

CONSIDERAZIONI SUL DEGRADO DELLE SUPERFICI IN MATTONI A VISTA: LA MOLE VANVITELLIANA DI ANCONA

M.G.CASTELLANO, R.ANTONUCCI, G.MORICONI, M.COLLEPARDI

Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra - Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni
Facoltà di Ingegneria, Università di Ancona

ABSTRACT

Chemical, mineralogical, physical and mechanical measurements have been carried out on the components - bricks and mortars - of the "Mole Vanvitelliana", historical building of the 18th century in Ancona.

In the present paper only the results of the investigation on bricks will be shown, and in particular those on two colour based types of bricks will be presented.

These results have been related with the data concerning the environmental parameteres such as wind, rain, sea water, thermal changes and pollution.

It would seem that the bricks deterioration can be ascribed mainly to physical mechanisms such as rain leaching out, crystallization of water soluble salts coming from sea or bricks, thermal changes and in particular freezing-thawing cycles.

1. INTRODUZIONE

La Mole di Ancona (foto nella tavola fuori testo), prima opera importante del giovane L. Vanvitelli, fu costruita tra il 1733 ed il 1743 con la funzione di lazzeretto e di magazzino per la quarantena delle merci, nell'ambito di un vasto progetto di ristrutturazione ed ampliamento del porto. Il complesso, di forma pentagonale, con un vasto cortile interno, e circondato da un possente muro di cinta, è costruito su un'isola artificiale, realizzata gettando terra e/o un conglomerato costituito da pietrisco, calce e pozzolana entro intelaiature formate da pali di legno infissi sul basso fondale [1].

L'originaria destinazione d'uso dell'edificio fu modificata già alla fine del 1700 (quando cominciò ad essere usato come caserma ed ospedale militare) e variò poi più volte nel corso dei secoli: nella prima metà dell'Ottocento prevalse la funzione militare, nel 1868 divenne magazzino comunale e nel 1884 raffineria degli zuccheri, infine fu utilizzato come deposito di tabacchi. Parallelamente a questi cambiamenti di funzione, il complesso vanvitelliano subì una interminabile serie di pesanti interventi, contraddistinti da incuria ed insensibilità, per effetto dei quali oggi risulta in molte parti illeggibile l'originaria articolazione spaziale [1].

Lo scarso rispetto per l'edificio, testimoniato dalle profonde alterazioni architettoniche e strutturali da esso subite, ha comportato anche una manutenzione carente o impropria delle superfici murarie esterne in mattoni faccia a vista⁽¹⁾, che attualmente risultano in stato di avanzato degrado. Tale degrado riguarda sia i mattoni che le malte: in alcune zone appaiono degradati i giunti di malta mentre i mattoni sono quasi integri, in altre zone viceversa il degrado dei mattoni è più profondo di quello delle malte, in altre zone ancora sono fortemente degradati tanto i mattoni quanto i giunti di malta.

In questo lavoro viene preso in esame solamente il degrado dei mattoni e sono quindi riportati i risultati delle indagini effettuate per individuare le cause di tale degrado. Il rilievo "materico" eseguito su tutti i prospetti dell'edificio per individuare le caratteristiche e lo stato conservativo dei materiali costituenti la

muratura [2] ha permesso di riconoscere come originari mattoni classificabili in due tipologie in base al loro colore, rosso (nei vari toni del rosso e/o marrone) o giallo (nelle varie tonalità del giallo - fino all'ocra - e/o del verde). Il degrado ha coinvolto entrambe le tipologie: è infatti possibile riscontrare singoli mattoni rossi degradati in un'area prevalentemente costituita da mattoni gialli in migliore stato di conservazione e viceversa (fotografie nella tavola fuori testo). Appare tuttavia diverso il modo di manifestarsi del degrado: per i mattoni rossi si osserva una sfaldatura in scaglie ancora abbastanza compatte, invece i mattoni gialli degradati tendono a sbriciolarsi. Ciò ha suggerito di impostare un confronto tra le caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche delle due tipologie di mattoni, anche se l'impossibilità di prelevare un numero considerevole di mattoni da un edificio monumentale quale quello in esame non ha consentito di effettuare uno studio statistico accurato.

2. CAMPIONATURA E MODALITA' DI INDAGINE

La scelta delle posizioni di campionamento è stata fatta nella maniera più rappresentativa possibile, privilegiando i mattoni riconosciuti come originari in fase di rilievo⁽²⁾, appartenenti a pareti con diversa esposizione, situati a diverse altezze, e cercando anche di prelevare mattoni appartenenti allo stesso intorno ma aventi diversi livelli di degrado e diversi colori, così da poterne confrontare le caratteristiche costitutive e di durabilità a parità di condizioni di esposizione [3].

Sono stati prelevati, nei punti rappresentati in planimetria in fig. 1⁽³⁾, 18 campioni di mattoni, sui quali sono state effettuate le seguenti analisi, finalizzate alla definizione delle caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche:

a) caratteristiche fisiche:

- massa volumica apparente⁽⁴⁾ [4];
- assorbimento d'acqua per immersione totale⁽⁴⁾ sia a 24 h [4] che a tempi diversi [5];
- capacità di imbibizione⁽⁴⁾ [5]
- porosità totale e distribuzione del volume dei pori in funzione del loro diametro (solo per i campioni SE 17.3 e SE 17.5), determinate in base alle misure eseguite con porosimetro a mercurio;

b) caratteristiche meccaniche⁽⁴⁾, determinate su provini ricavati dai mattoni rettificati:

- resistenza meccanica a compressione [4] su provini cubici (lato circa 4 cm);
- resistenza meccanica a trazione per flessione [4] su provini di circa 4 cm x 4 cm x 15 cm;

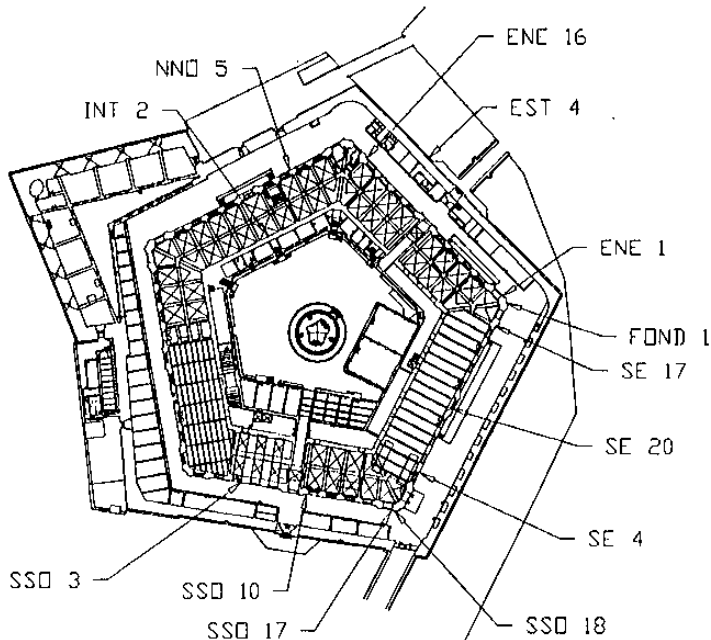


Fig. 1 - Indicazione dei punti di prelievo dei campioni di mattoni

- modulo elastico statico a compressione (solo su due provini, ricavati dai mattoni SE 17.3 e SSO 18.2);
- velocità di propagazione delle onde ultrasoniche, in direzione perpendicolare e parallela alla giacitura del mattone in situ;
- modulo elastico dinamico, calcolato a partire dalla velocità delle onde ultrasoniche [6+9];

c) prova di resistenza al gelo [10].

d) analisi mineralogiche con la tecnica della diffrattometria a raggi X su polveri;

Oltre a queste prove di laboratorio, sono state effettuate alcune indagini in situ:

- endoscopie, per valutare le caratteristiche e lo stato di conservazione delle murature in profondità;
- misura dello stato tensionale mediante martinetti piatti.

Si è inoltre cercato di conoscere la situazione ambientale a cui il manufatto è esposto, per poter comprendere gli effetti che può aver avuto sul deterioramento delle superfici murarie.

3. RISULTATI DELLE INDAGINI CONOSCITIVE SULL'AZIONE AMBIENTALE

E' doveroso premettere che non è stato possibile effettuare una specifica campagna di rilevamento dei parametri fisici e chimici ambientali nell'intorno dell'edificio, come consigliato dalle Raccomandazioni NORMAL [11+14]. Si è cercato allora di reperire il maggior numero possibile di dati sullo stato fisico dell'atmosfera e sull'inquinamento nella zona, raccolti da vari Enti [15+18], e di interpretarli e correlarli per caratterizzare l'ambiente ed il suo microclima, caratterizzazione questa indispensabile per la comprensione delle cause che hanno prodotto il deterioramento.

Si sono ricercati ad esempio dati sull'intensità della pioggia a vento nelle varie direzioni; infatti il degrado dei materiali porosi è sempre legato alla presenza di acqua [19, 20], ed una delle cause di apporto di acqua nelle zone di muratura non raggiunte dalla risalita capillare (soprattutto nelle città marittime) è proprio il vento, che porta la pioggia a contatto della parete, dove l'acqua penetra con un meccanismo di assorbimento per capillarità [21, 22]. Tuttavia non era disponibile nessuna indagine sulla pioggia a vento, né è stato possibile utilizzare le osservazioni disponibili separatamente sui venti e sulla piovosità per costruire la rosa dei venti piovosi [22], in quanto esse erano già elaborate statisticamente; quindi si è potuto solo tentare di correlare a posteriori le informazioni a disposizione. In fig. 2 è rappresentata la distribuzione mensile delle precipitazioni, calcolata su 22 anni di osservazioni (1958-1979), per la stazione di Ancona Torrette [16]. Si può vedere che i mesi più piovosi sono, nell'ordine, novembre, settembre, ottobre, dicembre, marzo,

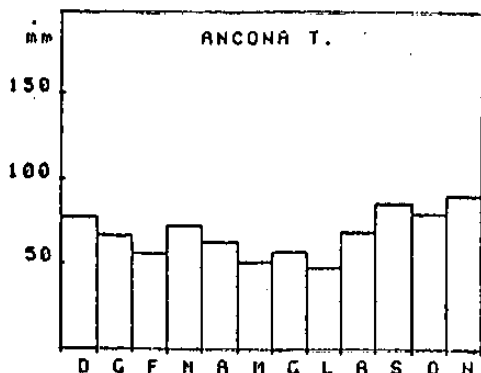


Fig. 2 - Distribuzione mensile delle precipitazioni ad Ancona Torrette

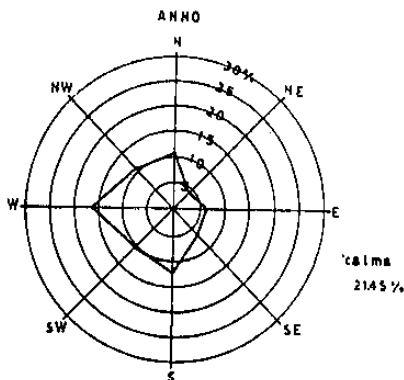


Fig. 3 - Distribuzione di frequenza della direzione del vento ad Ancona

agosto: in questi mesi i venti dominanti sono quelli da O e S in novembre, S in settembre, O in ottobre, O in dicembre, O e S in marzo, S, O e N in agosto [15], e si potrebbe da ciò azzardare l'ipotesi che la pioggia a vento provenga prevalentemente da Ovest e/o Sud.

L'azione del vento è comunemente ritenuta importante causa di degrado, oltre che quando accompagna le precipitazioni meteoriche, proiettando violentemente l'acqua piovana contro le pareti, anche per l'apporto di acqua, sali ed altre particelle in sospensione (i cosiddetti aerosol [23]), mentre l'azione diretta di erosione sui materiali è solitamente ritenuta trascurabile. Per le elaborazioni riguardanti i venti, si è fatto riferimento a quelle [15] riferite al periodo di osservazione più lungo (27 anni: 1951-1977). Da queste elaborazioni risulta che il vento più frequente dell'anno è in assoluto quello da Ovest (16,6%, corrispondente a circa 60 gg l'anno, o a quattro ore al giorno per tutto l'anno, con punte in inverno di sei ore al giorno). Dopo i venti da Ovest, i più frequenti sono, nell'ordine: quelli da Sud (45 gg l'anno), da Nord-ovest (42 gg l'anno), da Nord (39 gg l'anno) e da Sud-Ovest (38 gg l'anno). I venti meno frequenti sono quelli da Nord-Est (16 gg l'anno), seguiti da quelli da Est (22 gg l'anno) e da Sud-Est (24 gg l'anno). Ne consegue che nell'anno i venti del III e IV quadrante sono più frequenti di quelli del I e II (rispettivamente 61,67% contro 18,33%), come si può vedere in fig. 3.

Questi dati sono particolarmente interessanti se messi in relazione col fatto che il prospetto Ovest della Mole Vanvitelliana è l'unico dei cinque prospetti esterni ad aver subito forti e diffusi rimaneggiamenti (interventi a cucci-scuci, risigillatura dei giunti), presumibilmente perché era il più degradato, e questo maggior degrado potrebbe essere dovuto proprio alla maggiore esposizione ai venti, in quanto contenenti aerosol oppure portatori di pioggia. D'altronde, tra gli altri quattro prospetti, quello in cui si ha una minore diffusione del degrado è il prospetto Est-Nord-Est, e ciò è ancora in accordo con le misure anemometriche: infatti il vento proveniente da NE è nell'anno il meno frequente, ed anche la frequenza del vento da E è molto bassa.

Altro parametro fisico importante ai fini del degrado dei materiali porosi da costruzione è l'umidità relativa, in relazione alla possibilità di condensazione capillare⁽⁵⁾ ed alla eventuale presenza di sali igroscopici nelle murature, che ne favoriscono l'assorbimento di umidità [23, 24]. Ad Ancona il tenore medio di umidità nel corso dell'anno è del 77,2 % [17], superiore addirittura a quello di Venezia (74 % [23]), e nei mesi di gennaio, febbraio, ottobre, novembre, dicembre, è superiore all'80 %, con un massimo di 84,5 % in gennaio. E' poi ragionevole supporre, data la posizione insulare della Mole Vanvitelliana, che l'U.R. nei pressi dell'edificio sia ancora più alta. Sussistono quindi le condizioni affinché la superficie delle murature rimanga umida anche in assenza di precipitazioni, e ciò favorisce il degrado, di qualunque tipo esso sia.

Per quanto riguarda le alternanze termiche, dai dati raccolti negli Annali Idrologici risulta che mediamente la temperatura scende al di sotto di 0°C per non più di 10 giorni all'anno⁽⁶⁾, per cui estrapolando questo valore medio ai più di 250 anni di vita della Mole, l'edificio ha potuto subire circa 2500 cicli di gelo-disgelo.

La posizione della Mole Vanvitelliana la rende particolarmente esposta ad agenti inquinanti di vario tipo, per la vicinanza a strade a traffico molto intenso ed agli impianti industriali della zona portuale. Tra gli inquinanti si è presa in considerazione in particolare l'anidride solforosa, in relazione al degrado delle malte, di cui non si parla in questo lavoro.

4. RISULTATI DELLE PROVE SPERIMENTALI DI LABORATORIO

4.1 Prove di caratterizzazione fisica e meccanica

Nei limiti del numero dei dati sperimentali disponibili (troppo scarso per un rigoroso approccio statistico, soprattutto per quanto riguarda i mattoni rossi) si è potuto accertare che mediamente i mattoni rossi risultano di qualità leggermente migliore rispetto a quella dei mattoni gialli (tabella 1).

Ad esempio dalle prove fisiche si è riscontrato che i mattoni rossi sono meno porosi dei gialli e quindi meno capaci di assorbire umidità: infatti risulta minore per i primi l'assorbimento d'acqua per immersione totale, la capacità di imbibizione ed anche la velocità di assorbimento, mentre maggiore è la massa volumica apparente. Inoltre le prove porosimetriche (fig. 4) hanno evidenziato per il campione SE 17.3 (rosso-marrone) una porosità totale leggermente inferiore a quella del campione SE 17.5 (verde), anche se non risulta significativamente diversa la loro distribuzione porosimetrica. Tuttavia, a parte queste differenze, entrambi i tipi di mattoni sono molto porosi, tant'è vero che tutti i campioni esaminati (tranne SE 20.2, che però non è originario) presentano valori di assorbimento a 24 h superiori al limite del 18% previsto dalla normativa oggi vigente per i laterizi da muratura faccia a vista ed alcuni superiori anche al 25%, assorbimento massimo ammesso per tutti i laterizi di nuova produzione (fig. 5).

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche, i mattoni rossi rispetto a quelli gialli risultano più resistenti sia a compressione che a flessione, e più rigidi: il modulo elastico dinamico risulta in media superiore di circa il 20%, e le prove statiche confermano questa differenza, in quanto i campioni SE 17.3 (rosso-marrone) e SSO 18.2 (giallo-verde) hanno presentato moduli elastici secanti (tra il 5 ed il 33% del carico di rottura) rispettivamente di 7958 e 5905 MPa.

Tabella 1 - Valori medi delle caratteristiche fisiche e meccaniche delle due tipologie di mattoni identificate in base al loro colore

CARATTERISTICA FISICA O MECCANICA	MATTONI GIALLI	MATTONI ROSSI
massa volumica apparente (Kg/m ³)	1484	1569
assorbimento a 24 h (%)	24	19
assorbimento a 72 h (%)	25	20
capacità di imbibizione (%)	26,8	26,0
resistenza a compressione (MPa)	15,76	20,89
resistenza a trazione per flessione (MPa)	5,57	6,41
velocità ultrasonica ortogonale (m/s)	2520	2758
velocità ultrasonica parallela (m/s)	2785	3176
modulo elastico dinamico (MPa)	8794	11300

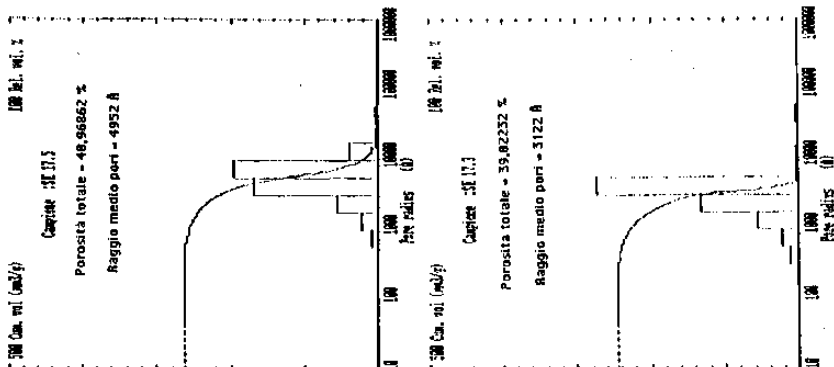


Fig. 4 - Distribuzione del volume dei pori in funzione del loro raggio per i campioni SE 17.3 e SE 17.5

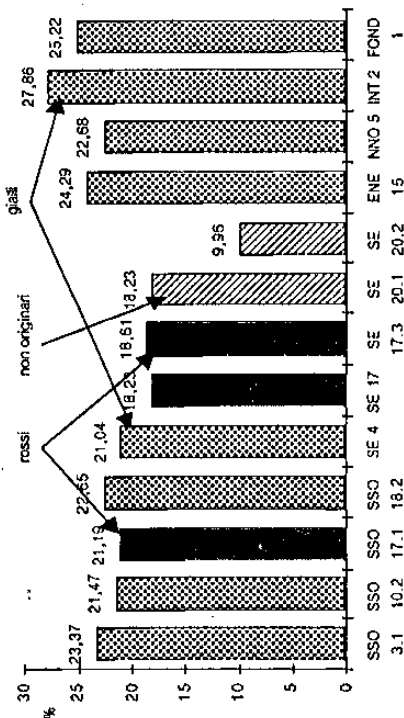


Fig. 5 - Istogramma dell'assorbimento d'acqua a 24 h per tredici mattoni

4.2 Prove di resistenza al gelo

Sono stati sottoposti a 20 cicli di gelo/disgelo (secondo la UNI 5632/65 [10]) dei provini cubici ricavati dai mattoni, sui quali si è misurata a più riprese la velocità di propagazione delle onde ultrasoniche; la variazioni di velocità non hanno evidenziato alcun abbattimento delle proprietà meccaniche del materiale al procedere della prova, tranne che per un campione (SE 20.2, peraltro non originario) che ha subito delaminazione al ventesimo ciclo.

4.3 Prove mineralogiche

L'analisi diffrattometrica ha evidenziato la presenza sistematica di dolomite (a volte accompagnata da calcite) nei mattoni gialli, ed invece solo di calcite nei mattoni rossi (fig. 6); questa differenza, insieme alla maggiore abbondanza di albite e di altri silicati e silico-alluminati di metalli alcalini nei mattoni gialli rispetto a quelli rossi, può essere interpretata come un indice della diversa provenienza delle materie prime (argille) impiegate per la fabbricazione delle due tipologie di mattoni. Invece il grado di cottura delle due famiglie non appare essere stato significativamente diverso giacché i minerali carbonatici (calcite e dolomite) sono comunque presenti in entrambe, così come in entrambe sono assenti la mullite e la sillimanite, tipici prodotti di cottura generalmente presenti nei moderni laterizi; la temperatura di cottura è quindi stata molto bassa, inferiore a quelle di decomposizione dei carbonati (780-950°C) presenti nelle materie prime, ed a quelle a cui iniziano i processi di mullitizzazione (circa 900°C). La diversa colorazione quindi può dipendere, più che da una diversa temperatura di cottura, dalla diversa materia prima utilizzata (che influisce per il contenuto in ossidi di ferro oltre che per il rapporto calce-allumina [26]) oppure da un diverso stato di ossidazione del ferro in relazione alle condizioni ossidanti-riducenti realizzatesi nelle fornaci al momento della cottura (più ricche di O₂ nei mattoni rossi - ferro trivalente - e meno ricche di O₂ nei mattoni gialli - ferro bivalente).

All'interno di una stessa tipologia di mattoni è stato effettuato un confronto tra i diffrattogrammi ottenuti su campioni superficiali di mattoni degradati e di mattoni integri; si sono anche confrontati, per uno stesso mattone, i diffrattogrammi di due campioni, uno appartenente alla superficie e quindi esposto agli agenti atmosferici e soggetto al degrado, e l'altro prelevato dal lato del mattone rivolto verso l'interno della muratura. Entrambi questi confronti non hanno evidenziato né differenze costitutive tra i campioni né la formazione di prodotti di degrado, come si può vedere dall'identità degli spettri ottenuti (fig. 7).

L'analisi diffrattometrica ha anche segnalato la presenza di sali solubili in quasi tutti i mattoni esaminati, soprattutto di halite (NaCl), molto abbondante nei campioni prelevati più in basso, ma anche di solfati, soprattutto di magnesio e sodio, ed in alcuni casi anche di gesso(7).

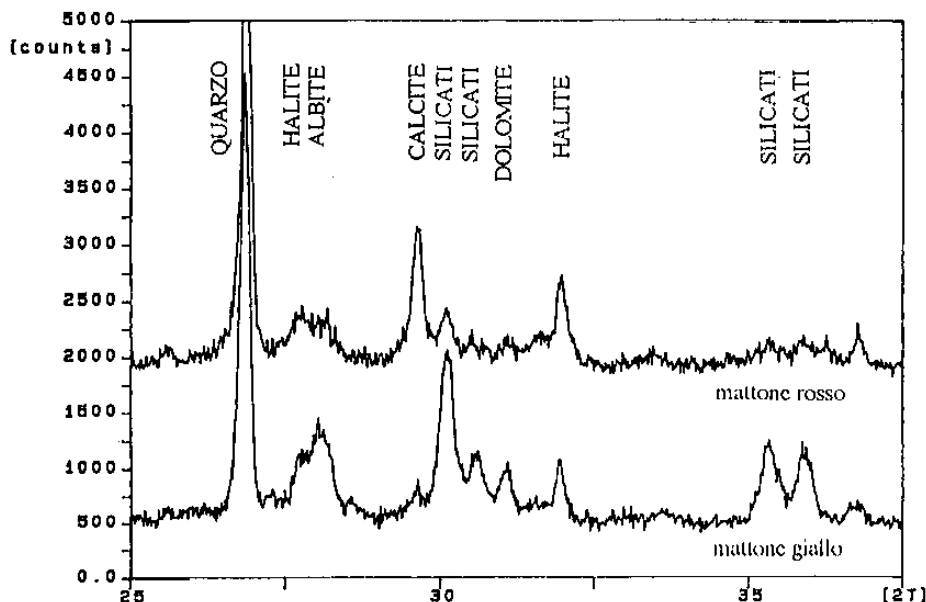


Fig. 6 - Confronto tra i diffrattogrammi di un mattone rosso ed un mattone giallo

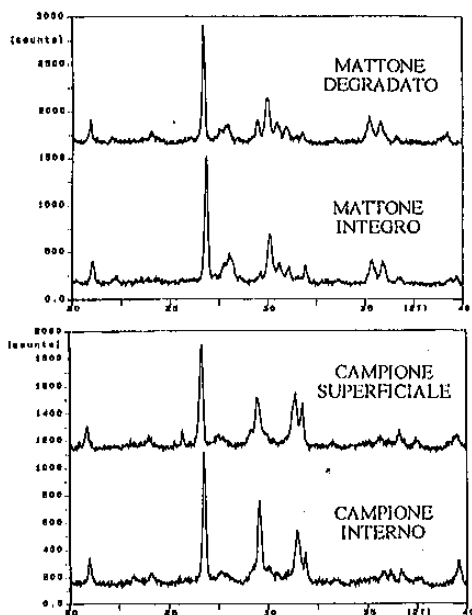


Fig. 7 - Confronto tra i diffrattogrammi di:
a) campioni superficiali di due mattoni gialli (degradato ed integro); b) due campioni, superficiale ed interno, dello stesso mattone (rosso)

Tabella 2 - Stato tensionale misurato con i martinetti piatti

PUNTO DI MISURA	PIANO	σ	DEGRADO	DEGRADO
		MPa	MATTONI	MALTE
SE 8	I	0,51	SI	SI
ENE 14	I	4,26	NO	NO
NNO 15	I	1,89	NO	NO
NNO 11	II	0,72	SI	NO
O 4	I	0,86	NO	NO
O 9	I	0,19	NO	SI
INT 11	I	2,98	NO	SI
INT 12	I	3,9	NO	SI
INT 13	I	2,61	NO	SI

5. RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITU

Da tutte le 16 osservazioni endoscopiche effettuate (per una profondità variabile da 40 a 53 cm) è risultato che la muratura è molto compatta, a tessitura regolare, con giunti di malta (sia orizzontali che verticali) perfettamente eseguiti, e che il degrado interessa solo la parte superficiale, per uno spessore al massimo di qualche centimetro.

Con i martinetti piatti è stato possibile misurare lo stato tensionale in sei punti (cinque al primo piano, uno al secondo) delle murature esterne ed in tre punti di un pilastro interno; i valori rilevati sono riportati in tabella 2.

6. CAUSE DEL DEGRADO

Per quanto attiene alle possibili cause di degrado dei mattoni esaminati i fenomeni presi in considerazione sono i seguenti:

- **DEGRADO CHIMICO.** L'analisi dei mattoni non ha evidenziato la formazione di prodotti di degrado per interazione chimica dei laterizi con l'ambiente o con le malte con cui sono a contatto; pertanto tale ipotesi di degrado sembra doversi escludere, nell'ambito della sperimentazione condotta.

- **DEGRADO FISICO.** Possono aver agito i seguenti meccanismi di degrado di tipo fisico:

- alternanze termiche ed in particolare quelle intorno a 0°C;
- cristallizzazione dei sali solubili contenuti nell'acqua di mare e/o nei mattoni originali;
- dilavamento dovuto alle acque piovane.

Nessuno dei tre suddetti meccanismi può essere a priori escluso come possibile causa di degrado, anche se non è facile dimostrare direttamente la loro azione. Per esempio, quantunque le prove di gelività non abbiano evidenziato un significativo decadimento del modulo elastico dopo venti cicli di gelo-disgelo (par. 4.2), occorre tuttavia sottolineare che i venti cicli previsti dalla norma risultano essere assolutamente inadeguati per trarre un giudizio sulla effettiva resistenza al gelo, dato che questo fenomeno potrebbe essersi ripetuto, per l'opera in esame, per migliaia di cicli (par. 3). Così, l'azione di cristallizzazione dei sali solubili non può essere esclusa, come concausa, giacché l'edificio è evidentemente interessato dal fenomeno della risalita dell'acqua del mare ed anche dall'apporto colico di aerosol di tipo marino, e si è d'altronde riscontrata sperimentalmente la presenza di sali solubili nei mattoni. Tuttavia, mattoni pur ricchi di sali sono stati trovati in ottimo stato di conservazione e quindi privi di degrado, ed appaiono viceversa significativamente degradati moltissimi mattoni a quota superiore ai sei metri (oltre la quale è generalmente

bassa la presenza di sali), per cui il meccanismo di degrado per cristallizzazione dei sali solubili, comunemente ritenuto uno dei più gravi, non sembra essere l'unico in questo caso. D'altronde, nelle zone di muratura più alte, il degrado sembra riguardare soprattutto le aree esposte al deflusso delle acque piovane; ad esempio quasi ovunque appaiono fortemente degradate le zone dei sottofinestra, soggette allo scolo dell'acqua che batte sulle soglie delle finestre, che sono a filo della muratura, senza alcuna sporgenza o gocciolatoio; non sembra quindi da sottovalutare l'azione dilavante della pioggia battente, tanto più che questa ipotesi di degrado è supportata dai dati ambientali disponibili (par. 3) e dalla forte porosità dei mattoni (par. 4.1). Inoltre il diffuso degrado dei giunti di malta, che risultano in molte zone fortemente scavati, aumentando la superficie dei mattoni esposta al dilavamento, ha sicuramente incrementato l'effetto di questo meccanismo di degrado.

- **DEGRADO MECCANICO.** Quando i materiali sono soggetti per tempi lunghi a tensioni pari ad un'aliquota significativa delle loro resistenze, sono destinati al degrado (fino alla rottura) per l'instaurarsi di fenomeni viscosi; inoltre, se sono presenti in una stessa zona materiali con caratteristiche elastiche molto diverse, i fenomeni viscosi portano ad un progressivo incremento di carico nel materiale più rigido, che può giungere a rottura. Nel caso in esame le prove con i martinetti piatti (par. 5) hanno evidenziato l'esistenza di stati tensionali molto variabili (σ da 0,19 a 4,26 MPa) e comunque difficilmente correlabili con lo stato di degrado: in particolare non si sono trovati materiali più degradati in corrispondenza di zone più sollecitate. D'altra parte le differenze di modulo elastico tra mattoni rossi (più rigidi) e gialli non sono tali da giustificare, in base all'instaurarsi del fenomeno di *creep* prima descritto, la presenza di mattoni rossi degradati in zone di mattoni gialli non degradati; tantomeno può essere messa in relazione ad un degrado di tipo meccanico la presenza di mattoni gialli degradati tra mattoni rossi integri. D'altronde, il degrado dei mattoni appare sempre molto superficiale; in definitiva quindi sembrano da escludersi fenomeni di degrado di tipo meccanico.

7. CONCLUSIONI

Attraverso le indagini sopra esposte è stato possibile definire le caratteristiche dei mattoni della Mole Vanvitelliana ed individuarne le cause di degrado.

Si è potuto accertare che le due tipologie di mattoni (rossi e gialli) si differenziano per la materia prima impiegata per la loro fabbricazione e forse anche per le condizioni ossidanti o riducenti realizzatesi nelle fornaci al momento della cottura, ma non per la temperatura di cottura, che è stata bassa ($< 800^{\circ}\text{C}$ all'incirca) per entrambe. La diversa materia prima impiegata - pur a parità di grado di cottura - può aver determinato la qualità leggermente migliore dei mattoni rossi, che sono apparsi mediamente più resistenti e meno porosi dei gialli. Tuttavia, entrambe le tipologie di mattoni sono state soggette al degrado. Per quanto riguarda le cause del deterioramento, le più probabili sono risultate quelle fisiche: dilavamento dovuto alle acque piovane, cristallizzazione di sali solubili, gelo-disgelo.

(1) Alcune zone della fascia più bassa della muratura sono state anche intonacate, sebbene non lo fossero originariamente; tuttavia l'intonaco si è quasi completamente distaccato, ed è oggi visibile solo in tracce.

(2) Per questo non sono stati esaminati mattoni appartenenti al prospetto Ovest, che è stato quasi completamente rimaneggiato. Tuttavia per confronto si sono esaminati anche due mattoni non originari (SE 20.1 e SE 20.2), prelevati dalla muratura di tamponatura di una delle aperture ad arco del piano terreno.

(3) Le sigle SSO, SE, ENE, NNO, indicano l'orientamento del prospetto a cui i campioni appartengono (ad es. SSO 10.2 è il campione n° 10.2 prelevato dal prospetto orientato a Sud-Sud-Ovest); con la sigla INT sono contrassegnati i campioni prelevati all'interno dell'edificio, con EST quelli appartenenti al muro di cinta e con FOND quelli appartenenti alle fondazioni.

(4) Non è stato possibile determinare queste caratteristiche per i campioni SE 17.2, SE 17.4, SE 17.5, EST 4, a causa delle loro dimensioni troppo ridotte.

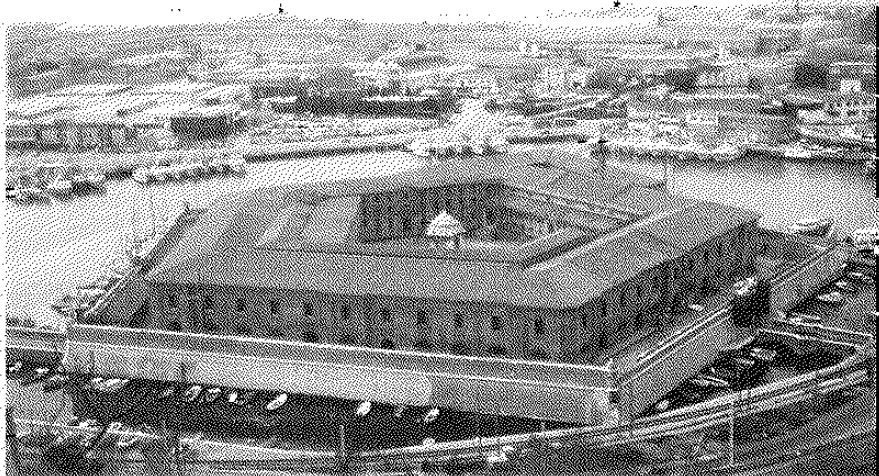
(5) Nei capillari dei materiali da costruzione il fenomeno della condensazione dell'umidità atmosferica avviene ad un grado igrometrico inferiore al 100 %, tanto più inferiore quanto più piccolo è il raggio medio dei pori capillari [20, 21, 24, 25].

(6) Le medie (riferite a periodi diversi) sono di 10 giorni all'anno per la stazione di Monte Cappuccini, 8 giorni all'anno per la stazione di Ancona, 9 giorni all'anno per la stazione di Torrette.

(7) Il cloruro di sodio è anche risultato, in base alle analisi per diffrazione dei raggi X, il costituente pressoché esclusivo delle efflorescenze, ampiamente presenti nelle murature della Mole Vanvitelliana, tra 0 e 3 m di altezza dal p.c. (circa 2 m s.l.m.)

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Bucciarelli, C. Mezzetti, F. Pugnaroni, *Il Lazzaretto di Ancona: un'opera dimenticata*, Industrie grafiche F.lli Annibaldi, Ancona, 1978
- [2] P. Fagiani, P. Pepa, Tesi di laurea in ingegneria civile edile, *Il rilievo materico e le indagini sperimentali negli edifici in muratura di mattoni. Un'applicazione alla Mole Vanvitelliana*, Relatore Prof. R. Antonucci, Correlatore Prof. M. Dezzi Bardeschi, Ancona, A.A. 1989/90
- [3] F. Zago, Ricerche sperimentali su murature del Centro Storico veneziano, in *Costruire* n.124, 1981, p. Tst/1-12
- [4] UNI 8942 Parte 3a, *Prodotti di laterizio per murature. Metodi di prova*, novembre 1986
- [5] Raccomandazione NORMAL 7/81, *Assorbimento d'acqua per immersione totale e capacità d'imbibizione*, ed. a cura Istituto Centrale del Restauro, Roma, 1981
- [6] P. Bocca, F. Zago, *Il metodo dell'auscultazione dinamica applicato alle strutture in muratura*, Pubblicazione n.54, Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, IUAV, Venezia, 1983
- [7] Raccomandazione NORMAL 22/86, *Misura in laboratorio e in sito della velocità apparente (o virtuale) di propagazione del suono (onde longitudinali) nei materiali porosi da costruzione*, ed. a cura Istituto Centrale del Restauro, Roma, 1986
- [8] Methodes experimentales - essais n° III.2, Calcul du module d'élasticité dynamique par la vitesse du son, in Colloque International UNESCO-RILEM *Alteration et protection des monuments en pierre*, Paris, 5-9 juin 1978
- [9] P.P. Rossi, *Prove distruttive e non distruttive per la caratterizzazione meccanica dei materiali*, Quaderno ISMES n. 130, 1980
- [10] UNI 5632-65, *Laterizi: Mattoni pieni e semipièni, mattoni e blocchi forati per murature. Categorie, requisiti e prove*, luglio 1965
- [11] Raccomandazione NORMAL 5/81, *Misura dei parametri ambientali*, ed. a cura Istituto Centrale del Restauro, Roma, 1981
- [12] Raccomandazione NORMAL 5/82, *Misura dei parametri ambientali*, ed. a cura Istituto Centrale del Restauro, Roma, 1982
- [13] Raccomandazione NORMAL 5/86, *Misura dei parametri ambientali*, ed. a cura Istituto Centrale del Restauro, Roma, 1986
- [14] Raccomandazione NORMAL 5/87, *Misura dei parametri ambientali*, ed. a cura Istituto Centrale del Restauro, Roma, 1987
- [15] A. Mancinelli, A. Vitale, *Elaborazioni statistiche sui venti nel paraggio di Ancona per il periodo 1951/1977*, Istituto di idraulica, Facoltà di Ingegneria, Ancona, 1981
- [16] ENEA, Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata, *Caratterizzazione climatologica del territorio marchigiano. Un'analisi dei parametri climatici della Regione*, Macerata, 1987
- [17] R. Bocci, *Lineamenti climatici delle Marche*, Quaderni per l'ambiente della regione Marche, 1982
- [18] Servizio di Medicina del lavoro del Comune di Ancona, Ispettorato Provinciale del Lavoro di Ancona, Dipartimento di Scienza dei Materiali della Facoltà di Ingegneria di Ancona, Medicina del lavoro dell'Università di Ancona, Laboratorio chimico della Provincia di Ancona, *Indagine relativa all'inquinamento ambientale del Molo Sud di Ancona*, a cura di G.C. Ferrati, M. Governa, G. Paoloni, R. Romagnoli, P. Tarabelli (comunicazione privata)
- [19] M. Collepari, Degradation and restoration of masonry walls of historical buildings, *Materials and Structures*, March 1990, Vol. 23 No. 134, p. 81-102
- [20] M. Collepari, L. Coppola, *Materiali negli edifici storici: degrado e restauro*, ENCO, Spresiano, 1991
- [21] G. Cigni, B. Codacci-Pisanelli, *Umidità e degrado negli edifici. Diagnosi e rimedi*, Ed. Kappa, Roma, 1987
- [22] G. Massari, I. Massari, *Risanamento igienico dei locali umidi*, Ed. Hoepli, Milano, 1981
- [23] G. Zuccolo, Degrado dell'edilizia dovuto all'umidità, all'ambiente marino ed all'inquinamento dell'aria e dell'acqua, in *Il restauro nell'architettura di Venezia, Vol. VI*, Venezia, 1975, p. 132-137
- [24] G. Dingethal, P. Andriolo Stagno, H. Weber, Patologia e cura di murature in mattoni danneggiate dall'umidità e dalla presenza di sali, in: *Il Mattono di Venezia* 1982 (atti convegno), Tipolitografia Armena, Venezia, p. 397
- [25] G. Solaini, Capillarità e condensazione nei materiali porosi, in *Recuperare* n.30, 1987, p. 495-498
- [26] T. Emiliani, *La tecnologia della ceramica*, Ed. F.lli Lega, Faenza, 1957



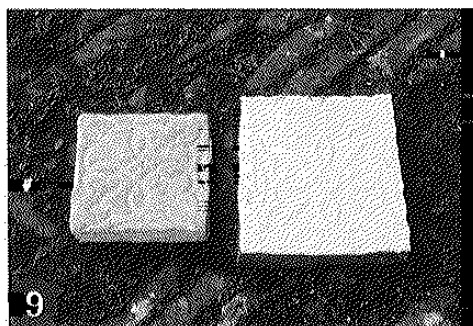
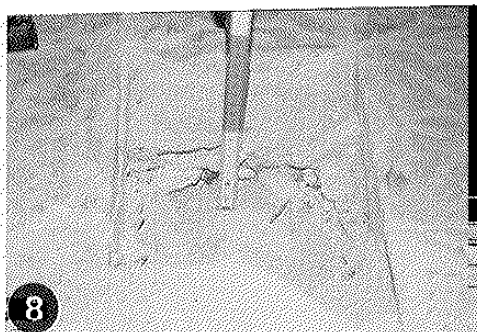
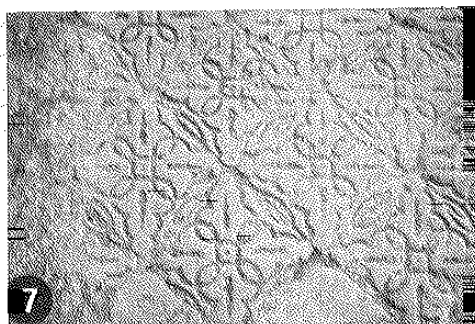
Vista dall'alto della Mole Vanvitelliana di Ancona (XVIII secolo)



Esempio di mattoni rossi degradati
in una zona di mattoni gialli integri



Esempio di mattoni gialli degradati
in una zona di mattoni rossi integri



Castello Bufalini , sottotetto della Torre Est

- Foto 6 : Veduta del pavimento durante la rimozione dei detriti e del guano
Foto 7 : Il tappeto centrale di mattonelle decorate
Foto 8 : Stratigrafia del pavimento
Foto 9 : Esempio e calco in gesso di mattonella decorata