

## INDICE

### ALLEGATO A – APPROFONDIMENTI ALLA FASE DELL’ANAMNESI.....3

PROVE GEOTECNICHE .....	5
<i>Prove penetrometriche</i> .....	5
<i>Indagini geofisiche</i> .....	7
<i>Prova edometrica</i> .....	8
<i>Prova triassiale</i> .....	9
METODI DI RAPPRESENTAZIONE .....	9
INSETTI XILOFAGI .....	12
<i>I Coleotteri</i> .....	12
<i>Isotteri (Termiti)</i> .....	14
FUNGHI.....	16
<i>Funghi da carie del legno</i> .....	16
<i>Funghi da colorazione</i> .....	17
UMIDITÀ.....	19
PROVE DI LABORATORIO.....	20
<i>Prove dinamiche su tavola vibrante</i> .....	20
<i>Prove quasi statiche</i> .....	23
<i>Prove pseudodinamiche</i> .....	25

### ALLEGATO B - STRUMENTAZIONE E METODI DI RILEVAMENTO .....27

ENDOSCOPIO.....	28
TERMOGRAFIA.....	29
MARTINETTO PIATTO SEMPLICE E DOPPIO.....	32
DISTANZIOMETRI.....	37
FESSURIMETRO .....	37
CALIBRO CROCKETT.....	39
PROVE SONICHE.....	39
GEORADAR .....	42
MISURATORI DI UMIDITÀ A CARBURO.....	44
PSICROMETRO .....	44
MISURE DI SPOSTAMENTO ANGOLARE .....	45
MAGNETOMETRIA .....	46
ULTRASUONI .....	49
PENETROMETRO WINDSOR .....	53
P.O.R.T. (PULL-OUT AND REALEASE TEST) .....	53

MICROCAROTAGGI .....	54
<b>ALLEGATO C – TECNICHE D’INTERVENTO .....</b>	<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>83</b>

## *Allegato A – Approfondimenti alla fase dell'anamnesi*

## Patologie di degrado

Confini	<ul style="list-style-type: none"> <li>- valutazione della situazione viaria e del traffico</li> <li>- valutazione delle condizioni meteo-climatiche e ambientali</li> <li>- valutazione dello stato di inquinamento</li> <li>- valutazione delle alberature (eventuali danneggiamenti delle radici, condizioni di illuminazione)</li> </ul>
Drenaggio al suolo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- condizioni insalubri e parassiti</li> <li>- presenza di blocchi nei canali di drenaggio</li> <li>- guarnizioni spaccate</li> </ul>
Fondazioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sovraccarico</li> <li>- assestamenti differenziali</li> <li>- spinte del terreno</li> <li>- funzionamento dei sistemi di drenaggio</li> <li>- presenza di falde freatiche, acque disperse, infiltrazioni</li> </ul>
Muri in elevato	<ul style="list-style-type: none"> <li>- crepe da assestamento</li> <li>- lesioni</li> <li>- fuori piombo</li> <li>- spinte</li> <li>- carico delle coperture</li> <li>- stato degli infissi</li> <li>- deterioramento del materiale</li> <li>- perdita di allineamento</li> <li>- umidità di risalita, di infiltrazione e di condensa</li> <li>- presenza di legname incastrato</li> <li>- aderenza dell'intonaco</li> </ul>
Finestre e porte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- corrosione negli elementi metallici</li> <li>- marciume negli elementi lignei</li> <li>- condizione dei vetri e delle intelaiature; verifica della loro tenuta al vento e alla pioggia</li> <li>- funzionamento del sistema di apertura e chiusura</li> <li>- condensa, mancanza di ventilazione</li> <li>- efficacia delle condizioni di illuminazione</li> </ul>
Orizzontamenti e pavimentazioni	<ul style="list-style-type: none"> <li>- superna ineguali, deteriorate e scheggiate</li> <li>- presenza di umidità</li> <li>- condensazione</li> <li>- mancanza di ventilazione sotto il pavimento</li> <li>- giunture marcite o infestate dagli scarafaggi</li> <li>- strutture eccessivamente elastiche</li> <li>- sovraccarichi</li> </ul>
Superfici interne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cedimenti, rigonfiamenti, disuguaglianze</li> <li>- lesioni visibili esternamente e internamente</li> <li>- condensazione, sali igroscopici</li> <li>- alterazione e distacchi di tinteggiature e decorazioni</li> </ul>
Canne fumarie e camini	<ul style="list-style-type: none"> <li>- depositi di catrame e sali igroscopici</li> <li>- presenza di legni incastrati, che possono costituire un pericolo per gli incendi</li> <li>- tiraggio scorretto o mancante</li> </ul>
Strutture del tetto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- inadeguato disegno delle pendenze</li> <li>- scarsa resistenza al vento e alla neve</li> <li>- perdite o carenze nell'apparato di coinvolgimento delle acque piovane</li> <li>- presenza dei dissesti e/o alterazione del materiale del manto di copertura</li> <li>- presenza di vegetazione sulla copertura</li> <li>- attacco del legno da insetti o da funghi</li> <li>- corrosione di elementi strutturali in acciaio</li> <li>- ventilazione inadeguata nel sottotetto</li> <li>- impermeabilizzazione e/o isolamento insufficienti</li> </ul>
Impianti e dispositivi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- efficacia e adeguatezza degli impianti</li> <li>- danneggiamenti e perdite nelle tubature</li> <li>- impianti elettrici scoperti, corrosione dei cavi, condensazione nei condotti</li> <li>- efficienza e stato di conservazione di caldaia, tubature e apparecchi di riscaldamento</li> <li>- efficienza e stato di conservazione dei dispositivi eventualmente esistenti nel fabbricato</li> </ul>

## *Prove geotecniche*

---

---

### *Prove penetrometriche*

Le prove penetrometriche possono essere eseguite con penetrometri statici o dinamici.

I penetrometri statici si usano per sabbie e terre a grana fine. I risultati dalla prova vengono forniti in un diagramma nel quale si indicano su un asse la profondità e sull'altro la resistenza alla punta [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ] e la resistenza totale [kg].

La prova penetrometrica statica (*CPT = Cone Penetration Test*) consiste nell'infiggere a pressione nel terreno una punta conica misurando separatamente ma con continuità lo sforzo necessario per la penetrazione della punta e l'adesione terreno-acciaio di un manicotto posto al di sopra della punta. Ciò è possibile solo con una punta strumentata elettricamente. Se la punta è munita di settore poroso e relativo trasduttore (piezocono) viene misurata anche la pressione nei pori corrispondente al livello idrostatico ed allo sforzo conseguente alla penetrazione nel terreno.

Sovente le misure non sono continue poiché la punta è libera (telescopica) rispetto alle aste di spinta; questo avviene in genera solo con le punte cosiddette "meccaniche" per le quali la misura della spinta viene fatta in superficie.

La prova CPT è uno strumento ineguagliabile per:

- rilevare l'andamento stratigrafico lungo una verticale;
- individuare i tipi di terreno attraversati;
- interpolare l'andamento degli strati fra verticali di sondaggio.

I valori misurati possono inoltre essere utilizzati per valutare:

- l'angolo d'attrito e la compressibilità drenata dei terreni granulari;
- la resistenza al taglio non drenata dei terreni coesivi.

Con il piezocono le rilevazioni e le valutazioni sopra menzionati acquistano maggior dettaglio e precisione, e si aggiungono:

- informazioni circa il livello idrostatico della falda nel terreno a varie quote;
- valutazioni sulle caratteristiche di consolidazione dei materiali coesivi teneri.

La profondità di penetrazione nel terreno è funzione delle possibilità di spinta del penetrometro impiegato e della natura del terreno. Ghiaia e ciottoli costituiscono normalmente un ostacolo alla penetrazione.

Per l'identificazione dei terreni attraversati ci si avvale di correlazioni empiriche fra tipo di terreno e rapporto fra attrito laterale e resistenza alla punta, rapporto considerato in relazione alla resistenza alla punta. La valutazione dei parametri

geotecnici è anch'essa fondata su correlazioni empiriche. Frequente è l'utilizzo diretto dei risultati nella valutazione della capacità portante dei pali. I risultati vengono anche direttamente utilizzati per valutare, su basi empiriche, la capacità portante ed i cedimenti delle fondazioni dirette.

I penetrometri dinamici presentano varie configurazioni geometriche. Un tipo di prova ormai ben calibrata è lo Standard Penetration Test (S.P.T.). La prova SPT consente di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso a partire dal fondo di un foro di sondaggio. La resistenza è funzione delle caratteristiche e del tipo di terreno. Con la prova viene anche prelevato un campioncino (non indisturbato) del terreno interessato. Essa consiste nel far cadere un maglio, del peso di 63.5 kg, da un'altezza di 760 mm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitato il campionatore di dimensioni standardizzate. Il numero di colpi (N) necessario per una penetrazione del campionatore pari a 300 mm (dopo l'eventuale penetrazione quasi statica per gravità e dopo 150 mm di infissione dinamica per il posizionamento) è il dato assunto come indice della resistenza alla penetrazione ( $N_{SPT}$ ).

La prova SPT ha alcuni grandi vantaggi rispetto alle altre prove in sito:

- è eseguibile nel corso di un sondaggio senza l'adozione di particolari e costose attrezzature supplementari;
- può essere eseguita in tutti i tipi di terreno, incluse le rocce tenere;
- consente, attraverso l'esame del campione prelevato, una più sicura interpretazione del risultato;
- è diffusa in tutto il mondo e quindi abbondante è la relativa bibliografia interpretativa.

Per contro:

- non simula in genere il comportamento del terreno nel campo delle sollecitazioni statiche ed i risultati possono essere quindi correlati solo empiricamente con i parametri geotecnici;
- i risultati possono essere fortemente influenzati dalle caratteristiche dell'attrezzatura, dalle modalità esecutive e dalla professionalità dell'operatore.

### *Vane test*

La prova denominata «Vane test» o scissometrica consiste nell'infiggere nel terreno, a opportuna profondità, un'asta terminante con alette e nel farla ruotare, misurando la coppia di torsione. La reazione che si sviluppa sulla superficie di rotazione consente

di determinare la resistenza al taglio non drenata in argille anche di bassa consistenza attraverso la formula

$$S_u = \frac{T}{K}$$

essendo

T = torsione massima applicata (al netto degli attriti);

K = costante dipendente dalle dimensioni e dalla forma della paletta e dalla distribuzione del taglio assunto lungo le estremità della paletta.

Le caratteristiche misurabili con la prova scissometrica sono:

- la resistenza al taglio non drenata di argille di consistenza da tenere a media;
- la sensitività di terreni coesivi (rapporto fra resistenza indisturbata e rimaneggiata);
- un indice della variabilità del terreno all'interno di un deposito.
- In combinazione con i risultati di prove di laboratorio triassiali non drenate consente una valutazione del coefficiente di spinta della terra a riposo  $k_0$ . I risultati normalizzati in rapporto alla pressione verticale esistente alla profondità di prova, possono essere utilizzati anche per stimare la storia dello stato tensionale del deposito.

### *Indagini geofisiche*

Tra le indagini geofisiche si ritiene opportuno trattare prevalentemente quelle sismiche, rimandando alla letteratura per altre tipologie (elettriche, ecc.). Questi metodi sono basati sulla determinazione di alcune caratteristiche fisiche dei terreni tra le quali velocità di propagazione delle onde elastiche, resistività elettrica, densità, ecc.

Tra le indagini con metodi sismici vi sono le prove cross-hole nelle quali si misura la velocità di propagazione tra due perforazioni su percorsi orizzontali. Le onde vengono generate, con impulsi prodotti ad una certa profondità, in una perforazione mediante opportuni generatori e gli arrivi delle onde elastiche vengono rilevati da un ricevitore (geofono) posizionato nell'altra perforazione alla stessa profondità. Dalla misura delle velocità di propagazione  $V_p$  delle onde elastiche di compressione e  $V_s$  delle onde elastiche trasversali, è possibile calcolare i moduli dinamici di Young (E) e di taglio (G) con relazioni valide per un mezzo continuo omogeneo e isotropo. I moduli dinamici derivano dalle equazioni di equilibrio dinamico e corrispondono a livelli di deformazione estremamente bassi.

Nelle prove down-hole le onde elastiche sono generate in superficie con un'apposita attrezzatura e sono raccolte da un ricevitore in una perforazione in modo tale da avere percorsi suborizzontali. Recentemente sono state applicate le tecnologie cross-hole e down-hole alle prove penetrometriche statiche attrezzando opportunamente l'apparecchiatura penetrometrica.

Sempre fra i metodi sismici vi è quello dell'analisi spettrale delle onde di superficie (SASW) che si basa sulla registrazione, con geofoni adatti, delle onde superficiali di Rayleigh prodotte da opportuni generatori posti in superficie e che, con un sofisticato procedimento di elaborazione dei dati, perviene alla determinazione del profilo della velocità dell'onda di taglio con la profondità e quindi alla determinazione del modulo dinamico  $G$ .

Vi sono poi le prove con metodi elettrici che generalmente misurano la resistività. Una corrente elettrica viene inviata nel terreno con due elettrodi e si misura la caduta di potenziale. Il flusso della corrente attraverso il terreno è dovuto principalmente all'azione elettrolitica e dipende quindi dalla concentrazione di sali disciolti nell'acqua dei pori, mentre le particelle solide sono dei bassi conduttori di corrente. La resistività di un terreno decresce all'aumentare del contenuto d'acqua e della concentrazione di sali.

Le indagini geofisiche devono essere generalmente accoppiate a indagini dirette, quali sondaggi e prove penetrometriche, in modo da avere verticali di riferimento sicure.

### *Prova edometrica*

La prova edometrica comporta la compressione di un campione di terreno di dimensioni ridotte, posizionato all'interno di un cilindro che ne impedisce l'espansione in direzione radiale. La prova è semplice e corrisponde a condizioni di deformazione nel terreno che si presentano frequentemente nei problemi di fondazione. In terreni argillosi le deformazioni dipendono dalla fuoriuscita di acqua dal provino e la rapidità del fenomeno dipende dalla porosità del terreno. Dai risultati della prova si ottiene una relazione tra l'indice dei vuoti e la pressione effettiva ed inoltre un insieme di curve rappresentative dei cedimenti in funzione del tempo, per varie pressioni. Apportando le opportune correzioni per fattori di scala, questa prova consente una previsione degli abbassamenti nel tempo del terreno sottostante un edificio di noto peso.



### *Prova triassiale*

Nella prova triassiale un campione cilindrico di terra, racchiuso in una sottile membrana di gomma, è posto in una cella riempita d'acqua che viene portata ad una predeterminata pressione di confinamento. Successivamente, mediante un pistone verticale, è applicata al provino una pressione addizionale sulle basi del cilindro fino alla rottura del campione. Tubi collegati alle estremità del campione permettono l'eventuale drenaggio dell'acqua oppure la misura della pressione neutra dell'acqua contenuta nel campione stesso. Questa prova, più onerosa ma più completa della precedente, consente di definire un dominio di rottura per il materiale e consente di simulare con maggior precisione una prova di consolidazione, ottenendo così le caratteristiche meccaniche più salienti del materiale oggetto di indagine.

### *Metodi di rappresentazione*

---

La necessità di organizzare un lessico che, seppure rigorosamente definito, consente comunque un certo grado di elasticità nel considerare e raggruppare i fenomeni di alterazione, è conseguenza diretta, della complessità dei problemi analizzati.

I criteri atti a discriminare le diverse patologie sono molteplici. Per alcune voci si fa riferimento al processo di degrado indipendentemente dalla morfologia, per altre ci si basa sull'aspetto finale del materiale inalterato. Per alcuni casi il lessico si riferisce ad uno stesso tipo di fenomeno, contraddistinto da stati di gravità differenti. La maggior parte delle patologie sono però caratterizzate da un rapporto molto stretto tra causa alterativa e tipologia dell'alterazione, e come tali sono descritte.

TABELLA DEI SIMBOLI GRAFICI

























 Letraset 329	Alterazione cromatica	 Letraset 121	Distacco	 Letraset 928	Patina
 Letraset 130	Alveolizzazione	 Letraset 963	Efflorescenza	 Letraset 225	Patina biologica
 Letraset 115	Concrezione	 Letraset 122	Erosione	 Letraset 121	Pellicola
 Letraset 915	Crosta	 Letraset 995	Estfoliazione	 Letraset 970	Pitting
 Letraset 924	Deformazione	 Pennino 0.8	Fratturazione o fessurazione	 Letraset 968	Polverizzazione
 Letraset 330	Degradazione differenziale	 Letraset 913	Incrostazione	 R 41 - G 823	Presenza di vegetazione
 Letraset 122	Deposito superficiale	 Letraset 923	Lacuna Mancanza	 Letraset 923	Rigonfiamento
 Letraset 132	Disgregazione	 Letraset 923	Macchia	 Letraset 331	Scagliatura

Figura 1 - Lessico per la descrizione delle alterazioni e degradazioni macroscopiche dei materiali lapidei. Rilevamento dello stato di alterazione.

Si riporta di seguito la descrizione di ogni singola patologia.

[...]

NORMAL 1/88

**ALTERAZIONE CROMATICA.** Alterazione che si manifesta attraverso la variazione di uno o più parametri che definiscono il colore: tinta (hue), chiarezza (value), saturazione (chroma). Può manifestarsi con morfologie diverse a seconda delle condizioni e può riferirsi a zone ampie o localizzate.

**ALVEOLIZZAZIONE.** Degradazione che si manifesta con la formazione di cavità di forme e dimensioni variabili. Gli alveoli sono spesso interconnessi e hanno distribuzione non uniforme. Nel caso particolare in cui il fenomeno si sviluppa essenzialmente in profondità con andamento a diverticoli si può usare il termine alveolizzazione a cariatura.

**CONCREZIONE.** Deposito compatto generalmente formato da elementi di estensione limitata, sviluppato preferenzialmente in una sola direzione non coincidente con la superficie lapidea. Talora può assumere forma stalattitica o stalagmitica.

**CROSTA.** Strato superficiale di alterazione del materiale lapideo o dei prodotti utilizzati per eventuali trattamenti. Di spessore variabile, è dura, fragile e distinguibile dalle parti sottostanti per le caratteristiche morfologiche e, spesso, per il colore. Può distaccarsi anche spontaneamente dal substrato che, in genere, si presenta disgregato e/o polverulento.

**DEFORMAZIONE.** Variazione della sagoma che interessa l'intero spessore del materiale e che si manifesta soprattutto in elementi lastriformi.

**DEGRADAZIONE DIFFERENZIALE.** Degradazione da porre in rapporto a eterogeneità di composizione o di struttura del materiale, tale quindi da evidenziarne spesso gli originali motivi tessiturali o strutturali.

**DEPOSITO SUPERFICIALE.** Accumulo di materiali estranei di varia natura, quali, ad esempio, polvere, terriccio, guano ecc. Ha spessore variabile e, generalmente, scarsa coerenza e aderenza al materiale sottostante.

**DISGREGAZIONE.** Decoesione caratterizzata da distacco di granuli o cristalli sotto minime sollecitazioni meccaniche.

**DISTACCO.** Soluzione di continuità tra strati superficiali del materiale, sia tra loro sia rispetto al substrato; prelude in genere alla caduta degli strati stessi. Il termine si usa in particolare per gli intonaci e i mosaici. Nel caso di materiali lapidei naturali le parti distaccate assumono spesso forme specifiche in funzione delle caratteristiche strutturali e tessiturali e si preferiscono allora voci quali crosta, scagliatura, esfoliazione.

**EFFLORESCENZA.** Formazione di sostanze, generalmente di colore biancastro e di aspetto cristallino o polverulento, o filamentoso, sulla superficie del manufatto. Nel caso di efflorescenze saline, la cristallizzazione può talvolta avvenire all'interno di materiale, provocando spesso il distacco delle parti più superficiali: il fenomeno prende allora il nome di criptoefflorescenza e subflorescenza.

**EROSIONE.** Asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa. Quando sono note le cause di degrado, possono essere utilizzati anche termini come erosione per abrasione o erosione per corrosione (cause meccaniche), erosione per corrosione (cause chimiche e biologiche), erosione per usura (cause antropiche).

**ESFOLIAZIONE.** Degradazione che si manifesta con distacco, spesso seguito da caduta, di uno o più strati superficiali subparalleli tra loro (sfoglie).

**FRATTURAZIONE O FESSURAZIONE.** Degradazione che si manifesta con la formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle parti.

**INCROSTAZIONE.** Deposito stratiforme, compatto e generalmente aderente al substrato, composto da sostanze inorganiche o da strutture di natura biologica.

**LACUNA.** Caduta e perdita di parti di un dipinto murale, con messa in luce degli strati di intonaco più interni o del supporto.

**MACCHIA.** Alterazione che si manifesta con pigmentazione accidentale e localizzata della superficie; è correlata alla presenza di materiale estraneo al substrato (per esempio ruggine, sali di rame, sostanze organiche, vernici).

**MANCÀNZA.** Caduta e perdita di parti. Il termine, generico, si usa quando tale forma di degradazione non è descrivibile con altre voci del lessico. Nel caso particolare degli intonaci dipinti si adopera di preferenza lacuna.

**PATINA.** Alterazione strettamente limitata a quelle modificazioni naturali della superficie dei materiali non collegabili a manifesti fenomeni di degradazione e percepibili come una variazione del colore originario del materiale. Nel caso di alterazioni indotte artificialmente si usa di preferenza il termine patina artificiale.

**PATINA BIOLOGICA.** Strato sottile, morbido e omogeneo, aderente alla superficie e di evidente natura biologica, di colore variabile, per lo più verde. La patina biologica è costituita prevalentemente da microrganismi cui possono aderire polvere, terriccio ecc.

**PELLICOLA.** Strato superficiale di sostanze coerenti fra loro ed estranee al materiale lapideo. Ha spessore molto ridotto e può distaccarsi dal substrato, che in genere si presenta integro.

**PITTING.** Degradazione puntiforme che si manifesta attraverso la formazione di fori ciechi, numerosi e ravvicinati. I fori hanno forma tendenzialmente cilindrica con diametro massimo di pochi millimetri.

**POLVERIZZAZIONE.** Decoesione che si manifesta con la caduta spontanea del materiale sotto forma di polvere o granuli.

**PRESENZA DI VEGETAZIONE.** Locuzione impiegata quando vi sono licheni, muschi e piante.

RIGONFIAMENTO. Sollevamento superficiale e localizzato del materiale, che assume forma e consistenza variabile.

SCAGLIATURA. Degradazione che si manifesta col distacco totale o parziale di parti (scaglie) spesso in corrispondenza di soluzioni di continuità del materiale originario. Le scaglie, costituite generalmente da materiale in apparenza inalterato, hanno forma irregolare e spessore consistente e disomogeneo. Al di sotto possono essere presenti efflorescenza o patine biologiche.

## *Insetti xilofagi*

---

### *I Coleotteri*

Insetti che volano e depongono le uova nei pori e nelle fenditure del legno. I danni maggiori sono provocati dalle larve che scavano delle gallerie nell'interno del materiale in opera. Sono presenti in tutta Europa, ma il rischio di attacco varia in misura notevole a seconda dell'area geografica.

I più importanti sono *Hylotrupes bajulus*, *Anobium punctatum* e *Lyctus brunneus*. Esistono molti altri insetti di minor importanza che distruggono il legno; fra essi, per esempio, *Hesperophanes* e *Xestobium rufovillosum*.

- *Hylotrupes bajulus* (Capricorno delle case): è senza dubbio uno dei maggiori nemici del legno in opera, specialmente di Conifere, ed i danni provocati dalle larve sono estremamente gravi. È presente fino ad un'altitudine di circa 2.000 m, di minor importanza nel nord, nord-ovest dell'Europa. La vitalità di questo insetto dipende dalla temperatura e dall'umidità dell'aria. Il periodo di incubazione delle uova può essere di 5-9 giorni con temperatura di 31,5 °C e umidità del 90-95% oppure di 48 giorni con temperatura di 16,6 °C e umidità ambientale del 18% (condiziona quest'ultima assai sfavorevole). Le larve scavano gallerie piene di rosse prevalentemente nell'alburno provocando gravi danni strutturali al legno che può perdere del tutto la sua struttura e la sua consistenza.



*Figura 2 - Capricorno delle case.*

- *Anobium punctatum* (Tarlo dei mobili): è particolarmente diffuso nelle zone a clima marittimo e ovunque prevalgano condizioni di elevata umidità. L'attacco avviene di preferenza su legno abbattuto o già in opera indifferentemente di conifera o di latifoglia, coinvolgendo l'alburno ed il durame. Le larve sono responsabili di scavare delle gallerie con rossura grossolana mescolata ad escrementi. Anche se molto attaccato il legno non perde completamente la sua resistenza e la struttura è sempre riconoscibile.



Figura 3 - Tarlo dei mobili.

- *Xestobium rufovillosum* (Orologio della morte): attacca di preferenza il legno abbattuto o già in opera, ma comunque sufficientemente umido, di Latifoglie varie (Querce, Olmo, Noce, Ontano, Pioppi) oppure su vecchie capitozze deperenti di Salice. I danni dello *Xestobium* sono analoghi a quelli dell'*Anobium*. Di importanza significativa per i legni utilizzati nelle strutture in vecchie costruzioni nella maggior parte d'Europa.
- *Lyctus brunneus* (Lyctus): ha ricevuto nel passato scarsa attenzione, ma i danni che causa sul legname in opera per infissi e mobili appaiono attualmente molto gravi. La larva, che si sviluppa in maniera ottimale con umidità del legno elevata, attacca tutte le Latifoglie nostrane a legno tenero e con grossi vasi, nonché l'alburno delle specie dure, particolarmente delle Querce. Le sole specie che sembrano immuni sono il Pioppo, il Faggio e la Betulla, mentre gli Eucalipti risultano essere attaccati. Se l'infestazione è particolarmente forte la massa intera del legno si trasforma in un ammasso unico di rossura compressa nella quale non è nemmeno più riconoscibile la struttura dei tessuti.



Figura 4 – Lyctus.

- *Hesperophanes* sp.p.: specie diffusa nell'Europa Centrale e meridionale. I legni più colpiti sono quelli di Cerro, Robinia, Faggio, Pioppo, Noce e Castagno. Le femmine depongono le uova di preferenza nelle fessure e nelle anfrattuosità del legno in opera come travature dei tetti, mobili, pavimenti in legno ed ogni genere di infissi. I danni causati dalle larve possono essere molto gravi perché coinvolgono irreparabilmente la struttura e la resistenza meccanica del pezzo. Risulta infine assai difficile diagnosticarne la presenza.

### *Isotteri (Termiti)*

Insetti sociali suddivisi in varie famiglie. Le specie più pericolose per gli edifici sono quelle sotterranee, principalmente *Reticulitermes lucifugus* e il *Reticulitermes santonensis*.

In Europa le termiti sono presenti soltanto in certe aree geografiche limitate; la presenza è accertata in Italia in tutta la parte peninsulare e nelle isole. In tali zone, l'uso di prodotti preservanti del legno nella lotta contro le termiti è integrato dall'adozione di altre misure di protezione prese, per esempio per pavimenti, per fondamenta e per pareti. L'estrema pericolosità dell'attacco dipende dal fatto che, poiché la loro attività rifugge assolutamente la luce, nulla si percepisce ad una sommaria ispezione in quanto la superficie esterna dei pezzi di legno è sempre accuratamente rispettata cosicché l'allarme (sempre tardivo) è dato dal crollo di qualche trave o dallo sfondamento di qualche infisso quando l'infestazione ormai è pienamente in atto.

SPECIE DI INSETTO	ESAME MACROSCOPICO	PROVA DEL DITO	ESAME CON LENTE D'INGRANDIMENTO
Anobium punctatum	Apparenza granulare; pallottoline appena visibili di forma ellissoidale	Granuloso come sabbia sottile	Detriti costituiti interamente di pallottoline cilindriche appuntite a uno o entrambi gli estremi
Xestobium rufovillosum	Pallottoline a forma di crocchia facilmente riconoscibili e bene emergenti	Granuloso come sabbia grossolana	Pallottoline a forma di crocchia (7,5 mm)
Ernobius mollis	Pallottoline a forma di crocchia simili a quelle dello Xestobium, ma più piccole. Alcune sono di colore scuro, essendo costituite prevalentemente di corteccia	Come per lo Xestobium, ma meno granulose	Pallottoline a forma di crocchia (5 mm) sia luminose sia scure
Pentarthrum huttoni o Euophirum confine	Polvere fine dall'aspetto molto granulare	Leggermente più granulosa del Lyctus, ma ancora sottile	Detriti costituiti interamente da pallottoline molto piccole di forma cilindrica
Hylotropes bayulus	Polvere fina mista a pallottoline a forma di tubo cilindrico	Le pallottoline sono emergenti e ruvide	Larghe pallottoline con estremità ben squadrate (a forma di botte), diametro pari a circa 1 mm
Sirex	Particelle di segatura sfilacciate, densamente compattate	Come segatura molto sottile	Brandelli di legno
Lyctidae e Bostrychidae	Polvere molto sottile	Come polvere di talco	Polvere molto sottile con nessuna caratteristica formale

Tabella 1 – Criteri di riconoscimento degli insetti distruttori del legno.

## *Funghi*

---

I funghi sono degli organismi vegetali inferiori privi di clorofilla, che si nutrono a spese di materiali organici già elaborati.

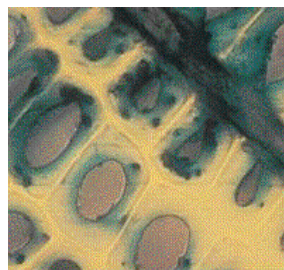
Questi materiali possono essere residui di organismi un tempo viventi (ed allora i Funghi sono detti Saprofiti) oppure parte integrante di organismi in attività vitale (nel qual caso i Funghi sono Parassiti).

L'importanza dei funghi nel campo del legname è particolarmente notevole per i fenomeni di distruzione e di disorganizzazione del corpo legnoso che essi provocano.

### *Funghi da carie del legno*

Per lo sviluppo di questi funghi è necessaria una umidità del legno superiore al 20%.

- Funghi Basidiomiceti da carie: sono funghi che quando attaccano la cellulosa provocano una diminuzione delle dimensioni del legno, accompagnata da una fessurazione in prismi o cubetti privi di consistenza tanto da poter essere schiacciati con le dita. L'area di sviluppo del fungo assume colore bruno, da cui deriva il nome di carie bruna o distruttiva. Se l'attacco dei basidiomiceti non si limita alla cellulosa ma coinvolge anche la lignina, il legno assume un colore più chiaro di quello del materiale sano e si riduce addirittura ad una massa fibrosa biancastra (carie bianca o carie corrosiva).
- Funghi Deuteromiceti da carie soffice: funghi che provocano un tipo di carie caratterizzata da rammollimento superficiale del legno, per quanto possano provocare carie in profondità. Questi funghi richiedono una umidità del legno più elevata rispetto a quella necessaria ai basidiomiceti. Sono di particolare importanza per il legno che si trovi a contatto con il terreno o in acqua.



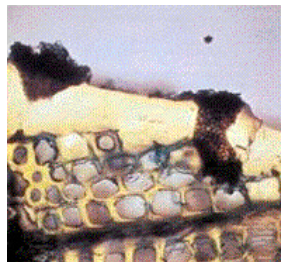
*Figura 5 - Sviluppo del fungo della marcescenza (macchie scure) denominata "carie soffice" che a poco a poco distruggerà la struttura del legno rendendolo simile ad una spugna friabile.*



## *Funghi da colorazione*

Causano l'azzurramento e muffa sul legno in opera. Questi funghi possono destare preoccupazioni soltanto dal punto di vista estetico, provocando in alcuni casi la degradazione dei rivestimenti decorativi.

- Funghi dell'azzurramento: provocano una colorazione permanente da blu a nero di intensità e profondità variabile, soprattutto nell'alburno di certi legni. L'attacco di questi funghi non incide sulle proprietà meccaniche del legno, ma può aumentarne il grado di permeabilità.



*Figura 6 - Azione del fungo blu che durante lo sviluppo riesce a sfondare il film di vernice e sbucare all'esterno.*

- Muffe: funghi che si presentano come macchie di vario colore sulla superficie del legno umido e che si possono manifestare soltanto quando l'umidità sulla superficie del legno è maggiore del 20%. Tale condizione si verifica in presenza di una elevata umidità relativa o alla condensazione del vapore acqueo. L'attacco delle muffe non influisce significativamente sulle proprietà meccaniche del legno ma ne rende l'aspetto indesiderabile o inaccettabile. Questi funghi non sono specifici del legno e possono comparire su qualsiasi materiale avente una elevata umidità.

	EFFETTI SUL LEGNO	CRESCITA FUNGINA	LOCALIZZAZIONE
Muffe	Decolorazione superficiale. Nessuna riduzione della resistenza, nessun indebolimento delle fibre se saggiate con un coltello	Crescita superficiale spesso grigia o nera, ma anche di altri colori	▪ Crescita sul legname e in molti altri materiali in condizioni di umidità
Alterazioni cromatiche	Decolorazioni dal blu al nero del legno, spesso formate ai margini e distribuite lungo i raggi delle sezioni trasversali. Nessun effetto sulle proprietà meccaniche	Piccole crescite superficiali scure appena visibili a occhio nudo	Frequente nei legni teneri, interviene dopo l'abbattimento dell'albero e fin quando il contenuto di umidità è inferiore al 25%
Carie soffice	La superficie dei legni duri o teneri è resa soffice e si rompe in piccoli quadrati quando asciutta. Abitualmente produce un sensibile scurimento della superficie soffice e del nucleo solido. La forma originale viene conservata	Non è visibile	In legni collocati all'interno di torri fredde e a contatto con il terreno, in particolare se associate ad aree con elevata umidità atmosferica
Funghi distruttori del legno	Abituale decolorazione del legno in macchie o striature. Manifestazione eventuale di caratteristiche rotture per contrazione, indebolimento delle proprietà meccaniche. Le fibre si rompono se incise con un coltello	Crescita del micelio e dei corpi fruttiferi	In zone con contenuto di umidità dell'aria superiore al 25%

Tabella 2 - Diagnosi dei tipi principali di crescita fungina che interessano il legno.

## Umidità

Con la tabella seguente si cerca di ottenere, partendo dagli effetti le possibili cause e quindi gli accertamenti che bisogna fare in presenza di murature degradate da fenomeni di umidità.

### ESTERNO DELL' EDIFICIO

FENOMENI DI ALTERAZIONE (1: tipologia; 2: diffusione; 3: intensità; 4: durata; 5: localizzazione)	CAUSE PROBABILI	CONTROLLI - OSSERVAZIONI
1 - zona umida omogenea con efflorescenza o meno 2 - continua 3 - costante 4 - costante 5 - base del muro	a) Risalita capillare da falda freatica	Presenza di umidità all'interno e negli edifici limitrofi. Permanenza delle caratteristiche di diffusione, intensità, durata.
1 - zona umida con efflorescenza o meno 2 - discontinua 3 - variabile 4 - temporanea 5 - base del muro tutte le zone per (c)	a) Risalita capillare da acque disperse b) Infiltrazioni c) Pioggia di rimbalzo	Esistenza e stato di conservazione delle opere di distribuzione e smaltimento delle acque (tubature, pluviali, gronde ecc.). Relazione tra pioggia e fenomeni. Eterogeneità della costruzione. Natura del suolo. Continuità del fenomeno.
1 - macchie o efflorescenze 2 - tratti isolati 3 - variabile (a) costante (b) 4 - continua 5 - in ogni zona del muro	a) Vecchie infiltrazioni b) Condensa superficiale	Eterogeneità dei materiali. Relazione tra umidità dell'ambiente e comparsa del fenomeno.
1 - macchie 2 - tratti isolati 3 - variabile 4 - temporanea 5 - in ogni zona del muro	a) Infiltrazioni da pioggia o accidentali	Stato di conservazione delle opere di distribuzione e smaltimento delle acque. Capillarità dei materiali. Fessurazioni.

Tabella 3 – Diagnosi delle cause di umidità all'esterno dell'edificio.

**INTERNO DELL'EDIFICIO**

FENOMENI DI ALTERAZIONE (1: tipologia; 2: diffusione; 3: intensità; 4: durata; 5: localizzazione)	CAUSE PROBABILI	CONTROLLI - OSSERVAZIONI
1 - zona umida con o senza efflorescenza 2 - continua 3 - costante 4 - permanente 5 - base dei muri o intera altezza	a) Umidità di risalita capillare da falda freatica	Presenza dell'umidità in altri muri divisorii. Permanenza delle caratteristiche di diffusione, intensità e durata.
1 - zona umida con o senza efflorescenze 2 - discontinua 3 - variabile (a-b) - costante (c) 4 - temporanea 5 - in ogni zona del muro	a) Umidità di risalita capillare da acque disperse b) Infiltrazioni c) Condensazione	Stato di conservazione delle opere di conduzione e smaltimento delle acque. Caratteristiche di variabilità. Eterogeneità della costruzione. Relazione tra pioggia e comparsa del fenomeno. Ristagno d'aria. Caratteristiche stagionali del fenomeno. Esistenza di ponti termici. Presenza di locali freddi nei piani superiori.
1 - macchie o zone 2 - localizzata o generale 3 - variabile 4 - temporanea 5 - soffitti o pavimentazioni	a) Infiltrazione dall'alto o accidentale b) Condensazione	Presenza di cortili o giardini ai piani superiori. Relazione tra pioggia e comparsa del fenomeno. Presenza di locali freddi nei piani superiori. Caratteristiche stagionali del fenomeno.
1 - macchie 2 - localizzate 3 - variabile 4 - temporanea 5 - in ogni zona del muro	a) Condensazione b) Infiltrazione laterale o accidentale	Difetti della facciata. Stato di conservazione delle opere di conduzione e smaltimento delle acque. Relazione tra pioggia e comparsa del fenomeno. Facciata non riparata ed esposta alla pioggia. Esistenza di ponti termici. Ristagno dell'aria.

*Tabella 4 – Diagnosi delle cause di umidità all'interno dell'edificio.*

## *Prove di laboratorio*

---

### *Prove dinamiche su tavola vibrante*

Questa tecnica è stata il primo metodo capace di riprodurre a livello sperimentale le caratteristiche dell'azione sismica sulla struttura da provare. Si può considerare come il mezzo più diretto per simulare il comportamento di una struttura in campo non lineare durante un sisma.

La prova viene eseguita ancorando il campione alla tavola vibrante e sottoponendolo ad una sollecitazione tale da provocare deformazioni anelastiche. Le tavole vibranti

sono progettate per muoversi secondo una o più direzioni orizzontali, oppure secondo la direzione verticale ed orizzontale, combinate insieme. Si parla al riguardo di tavole vibranti mono, bi o triassiali. Negli ultimi anni sono state realizzate anche tavole vibranti che controllano 6 gradi di libertà, questo permette di duplicare in maniera realistica il movimento del terreno.

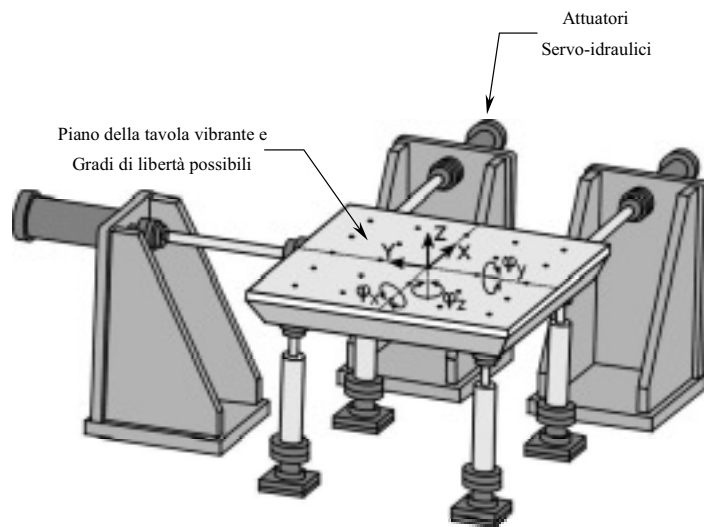


Figura 7 – Schema di tavola vibrante.

L'input dato alla piastra può essere un'onda sinusoidale, triangolare oppure può essere la registrazione di un terremoto reale. È possibile sottoporre il campione allo stesso segnale sismico a differenti livelli d'intensità per verificare i modelli matematici utilizzati, e per controllare a posteriori i corrispondenti livelli di deformazione e danneggiamento. In effetti, però, non viene riprodotto l'identico segnale sismico, a causa dei problemi connessi al sistema di eccitazione. I risultati della prova dipendono dal tipo d'eccitatore e dalla piastra impiegata nonché dal numero di movimenti permessi.

Esistono eccitatori idraulici od elettrodinamici. Nei primi l'elemento attivo è un martinetto a doppio effetto, alimentato con una portata d'olio regolata tramite l'apertura e la chiusura di una servovalvola. La potenza idraulica è fornita da un'adeguata stazione di pompaggio. Il campo d'impiego degli eccitatori idraulici è molto vasto grazie alle loro ottime caratteristiche tra cui ricordiamo:

- possono generare forze elevatissime (>100 ton.) con una corsa del pistone maggiore di 10 cm.

- il campo di frequenza esplorabile arriva fino a circa  $100 \div 200$  Hz. Il limite superiore è determinato essenzialmente dalla compressibilità del fluido e dalla caduta di pressione nella servovalvola alle alte velocità.

Nel caso di eccitatori elettrodinamici, invece, le caratteristiche principali sono:

- campo di frequenza esplorabile molto ampio, si raggiungono facilmente i 1000Hz.; tuttavia esiste un limite inferiore attorno ai 10Hz.: l'eccitatore elettrodinamico non è quindi in grado di sopportare carichi statici, se non di piccola entità;
- si possono generare forze maggiori di 10 ton. ma solo aumentando notevolmente le dimensioni dell'eccitatore;
- può essere generato qualunque tipo di forza nel campo di frequenza già citato.

Quindi con gli eccitatori idraulici possono essere studiati adeguatamente solo modelli di grandi dimensioni con scale dei tempi piccole e conseguentemente frequenze proprie basse. Gli eccitatori elettrodinamici si prestano, invece, a studi nel campo delle alte frequenze su modelli di piccole dimensioni o quando si ritiene che i modi di vibrare superiori possano essere d'interesse. La piastra ha il duplice scopo di servire da appoggio alla struttura in prova e di trasmettere alla base di quest'ultima il moto generato dal sistema eccitante.



Figura 8 –Esempi tavole vibranti. A sinistra EERC di Bristol, a destra ISMES di Bergamo.

Conseguentemente ci sono diversi problemi di natura tecnica:

- Il problema di fissare la piastra al terreno con vincoli tali da offrire una resistenza al moto trascurabile e di reggere il carico statico rappresentato dal peso della struttura. Le caratteristiche di tali vincoli debbono soddisfare esigenze assai diverse a seconda che il movimento della piastra avvenga secondo una sola direzione o secondo più direzioni contemporaneamente. Nel primo caso, infatti, il vincolo deve contrastare i movimenti parassiti nelle direzioni trasversali. Nel

secondo caso deve garantire un completo disaccoppiamento meccanico dei moti nelle varie direzioni.

- La piastra deve essere così rigida da non presentare, nel campo di frequenze considerato, risonanze.

Esistono anche una serie di problemi connessi all'applicabilità della tecnica della tavola vibrante. Innanzitutto le dimensioni, la massa e la rigidità del campione da testare sono limitati dall'estensione della tavola vibrante e dalla potenza degli eccitatori; così in genere non si fanno prove su strutture a grandezza naturale ma su modelli in scala ridotta del sistema reale (molte tavole vibranti esistenti hanno lunghezza variabile tra 3÷5 metri). Sorgono in tal modo problemi di similitudine meccanica; infatti, è difficile riprodurre in scala ridotta gli effetti dovuti alla dimensione massima dell'aggregato, la microfessurazione, l'aderenza acciaio calcestruzzo negli edifici in cemento armato, le concentrazioni di sforzo nei nodi saldati o bullonati nei telai in acciaio così come i giunti in malta delle costruzioni in muratura. Pertanto il modello in scala ridotta finisce per essere assai poco rappresentativo del comportamento della struttura reale. Inoltre si individuano forti restrizioni sul campo delle frequenze esplorabili, che dipendono dalle caratteristiche degli eccitatori, dalla frequenza di risonanza propria della piastra e delle altre parti meccaniche. Vi è poi il problema dell'interazione tavola-struttura di prova che può sensibilmente alterare la risposta dinamica.

Caratteristica importante è che le prove vengono eseguite in tempo reale, cioè il campione viene sollecitato per un tempo che coincide con la durata dell'accelerogramma imposto alla piastra. Questo fatto, se costituisce un elemento intrinsecamente positivo, non favorisce al tempo stesso una attenta osservazione del comportamento strutturale durante la prova, per cui tutte le valutazioni sono affidate ad una accurata analisi a posteriori, basata sulla lettura ed elaborazione dei dati acquisiti.

### *Prove quasi statiche*

Le prove quasi statiche con cicli di carico alternati rappresentano la forma di sperimentazione di gran lunga più applicata nel campo dell'analisi sismica delle strutture. In questo tipo di prova viene imposto o la forza o lo spostamento alla struttura (con una predeterminata storia di carico) mediante attuatori idraulici, e si analizza il suo comportamento sotto questa sollecitazione.

Le prove quasi statiche possiedono degli indubbi vantaggi: permettono di cogliere il fenomeno di dissipazione energetica, il comportamento non lineare della struttura,

forniscono indicazioni utili sui suoi punti deboli; possono essere eseguite su campioni di grandi dimensioni, con apparecchiature relativamente poco costose. Tuttavia le prove quasi statiche presentano anche degli svantaggi. Non forniscono né l'ampiezza né la distribuzione dei carichi sismici indotti sul campione, le forze inerziali cui la struttura è sottoposta durante un sisma sono sostituite da forze equivalenti pseudostatiche.



*Figura 9 - Banco di prova per test quasi-statici su pannelli in muratura.*

Il problema fondamentale delle prove quasi statiche è la scelta della storia di spostamento da imporre alla struttura in esame. Essa infatti deve essere “equivalente” all'input sismico, cioè deve generare sulla struttura gli stessi effetti del terremoto reale. Per trovare la correlazione tra la storia di spostamento o carico da imporre (durante la prova quasi statica) e la situazione reale è necessario un accurato calcolo preliminare della risposta della struttura all'eccitazione sismica. Spesso l'impossibilità di fare tale analisi, a causa della mancanza della conoscenza del legame costitutivo, preclude il ricorso alle prove quasi statiche. D'altronde l'applicazione di una sequenza di forze o spostamenti fissata aprioristicamente (non in relazione cioè all'accelerogramma d'interesse) porta a dei risultati non significativi. Rimane così il dubbio se si sia fatta una sovrastima o una sottostima della risposta strutturale, non potendo conoscere la duttilità richiesta per la sicurezza antisismica.



### *Prove pseudodinamiche*

Sono l'ultimo tipo di prove ideate, nate con l'intento d'accostare i vantaggi delle prove quasi statiche con quelli delle prove dinamiche. Il modello della struttura da provare viene posizionato accanto ad una struttura infinitamente rigida detta muro di reazione, e sollecitato tramite attuatori idraulici posizionati orizzontalmente sul muro di reazione. Trasduttori di spostamento, posizionati su punti fissi, e attuatori idraulici sono collegati ad un calcolatore.

Si tratta di una tecnica ibrida, che combina informazioni sperimentali ottenute da un test quasi statico con informazioni numeriche ottenute dalla simulazione al computer del comportamento dinamico della struttura. Il metodo pseudodinamico consiste nell'esecuzione di una prova quasi statica controllata da un computer che opera in linea; gli attuatori idraulici applicano alla struttura una storia di spostamento, non deciso a priori, ma ottenuto risolvendo con una tecnica passo-passo (step by step) l'equazione del moto per mezzo del calcolatore. La struttura è idealizzata come un sistema a parametri discreti (con un numero finito di gradi di libertà) caratterizzati da una massa e da una rigidità. Ciò significa che se ad esempio consideriamo una struttura a pilastri con due piani molto rigidi nel proprio piano, è lecito pensare che la percentuale maggiore della massa sia concentrata a livello dei solai, quindi lo schema "ideale" sarà costituito da due masse concentrate (piani) collegate verticalmente da due molle caratterizzate da una certa rigidità.

Ad ogni massa è applicato un attuatore in grado di esercitare una forza nella direzione di prova. I carichi dinamici inerziali e le caratteristiche di smorzamento viscoso sono modellati analiticamente, e questa è la fondamentale differenza rispetto alle prove quasi statiche in cui non si tiene in conto gli effetti delle inerzie strutturali. Le forze di risposta della struttura agli spostamenti applicati sono misurate da celle di carico direttamente sul campione ed introdotte nell'equazione del moto a secondo membro come quantità note. Ripetendo questo procedimento di calcolo e misurazione in maniera passo-passo si ottiene la completa storia temporale degli spostamenti durante un terremoto.

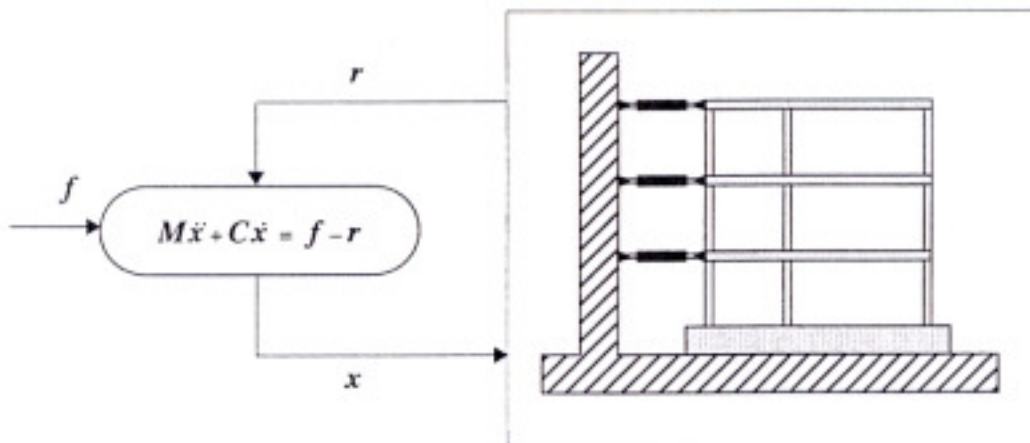


Figura 10 - Schema di una prova pseudodinamica.

Più precisamente la combinazione di analisi numerica e sperimentale di questo metodo si sviluppano così: i dati di input per l'elaboratore elettronico (forze di reazione) derivano dalla lettura diretta delle misure sperimentali di ritorno ("feedback"), mentre l'output della elaborazione numerica (spostamento) viene utilizzato, nel corso della prova, come nuovo dato da imporre all'unità esecutiva dell'apparato sperimentale. L'unità computazionale è programmata per risolvere ad ogni passo, tramite algoritmi d'integrazione numerica, le equazioni del moto che governano la dinamica del modello. L'obiettivo del metodo pseudodinamico è quello di realizzare, in maniera quasi statica, la storia di spostamenti cui andrebbe soggetta la struttura a causa dell'imposizione alla base di un determinato accelerogramma. Nella figura 10 si può ritrovare il concetto basilare del metodo pseudodinamico: una simulazione numerica che utilizza le informazioni sperimentali per ottenere dati relativi alla rigidezza del modello provato. Bisogna infatti ricordare che questi sono i più difficili da calcolare, una volta che la struttura è uscita dal campo elastico. L'obiettivo è la ricerca delle rigidezze una volta raggiunta la fase elasto-plastica.

## ***Allegato B - Strumentazione e metodi di rilevamento***

---

## *Endoscopio*

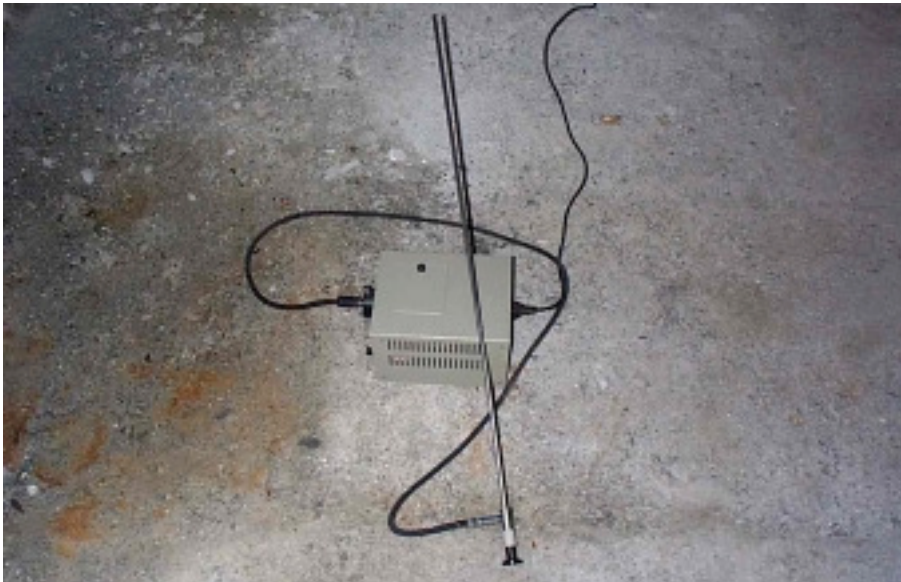
---

L'endoscopio è uno strumento tramite il quale è possibile eseguire un esame visivo diretto del corpo della muratura attraverso fori di diametro ridotto (al massimo 20 mm).

Gli endoscopi sono realizzati in diversi modelli e versioni e possono essere assemblati in funzione delle esigenze applicative. In sintesi si possono distinguere in: endoscopi rigidi o boroscopi, endoscopi flessibili, videoendoscopi o sonde televisive. Se la fonte di illuminazione (lampada alogena) è posta all'estremità dell'obiettivo, vengono classificati come endoscopi a luce calda; se invece utilizzano fibre ottiche per la trasmissione dell'illuminazione alla punta dell'endoscopio, vengono definiti a luce fredda.

Sono disponibili in un'ampia serie di diametri e quelli modulari possono essere allungati attraverso una serie di prolunghie filettate dotate di sistema ottico. La lunghezza massima ottenibile è in funzione del diametro del tubo oculare (per i diametri più grandi si possono raggiungere anche i 25 m).

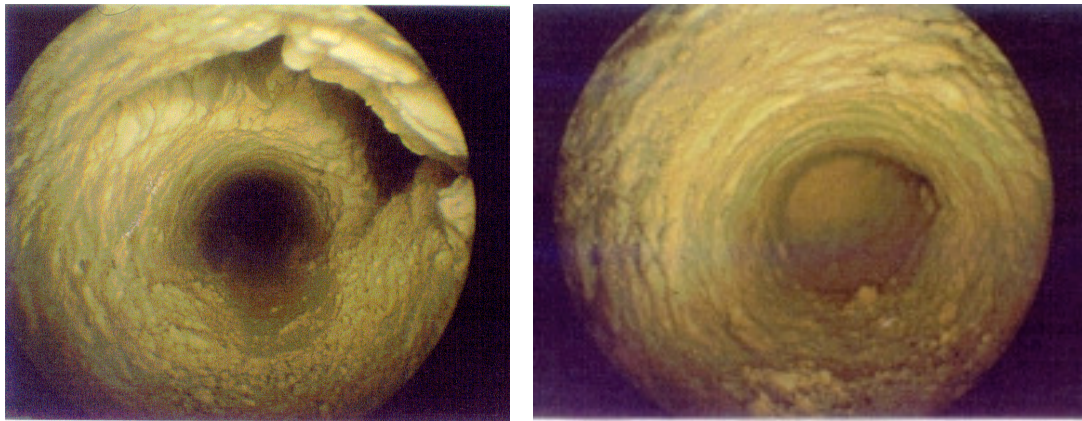
Gli endoscopi rigidi sono realizzati in acciaio inossidabile e dotati di dispositivo di messa a fuoco e di reostato per la regolazione dell'intensità luminosa. Grazie alla robusta costruzione possono operare anche in presenza di temperature oltre i 100°C.



*Figura 11 - Endoscopio.*

Gli obiettivi intercambiabili consentono di variare la direzione della visione: frontale a 0° (in dotazione), obliqua a 45°, laterale a 90°. Gli attacchi dell'oculare possono essere forniti in asse con l'endoscopio oppure angolati con diversa lunghezza. Il dispositivo zoom opzionale consente, attraverso una serie di lenti a scelta, di ingrandire le immagini inquadrature; queste ultime possono essere acquisite, attraverso una macchina fotografica reflex o una telecamera, al fine di documentare l'indagine in cui si evidenzierà per mezzo di didascalie le eventuali situazioni di discontinuità del tessuto murario.

La tecnica consiste nel praticare dei piccoli fori a rotazione con trapani a basso numero di giri (per non indurre vibrazioni eccessive al paramento murario in oggetto) ed introdurre all'interno un endoscopio.



*Figura 12 - Visioni con endoscopio. a) Piccolo vuoto in corrispondenza di un ricorso. B) Muratura compatta.*

Qualora si volesse indagare in cavità già preesistenti sfruttando fori irregolari o fessure già formate, si può ricorrere all'uso dell'endoscopio flessibile, che ha la peculiarità di poter adattarsi alla variazione di linearità del foro.

## *Termografia*

---

La termografia è una tecnica in grado di fornire una mappa termica della superficie di un materiale, rilevando la radiazione infrarossa emessa dal materiale stesso. L'informazione proviene da una profondità di qualche centimetro e permette di rivelare situazioni critiche che, in un intervento di restauro architettonico, possono riguardare la presenza di elementi strutturali nascosti (cavità, tubazioni e canne fumarie), l'orditura dei solai, la tessitura muraria sotto lo strato di intonaco, lesioni, distacco di intonaco, aggrappi metallici, ristagno di umidità. Queste situazioni

particolari sono identificate all'interno della mappa termica da regioni più fredde o più calde, a seconda dei casi, rispetto al fondo termico della porzione di oggetto investigata. Discontinuità termiche superficiali, anche di piccola entità (dell'ordine del decimo di grado), possono fornire informazioni utili ai fini della comprensione del comportamento tecnologico di diversi materiali, inclusi quelli lapidei. E' evidente che il fatto di poter "visualizzare" lo stato termico di un corpo mediante una semplice inquadratura, apre un capitolo tutto nuovo in materia di sicurezza e di risparmio energetico nel campo dei controlli non distruttivi e della manutenzione.

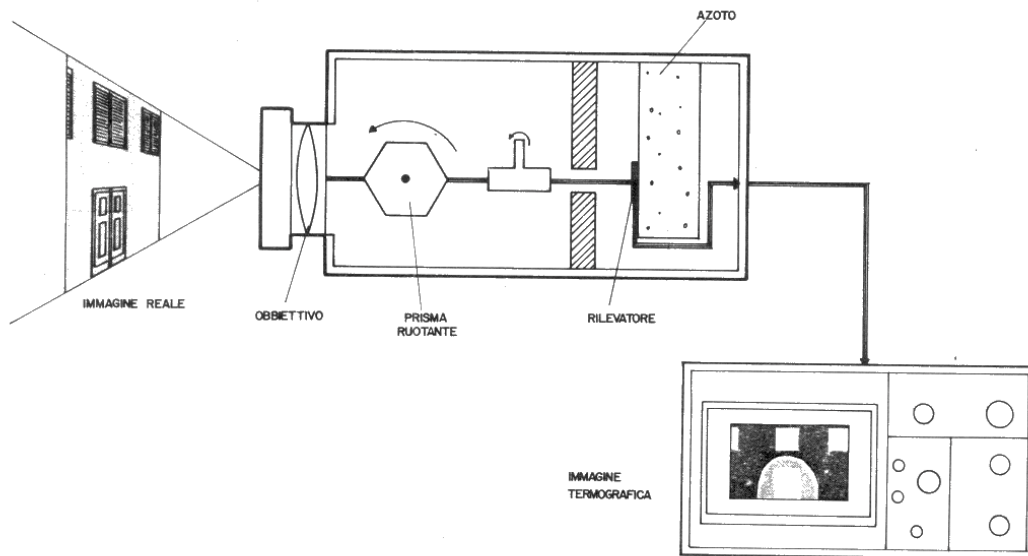


Figura 13 - Schema di funzionamento di un apparecchio per termografia.

Il principio su cui si basa la termografia: consiste nel fatto che l'energia radiante di un corpo dipende sostanzialmente dalla sua temperatura superficiale, condizionata a sua volta dai valori di conduttività termica e di calore specifico. Il fenomeno di trasporto d'energia termica avviene sotto forma di radiazione elettromagnetica, che normalmente si colloca nella banda tipica dell'infrarosso. Quando la superficie di un corpo viene investita da una radiazione, parte di questa viene riflessa verso il mezzo di provenienza, un'altra parte viene assorbita dal corpo e la restante parte attraversa il corpo stesso. La distribuzione tra componente riflessa, assorbita e trasmessa dipende dalla lunghezza d'onda della radiazione, dalla temperatura e dalla natura della superficie del corpo radiante. La tecnica termografica si basa appunto sul principio fisico sopra accennato.

L'interpretazione del risultato dell'indagine termografica necessita della conoscenza delle caratteristiche di emissione, riflessione ed assorbimento per i diversi materiali