1

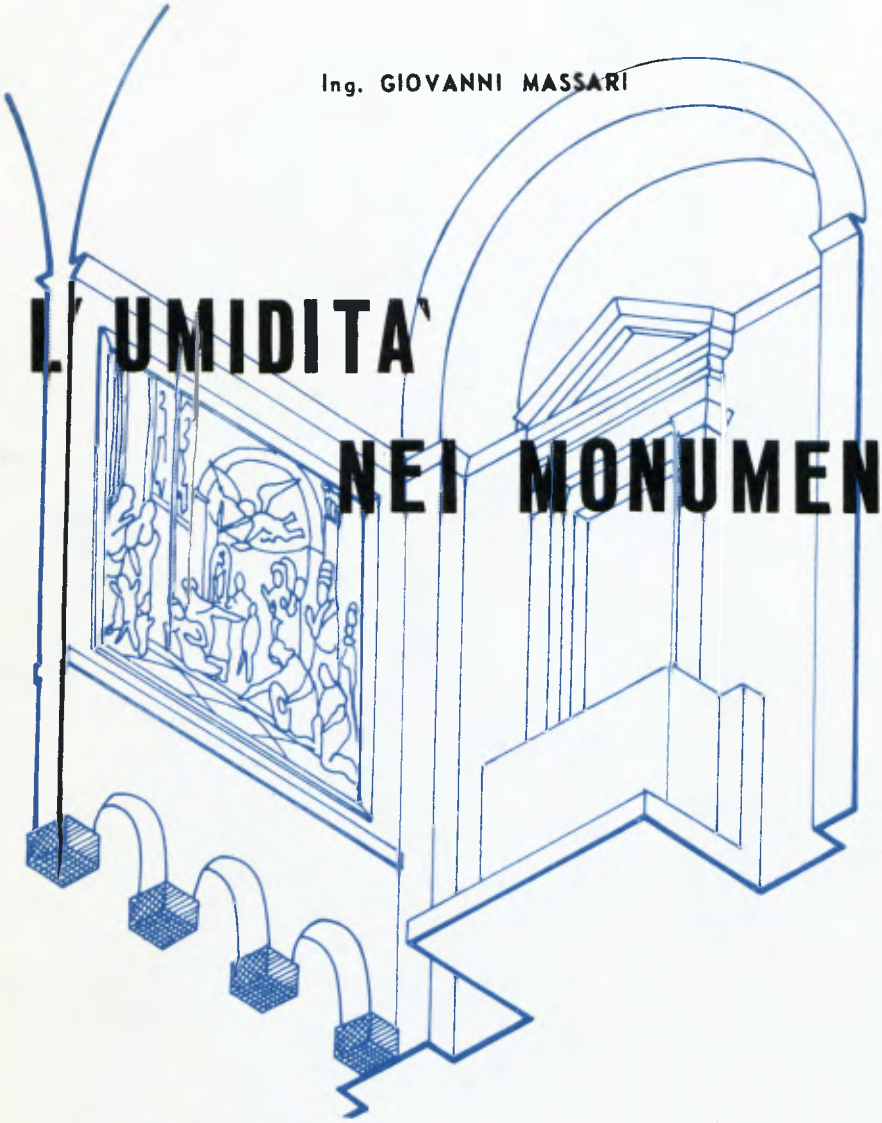
$196.-

FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - UNIVERSITÀ DI ROMA

CENTRO INTERNAZIONALE DI STUDI PER LA CONSERVAZIONE
ED IL RESTAURO DEI BENI CULTURALI

Ing. GIOVANNI MASSARI

# L'UMIDITÀ NEI MONUMENTI



ROME CENTRE

NP Stanley Rice

FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - UNIVERSITÀ DI ROMA
CENTRO INTERNAZIONALE DI STUDI PER LA CONSERVAZIONE
ED IL RESTAURO DEI BENI CULTURALI

**Ing. GIOVANNI MASSARI**

# L'UMIDITÀ NEI MONUMENTI

ROME CENTRE

Stampato presso il laboratorio fotolitografico della
Edizioni Scientifiche SIDEREA
Via delle Terme di Traiano 5A - 00184 ROMA

## LEZIONE PRIMA

*Generalità sui danni recati dall'umidità: rovina di affreschi, rigonfiamento e sfaldamento di marmi, spappolamento di stucchi e decorazioni, e infine sensi di fastidio e danno igienico alle persone.*

Per operare il risanamento occorre un'esatta indagine sulle cause. L'umidità è un sintomo del male, come la febbre. È compito del medico accertare quale sia il male che produce la febbre. Così l'umidità è la conseguenza di uno squilibrio nel campo di talune forze fisiche proprie di un edificio, di un monumento, o di una singola muratura. Come il medico non si pronuncia senza aver fatto le varie analisi così noi architerri ed ingegneri dobbiamo abituarci ad operare nei casi di umidità. È pericolo, come si faceva in passato giudicare «a buon senso». Occorre invece mettere il fenomeno in cifre attraverso una raccolta paziente di dati numerici certi. E poichè il punto sicuro è che l'umidità viene dalla acqua, sia liquida o sia vapore, bisogna prima di tutto trovare e dosare l'acqua, ciò che non può essere fatto se non con mezzi strumentali. Bisogna controllare con adatti strumenti se sotto una macchia verde di muffa c'è veramente acqua nel muro, e quanta è percentualmente rispetto alla massa del muro, e come sia distribuita, e se aumenta andando dall'intonaco al nocciolo o se viceversa diminuisce. Può essere asciutto l'intonaco e bagnato il nocciolo, ma può anche presentarsi la situazione contraria, ed ogni caso ha il suo significato logico. Qualche volta, come nei fenomeni di condensazione, l'acqua non si trova mai al momento della nostra misura, perchè è saltuaria. Per alimentare una rigogliosa distesa di muffe sopra una vecchia pittura eseguita a tempera con colla di coniglio basta un esile e intermittente velo d'acqua che si for-

mi all'alba ogni mattina per pochi minuti quando le contadine vanno in chiesa. Ai primi raggi del sole il velo d'acqua scompare, ma le muffe hanno già avuto la loro reazione quotidiana di acqua, come le vecchiette hanno da Dio la loro di pane quotidiano. Non solo bisogna cercare e misurare l'acqua, ma quando non si trova, oppure è troppo scarsa per giustificare i grandi danni prodotti, bisogna integrare l'indagine idrica con quella termica misurando le temperature superficiali di tutte le murature che circondano il locale umido e la temperatura dell'aria. Infatti l'umidità di condensazione proviene esclusivamente dall'aria e dipende dall'eccessivo *dislivello di temperatura fra aria calda e muratura fredda*. È la stessa causa che, d'inverno e al mattino, fa trovare i vetri della finestra appannati di rugiada in una camera da letto ben riscaldata. La causa è il forte dislivello di temperatura fra aria esterna ed interna sulle due facce del vetro. Ed è sempre lo stesso dislivello che d'estate fa appannare il bicchiere di birra fredda sul tavolo di un caffè affollato. La rugiada scompare dai vetri appena si ricambia, anche poco, l'aria della stanza; e scompare dal bicchiere se lo lasciamo dieci minuti sul tavolo in modo che si riduca il salto di temperatura fra liquidi ed aria.

Fondamentale è la diagnosi diretta ad accertare quale sia il meccanismo d'entrata dell'acqua nella muratura. Le quattro vie d'entrata sono schematicamente indicate nella figura 1. L'umidità può essere ascendente dal terreno, oppure può venire per condensazione dall'aria su una parete tutta uniformemente fredda, oppure sempre per condensazione può formarsi a macchie che appaiono e scompaiono secondo il clima del giorno. Ciò accade perchè la struttura della parete non è omogenea, ma in alcuni punti costruita con pietre pesanti è più fredda ed in altri punti costruita con materiali leggeri è più calda. La quarta provenienza della umidità è la pioggia inclinata. Qualche volta l'umidità non ha una sola origine ed il danno all'opera d'arte nasce da un complicato giuoco di due o più cause, come accadde per il Cenacolo di Leonardo (fig.2).

La pioggia inclinata raramente passa il muro (fig.3), ma più spesso lo raffredda e provoca condensazione, sulla parete interna come accade quando c'è affollamento nelle sale da ballo, nelle Chiese, nelle

case popolari dove il respiro delle troppe persone fa salire il grado igronometrico dell'aria eccessivamente. Quanto più è alta l'umidità dell'aria tanto più facile la condensazione.

*La caratteristica fondamentale dell'umidità ascendente* capillare è la sua immutabilità. La quantità d'acqua presente nell'interno del muro è costante sempre la stessa, indipendente dalla stagione ed anche dalle ore del giorno. Inoltre si verifica solamente nel piano terreno e nelle parti basse dell'edificio, e non sale mai oltre i quattro metri dal livello della strada. Nelle murature di mattoni è tollerabile una quantità d'acqua del 3% in peso. In quelle di pietra tenera assorbente come il tufo, il calcare leggero e l'arenaria leggera, è tollerabile una quantità d'acqua del 5% in peso. L'acqua viene dosata prelevando dei campioni a profondità di cm. 15-20 al disotto dell'intonaco e cioè dentro la ossatura muraria, pesando subito i campioni umidi e poi prosciugandoli in una stufa. I campioni debbono essere presi a 15-20 cm. al disotto della superficie perchè a questa profondità il contenuto d'acqua non risente più la variazione giornaliera e neppure quella stagionale, ma è costante durante tutto l'anno. La differenza di peso fra campione umido e asciutto rivela l'acqua contenuta. Fino ai limiti sopra indicati del 3% nel mattone e del 5% nei tufi e arenarie leggere, l'acqua contenuta nei muri non reca danno nè ai monumenti nè alle persone, purchè i locali abbiano una buona ventilazione. Al disopra di questi limiti cominciano le muffe, le erosioni, ecc. E comincia il senso di fastidio alle persone costrette a lavorare o soggiornare nei locali chiusi. La cura veramente efficace dell'umidità ascendente è quella di tagliare i filetti capillari contenuti nel muro oppure di impedire all'acqua del terreno di arrivare al muro stesso, intercettandola prima.

*La caratteristica della condensazione* è di essere un fenomeno discontinuo dovuto sempre al freddo. L'acqua se c'è si trova abbondante nell'intonaco e scarsa nell'ossatura; sempre nell'intonaco del lato caldo cioè sulla parete interna. Però può anche mancare del tutto nel momento della misura. Quando nasce il dubbio di condensazione occor-

re accertare con il termometro quale sia la superficie muraria più fredda all'interno del locale umido. La cura della condensazione deve sempre basarsi sul calore; consiste cioè nel dare un leggero riscaldamento alla superficie muraria più fredda, e contemporaneamente una leggera ventilazione, all'ambiente affinchè il grado igronometrico dell'aria non salga troppo.

La zona di ottima umidità dell'aria è fra il 50% ed il 70%. Se l'aria è ferma in ambienti chiusi già con il 75% cominciano a svilupparsi le muffe specie se c'è una base organica, come la colla animale, la carta, il cuoio, la pergamena. Il *merulius lacrimans*, il peggiore dei funghi delle case, vive senza acqua purchè abbia un supporto di legno ed una temperatura inferiore ai 27% in assenza completa di ventilazione. Il più energico rimedio contro le muffe ed i funghi è una attiva ventilazione.

Viceversa la ventilazione è dannosa per gli affreschi stesi su muratura umida che si rovinano rapidamente se sono sottoposti ad alternative fasi di umidità e di secco. Un affresco ubicato in un locale sotterraneo ad umidità costante, fuori dell'azione della luce solare, può mantenersi per secoli in perfette condizioni di conservazione, come si constata spesso in Italia alla scoperta di tombe etrusche affrescate che poi, in pochi anni dall'apertura, vanno in rovina per l'irregolare ventilazione e per le variazioni indotte nell'umidità relativa dell'aria dalla presenza dei visitatori. Una volta fatta la diagnosi, ossia accertato se trattasi di pura umidità ascendente dal terreno oppure di pura umidità di condensazione, proveniente cioè dall'aria, oppure di un cumulo diversamente dosato di entrambe, *i rimedi sono quelli dettati dal ragionamento.* Per combattere l'umidità ascendente occorre barrare la strada all'acqua che sale, oppure impedire che dal terreno penetri nella fondazione del muro. Per combattere l'umidità di condensazione occorre eliminare il salto di temperatura tra aria umida-calda ed il muro freddo, e ciò si ottiene proteggendo il muro perchè non disperda calore verso l'esterno oppure riscaldandone leggermente la superficie interna, oppure diminuendo la umidità relativa dell'aria. Se entrambe le due forme di umidità sono con-

temporaneamente presenti occorre accertare quale sia la preponderante e combattere anzitutto questa. In ogni caso guardarsi dai ritrovati commerciali miracolosi, e giudicare ogni rimedio c n senso critico e con la propria testa senza farsi incantare dai venditori di specialità misteriose. Guardarsi anche dai semplicismi tecnici come i rivestimenti verticali di bitume o di intonaci cementizi quando l'umidità anzichè venire dall'aria viene dall'interno stesso del muro.

•

## LEZIONE SECONDA E TERZA

***Presentazione ed illustrazione di funzionamento degli strumenti per lo studio dell'umidità delle murature.***

Vengono separatamente illustrati tre gruppi:

**a)** - *misuratori dell'umidità relativa dell'aria:* igrometro a capello, psicrometro tradizionale con due termometri a mercurio, psicrometro istantaneo elettrico;

**b)** - *misuratori dell'acqua contenuta nella muratura:* misuratore elettrico a spilli per intonaco, misuratore elettrico a pressione per intonaco, complesso della bilancia e stufa tradizionale per dosare l'acqua nei campioni prelevati in ossatura, nuova stufa a calore dielettrico per il rapidissimo prosciugamento dei campioni (metodo Massari);

**c)** - *termometro elettrico istantaneo* a coppia termoelettrica per la misura della temperatura dell'aria e di quella superficiale dei muri, termometro ottico Siemens a raggi infrarossi per la misura a distanza delle temperature superficiali delle grandi aule (Chiese, saloni, sale capitolari, ecc).

Controllo della distribuzione dell'aria umida nelle grandi aule. Principio di Kettenacher sulla saturazione dell'aria ferma nello strato aderente alla parete poco umida.

È stato dimostrato da Kettenacher che gravi fenomeni di umidità possono verificarsi sopra i muri di ambienti tenuti troppo chiusi, anche se l'acqua contenuta nel muro è relativamente scarsa, cioè eguale o poco superiore a quel 3% in peso che abbiamo indicato come il massimo tollerabile nei muri di mattoni.

Per esempio basta il 3,5% perchè lo strato d'aria adiacente al muro si saturi di vapor d'acqua (90% - 100%) ma solo per 5-6 cm. di spessore quando non sia mai rimossa, mentre nel centro del locale la umidità relativa resta normale, per esempio 65-70%. Si producono allora muffe rigogliose dietro i quadri o gli scaffali o gli armadi, che sembrano sproporzionate alla bassa umidità dell'aria quale è nel centro del locale. Si crede allora erroneamente che il muro sia molto umido e si progettano costosi lavori per risanarlo. Invece non occorre alcun lavoro, ma bastano due semplici provvedimenti: ventilare tutti i giorni ed allontanare dal muro quadri, scaffali, armadi, lasciando una zona d'aria libera dello spessore di 9-10 cm perchè possa ricambiarsi, in modo da non raggiungere mai la saturazione.

## LEZIONE QUARTA

*Per evitare a queste lezioni un carattere troppo teorico esponiamo una casistica di cinque esempi di monumenti umidi, chiese, palazzi e ville, da noi studiati. Per ognuno viene sommariamente descritta la struttura dell'edificio e la forma apparente dell'umidità, viene indicato come si arrivò alla diagnosi, viene precisato il tipo di cura ed infine i lavori eseguiti per ottenere il risanamento. Il primo esempio è quello di S.Maria della Rotonda in Albano nella quale l'umidità non danneggiava affreschi nè opere d'arte, ma bensì la salute dei fedeli e dello stesso sacerdote officiante, tanto che l'Autorità religiosa era stata costretta a chiudere la chiesa.*

**L'edificio** - Per richiesta dell'Amministrazione delle Antichità e Belle Arti fu iniziato, nell'inverno del 1960, l'esame della Chiesa.

L'edificio, a pianta circolare di circa 16 m di diametro, coperto a cupola, con quattro nicchioni, sulle diagonali, arieggia un piccolo Pantheon. In origine, era un ninfeo termale romano, adattato da tempo immemorabile attraverso vicissitudini e modificazioni al culto cristiano. Entrando nella chiesa, che conteneva un'antica immagine di Madonna Nera, cara agli Albanesi, si aveva da qualche tempo una sgradevole impressione di freddo umido che aveva provocato la graduale diserzione dei fedeli con conseguente rarefazione delle funzioni religiose.

Esiste una logica dell'apparenza ed una logica della sostanza. Se si giudica e si cerca di farsi un'idea delle cause dell'umidità in base a macchie, muffe, erosioni, ecc., si segue una logica delle apparenze ossia si applica quello che chiamiamo « *buon senso* » meravigliosa sintesi di intuito e di razionalità valido nella dialettica fra gli uomini, ma fallace nel campo dei fenomeni fisici quale è l'umidità di una Chie-

sa. Qui il fenomeno, per essere compreso, deve anzitutto essere messo in cifre e non mai giudicato esteriormente a buonsenso.

Nel caso della chiesa di S. Maria della Rotonda la diagnosi del buonsenso era evidente ma sbagliata: si era sempre ritenuto che il malanno provenisse dalla evaporazione della fascia alta poco più di un metro di antica muratura di mattoni della parete anulare, visibilmente umida (fig.4: ingresso alla chiesa).

**La diagnosi** - La diagnosi esatta fu basata su accurate misure strumentali. Si accertò che a creare nell'aria un così elevato tenore di umidità (87% - 95% ) confluivano due cause ben distinte all'origine: l'evaporazione del muro umido perimetrale e la condensazione del vapor d'acqua dell'aria dovuta alla bassa temperatura del pavimento. Come si vede dalla figura 5, la temperatura del pavimento (a struttura compatta, impermeabile, perchè in antico l'acqua termale vi scorresse sopra fino all'inghiottitoio centrale ancora esistente) era d'inverno più bassa di 4° in media rispetto alla temperatura del muro perimetrale: il pavimento costituisce dunque quella che i fisici chiamano «*la parete fredda*». Le misure di temperatura superficiale furono prese in gran quantità e rapidamente grazie all'impiego di un termometro ottico a raggi infrarossi, e consentirono di *separare quantitativamente* i due danni dell'umidità ascendente e di condensazione, constatando con sorpresa che il *fenomeno più grave era quello di condensazione dovuto al pavimento*. Asciutto e freddo questo, mentre l'anello perimetrale della muratura era bensì umido, ma caldo e poco dannoso.

**Il pavimento termale centro del problema** - Se si tiene conto che i due accessi alla chiesa sono entrambi a quota alta e che il pavimento della chiesa risulta infossato di circa 4 metri rispetto alle quote stradali circostanti, si vede come la bassa temperatura del pavimento, raffreddando lo strato d'aria adiacente, possa determinare un vasto ristagno di aria pesante ed umida che non può in alcun modo defluire. Il fenomeno è indicato nella fig.6: una condizione simile a quella dell'ultimo girone

dell'Inferno di Dante. Come i dannati, i fedeli dovevano d'inverno stare con i piedi a 5° di temperatura e con la persona immersa in aria satura. Il punto centrale di tutto il problema era qui. Se anche con adeguati lavori si fosse riusciti a prosciugare la parete perimetrale umida della muratura non sarebbe stata eliminata la causa principale della malsania del luogo proveniente dal pavimento gelato la cui caratteristica struttura di perfetto fondo termale è riportata nella parte superiore della figura 7.

**Lavoro di risanamento** - Fu diretto a modificare la struttura del pavimento diminuendone l'inerzia termica ed annegandovi un serpentino riscaldato che ne elevasse leggermente la temperatura, come indicato nella parte inferiore della fig.7. Si badi bene: non si è costruito un impianto di riscaldamento della chiesa, perchè la erogazione di calore quale avviene adesso attraverso il pavimento è appena 1/3 di quello necessario per un vero e proprio riscaldamento, ma si è eliminata la « parete fredda » e la conseguente stratificazione d'aria umida e pesante sul pavimento quale avveniva prima. La quantità di calore emessa dal pavimento è di appena 10 calorie orarie per metro cubo d'aria dell'ambiente, mentre per un vero riscaldamento ne sarebbero occorse 30. L'umidità è infatti totalmente scomparsa (1965) e la chiesa è ritornata oggi confortevole ed accogliente. Il lavoro può essere additato come un prototipo per casi analoghi di chiese o di grandi aule umide a piano terreno.

•

## LEZIONE QUINTA

***Il secondo esempio di risanamento riguarda l'«inesplicabile umidità di un affresco al 1° piano del Palazzo Civico di Siena.***

**Il malato** - Era (1960) l'affresco di Spinello Aretino che illustra l'arrivo a Roma di Papa Alessandro III Chigi, senese. Trovasi nella sala di Balia al 1° Piano del Palazzo, ed è steso su di un muro dell'apparente spessore di m 2,20. L'umidità era rivelata dall'incupirsi del colore a macchie sparse e irregolari. Convinzione di «buon senso» a Siena, fra tutti coloro che si erano dovuti occupare del progressivo deterioramento di questo affresco, era che l'umidità provenisse dal basso: umidità ascendente capillare. Alcuni studiosi sostenevano che la causa andasse ricercata nel deposito di sale cui la Repubblica Senese aveva adibito per alcuni secoli il locale sottostante nel piano terreno (fig.8) che ne sarebbe rimasto impregnato; i tecnici indicavano piuttosto nel grande collettore che raccoglie l'acqua piovana della piazza antistante (Il Campo) l'origine tuttora attiva dell'umidità ascendente, in quanto questo collettore sottopassa il palazzo lungo il piede del grossissimo muro che al primo piano reca l'affresco.

Entrambe le ipotesi erano abbastanza logiche, la misura, mai fatta prima d'ora, dell'acqua contenute nel muro al piano sottostante, poteva confermarle facilmente.

**Misure dell'acqua nell'intonaco** - Invece, con sorpresa generale, la misura fu completamente negativa (fig.9) sia per la muratura sottostante che per quella soprastante, in modo che non solo si dovette escludere

l'ipotesi di una umidità capillare ascendente dal basso, ma anche l'altra appena affacciata di una umidità discendente dall'alto dovuta a perdite dal tetto.

Il problema si fece più oscuro quando ulteriori misurazioni nel retro del muro, in corrispondenza dell'affresco, dimostrarono che il muro era di dietro perfettamente asciutto. L'acqua si trovava *soltanto sull'affresco*, ed in dosi altissime: dal 12% al 18% in peso.

**Una ipotesi di lavoro** - Il caso diveniva irritante. Per orientare una ulteriore ricerca, sebbene l'ipotesi non avesse alcuna base, si fece la supposizione che un invaso d'acqua di ignota provenienza si trovasse immagazzinato nella zona interna dell'ossatura mascherato dentro l'enorme spessore del muro che va da m 1,70 a m 2,20. E, sempre come ipotesi di lavoro, si dovette supporre che una irregolarità di costruzione interna dell'ossatura consentisse a questa acqua di discendere lentamente per gravità attraverso determinati canalicoli, e soltanto attraverso quelli, verso determinati punti della superficie affrescata dove affiorando giustificasse l'umidità rilevata.

Per controllare questa ipotetica presenza di acqua interna al muro si decise, nella seconda fase di ricdrche, di effettuare una cauta trivellazione in profondità, naturalmente fuori dell'affresco, nella zona basamentale non decorata, tenuta coperta per l'altezza di oltre due metri dallo schienale di un grande scanno ligneo dell'epoca.

**Scoperta del contromuro** - Iniziato con lievità il foro, con trivella elettrica a basso numero di giri, si ebbe la sorpresa di scoprire che la struttura non era massiccia, ma composta di un contromuro in foglio di pesanti mattoni senesi dello spessore di 6 cm, di grana fine e compatta, murati in gesso, dietro i quali si trovò una irregolare camera d'aria: l'affresco era dunque *steso su questo pesante contromuro*. Al di là era il vero muro maestro di spessore medio intorno a m 1,65.

Le ulteriori misure sulla distribuzione dell'acqua rivelarono:

– che il muro maestro era perfettamente asciutto;
– che il retro del contromuro affrescato aveva un contenuto medio di acqua del 4%-5% soltanto; mentre il lato affrescato conteneva acqua per il 12%-18%.

Questa ultima constatazione (fig.10) ebbe importanza decisiva in quanto chiarì che l'acqua *veniva dalla superficie dell'affresco* e *si diffondeva* verso l'interno diminuendo di concentrazione nel poco spessore del contromuro. Considerata invece l'enorme inerzia termica delle masse murarie in gioco e scoperto che l'affresco è steso su contromuro, la diagnosi di umidità di condensazione ritorna logica se applicata a un diaframma quale è il contromuro, mentre era stata scartata quando si credeva che l'affresco fosse steso su muro maestro con eguali temperature superficiali sulle due facce.

**Microclima dell'intercapedine** - In realtà la condensazione è dovuta alla differenza di temperatura dell'aria sulle due facce del contromuro, ed è fenomeno stagionale, non continuo. La grande massa d'aria contenuta nella sala di Balia ha temperatura direttamente variabile con la stagione e con gli sbalzi metereologici. L'aria racchiusa nell'intercapedine sente poco tali variazioni e si mantiene a temperatura quasi costante. Le due masse hanno volumi sbilanciati: quella della sala, circa 500 mc quella della intercapedine circa 7 mc: rapporto di 71 ad I. Altrettanto sbilanciate sono le due masse murarie che racchiudono l'intercapedine: il muro maestro ha uno spessore medio di m 1,65; il contromuro, intonaco compreso, ha spessore di 7-8 cm: il rapporto delle due masse è circa 22 ad I. L'inerzia termica del contromuro sottile è dunque minima rispetto a quella del muro massiccio. Mentre l'aria della sala che viene dalle finestre influenza subito la superficie affrescata e la riscalda rapidamente d'estate e la raffredda altrettanto rapidamente d'inverno, la poca aria racchiusa nell'intercapedine segue con pigrizia la variazione stagionale perchè la sua temperatura è legata a quella dell'enorme massa termica del muro massiccio retrostante. In giugno-luglio per esempio, la superficie del contromuro dalla parte affrescata potrà avere una tem-

peratura di 23° -24° mentre la sua superficie interna verso l'intercapedine potrà essere ancora a 15+ -16+ . In queste condizioni basterà che la umidità dell'aria nella sala di Balia oscilli intorno al 60% (eventualità frequente d'estate) perchè gli otto gradi di sbalzo termico fra le due facce del contromuro portino acqua di condensazione *sul lato più caldo che è quello affrescato*. La condensazione sarà abbondante in relazione all'enorme volume d'aria della sala di Balia.

**Dispositivi consigliati per il risanamento** - La direttiva è di *eguagliare le temperature sulle due facce del contromuro*. Affinchè la piccola quantità d'aria dell'Intercapedine assuma, sia d'estate che d'inverno, la stessa temperatura che ha la grande massa d'aria della sala di Balia occorre mettere l'intercapedine in comunicazione nella più larga misura possibile con l'aria della sala. Ciò che è stato fatto nel 1960 con minima spesa aprendo un canale nel muro maestro e delle asole nel contromuro come indicato nella fig.11: l'acqua contenuta nell'intonaco dell'affresco è discesa dalla misura originaria del 12%-18%, come era nel 1960, al 4% nel 1964. Un risanamento rapido ed economico.

•

## LEZIONE SESTA

*Un altro caso di umidità tanto grave che ogni anno in primavera il pavimento si copriva di acqua è stato quello della «cripta di San Colombano nell'Abazia di Bobbio, dove riposa il santo che diffuse il cristianesimo nella lontana Irlanda.*

**Clima del luogo e struttura del tempio** - Il clima è buono salvo la neve e qualche asprezza invernale, ma con aria generalmente molto asciutta. La ubicazione dell'Abazia è in collina, a mezza costa, in posizione che agevola l'allontanamento delle acque piovane.

Le murature portanti hanno l'ossatura di pietrame passante, per buona parte ciotolame dell'alveo del Trebbia, legato con ottima malta di calce. Si tratta di muratura considetta «fredda», cioè con coefficiente di trasmissione interna del calore superiore a 2 cal/ml h° C. Il muro perimetrale della cripta, che ha lo spessore di metri 1,20 è stato rivestito in recente passato, per combattere l'umidità, di una fodera di mattoni in piano. Questa aggiunta è stata dannosa perchè il laterizio è un ottimo assorbente di acqua dal terreno, mentre una muratura di pietrame compatto come quella di Bobbio prende solo la poca acqua che puo salire attraverso la malta. Infatti non basta la capillarità della sola malta a produrre una invasione umida grave, se il materiale murato non collabora. Ed in questo caso il ciottolo del trebbia non collabora affatto.

**Misure eseguite** - Le misure strumentali dimostrarono che l'aria della cripta era molto umida (91%) rispetto all'aria esterna (41%). Invece la acqua contenuta nel muro era scarsa e non saliva oltre metri 2,00 sopra il pavimento. In relazione allo spessore totale del muro che è di m 1,30

ed in relazione alla posizione interrata della cripta questa umidità capillare ascendente non è affatto grave, anche perchè si riferisce alla fodera di mattone. Se anzichè di pietrame e ciottoli il muro fosse stato costruito di mattoni per l'intero spessore di m 1,20 l'umidità sarebbe salita fin sopra al pavimento della chiesa superiore.

Anche l'acqua contenuta nel pavimento è scarsissima, quasi normale. Il pavimento è di ottimo grès e di quadrati di marmo sopra sottofondo di calcestruzzo in cemento e ghiaia, compatto anticapillare ed impermeabile; l'acqua non supera il 2,9%.

Questo tipo di pavimento privo di camera d'aria interposta fa massa con il terreno sottostante freddo ed è perchò soggetto alla condensazione del vapor d'acqua contenuto nell'aria dell'ambiente.

**Diagnosi** - In precedenza erano stati eseguiti costosi lavori per eliminare l'umidità, eseguiti a lume di naso senza aver misurato quantità e distribuzione dell'acqua entro le strutture murarie. La mancanza di diagnosi indirizzò i lavori verso tre strutture che, in questo caso particolare, erano erronee (fig.12) perchè dirette contro l'umidità del terreno e cioè:

**a)** costruzione di un pavimento pesante, applicato sulla terra umida senza camera d'aria interposta, e perciò «freddo» cioè condensante;

**b)** applicazione sulla parete interna del muro che era di pietrame anti capillare di una fodera aderente di mattoni in piano, assorbenti, che pompano acqua dal sottosuolo;

**c)** - applicazione sulla parete esterna di una grossa diga impremeabile di calcestruzzo di cemento nell'ipotesi che l'acqua provenisse dal terreno esterno.

Ciascuno di questi tre lavori preso in se stesso era stato eseguito benissimo, coscienziosamente, con ottimi materiali e con magistero d'arte ma la spesa corrispondente era andata perduta, ed anzi aveva peggiorato la situazione. Le misure eseguite dimostrano che l'umidità ascendente dal terreno ha poca importanza, dato il materiale costrut-

tivo anticapillare (ciottoli) del muro, e che *la vera causa della umidità è la condensazione* proveniente dall'aria. Lo conferma l'osservazione fatta dal Rettore che il danno massimo si ha nel periodo di passaggio dall'inverno alla primavera, quando il pavimento della cripta si copre di acqua. Infatti quando l'aria tiepida e ricca di vapor d'acqua della primavera entra nella cripta la sua temperatura si abbassa a contatto con tutte le superficie che *per inerzia termica conservano a lungo il freddo invernale.* Sul pavimento di grès e marmo, l'acqua ristagna non perchè sale dal terreno sottostante, ma perchè vi è depositata per condensazione del vapor d'acqua dell'aria; invece sulle pareti la condensazione viene assorbita dall'intonaco che poi si gonfia e distacca.

Il lavoro più dannoso, dal punto di vista termico, è stato quello della grossa diga di calcestruzzo di cemento costruita esternamente a ridosso del muro della cripta, per l'errata credenza che l'acqua liquida penetrasse dall'esterno. I 90 cm di spessore di questa struttura pesantissima hanno raddoppiato l'inerzia termica del muro originario, allungando l'intervallo stagionale del tempo favorevole alla condensazione interna. Sarebbe stata invece necessaria una intercapedine semplice, o meglio *totalmente aperta*, che avesse lasciato all'aria libera ed in vista, opportunamente restaurato, tutto il perimetro esterno monumentale della cripta.

**Direttive per il risanamento** - Discendono dalla diagnosi di condensazione ed hanno lo scopo di restituire alla cripta il minimo di calore di cui ha bisogno. I lavori sono stati indirizzati alla soppressione di tutte le superfici «fredde» ed alla loro sostituzione con strutture che, tenuto conto dei vuoti interposti, presentino un peso specifico apparente inferiore alla metà di quello delle strutture pesanti precedenti. Dunque come alla fig. 13:

**1)** - *Dotare la cripta di un modesto impianto elettrico di riscaldamento* capace di erogare una piccola carica di calore molto ripartita. Per esempio resistenze elettriche in guaina di silicone annegate nel letto di mal-

ta del pavimento, subito sotto i quadrati o le liste di laterizio.Resistenze di questo tipo, possono essere reperite sotto la qualifica di termofiloelettrico. L'impianto è di facilissima esecuzione e deve essere compiuto durante la ricostruzione del pavimento di cui al punto seguente, addensando le resistenze lungo il perimetro e specie nel lato nord.In totale installare una potenza di 5 KW corrispondente ad una erogazione oraria di circa 4.300 calorie e cioè calorie 4,3 per metro cubo d'aria. Il riscaldamento è minimo (rispetto ai 1.000 mc d'aria della cripta) e deve essere tenuto in funzione dalla fine di febbraio a tutto maggio, cominciando all'alba di ogni giorno con un dispositivo automatico di accensione e per almeno una decina di ore al giorno o più. Le finestre restino parzialmente aperte sempre, per agevolare il ricambio d'aria prodotto dal calore. Sia ben chiaro che *non si tratta di un impianto di riscaldamento per le persone*, ma di un impianto di risanamento delle murature.

**2)** - *La seconda direttiva è stata quella di demolire il pavimento di grès e marmo* per ricostruirlo con modesti quadrati o liste di laterizio all'antica, di normale peso specifico, cioè non greificato. La struttura sottostante è stata alleggerita con una camera d'aria, come indicato nella figura 13 e poi con un sottofondo anticondensa dello spessore di almeno 10 cm: pomice, oppure scorie d'alto forno, o granulo di argilla espansa (tipo Leca) oppure cemento cellulare, comunque riuscisse meno costoso e più agevole, ma in ogni caso di spessore non inferiore a 10 cm e di peso specifico non superiore agli 800 kg/mc, qualunque fosse il materiale.

**3)** - *La terza direttiva è stata di demolire tutta la controparete* ricostruendola sempre in tavelline (nuove ed asciutte) senza ammorzature nel muro retrostante. Alla camera d'aria soppressa è sostituito uno strato continuo di lastre di polistirolo espanso dello spessore di cm 4 di tipo pesante (20 kg/mc) e di buona qualità, cioè a cellula chiusa.

* * *

***Il quarto esempio di studio di un edificio, attaccato dall'umidità ascendente, riguarda una Villa ricavata con abile restauro da un antico monumentale casale della Campagna Romana.***

**Ubicazione e Terreno-Falda freatica** - La costruzione, originale in quanto è stata mantenuta intatta la solennità ed i bastioni di un imponente edificio, domina dall'alto della collina l'intera proprietà. La murature alla antica, sono totalmente di tufo e di grande spessore. Terreno prevalentemente argilloso, condizioni di deflusso delle acque piovane ottime. Falda freatica inferiore alla quota del piano di fondazione, come risultato dai cavi effettuati a ridosso dell'edificio.

**Misura dell'acqua nelle murature** - Percentuale intorno al 20%, molto elevata, in tutte le murature del piano terreno, compreso *il muro di spina*, con salita normale fino a m 1,50 sopra il pavimento ed anche di più dove è stato applicato sul muro il rivestimento idrofugo. E *in caso tipico di umidità ascendente dal terreno*. Condizione favorevole è la constata assenza d'acqua nel sottofondo dei pavimenti ricostruiti qualche anno fa su vespaio a camera d'aria.

Il piano superiore è sano, senza tracce di umidità, in perfette condizioni igieniche.

**Criteri suggeriti per il risanamento** - La natura argillosa del terreno (trattiene tutta l'acqua che vi arriva e la constatazione che il muro di spina è umido quanto i perimetrali, significa che tutta la massa di terra sottostante ed interna all'edificio è pregna d'acqua.

Poichè la diagnosi è di umidità ascendente da acque sotterranee disperse il risanamente deve seguire due direttive:

**a)** - allontanare dall'edificio tutte le acque piovana superficiali;

**b)** - tagliare l'acqua sotterranea che alimenta la fondazione.

**Lavori specifici** - Per la direttiva a) si consiglia:

- allacciare accuratamente tutti i pluviali ed allontanare con fognolo la acqua convogliata; idem per le acque nere;

- asportare la ghiaia dal piazzale circostante all'edificio perchè trattiene l'acqua piovana e ne ostacola il deflusso sostituendola con una pavimentazione impermeabile: per esempio in selcetti romani murati su sottofondo di calce e pozzolana. Pendenza superficiale di allontanamento non inferiore al 2% ; la pavimentazione deve coprire il drenaggio di cui al punto successivo oltrepassandolo di almeno un metro.

Per la direttiva b):

- costruire un drenaggio tutto in giro all'edificio (fig.14) a circa 3 metri dall'edificio stesso, con cavo eseguito a giorno e riempito di tratto in tratto, profondo fino a circa 1 metro sotto la quota di fondazione; pendenza del fondo 2% verso valle. Sponde inclinate 1/20 protette da accoltellato di mattoni pieni in foglio. Riempimento di ghiaia lavata tonda di cava, costipata senza sabbia. Copertura impermeabile a lastre di cemento e soprastante pavimento di selcetti romani come alla fig.15. Curare un doppio sfogo a valle del drenaggio.

L'effetto del risanamento, cioè l'abbassarsi della linea di imbibizione nei muri del piano terreno, sarà sensibile a decorrere dal secondo anno dopo l'ultimazione. Prima di cominciare i lavori segnare sulle pareti i livelli e le percentuali attuali d'acqua per poterli ricontrollare a partire dal secondo anno.

Il prosciugamento potrà essere accelerato se, dopo eseguito il drenaggio, si costruisce subito una intercapedine perimetrale a ridosso di tutta la fondazione (fig.15).

L'intercapedine avrà il tipo solito di tale struttura: profondità circa m 1,30 e cioè, per esigenza statiche, con il fondo un po' più alto rispetto al piano di fondazione del casale (-1,70). La parete di sostegno

della terra in c.a. sottile; il fondo cementato e con pendenza verso il punto di deflusso. Prevedere che in ciascuno dei tratti dell'intercapedine possa per qualche accidente penetrare acqua: predisporre un raccordo a fognolo di uscita con forte pendenza che, per esempio, immetta nel drenaggio, come indicato con linee tratteggiate nella fig.15.

## LEZIONE SETTIMA

***Il quinto esempio che illustriamo è quello del «Palazzo dell'Accademia di S.Luca a Roma», caratteristico per il totale fallimento dei sifoni deumidificatori di Knapen.***

**La trovata dei sifoni deumidificatori** - Era dal principio del secolo che si tentava di utilizzare i magnifici locali coperti a volta, nel piano terreno del Palazzo dell'Accademia per allestire mostre di disegni, progetti, opere d'arte. Neppure l'impianto di riscaldamento a termosifone era riuscito ad eliminare le muffe e le erosioni dell'intonaco umido.

Verso il 1935 l'accademico Gustavo Giovannoni insigne docente di architettura all'Università, maestro di intere generazioni di ingegneri e di architetti, fece perforare con diligenza il travertino dello zoccolo esterno del Palazzo ed applicare entro il muro i cosidetti «*sifoni deumidificatori di Knapen*» un ritrovato messianico molto in auge in quel momento perchè assistito da una propaganda apparentemente razionale, anche se pseudoscientifica. Contemporaneamente al collocamento dei sifoni i tecnici applicatori provvidero a demolire sulla parete interna l'intonaco macchiato e guasto rinnovandolo con abbondante impiego di cemento idrofugato. I locali, prima così sgradevoli e deturpati, apparvero di colpo lindi, privi di qualsiasi traccia della vecchia umidità, gradevolissimi nella freschezza della nuova integgiatura. L'effetto, come dopo si apprese, ebbe la durata di tre o quattro anni dopo di che riapparvero macchie e salnitri ed erosioni e tutto ritornò come prima. Si era trattato di un semplice «maquillage». In realtà dei due lavori compiuti, quello esterno dei *tubi deumidificatori* non aveva deumidificato nulla, e quello interno di rinnovamento dell'intonaco era stato una provvisoria masche-

ratura di danno, con la malizia in più di attribuire ai tubi la apparente miglioria iniziale.

**Trent'anni dopo** - Il problema era allo stesso punto, quando da parte di alcuni accademici architetti venne nuovamente posto il quesito di un possibile effettivo risanamento, con la pregiudiziale di uno studio basato su diagnosi strumentale, con esclusione di miracolismi. Per la prima volta non si procedette «a buon senso» ma si cominciò con misurare l'acqua contenuta nei muri dei locali malsani. Il rilevamento mise in luce che dei due muri paralleli racchiudenti i locali umidi (vedere pianta della fig.16) l'uno, interno al portico, era asciutto, mentre l'altro sul vicolo Scavolino conteneva forti cariche d'acqua fino al 20% in peso (cioè 30-32% in volume) distribuite in modo assai capriccioso, come accade quando c'è irregolarità di rifornimento.

**Deduzione** - L'acqua di alimentazione non poteva venire da falda freatica e neppure da una diffusa ed omogenea acqua dispersa nel sottosuolo a livello delle fondazioni perchè in tal caso entrambi i muri paralleli sarebbero stati omogeneamente imbibiti. Ci doveva essere una causa specifica localizzata, che agiva soltanto sul muro esterno.

**La vera causa dell'umidità** - Quando i Servizi Tecnici del Comune, aderendo alla richiesta dell'Accademia, aprirono un cavo per ispezionare il sottosuolo stradale del Vicolo si vide che l'antichissima fogna di mattoni, unica per acque bianche e nere, era profondamente avvallata a corda molle lungo tutto il fronte del muro umido del Palazzo, pur essendo rimasto intatto il piano stradale. La *fogna aveva continuato a funzionare non più a pelo libero, ma sotto carico* lungo molti metri, irrorando le fondazioni del Palazzo con le cariche periodiche d'acqua che restava nel tratto inflesso. Il guasto doveva sussistere da oltre mezzo secolo, ma la fogna (sia pure saltuariamente sotto carico) aveva continuato a funzionare regolarmente, ed i servizi tecnici del Comune non si erano accorti di nulla. Soppresso l'avvallamento (fig.17) e ricostruita la fogna con pendenza rettilinea il muro del Palazzo cominciò lentamente

a prosciugarsi. Dopo tre anni (1965) il livello superiore dell'invasione umida, che prima era a m 2,00 sopra la quota del pavimento, s'era già abbassato a m 0,30 ed il risanamento del muro era assicurato.

I tubi di Knapen sono ancora lì. Forse fra altri venti o trenta anni, qualcuno verrà fuori a dire che sono stati loro a risanare il muro.

* * *

Oggi il sifone originario di Knapen non è più di moda; ma continuano ad apparire come ultime novità del progresso tecnico, edizioni variate ad opera di una pleiade di imitatori in Svizzera, in Francia, in Ungheria, in Germania, più ancora che in Italia. Nessuno dei nuovi inventori fa più il nome di Knapen. Nella figura 18 sono riportate alcune imitazioni recenti dell'antico sifone di Knapen: nel gruppo indicato con la lettera *a* si vede come alla originaria sezione di laterizio triangolare siano state sostituite sezioni cilindriche e semicilindriche; nel gruppo *b* sono altri tipi di sifoni costruiti non più in laterizio ma in materia plastica, economici ed infrangibili, allungabili per successivi segmenti. Il tipo *c* è un modello francese piuttosto costoso costruito in acciaio inossidabile e cioè in lega nichel-acciaio alla quale si attribuiscono qualità miracolose di attirare l'acqua per elettrosmosi. Nel gruppo *d* sono alcuni tipi costruiti in Italia ancora in laterizio, secondo il prototipo di Knapen, ma con l'aggiunta di pezzi o di fili di rame che dovrebbero avere un fantastico potere elettrico per far discendere l'acqua per elettrosmosi dal muro a terra. Si tratta di frottole pseudo-scientifiche alle quali non si deve dare alcuna fiducia. In realtà tutti questi dispositivi sono *perfettamente inutili* contro l'umidità ascendente.

L'inutilità dei tubi di Knapen è confermata dall'inglese A. Watson creatore di un nuovo sistema di misura della variazione di umidità dentro un muro, tramite assorbimento di microonde. Egli ha riscontrato con osservazioni durate due anni, che nei muri trattati con tubi di Knapen non si ha nessuna riduzione del contenuto d'acqua iniziale. Questo risul-

tato negativo fu comunicato ufficialmente al Symposium di Helsinki dei fabbricanti di laterizi di tutta Europa nell'agosto 1965. Già prima il tedesco Gunter Mall in «Bautscheden» (Edizioni Bauverlag GMBH, Wiesbaden Berlino, 1963) aveva dimostrato che i tubi di Knapen non solo sono inutili, ma spesso dannosi, perchè soggetti a condensazione interna fanno salire il livello dell'acqua nel muro.

In tutto il mondo molti uffici tecnici ed economati che si occupano della conservazione dei monumenti vivono di «routine» digiuni di ogni aggiornamento scientifico. Sono loro che curano oggi l'umidità dei muri con i tubi di Knapen, magari divenuti di plastica o di acciaio inossidabile, e perciò modernissimi.

Altri sistemi di intercettazione dell'umidità muraria come la diffusione di siliconi liquidi o di polisilicato di etile entro il muro sembrano teoricamente utili per combattere l'umidità ascendente, ma all'atto pratico non si ottiene mai la loro completa distribuzione fino ad ottenere un velo orizzontale veramente impermeabile. Nè c'è modo di controllare dall'esterno come questi liquidi intercettanti si siano sparsi allo interno.

Poichè è difficile per gli architetti incaricati del restauro dei monumenti distinguere la vera dalla falsa scienza, al Congresso Internazionale dei Tecnici del Restauro, tenuto a Venezia nel 1964, fu presentata da Massari la seguente formula cautelativa in materia di nuovi dispositivi e ritrovati commerciali per risanare le murature dall'umidità ascendente.

«Prima di accettare nuove specialità e nuovi dispositivi offerti dal commercio occorre precisare ufficialmente lo stato di umidità della struttura da risanare, prelevando a 15-20 centimetri di profondità dentro il muro almeno cinque campioni a determinate quote sopra il pavimento, per esempio m 0,40-0,80-1,20-1,60-2,00. I campioni chiusi in vasetti di vetro a perfetta tenuta d'aria saranno inviati ad un laboratorio qualificato di igiene o di chimica di una pubblica amministrazione o dell'università con la richiesta che vi sia dosata l'acqua percentuale contenuta in peso. Applicato poi il nuovo dispositivo o specialità commerciale per il

risanamento, ripetere il prelevamento dei campioni nello stesso numero ed alle stesse quote dei precedenti ed inviarli per il dosaggio dell'acqua allo stesso laboratorio. Questo secondo prelevamento deve essere operato dopo un tempo ragionevole per giudicare dell'efficacia del dispositivo, per esempio dopo un anno almeno.

Il dispositivo sarà presumbilmente *valido se l'acqua nei campioni è nettamente diminuita.* Il controllo deve essere curato dalla Amministrazione responsabile della conservazione del monumento e non già affidato allo stesso applicatore del dispositivo che si tratta di controllare ».

Infine occorre diffidare di quei lavori di risanamento nei quali viene demolito il vecchio intonaco guasto per rifarlo nuovo a base di idrofughi. Il lavoro si risolverà in un semplice « maquillage » esterno. Dopo un paio d'anni il nuovo intonaco si macchia e si guasta come quello di prima oppure se è di cemento si gonfia e cade in quanto non è stata eliminata la vera causa dell'umidità e cioè la carica d'acqua che è nell'ossatura.

●

## LEZIONE OTTAVA E NONA

***Abbiamo visto il fallimento dei vari ritrovati (sifoni di Knapen e successive imitazioni, elettrosmosi passiva ecc.) con i quali si era tentato di sostituire l'antica tecnica tradizionale e veramente efficace contro la umidità ascentente, del taglio in breccia (fig.19).***

Questo fallimento ha consigliato ai ricercatori del *Gruppo per lo studio dell'umanità delle murature* in seno al Consiglio Nazionale delle Ricerche di riesaminare le modalità esecutive del taglio tradizionale impiegando nuovi strumenti meccanici di oggi e nuovi materiali impermeabili. In realtà il taglio tradizionale fatto a mano aveva molte limitazioni in quanto sconquassava la muratura, era lentissimo e faticoso, ed in pratica non si poteva più eseguire quando lo spessore del muro da tagliare superava i 75 centimetri.

I due mezzi d'opera innovativi sono stati una piccola macchina utensile di costruzione americana idonea ad eseguire fori cilindrici nella rocce (carotatrice) adoperata da noi per eseguire delicatamente e rapidamente il taglio orizzontale del muro (fig.20) ed una delle nuove materia plastiche, la resina poliestere, per inserire entro il taglio lo sbarramento impermeabile destinato a interrompere i filetti capillari. Durante la fase sperimentale, come viene illustrato con diapositive, si è operato il taglio su murature di spessore crescente fino a m 1,60. In tale limite rientra lo spessore alla base della massima parte, anche se non di tutti, i muri di chiese e palazzi monumentali. È dunque assicurata la possibilità di risanare con il taglio tradizionale, a tecnica rinnovata, quasi tutti gli antichi edifici umidi, anche di quelli staticamente malsicuri o recanti affreschi e decorazioni delicate che non avrebbero tollerato lo

sconquasso del taglio operato a mano a colpi di scalpello, come si faceva un tempo.

La resina poliestere (come strato impermeabilizzante) viene immessa fluida nel taglio e solidifica in tre ore sopportando un carico di kg 900/cmq. cioè triplo di quello che può reggere un beton di cemento.

Tutto il procedimento è illustrato dalle diapositive che accompagnano queste lezioni.

Il costo del lavoro di risanamento operato con taglio meccanico rapido può valutarsi (nel 1966) intorno alle 160.000 lire per metro quadrato di superficie orizzontale, di muratura tagliata. Del suddetto costo circa un terzo è rappresentato dal consumo dei tubi taglianti che hanno il bordo armato da una corona di piccoli diamanti. Una chiesa od un edificio di media grandezza che abbia uno sviluppo di muri umidi corrispondenti ad un perimetro fra 50 e 100 metri lineari potrà richiedere una spesa totale compresa fra 6 e 13 milioni di lire italiane. Il lavoro si esegue in 3 mesi.

Con questa tecnica è stata perfettamente risanata a Roma la piccola chiesa settecentesca di S.Maria della Neve vicino al Colosseo. Quando si tratta di proteggere dall'umidità un affresco isolato non occorre tagliare come si è operato nella suddetta chiesa tutto il muro perimetrale, ma basta eseguire un taglio cosiddetto ad U composto cioè di un tratto orizzontale al disotto dell'affresco e di due tagli verticali ai lati, come indicato nella fig.21 illustrante il risanamento di un magnifico affresco del Perugino, a Firenze, che cominciava ad essere attaccato in basso dall'umidità ascendente.

Con il taglio ad U il costo del risanamento viene ridotto al minimo e si può salvare qualunque affresco evitando il cosiddetto «strappo» del quale spesso si è abusato.

Con la rinnovazione dell'antica tradizionale tecnica del taglio in breccia, il problema del risanamento da umidità ascendente si può considerare oggi risolto per tutti quegli edifici monumentali nei quali il vero ostacolo non era stato finora nella spesa, ma nella assenza di

una tecnica operativa valida. D'altronde è bene tenere presente che il taglio meccanico orizzontale è risolutivo nelle murature *fuori terra*, ma non già nelle cripte, negli ipogei nelle chiese seminterrate dove prevale la umidità di condensazione. Contro la condensazione il taglio non servirebbe a nulla: sarebbe come applicare l'impiastro sulla gamba di legno.

FIGURE

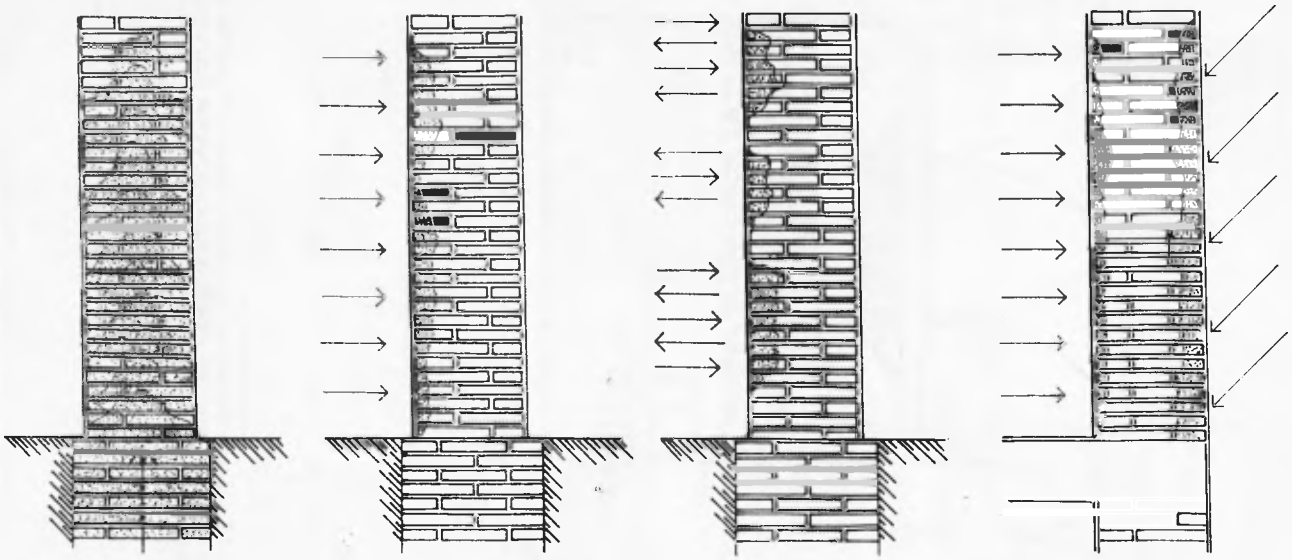


Fig.1 - Le quattro vie d'entrata dell'acqua nel muro: ascendente dal terreno, depositata dall'aria su tutta la parete, depositata a macchie isolate, conseguente alla pioggia inclinata.

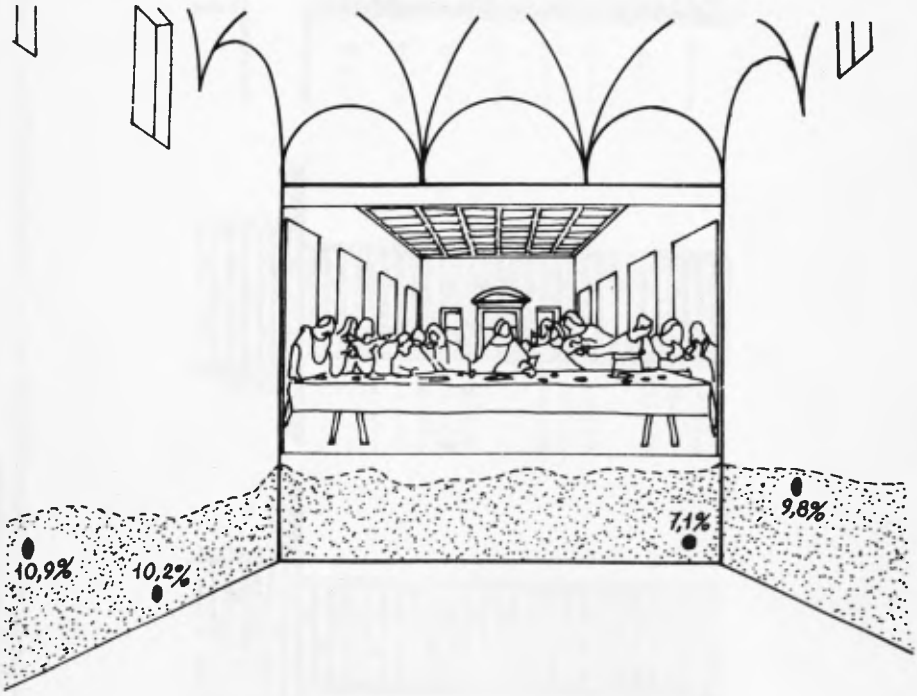
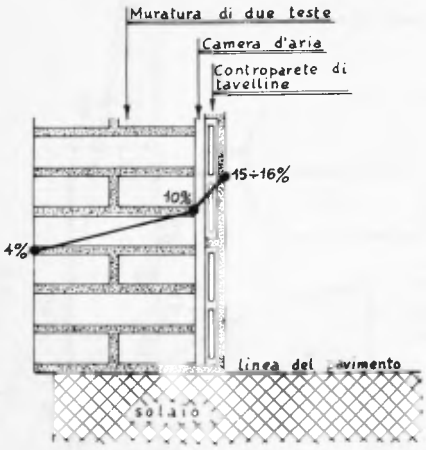
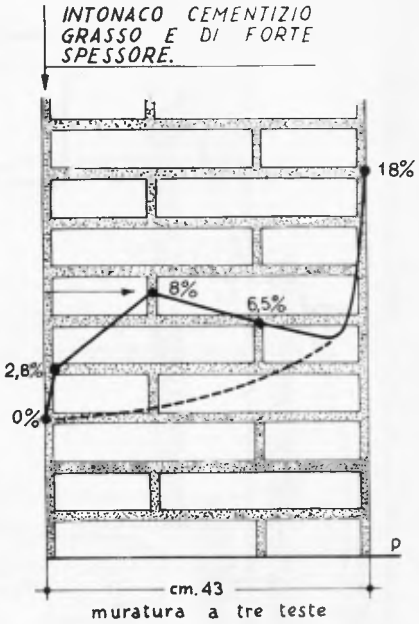


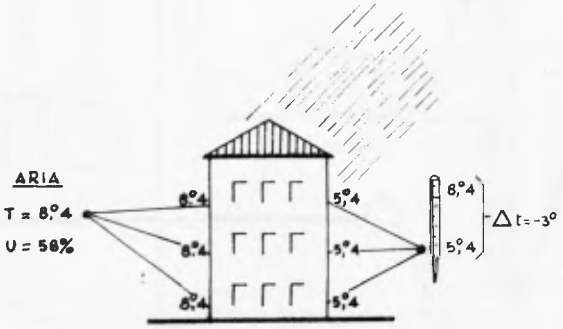

Fig.2 - Nel Cenacolo dipinto da Leonardo a Milano l'umidità ascendente non raggiunge la pittura che però è stata egualmente guastata dalla condensazione del vapor d'acqua dell'aria.




L'acqua piovana non traversa mai il muro: diagramma del contenuto percentuale d'acqua di un muro umido in una casa popolare a Mestre nel quale il massimo (15%-16%) indica che l'origine dell'acqua stessa è sulla parete interna. Lo smaltimento avviene per capillarità dal bagnato all'asciutto e cioè dall'interno all'esterno, dove il paramento di mattoni appena asciugatosi dalla pioggia favorisce di nuovo la migrazione capillare.




Muro esposto a violenta bora piovosa in una casa popolare a Chiadino in Monte sopra Trieste.




Genova è una delle città italiane che ha d'inverno l'aria più asciutta e nel contempo una delle più esposte all'umidità da pioggia a vento, la quale umidità deriva per l'appunto dalla rapida evaporazione della parete bagnata in quanto l'aria è in media molto asciutta. Sul lato battuto è come se la temperatura dell'aria esterna scendesse da 8°,4 a 5°,4.

Fig.3 - La pioggia inclinata non riesce di solito a traversare il muro pieno, ma lo raffredda fortemente e provoca condensazione sulla parete interna, specie nelle chiese e nelle case affollate.

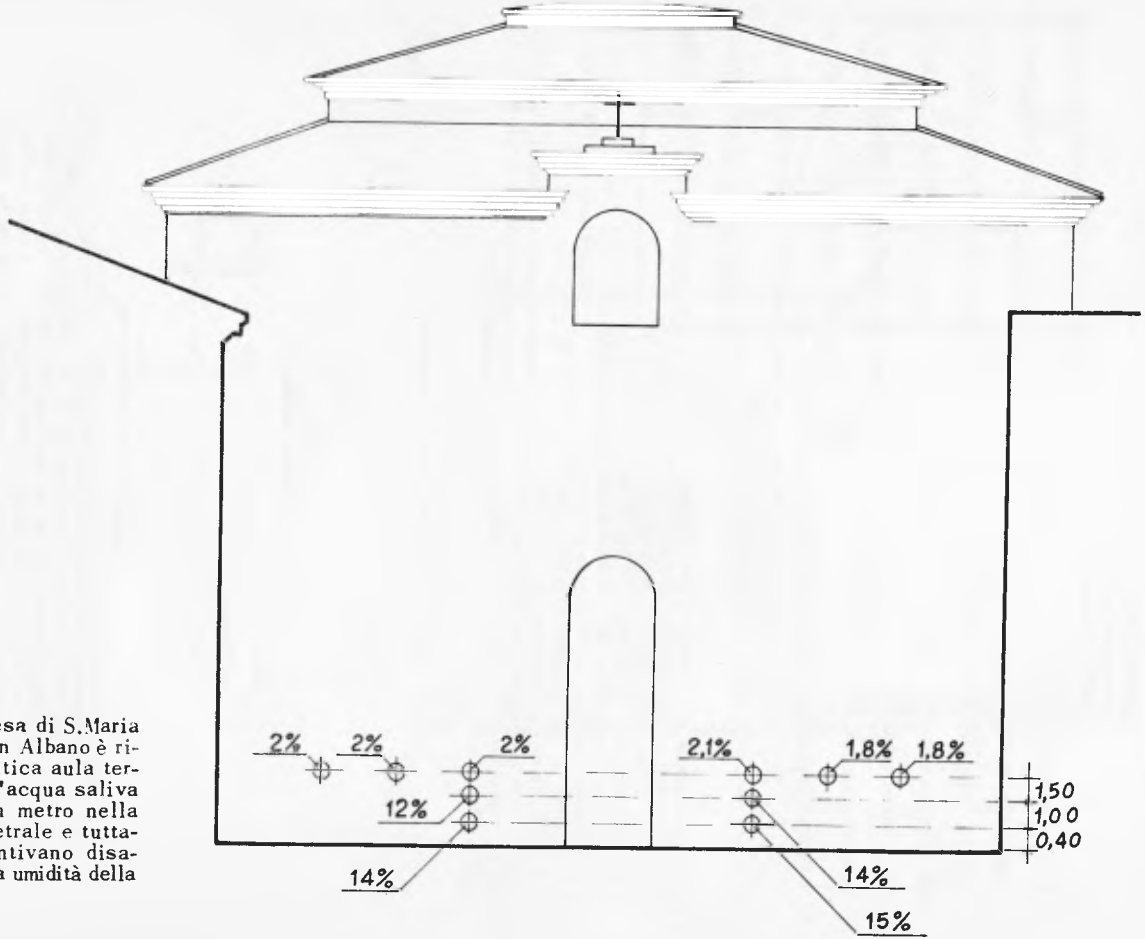



Fig.4 - La chiesa di S.Maria della Rotonda in Albano è ricavata da un'antica aula termale romana: l'acqua saliva poco più di un metro nella muratura perimetrale e tuttavia i fedeli sentivano disagio per eccessiva umidità della aria.

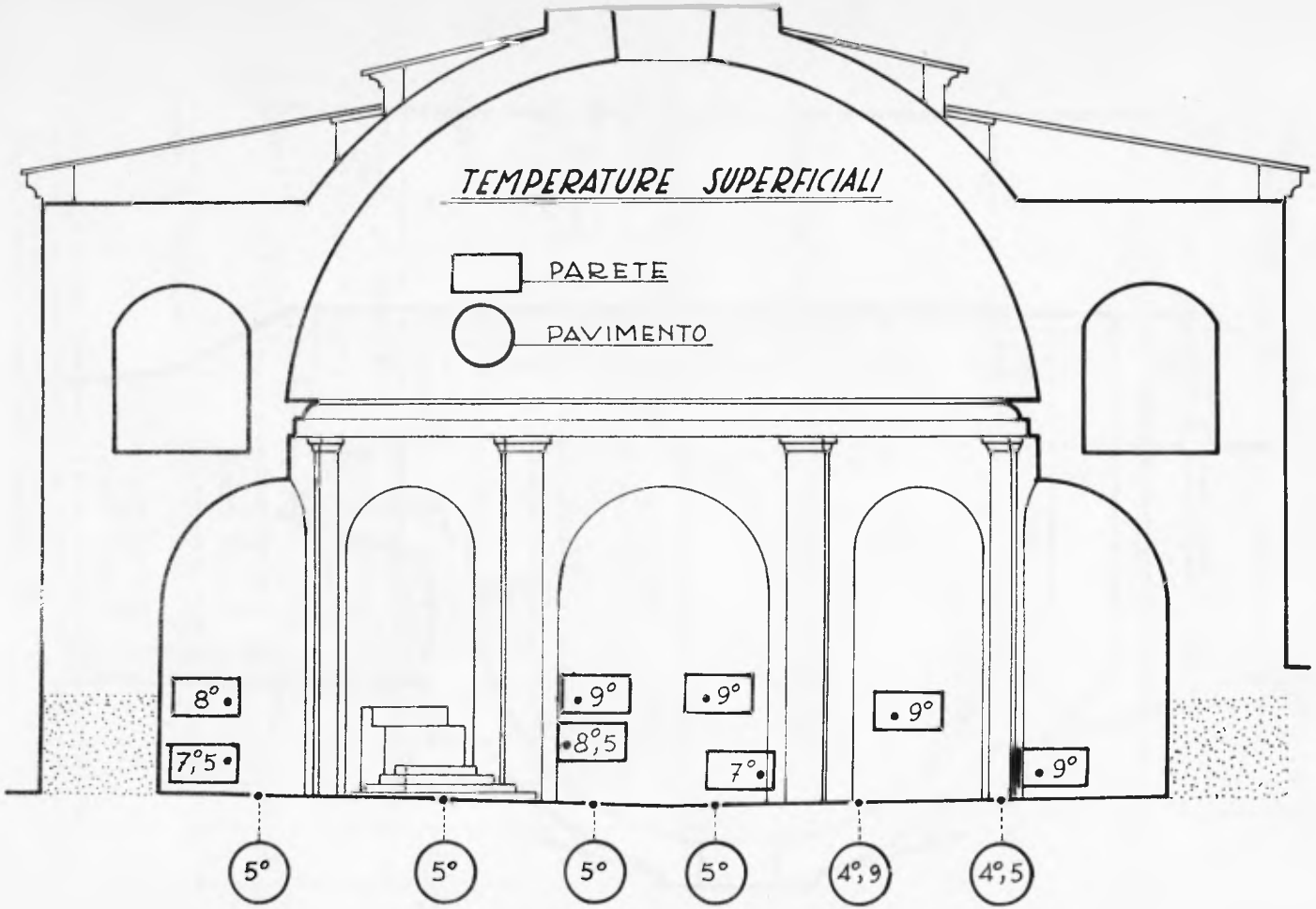



Fig.5 - Il controllo delle temperature superficiali rivelò che il pavimento era eccessivamente freddo rispetto alla parete e produceva condensazione.

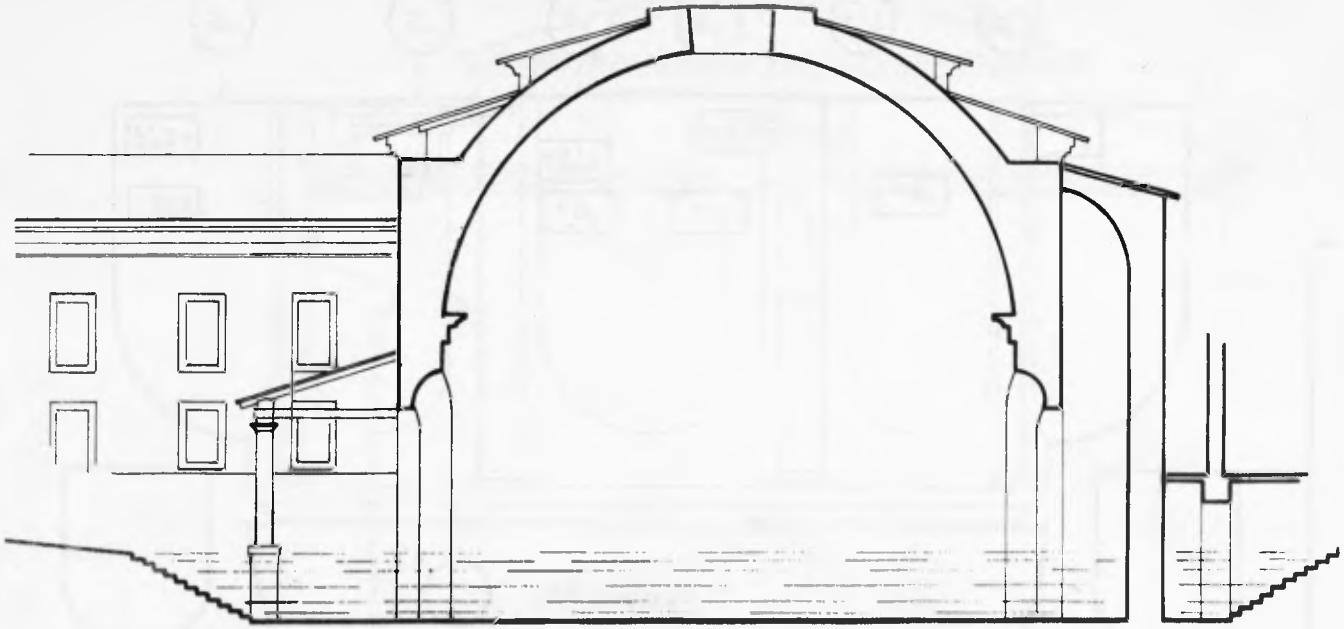


Fig.6 - L'aria fredda ed umida e pesante ristagnava come in un catino, senza ricambio.

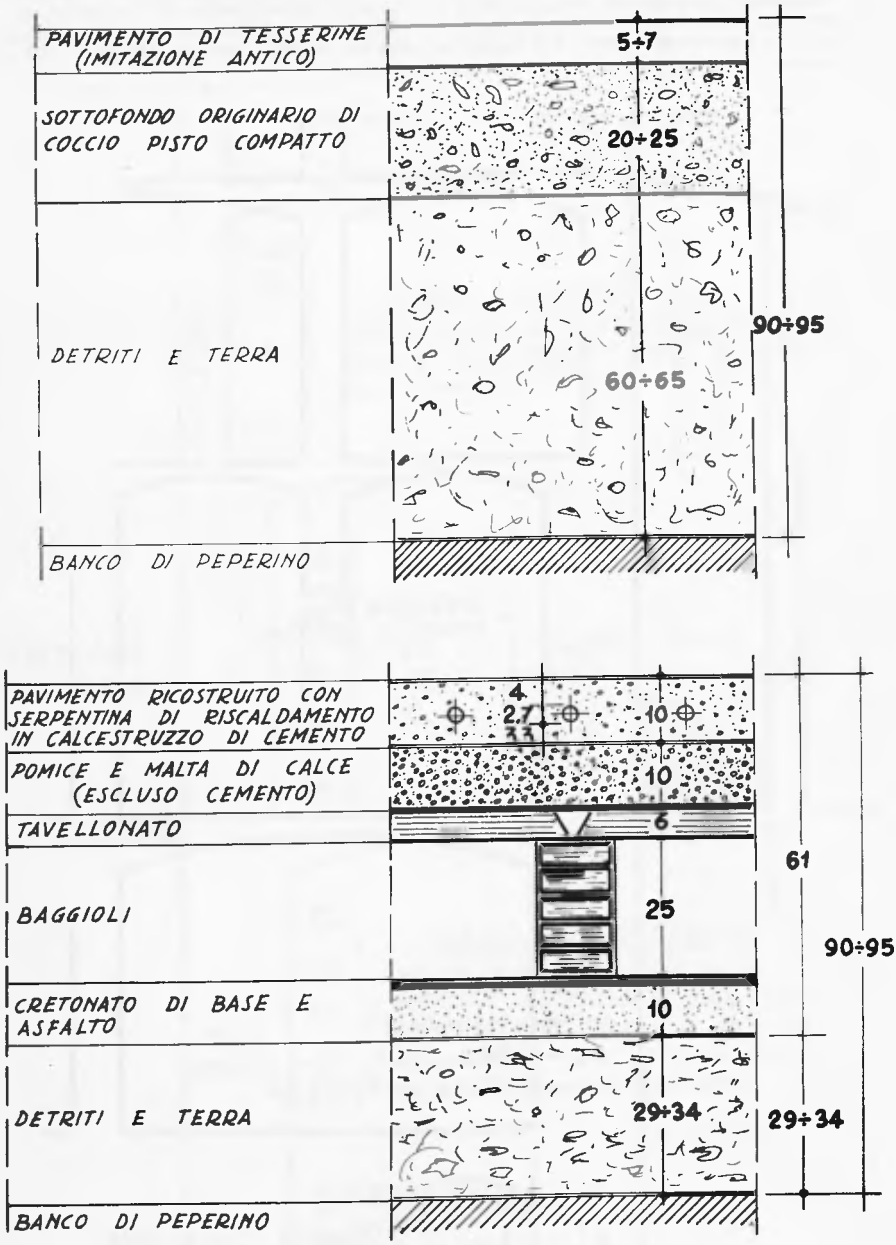



Fig.7 - Un perfetto risanamento è stato ottenuto asportando il vecchio e massiccio pavimento termale (la cui sezione è nella figura superiore) e costruendo un nuovo pavimento a camera d'aria e pomice leggermente radiante, come alla sezione della figura inferiore.

Sezione verticale del muro recante l'affresco danneggiato. La diagnosi convenzionale precedente era di «umidità capillare ascendente dal terreno» o per impregnazione del muro sottostante all'affresco (antico magazzino del sale) o per assorbimento dal collettore che raccoglie l'acqua piovana del campo, la grande piazza antistante al palazzo.

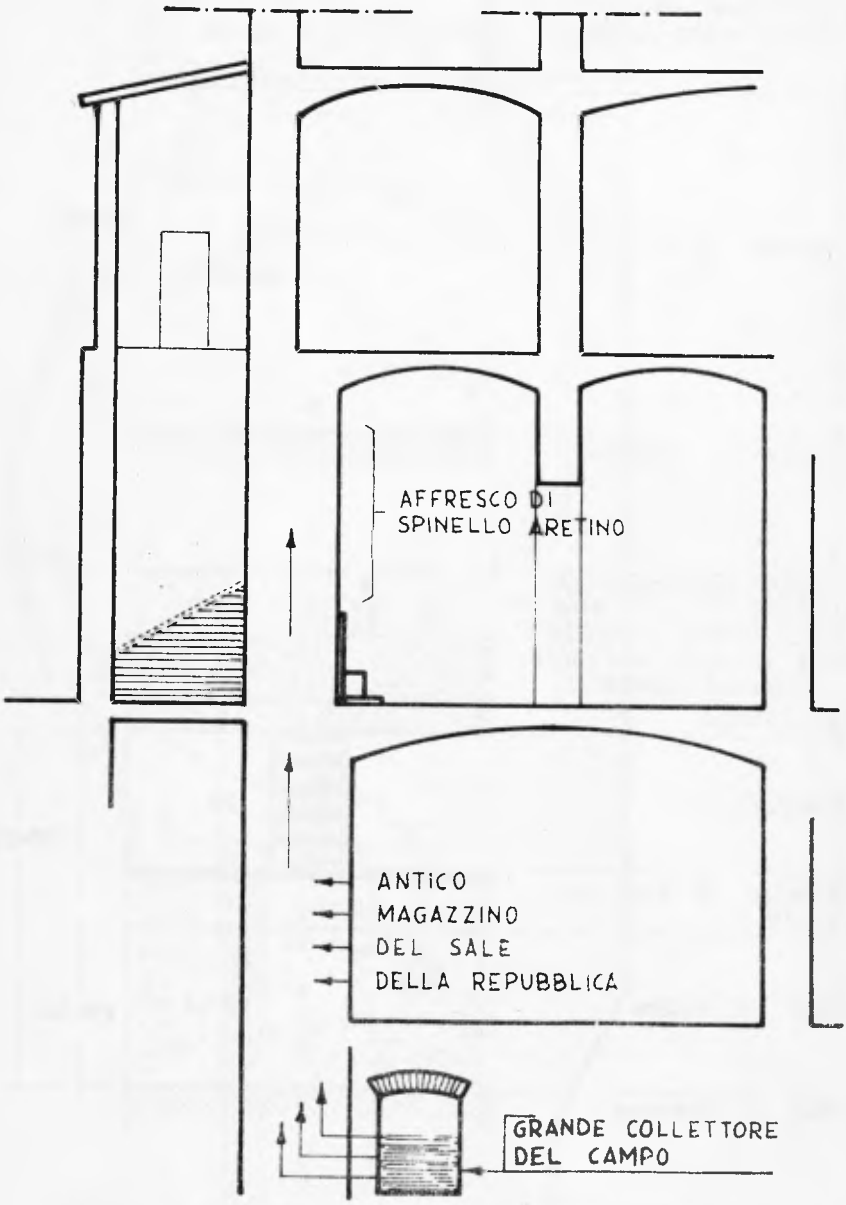



Fig.8 - Il caso inesplicabile di un affresco umido, in mezzo ad altri asciutti, al 1° piano del Palazzo Comunale di Siena.

La diagnosi strumentale (Ottobre 1960), basata sulla misura dell'acqua contenuta nella parete, rivela che il muro, sia nel piano sopra che in quello sotto, è perfettamente sano ed asciutto.

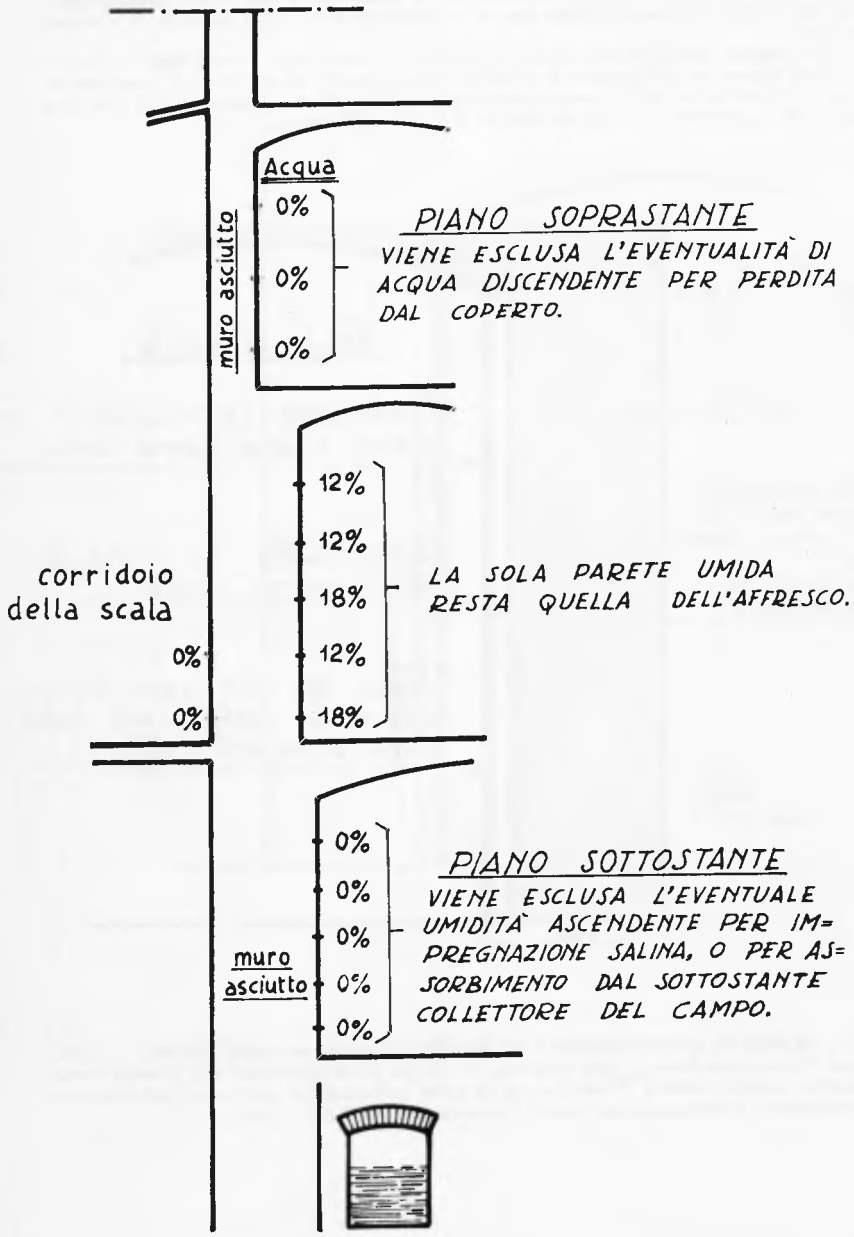
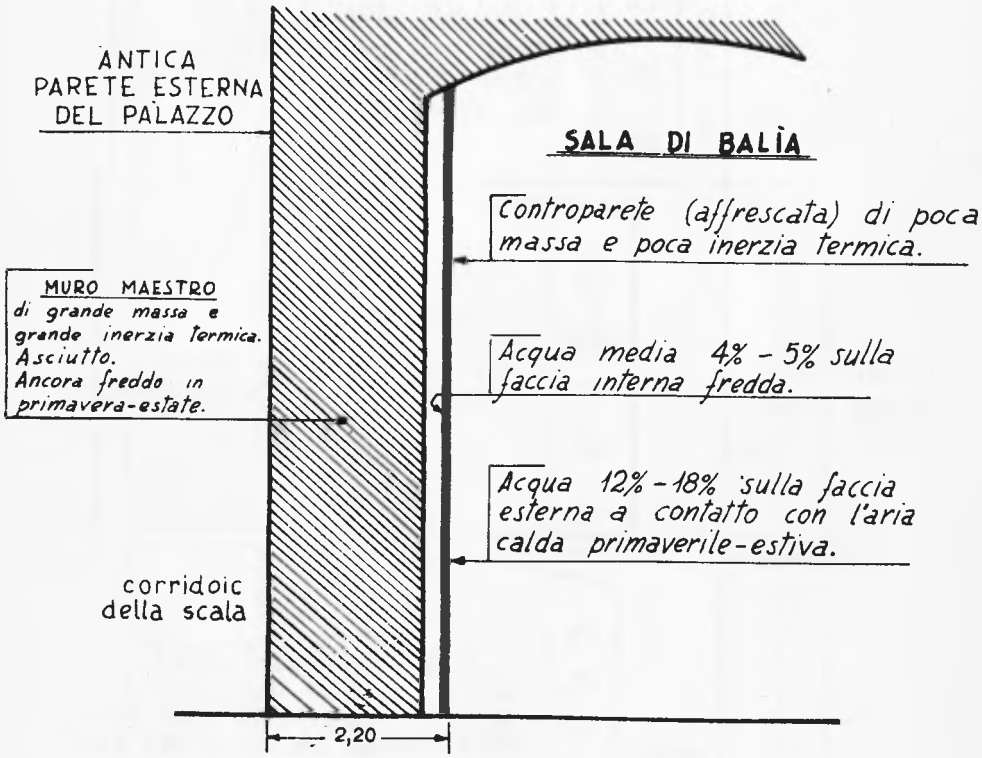



Fig.9 - La misura dell'acqua contenuta nel muro affrescato.

Esclusa l'umidità capillare discendente od ascendente non resta altra ipotesi che quella di «condensazione» per un eventuale dislivello termico fra parete ed aria.

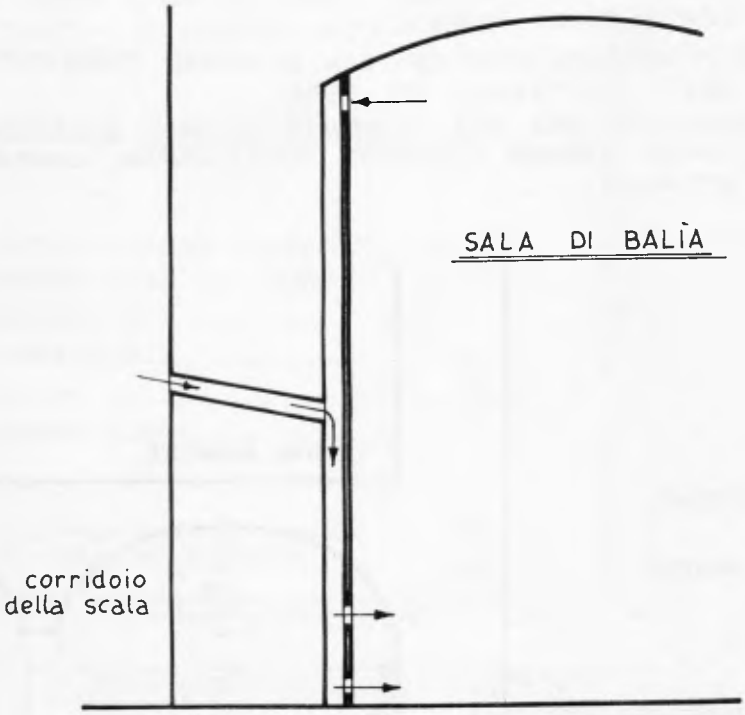
Un saggio eseguito alla base del muro (Ottobre 1960) rivela che l'affresco è steso sopra un contromuro di mattoni senesi posti in coltello. È confermata così la possibilità della condensazione per differente temperatura delle due facce del contromuro. l'una al chiuso e l'altra all'aperto.




Il contromuro in primavera-estate è soggetto a condensazione perchè il lato verso l'intercapedine chiusa subisce il ritardo di temperatura del grosso muro maestro freddo, mentre il lato verso la sala (affrescato) subisce rapidamente l'incremento primaverile-estivo di temperatura dell'aria libera.

La fig.10 - La vera struttura doppia del muro prima creduto unico.

Il rimedio applicato per eliminare la condensazione è stato quello di ventilare l'intercapedine ed ottenere così la stessa temperatura sulle due facce del contromuro.




L'acqua contenuta nella parete affrescata è gradatamente discesa dal 12% - -18%, nel 1960, al 4% nel 1964.

Fig.11 - In pochi anni l'umidità è stata eliminata con un lavoro di minima spesa livellando la temperatura dell'aria sull'affresco e sul retro.

STRUTTURE CHE PER RAFFREDDAMENTO - DA ECCESSIVA INERZIA TERMICA - PRODUCONO CONDENSAZIONE DEL VAPOR D'ACQUA DELL'ARIA:

a) PAVIMENTO DI PESO SPECIFICO ELEVATO CON SOTTOFONDO DI CALCESTRUZZO CEMENTIZIO POSTO SU TERRA UMIDA - SENZA CAMERA D'ARIA INTERPOSTA -.

b) CONTROPARETE INSUFFICIENTE A DIFENDERE L'ARIA DELLA CRIPTA DAL FREDDO DEL MURO.

c) MASSICCIA DIGA DI CALCESTRUZZO AGGIUNTA ALL'ESTERNO CONTRO L'UMIDITÀ - DANNOSA PER L'INERZIA TERMICA APPORTATA -.

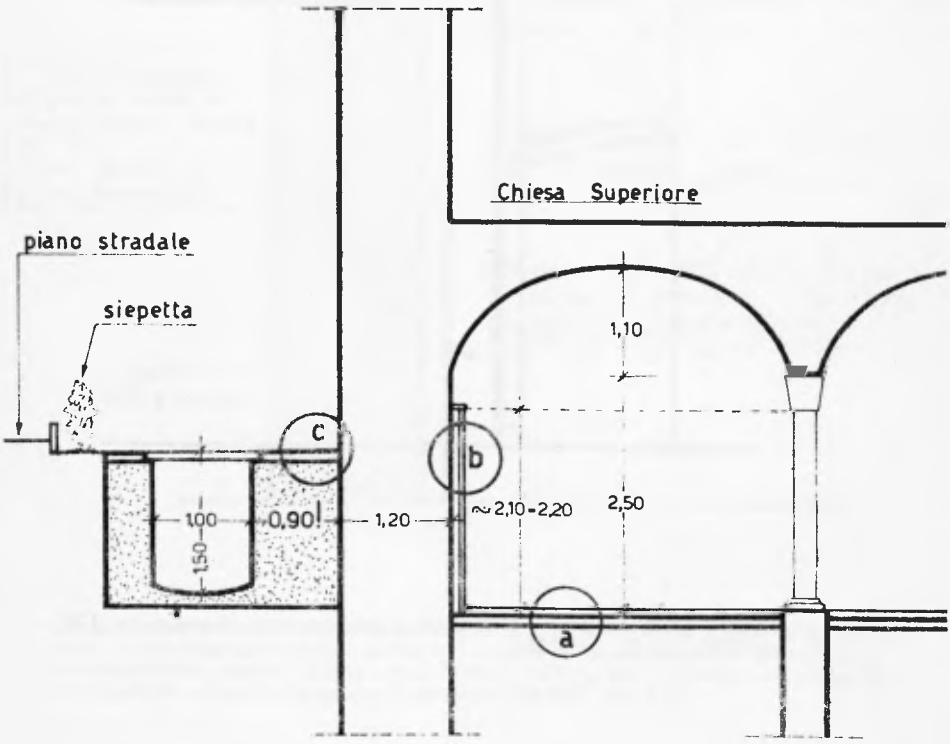



Fig. 12 - Cripta di S. Colombano a Bobbio.

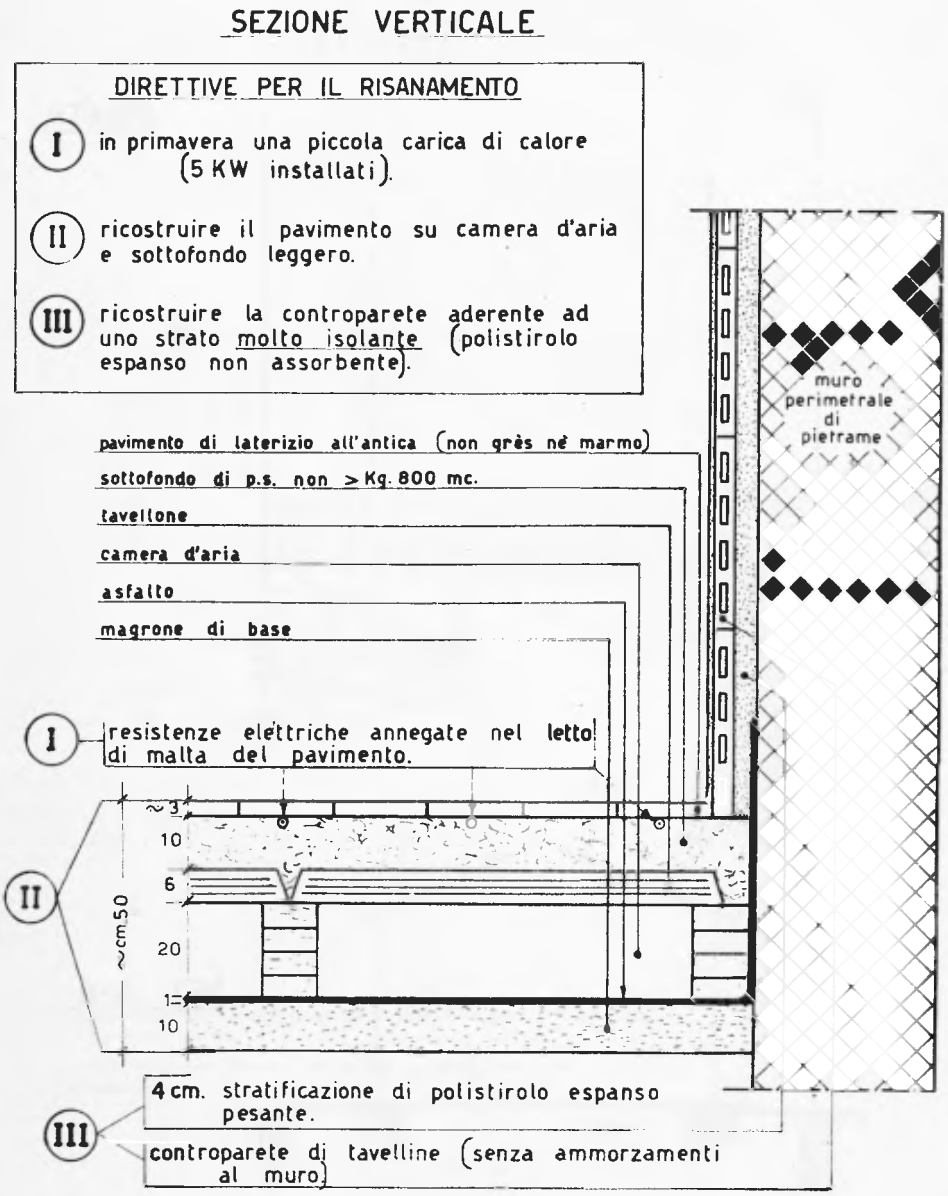



Fig.13 - Cripta di S. Colombano a Bobbio.

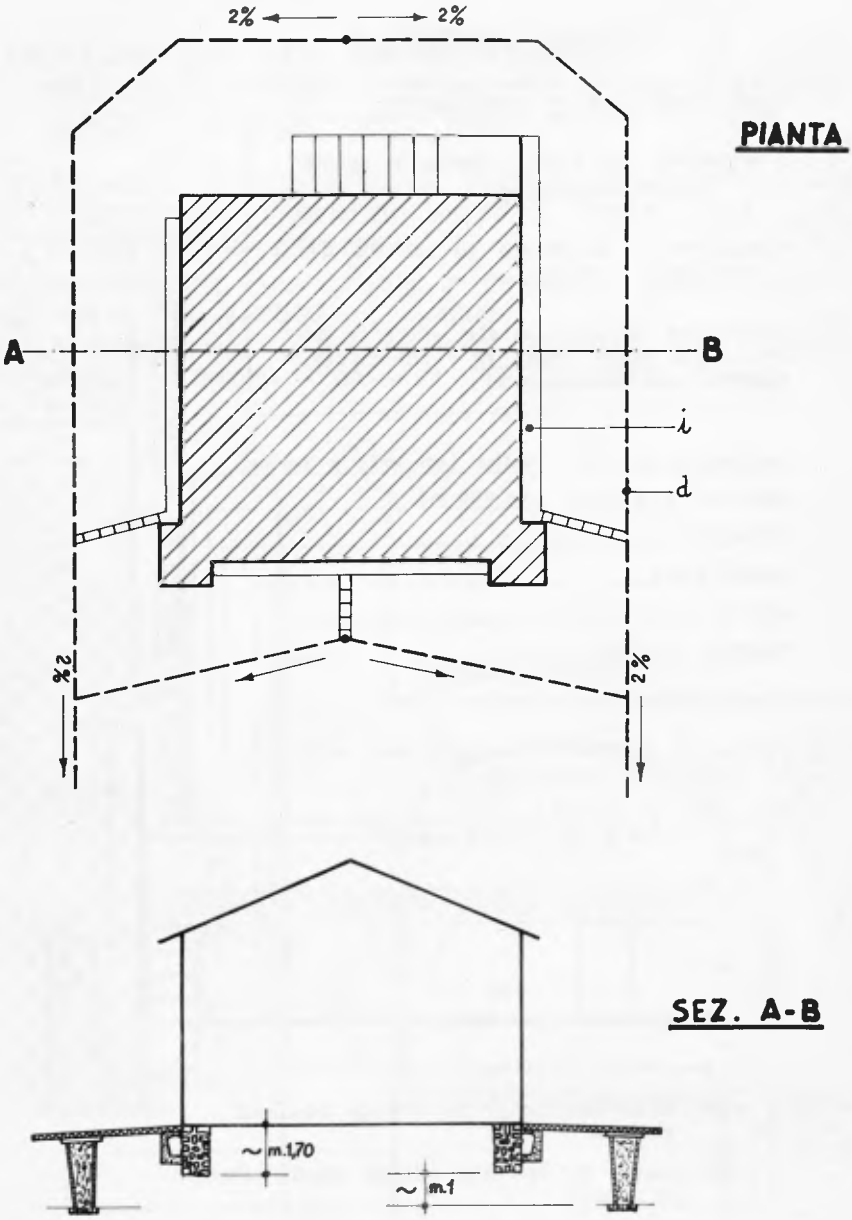
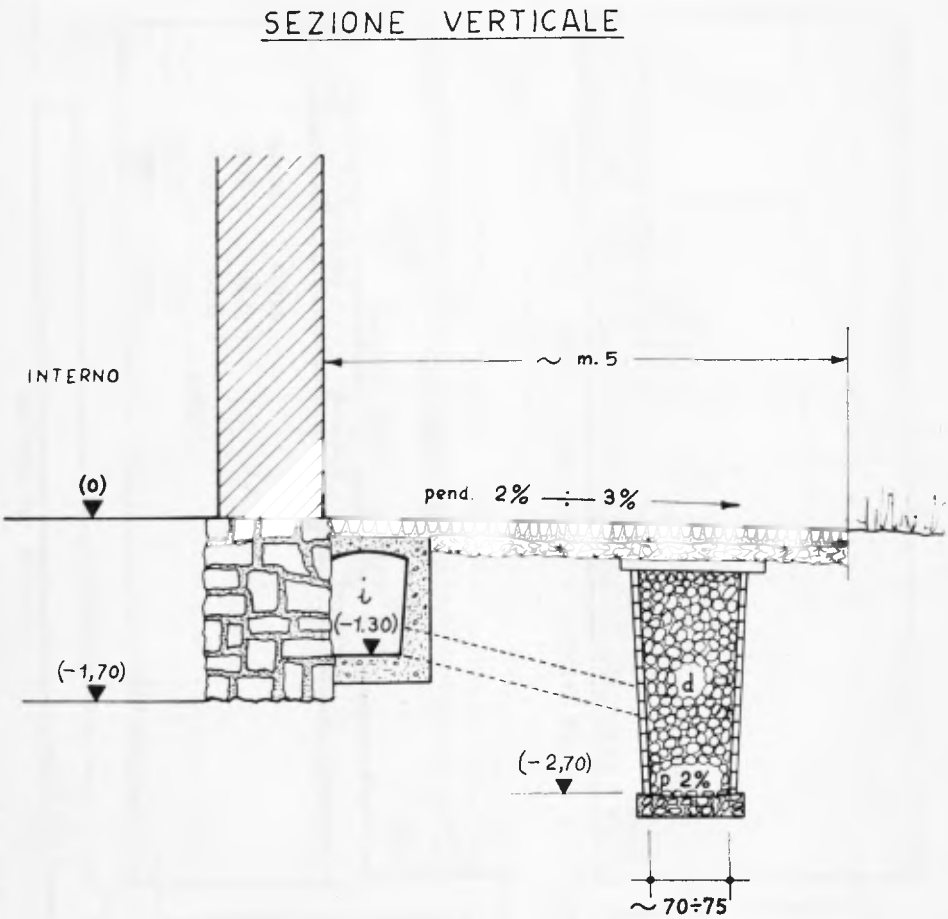



Fig. 14 - Schema di tracciato del drenaggio del terreno, circostante una villa antica della Campagna Romana, per combattere l'umidità ascendente nei muri.




d = drenaggio (lavoro specifico principale per il taglio della alimentazione).

= intercapedine (lavoro secondario accelerante del prosciugamento).

Fig.15 - Dettaglio del lavoro operato nel terreno argilloso.

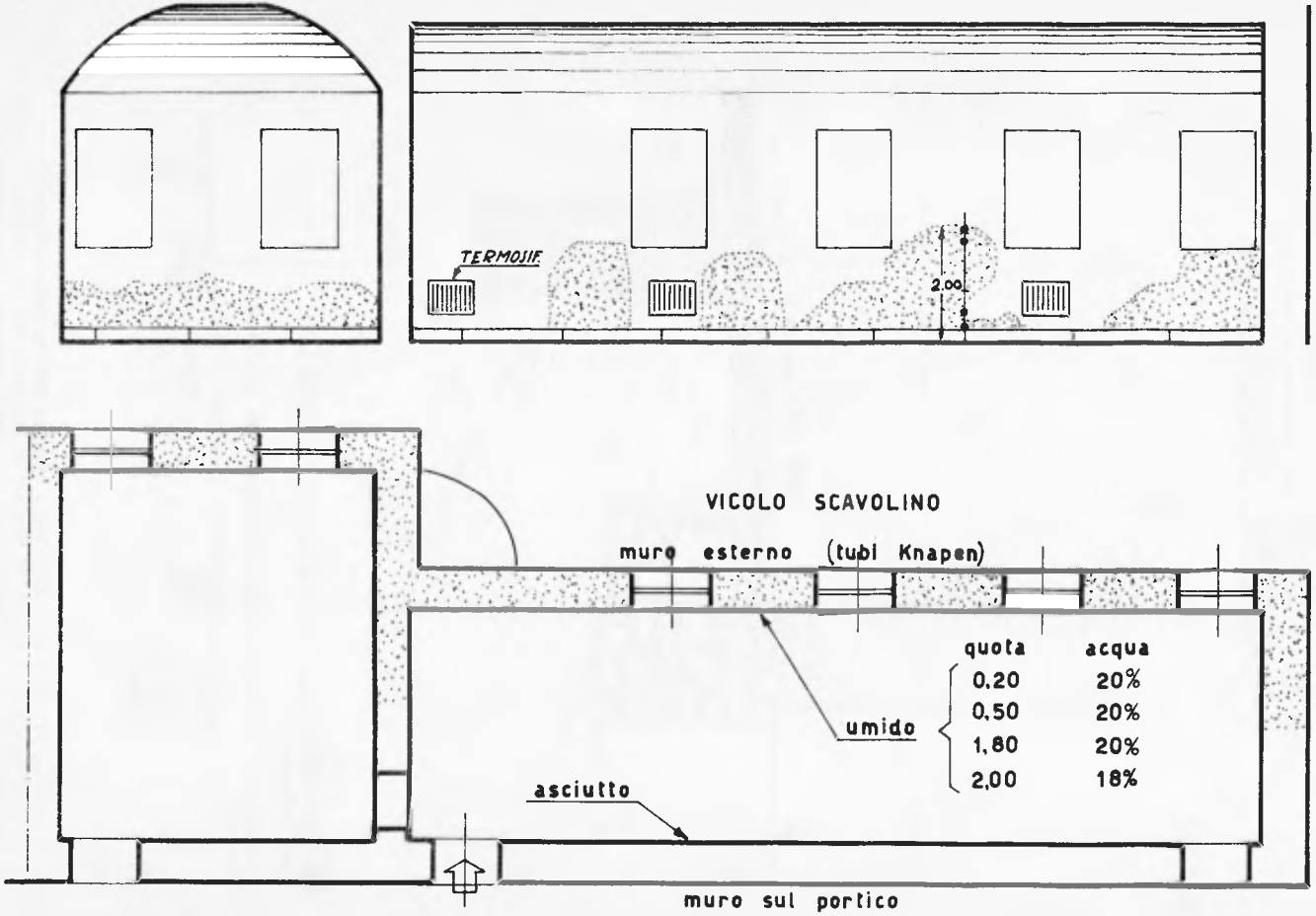



Fig.16 - Nel Palazzo dell'Accademia di S. Luca a Roma i tubi di Knapen applicati circa trent'anni fa non ebbero alcun effetto contro l'umidità ascendente che si credeva alimentata dalla falda freatica.

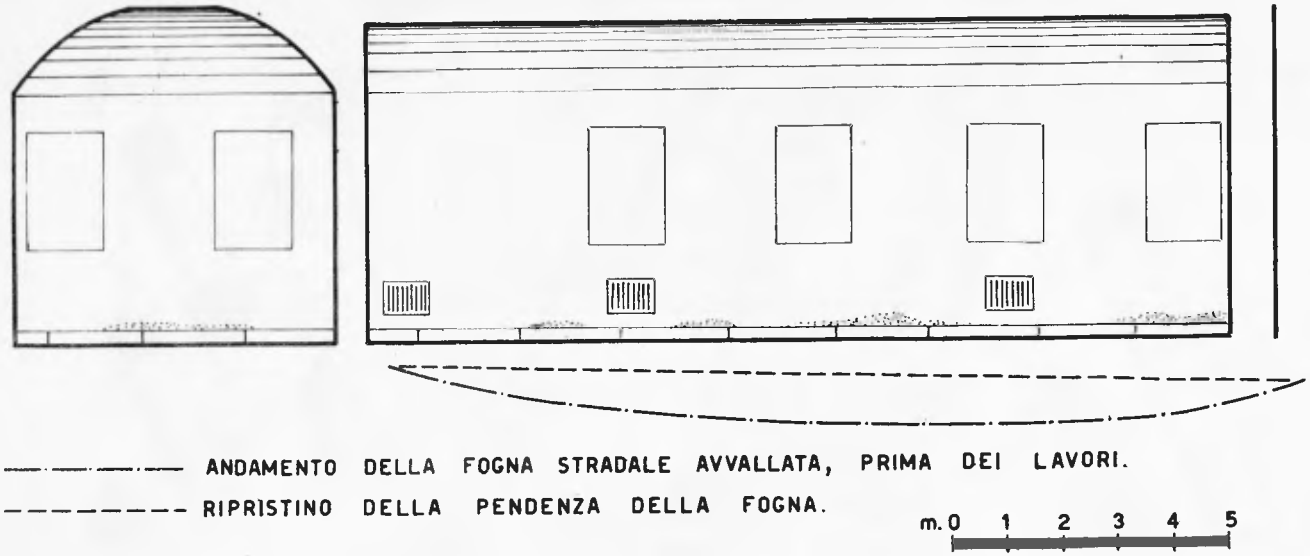



Fig.17 - Le misure dell'acqua contenuta nei diversi muri dimostrano che la causa del danno era banale e circoscritta. Bastò riparare la fogna della strada perchè il muro si prosciugasse in tre anni.

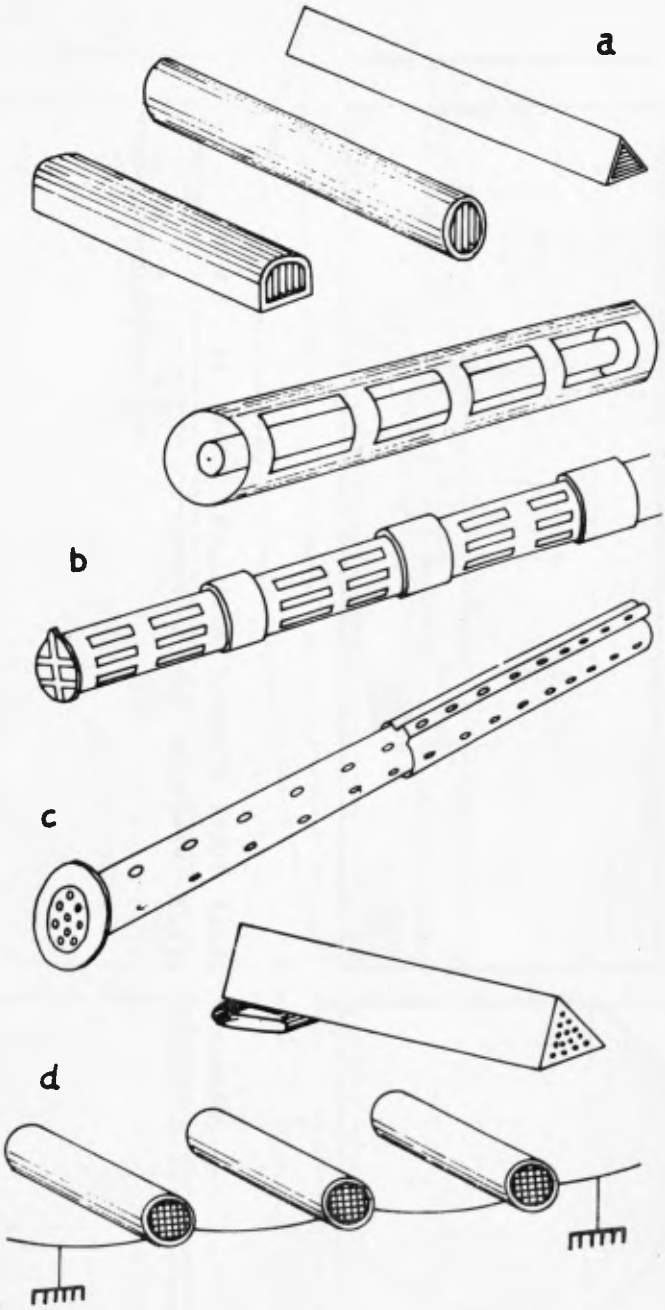



Fig.18 - Imitazioni recenti del sifone di Knapen tutte inutili contro l'umidità ascendente.

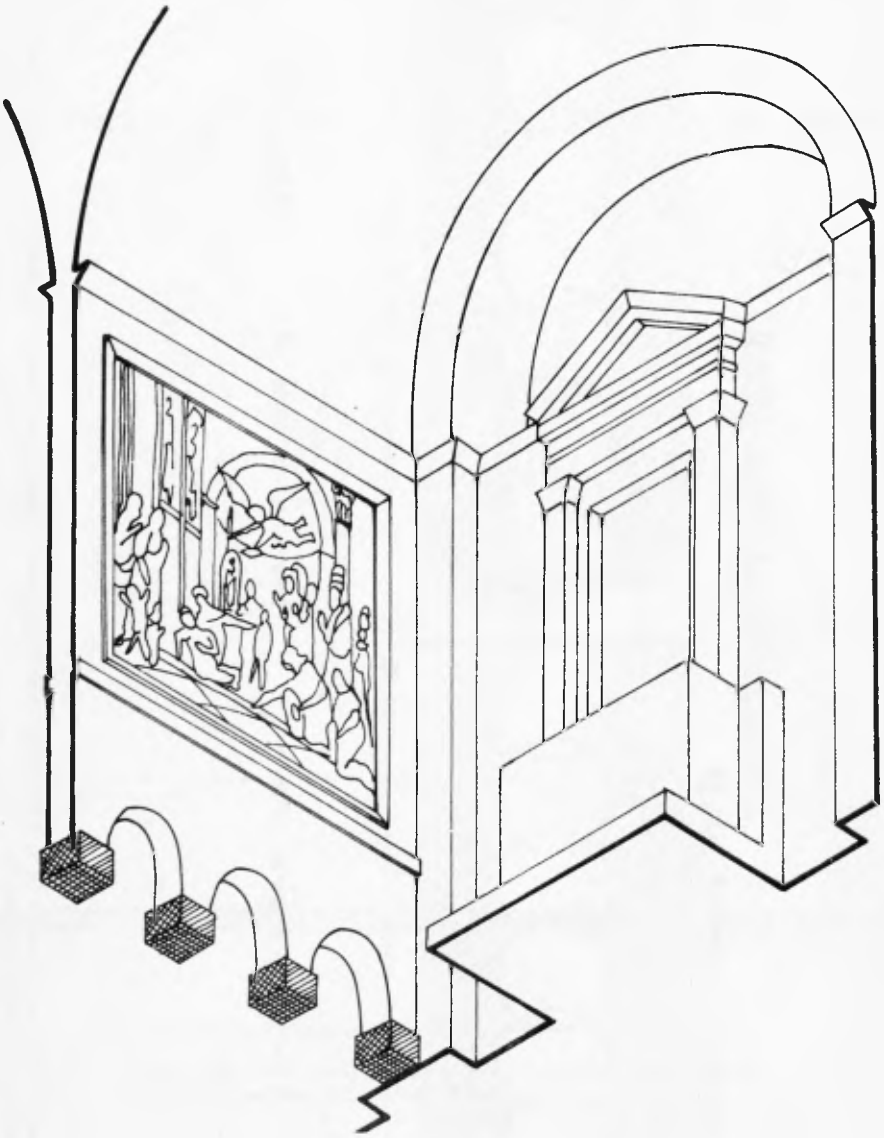


Fig.19 - La tecnica sicura contro l'umidità ascendente è quella tradizionale di tagliare il muro ed inserirvi uno strato isolante. Questo affresco del Domenichino nella Chiesa di S. Luigi dei Francesi a Roma fu salvato dallo architetto Koch con piccoli archetti impostati su plinti di basalto impermeabile.

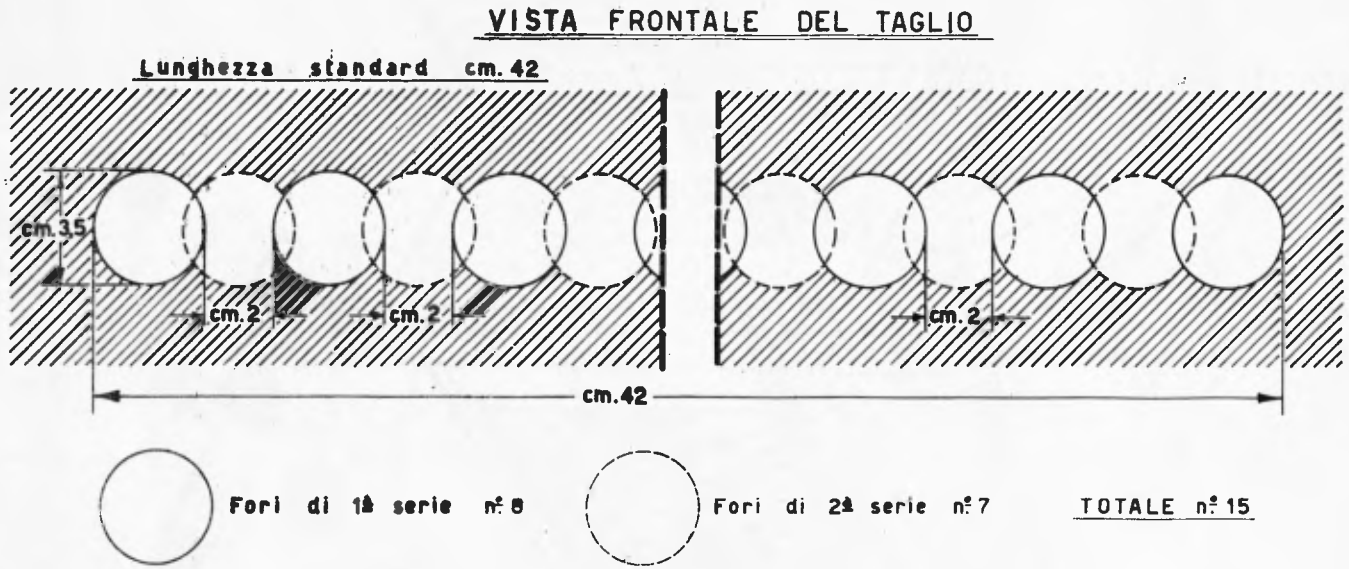
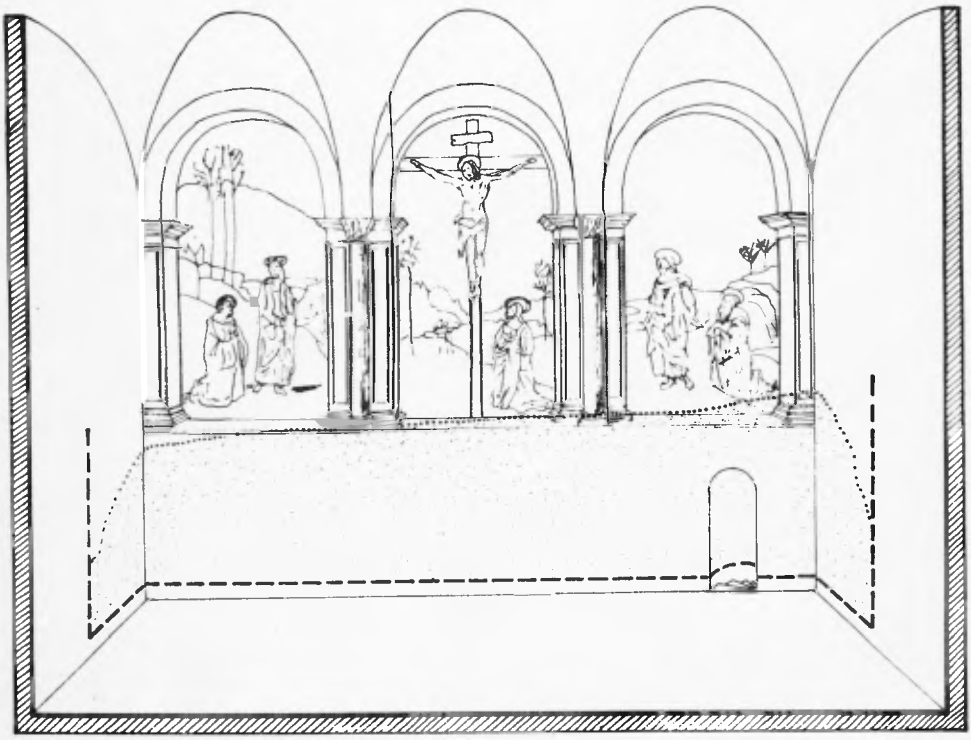



Fig.20 - Il metodo Massari rinnova la tecnica tradizionale tagliando a macchina il muro con una fila di fori accostati ed inserendovi una resina impermeabile.

SU MURO DI PIETRA DURA DELLO SPESS. DI 80 cm.



..... Linea d'arrivo dell'umidità ascendente.

——— Taglio della muratura ad U ed isolamento con resina poliestere, eseguito nell'agosto 1968 (metodo Massari).

**Fig.21 - Affresco del Perugino nel convento di S. Maria Maddalena de' Pazzi a Firenze.**

FINITO DI STAMPARE
APRILE 1969