

in esame. Il parametro di riferimento più utilizzato è il fattore di emissività. Per i materiali edili di più comune utilizzo tale parametro presenta valori molto vicini tra loro (tra 0.85 e 0.95). Quindi, per applicazioni quali quelle prospettabili in un progetto di restauro, sono necessarie caratteristiche tecniche della strumentazione molto spinte in termini di risoluzione della mappa termica. L'apparecchiatura utilizzata per rilevamenti termografici è tipicamente costituita da una camera che converte la radiazione infrarossa in segnali elettronici amplificati, rappresentati graficamente da immagini con diversi livelli di grigio, mappe in bianco e nero o falsi colori.

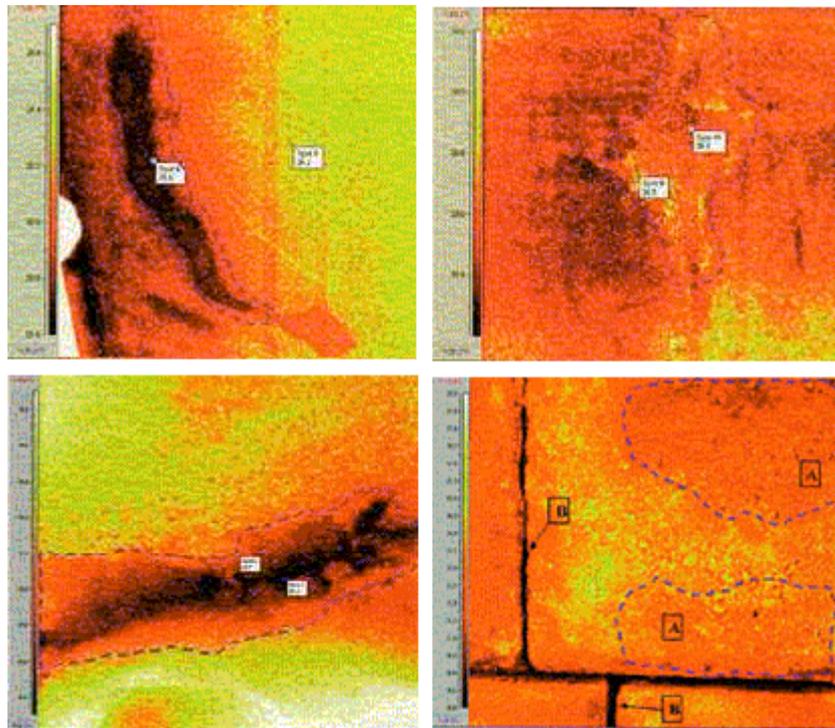
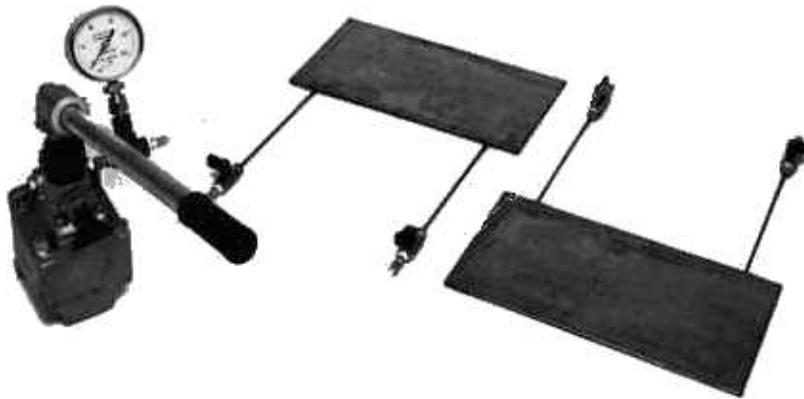


Figura 14 – a) Mappa termica di una tipica stuccatura con ristagno d'acqua; b) Mappa termica di una tipica stuccatura distaccata dal substrato lapideo; c) Mappa termica di una tipica stuccatura con presenza di fratturazione interna e ristagno d'acqua; d) Mappa termica di una piccola area dove sono presenti colonie di microrganismi (zona A) e ristagno di umidità nelle giunzioni tra blocchi di travertino (zona B).

## *Martinetto piatto semplice e doppio*

---

L'impiego dei martinetti piatti è un metodo semidistruttivo che consente la determinazione rispettivamente, della tensione locale di lavoro e di quella di prima plasticizzazione delle murature. Le prime di tali prove si eseguono con martinetto semplice, da ubicare nelle murature maggiormente sollecitate ovvero interessate da un quadro fessurativo fine e distribuito; permettono una verifica di massima dei risultati ottenuti dall'analisi teorica ed una ricostruzione degli effettivi cammini tensionali. Le seconde si eseguono con martinetti doppi e permettono di determinare la resistenza a compressione di parti di muratura e di eventuali zone di parzializzazione del tessuto murario.



*Figura 15 - Martinetti piatti.*

Fatto molto importante è che la misura è effettuata nelle reali condizioni di normale esercizio del manufatto. I pregi e vantaggi delle prove con martinetti piatti si possono sintetizzare in:

- rapidità di esecuzione;
- costi limitati rispetto alle prove in laboratorio per le quali occorre il prelievo ed il trasporto di consistenti porzioni di muratura;
- possibilità di effettuare rilievi in qualsiasi posizione della muratura;
- immediatezza dei risultati;
- possibilità di ripetizione della prova in caso di risultati anomali.

Dopo aver applicato alcuni punti di riferimento sulla superficie della muratura e misurata la loro distanza, con opportuna sega a lama diamantata (che può essere montata su supporti adeguati che garantiscono la perfetta orizzontalità e profondità del taglio) si procede all'asportazione di un giunto di malta.

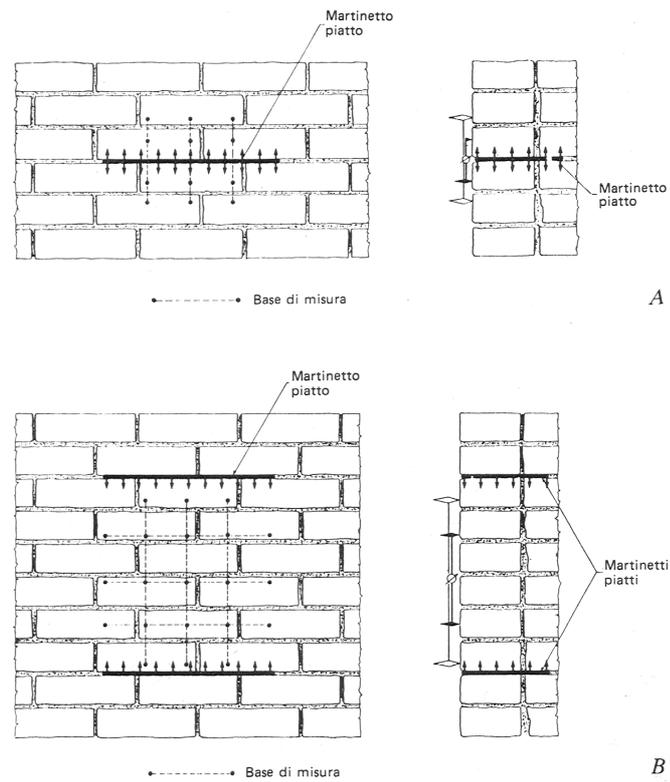


Figura 16 - Schema della prova con martinetto piatto: A) prima fase con un solo martinetto per la determinazione dello stato di tensione in sito; B) seconda fase con due martinetti per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità.

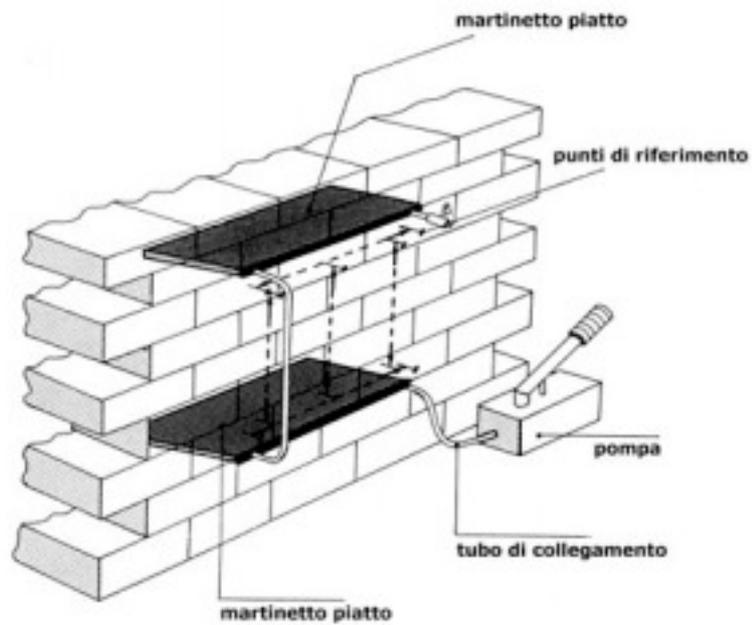


Figura 17 - Elementi costitutivi di una prova con martinetti piatti.

Tale operazione provoca un rilascio nella zona di muro interessata ed una conseguente redistribuzione delle tensioni. Infatti il taglio di piccolo spessore (al massimo di 15 mm), realizzato senza intaccare il corpo degli elementi di laterizio o lapidei, genera l'instaurarsi di due fenomeni caratteristici:

- un cedimento micrometrico della muratura sovrastante il taglio, dovuto ai carichi gravanti nella zona di taglio;
- l'instaurazione di un effetto arco che, redistribuendo le tensioni, garantisce la stabilità del paramento murario generando una nuova configurazione di equilibrio.

Il rilascio delle tensioni provoca la chiusura del taglio che può essere rilevata tramite misure di convergenza fra due punti in posizione simmetrica. La misura della convergenza è eseguita con estensimetri meccanici di tipo rimovibile con basi incollate o fissate sulla superficie muraria mediante apposite piastre metalliche.

Inserendo poi un martinetto sottile (piatto) nel taglio operato, avendo l'accortezza di riempire lo spazio vuoto tra martinetto e muratura con spessori di lamiera della stessa superficie del martinetto, si può ripristinare oleodinamicamente la situazione iniziale, annullando le deformazioni ed i cedimenti misurati. In queste condizioni la pressione all'interno del martinetto è pari alla sollecitazione preesistente nella muratura a meno di una costante che tiene conto del rapporto tra l'area del martinetto di carico e quella del taglio.

Il valore della tensione media è calcolato con la seguente relazione:

$$\sigma_m = k_a \cdot K_m \cdot p$$

dove:

- $k_a$  è il rapporto tra l'area del martinetto e quella del taglio
- $K_m$  è una costante dipendente dalla rigidità del martinetto secondo la forma di questo e  $p$  la pressione del martinetto.

La determinazione delle caratteristiche di deformazione della muratura è effettuata praticando un secondo taglio parallelo al primo eseguito ad una distanza di circa 50 cm, nel quale viene introdotto il secondo martinetto. La muratura compresa tra i due martinetti costituisce il campione che sarà assoggettato ad uno stato di tensione monoassiale ortogonale al piano di posa della muratura. Tale campione ha dimensioni sufficienti per essere rappresentativo del comportamento globale della muratura ed è indisturbato. E' possibile, con le dovute cautele, avvicinarsi al limite di rottura della muratura incrementando il carico progressivamente tramite i martinetti piatti e valutare la resistenza a compressione mediante estrapolazione della curva

carico-deformazione; eventualmente si può portare il campione a rottura determinando il valore di resistenza ultima.

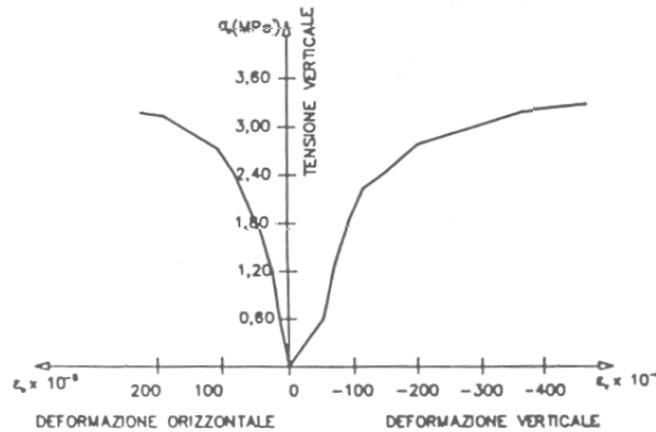


Figura 18 - Esempio della curva carico-deformazione estrapolabile da una prova con martinetto doppio.

Il calcolo della deformabilità è fatto applicando il carico per cicli di carico e scarico, con intensità via via crescente. Per questo tipo di prove si consiglia l'uso di martinetti di dimensioni maggiori. La pressione effettivamente agente sulla muratura è data dalla formula:

$$\sigma = A_m / A_t \cdot K_m \cdot p$$

dove:

- $A_m$  si indica l'area del martinetto
- $A_t$  il valore medio delle due aree di taglio
- $K_m$  il valore medio dei due coefficienti di taratura dei martinetti
- $p$  è la pressione erogata dai due martinetti.

Il valore di  $E$ , modulo elastico verticale, si calcola con la relazione:

$$E = \sigma / \epsilon_v$$

dove  $\epsilon_v$  è la deformazione verticale misurata in prossimità dell'asse di mezzeria dell'elemento murario delimitato dai due martinetti. È importante notare che, essendo il provino di muratura vincolato su tre lati, i risultati ottenuti presentano valori elevati a causa dell'effetto collaborante della muratura circostante e per effetto della distribuzione non uniforme della pressione nel martinetto per mancata aderenza alla superficie della muratura.

Rispetto a quanto descritto una variante sviluppata recentemente consiste nel praticare i due tagli orizzontali e successivamente anche altri due tagli verticali, in

modo da delimitare un prisma quasi totalmente isolato dal contorno murario. Il collegamento rimane presente infatti solo sulla faccia parallela alla superficie esterna. Questa variante elimina pressoché totalmente l'effetto del contenimento laterale e quindi fornisce risultati più facilmente interpretabili in quanto più prossimi a quelli ottenibili in prove monodimensionali. E' evidente che questa modalità di prova danneggia maggiormente il paramento murario e pertanto spesso non viene consentita dagli organi di controllo quando si opera su edifici monumentali.

La determinazione della resistenza al taglio lungo i ricorsi di malta richiede l'aggiunta di un terzo martinetto idraulico di tipo a pistone che eserciti una spinta orizzontale. Per l'esecuzione della prova viene estratto un mattone appartenente alla muratura compresa tra i due martinetti piatti e nello spazio così ricavato si colloca il martinetto idraulico a pistone.

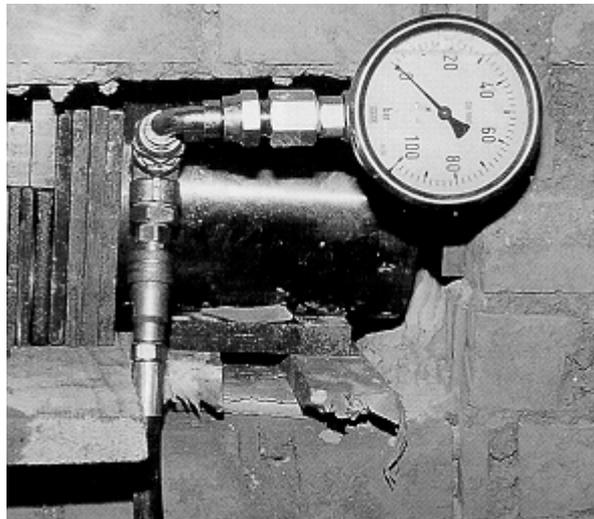


Figura 19 - Prova di scorrimento della muratura.

Gli scorrimenti relativi del mattone rispetto ai corsi di malta e le deformazioni normali in direzione ortogonale ai corsi di malta sono misurati mediante trasduttori. Il valore della tensione  $\tau$  è determinato con la seguente relazione:

$$\tau = T/2A$$

dove:

- A è l'area della superficie del mattone
- T la forza applicata.

Il taglio della muratura deve essere realizzato in modo tale da non alterare lo stato di equilibrio della muratura e la sua esecuzione dipende dalla muratura stessa e dal tipo di martinetto utilizzato.

Al termine della prova il martinetto viene estratto e lo spessore della malta ripristinato, riportando la muratura allo stato di origine.

### *Distanziometri*

---

L'utilizzo di tali strumenti presuppone il posizionamento sulle murature, da cui è stato asportato l'intonaco di rivestimento, di piastrine circolari di riscontro in metallo inalterabile munite di un foro micrometrico al centro. Tali piastrine si disporranno a coppie da parti opposte rispetto alla lesione in osservazione e si fisseranno alle pareti mediante resine epossidiche. La misurazione del valore della distanza reciproca tra le piastrine viene effettuata mediante distanziometri realizzati con materiali a basso coefficiente di dilatazione termica e capaci di rilevare variazioni di lunghezza dell'ordine dei 10 micron. Si terrà conto, in ogni caso, degli allungamenti o contrazioni dell'asta di misura, mediante il rilevamento delle temperature ogni qualvolta si registra la distanza tra le punte. Le misurazioni dovranno essere effettuate ad intervalli di tempo sufficienti per la rilevazione degli effetti di alcune cause principali o secondarie quali: le variazioni termiche, le variazioni o gli spostamenti periodici dei carichi, le variazioni dei livelli di falda, ecc. Si costruiranno così diagrammi continui che permetteranno il collegamento tra le cause ipotizzate e gli effetti misurati.

### *Fessurimetro*

---

I fessurimetri sono formati da due piastre che si sovrappongono parzialmente. La piastra superiore è incisa con un reticolo, quella inferiore è calibrata in millimetri sia in senso verticale che orizzontale e con l'azzeramento sulle quattro parti mediane.



Figura 20 – Fessurimetri di diversi tipi.

Quattro fori asolati consentono il fissaggio per mezzo di viti o spine. La misura del movimento della lesione viene indicata in mm o loro frazione ed è segnata dall'entità dello spostamento della piastra con reticolo rispetto alla piastra millimetrata sottostante, a partire dal valore zero.

I fessurimetri sono di tre tipi fondamentali:

- per la verifica di lesioni su superfici piane;
- per la misura delle lesioni negli spigoli delle strutture murarie;
- per la verifica degli spostamenti di planarità tra due superfici.

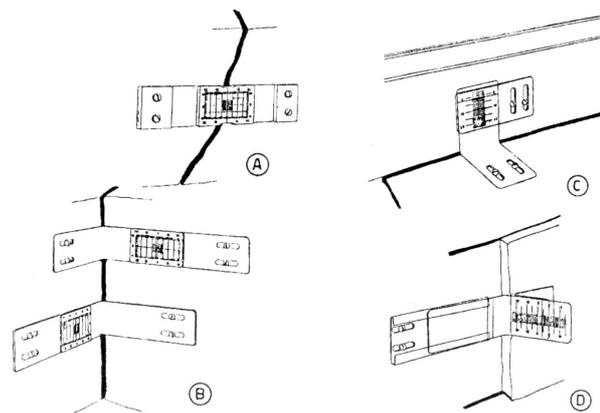


Figura 21 - A) Misura di lesioni su superfici piane; B) Misura di lesioni in angoli murari; C) Misura di cedimenti di pavimentazioni; D) Misure di perdite di planarità.

Con tali apparecchiature di semplice uso si riescono ad apprezzare valori di spostamento attorno al decimo di millimetro.

## Calibro Crockett

Uno strumento con precisione intermedia tra i fessurimetri e i distanziometri è il Calibro Crockett, che è costituito da due barrette metalliche da fissare ai lati della lesione da tenere sotto controllo. Esso è munito di micrometro di precisione con cui è possibile rilevare spostamenti dell'ordine del centesimo di millimetro; tale sensibilità risulta essere già sufficiente per evidenziare le variazioni dimensionali dovute a fenomeni termici.

## Prove soniche

I metodi usati fanno riferimento, con le modifiche d'obbligo dovute al differente oggetto d'indagine, a quelli già da lungo tempo in uso per le prospezioni geofisiche e geologiche. Tali indagini infatti consistono nel misurare e analizzare le caratteristiche di propagazione delle onde elastiche con cui vengono sollecitati vari elementi strutturali.

Il principio fisico si basa sul fatto che le onde elastiche in un mezzo solido si propagano seguendo leggi semplici. Se il mezzo è omogeneo ed isotropo si hanno due tipi di onde: longitudinali o di compressione (od onde P) e trasversali o di taglio (od onde S). Le onde longitudinali si verificano quando gli elementi unitari di volume, deformati per compressione e dilatazione, oscillano secondo la direzione di propagazione dell'onda. Le onde trasversali si verificano se gli elementi di volume deformati per sforzi di taglio oscillano perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda.

Le onde P e le onde S (che si propagano con legge sferica) sono così chiamate dalle iniziali degli aggettivi *Primae* e *Secundae*, in quanto normalmente questi tipi di onda appaiono in sequenza come primo e secondo avvenimento nei sismogrammi di terremoto. Le velocità delle onde elastiche P ed S in un mezzo omogeneo e perfettamente elastico sono legate ai moduli elastici delle seguenti relazioni:

$$E = V_p^2 \cdot d \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{1 - \nu} \quad G = d \cdot V_s^2 \quad \text{con } \nu = \frac{r^2/2 - 1}{r^2 - 1}$$

e dove:

- $r = \frac{V_p}{V_s}$ ; d = densità;
- $V_p$  e  $V_s$  velocità delle onde P ed S.

I moduli elastici “sonici” che si possono ricavare da queste relazioni sono di valore superiore a quelli ottenibili con prove statiche. I valori dei moduli elastici ottenuti con sistemi sonici si discostano sempre di più da quelli ottenuti con metodi statici man mano che si passa da un mezzo perfettamente omogeneo e isotropo ad uno sempre più disomogeneo.

Nel suo propagarsi l’onda elastica perde energia e ciò è dovuto, in prima istanza, ad una diminuzione naturale dell’intensità iniziale legata alla legge di propagazione di tipo sferico. Un’altra diminuzione avviene alle interfacce (piani di discontinuità) dove l’energia viene in parte riflessa ed in parte rifratta.

A seconda delle indagini che si intendono eseguire la configurazione strumentale può variare. Fondamentalmente il sistema può essere schematizzato come segue:

- sorgente di emissione di onde elastiche: può andare da un semplice martello, un vibratore elettromagnetico o ad aria compressa, fino ad un altoparlante collegato con un generatore di rumore. Tutti gli strumenti a percussione sono dotati di un circuito collegato alla centralina di rilevazione che permette, con un impulso (trigger), di dare inizio alla registrazione delle onde soniche, nello stesso istante in cui esso viene provocato;
- captatore (di solito più di uno) dell’energia sonora: velocimetro, accelerometro, microfono;
- apparecchiatura di rilevazione dei segnali. E’ questa naturalmente il cuore dell’intero sistema ed anche la parte più sofisticata, a seconda delle tecniche di rilevamento impiegate possono esserci diverse configurazioni ma essenzialmente essa può essere composta da:
  - un amplificatore del segnale proveniente dal captatore;
  - un sistema di filtri a selezione di banda;
  - un analizzatore di segnali;
  - un oscilloscopio;
  - un registratore.

Le onde elastiche quando incontrano una soluzione di continuità del mezzo considerato omogeneo entro cui si propagano vengono in parte riflesse ed in parte rifratte.

Sfruttando questo fenomeno è possibile effettuare indagini sulle murature e più precisamente, se la muratura si presenta regolare nei componenti (ad es. mattoni) e sufficientemente legata dalla malta, è possibile, con il metodo a riflessione, indagare sulla profondità del piano di appoggio delle fondazioni. Questa possibilità è condizionata oltre che dal tipo e dalle condizioni della muratura, anche dalla forma e

dimensione della fondazione, dal modo con cui è stato realizzato l'appoggio e dallo stesso terreno di fondazione. Pur con tutte queste difficoltà e variabili, se queste vengono rilevate con attenzione, è possibile in molti casi effettuare un ottimo lavoro di rilievo.

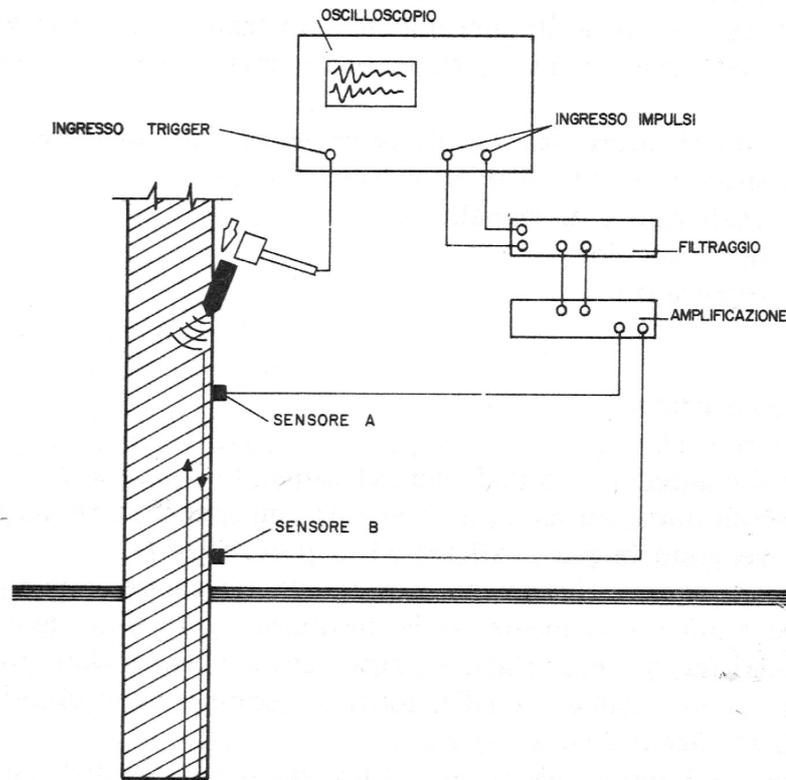


Figura 22 - Schema di prova sonica per determinare la profondità delle fondazioni considerando la muratura omogenea ed in ottime condizioni.

L'impulso elastico viene impresso dal martello tramite un'incudine e nello stesso istante partono le tracce sull'oscilloscopio. Quando l'onda raggiunge il sensore A la traccia corrispondente sull'oscilloscopio ne registra le oscillazioni, dopo un tempo  $t$  l'onda raggiunge il sensore B. Il tempo impiegato per percorrere lo spazio A-B consente di calcolare la velocità nella muratura. L'onda elastica prosegue verso il basso e raggiunta l'interfaccia muratura/terreno viene in gran parte riflessa e ritorna verso l'alto passando prima per il sensore B e poi per il sensore A. Misurando i tempi di risposta ed ipotizzando che la velocità sismica della muratura sia sempre la stessa si può calcolare la profondità del piano di appoggio delle fondazioni. Naturalmente date le possibili incognite e variabili è sempre necessario effettuare delle verifiche dirette.

Con il sistema sonico e con una configurazione strumentale simile alla precedente si possono inoltre effettuare indagini per caratterizzare le murature dando loro una classificazione relativa dal punto di vista elastico.

Si tratta in sintesi di effettuare o per trasparenza o sullo stesso lato della muratura, una serie di misure di velocità lungo rette tracciate parallelamente ed ortogonalmente tra di loro in modo tale da coprire l'intera parete da studiare.

Effettuando misure di velocità relativa tra i vari punti di incontro delle rette è possibile costruire una mappa delle velocità soniche in una muratura. Questa mappa fornirà indicazioni assai interessanti sulle variazioni delle caratteristiche elastiche di quella muratura o sulla eventuale presenza di lesioni e/o discontinuità (tamponamenti, rinforzi, rifacimenti parziali).

Come già si è accennato la velocità sonica diminuisce con il diminuire della omogeneità del mezzo, quindi con la presenza di discontinuità (anche minime) tra elemento ed elemento.

La variazione di velocità sonica in una muratura, ammesso che gli elementi (mattoni o pietrame) abbiano più o meno le stesse caratteristiche elastiche, può essere indicativa di una migliore o peggiore condizione del legante.

Nella valutazione di una mappa sonica viene anche effettuata una analisi delle frequenze registrate, che sono funzione delle caratteristiche e delle condizioni di integrità della muratura. Infatti murature degradate, o peggio la presenza di lesioni, tagliano le frequenze più alte del segnale registrato.

## *Georadar*

---

L'Imaging georadar, normalmente indicato come GPR (Ground Probing Radar) utilizza onde elettromagnetiche inviate sulla superficie dell'oggetto in esame per mezzo di un'antenna, movimentata sulla superficie stessa in modo controllato. L'antenna dello strumento riceve il segnale riflesso (eco). E' particolarmente efficace nell'indagine su materiali non elettroconduttori e per rivelare la presenza di oggetti metallici all'interno dei materiali stessi. I tempi d'indagine sono relativamente contenuti, il che permette l'ispezione di strutture di elevate dimensioni.

Il principio alla base della tecnica si basa sul fenomeno d'interferenza dell'onda radar in un dato materiale, legato alla velocità di propagazione dell'onda stessa, a sua volta dipendente dalle caratteristiche fisiche del materiale in questione. In generale, la velocità di propagazione dell'onda è influenzata dalla costante dielettrica e dalla suscettività magnetica del materiale. La profondità massima raggiungibile dall'impulso radar è funzione della frequenza dello stesso e della resistività elettrica

del materiale. Maggiore è la frequenza, minore è la profondità raggiunta. Durante la propagazione all'interno del materiale, l'onda radar subisce un'attenuazione, la cui entità è direttamente proporzionale alla conduttività elettrica del materiale stesso. Inoltre, ogni qualvolta siano presenti discontinuità strutturali (ad esempio, fratture, cavità, componenti di natura chimica o fisica diversa, ecc.), l'onda viene in parte riflessa, generando impulsi secondari. Tali impulsi vengono registrati e, se correttamente interpretati, permettono di risalire alle situazioni strutturali che li hanno generati. Nota la costante dielettrica del materiale, si può determinare la profondità dell'interfaccia riflettente.

Per le ragioni sopra esposte, la scelta della frequenza di lavoro deve tenere conto delle caratteristiche meccaniche ed elettriche dei materiali, della risoluzione spaziale richiesta e della profondità da indagare. Antenne ad alta frequenza (> 500 MHz) forniscono elevate risoluzioni spaziali ma limitate profondità di penetrazione, quindi sono adatte per investigare spessori modesti. Al contrario, antenne a bassa frequenza consentono una penetrazione superiore, con una penalizzazione, tuttavia, in termini di risoluzione spaziale.

Il risultato di un rilievo GPR è un radargramma, in pratica una sezione dell'oggetto, nel quale una delle dimensioni rappresenta la linea lungo la quale è stata movimentata l'antenna e l'altra definisce un intervallo temporale (tempo di volo dell'onda), che, una volta definita la velocità di propagazione dell'onda radar all'interno del materiale, può essere trasformato in una dimensione spaziale (profondità).

L'analisi dei dati radar è effettuata mediante un programma dedicato. Il primo passo riguarda l'identificazione dell'origine temporale delle strutture radar (orizzonte della superficie esterna), in quanto da ciò dipende la misura delle profondità. Il risultato dell'elaborazione ed interpretazione dei dati consiste in sezioni bidimensionali stratigrafiche che descrivono le caratteristiche strutturali del campione. Normalmente vengono applicate tecniche di processamento che prevedono la correzione dei dati tenendo conto di particolari effetti fisici e strumentali. Nella fase di interpretazione dei dati radar, si utilizzano le informazioni rese disponibili dal rilievo fotogrammetrico e quelle ottenute attraverso ispezioni visive. Il modello fotogrammetrico in ambiente CAD può essere utilizzato per predisporre l'inserimento sia di radargrafie (immagini bitmap) che di sezioni strutturali interpretate (immagini vettoriali). La relativa procedura, ottimizzata mediante l'utilizzo di prodotti software specifici, prevede la gestione semiautomatica dei dati in alcuni punti del processo di elaborazione.

## *Misuratori di umidità a carburo*

---

L'umidità superficiale può essere facilmente determinata utilizzando misuratori a carburo di calcio. Un campione della superficie da esaminare viene prelevato con un trapano, o grattandolo con attrezzo idoneo, dalla parete, poi introdotto nella bottiglia con una dose di carburo di calcio e delle sfere in acciaio che servono a rompere la fiala contenente il carburo. La bottiglia viene immediatamente chiusa e agitata ed il gas si sviluppa ad una pressione correlata all'umidità e misurata con un manometro analogico o digitale.



*Figura 23 - Misuratore standard a carburo (Mod. 19-T19/E della Controls).*

## *Psicrometro*

---

Lo psicrometro è uno strumento composto di due termometri uguali affiancati su di uno stesso supporto; l'uno detto termometro asciutto ha il bulbo libero come in tutti i comuni termometri; l'altro detto termometro bagnato ha il bulbo avvolto in una pezzuola, che durante le misure deve essere bagnata, il che si ottiene facendola adescare per capillarità da un estremo dentro una sottostante piccola vaschetta o vasetto pieno d'acqua. È bene usare acqua distillata, quantunque la misura sia identica se si adopera anche acqua comune; quest'ultima è da evitare soltanto perché con la ripetuta evaporazione finisce per incrostare la pezzuola, ciò che a lungo andare può influire sulla lettura dei dati. All'atto di usare lo psicrometro si accelera con una leggera ventilazione l'evaporazione della pezzuola del termometro bagnato (basta un cartoncino agitato ad uso di ventaglio), provocando con ciò il raffreddamento del

termometro bagnato, mentre l'altro asciutto non subisce variazioni sotto l'effetto del movimento dell'aria. La differenza di temperatura segnata dai due termometri sarà tanto maggiore quanto più forte è l'evaporazione dell'acqua, ossia quanto più asciutta è l'aria; il termometro bagnato segnerà meno di quello asciutto. I due dati da rilevare sono: la differenza fra le letture dei due termometri e la temperatura di quello bagnato; allo strumento è sempre unita una tabella che per ogni coppia di questi dati, fornisce la corrispondente umidità relativa dell'aria.

Gli strumenti migliori hanno le scale termometriche incise sul vetro e la graduazione di lettura almeno fino ad  $1/5$  di grado; in qualche tipo per la ventilazione è predisposto un piccolo ventilatore. Quando la temperatura del termometro bagnato scende a zero o sotto, la misura diviene incerta, anche perché la crosta di ghiaccio che si forma è cattiva conduttrice di calore, ed impedisce di raggiungere la temperatura che effettivamente competerebbe al termometro bagnato. Perciò alle basse temperature, quando può formarsi il ghiaccio, è più attendibile l'indicazione dell'igrometro a capello, alle temperature normali è sempre da preferirsi l'indicazione dello psicrometro.

### *Misure di spostamento angolare*

---

Tali misure vengono effettuate mediante strumenti, clinometri o inclinometri, a funzionamento meccanico o elettrico. Questi ultimi sono di gran lunga i più interessanti per la loro maggior flessibilità di impiego. Essi infatti possono essere applicati anche in punti difficilmente raggiungibili e letti o registrati automaticamente in zone distanti dal punto di misura. Inoltre, dato il loro sistema costruttivo, è facile assemblarli in cascata o a coppie in modo da ottenere informazioni su più punti di una stessa verticale e, leggendo su due assi ortogonali, ricostruire nello spazio anche la direzione dello spostamento oltre al valore assoluto. Il fissaggio di questi strumenti avviene tramite apposite staffe di montaggio bloccate alla muratura attraverso viti o spine.

Il trasduttore di questi inclinometri può essere costituito da strain gages o potenziometri angolari accoppiati ad un microscopico pendolo, o da servo accelerometri.



Figura 24 - Esempio di inclinometro fisso da parete (Seika).

## Magnetometria

---

Con il termine magnetometria si fa riferimento alla tecnica che consente il rilevamento di materiali ferromagnetici nascosti.

Il principio fisico si basa sulla ricerca e individuazione di corpi metallici inclusi in materiali inerti, fatta con apparecchiature che applicano il principio dell'induzione.

Se un conduttore di lunghezza "l" si muove con una velocità "v" attraverso un campo magnetico di intensità B, ci saranno delle forze agenti sulle particelle cariche del conduttore che sposteranno le cariche positive verso una estremità del conduttore e quelle negative verso l'altra. Si viene quindi a stabilire un gradiente del potenziale lungo il conduttore che comporterà una differenza di potenziale "e" tra le due estremità.

La relazione tra le variabili è:

$$e = B \cdot l \cdot v$$

dove:

- B = densità del flusso del campo;
- l = lunghezza del conduttore;
- v = velocità.

Se le estremità del conduttore sono collegate con un circuito esterno stazionario rispetto al campo magnetico la tensione indotta causerà in generale il passaggio di una corrente "i". Tale corrente passa attraverso il conduttore in movimento, che ha resistenza R, causando una caduta  $iR$ ; perciò la tensione terminale del conduttore in movimento diviene  $V = e - i \cdot R$ .

Lo schema di funzionamento degli apparecchi cerca-metallo consiste in una bobina percorsa da una corrente ad alta frequenza generata da un oscillatore. In presenza di

metalli, a causa delle correnti parassite, si ha un elevato assorbimento della corrente. Tale assorbimento è proporzionale al quadrato della distanza.

Ovvero lo schema può essere il seguente: una bobina emette una frequenza costante di valore opportuno, ortogonalmente a questa è posta un'altra bobina assai avvicinata. La geometria delle due bobine è tale che il campo elettromagnetico della bobina emittente non viene intercettato dalla bobina ricevente. In presenza di metalli si ha deformazione del campo magnetico e la bobina ricevente risente le variazioni.

Le apparecchiature funzionanti con il secondo sistema hanno, rispetto alle altre, una maggiore "portata", cioè individuano la presenza di oggetti metallici anche a profondità maggiori ad 1 m (se di massa ragguardevole), ma non hanno una suddivisione di "scala" tale da poter individuare con sufficiente precisione ( $\pm 1$  cm) le dimensioni degli oggetti metallici.

Più in particolare le apparecchiature usate nella diagnostica sono strumenti elettronici progettati per la ricerca diretta e non distruttiva di elementi metallici ferromagnetici e non (tubazioni di ghisa grigia, piombo, rame) incassati in materiale elettricamente non conduttivo.

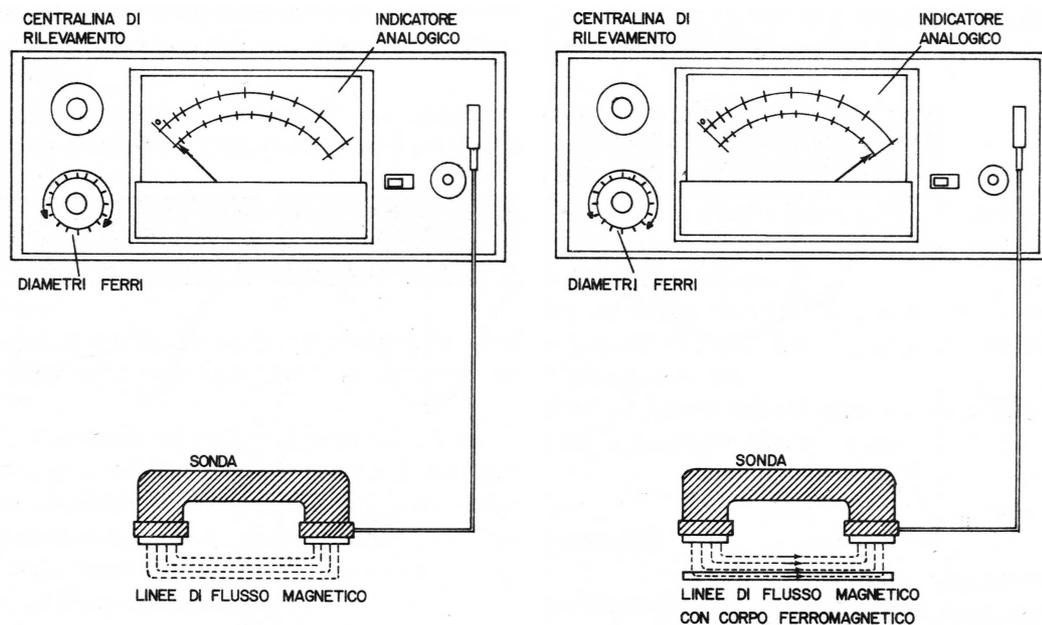


Figura 25 - Schema di funzionamento di un magnetometro.

Le misurazioni si basano sullo smorzamento di un circuito risonante in parallelo. Una corrente alternata con una frequenza prefissata e costante scorre attraverso la bobina della sonda creando un campo magnetico alternato.