NORMATIVA TECNICA PER LE COSTRUZIONI

COSTRUZIONI ESISTENTI: LIVELLI DI CONOSCENZA E INDAGINI DIAGNOSTICHE STRUTTURALI

ING. ROCCO TOLVE

MATERA 05 OTTOBRE 2011

BRAINSTORMERS

LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

IL COSTRUITO IN ITALIA

PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE

57,82 MILIONI DI IMMOBILI

COSTITUITO DA

44,52 MILIONI DI EDIFICI

13,3 MILIONI DI PERTINENZE

NUOVE COSTRUZIONI (ISTAT)

Anno 2000 : **205.822**

Anno 2009 : **154.245**

LE PROBLEMATICHE

- elevata vulnerabilità sismica
- valore storico / architettonico / artistico / ambientale
- notevole varietà di tipologie strutturali

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

APPROCCIO METODOLOGICO

ANALISI STORICO-CRITICA
(ricerca archivistica, sviluppo storico del quartiere, aspetti urbanistici, storia sismica)

RILIEVO
(conoscenza della geometria esterna delle strutture e dei dettagli costruttivi)

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI
(indagini diagnostiche strutturali)

LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA
(LC1, LC2, LC3, e relativi FC)

ANALISI E VALUTAZIONI (S.L.U.)

CATEGORIE DI INTERVENTO

- Adeguamento
- Miglioramento
- Riparazione o intervento locale

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

COSTRUZIONI ESISTENTI IN CALCESTRUZZO ARMATO

BRAINSTORMERS

LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

Via C. Marx, 32 – Rionero in Vulture – Tel 0971.46008 – Fax 0971.1830120
www.brainstormers.it - info@brainstormers.it

GENERALITÀ

Le fonti da considerare per la acquisizione dei dati necessari sono:

-documenti di progetto (relazioni geologiche, geotecniche e strutturali ed elaborati grafici strutturali);

-eventuale documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione;

- rilievo strutturale geometrico e dei dettagli esecutivi;

- prove in-situ e in laboratorio.

DATI RICHIESTI

- identificazione dell'organismo strutturale e verifica del rispetto dei criteri di regolarità;
- identificazione delle strutture di fondazione e delle categorie di suolo;
- informazione sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature, delle proprietà meccaniche dei materiali, dei collegamenti;
- informazioni su possibili difetti locali dei materiali;
- informazioni su possibili difetti nei particolari costruttivi (dettagli delle armature, eccentricità travi-pilastro, eccentricità pilastro-pilastro, collegamenti trave-colonna e colonna-fondazione, ecc)
- informazioni sulle norme impiegate nel progetto originale (incluse eventuali azioni sismiche di progetto);
- descrizione della classe d'uso, della categoria e dalla vita nominale;
- rivalutazione dei carichi variabili, in funzione della destinazione d'uso;
- informazione sulla natura e l'entità di eventuali danni subiti e sulle riparazioni effettuate.

La quantità e qualità dei dati acquisiti determina il metodo di analisi e i valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali da adoperare nelle verifiche di sicurezza.

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza si distinguono 3 livelli di conoscenza

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

LC1: Conoscenza Limitata; LC2: Conoscenza Adeguata; LC3: Conoscenza Accurata.

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

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

(a) Per le % di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle eventuali **situazioni ripetitive**, che consentano di **estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati** su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità;
(b) Le prove sugli acciai sono finalizzate all'identificazione della classe dell'acciaio utilizzata con riferimento alla normativa vigente all'epoca di costruzione (**diametri di più diffuso impiego negli elementi principali con esclusione delle staffe**);
(c) **Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive;**

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

INDAGINI DIAGNOSTICHE STRUTTURALI

Per il rilievo dei dettagli strutturali

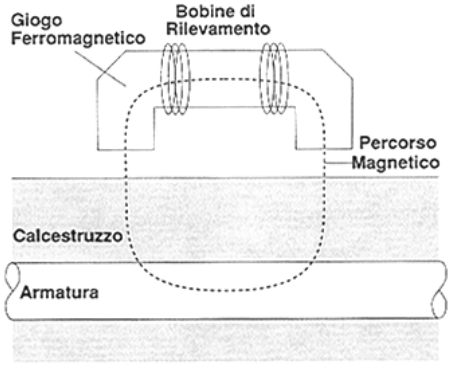
- Prove pacometriche
- Indagini termografiche ad infrarossi
- Saggi a vista

Per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche dei materiali

- Prelievo e prove di trazione sulle barre di armatura
- Carotaggio e prove di compressione sul calcestruzzo
- Prove non distruttive (sclerometro, ultrasuoni, metodo combinato sonreb)

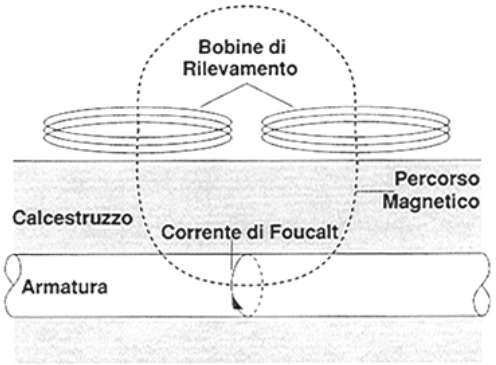
BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

DETTAGLI STRUTTURALI – PROVE PACOMETRICHE



METODO DELLA RILUTTANZA MAGNETICA

Misuratori di copriferro convenzionali: La presenza di metalli viene indicata dalle variazioni di un segnale permanente.
Inconvenienti
Instabilità: i risultati cambiano a seconda delle condizioni di esercizio – influenza delle variazioni termiche, della presenza di eventuali aggregati magnetici e di interferenze elettriche.



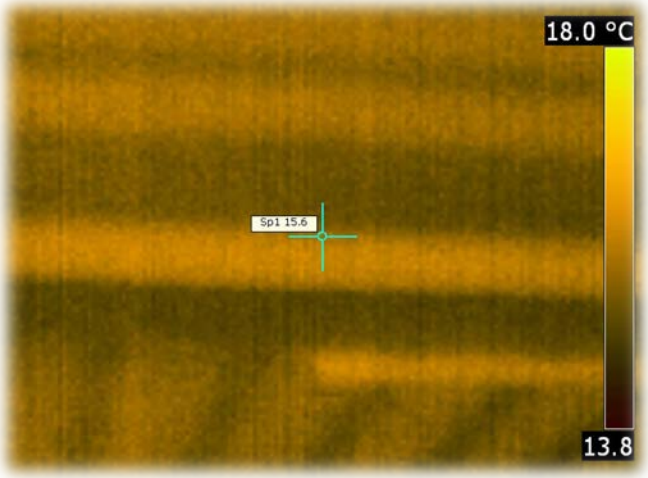
METODO DELLA CONDUCIBILITÀ ELETTRICA

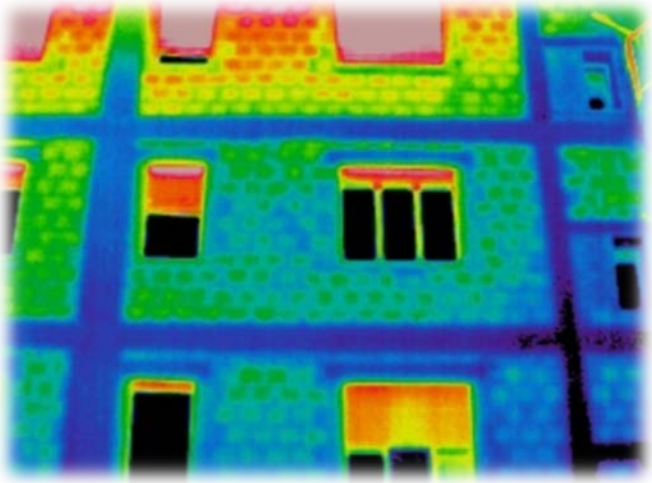
CoverMaster CM5: C'è segnale solo in presenza di metalli.
Vantaggi: Stabilità e ripetibilità. Le prestazioni non sono condizionate nè dalle variazioni termiche, nè dalla presenza di aggregati magnetici o interferenze elettriche.

Localizzazione della posizione, profondità e diametro delle barre di armatura.

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

DETTAGLI STRUTTURALI – TERMOGRAFIA AD INFRAROSSI

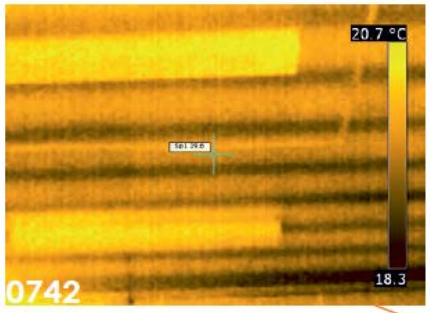


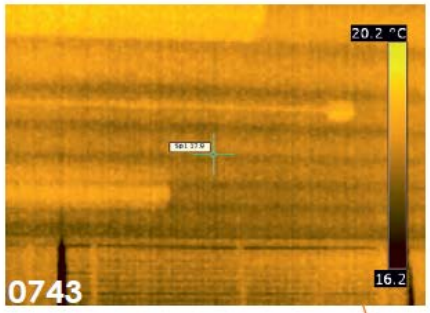


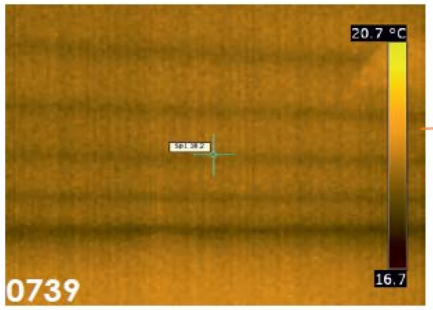
Consente di misurare e rappresentare visivamente la radiazione infrarossa emessa da un oggetto. La radiazione è una funzione della temperatura della superficie di un oggetto e la termocamera è in grado di calcolare e visualizzare tale temperatura.

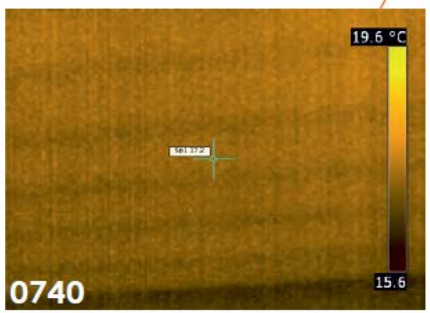
BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

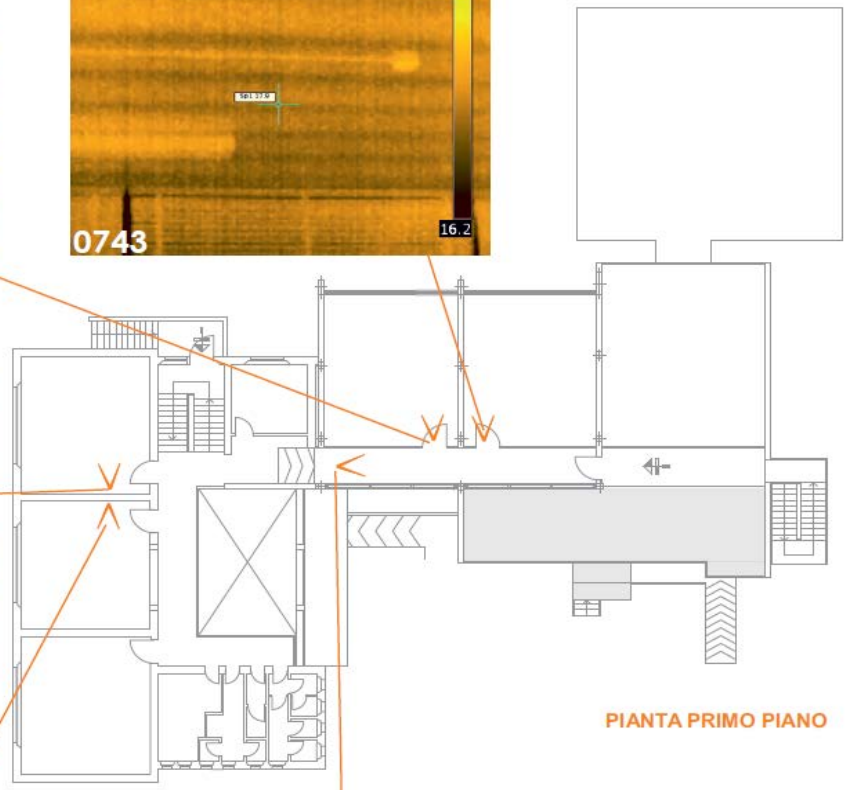
DETTAGLI STRUTTURALI – TERMOGRAFIA AD INFRAROSSI











BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

PROPRIETA' DEI MATERIALI – INDAGINI DIAGNOSTICHE

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

Acciaio: *la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove a trazione fino a rottura con determinazione della resistenza a snervamento e della resistenza a deformazione ultima.*

Metodi di prova non distruttivi: non possono essere impiegati in *sostituzione di quelli sopra descritti, ma associati ad essi.*

PROPRIETA' DEI MATERIALI – INDAGINI DIAGNOSTICHE - CAROTAGGIO

Il carotaggio e' il metodo distruttivo più diffuso, in quanto **consente di determinare la resistenza del conglomerato in maniera analoga a quella adottata per i campioni standard (stima diretta della resistenza);**
Il carotaggio e' necessario per giungere ad una definizione diretta della resistenza del conglomerato o **per calibrare i risultati ottenuti con i metodi non distruttivi**;
Il prelievo di carote da strutture in opera e' regolato dalla norma **UNI 6131/87**;
Il criterio fondamentale da adottare e' quello di **ridurre al minimo l'effetto di rimaneggiamento dovuto all'dovuto all'estrazione**;
Il diametro delle carote deve essere non minore di 3 volte la dimensione massima dell'aggregato, mentre l'altezza (UNI 6130/80) deve essere possibilmente pari a 2 volte il diametro.

La resistenza misurata sulle carote risente di numerosi fattori:

- Diverse modalità di preparazione e stagionatura
- Differente età di stagionatura tra carota e provino standard
- Posizione del prelievo nell'ambito dell'elemento strutturale
- Disturbo che consegue alle operazioni di prelievo
- Dimensioni delle carote (ad es. H/D diverso da 2)
- Presenza di armature incluse

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

PROPRIETA' DEI MATERIALI – INDAGINI DIAGNOSTICHE - CAROTAGGIO

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

$$f_{cis,i} = (C_{h/D} * C_{dia} * C_a * C_d) * f_{car,i}$$

$C_{h/D}$ coefficiente correttivo per rapporti h/D diversi da 2, pari a **2/(1.5 + D/h);**

C_{dia} coefficiente correttivo relativo al diametro, da assumere pari a **1.06, 1.00 e 0.98** per D pari, rispettivamente, a **50, 100 e 150** mm;

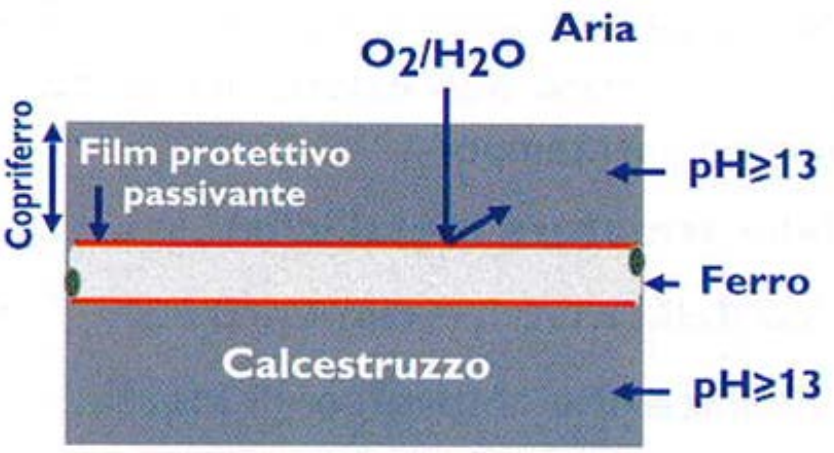
C_a è il coefficiente correttivo relativo alla presenza di armature incluse, da assumere pari a **1.02-1.13 in funzione della posizione e del diametro della barra inclusa;**

C_d èil coefficiente correttivo per tener conto del disturbo arrecato alla carota nelle operazioni di estrazione. Oltre al valore costante suggerito nelle FEMA 274, la bibliografia propone di assumere il valore 1.10. Il rimaneggiamento è tanto maggiore quanto minore è la qualità del calcestruzzo, appare più convincente l'indicazione riportata in (Collepardi 2002, UNI 5834) che suggerisce di assumere **C_d= 1.20 per f_{car}< 20 MPa, e C_d= 1.10 per f_{car}> 20 MPa**.

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

PROPRIETA' DEI MATERIALI – INDAGINI DIAGNOSTICHE - CARBONATAZIONE

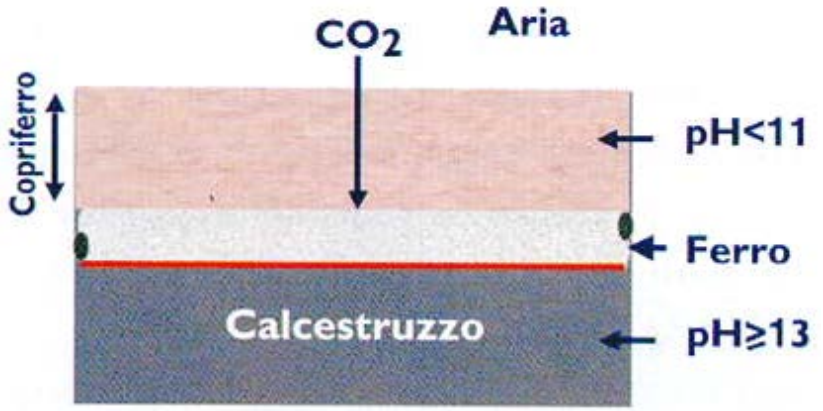
Con il termine **carbonatazione** si intende il fenomeno di riduzione della basicità del calcestruzzo che possiede al momento del confezionamento (ph > 13);
intorno al ferro è presente una pellicola di ossido che impedisce il contatto con l' ossigeno e l'umidità.



in presenza di CO_2 si verifica la seguente reazione tra calce e CO_2

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

(CARBONATO)

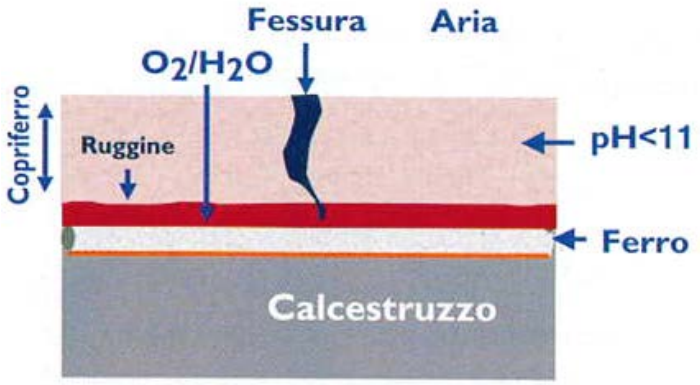


PROPRIETA' DEI MATERIALI – INDAGINI DIAGNOSTICHE - CARBONATAZIONE

Il ph scende a valori di circa 9 , ma gia' a ph < 11 si verifica la "*depassivazione*" con possibile corrosione

$$Fe \xrightarrow[H_2O]{O_2} Fe(OH)_2$$

l'ossido di ferro ha un volume di 6-7 volte maggiore del ferro e quindi il copriferro prima si lesione e poi viene espulso



la carbonatazione viene rilevata mediante un test colorimetrico, spruzzando una soluzione di fenolfetaleina che vira al rosso in presenza di ph > 11

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

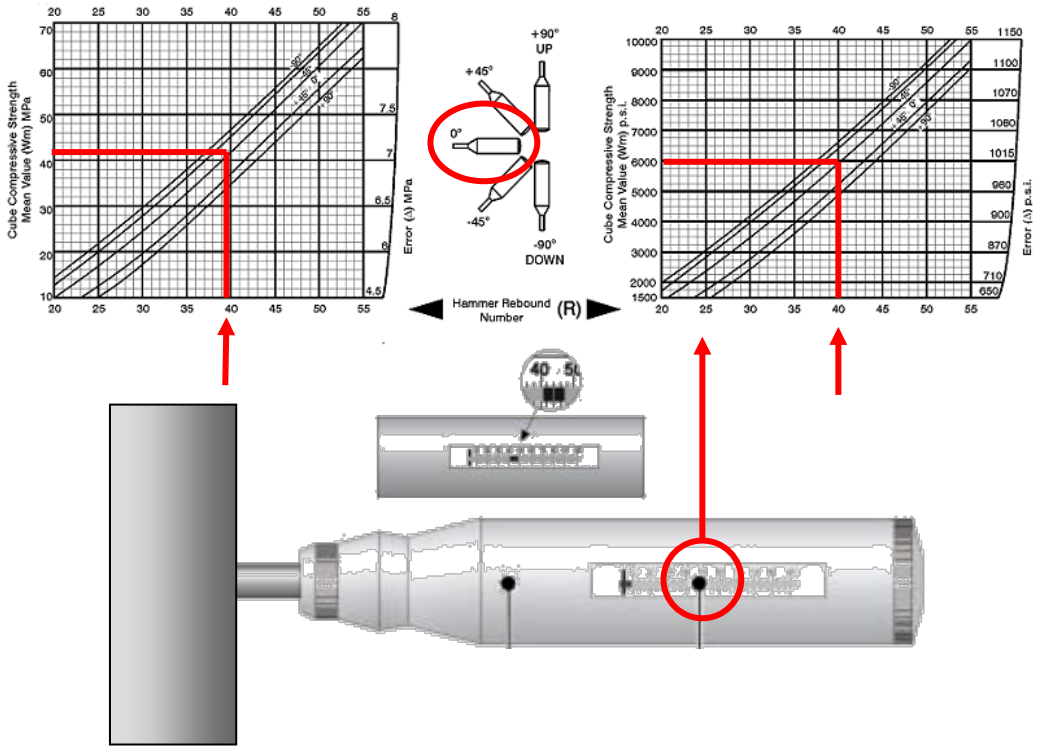
PROPRIETA' DEI MATERIALI – INDAGINI DIAGNOSTICHE – SCLEROMETRO (UNI 12504-2)

Effettuare le misure su almeno 9 punti posti ad una distanza tra loro di almeno 25 mm e distanti dal bordo di non meno 25 mm.

Il risultato delle prove deve essere calcolato come la media di tutte le misure ed espresso come numero intero.

Se oltre il 20% di tutte le misure si discosta dalla media per più di 6 unità deve essere scartata l'intera serie di misure.

l'indice di ribalzo dello sclerometro posto in verticale a contatto con l'incudine di taratura deve essere 80 2



Fattori che influenzano la valutazione dell'indice di rimbalzo

- Carbonatazione del calcestruzzo
- Contenuto e tipo di cemento
- Tipo di aggregato
- Età del calcestruzzo
- Umidità del calcestruzzo

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

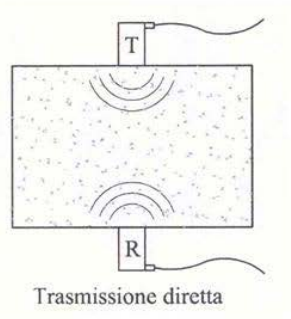
PROPRIETA' DEI MATERIALI – INDAGINI DIAGNOSTICHE – ULTRASONICHE (UNI 12504-4)

Consiste nella misurazione del tempo di attraversamento T di un impulso sonico ad alta frequenza emesso da un trasmettitore e ricevuto da una sonda ricevente dopo aver attraversato lo spessore L noto di cls : **V=L/T**

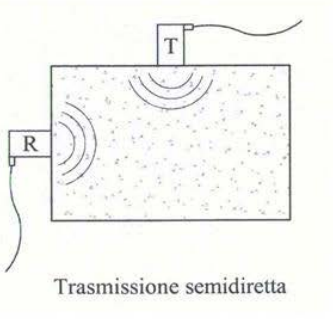
La velocità di propagazione del treno di onde dipende dalle proprietà elastiche e dalla densità del materiale e dal modulo di Poisson

La misura del tempo di attraversamento dipende:

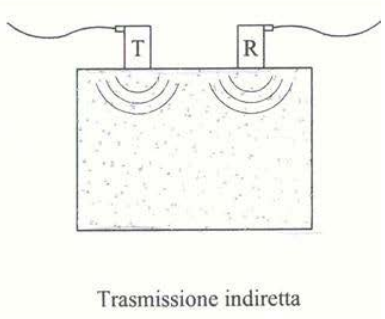
- dal contenuto di umidità
- composizione della miscela
- grado di maturazione



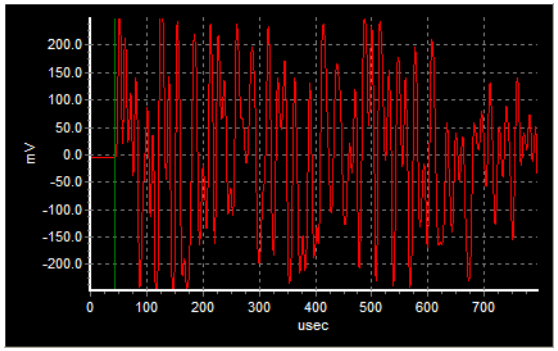
Trasmissione diretta



Trasmissione semidiretta



Trasmissione indiretta



FASI

Individuazione della zona di indagine: compresa tra due staffe consecutive, preventivamente preparata per la prova sclerometrica;

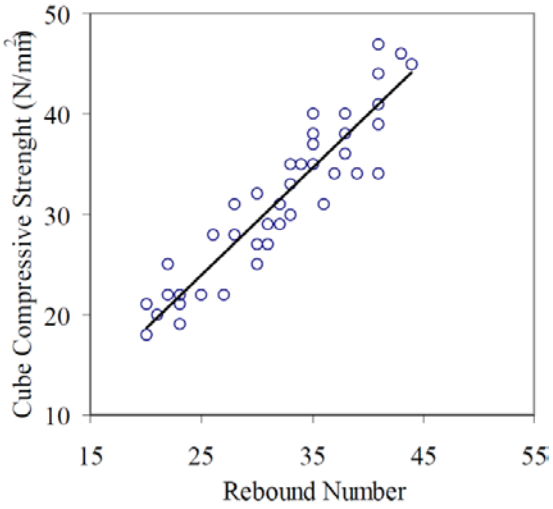
Applicazione di accoppiante al fine di migliorare l'aderenza sonda-calcestruzzo ed eliminare le microasperità ed i vuoti;

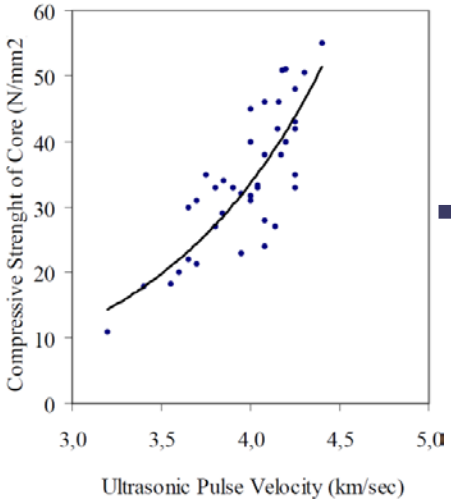
Misurazione della distanza tra i due trasduttori;

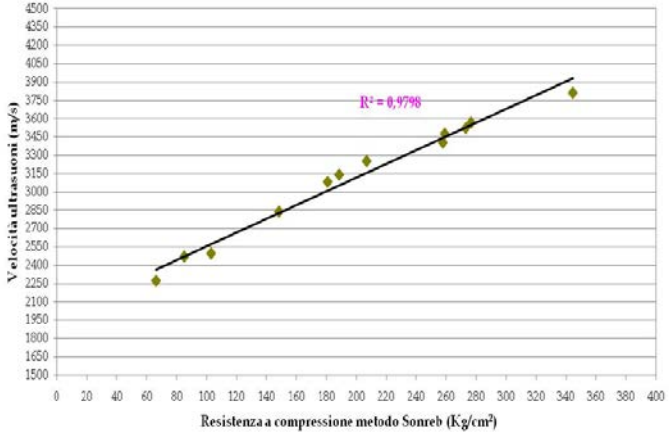
Esecuzione delle letture del tempo di attraversamento.

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

PROPRIETA' DEI MATERIALI – INDAGINI DIAGNOSTICHE – METODO SONREB







Per ridurre gli errori commessi con le prove ultrasoniche e sclerometriche è stato sviluppato il metodo combinato SONREB (SONic + REBound= ultrasuoni+sclerometro).

Si è infatti notato che il contenuto di umidità fa sottostimare l'indice sclerometrico e sovrastimare la velocità ultrasonica, e che all'aumentare dell'età del calcestruzzo, l'indice sclerometrico aumenta mentre la velocità ultrasonica diminuisce.

L'uso combinato delle due prove consente quindi di compensare in parte gli errori commessi usando singolarmente le due metodologie.

L'applicazione del metodo Sonreb richiede la valutazione dei valori locali della velocità ultrasonica V e dell'indice di rimbalzo S, a partire dai quali è possibile ottenere la resistenza del calcestruzzo Rc mediante espressioni del tipo

$$R_c = a\, V^b\, S^c$$

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

PROPRIETA' DEI MATERIALI – INDAGINI DIAGNOSTICHE – METODO SONREB

In bibliografia vengono fornite numerose espressioni per l'applicazione del metodo SONREB; nessuna di queste espressioni ha validità generale, ed generale, in particolare non sono valide per calcestruzzi di bassa qualità.

$$R_{c,1} = 9.27 \cdot 10^{-11} \cdot S^{1.4} \cdot V^{2.6}$$

1) Norme Rilem

$$R_{c,2} = 8.06 \cdot 10^{-8} \cdot S^{1.246} \cdot V^{1.85}$$

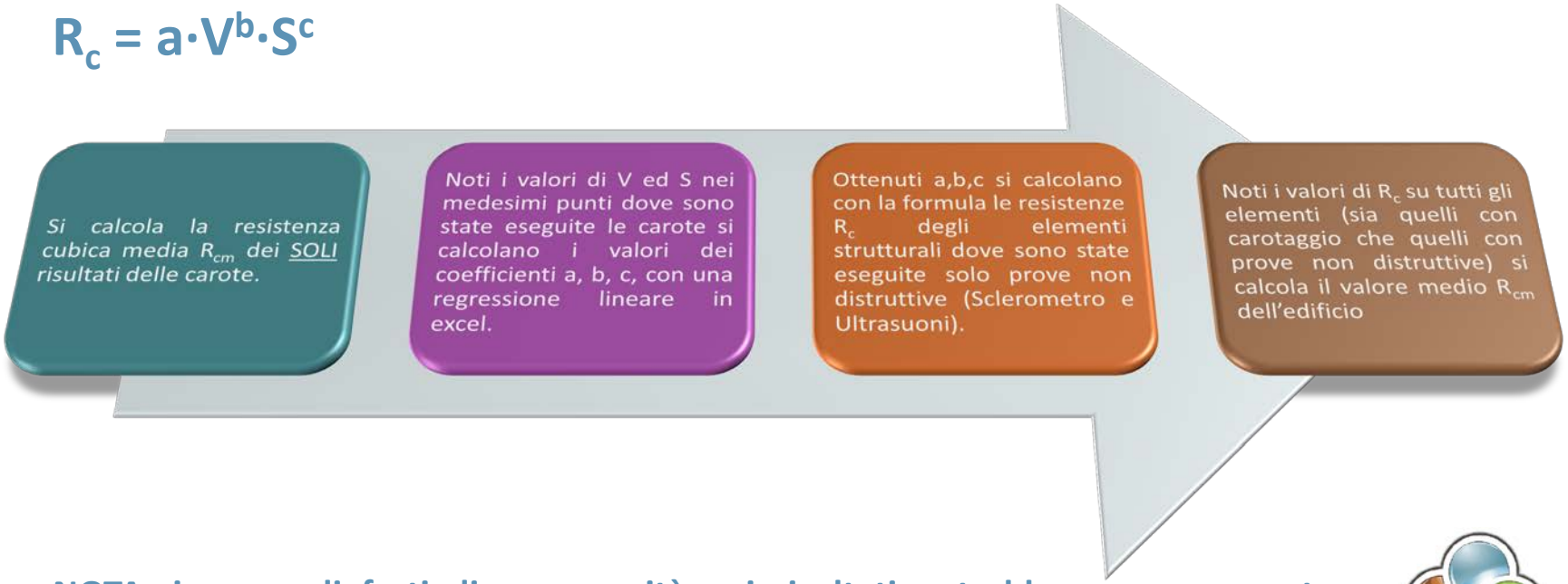
2) Gasparik

$$R_{c,3} = 1.2 \cdot 10^{-9} \cdot S^{1.058} \cdot V^{2.446}$$

3) Di Leo, Pascale

METODOLOGIA PER L'APPLICAZIONE DEL METODO SONREB

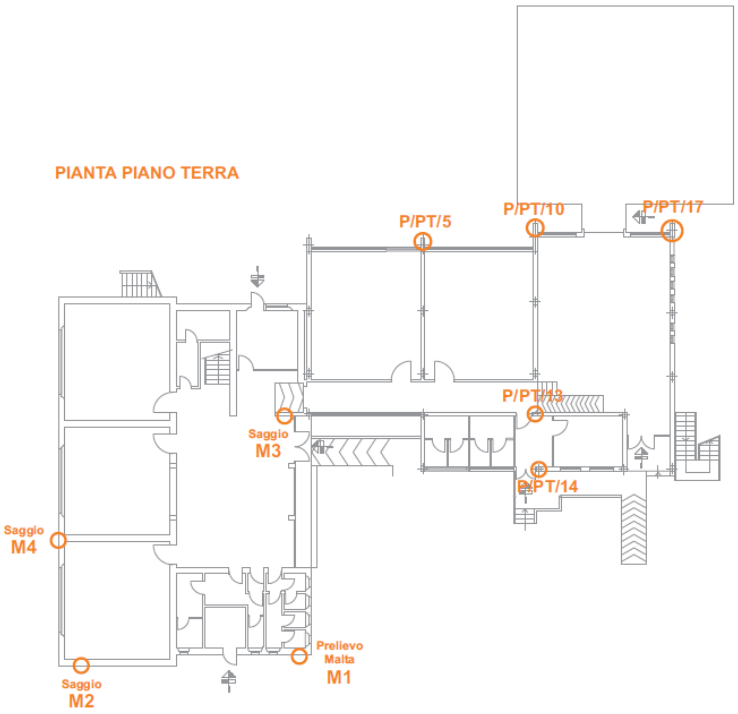
$$R_c = a \cdot V^b \cdot S^c$$



NOTA: in caso di forti disomogeneità nei risultati potrebbe essere opportuno eseguire una seconda campagna di indagini

PROPRIETA' DEI MATERIALI – INDAGINI DIAGNOSTICHE

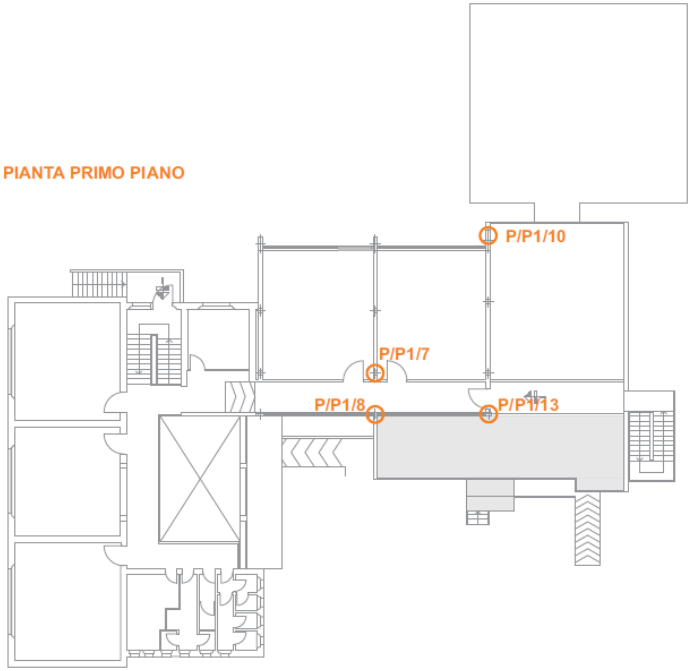
PIANTA PIANO TERRA



Identif. prova	Indagini Distruttive	Indagini non distruttive
P/PT/10	F	Pa
P/PT/17	C	B, U, Pa,CA
P/PT/5	----	B, U, Pa
P/PT/13	----	B, U, Pa
P/PT/14	----	B, U, Pa

F = prelievo barra C = Carotaggio, S = saggio a vista, B = battuta sclerometrica, U = Ultrasuoni, Pa = pacometro, CA = carbonatazione

PIANTA PRIMO PIANO



Identif. prova	Indagini Distruttive	Indagini non distruttive
P/P1/10	C	B, U, Pa,CA
P/P1/7	----	B, U, Pa
P/P1/8	----	B, U, Pa
P/P1/13	----	B, U, Pa

F = prelievo barra C = Carotaggio, S = saggio a vista, B = battuta sclerometrica, U = Ultrasuoni, Pa = pacometro, CA = carbonatazione

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

COSTRUZIONI ESISTENTI IN MURATURA

BRAINSTORMERS

LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

Via C. Marx, 32 – Rionero in Vulture – Tel 0971.46008 – Fax 0971.1830120
www.brainstormers.it - info@brainstormers.it

GEOMETRIA

Rilievo, piano per piano, di tutti gli elementi in muratura:

- Nicchie, cavità, canne fumarie;
- Rilievo delle volte (spessore e profilo);
- Rilievo dei solai e della copertura (tipologia e orditura);
- Rilievo delle scale (tipologia strutturale);
- Carichi gravanti su ogni elemento di parete;
- Tipologia delle fondazioni;
- Eventuale quadro fessurativo (classificando ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato: distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori del piano, etc.);
- Eventuale quadro deformativo (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni nelle volte, etc.).

DETTAGLI COSTRUTTIVI

- Qualità del collegamento tra pareti verticali;
- Qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;
- Esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;
- Presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;
- Presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;
- Tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza riempimento a sacco, con o senza collegamenti trasversali, etc.), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare, etc.).

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza si distinguono 3 livelli di conoscenza

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

LC1: Conoscenza Limitata; LC2: Conoscenza Adeguata; LC3: Conoscenza Accurata.

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

Tipologia di muratura	f_m (N/cm^2)	τ_0 (N/cm^2)	E (N/mm^2)	G (N/mm^2)	w (kN/m^3)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

f_m = resistenza media a compressione della muratura;

τ_0 = resistenza media a taglio della muratura;

E = valore medio del modulo di elasticità normale;

G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale;

w = peso specifico medio della muratura.

Condizioni di muratura con malta di scadenti caratteristiche, giunti non particolarmente sottili ed in assenza di ricorsi o listature che, con passo costante, regolarizzino la tessitura ed in particolare l'orizzontalità dei corsi. Per le murature storiche si assumono paramenti scollegati.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramen-to di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

INDAGINI DIAGNOSTICHE STRUTTURALI

Per il rilievo dei dettagli strutturali

- Prove endoscopiche
- Indagini termografiche ad infrarossi
- Prove soniche
- Saggi a vista

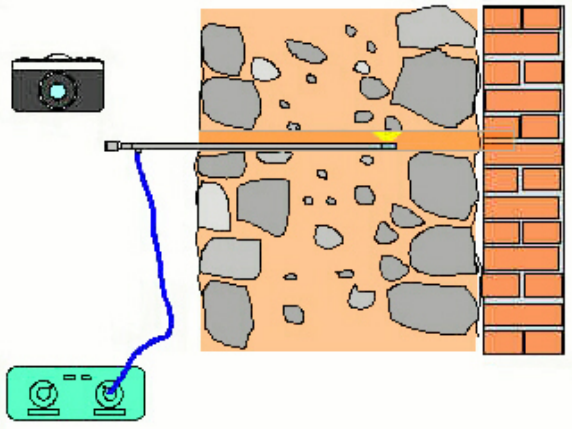
Per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche dei materiali

- Prove con martinetti piatti (singola e doppia)
- Prova sclerometrica/Penetrometrica sulle malte
- Caratterizzazione delle malte (legante, aggregato, rapporto legante/aggregato, carbonatazione)

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

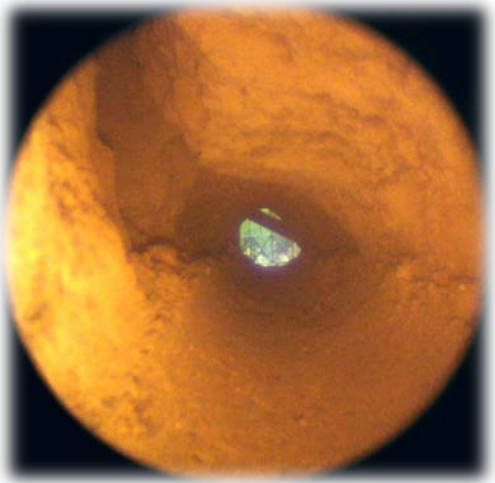
DETTAGLI STRUTTURALI – PROVE ENDOSCOPICHE

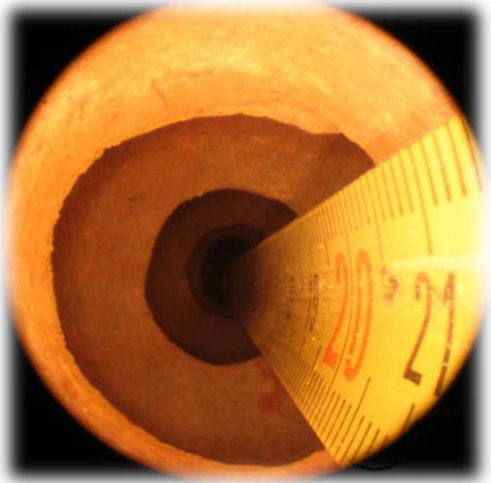
Realizzazione di un foro di diametro 12-25 mm con aspirazione e/o lavaggio dello stesso e successiva ispezione interna visiva tramite la sonda ottica; l'analisi è riportata su apposite schede insieme alla documentazione fotografica ottenuta mediante speciale adattatore ottico e macchina fotografica (adattatore ottico per telecamera, con eventuale commento vocale)



DATI RILEVABILI

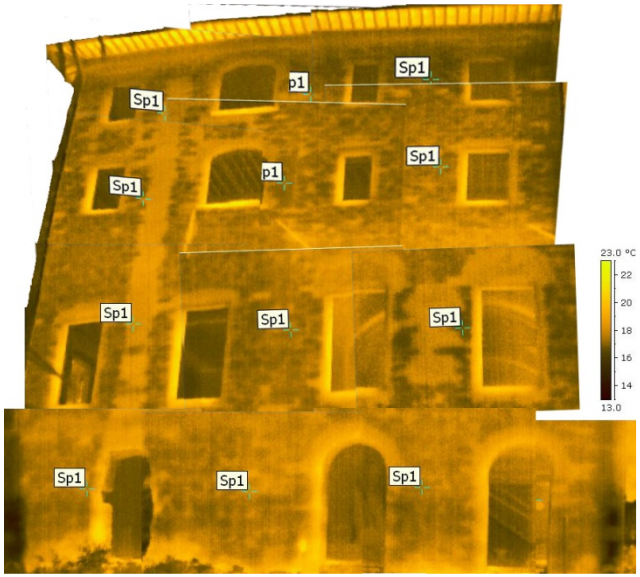
Caratteristiche fisiche, morfologiche, compositive e del degrado all'interno della struttura indagata - Rilievo geometrico monodimensionale



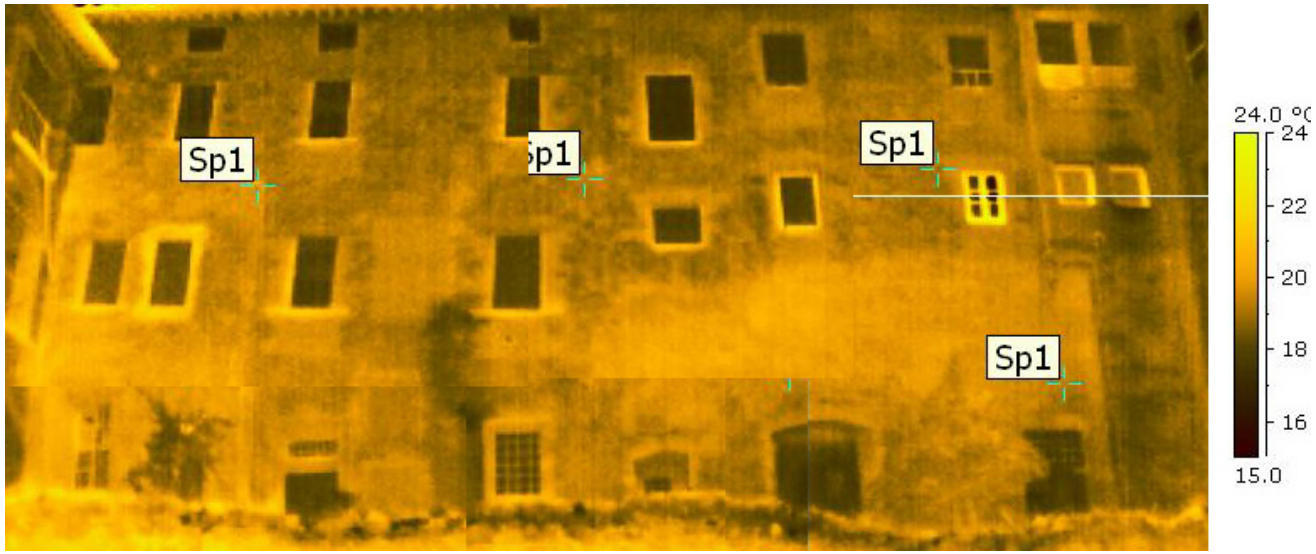


BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

DETTAGLI STRUTTURALI – INDAGINI TERMOGRAFICHE AD INFRAROSSI



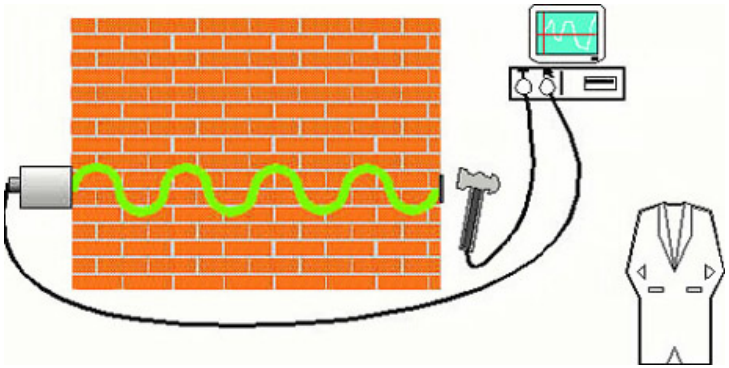
RISTRUTTURAZIONE DELL'EX CONVENTO DELLA VISITAZIONE - COMUNE DI MASSA E COZZILE



BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

DETTAGLI STRUTTURALI - PROVE SONICHE

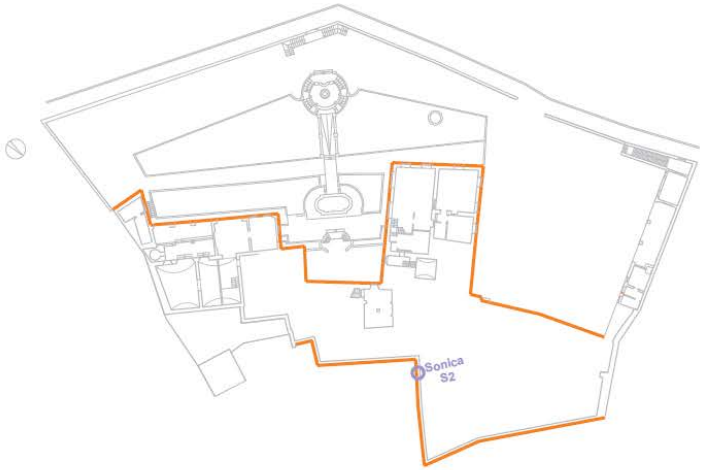
Il principio consiste nell'invio di un impulso d'onde nel materiale e valutare attraverso la comparazione dei tempi di ritardo (o velocità) e dell'attenuazione difetti e caratteristiche meccaniche.
L'energizzazione è a bassa frequenza, o più correttamente a frequenza variabile con martello strumentato. Misuriamo sempre il tempo che impiega un onda di compressione ad attraversare un mezzo nota la distanza tra le sonde si calcola la velocità (V=H/t).

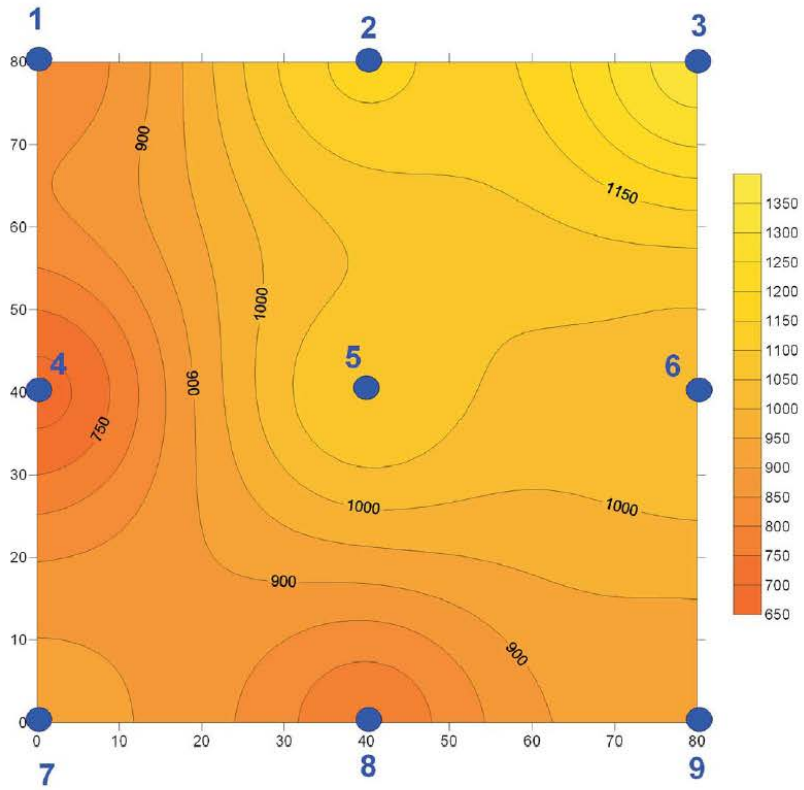


DATI RILEVABILI

Caratterizzazione della muratura in termini di elasticità e grado di compattezza relativa (consistenza) in base alla velocità sonica rilevata; valutazione del grado di omogeneità dei materiali indagati; collaudo di opere di consolidamento con misure pre- e post-intervento.

DETTAGLI STRUTTURALI – PROVE SONICHE





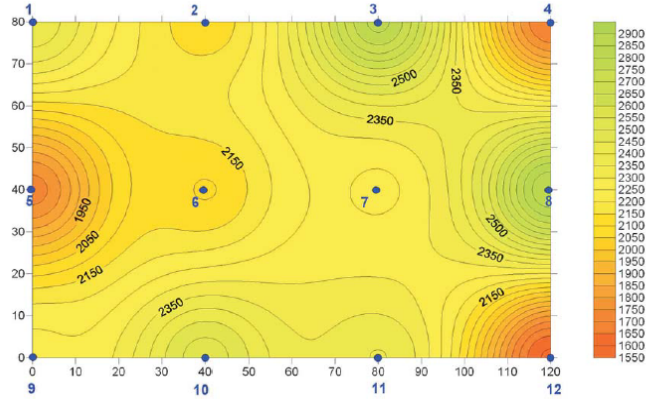
PROVA SONICA S2

Particolare tomografia con curve di isovelocità

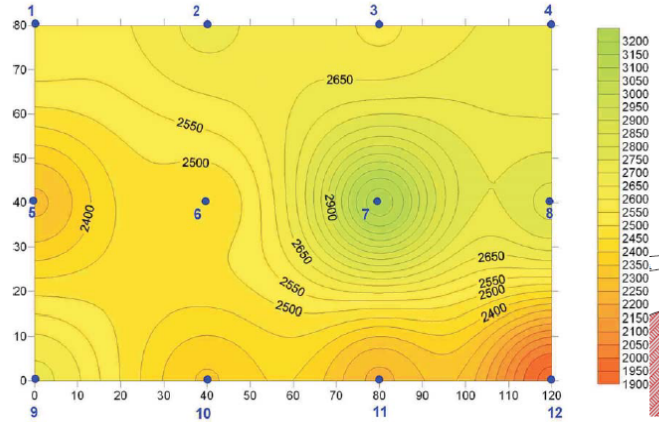
BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

DETTAGLI STRUTTURALI - PROVE SONICHE

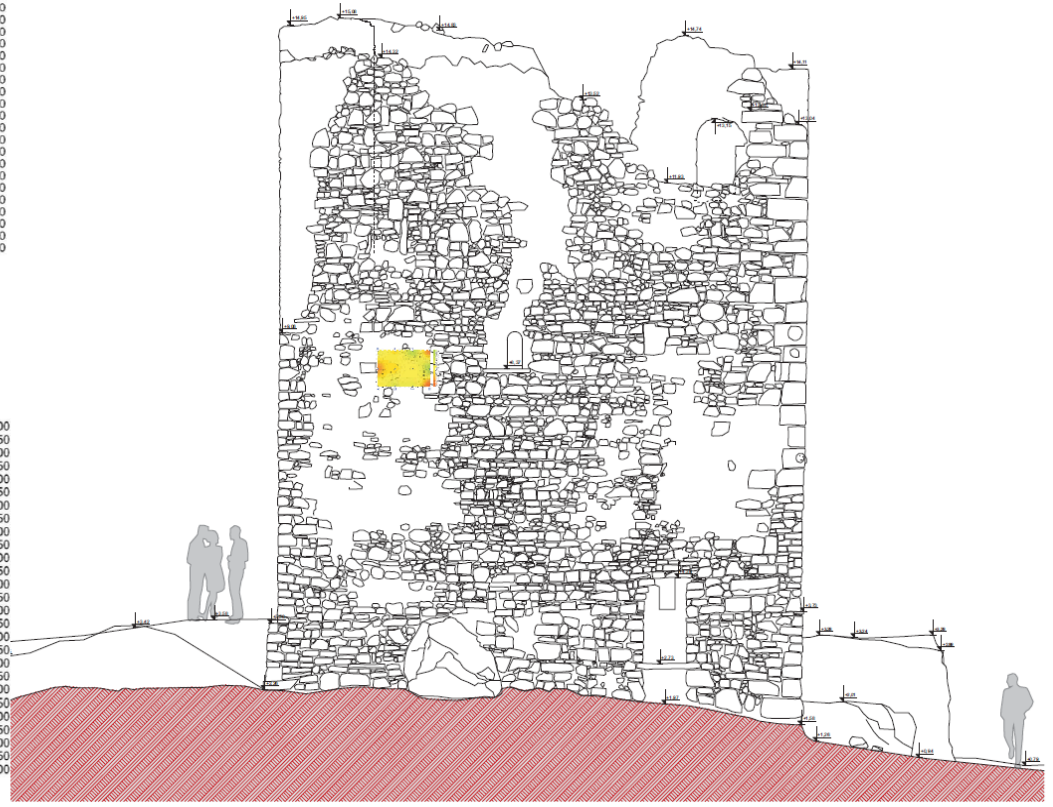
RESTAURO ARCHITETTONICO DELLA TORRE DI SATRIANO
COMUNE DI TITO (PZ) - INDAGINI DIAGNOSTICHE



PROVA SONICA S4 - ANTE CONSOLIDAMENTO
Particolare tomografia con curve di isovelocità



PROVA SONICA S4 - POST CONSOLIDAMENTO
Particolare tomografia con curve di isovelocità



Scala 1:100

ALL-SON Ed/Rev 01/01 Settembre '08	TOMOGRAFIA SONICA S4 - ANTE E POST INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO - PROSPETTO NORD - EST

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

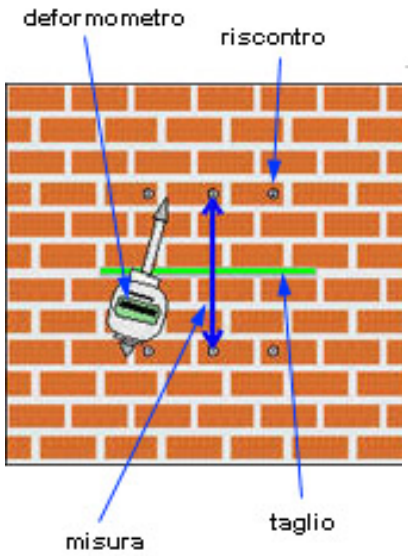
PROPRIETÀ DEI MATERIALI - PROVE CON MARTINETTI PIATTI

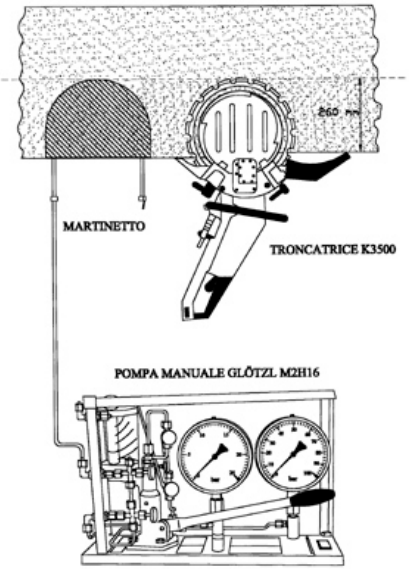
PROVA A SINGOLO MARTINETTO

Valutazione dello stato tensionale attraverso la misura dello sforzo necessario al riequilibrio deformativo; verifica sperimentale delle reali condizioni statiche della struttura oggetto dell'indagine; misure di stress in sito (nei rivestimenti di gallerie, nelle pile dei ponti).

FASI DELLA PROVA

- Posizionamento delle basi di misura
- Lettura iniziale di zero
- Esecuzione taglio ed inserimento martinetto
- Applicazione della pressione a valori crescenti fino al ripristino delle condizioni iniziali.





PROPRIETÀ DEI MATERIALI - PROVE CON MARTINETTI PIATTI

PROVA A SINGOLO MARTINETTO

Vengono letti sul manometro ed annotati su apposite schede, i valori di pressione del circuito idraulico pompa – martinetti.

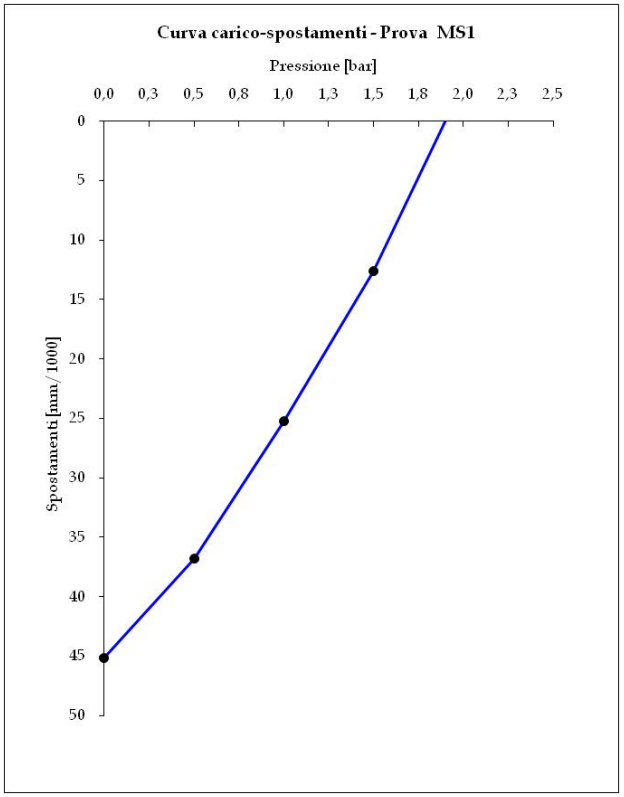
Da tali valori di pressione *p* si risale allo stato di sollecitazione agente σ mediante la relazione

$$\sigma = p \cdot K_m \cdot K_a$$

ove Km e Ka sono due coefficienti

$K_a = A_j / A_c$ rappresenta il rapporto tra l'area del martinetto (Aj) e l'area della superficie di taglio (Ac). Ovviamente Ka < 1 (valore usuale 0,90).

K_m rappresenta un coefficiente (<1) che permette di tenere conto della rigidezza del martinetto. Tale coefficiente dipende dalle dimensioni e dalla forma del martinetto e viene determinato mediante apposite prove di taratura in laboratorio. Ogni martinetto è normalmente accompagnato da un apposito certificato di taratura in cui viene chiaramente indicato il valore di K_m (in media valori di 0,85-0,90).



Risultati

Pressione di ripristino [P]		**1,90**	bar
Tensione in situ [Ts] =	P • km • kt	**1,47**	daN/cm^2

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

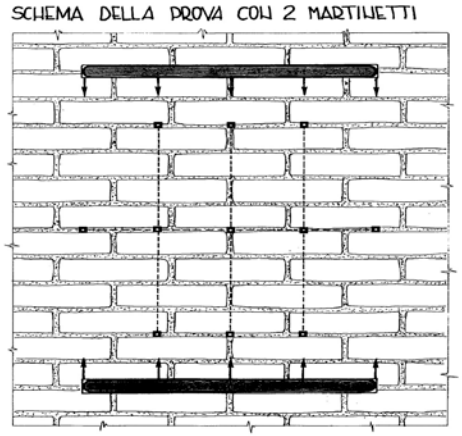
PROPRIETÀ DEI MATERIALI - PROVE CON MARTINETTI PIATTI

PROVA A DOPPIO MARTINETTO

Determinazione delle caratteristiche di deformabilità e resistenza della muratura. Il modulo di deformabilità è calcolato per intervalli di pressione, considerando la deformazione misurata con un deformometro millesimale. La prova fornisce anche indicazioni sul valore di resistenza a compressione della muratura, potendo avvicinarsi al limite di rottura con l'aumento progressivo del carico.

ESECUZIONE DELLA PROVA

Esecuzione di due tagli orizzontali paralleli nella muratura da analizzare; il "concio" cosi' isolato e' sottoposto a cicli modulati di pressione monoassiale normale al piano dei tagli, il carico è fornito da due martinetti inseriti nei tagli; le misure di deformazione sono rese possibili tramite basi di misura verticali e orizzontali, fissate sulla faccia libera del concio murario.



PROPRIETÀ DEI MATERIALI - PROVE CON MARTINETTI PIATTI

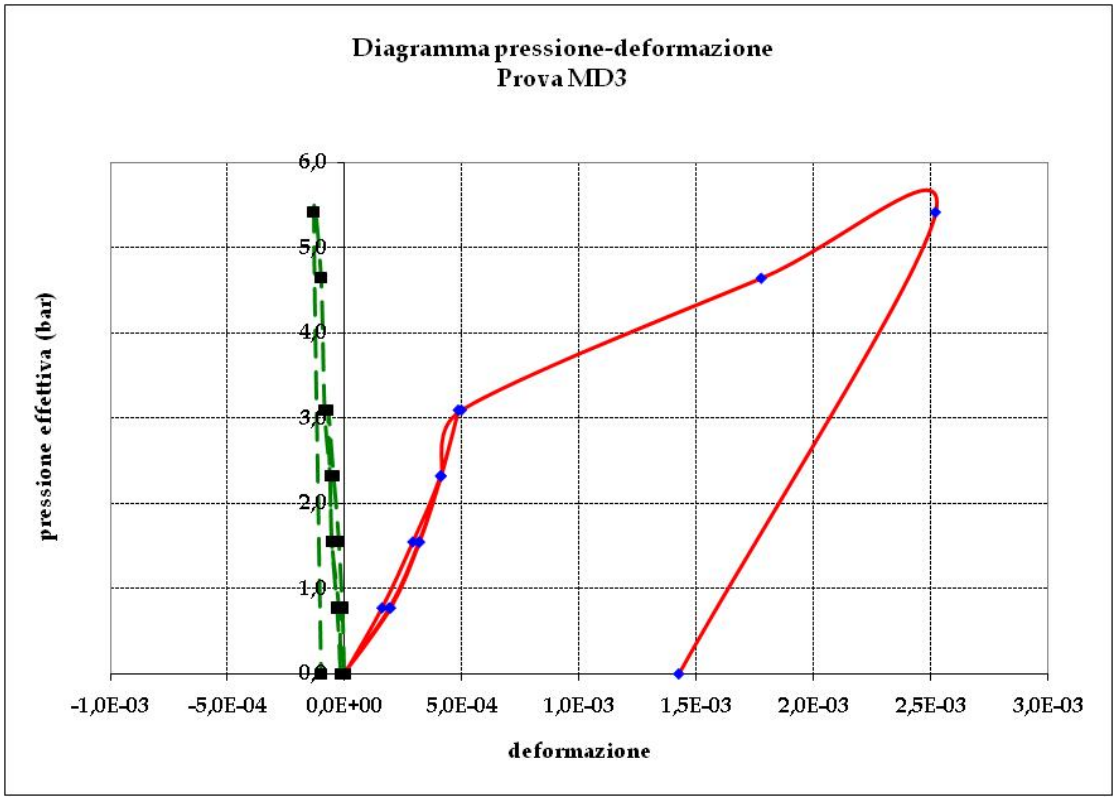
PROVA A DOPPIO MARTINETTO

Primo ciclo fino a 4 bar
Deformazioni trascurabili (comportamento elastico lineare)

Secondo ciclo fino a 7 bar
Comportamento tendenzialmente fragile.

Raggiunto il carico massimo di 20 bar la prova è stata interrotta per il continuo progredire delle deformazioni-rottura.

I moduli di deformabilità sono stati calcolati nella fase di carico del primo e secondo ciclo in corrispondenza degli intervalli indicati.



Risultati prova MD1		
Modulo di elasticità 1	E_{2-4}	**812** MPa
Modulo di elasticità 2	E_{2-4}	**871** MPa
Resistenza a compressione		**0,53** MPa
Modulo Elast. Tang. (val. medio)*		**271** MPa
Modulo Elast. Tang. (val. medio)*		**290** MPa
Resitenza media al taglio*		**0,011** MPa

* ricavate indirettamente dal DM 14 gennaio 2008 Tab. C8A.2.1

BRAINSTORMERS – LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

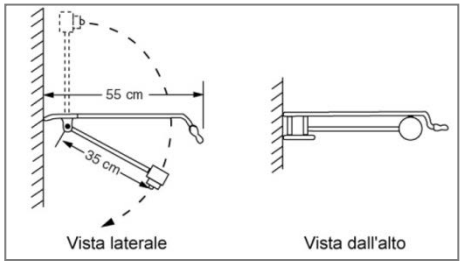
PROPRIETÀ DEI MATERIALI - PROVE SCLEROMETRICHE SULLE MALTE

L'apparato è lo sclerometro a pendolo Schmidt mod. PT avente energia di impatto 0,72 Nm. che è costituito da un pendolo che è incernierato al centro di un semicerchio graduato che ne costituisce il misuratore; il pendolo può scorrere su di esso fino ad incontrare un'apertura circolare sul diametro

L'attrezzo viene posizionato verticalmente col centro dell'apertura circolare nel piede dell'apparato e nel centro del giunto. A questo punto si può eseguire il test facendo cadere e rimbalzare il pendolo contro il giunto da provare;
Indicazioni RILEM 127 M.S. D.7 consigliano nove misurazioni divise sull'area investigata su giunti orizzontali, verticali e in zone di confine della muratura. Viene determinata la media delle misurazioni.
Lo sclerometro a pendolo può essere impiegato anche sul solo giunto di malta per stimarne la resistenza a compressione con opportune curve di taratura.

Tabella - Classificazione della qualità della malta fornita dalla prova sclerometrica

Classe	Durezza	Indicazione di qualità
0	< 15	Very soft
A	15-25	Soft
B	25-35	Moderate
C	35-45	Normal
D	45-55	Hard
E	> 55	Very hard



COSTRUZIONI ESISTENTI: LIVELLI DI CONOSCENZA E INDAGINI DIAGNOSTICHE STRUTTURALI

BRAINSTORMERS
LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

Via C. Marx, 32 – Rionero in Vulture – Tel 0971.46008 – Fax 0971.1830120
www.brainstormers.it - info@brainstormers.it