ 44]
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	N/mm <sup>2</sup> [kgf/mm <sup>2</sup> ]	≈ 450 [≈ 46]	≈ 540 [≈ 55]
Allungamento $A_5$	%	≈ 14	≈ 12
Per barre ad aderenza migliorata aventi Ø (*)	fino a 12 mm oltre 12 mm fino a 18 mm oltre 18 mm fino a 25 mm oltre 25 mm fino a 30 mm	Piegamento a 180° su mandrino avente diametro D  Piegamento e raddrizzamento su mandrino avente diametro D	3 Ø 4 Ø 6 Ø 8 Ø 10 Ø 12 Ø

(\*) Il diametro Ø è quello della barra tonda liscia equipesante

## Ispezioni visive




Scopo dell'indagine è quella di individuare la tipologia di struttura portante previa spicconamento dell'intonaco e, nel caso di elemento in c.a. rimozione del copriferro.

Nel seguito si riporta la descrizione delle ispezioni visive e i risultati ottenuti, in particolare sono state eseguite ispezioni basate su un rilievo di tipo visivo con lo scopo di esaminare le caratteristiche della tipologia di muratura e/o di trave in c.a.

	<p><b><u>Ispezione visiva n. 01</u></b></p> <p>(IS 01)</p> <p><b>Elemento ispezionato:</b></p> <p>Trave</p> <p><b>Barra longitudinale</b> dn. 16 mm. staffe dn. 6 mm</p>
	<p><b><u>Ispezione visiva n. 02</u></b></p> <p>(IS 02)</p> <p><b>Elemento ispezionato:</b></p> <p>Solaio</p> <p>Si rileva l'altezza del solaio pari a circa 22 cm</p>







	<p><b>Ispezione visiva n. 03</b> <b>(IS 03)</b></p> <p><b>Elemento ispezionato:</b> Travetto soletto</p> <p>Si rileva l'armatura del travetto costituita da treccie del dn 4 mm</p>
	<p><b>Ispezione visiva n. 04</b> <b>(IS 04)</b></p> <p><b>Elemento ispezionato:</b> Trave</p> <p>Barra longitudinale dn. 16 mm staffe dn. 6 mm</p>
	<p><b>Ispezione visiva n. 05</b> <b>(IS 05)</b></p> <p><b>Elemento ispezionato:</b> Trave</p> <p>Barra longitudinale dn. 12 mm staffe dn. 6 mm</p>

	<p><b><u>Ispezione visiva n. 06</u></b></p> <p>(IS 06)</p> <p><b>Elemento ispezionato:</b></p> <p>Trave</p> <p>Barra Inngitudinale dn. 16 mm staffe dn. 6 mm</p>
	<p><b><u>Ispezione visiva n. 07</u></b></p> <p>(IS 07)</p> <p><b>Elemento ispezionato:</b></p> <p>Trave</p> <p>Barra longitudinale dn. 16 mm staffe dn. 6 mm</p>
	<p><b><u>Ispezione visiva n. 08</u></b></p> <p>(IS 08)</p> <p><b>Elemento ispezionato:</b></p> <p>Solaio</p> <p>Si rileva un solaio realizzato con travetti avente base inferiore pari a circa 10 cm</p>

	<p><b>Ispezione visiva n. 09</b> <b>(IS 09)</b></p> <p><b>Elemento ispezionato:</b> Travetto soletto</p> <p>Si rileva l'armatura del travetto costituita da treccie del dn 4 mm</p>
	<p><b>Ispezione visiva n. 10</b> <b>(IS 10)</b></p> <p><b>Elemento ispezionato:</b> Pilastro</p> <p>Barra longitudinale dn. 12 mm</p>



	<p><b>Ispezione visiva n. 11</b></p> <p>(IS 11)</p> <p><b>Elemento ispezionato:</b></p> <p>Solaio</p> <p>Si rileva l'altezza del solaio pari a circa 32 cm</p>
	<p><b>Ispezione visiva n. 12</b></p> <p>(IS 12)</p> <p><b>Elemento ispezionato:</b></p> <p>Pilastro</p> <p>Barra longitudinale dn. 12 mm</p>





## Indagine pacometrica

**S**copo dell'indagine è quella di individuare l'armatura all'interno di una struttura in calcestruzzo armato, mediante la capacità dei metalli di magnetizzarsi se indotti da un campo magnetico (ferromagnetici).

Lo strumento utilizzato per tale indagine è il pacometro JIMTI FERROSCAN PS 200 matricola n°20206001.

I ferri d'armatura concentrano le linee magnetiche e possono essere così individuati. Si fa scorrere lo scanner sulla superficie interessata e genera un campo elettromagnetico capace di penetrare nel cemento. La superficie è scandita in due direzioni perpendicolari l'una all'altra. Contemporaneamente, lo scanner riconosce la distribuzione di campo nello sfondo con un procedimento di misura differenziale.

Il monitor rileva dai dati delle misure una rappresentazione grafica dello stato d'armatura, la copertura di cemento fino alla superficie di una determinata armatura e il diametro. Tramite un software, si possono scaricare le immagini così ottenute ed elaborarle, individuando la maglia, il diametro (ove consentito dall'entità del copriferro) ed il copriferro dell'armatura.

Per la corretta interpretazione dei dati si faccia riferimento alla tabella allegata fornita dal costruttore del pacometro.

Per usi spinti d'utilizzo teorico si raccomanda la messa a nudo dell'armatura.

La restituzione grafica delle scansioni eseguite con i relativi commenti sono riportate nelle pagine in allegati.

## Misurazione e precisione pacometro

Per la corretta interpretazione dei risultati si faccia riferimento alle seguenti tabelle fornite dal costruttore dello strumento.



c = copertura - spazioferro    x = superficie

### Zona di rilevamento e misurazione e precisione

Per localizzare singoli ferri è necessaria una distanza minima (c) in relazione alla copertura (c) di 2. La distanza minima dei ferri è 35 mm. Per individuare singoli ferri occorre tenere conto del valore superiore tra i due.

Per la misurazione della profondità è necessaria una profondità minima di  $\geq 1,0$  mm.

### Descrizione delle tabelle sui diametri dei ferri

$\varnothing$ [mm]	Diametro dei ferri in mm
$\varnothing$	Diametro ferri d'armatura
↓ [mm]	Profondità in mm
0	a questa profondità è possibile individuare il ferro tuttavia non viene calcolata la profondità
X	il ferro non può essere rilevato a questa profondità

Il valore indica la precisione della misurazione di profondità (ricca (scostamento dal valore effettivo)) in mm.

### 1 - Diametri ferri di armatura conosciuto

DIX 009

D [mm]	J [mm]									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
5	±2	±3	±3		±4	±5	9	X	±	X
6	±2	±2	±3		±4	±5	8	0	±	±
8	±2	±2	±3		±4	±5	8	0	X	±
10	±2	±2	±3		±4	±5	±12	0	±	X
12	±2	±2	±3		±4	±5	±13	3	0	±
14	±2	±2	±3		±4	±5	±13		±12	0
16	±2	±2	±3		±4	±5	±13		±12	0
20	±2	±2	±3		±4	±5	±10	±12	0	±
25	±2	±2	±3		±4	±5	±10	±12	0	±
30	±2	±2	±3		±4	±5	±10	±12	±	±
35	±2	±2	±3		±4	±5	±10	±12	±	±
40	±2	±2	±3		±4	±5	±10	±12	±12	±

DIX 010

D [mm]	J [mm]									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
5	±2	±2	±2		±4	±5	9	0	X	X
6	±2	±2	±2		±4	±5	±10	0	X	±
8	±2	±2	±2		±4	±5	±10	±12	±	±
10	±2	±2	±2		±4	±5	±10	±12	0	±
12	±2	±2	±2		±4	±5	±10	±12	±	±
14	±2	±2	±2		±4	±5	±10	±12	±	±
16	±2	±2	±2		±4	±5	±10	±12	±	±
20	±2	±2	±2		±4	±5	±10	±12	±	±
25	±2	±2	±2		±4	±5	±10	±12	±	±
30	±2	±2	±2		±4	±5	±10	±12	±	±
35	±2	±2	±2		±4	±5	±10	±12	±12	±
40	±2	±2	±2		±4	±5	±10	±12	±12	±

**C40**

D	C (mm)									
	28	48	68	88	108	128	148	168	188	198
C15	±2	±3	±3	±4	±5	6	7	8	9	10
C17	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
C20	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
C25	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
C30	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
C35	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15

**M5**

D	T (mm)									
	28	48	68	88	108	128	148	168	188	198
D6	±2	±3	±3	±4	±5	6	7	8	9	10
D10	±2	±3	±3	±4	±5	6	7	8	9	10
D13	±2	±3	±3	±4	±5	+10	11	12	13	14
D16	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
D19	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
D22	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
D25	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
D29	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
D32	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
D35	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
D38	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15

**UNI 9610-2002**

D (mm)	T (mm)									
	28	48	68	88	108	128	148	168	188	198
8	±2	±3	±3	±4	±5	6	7	8	9	10
10	±2	±3	±3	±4	±5	6	7	8	9	10
12	±2	±3	±3	±4	±5	+10	11	12	13	14
14	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
16	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
18	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
20	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
22	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
25	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
28	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
32	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
36	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15

**UNI 5701-82**

D (mm)	T (mm)									
	28	48	68	88	108	128	148	168	188	198
8	±2	±3	±3	±4	±5	6	7	8	9	10
10	±2	±3	±3	±4	±5	6	7	8	9	10
12	±2	±3	±3	±4	±5	+10	11	12	13	14
14	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
16	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
18	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
20	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
22	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
25	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
28	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
32	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
36	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15

**UNI 9164-1985**

D (mm)	T (mm)									
	28	48	68	88	108	128	148	168	188	198
8	±2	±3	±3	±4	±5	6	7	8	9	10
10	±2	±3	±3	±4	±5	6	7	8	9	10
12	±2	±3	±3	±4	±5	+10	11	12	13	14
14	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
16	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
18	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
20	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
22	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
25	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
28	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15
32	±2	±3	±3	±4	±5	+10	+12	13	14	15

## 2 - Diametri ferri di armatura non conosciuto

RD 488

Ø (mm)	J (mm)						120	124	128	132
	30	40	50	60	70	80				
8	+3	+3	+4	+4	+4	0	0	X	X	
9	+3	+3	+4	+4	+4	0	0	X	X	
10	+3	+3	+4	+4	+4	0	0	X	X	
12	+3	+3	+4	+4	+4	+12	0	X	X	
14	+3	+3	+4	+4	+4	+12	0	X	X	
16	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
18	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
20	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
22	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
25	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
28	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
32	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
36	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
40	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	

B87M

Ø	J (mm)						120	124	128	132
	30	40	50	60	70	80				
8	+3	+3	+4	+4	+4	0	0	X	X	
9	+3	+3	+4	+4	+4	+12	0	X	X	
10	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
12	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
14	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
16	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
18	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
20	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
22	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
25	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
28	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
32	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
36	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
40	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	

B43

Ø	J (mm)						120	124	128	132
	30	40	50	60	70	80				
8	+3	+3	+4	+4	+4	0	0	X	X	
9	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
10	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
12	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
14	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
16	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
18	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
20	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
22	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
25	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
28	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
32	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	

B36

Ø	J (mm)						120	124	128	132
	30	40	50	60	70	80				
8	+3	+3	+4	+4	+4	0	0	X	X	
9	+3	+3	+4	+4	+4	0	0	X	X	
10	+3	+3	+4	+4	+4	+12	0	X	X	
12	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
14	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
16	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
18	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
20	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
22	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
25	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
28	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
32	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
36	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
40	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	

B3 30416-2102

Ø (mm)	C (mm)						120	124	128	132
	30	40	50	60	70	80				
8	+3	+3	+4	+4	+4	0	0	X	X	
9	+3	+3	+4	+4	+4	0	0	X	X	
10	+3	+3	+4	+4	+4	+12	0	X	X	
12	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
14	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
16	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
18	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
20	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
22	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
25	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
28	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
32	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
36	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	
40	+3	+3	+4	+4	+4	+12	+14	0	X	



## Documentazione fotografica



**Prelievo del campione di calcestruzzo C2**



**Prelievo del campione di acciaio – ripristino della continuità dell'armatura**



**Ripristino strutturale del carotaggio C1**



**Ripristino strutturale del prelievo di acciaio**



**Esecuzione di prove durametrische**



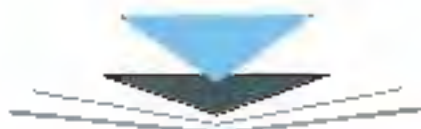


Vista dei provini sottoposti alla prova di compressione





Vista dei provini sottoposti alla prova di compressione



**Esecuzione di prove resistografiche**



**Esecuzione della misura dell'umidità relativa**



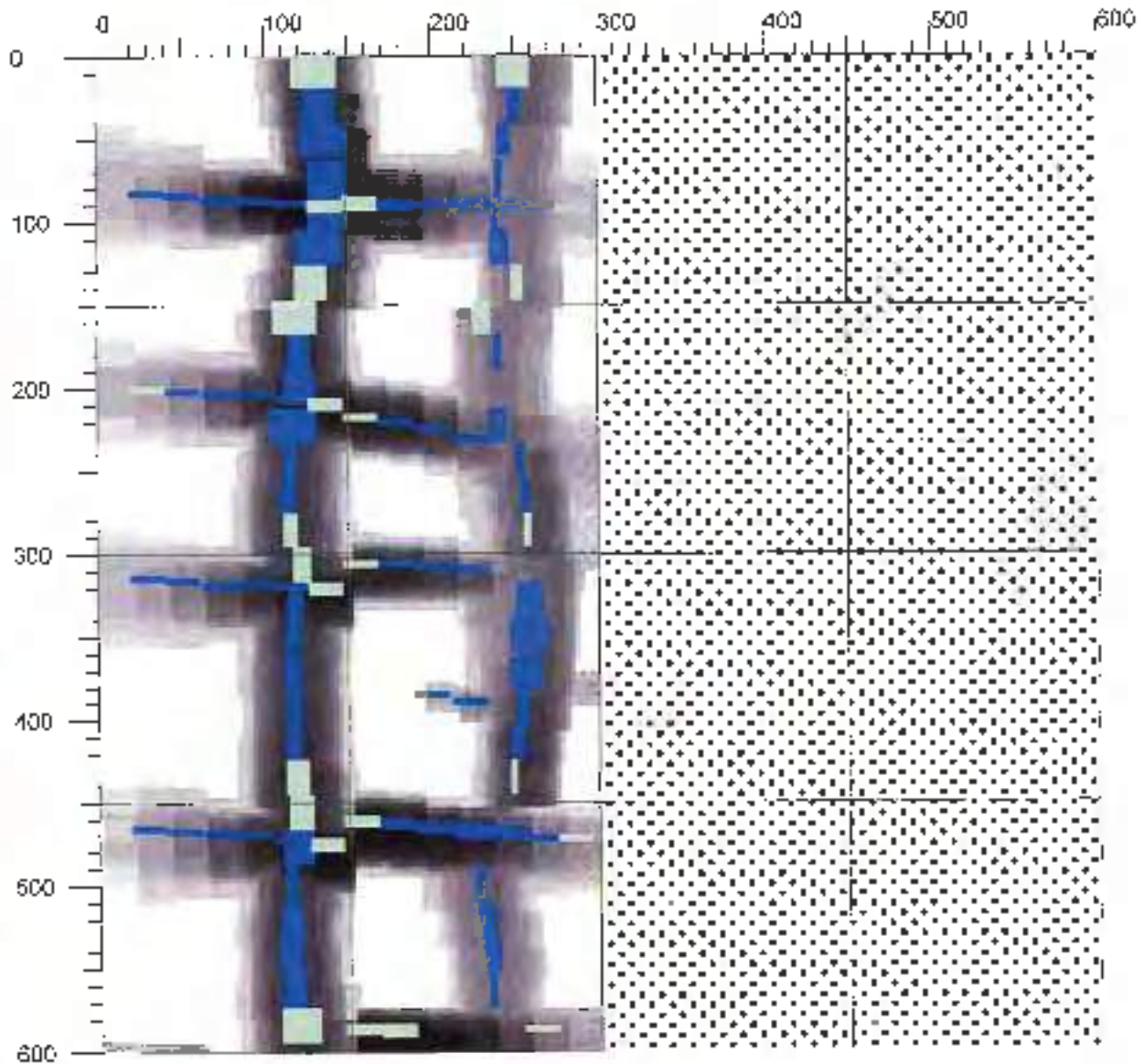
**Misura della velocità di propagazione delle onde**





**Esecuzione delle prove penetrometriche su malta**





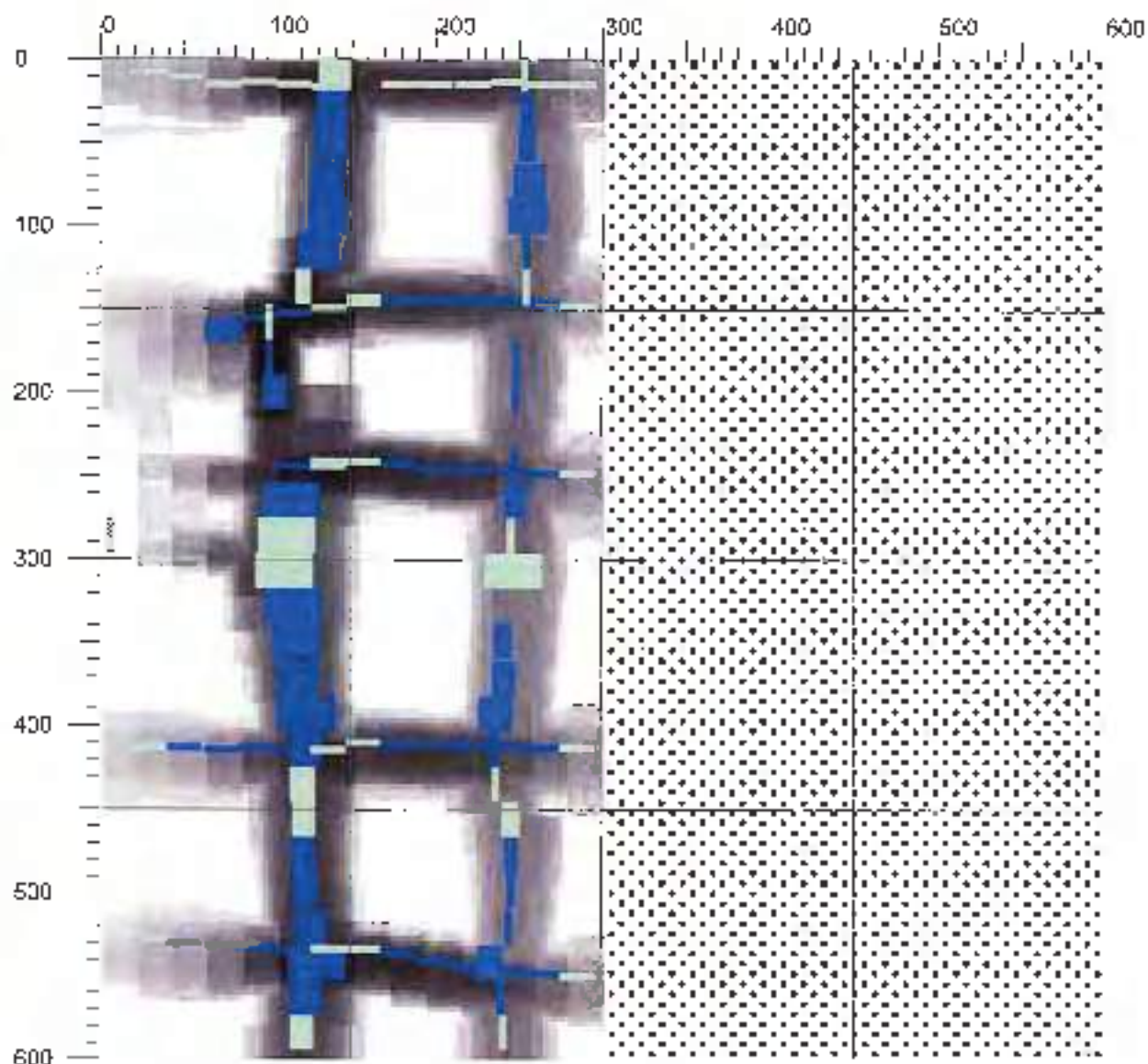
Cliente CFC

Luogo Napoli

Operatore.

**Commento:**

Elemento strutturale: Pilastro  
- Armatura longitudinale:  
Si rilevano n.2 barre del dn 12 mm  
- Staffe:  
dn 6 mm  
Passo circa 10 cm  
Cupretro circa 3 cm



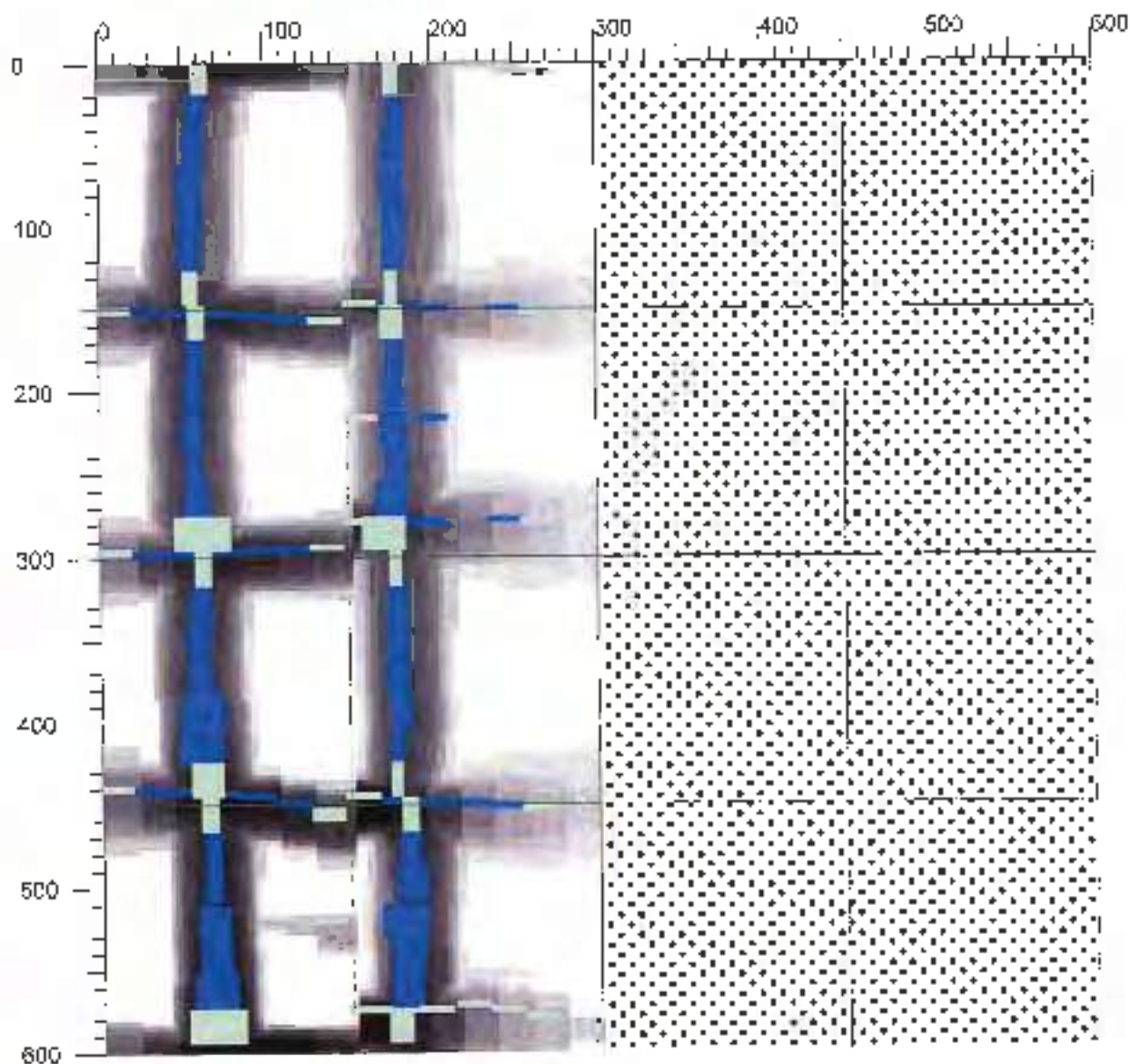
Cliente: CFC

Luogo: Napoli

Operatore:

**Commento**

Elemento strutturale: Pilastro  
 - Armatura longitudinale:  
 Si rilevano n.2 barre del  $\varnothing$  12 mm  
 - Staffe:  
 $\varnothing$  6 mm  
 Passo circa 10 cm  
 Coprifermo circa 3 cm



Cliente: CFC

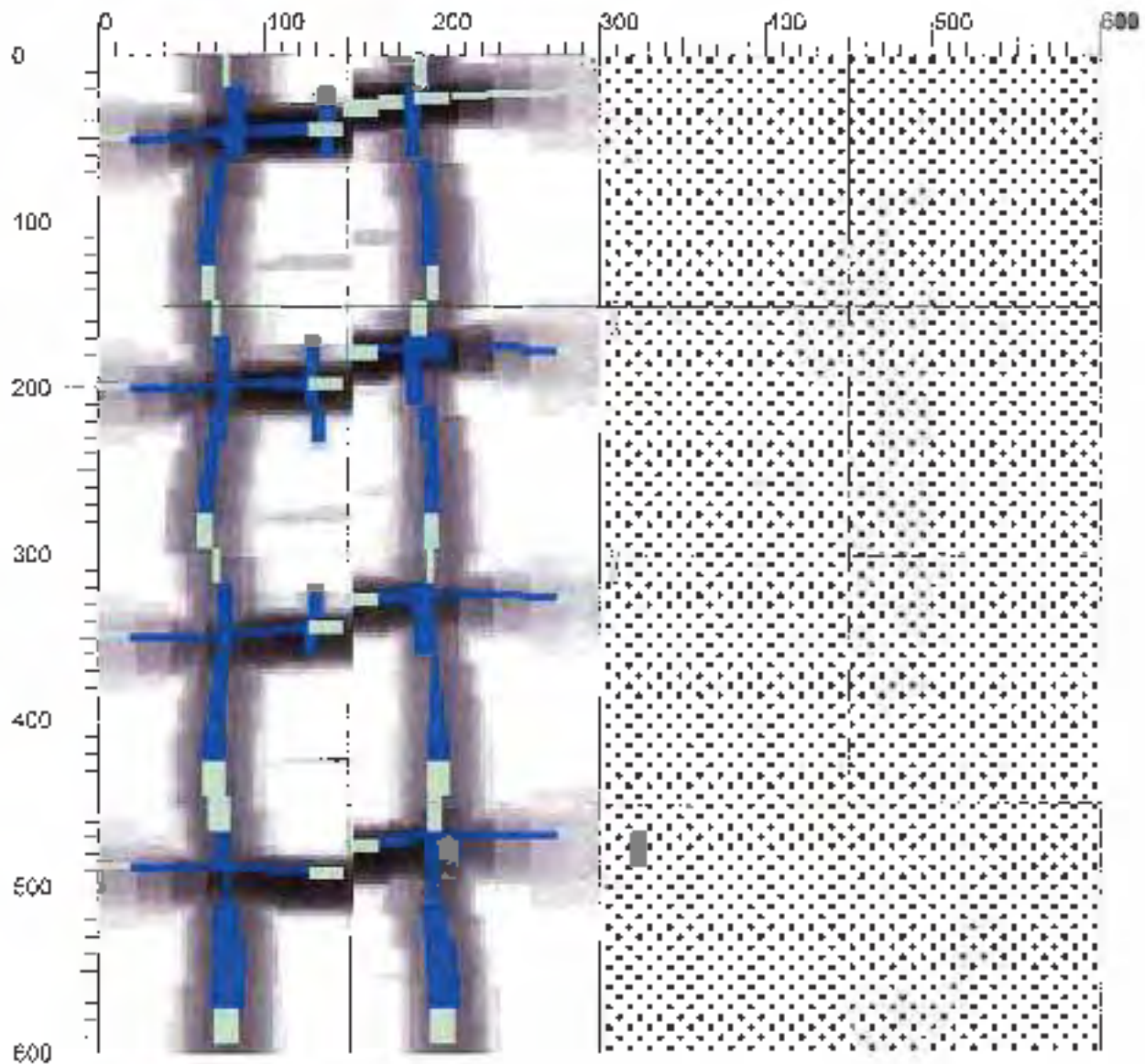
Luogo: Napoli

Operatore:

Commento:

Elemento strutturale: Pilastro  
 - Armatura longitudinale.  
 Si rilevano n.2 barre del dn 12 mm  
 - Spate  
 dn 6 mm  
 Passo circa 15 cm  
 Copri ferro circa 3 cm





Cliente: CFC

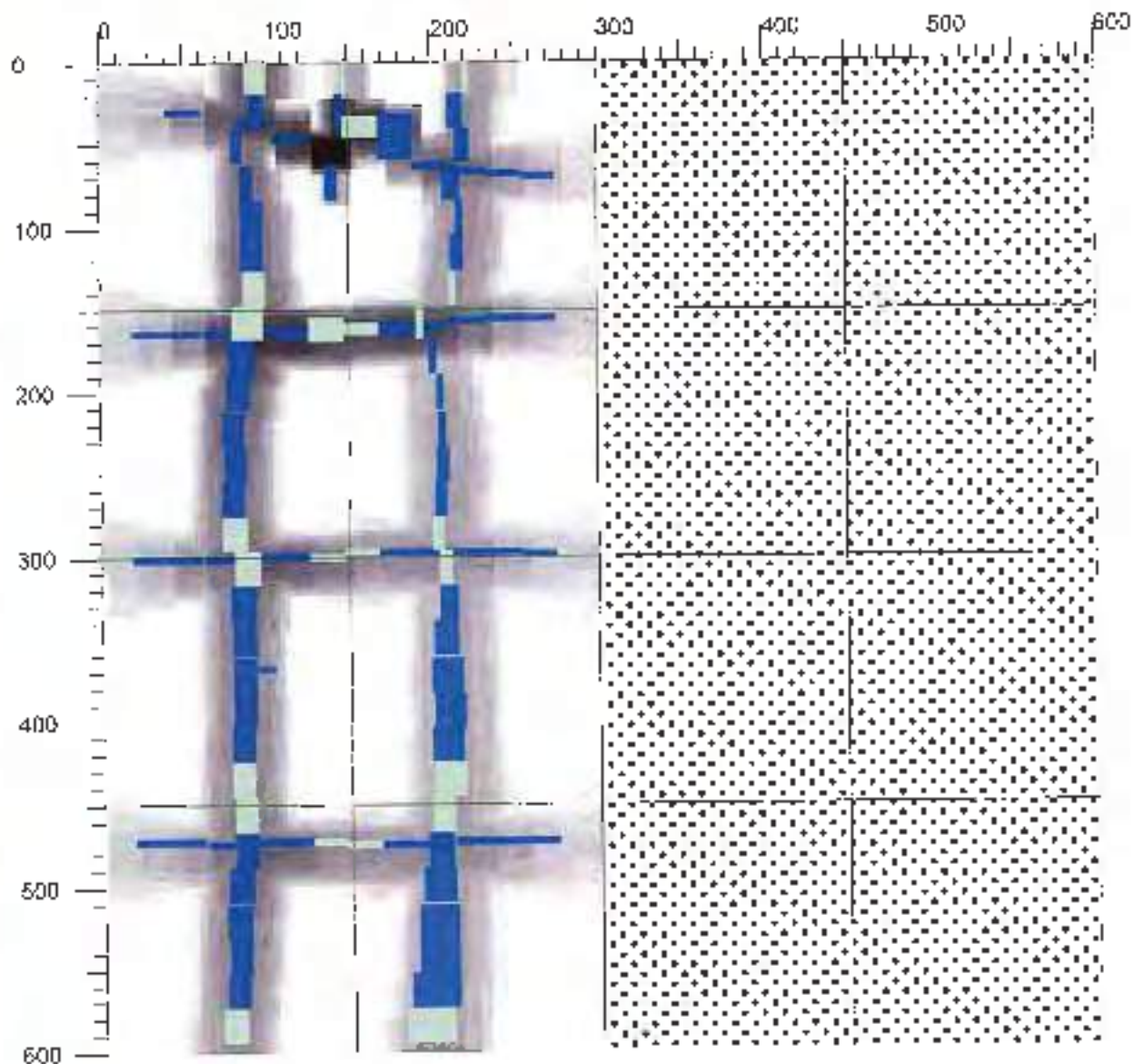
Lugogo: Napoli

Operatore:

**Commento:**

Elemento strutturale: Pilastro  
- Armatura longitudinale  
Si rilevano n.2 barre del dn 12 mm  
- Staffe  
dn 6 mm  
Passo circa 15 cm  
Copriferro circa 3 cm





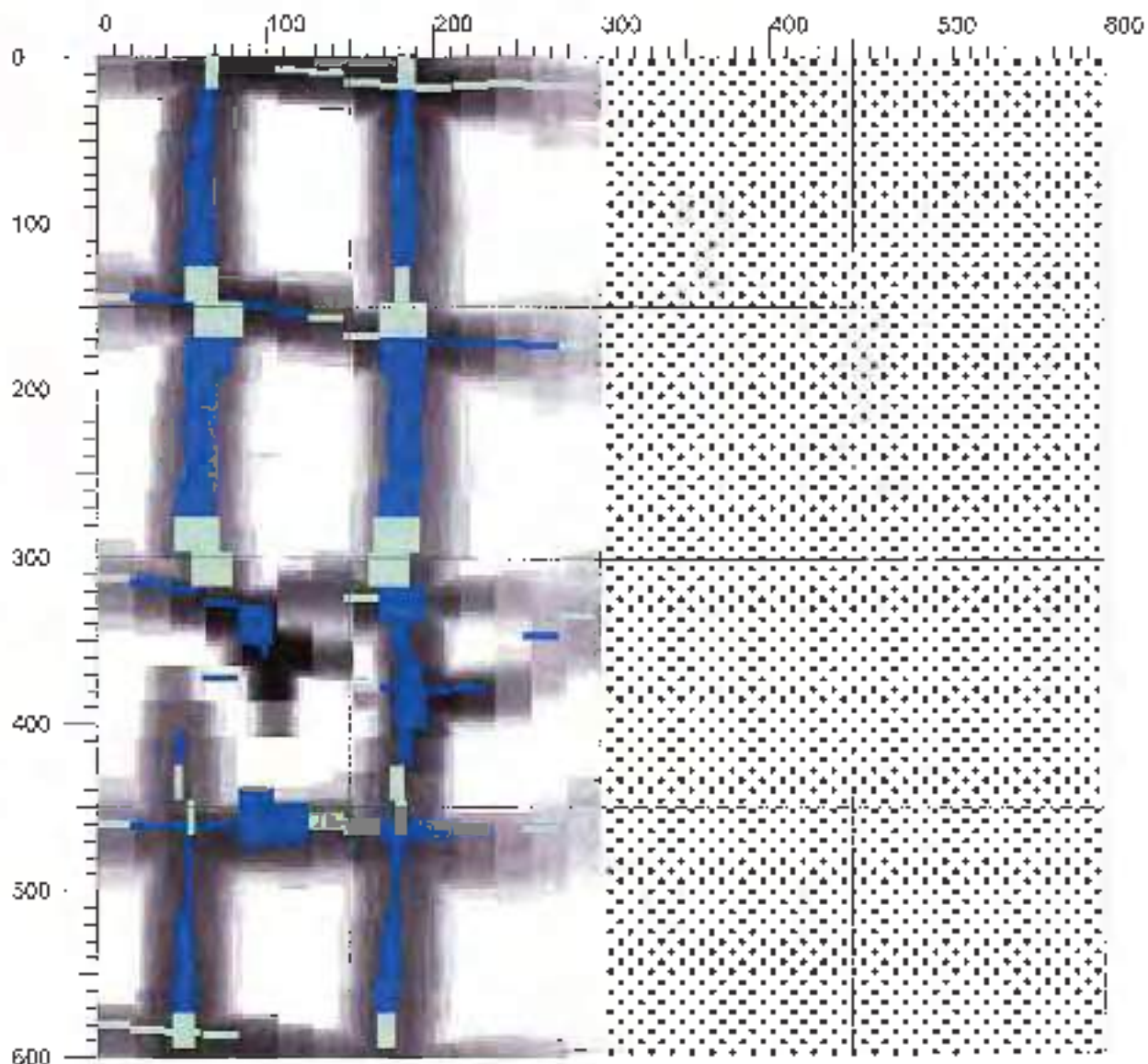
Cliente: GFC

Luogo: Napoli

Operatore:

Commento:

- Elemento strutturale: Pilastro
- Armatura longitudinale:  
Si rilevano n 2 barre del  $\varnothing$  12 mm
- Staffe  
 $\varnothing$  6 mm  
Passo circa 15 cm  
Copriferra circa 3 cm



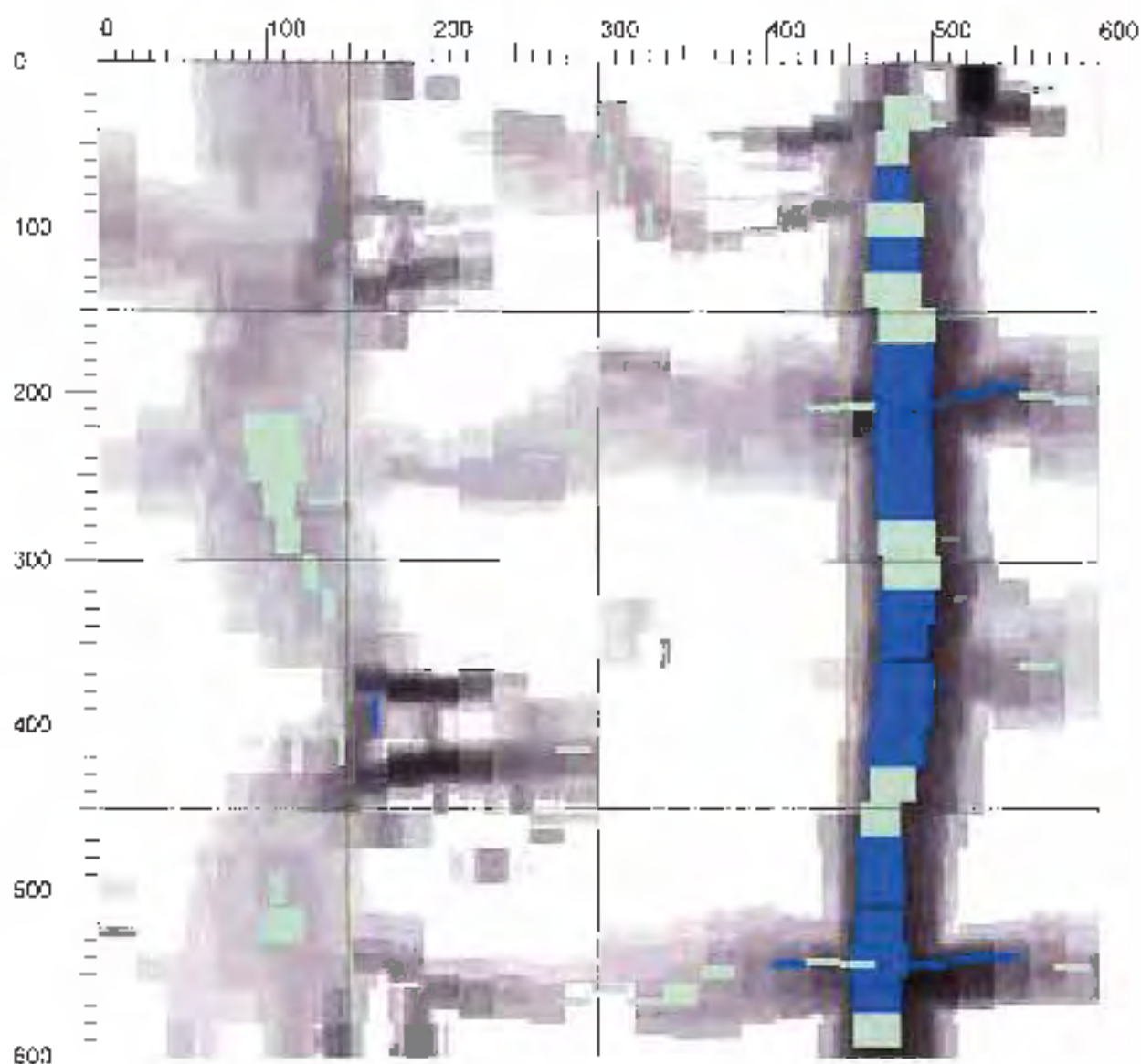
Cliente: CFC

Luogo: Napoli

Operatore:

Commento:

elemento strutturale: Pilastro  
- Armatura longitudinale  
Si rilevano n.2 barre del dn. 12 mm  
- Staffe  
dn 6 mm  
Passo circa 15 cm  
Copriferra circa 3 cm



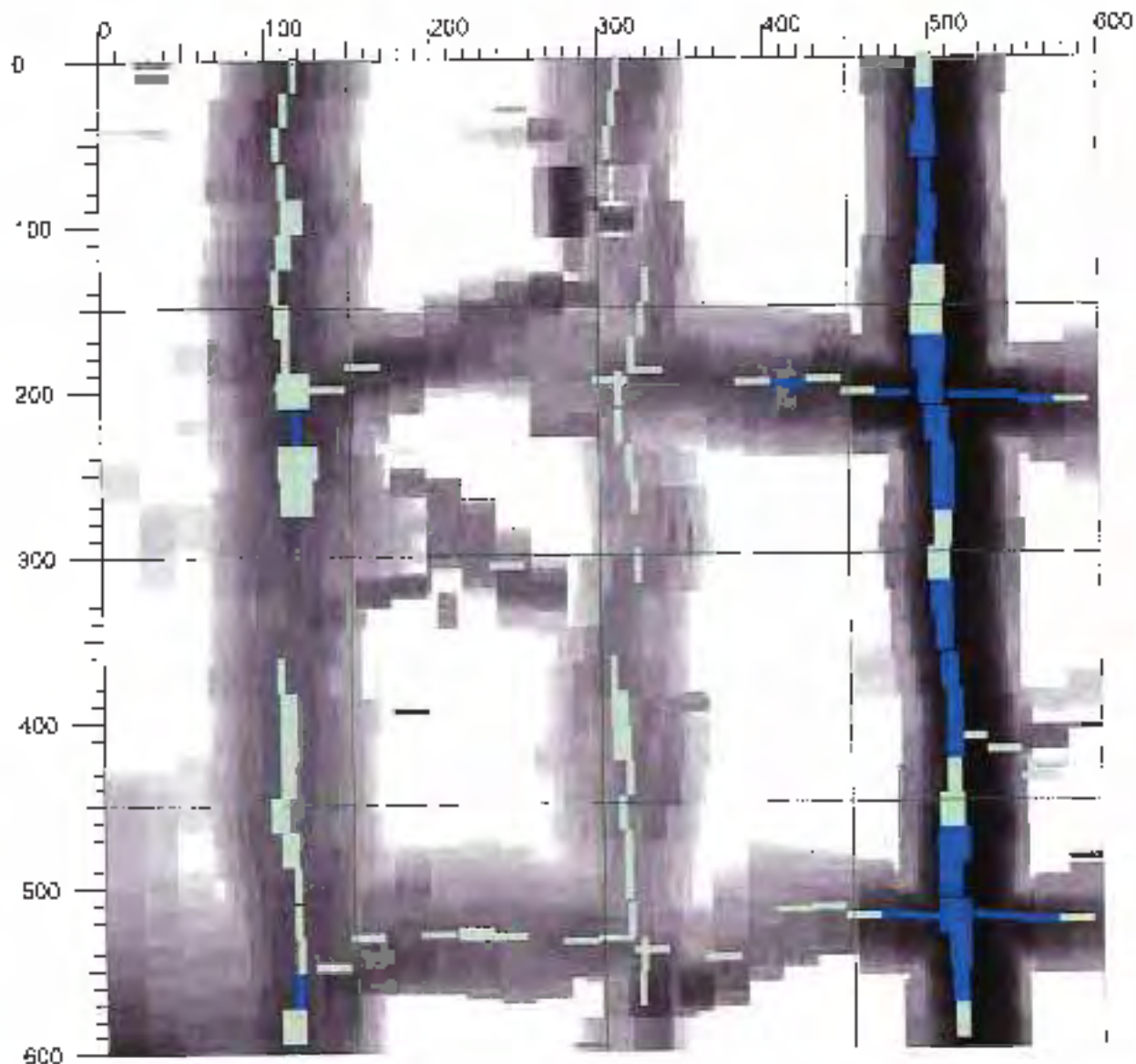
Cliente CFC

Luogo Napoli

Operatore

Commento:

Elemento strutturale: Trave  
 - Armatura longitudinale:  
 Si rilevano n 2 barre del dn 12 mm  
 - Staffe:  
 dn 6 mm  
 Passo circa 30 cm  
 Copriferro circa 3 cm



Cliente: CFC

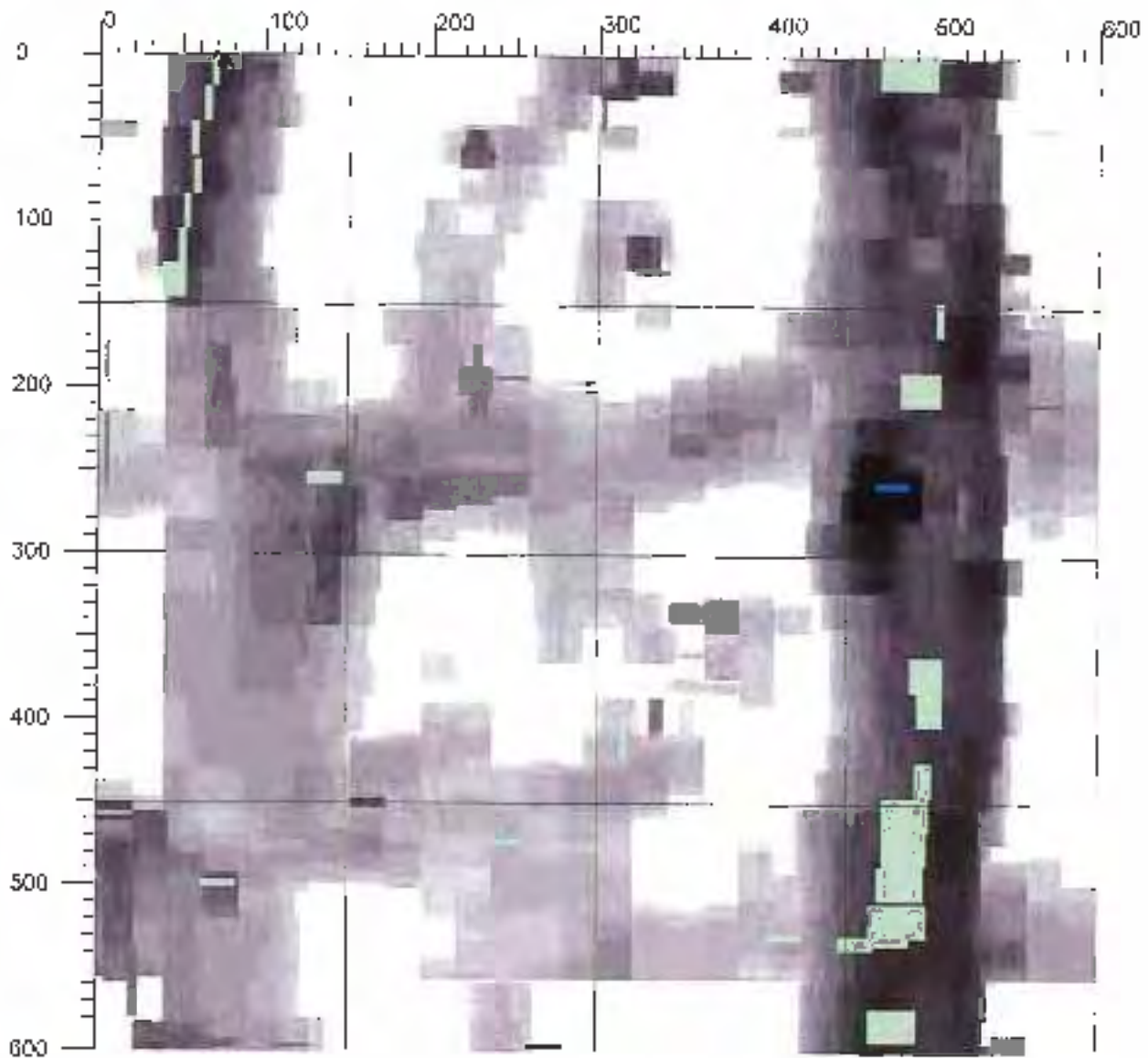
Luogo: Napoli

Operatore:

Commento.

Elemento strutturale: Trave  
- Armatura longitudinale:  
Si rilevano n.3 barre del dn 12 mm  
- Staffe:  
dn 6 mm  
Passe circa 30 cm  
Copriferro circa 2 cm





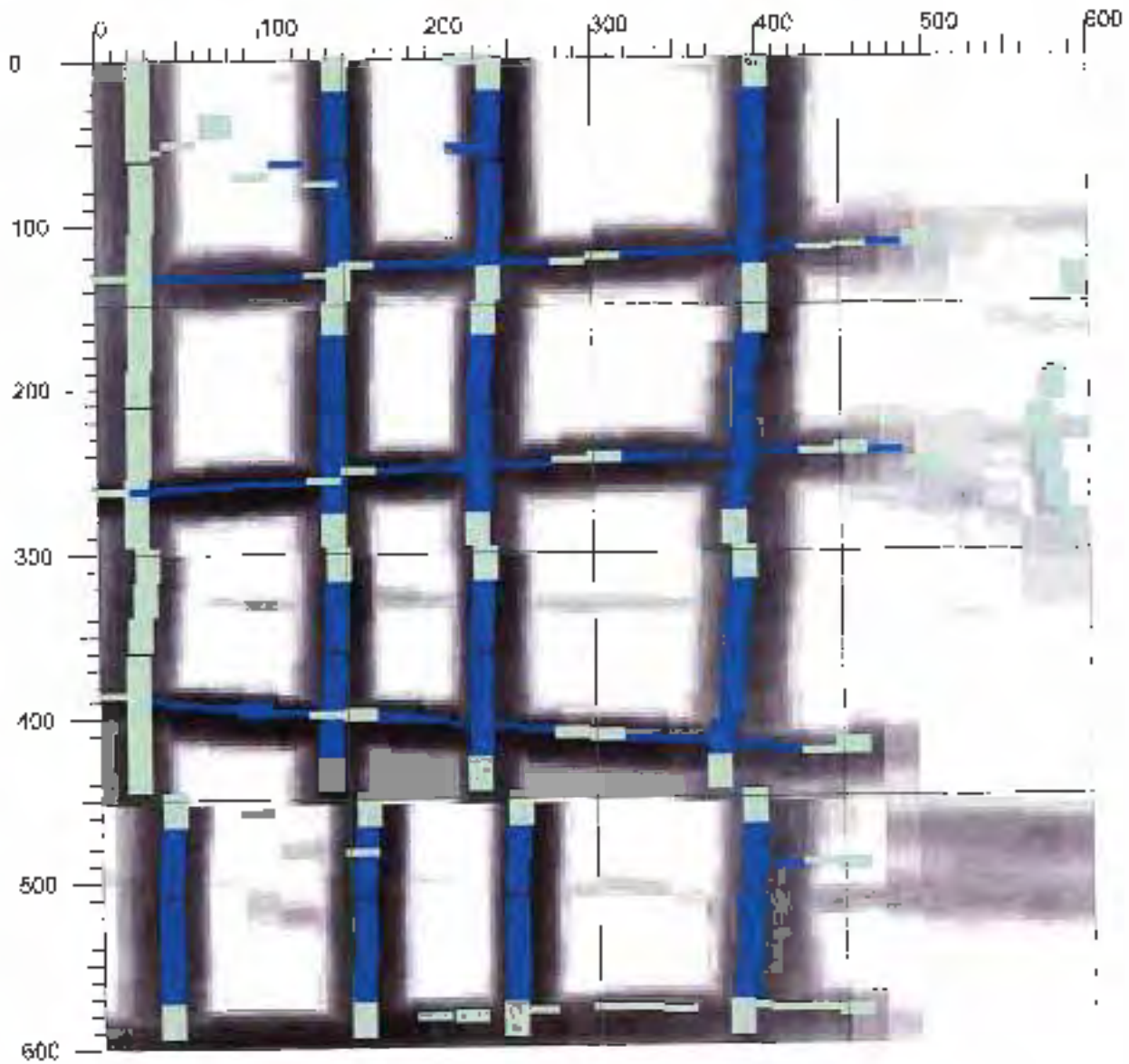
Cliente: CFC

Luogo: Napoli

Operatore:

**Commento:**

Elemento strutturale: Trave  
- Armatura longitudinale:  
Si rilevano n. 2 barre del dn 12 mm  
- Staffe:  
dn 6 mm  
Passo circa 30 cm  
Copri ferro circa 3 cm



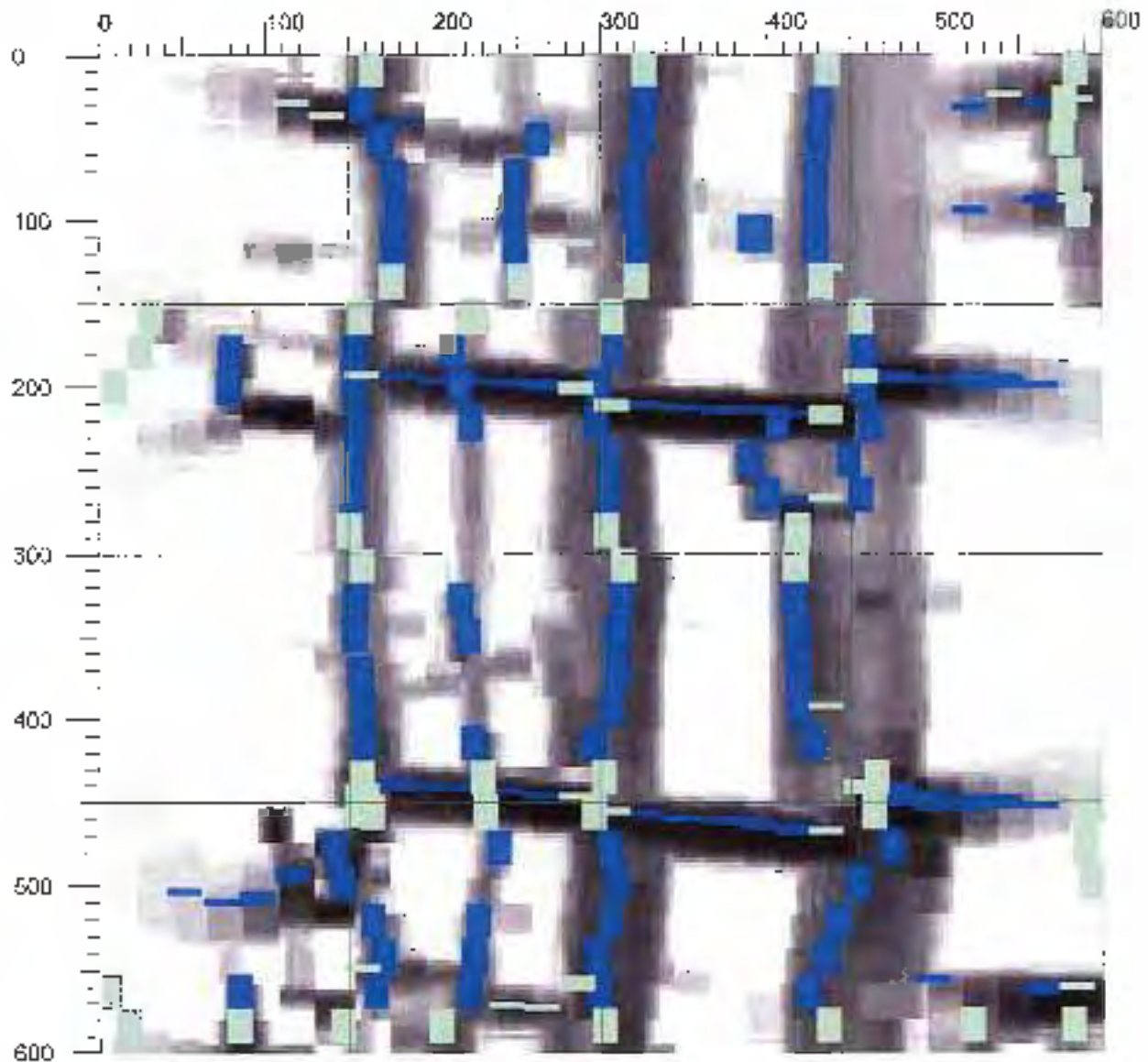
Ciente CFC

Luogo: Napoli

Operatore

Commento

Elemento strutturale: Trave  
 - Armatura longitudinale.  
 Si rilevano n.4 barre del dn 16 mm  
 - Staffe.  
 dn 6 mm  
 Passo circa 15 cm  
 Copriferro circa 3 cm



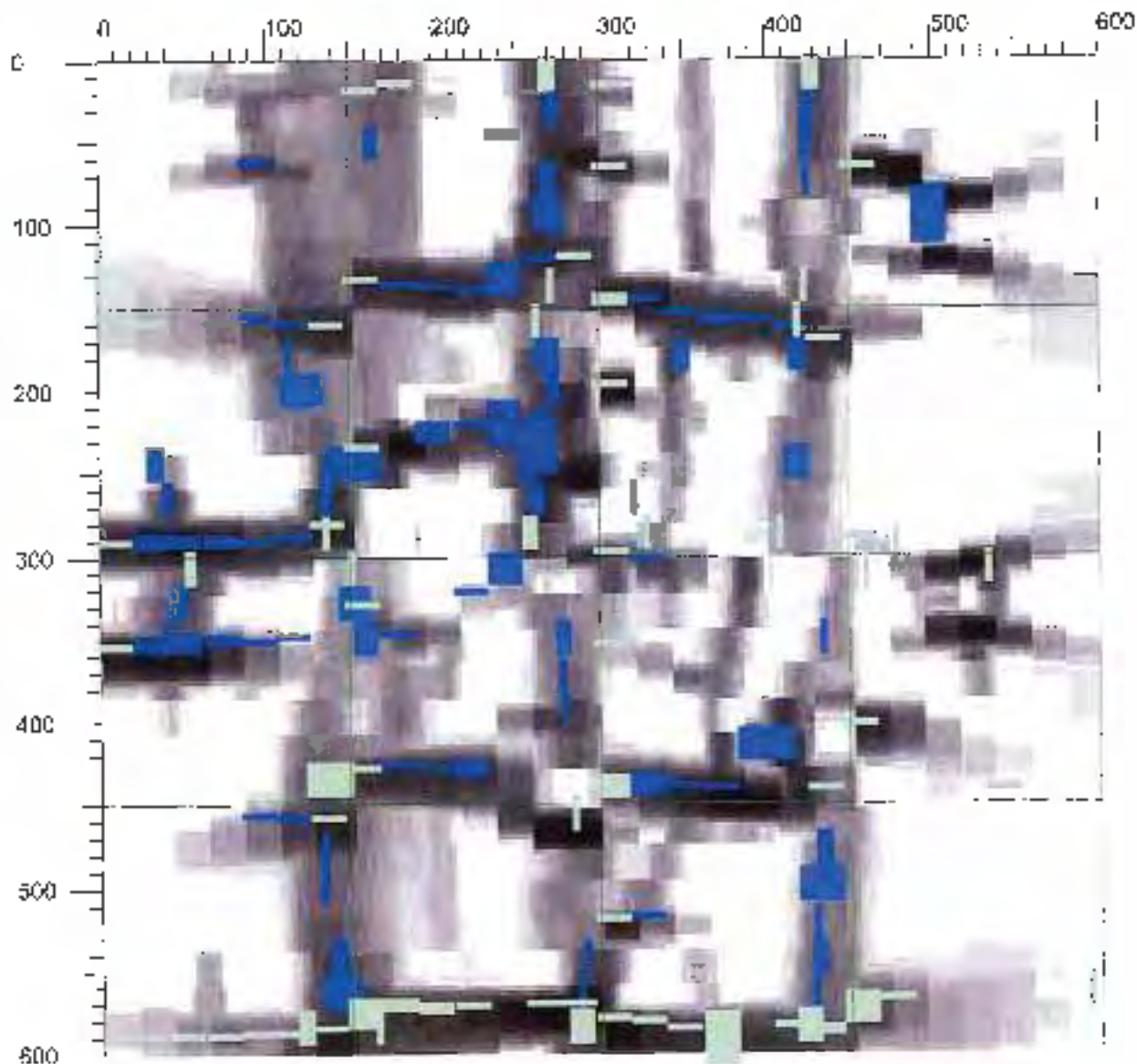
Cliente: CFC

Luogo: Napoli

Operatore

Commento:

Elemento strutturale. Trave  
- Armatura longitudinale:  
Si rilevano n.4 barre del dn 16 mm  
- Staffe  
dn 5 mm  
Peso circa 25 cm  
Copriferro circa 5 cm



Cliente. CFC

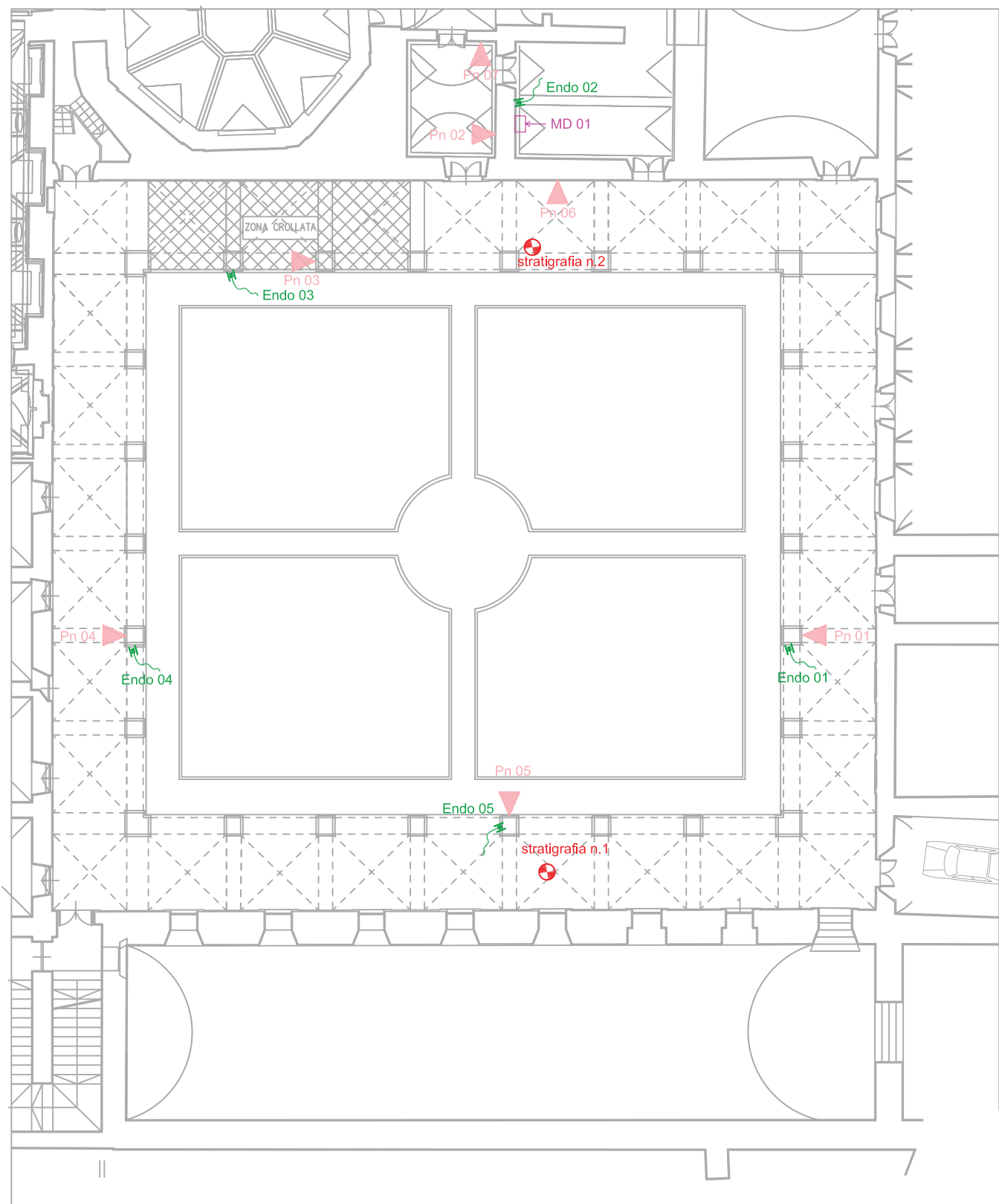
Luogo. Napoli

Operatore:

Commento:

Elemento strutturale: Trave  
- Armatura longitudinale:  
Si rilevano n 4 barre dal dn 16 mm  
- Staffe  
dn 6 mm  
Passo circa 25 cm  
Copriferra circa 3 cm





MD nn Prova con Martinetti Piatti



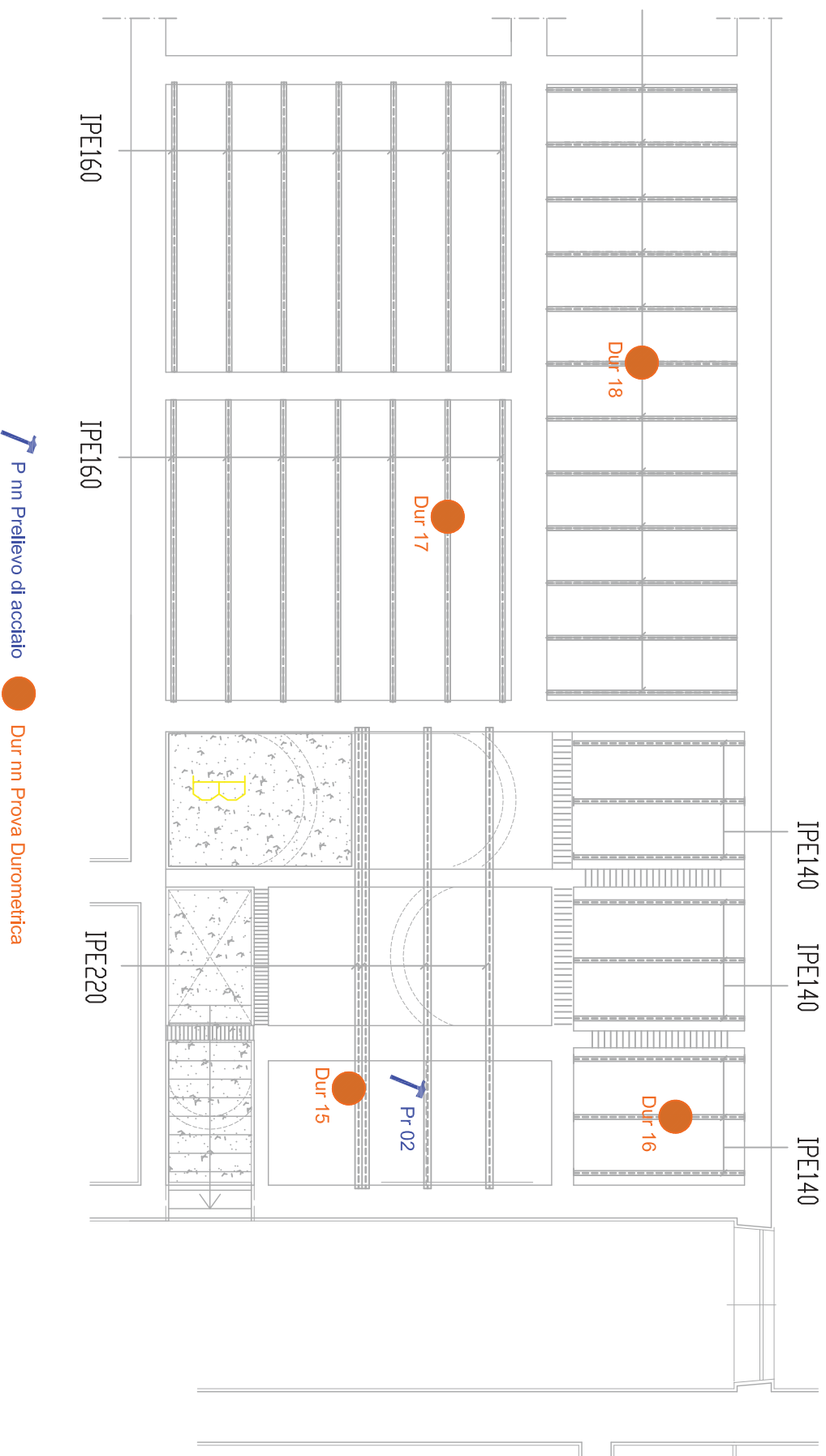
Pn nn Prova Penetrometrica

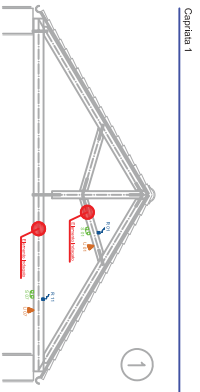
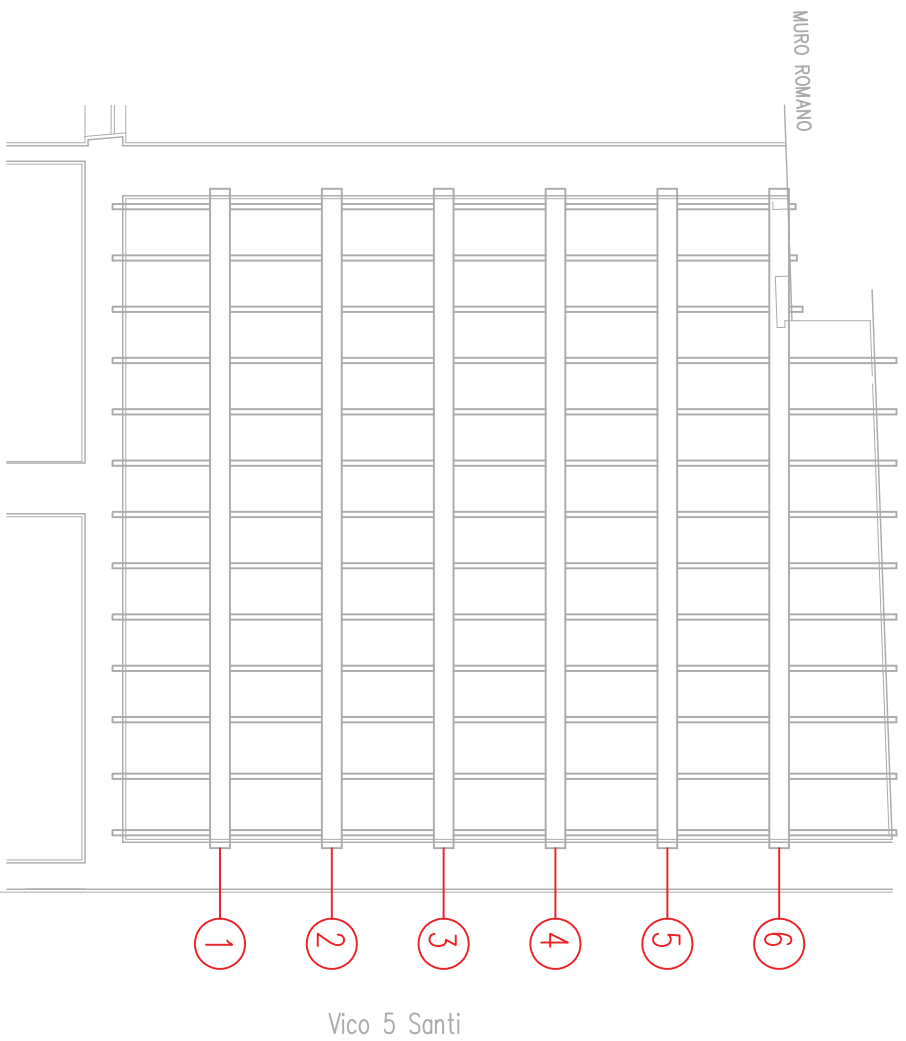


Endo nn Esame Endoscopico

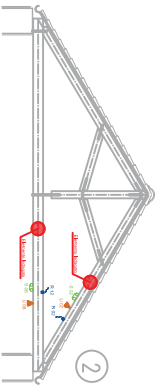
# Piano Teatini

## Ubicazione prove

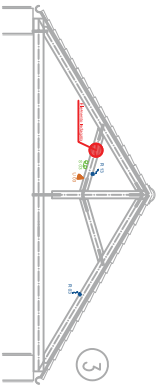




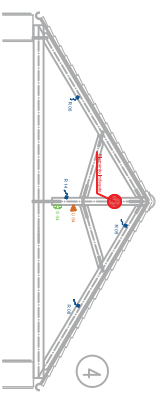
Cappella 2



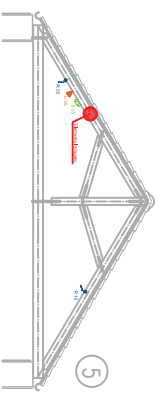
Cappella 3



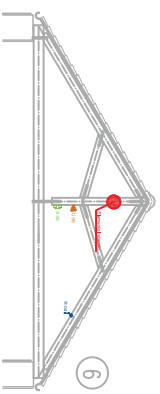
Cappella 4



Cappella 5

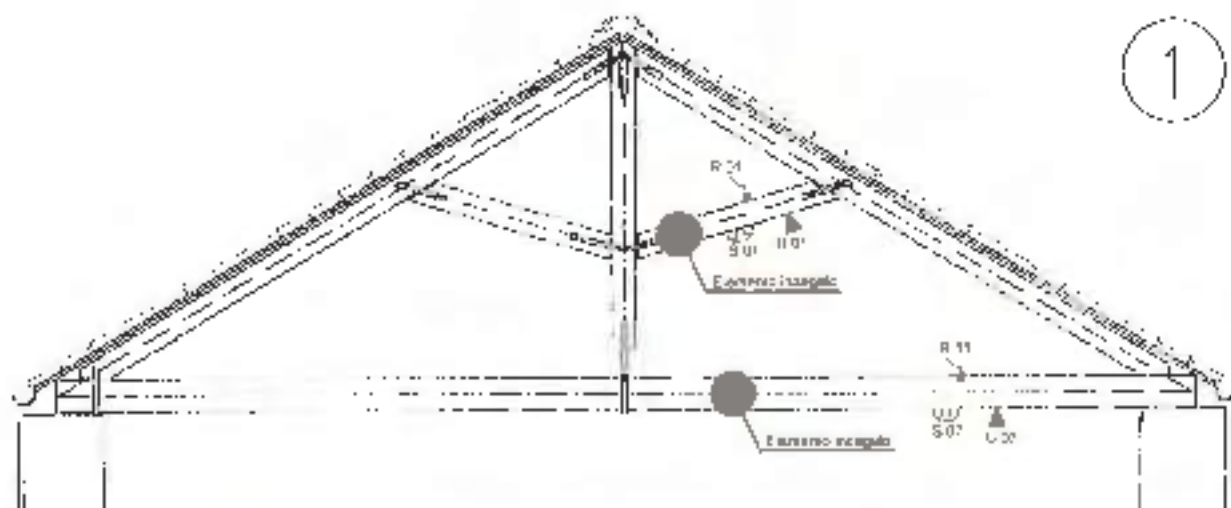


Cappella 6

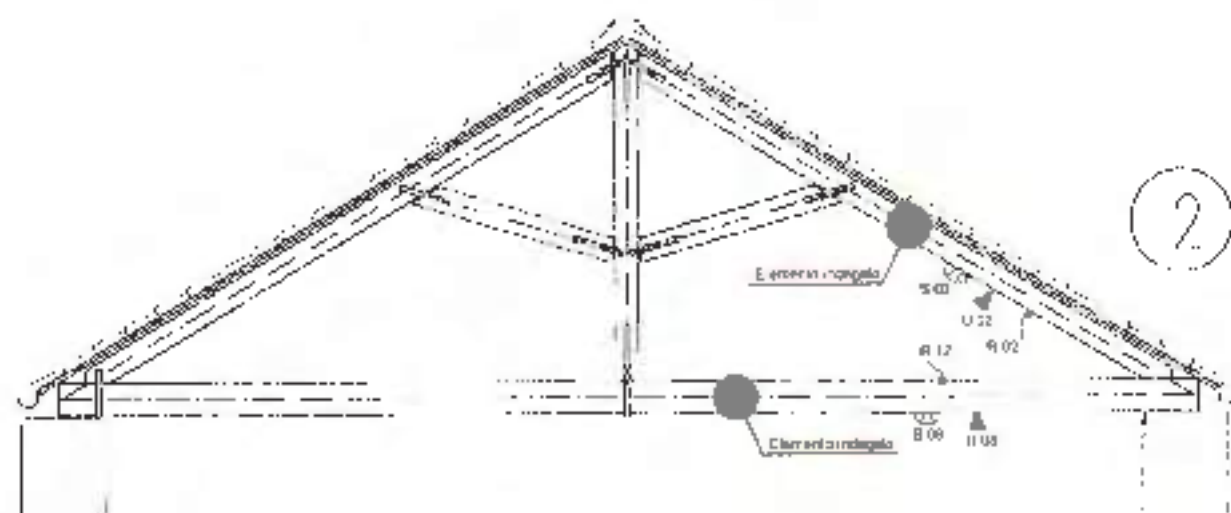


 5 m Misura con ultrasuoni 
  1 m Umidità 
  5 m Prova resistografica

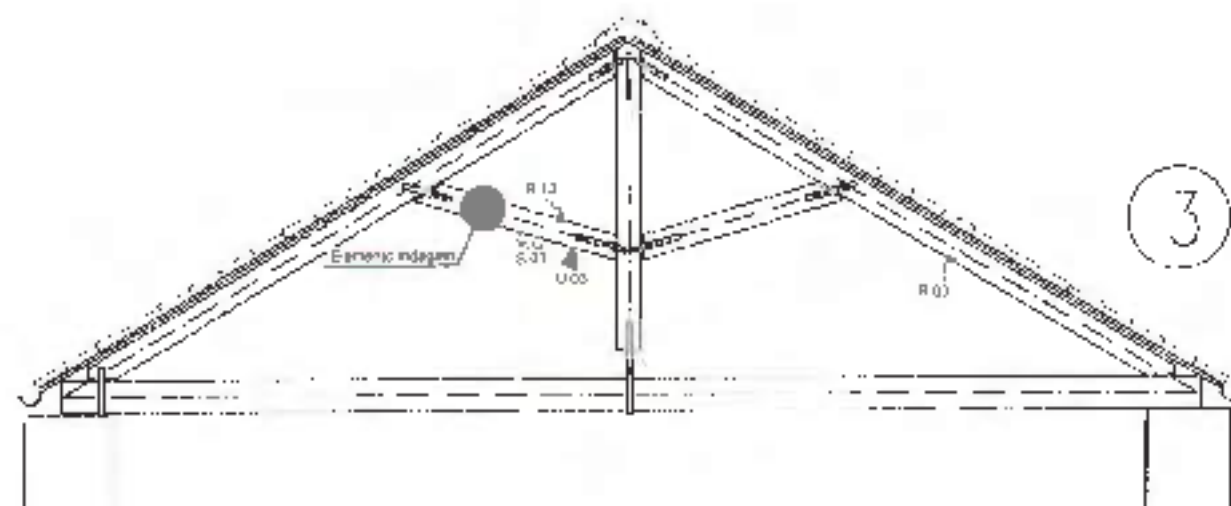
Capriata 1



Capriata 2

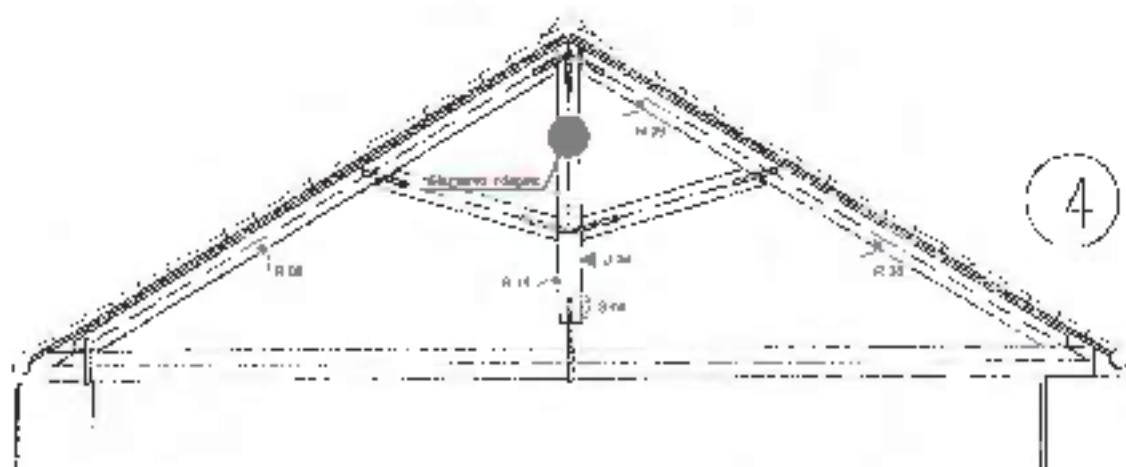


Capriata 3

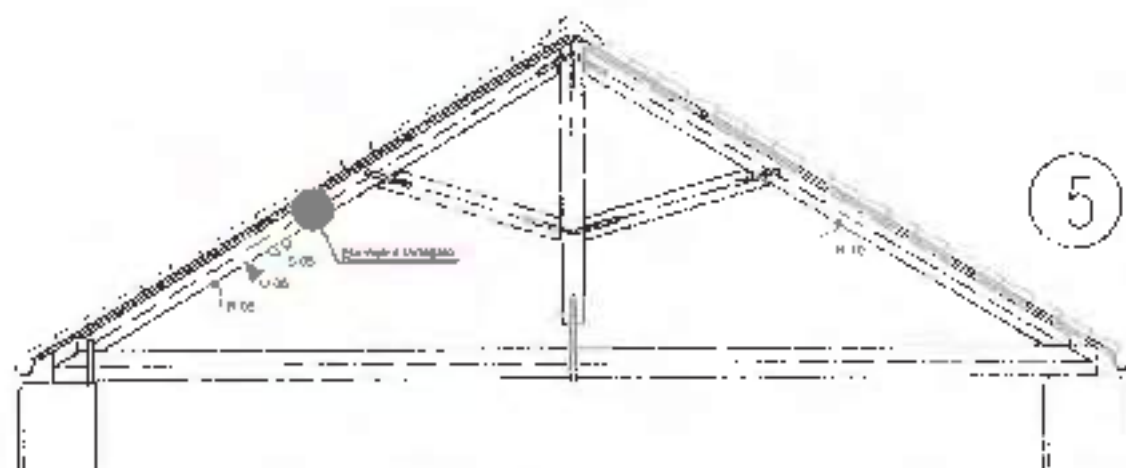




Capriata 4



Capriata 5



Capriata 6

