Articolo

La durevolezza delle pietre messe in opera

M. Del Monte

Geologo - Professore Associato - Archeomineralogia, Conservazione dei monumenti in pietra -
Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Università di Bologna

1 - Introduzione

Lo studio della geologia, nelle università italiane, prevede l'insegnamento della petrografia e della geomorfologia discipline che si occupano l'una della genesi delle rocce, l'altra di come queste rocce, una volta messe a giorno, vengono modellate dagli agenti della degradazione meteorica. Una terza disciplina, la petrografia applicata, che a ragion di logica dovrebbe interessarsi quasi esclusivamente di rocce messe in opera, chiamate in tal caso pietre, si occupa solo marginalmente di questo argomento. Ne consegue che il Geologo sarà assai ferrato sia sui processi petrogenetici – eruttivo, sedimentario e metamorfico – sia sui fenomeni di degrado delle rocce in campo, ma avrà invece una conoscenza molto approssimata sul loro comportamento quando decontestualizzate – vale a dire prelevate dalle cave e ridotte in blocchi, lastre, cubetti – verranno portate in ambienti spesso affatto diversi per essere messe in opera.
L'utilizzo delle pietre da parte dell'uomo si perde nella notte dei tempi: Paleolitico e Neolitico sono i nomi dati ai primi periodi della nostra preistoria in cui sono le pietre a parlarci dei nostri antenati. Le più antiche forme d'arte, vale a dire i più antichi monumenti, risalgono a oltre 40.000-35.000 anni fa – avendo certamente avuto un periodo d'incubazione forse di centinaia di migliaia d'anni – mentre i primi documenti compaiono molto più tardi in Mesopotamia, dove nasce la scrittura, in un periodo relativamente recente compreso tra il 3250 e il 3100 a.C.[1]
La **civiltà megalitica**, ad esempio, che si è sviluppata in diversi paesi europei, tra cui l'Italia meridionale e insulare [5000-1800 a.C. ca.], e che vede la sua massima espressione – o comunque la più popolare – nel così detto "**Tempio del Sole**" a Stonehenge, nella pianura di Salisbury in Inghilterra, ha disseminato i suoi enigmatici monumenti in pietra, menhir ["pietre lunghe" in bretone], dolmen ["tavole di pietra" in bretone], cromlech ["cerchi di pietra" in gallese], in un numero impressionante di siti[2].
Nell'ambito più propriamente protoitalico grande importanza riveste la più recente, e altrettanto enigmatica, **civiltà nuragica** con le sue costruzioni in enormi blocchi di pietra [granito] messe in opera a secco.
D'altra parte, delle pietre utilizzate dall'uomo sin dalle sue più remote origini, pochissime hanno sfidato i secoli e, più o meno indenni, sono giunte sino ai nostri giorni. Se ci si limita ai soli monumenti ricordati dalle fonti scritte, quindi a una parte infinitesima di quelli realmente edificati, si può dire che l'aggettivo "pochissimi" appare poco appropriato e, qualunque significato gli si dia, esagerato per eccesso.
I motivi di questa ecatombe sono numerosi e rappresentano l'oggetto di questa nota. Solo conoscendo i fattori di danno sarà possibile rallentare il degrado delle pietre già in opera e sceglierne delle nuove tra quelle che si ritiene possano durare di più. Tuttavia come il medico può guarire solo alcune malattie ma non le più gravi assistendo poi, se è longevo, alla morte di tutti i suoi pazienti anche il conservatore di monumenti non può aspirare, *mutatis mutandis*, a niente di diverso: in definitiva, usando un'espressione poetica, sarà sempre il tempo ad averla vinta[3].

---

[1] Con monumento s'intende qualunque opera dell'ingegno umano che esprime un particolare valore storico, culturale, morale, religioso, etico. I monumenti in pietra sono fonti dirette della storia, mentre i documenti su pergamena, su papiro o più tardi su carta, esprimendo la particolare posizione di chi scrive, sono considerate fonti indirette. Molti di questi ultimi non solo danno una interpretazione soggettiva degli eventi, ma sono addirittura dei falsi. Tra questi ultimi due, *recenti,* che spiccano per celebrità e importanza sono il Privilegio Teodosiano istitutivo dell'Università di Bologna, attribuito all'anno 423, ma in realtà falso diploma di Teodosio II, redatto con ogni probabilità tra il 1226 e il 1234; il secondo, ben più importante, è il *Constitutum Constantini* noto come "Donazione di Costantino" che costituì per secoli, durante il Medioevo, un formidabile sostegno alle pretese territoriali dei Pontefici Romani. Il documento datato 313 d. C. è in realtà un falso, forse dell'VIII secolo, più volte rimaneggiato in epoche successive.

[2] Cfr. M. Del Monte, Ratazzi A., Romão P. and P. Rossi "**The role of lichens in the weathering of granitic megalithic buildings.** In: "Degradation and conservation of granitic rocks in megalithic monuments", Proceedings of EC Workshop held in Santiago de Compostela, (J. Delgado-Rodrigues ed.), 301-306, 1996; M. Del Monte "**Experimental weathering test on granitic rocks**" In: "Degradation and conservation of granitic rocks in megalithic monuments". CE Research report n. 5 (J. Delgado-Rodrigues ed.), 192-193, 1996.

[3] "*et saxo longa senecta nocet*" è appunto espressione poetica usata dagli antichi (Ovidio, Fasti, V, 132). *Item*: "Non si possono riconoscere i monumenti delle età passate: il tempo che tutto divora ha distrutto le grandiose mura. Restano solo le vestigia dei muri sprofondati, e i tetti giacciono sepolti sotto la vasta distesa di ruderi. Non indigniamoci se i corpi mortali si dissolvono: vediamo con gli esempi che anche le città possono morire" così l'ultimo poeta pagano, Rutilio Namaziano alcuni secoli dopo nel suo "**Giornale di viaggio**" in cui si legge la grande nostalgia per l'antica Roma pagana. In realtà il tempo, grandezza astratta, non ha alcuna influenza di per sé: sono i fattori di danno che agendo nel tempo influenzano lo stato di salute dei monumenti. Il degrado dei monumenti e il conseguente restauro è attestato già in epoca antica (Cfr. Erodoto, Storie, lib. II, 174). Degli effetti ambientali sul degrado dei monumenti ci parlano, tra gli altri, Vitruvio, Plinio che ha come sua fonte Vitruvio e più tardi Leon Battista Alberti.

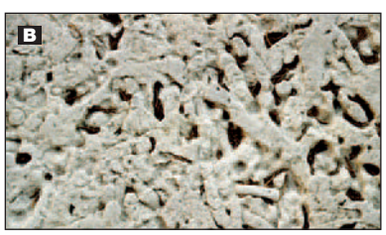

Figura 1 – Una fanghiglia carbonatica prima di essere diagenizzata e di litificarsi può essere stata sede di tane di abitazione di organismi marini – ad esempio di crostacei della famiglia Callianassidae – costituite da una serie di gallerie comunicanti sia tra loro, sia con l'esterno. In seguito, p. e., ad una mareggiata i tuboli possono venire riempiti da materiale a granulometria e a composizione mineralogica diversa da quello che ha dato luogo ai tuboli stessi e da quello interstiziale tra tubulo e tubulo. Dopo la diagenesi la pietra risulterà così molto disomogenea per granulometria, composizione e grado di cementazione. I calcari bioturbati messi in opera in molte zone dell'Italia meridionale (p. e. a Lecce o a Otranto), ma anche nel sud della Spagna (p. e. a Siviglia o a Cordova) hanno dato per secoli buona prova di sé. L'abbassamento del pH delle idrometeore ha portato però, in tempi recenti, alla dissoluzione della parete dei tuboli e al loro successivo "svuotamento". In altri casi è il materiale interstiziale tra tubolo e tubolo a essere eroso per primo. In ogni caso si assiste alla formazione di arabeschi superficiali talora apparentemente decorativi. Non è esclusa un'azione successiva del vento che facendo mulinare all'interno delle piccole cavità superficiali particelle della pietra stessa o appartenenti al soil dust contribuisce ad approfondirle. Il danno è enorme e in alcuni casi può portare all'arretramento delle superfici delle pietre in opera di svariati centimetri o addirittura di decimetri. Non è infrequente osservare, come evento finale, la presenza di fori passanti (a: Lecce; b, c: Otranto. Veddi attualmente la piattaforma carbonatica delle Bahama. Cfr. p.e.: P. C. Dworschak "The burrows of Callianassa candida (Olivi 1792) and C. whitei Sakai 1999 [Crustacea: Decapda: Thalassinidea]").

Molti tipi di pietre utilizzate in passato sono ancor oggi, nella civiltà del cemento armato e dei grattaceli in metallo e cristallo, attivamente cavate e utilizzate: la sola differenza, rispetto alle epoche passate, sta nel fatto che oggi i blocchi estratti possono raggiungere il luogo in cui verranno messi in opera anche da grandi distanze.
Un tempo ciò era impensabile e ogni sito rifletteva mediante le sue costruzioni le pietre che affioravano nei dintorni: l'argilla cotta o "*preda cotta*", l'arenaria o la selenite a Bologna, la pietra serena a Firenze, la pietra d'Istria a Venezia e Trieste, il *leccisu* a Lecce, e così via.[4]
Una eccezione per il passato è rappresentata da quei committenti che non avevano problemi di denaro: gli imperatori romani, ad esempio, avevano possibilità economiche tali da fare arrivare le pietre anche da grandi distanze vale a dire dal nord Africa, dalla Grecia o dall'Asia Minore.
Ora la proprietà più importante di una pietra messa in opera dall'uomo è la **durevolezza**, ed è singolare che questa proprietà sia poco nota a chi oggi maneggia e utilizza le pietre vale a dire gli Architetti, gli Ingegneri, gli Archeologi e in subordine – stranamente – i Geologi.

[4] Cfr. F. Rodolico "**Le pietre delle città d'Italia**" Le Monnier, pp. 475, Firenze, 1953.

Figura 2 - Le arenarie laminate non dovrebbero mai essere messe in opera con la laminazione (o verso) parallelo alla superficie di esposizione: ciò porta inevitabilmente al distacco di scaglie o in certi casi addirittura di intere lastre. Se vengono utilizzate per lastricare strade o piazze, posizionate coi piani di laminazione orizzontali, vale a dire col verso parallelo alla superficie del suolo si assiste alla formazione di alveoli che tendono ad approfondirsi col passare del tempo anche perché poi qui l'acqua di pioggia staziona a lungo. (Bologna, a: via s. Margherita n. 1; b,c: via dell'Indipendenza n. 67; d: piazzetta della Chiesa di Santa Maria dei Servi).

Una pietra non può venire scelta e utilizzata basandosi solo sull'estetica e non sono sufficienti le sole caratteristiche tecniche – come si dirà nelle righe che seguono – determinate mediante misure statiche e dinamiche secondo la normativa UE per prevedere il suo comportamento in campo.

Ma cosa s'intende per durevolezza?

La durevolezza è l'attitudine di una pietra a dare buona prova di sé, vale a dire a durare nel tempo, una volta messa in opera[5].

E' questo un concetto che fa parte della vita di tutti i giorni e viene anche indicato coi termini di "*durata*" o di "*buona riuscita*": lo si applica a un paio di scarpe, a un cappotto o a un'automobile e via dicendo. A maggior ragione va chiarito e tenuto ben presente nel caso delle pietre dato che, pavimentare una strada o una piazza, oppure rivestire con lastre le pareti di un palazzo, ha un costo enorme e quindi il committente si aspetta, a ragione, che l'opera duri nel tempo.

Questa proprietà dipende da numerosissimi fattori, non tutti oggi quantificabili: la durevolezza può quindi essere descritta qualitativamente, attentamente valutata, ma non può venire quantificata, vale a dire non può venire espressa da una formula matematica e quindi da un numero.

Questi fattori possono venire raggruppati in quattro categorie: fattori intrinseci, fattori estrinseci, fattori imposti e fattori culturali[6].

[5] Anche di una pietra ritrovata durante uno scavo va valutata con attenzione questa caratteristica. È opinione tanto diffusa quanto sbagliata che i suoli siano conservativi e quindi alcuni reperti in pietra come le mura di cinta di una villa, di un castello, di una chiesa o una stele o un pavimentazione stradale o quant'altro quando vengono ritrovati, se non si ha la possibilità di conservarli accuratamente, si preferisce risotterrarli. In realtà esistono sia suoli che conservano, come ad esempio le terre brune, sia suoli che aggrediscono, ad esempio i podzoli o i suoli corrosivi delle zone tropicali [Cfr. *infra*, Winkler, p. 214] : quindi prima di procedere si dovrebbe valutare con attenzione sia il tipo di pietra ritrovato, sia il tipo di suolo con cui dovrà continuare a relazionarsi.

[6] Cfr. M. Del Monte "**The cultural heritage: causes of damage**" in: "Science, Technology and European Cultural Heritage", Butterworth-Heineman Ltd, pp. 78-89, Oxford, 1991.

2 – Fattori intrinseci

I **fattori intrinseci** sono quelli legati alla natura della pietra vale a dire alle sue caratteristiche petrografiche, mineralogiche, sedimentologiche, fisiche e chimiche. Ci sono pietre che, limitatamente a questo tipo di fattori, sono certamente più durevoli di altre: un granito o una riolite (nota ai più come porfido o porfido quarzifero) sono più durevoli di una calcare o di una arenaria. Un calcare compatto a grana omogenea è più durevole di un calcare bioturbato[7] (**fig. 1**). Lo stesso accade quando l'eterogeneità è data da grandi fossili come nel caso del Rosso ammonitico o delle pietre istriane a grandi rudiste: poiché i fossili sono più resistenti della matrice carbonatica che li circonda, dapprima essi appariranno in rilievo poi si distaccheranno dalla superficie della pietra lasciando al loro posto buchi di notevoli dimensioni che favoriranno l'ulteriore degrado[8]. All'interno di queste cavità potranno mulinare ad opera del vento particelle staccatesi dalla pietra stessa o appartenenti al *soil dust*[9] dando luogo a un fenomeno di corrasione che tende, col tempo, ad allargare e ad approfondire i buchi.
Un calcare puro sarà più durevole di un calcare marnoso. Un'arenaria a cemento carbonatico sarà tanto più durevole quanto maggiore sarà il rapporto quantitativo tra cemento (calcite) e granuli cementati (quarzo, feldspati, ecc.); quando i granuli hanno come collante minerali argillosi, e in tal caso si parla di matrice e non di cemento, l'arenaria è pochissimo durevole[10]. Sempre nel caso di queste pietre è assai rilevante la **laminazione**: se le arenarie, come spesso accade, vengono messe in opera coi piani di laminazione paralleli alla superficie di ancoraggio[11] – ad esempio le pareti di un edificio – si può assistere al distacco di lastre. Anche se vengono utilizzate per lastricare, posizionate coi piani di laminazione orizzontali, vale a dire col verso parallelo alla superficie del suolo, si assiste alla formazione di alveoli che tendono ad approfondirsi col passare del tempo[12] (**fig. 2**). Perciò una arenaria massiva risulta, in genere, più durevole di una laminata e inoltre i pattern di degrado sono molto diversi nel caso di laminazione parallela ovvero di laminazione incrociata.
Un regola, per la verità non sempre seguita dai costruttori, è che una pietra arenaria deve essere messa in opera con la laminazione ovvero la stratificazione normale alla pressione che dovrà sopportare. E' ovvio però che, ad esempio, le colonne monolitiche, che più di ogni altro elemento architettonico devono resistere alla compressione, spesso non potranno essere messe in opera se non col *verso* verticale.
Tra le proprietà fisiche molto importante risulta la **durezza** dei minerali componenti, vale a dire la resistenza all'abrasione, soprattutto quando una pietra viene utilizzata per pavimentare una strada, una piazza, un salone da ricevimento o per gli scalini di una scalinata[13].
Altra proprietà fisica importante è la **porosità** e in tal caso occorrerà valutare se i pori sono tra loro comunicanti ("porosità utile") oppure no ("porosità nascosta"): è questa caratteristica a rendere la pietra più o meno geliva o *diacciola* come si diceva un tempo.
Una pietra ad alta **solubilità,** e magari anche tenera – vale a dire poco dura – come la selenite sarà meno durevole[14] di una pietra silicatica come il granito, l'arenaria o la migmatite e non potrà venire utilizzata né in campo aperto, né tanto meno ad uso pavimentale.
Da notare che non solo i diversi tipi di pietra hanno durevolezza diversa, ma, soprattutto nel caso delle rocce clastiche e in particolare delle arenarie, conci provenienti dalla stessa cava messi in opera nello stesso monumento e sulla stessa facciata, quindi con identica esposizione, mostrano una durevolezza molto diversa e mentre alcuni appaiono perfettamente conservati, altri risultano assai degradati[15].

---

[7] Vale a dire disturbato dall'attività biologica prima della sua litificazione.
[8] Per il degrado del Rosso ammonitico un buon esempio è dato dai paramenti murari della chiesa di San Petronio a Bologna. Per il degrado del Calcare istriano a rudiste un esempio è invece fornito dal mausoleo di Teodorico a Ravenna. Un altro caso, spesso citato in letteratura, è quello del calcare dell'Indiana (USA). Cfr. E. M. Winkler "**Stone in Architecture**" Sprinter-Verlag, New York, p. 200, 1994.
[9] "Polvere derivata dal suolo": quindi particelle minerali di origine naturale, soprattutto quarzo, calcite e minerali argillosi.
[10] Per realizzare la facciata e i rilievi della chiesa di Santa Maria di Galliera, a Bologna, venne utilizzata una arenaria micaceo-argillosa di pessima qualità che si guastò quasi subito. Oggi è in uno stato pietoso. "Ebbero un bell'insistere i committenti: Questi lavoreri tutti saranno di preda bona ad arbitrio di bono homo, et quando qualche preda non fusse recipienti ala voluntà nostre se cambiarano, secondo el nostro volere". Cfr. F. Rodolico, op. cit., p. 165.
[11] Tale faccia, in gergo, viene detta *verso*.
[12] Un esempio dell'uso sbagliato di questa pietra è oggi dato [ma ancora per poco: sarà infatti tra poco rifatta] dalla pavimentazione della piazzola di Santa Maria dei Servi a Bologna in cotto e in arenaria, per l'appunto malamente utilizzata.
[13] Per le scale e i ballatoi del palazzo dove ha sede la Facoltà di Ingegneria, a Bologna, venne utilizzata la "Ranocchiaia del Vermont", simile al Verde Prato o al Verde Alpi, al Verde Brennero [oficalci], pietra molto bella da vedere, ma costituita da minerali con durezza compresa tra 3 e 3,5 quindi assolutamente inadatta allo scopo. I gradini appaiono oggi, dopo una settantina d'anni, molto assottigliati e i ballatoi in più punti rigati e avvallati (il palazzo in stile moderno, venne costruito tra il 1931 e il 1935 dall'architetto Giuseppe Vaccaro).
[14] Cfr. M. Del Monte, P. Forti e M. Tolomelli "**Degradazione meteorica dei Gessi: nuovi dati delle Torri Medioevali di Bologna (Italia)**" *Atti e Memorie Comm. Grotte "E. Boegan"* **36**, 15-31, 2000.
[15] Il palazzo Sanuti-Campeggi-Bevilacqua iniziato nel 1477 per conto di Nicolò Sanuti, conte della Poretta, è l'unico palazzo Bolognese ad avere l'intera facciata in arenaria fatta venire dalla cava "alla Madonna del Ponte" (Poretta). E' privo di portico e la facciata è protetta, ma non a sufficienza, da un tettuccio aggettante sorretto da mensole anch'esse in arenaria. Il marcapiano - al pari di un secondo motivo ornamentale a livello della balaustra del piano inferiore e di quello che serviva da sedile per la servitù a 80 cm dal suolo forse più volte restituito anche con arenarie di provenienza diversa - sono le parti oggi più degradate. Il bugnato, sebbene realizzato tutto con lo stesso tipo di arenaria e soggetto a identico clima e microclima, mostra di aver reagito in modo disuguale da blocco a blocco ai fattori di danno. Si veda anche, sempre a mo' di esempio, la facciata di San Michele a Pavia o quella della Pieve di Arezzo.

Figura 3 – L'"Ago di Cleopatra" al Central Park di New York. L'antico obelisco in sienite d'Egitto, che nulla ha a che fare con la famosa regina – risale a circa 3500 anni fa – venne portato, praticamente intatto, nel 1879, da Alessandria a New York e in soli due inverni andò in rovina. La foto mostra il lato Est dove i geroglifici sono scomparsi, per la caduta di grosse scaglie, e lo spigolo appare arrotondato. Si tratta del lato rimasto per circa 500 anni interrato e dove i sali solubili trasportati dal limo del Nilo si sono potuti concentrare. Il lato opposto restato all'aria aperta appare meno danneggiato. Il degrado è legato a crioclastia, accentuata dalla presenza di sali solubili immagazzinati all'interno della pietra sia durante la lunga permanenza a Siene (soprattutto solfati, nitrati), sia ad Alessandria (soprattutto cloruri: cfr. Winkler, 1994). (New York, Central Park).

Ne consegue che quando si arriva addirittura ad usare per lo stesso monumento pietre di natura diversa, ad esempio un calcare o un marmo bianco e una pietra verde, essendo la durevolezza di questi due tipi di pietra assai diversa, il degrado procede con modalità e tempi differenti rendendo poi molto disagevole il restauro dell'opera[16].

Perché una roccia si degradi, e quindi risulti poco durevole, non è necessario che tutti i suoi componenti si alterino ma basta che ceda uno solo. Per esempio nel granito di Montorfano l'ossidazione e la successiva idratazione dei cristalli di pirrotina (FeS) provoca macchie di ruggine [$Fe_2O_3.nH_2O$ ovvero $Fe(OH)_3$; la trasformazione avviene con aumento di volume] e anche piccole cavità superficiali che ne accelerano lo sgranamento. Lo stesso accade in altri graniti dove, ad ossidarsi e idratarsi, è la pirite (FeS_2) o la calcopirite ($CuFeS_2$). I basalti ad analcime o a leucite danno luogo per alterazione di questi minerali a superfici bucherellate: gli anglosassoni parlano in questo caso di *sun-burned basalts*[17]: la **basaltina** è appunto un basalto a leucite che si cava nei pressi di Bagnoregio (Viterbo) e che mostra, col tempo, questo difetto. Anche la **zovonite** (trachite: cavata a Zovon di Vò, Padova) punteggiata da una miriade di cristalli subcircolari di sanidino a facilissima sfaldatura e facilmente alterabile, non dovrebbe essere utilizzata per pavimentare: dopo breve tempo la pietra appare tutta bucherellata.

Tutto quanto appena detto è tuttavia provvisorio e semplicemente indicativo.

Perché?

Perché un ruolo importantissimo nel determinare la durevolezza di una pietra verrà giocato dall'**ambiente** in cui la pietra sarà – o è stata – messa in opera.

Innanzitutto è assai diverso se una pietra è conservata all'interno, ad esempio in una raccolta museale, lontano dagli agenti atmosferici e in particolare dall'acqua di pioggia, oppure se si trova in campo aperto[18]. Si può anche aggiungere che una statua di salgemma (minerale non solo estremamente solubile ma anche deliquescente) durerà in eterno se posta lontano dall'acqua di

---

[16] Si veda ad esempio la facciata di Santo Stefano a Genova.

[17] Winkler, op. cit., p. 215.

[18] La quasi totalità delle reazioni chimiche che interessano le pietre avviene solo in presenza di acqua liquida di pioggia. Molte inoltre sono accelerate o indotte dalla presenza di microrganismi. "Il marmo nero di Saltrio appare scrostato e molto deteriorato nelle lapidi cimiteriali poste in campo aperto è solo leggermente opacizzato in zone semiprotette o negli interni. A San Lorenzo Fuori le Mura a Roma delle 16 colonne in pavonazzetto (marmo frigio o docimenio), le 4 dell'atrio sono assai corrose, mentre le 12 dell'altare maggiore sono invece perfettamente conservate. Il "verde antico" che negli interni non ha problemi è invece alterato, ad esempio, nelle colonne sulla porta di San Marco a Venezia ed è quasi irriconoscibile sulle colonne poste sul campanile della stessa chiesa" così il Salmoiraghi, nel 1892. Ma in realtà non occorre assolutamente fare esempi: **tutte** le pietre conservate negli interni, quindi sottratte al contatto con l'acqua liquida di pioggia durano, praticamente, per sempre. Cfr. G. Thomson "**The museum environment**" Butteerworth & Co, pp. 193, London, 1987.

pioggia e in un luogo dove l'umidità in aria è nulla[19]. Al contrario una statua in granito se posta in un ambiente molto umido e acido (l'acidità ambientale facilita l'idrolisi progressiva dei feldspati – vale a dire ortoclasio e Na-Ca-plagioclasi – che sono tra i minerali principali di questo tipo di pietra) e con inverni severi, risulterà poco durevole.
Un esempio significativo in tal senso è rappresentato dal così detto "Ago di Cleopatra" un obelisco in sienite d'Egitto che venne estratto dalle cave di Assuan (Aswan in arabo), l'antica Siene, ai tempi del faraone Thotmes III all'incirca nel 1500 a. C. (**fig. 3**). Il nome con cui è conosciuto è quindi del tutto fuorviante: più appropriato sarebbe quello di "obelisco vagabondo". L'obelisco venne portato, navigando sul Nilo, sino alla antica capitale Heliopolis che sorgeva non lontano dalla odierna città del Cairo dove restò sino al 500 a. C. quando il re persiano Cambise conquistato l'Egitto, rase al suolo numerosi monumenti, tra cui l'"Ago". L'obelisco restò a terra, parzialmente insabbiato, sino al 16 a. C. quando Cesare Augusto lo fece trasportare ad Alessandria dove venne ricollocato nella sua posizione originaria, vale a dire in verticale. Nel 1879, ancora in ottimo stato di conservazione, venne traslato negli Stati Uniti d'America e messo in opera al Central Park di New York dove tutt'ora si trova. Bastarono due soli inverni perché la maggior parte dei fregi superficiali – i geroglifici – cadessero al suolo: si raccolsero, nelle due primavere successive, a terra, schegge per un peso di oltre tre quintali[20]. La pietra è, come appena detto, una sienite vale a dire una pietra di per sé molto durevole, ma un conto è che sia messa in opera in un ambiente altamente conservativo come il deserto dei dintorni dell'antica Siene, oppure nella città di Alessandria, un conto che sia collocata in un ambiente, piovoso, acido e con una temperatura che oscilla per molti giorni invernali attorno a 0 °C come è il centro di New York. La causa prima e fondamentale del degrado sta quindi nella quantità d'acqua a disposizione che risulta indispensabile per ogni processo chimico e fisico tra cui la crioclastia, fattore quest'ultimo certamente operante a New York, ma non a Siene o ad Alessandria d'Egitto. E' probabile che il danno sia stato accentuato dalla presenza di sali solubili immagazzinati all'interno durante la sua lunga storia come ipotizzato dal Winkler[21]: la cristallizzazione simultanea dell'acqua dei pori e delle microfessure e dei sali solubili in essa disciolti – in particolare l'NaCl – accentua notoriamente questo tipo di danno.
Ma di questo aspetto si parlerà più diffusamente subito dopo quando verranno presi in considerazione i fattori estrinseci che condizionano la durevolezza.
Si può però già trarre una conclusione, vale a dire che il solo tecnico in grado di studiare e di quantificare questa categoria di fattori è il Geologo. Solo il Geologo ha consuetudine col microscopio da mineralogia e quindi con lo studio mineralogico delle pietre in sezione sottile, col Diffrattometro a raggi-X (strumento che permette di vedere e di quantificare i minerali presenti in una polvere ottenuta macinando la pietra e studiando le posizioni angolari secondo cui i piani reticolari hanno "riflesso" la radiazione X), con lo Spettrometro di fluorescenza dei raggi-X (strumento che permette di vedere e quantificare gli elementi chimici presenti in un campione polverizzato in base allo studio degli spettri di emissione vale a dire all'energia – o alla lunghezza d'onda, che è lo stesso – dei quanti specifici emessi da ogni specie atomica quando viene eccitata da una sorgente di raggi-X)[22], col porosimetro a mercurio, o altro, per studiare quantità e tipo di porosità.

3 – Fattori estrinseci

I fattori estrinseci sono quelli legati all'ambiente in cui la pietra si verrà a trovare una volta messa in opera. Una distinzione fondamentale, come appena detto, esiste tra le pietre messe in opera all'esterno e quelle messe in opera – o collocate successivamente – all'interno delle raccolte museali. Quantitativamente le prime sono di gran lunga più abbondanti delle seconde; qualitativamente avviene il contrario. Da notare a questo riguardo che l'ambiente cambia nel tempo e quindi i monumenti, soprattutto se antichi, hanno dovuto rapportarsi con ambienti diversi di cui spesso conservano il ricordo[23]. Inoltre la quasi totalità dei monumenti oggi conservati all'interno dei grandi musei urbani – si pensi, come esempio, all'altare di Pergamo o alla porta del mercato di Mileto oggi al Pergamon Museum di Berlino – hanno passato un lungo periodo della loro esistenza all'aperto.
Tra i fattori ambientali più importanti vi è il **clima.**
Che cosa s'intende per clima? E' la sintesi delle condizioni metereologiche che si susseguono giorno dopo giorno in una data area geografica per un periodo di

[19] "Nella pianura di Tamarugal in Bolivia, dove non piove quasi mai, si fanno case in salgemma, che altrove non durerebbero una giornata di nebbia" F. Salmojraghi, op. cit. p. 152.
[20] Il dato è riportato da Winkler, che parla di 700 libbre; op. cit., p. 182.
[21] *Ibidem*, p. 182.
[22] Strumenti che raggiungono lo stesso scopo sono lo Spettrofotometro ad assorbimento atomico o lo Spettrometro "al plasma" anch'essi, di regola, usati dal Geologo.
[23] Cfr. per il biodegrado: M. Del Monte "**Trajan's Column: Lichens don't live here anymore"** Endeavour, **15,** 2, 86-93, 1991; M. Del Monte "**L'arco d'Augusto e la qualità dell'aria a Rimini: le patine superficiali**" in: "L'Arco di Augusto: significati e vicende di un grande segno urbano" Musei Comunali di Rimini, pp. 115-119, Rimini, 1998.
Cfr. per l'antica polluzione atmosferica: M. Del Monte, P. Ausset, R. A. Lefèvre and S. Thiébault "**Evidence of pre-industrial air pollution from the Heads of the Kings of Juda statues from Notre-Dame Cathedral in Paris**" The Science of the Total Environment, **273**, 101-109, 2001; M. Del Monte, P. Ausset, P. Forti, R. A. Lefevre and M. Tolomelli "**Air pollution records on selenite in the urban environment**" Atmospheric Environment, **35**, 3885-3896, 2001.

Figura 4
***a** - I blocchi in selenite osservabili oggi alla base delle torri bolognesi sono stati tutti restituiti durante recenti restauri: se appaiono in buono stato di conservazione ciò non dipende dalla durevolezza di questa pietra ma dallo scarso periodo trascorso in campo. Ciononostante la selenite appare già in più punti fortemente disciolta: ad esempio sono quasi scomparse sia la bordatura alla base, sia il marcapiano in alto – dove ha inizio la cortina in cotto – vale a dire le parti del monumento più soggette al wash-out. Le scannellature osservabili tra concio e concio – tutti incollati alla selenite retrostante della scarpa – sono legate al gusto dell'epoca in cui venne eseguito il restauro: in origine i conci dovevano essere a filo e mancava qualunque appiglio che potesse in qualche modo favorire la scalata alla torre.*
***b** - Tutte le parti anche solo leggermente sporgenti mostrano i caratteristici solchi sub-paralleli – microkarren – dovuti al ruscellare dell'acqua di pioggia.*
***c** – La foto scattata, in occasione di un recente restauro, mostra ciò che resta di un meniano in selenite, quasi certamente d'epoca, situato a pochi metri dalla cima della torre. I meniani erano barre sporgenti con la funzione di sorreggere i ballatoi in legno, esterni alla torre, da cui venivano gettati proiettili sugli assedianti. Oggi, sciolti dall'acqua di pioggia, appaiono a filo coi muri della torre (a, b, c: Bologna,Torre Garisenda).*

tempo significativo[24]. Questa definizione non tiene conto di certi eventi estremi che sfuggono a una media e che in certi casi diventano importanti anche su brevi periodi e quindi andranno conteggiati in relazione alla durevolezza dei monumenti in pietra. Se si ragiona in termini geologici questo tempo sarà di centinaia di migliaia o di milioni di anni; nel caso dei monumenti in pietra andrà dalle decine alle centinaia o in rari casi alle migliaia di anni. I fattori che determinano il clima sono i moti astronomici (rotazione e rivoluzione della terra attorno al sole determinano, come tutti sanno, l'alternanza giorno-notte e quella delle stagioni), la posizione geografica o latitudine (si parla in questi casi di clima polare, temperato, tropicale, ecc.), la morfologia del territorio, la maggiore o minore vicinanza dal mare o da un lago, la circolazione generale dell'atmosfera e la direzione e la velocità dei venti. In particolare risultano determinanti la piovosità e la distribuzione delle piogge nell'arco dell'anno. L'acqua di pioggia, come già ricordato, è fondamentale per la quasi totalità dei processi chimici che subisce una pietra una volta messa in opera[25]. Il primo fra tutti è la dissoluzione. Vi sono pietre molto solubili – tra queste, come già notato, la selenite[26] (**fig. 4**) – ma anche calcari e arenarie a cemento carbonatico. Questo fenomeno,

[24] W. J. Maunder "**Dictionary of Global Climate Change**" UCL Press, London, pp. 257, 1994.
[25] Cfr. *supra*, nota 18.
[26] La selenite è l'unica pietra la cui durevolezza aumenta, sia pure leggermente, in ambiente acido. L'SO_4^{2-} è presente sia nell'acqua di pioggia acida, sia nel sale e ciò, per il noto effetto "ione comune", diminuisce la sua solubilità. Cfr. *supra*, nota 14.

Figura 5 – L'acqua di pioggia "pulita" ha un pH di 5,6 essendo in equilibrio con la CO_2 atmosferica (presente in atmosfera con concentrazioni di circa 0,003% pari a 330 ppm, ma ritenuta da molti studiosi in lieve aumento) ovvero, che è lo stesso con l'acido carbonico: in tal caso una statua in calcare o in marmo, in campo aperto, subisce, col tempo, un fenomeno di dissoluzione modesto. Se il pH delle idrometeore scende a 3,6 – quindi con un aumento dell'acidità di circa 100 volte – gli effetti sui monumenti in pietre calcaree – incluse le arenarie a cemento carbonatico – in campo sono sconvolgenti. La foto mostra il busto di una statua in calcare compatto scattata nell'ex Germania Orientale quando la indiscriminata combustione del carbone in enormi quantità rendeva l'ambiente estremamente acido e fortemente aggressivo (Dresda, terrazzo dello Zwinger).

nel caso di rocce carbonatiche è accentuato dall'acidità delle idrometeore: queste nelle città europee fortemente pollutate[27], in quelle nordamericane e oggi in quelle asiatiche possono raggiungere valori del pH attorno al 3,5 - 4,0[28] (fig. 5). Altro fattore importante che influisce sulla durevolezza delle pietre è la temperatura e in particolare l'escursione termica giorno-notte (meno importante ai fini della durevolezza risulta l'escursione termica stagionale). Di giorno la radiazione solare scalda la pietra e i minerali che la costituiscono si dilatano. Di notte, al contrario, la pietra si raffredda e i minerali si contraggono[29]. Il fenomeno è fortemente accentuato dalla presenza di acqua interstiziale dato che il coefficiente di dilatazione dell'acqua è maggiore di quello della pietra. Nelle rocce polimineraliche dato che il coefficiente di dilatazione varia da minerale a minerale si assiste, col passare del tempo, a uno scollamento dei granuli e quindi alla perdita di materiale superficiale. Questo fenomeno interessa però anche le rocce monomineraliche, come ad esempio il marmo, in quanto i granuli di calcite hanno in questa pietra disposizione casuale statistica[30] e ciò crea tensioni interne; questo fenomeno può portare alla formazione del così detto "**marmo cotto**"[31]. In altri casi si ha una vera e propria "esfoliazione" dovuta a lamine che si staccano dalla pietra. Il fenomeno dipende dalla dilatazione diurna della pietra e dalla contrazione notturna che avviene più velocemente sulla parte esterna[32].

In generale si può dire però che la dilatazione termica è un fenomeno più che modesto; tuttavia su lastre messe in opera troppo a contatto può, in casi eccezionali, farle contorcere o screpolare[33]. Il caso opposto si ha quando una lastra messa in opera in estate può successivamen-

---

[27] Le città più nere e pollutate erano, prima dell'unificazione della Germania, quelle della parte orientale del paese inclusa la parte Est di Berlino. Ciò era dovuto all'uso massiccio e indiscriminato del carbone come combustibile. Così, o anche peggio doveva presentarsi Londra prima del "**Grande smog"** del 5-9 dicembre del 1952 che portò nelle settimane e mesi seguenti alla morte di più di 4000 persone. Questo evento indusse i legislatori a promulgare nel 1956 e successivamente nel 1968 i famosi **Clean Air Acts**. Le grandi nebbie – acide – che affliggevano la città fin dai tempi di Dickens e così ben tratteggiate in tanti racconti di Sherlock Holmes divennero così un brutto ricordo del passato.

[28] Questi valori in realtà venivano raggiunti nelle città italiane, ad esempio quelle del nord tra cui Bologna, sino ad alcuni anni fa. Oggi – a partire dal 1996 – l'aumento del pH ambientale è in costante crescita e si è portato da valori medi attorno 4 a valori intorno a 6. Ciò è la conseguenza della metanizzazione degli impianti di riscaldamento e dell'uso di combustibili per i motori a ciclo Diesel poveri in zolfo. Da notare che il pH è una misura logaritmica e quindi, almeno in teoria, passando da pH 5 a pH 6 l'acidità diminuisce di 10 volte e passando da 4 a 6 diminuisce di 100 volte.

[29] Il fenomeno è fortemente amplificato da un improvviso cambiamento metereologico, vale a dire quando una pietra surriscaldata dai raggi solari viene investita da raffiche di vento freddo o dall'acqua di un rovescio improvviso. Questo dato è stato confermato da esperimenti in laboratorio (O. Vittori e M. Del Monte: d. n. p.)

[30] La dilatazione dei cristalli è una proprietà anisotropa per cui anche cristalli dello stesso tipo con distribuzione casuale statistica allungandosi più in una direzione rispetto alla normale tendono a "scollarsi".

[31] Alcune colonnine in marmo greco del Chiostro superiore nella Basilica di Santo Stefano a Bologna durante un recente restauro vennero trovate completamente arenizzate e furono sostituite con repliche in marmo di Carrara. Essendo questi elementi al riparo dall'acqua di pioggia, non interessate dalla risalita capillare ed essendo assenti fenomeni di solfatazione della calcite, il danno venne attribuito a termoclastia. Cfr. M. Del Monte e M. Tolomelli "**Il chiostro romanico, o dei benedettini**" Sette Chiese, 3, 24-32, 1996.

[32] Cfr. M. Ciabatti e M. Del Monte "**Elementi di Mineralogia e Geologia**" CLUEB, pp. 169-170, Bologna, 1982.

[33] Secondo il Winkler fenomeni di questo tipo dovuti ad aumento di volume e di conseguenza anche ad allungamento delle lastre sarebbero, piuttosto, da imputare a "energia primaria di rilascio"; vale a dire che una lastra ottenuta da un blocco estratto dalla cava e già sottoposto ad altissime pressioni si "distenderebbe", una volta messa in opera, allungandosi. Cfr. Winkler, op. cit., p. 78. Vero o no, l'uso di "stagionare" le pietre all'aperto – ma talora anche nell'ambiente originario vale a dire all'interno delle cave - per due o tre inverni dopo averle tagliate, prima di metterle in opera, è una pratica altamente consigliata.

Figura 6 – Esfoliazione superficiale di blocchi in arenaria utilizzati in un piccolo portale: la foto riproduce la parte sommitale dell'arco e mette in evidenza come i conci sporgano – di una trentina di centimetri – rispetto la facciata dell'edificio e quindi vengano facilmente raggiunti dall'acqua di pioggia. Il portale si trova in una strada strettissima e viene al contrario raramente e per poco tempo scaldato dai raggi del sole. Per questo l'acqua di infiltrazione permane a lungo nella pietra e, dato che la temperatura scende per molte notti invernali sotto lo zero termico, questa subisce il fenomeno della crioclastia degradandosi (Camerino – Macerata).

te, per contrazione, mostrare piccole fenditure o scollamenti. Una colonna di marmo – ma ciò vale pressappoco per molti altri tipi di pietra – alta 5 m, per un escursione termica di 50°C (e ciò può accadere specie al centro e sud Italia), subirà un allungamento di circa 2 mm[34]. Leggermente maggiore sarà questo valore per un pilastro in muratura poiché la malta ha coefficiente di dilatazione maggiore.

Di particolare importanza risulta l'effetto delle oscillazioni termiche in presenza di acqua nei pori o nelle microfratture della pietra nella stagione invernale. Quando, di notte, la temperatura scende sotto lo 0°C l'acqua ghiaccia aumentando di volume[35] e creando tensioni interne che possono portare prima al distacco di scaglie sino poi allo sfarinamento della pietra. Le pietre sensibili a questo fenomeno – ad esempio molti tipi di arenarie – vengono dette **gelive** o **diacciole**[36]. Il fenomeno è particolarmente marcato alle medie latitudini, come nel caso dell'Italia centro-settentrionale, dove per periodi abbastanza lunghi, d'inverno, la temperatura scende sotto lo zero di notte e risale sopra lo zero durante il giorno: sono, di solito, i numerosi cicli liquido-solido-liquido dell'acqua interstiziale che determinano il danno[37] (**fig. 6**). Nei paesi del Nord dove la temperatura resta per giorni e giorni sempre sotto lo zero il fenomeno è meno marcato. Da notare a questo proposito che l'acqua interstiziale contiene spesso dei sali disciolti e quindi perché passi allo stato solido, la temperatura – il fenomeno come è noto prende il nome di abbassamento crioscopico – deve scendere di diversi gradi sotto lo zero. Inoltre i sali disciolti – nelle zone costiere sarà di preferenza NaCl[38] – cristallizzando quando l'acqua ghiaccia amplificano questo tipo di danno. Si può aggiungere che oltre all'abbassamento crioscopico può aver luogo nei pori o in piccole fessure il fenomeno della sopraliquidità[39]. In questi casi una roccia porosa che contiene acqua può resistere per moltissimi anni e poi andare in pezzi in seguito ad un inverno eccezionale con temperature molto basse. E' stato anche notato che una pietra che ha retto a un inverno eccezionale risulta poi più vulnerabile anche a inverni relativamente rigidi. Le pietre diacciole si trovano, ovviamente, fra quelle porose, ma la gelività non è assolutamente proporzionale alla porosità. Un esempio arcinoto è dato dal **travertino**, ma anche da alcuni tipi di arenarie messe in opera in città del nord[40]. Inoltre la tendenza alla gelività può essere fortemente contrastata da una forte **coesione** come accade in alcune arenarie porose a cemento siliceo.

Da notare infine che, mentre i vari fattori di danno ambientale di tipo chimico sono sempre molto lenti, quelli

[34] Il coefficiente d'espansione di una pietra calcarea è di 8.10^{-6} m / m / °C.
[35] L'acqua, come è noto, è l'unica sostanza al mondo che ha la fase solida – il ghiaccio - meno densa, e quindi a maggior volume specifico, della fase liquida. L'acqua inoltre è l'unica sostanza che si può trovare in natura in tutti e tre gli stati della materia: solido, liquido e gassoso.
[36] Degli effetti della crioclastia quale fattore di danno dei monumenti ci parlano Vitruvio, Plinio che ha come sua fonte Vitruvio e più tardi Leon Battista Alberti. Cfr. *infra*, nota 88.
[37] Ciò non è sempre detto. Cfr. *infra*, p. 15.
[38] Le parti di un monumento che vedono i venti di brezza provenienti dal mare vicino, appaiono di regola più degradati di quelle opposte. In tal caso prevale nettamente l'effetto salsedine sull'esposizione ai punti cardinali. Ad esempio le Colonne Traiana e Antonina a Roma sono più degradate sul lato meridionale che non su quello boreale. Ciò era già stato osservato da Vincenzo Giustiniani agli inizi del XVII secolo. Cfr. "Discorsi sulle arti e sui mestieri" i.e. "Discorso sull'Architettura" verso il 1610.
[39] L'acqua resta allo stato liquido anche se la T scende di diversi gradi sotto lo 0 termico.
[40] Un esempio è dato dall'arenaria del campanile di Strasburgo.

Figura 7 – Nei luoghi dove la qualità dell'aria è ancora buona un attivo fattore di danno è il biodegrado. La pietra viene attaccata dagli organismi vegetali soprattutto laddove le superfici sono orizzontali o suborizzontali, e trasformata lentamente in suolo. Il processo ha inizio con la colonizzazione del monumento da parte dei licheni, detti per questo organismi pionieri o precursori della pedogenesi. Perché ciò avvenga i tenori di SO_2 in aria devono però essere molto bassi ($SO_2 \leq$ 5 - 20 $\mu g/m^3$ di aria max) essendo questa sostanza, per questi organismi, un veleno mortale. Le città di vaste aree del pianeta, fortemente pollutate in seguito all'uso indiscriminato di combustibili fossili (carbone, olio e derivati, metano) sono state da tempo abbandonate dai licheni. Tutti i monumenti urbani antichi – precedenti all'Era Industriale che ha inizio col 1769, vale a dire con l'invenzione da parte di James Watt della macchina a vapore – se non sono stati successivamente "selvaggiamente restaurati" mostrano sempre i segni superficiali dell'antico biodegrado (Tivoli, giardini villa d'Este).

di tipo fisico, e in particolare la gelività, sono – almeno apparentemente – veloci: un solo inverno è sufficiente a danneggiare un monumento e non è raro assistere al distacco di parti anche relativamente grandi di pietra nell'arco di una sola notte[41].

Altro fattore estrinseco importante è il **microclima**[42] vale a dire il clima come è "visto" dalla pietra messa in opera, nelle immediate vicinanze, in funzione della sua forma e della sua esposizione. Un monumento che si trovi, ad esempio, nella città di Bologna, interagisce col clima di Bologna: però le pareti esposte a sud avranno, di regola, un comportamento diverso rispetto a quelle esposte a nord che appariranno, di regola, più degradate[43]. Nella parete esposta a nord i marcapiani avranno un comportamento diverso dalle zone subito sottostanti e così via. Il microclima di un monumento è di conseguenza influenzato, in modo talora determinante, dalla presenza di edifici o di alberi vicini: può accadere allora che la demolizione di uno di questi edifici o l'abbattimento di un grande albero porti a sostanziali variazioni sia di temperatura di alcune superfici del monumento, sia alle modalità di ruscellamento dell'acqua di pioggia o d'interazione col vento cambiando in modo determinante le variabili del problema. Di clima e microclima si parlerà più diffusamente in una prossima nota

Tra i fattori estrinseci che influenzano la durevolezza di una pietra vi sono anche i **fattori biotici**[44].

Come è ben noto al Geologo una roccia in campo, interagendo con l'atmosfera, l'idrosfera e la biosfera, subisce, inevitabilmente, una serie di modificazioni superficiali che col tempo la trasformano in **suolo**[45]. E' questo un processo obbligato; come la sostanza organica, dopo la morte dell'organismo, subisce il fenomeno della putrefazione e infine della mineralizzazione decomponendosi negli elementi chimici da cui era costituita così una pietra, interagendo con l'ambiente, si trasforma, col tempo, in suolo. Il suolo non è il prodotto finale e stabile di questo processo ma ne costituisce una fase intermedia e provvisoria. I suoli nascono (protosuoli), entrano in equilibrio con l'ambiente (suoli in *climax* vale a dire suoli s.s. che verranno utilizzati col nome di terreni agrari dall'uomo) poi muoiono (paleosuoli). Si da il nome di pedogenesi a questa complessa trasformazione superficiale delle pietre come delle rocce.

Una pietra messa in opera non è diversa da quella di un affioramento naturale in quanto la natura non fa nessuna differenza tra una pietra grezza, un manufatto o un monumento; anch'essa quindi ha la naturale tendenza a trasformarsi lentamente e progressivamente attraverso una serie numerosa di stadi intermedi in suolo (**fig. 7**).

Perchè è molto difficile osservare, nei nostri paesi, questo processo, anche solo parziale sui monumenti[46]?

Uno dei motivi per cui i monumenti più antichi appaiono, salvo rare eccezioni, scarsamente pedogenizzati sta nel fatto che nei monumenti in pietra prevalgono nettamente le superfici verticali o subverticali: le pareti di una basilica, le colonne di un tempio, le mura di cinta di un castello o di una città fortificata, il panneggio di una statua, una stele tombale, ecc.

Ora, uno dei fattori della pedogenesi, è la morfologia del

---

[41] Questo è verosimilmente, a parere di chi scrive , nei nostri climi, l'atto finale di una serie numerosa di cicli di gelo-disgelo.

[42] Si usa qui questo termine in modo approssimato come risulta dalla definizione che ne viene data subito dopo. In realtà gli specialisti di Climatologia parlano di clima globale, macroclima, mesoclima, clima, microclima, nanoclima e picoclima. In questa scala il microclima (micro = 10^{-6} Km pari a 1 mm) riguarderebbe un intorno troppo piccolo e quindi ai fini del danno poco significativo. Qui con questo termine s'intende un intorno compreso tra alcuni cm e alcuni decimetri. Cfr. Dario Camuffo "**Microclimate for Cultural Heritage**" Elsevire, pp. 415, 1998; cfr. anche a livello applicativo: A. Bernardi, D. Camuffo, M. Del Monte and C. Sabbioni "**Microclimate and weathering of an historical building: the Ducal Palace in Urbino"** The Science of the Total Environment, **46**, 243-260, 1985.

[43] *Contra*: cfr. *supra*, nota 38.

[44] Cfr. M. Del Monte and C. Sabbioni "**Chemical and biological weathering of an historical building: the Reggio Emilia Cathedral"** The Science of The Total Environment, **50**, 147-163, 1986.

[45] Questo oggetto che ha origine dalla roccia sottostante da cui eredita pregi e difetti viene chiamato **suolo** dal Pedologo, **terreno agrario** dall'Agronomo**, regolite** dall'Ingegnere. In realtà perché si formi un suolo deve necessariamente essere presente anche la sostanza organica che in una fase di fine suddivisione e parziale decomposizione prende il nome di **humus**: se no ha luogo una semplice disgregazione della roccia in piccoli frammenti.

[46] Sono esclusi quelli situati in zone pulite e abbandonate dall'Uomo. Un esempio clamoroso è rappresentato dalla città di Angkor, l'antica capitale Khmer, al confine tra la Cambogia e la Tailandia riconquistata quasi ovunque dalla foresta.

paesaggio che nel caso di un monumento non è altro che la sua forma. La genesi di un suolo è impedita in caso di superfici verticali perché le particelle disgregate che accumulandosi nel tempo dovrebbero concorrere alla sua nascita vengono trascinate – o cadono – a valle per gravità; si può anzi affermare, fatto questo ben noto al pedologo, che lo spessore di un suolo è inversamente proporzionale alla pendenza. E' solo in alta montagna (pareti sub-verticali) o là dove un fiume ha inciso la successione stratigrafica che è possibile osservare le rocce; in ogni altro luogo esse sono coperte e mascherate dal suolo.

Un secondo motivo è legato al fatto che, specie in passato, il processo veniva interrotto sul nascere, ad ogni primavera, dall'intervento dell'uomo. Ci restano diversi documenti di questo tenore: "*Per aver estirpato le malerbe dalla Colonna al sig. XX baiocchi XX*". Vale a dire che persone addette a questo compito venivano calate dall'alto in una cesta di vimini sorretta da una fune e provvedevano a togliere sia le pianticelle che incominciavano ad attecchire, sia i cuscinetti di protosuolo formatosi in ogni punto in cui la pietra – marcapiani, architravi, mensole e altre sporgenze – si presentava orizzontale o suborizzontale.

Perché la pedogenesi abbia inizio occorre però, oltre alla presenza di superfici orizzontali o suborizzontali, anche un altro elemento: la qualità dell'aria dovrà essere o ottima o per lo meno buona o, se si preferisce, l'inquinamento atmosferico dovrà essere modesto o assente.

Infatti i primi organismi che colonizzano la pietra nuda sia in campo sia messa in opera sono i **licheni** che, per questo, vengono detti **organismi pionieri**[47].

Questi organismi sono estremamente sensibili alla qualità dell'aria e in particolare ai composti dello zolfo. Bastano qualche decina di ppb di SO_2 in aria perché i licheni muoiano e il processo della pedogenesi si arresti sul nascere. Su vaste aree del pianeta, dove la qualità dell'aria è pessima, i licheni non vivono più: gli specialisti parlano in questi casi di **deserti lichenici**[48].

Il biodegrado è però un processo ancora efficientissimo nelle – poche – aree del pianeta pulite. Inoltre tutti i monumenti antichi che sono stati all'aperto per centinaia e talora per migliaia d'anni, prima dell'era industriale, mostrano inevitabilmente i segni superficiali lasciati dagli organismi pionieri. E ciò vale naturalmente, come già notato, anche per i monumenti antichi conservati oggi nelle raccolte museali che, nella stragrande maggioranza, hanno passato lunghi periodi all'aperto in ambienti puliti[49].

Ma il principale fattore di degrado dei monumenti in pietra che si trovano nelle città fortemente inquinate dell'Europa, Nord America e Sud Est Asiatico (Giappone, Cina, Corea, India) è oggi la cattiva **qualità dell'aria**. Il problema è estremamente complesso: nelle righe che seguono si accennerà solo ad alcuni aspetti principali[50].

Innanzitutto occorre fare una precisazione. Molti monumenti antichi urbani come, ad esempio, l'Arco di Augusto a Rimini, l'Arco di Traiano in Ancona, le Colonne Traiana e Antonina o gli Archi di Tito e Settimio Severo a Roma e mille altri oggi aggrediti dagli inquinanti aereodispersi presentano superfici già modificate dall'attacco biologico che ha agito per secoli: il degrado oggi osservabile è quindi l'effetto combinato di due agenti affatto diversi e sarebbe perciò sbagliato attribuire all'ultimo arrivato, l'inquinamento atmosferico, il danno complessivo oggi osservabile[51].

Ma chi rende oggi, nei paesi industrializzati, cattiva la qualità dell'aria?

Le fonti inquinanti sono numerosissime e vanno dalle centrali di potenza per la produzione dell'energia elettrica – a carbone, a gasolio, a metano –, alle fabbriche metallurgiche – per la produzione del ferro, nichel[52], rame, zinco, alluminio, ecc. –, alle raffinerie di idrocarburi, ai cementifici, agli inceneritori dei rifiuti urbani. Nelle città tuttavia le principali sorgenti inquinanti – avendo da tempo fabbriche e industrie abbandonato i centri urbani – sono il traffico veicolare sia ciclo Diesel che a benzina[53] e i bruciatori per il riscaldamento, sorgente, quest'ultima, che agisce soprattutto nella stagione invernale. Sino a pochi anni fa questi ultimi bruciavano in prevalenza

---

[47] Sono detti anche organismi precursori della pedogenesi. Sono fondamentali per intaccare in superficie la pietra e per formare il primo cuscinetto di protosuolo che innesca i processi successivi. I segni di cui qui si parla sono fenomeni di deposito, vale a dire patine superficiali e fenomeni di erosione tra cui prevale il *pitting*. Cfr. M. Del Monte "**Microbioerosions and biodeposits on stone monuments: pitting and calcium oxalate patinas**" Advanced Workshop on "Analytical Methodologies for the Investigation of Damaged Stones", 27 pp, Pavia, 1990; M. Del Monte, C. Sabbioni and G. Zappia "**The origin of calcium oxalates on monuments, historical buildings and natural outcrops**" The Science of The Total Environment, **67**, 17-39, 1987; M. Del Monte and C. Sabbioni "**The so-called "scialbatura" on Roman Imperial marbles**" Studies in Conservation, **32**, 114-121, 1987; M. Del Monte "**I monumenti in pietra e i licheni"** Rass. Beni Culturali, **V**, 3, 12-17, 1989; M. Del Monte and C. Sabbioni "**Superficial Patinas on Ancient Monuments**" Europ. Cult. Herit. N.L.R., **2**, 4, 11-13, 1988; M. Del Monte e A. Ferrari "**Patine da biointerazione alla luce delle superfici dei monumenti**" Atti Conv. Int. "Le pellicole ad ossalati: origine e significato nella conservazione delle opere d'arte", 171-182, Milano, 1989.

[48] Cfr. Chris C. Park "**Piogge acide**" Franco Muzio Editore, p.11, Padova, 1989.

[49] Il problema del biodegrado dei monumenti in pietra verrà affrontato in un articolo specifico che apparirà su questa rivista in un prossimo futuro.

[50] *Item*, cfr. nota precedente. Cfr. M. Del Monte and O. Vittori "**Impact of air pollution on stone decay: the case of Venice**" Endeavour, **9**, 117-122, Oxford, 1985; M. Del Monte "**Air pollution and decay of building stone"** Analusis Magazine, **20**, 3, 20-23, 1992.

[51] Cfr. M. Del Monte "**Stone monuments and air pollution: magnification of damage caused by previous biodegradation phenomena**" Europ. Cult. Herit. N.L.R., 6, 2, 23-30, 1992.

[52] La ciminiera del complesso per la fusione della pirrotina, per l'estrazione del nichel, Inco di Sodbury, Ontario (Canada), deteneva 25 anni fa due primati mondiali: era la ciminiera più alta del mondo (380 m) e la principale fonte di SO_2 dell'intero pianeta: 2500 ton/giorno. Cfr. La Bastille "**Acid rain**" National Geographic, p. 662, 1981. Non conosco i dati delle emissioni odierne.

[53] Particolare attenzione andrebbe volta ai motori a due tempi.

Figura 8 ***a*** *– Una statua in calcare o in marmo, posta in campo aperto in una città dove la qualità dell'aria è cattiva, mostra una alternanza di aree bianche e nere. Le zone bianche sono quelle raggiunte dall'acqua di pioggia che allontana continuamente le polveri depositate: appaiono perciò bianche le parti più sporgenti e aggettanti. Apparentemente sembrano anche le zone più integre ma è proprio il contrario. L'acqua di pioggia non si limita a rimuovere le particelle depositate ma scioglie lentamente la superficie del calcare su cui scorre, assottigliandola. Le aree nere sono quelle non soggette al ruscellamento dell'acqua di pioggia: qui le particelle nere da combustione di olio o di carbone – nel caso qui mostrato di carbone – a reazione acida, si appiccicano alla superficie attraverso una reazione chimica che implica la trasformazione del carbonato di calcio sottostante in solfato biidrato di calcio, vale a dire* $CaSO_4.2H_2O$ *o gesso. Se il calcare o il marmo sono compatti la trasformazione riguarda uno spessore di poche decine o al massimo di qualche centinaia di micron. In un primo momento la superficie semplicemente si annerisce (soiling); col passare del tempo il film nero si trasforma in una vera e propria crosta nera che, se l'inquinamento dell'aria è severo, può raggiungere lo spessore di alcuni millimetri o addirittura di alcuni centimetri.* ***b*** *- Una statua, sempre in calcare o in marmo, posta a pochi metri dalla precedente, ma in una nicchia profonda quindi al riparo dall'acqua di pioggia, col passare del tempo, si ricopre di povere che si deposita, di preferenza sulle parti più esposte e suborizzontali. La polvere, vale a dire le particelle presenti in atmosfera e trasferite sulla superficie attraverso vari meccanismi – si parlerà di ciò in seguito – è semplicemente appoggiata e quindi potrebbe venire rimossa con facilità tramite un semplice aspirapolvere. Se in seguito a un evento eccezionale, ad esempio un forte temporale in presenza di vento, la polvere viene raggiunta da acqua liquida di pioggia la soluzione che si forma sarà molto acida e estremamente corrosiva nei confronti della pietra sottostante: gli esperti parlano in casi del genere di "shock acidi" o di "ondate" o "flussi acidi improvvisi" che portano alla formazione di piccoli solchi di corrosione subparalleli, detti microkarren. (a, b: Potsdam, Sanssouci Park).*

gasolio o nafta, oggi bruciano soprattutto metano. Attraverso le marmitte dei veicoli o i camini degli edifici vengono immessi in atmosfera i residui della combustione sotto forma di fumi. I fumi sono dispersioni colloidali di particelle solide e liquide in una miscela di gas tra cui prevale il vapor d'acqua e l'aria. Le particelle solide – dette **fly-ash** dagli anglosassoni – sono soprattutto sferette carboniose, vale a dire costituite prevalentemente di carbonio, fortemente bucherellate quindi a bassissimo peso specifico, di colore nero e con dimensioni da submicroniche sino a un diametro massimo di 60-70 micron (queste ultime dette **cenosfere**) e con una moda attorno ai 6-8 μm. Queste particelle hanno reazione acida, contenendo acido solforico, e quindi oltre ad annerire le superfici su cui si depositano, le intaccano anche corrodendole. Le sostanze gassose emesse sono numerose sia organiche che inorganiche. Quelle che interessano in questa sede sono quelle inorganiche. Tra queste le principali sono l'anidride solforosa (SO_2) e gli ossidi di azoto (NO_x). Il primo di questi due inquinanti, l'SO_2, viene immesso in atmosfera perché è contenuto nel combustibile. Il secondo ha invece un origine diversa. Esso deriva dall'ossidazione dell'azoto, N_2, che è il principale componente dell'aria pulita (78,08% in volume), a seguito delle alte temperature raggiunte durante qualsiasi processo di combustione. Anche il metano quindi, praticamente privo di zolfo, bruciando produce necessariamente ossidi di azoto. Tralasciamo per ora l'ozono (O_3), l'anidride carbonica (CO_2) e il monossido di carbonio (CO) di cui si parlerà in una nota futura. Gas inquinanti e particelle possono interagire tal quali con la superficie dei monumenti e in tal caso si parla di "**deposizioni secche**" acide. L'SO_2 e gli NO_x attraverso ulteriori fenomeni di ossidazione e combinazione con le goccioline d'acqua di pioggia o di nebbia, si trasformano rispettivamente in acido solforico (H_2SO_4) e acido nitrico (HNO_3), due tra i più potenti acidi inorganici. Le nebbie acide – note anche col nome di **deposizioni occulte** – sono estremamente aggressive e agiscono a livello locale. Le goccioline acidificate possono entrare in nube e attraverso i movimenti dell'atmosfera essere trasportate anche a grandi distanze, dando luogo al fenomeno delle "**piogge acide**". Le deposizioni acide, secche, umide e occulte, portano alla "**acidificazione dell'ambiente**"[54].

[54] Più propriamente la **deposizione per via umida** avviene con l'inglobamento di un gas o di una particella in una gocciolina d'acqua e la successiva caduta della gocciolina. Le deposizioni umide sono quindi principalmente associate ai fenomeni piovosi o nevosi. La **deposizione per via secca** avviene con il trasferimento al suolo di un gas o di una particella senza la mediazione della pioggia. Ciò può avvenire con il solo impatto di una particella contro un ostacolo, ma soprattutto attraverso reazioni chimiche che si svolgono tra i gas e le superfici dei materiali sui quali essi si depositeranno. In particolare, buona parte della deposizione secca avviene su superfici vegetali ed implica il passaggio dei gas attraverso gli stomi e il loro successivo assorbimento nei tessuti. L'efficacia del processo di rimozione per via umida è notevolmente superiore a quello per via secca, ma gli eventi piovosi sono caratterizzati da una durata relativamente breve. La quantità di inquinanti rimossi dall'atmosfera dai due processi nel corso di un anno risulta essere quasi uguale, con una prevalenza dell'uno o dell'altro a seconda delle caratteristiche climatiche locali. (fonte: RdS-Greeninfo: http://greeninfo.ricercadisistema.it). Cfr. M. Del Monte e E. Corradini "**Le deposizioni acide e i materiali**" in: "Deposizioni Acide", Maggioli Editore, 351-378, Rimini, 1991.

Tralasciando gli effetti su gli ecosistemi foresta, suolo, lago, ecc. che qui non interessano, si può facilmente immaginare cosa accade quando le goccioline di acqua acida interagiscono con calcari, marmi o arenarie a cemento calcareo[55]. E non sono solo le pietre carbonatiche a reagire malamente all'"ambiente città" ma anche quelle silicatiche come i graniti, le sieniti e via dicendo: di ciò si parlerà diffusamente a suo tempo.
Riassumendo, la cattiva qualità dell'aria porta a due effetti distinti. Il primo è l'annerimento delle superfici – il **soiling** degli anglosassoni – che non solo viene percepito come sporco, ma che impedisce, in presenza di rilievi o epigrafi, la loro lettura (**fig. 8**). Col passare del tempo le parti annerite possono evolversi in vere e proprie **croste nere**. La crosta rappresenta un accumulo di particelle sia antropiche (soprattutto carboniose da combustione), sia naturali (appartenenti al *soil dust*). Si tratta quindi di un sedimento subaereo atipico. Sarebbe profondamente sbagliato, come in passato è stato spesso fatto in numerosi lavori, cercare una relazione tra spessore della crosta nera e danno alla pietra sottostante. Su marmi di pregio la crosta può venire rimossa – con l'uso del laser o dell'acqua compressa nebulizzata – senza poi rilevare danno alcuno, ovvero un danno modestissimo, alla superficie sottostante (**fig. 9**).
Il secondo effetto è la corrosione superficiale di rocce compatte e la disgregazione – o arenizzazione – di rocce clastiche come le arenarie a cemento carbonatico. In entrambi i casi occorre restaurare l'opera e il restauro se da un lato è inevitabile, dall'altro rappresenta sempre un ulteriore danno per la pietra. Non v'è dubbio che restauri ripetuti e ravvicinati nel tempo se da un lato favoriscono una migliore fruizione del monumento, dall'altro ne accelerano sicuramente la fine.

4 – Fattori imposti

I fattori imposti sono quelli legati ai tipi di lavorazione che la pietra subisce durante e dopo l'estrazione dalla cava, prima di essere messa in opera. La geometria delle superfici ovvero la **forma** assunta attraverso la lavorazione sarà un fattore fondamentale nel determinare l'interazione della pietra con l'ambiente. A parità di ogni altra condizione lo stesso tipo di pietra reagisce in modo diverso se ha forma piana, prismatica, arrotondata o sferica, o variamente modellata come accade per i rilievi vale a dire i bassorilievi, gli altorilievi o rilievi a tutto tondo. L'erosione è maggiore sulle parti orizzontali rispetto a quelle verticali, le colonne iniziano sempre ad alterarsi in corrispondenza dell'imoscapo dove l'acqua, conseguente a una pioggia, staziona più a lungo e più marcato è l'effetto della risalita capillare. Qualunque parte sporgente soffre di più per il gelo specie se prossima al suolo perché l'acqua persiste più a lungo.
Lo spigolo, agendo i fattori su due facce in punti molto vicini, è assai esposto[56] e l'arrotondamento degli spigoli è frutto di questo doppio attacco simultaneo.
Importantissimi, oltre alla forma, sono anche i **trattamenti superficiali**. Una pietra può essere messa in opera grezza, come accade ad esempio per le mura di cinta di un castello o per le pareti esterne di una chiesa o di un palazzo. Oppure può subire vari tipi di lavorazione superficiali: a seconda dello strumento utilizzato la superficie verrà detta gradata, puntata, martellinata, bocciardata[57].

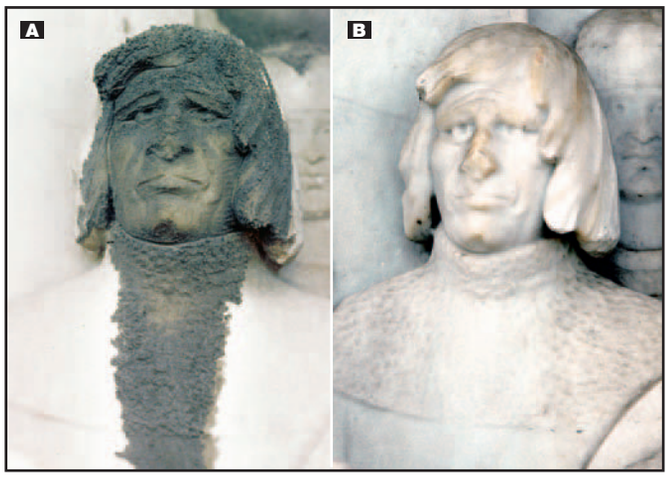

*Figura 9 **a** – Particolare di un altorilievo in marmo di Carrara. La crosta nera depositata sul volto del personaggio è un accumulo di particelle carboniose, derivate soprattutto dalla combustione di olii minerali, e di altre particelle di origine sia antropica, sia naturale (vale a dire appartenenti al soil dust) presenti nell'atmosfera del sito. **b** - La rimozione della crosta ha riportato alla luce la superficie sottostante praticamente intatta. L'interazione tra il particolato, a reazione acida, e il marmo compatto sottostante è stata praticamente nulla e di conseguenza il danno modesto. Ciò avviene ogni qual volta il monumento è stato realizzato con una pietra molto compatta la cui superficie, in sede di rifinitura, è stata lucidata a specchio riducendone così al minimo la superficie specifica (Bologna, Scalea della Montagnola, secondo fronte, particolare dell'altorilievo in marmo di Carrara rappresentante il "Ritorno dalla vittoria della Fossalta" opera di Pietro Veronesi).*

---

[55] Negli ultimi anni in seguito a numerosi provvedimenti presi, soprattutto a tutela della salute dell'uomo, quali la conversione dei bruciatori per il riscaldamento domestico da gasolio a metano e la recentissima introduzione del gasolio per veicoli con motori a ciclo Diesel senza zolfo si è potuto osservare una diminuzione dei solfati e un innalzamento del pH delle deposizioni umide nell'Italia settentrionale. Anche gli NO_x sono leggermente diminuiti. Cfr. A. Novo e N. Belgiovine "**Analisi delle deposizioni umide in Italia nel periodo 1987-2003**" Acqua & Aria, 8, 26-31, 2004.
[56] Nel caso dello spigolo dei gradini di una gradinata, oppure di quelli di un marcapiano, i fattori di danno agiscono addirittura su tre facce, in punti molto vicini.
[57] Gli strumenti più usati sono la subbia nota anche col nome di agucchia o punta che è uno scalpello a punta più o meno acuminata (quindi si parla di subbia fine, mezzana e grossa). La gradina è uno scalpello con parecchie tacche vale a dire dentato che lascia sulla superficie della pietra sottili strie parallele. Questi primi due sono, come appena detto, scalpelli. La martellina e la bocciarda sono invece strumenti col manico: ne esistono vari tipi che prendono il nome di: martellina a penna o frappina – fine, mezzana, grossa – e per la bocciarda o bugiarda si usano i nomi di americana, a bocca o pigna o martello da grana. Una descrizione puntigliosa dell'uso di questi strumenti viene data dal Vasari che, ovviamente, si rifà a tecniche in uso da secoli. Cfr. Giorgio Vasari "**Le vite**" introduzione all'Architettura e alla Scultura, 1568. Molto interessante è pure, a questo proposito, la "**Istoria della Pietra**" di Agostino del Riccio, 1597.

Più precisamente le pietre, con l'eccezione – come si è detto – di quelle che vengono messe in opera solo sbozzate, subiscono un lavoro di *compimento* che procede per gradi e la cui fase ultima è la lucidatura. Le fasi, ma alcune possono essere omesse, prendono, in successione, i nomi di: lavorazione o spianamento che comprende le fasi della sabbiatura fine, della gradinatura, della martellinatura grossa e fine, della scalpellatura.
Seguono la raffilatura, la scultura e il polimento che si può articolare in tre fasi: arrotatura, levigatura e lucidatura. La lucidatura impartisce alla pietra il caratteristico aspetto speculare.
Col polimento cessa l'uso di strumenti; vengono invece usate sostanze che sfregate sulla pietra per attrito, eliminano ogni asperità portando al minimo la superfice specifica. L'operazione viene fatta sempre in presenza di acqua. Le sostanze smeriglianti sono molte e vanno dal tripoli, agli ossidi di Fe, Pb e Sn, alla polvere o cenere d'osso.
Nel caso di opere in pietra di grande pregio la superficie verrà certamente lucidata: questo tipo di trattamento oltre a rendere più pregevole l'opera porta, come appena detto, a una riduzione della superficie specifica[58]. Minore è la superficie specifica della pietra, minore sarà l'interazione con l'ambiente e di conseguenza minore il danno e maggiore la durevolezza. I ben noti fenomeni di (dis)soluzione, solftazione, idratazione, disidratazione, ossidazione, caolinizzazione e cloritizzazione – vale a dire serpetinizzazione della pietra – verranno tutti rallentati[59]. Quindi dato che la degradazione meteorica tanto meno può quanto più è liscia la superficie, un mezzo utile per la conservazione e quindi per accrescere la durevolezza di una pietra è di raggiungere il massimo possibile di finezza superficiale consentito dalle esigenze artistiche e dalle possibilità economiche. Si deve inoltre tenere presente che, indipendentemente dal tipo di pietra, i blocchi di grandi dimensioni risultano, a parità di ogni altro fattore di danno, più durevoli di quelli di piccole dimensioni. I campioni più grossi godono di due vantaggi: per la propria massa hanno cicli termici e igrometrici minori e quindi vanno incontro a un minor numero di cicli di ricristallizzazione; inoltre la massa maggiore porta ad assorbire in profondità l'eccesso d'acqua diminuendo la sua presenza nello strato superficiale, che è quello – tenuto conto della bassa conducibilità termica delle pietre – in cui si osservano, di preferenza, i danni causati sia dalla termoclastia sia dalla crioclastia.

5 – Fattori culturali

I fattori culturali possono essere anche indicati col termine opposto di fattori dovuti alla "**mancanza di cultura"** oppure con quello di "**gusto dell'epoca"**. Per affrontare, sia pure in modo sommario, questo argomento occorrerebbero pagine e pagine. Ci si limiterà quindi a un breve cenno e a pochissimi esempi col solo scopo di evidenziare la straordinaria importanza che questo aspetto del problema riveste per quanto concerne la durevolezza dei monumenti in pietra.
La città di Roma, *caput mundi*, da prima capitale dell'Impero e poi quasi senza soluzione di continuità sede del Pontefice Romano, rappresenta un esempio eclatante; quanto verrà detto per Roma vale, all'incirca, per ogni altra città antica. Se si leggono le fonti, ad esempio Plinio, ci si accorge che delle centinaia di monumenti, templi, basiliche, biblioteche costruiti nella città eterna ci resta oggi solo il vago ricordo[60]. Della miriade di statue di artisti famosi del passato che adornavano la Città ovunque e, in particolare, l'incredibile *Domus Aurea* fatta costruire da Claudio Nerone oggi non ne resta nessuna[61].
E dire che trecent'anni dopo, nel 357, quando l'Imperatore d'Oriente Costanzo II visitò Roma: "... *rimase attonito e stupito, pieno di meraviglia alla vista di tanti monumenti, ovunque volgesse lo sguardo*"[62]. Roma quindi era ancora in gran parte intatta.

---

[58] L'operazione di lucidatura è attestata anche dalle fonti antiche. Sembra che l'operazione fosse determinata più da ragioni estetiche che da preoccupazioni conservative e che il mestiere di lustratore fosse distinto da quello di scultore. Mentre Plinio (N.H., XXXVI, 9-10) ricorda tra le sostanze per lucidare la pietra di Naxium cavata a Cipro e poi pietre provenienti dall'Armenia, molti autori successivi parlano di gesso di Tripoli Cfr. (Leon Battista Alberti "**De Re Aedificatoria**" VI, 10, circa 1450; Giuliano da San Gallo "**Taccuino Senese**" circa 1510). Il tripoli o farina fossile, è una polvere biancastra molto fine e molto dura, costituita da gusci silicei di diatomee, quindi assai indicata per la pulitura delle superfici.
[59] Da notare che molti di questi processi sono lenti: ad esempio la caolinizzazione o la cloritizzazione non sono facili da osservare in una pietra messa in opera, a meno che non abbiano già avuto inizio prima dell'utilizzo della pietra stessa.
[60] Gaio Plinio Secondo, N. H, libri 33-37, Mineralogia e Storia dell'Arte.
[61] La *Domus Aurea* era il palazzo fatto costruire da Nerone dopo il famoso incendio del 64 d.C.. Si può dire che in nessuna epoca, né precedente né successiva, in alcun luogo del pianeta venne mai costruito qualche cosa di simile per un solo uomo che intendeva in questo modo sottolineare la sua natura divina e il suo potere teocratico. I geniali architetti furono, secondo Tacito, Severo e Celere, non altrimenti noti (Annali, XV, 42). La *Domus*, che copriva una superficie di oltre 100 ettari e si estendeva sul Palatino, sul Celio e sull'Oppio, era costituita da diversi nuclei circondati da parchi, giardini, da un grande lago e si presentava ricca di effetti sensazionali e di soluzioni illusionistiche. Appariva inoltre stracolma di opere d'arte dei più celebri artisti del passato. Spiccava una statua colossale in bronzo con le fattezze dell'imperatore alta 35 metri, opera dello scultore Zenodoro (Plinio, N. H., XXXIV, 7, 45). Attesta Pausania che Nerone non si fece scrupolo di depredare i templi della Grecia classica ("Viaggio in Grecia" lib. V, XXV, 8 e XVI, 3) e su ciò concorda Pilnio. Scrive questo autore a proposito di moltissime opere in marmo, in bronzo e in altri materiali: "..trasportate a Roma in seguito ai brutali saccheggi di Nerone erano state poi disposte nei saloni della Domus Aurea" (N.H., XXXIV, 19). Della Domus Aurea ci è giunta una buona descrizione fatta da Svetonio che riporta anche le parole di Nerone quando la sua reggia venne inaugurata: "Finalmente incomincio ad abitare come si addice a un uomo!" ("Vite dei dodici Cesari" XXXI, lib VI, 3). *Contra*: un panegirico di Claudio Nerone edificatore viene fatto da Velleio Patercolo (Storia Romana, lib. II, 130).
[62] Ammiano Marcellino "Storie", XVI, 10, 13.

E lo era ancora, in gran parte, ai tempi di Teodorico, re degli Ostrogoti – siamo nel primo decennio del VI secolo, quindi sono trascorsi altri centocinquant'anni – quando nella città eterna si potevano contare ancora ben 11 fori, 10 basiliche, 28 biblioteche, 36 archi di trionfo, 2 colossi, 80 effigi dorate di divinità pagane e circa 4000 statue di imperatori e altri personaggi celebri[63].
E questo nonostante che, pochi decenni prima, nel 410, fosse accaduto l'imprevedibile: i Visigoti di Alarico avevano invaso Roma, lasciata sguarnita e indifesa dalle truppe imperiali e per quattro giorni dal 24 al 27 agosto l'avevano messa a ferro e fuoco tutto rubando, devastando e distruggendo[64].
Allora che fine hanno fatto questi inestimabili tesori?
Una delle cause fondamentali della scomparsa degli antichi monumenti in pietra risiede nella pratica del **riutilizzo**. Le pietre, e a maggior ragione i metalli come il bronzo o il ferro, con la crisi determinata dalla caduta dell'Impero, sono diventati oramai materiali rari e molto costosi. Non è più possibile farli arrivare dalle Province, ma si preferisce invece smontarli dagli antichi monumenti e riutilizzarli nelle nuove costruzioni.
A ciò va aggiunto, ma solo a **livello popolare** come si dirà subito dopo, un modo diverso di porsi di fronte al monumento antico che non viene più percepito come un opera d'arte è può quindi cadere lentamente in rovina divenendo cava di materiali da cui chiunque può attingere per nuove anonime o "diverse" costruzioni (**fig. 10**).
Il riutilizzo, per quanto ne sappiamo, avviene sia pure solo in rari casi già a partire dal III-IV secolo: un esempio è dato dall'Arco di Costantino dove, oltre ai due tondi adrianei rappresentanti "la caccia al cinghiale" e un "sacrificio a Diana", vengono riutilizzati numerosi bassorilievi provenienti dal vicino Foro di Traiano. Questo fenomeno è la conseguenza non solo della necessità, vale a dire dettato da ragioni economiche e di approvvigionamento, ma è determinato anche, nelle **classi più colte**, da ragioni simboliche e di prestigio. E' per questo che il riutilizzo esplode divenendo quasi una prassi negli edifici di culto cristiani del IV e V secolo a Roma e in moltissime altre città dell'antico impero oramai in pezzi.
Colonne, capitelli, rilievi, lastre parietali che vediamo oggi in opera nel mausoleo di Santa Costanza, nel Battistero di San Giovanni in Laterano e nella Chiesa stessa – dove le trenta colonne in granito grigio sono oggi nascoste dai pilastri borrominiani – in Santa Sabina, in San Pietro in Vincoli, in San Lorenzo, in Santa Maria Maggiore, in Santa Maria in Trastevere, in Santa Maria in Cosmedin, in San Clemente, in San Giovanni in Velabro, in Santa Cecilia, in San Paolo fuori le mura [prima dell'incendio del 1823], in Sant'Urbano alla Caffarella e in moltissime altre chiese romane sono tutti pezzi di risulta, ovvero di spolio, da antichi monumenti – palazzi, templi, basiliche, archi di trionfo – di età imperiale romana[65].
A Bologna esempi in tal senso si possono osservare nel

Figura 10 – Capitelli bizantini, proveniente probabilmente da un'antica chiesa cristiana o da un antico palazzo, riutilizzati come plinti di colonne in una moschea di Smirne (Izmir, Moschea di Konak Camii).

[63] Cfr. Sidonio Apollinare e Cassiodoro, *Variae*, VII, 6 e 15.
[64] Nessun evento nella storia dell'uomo ebbe un ugual impatto emotivo subito paragonato alla caduta di Troia o a quella di Gerusalemme predetta dai Profeti dell'Antico Testamento. La notizia apocalittica della presa di Roma si sparse con la velocità del fulmine per ogni dove. Il resoconto di questo evento è forse però volutamente esagerato e amplificato nella descrizione che ci hanno lasciato sia il berbero Sant'Agostino che parla di una città completamente distrutta, sia il dalmata San Gerolamo che, eremita a Betlemme, esclama: "Capta est urbem quae totum coepit orbem!" è caduta la città che aveva assoggettato tutto il mondo! E aggiunge "..si è spento il lume splendidissimo di tutta la terra, anzi, fu mozzato il capo dell'impero romano e, per parlare più esattamente, tutto il mondo è stato distrutto con la distruzione di una sola città" (Commento ad Ezechiele, Prefazione I). In queste esagerazioni dei Padri della Chiesa si legge chiaramente un monito verso i pagani e i cristiani tiepidi perché mostrino maggior impegno a costruire la *Civitas Dei* in terra. Queste descrizioni ricordano da vicino quella fatta da Sant'Ambrogio che, qualche anno prima, portandosi da Milano a Firenze parla delle città della pianura padana che vede, tra cui Bologna, come di "semirutarum urbium cadavera" vale a dire cadaveri di città semidistrutte (Epistolae, XXXIX, 3). In questo caso però l'esagerazione sarebbe stata dettata da motivi privati e consolatori [la lettera è scritta a un amico che ha perso da poco la giovane figlia] e non da motivi teologici.
[65] Cfr. a questo proposito lo splendido libro di H. Brandenburg "**Le prime chiese di Roma: IV-VII secolo**" Jaca Book, pp. 336, Milano, 2004.

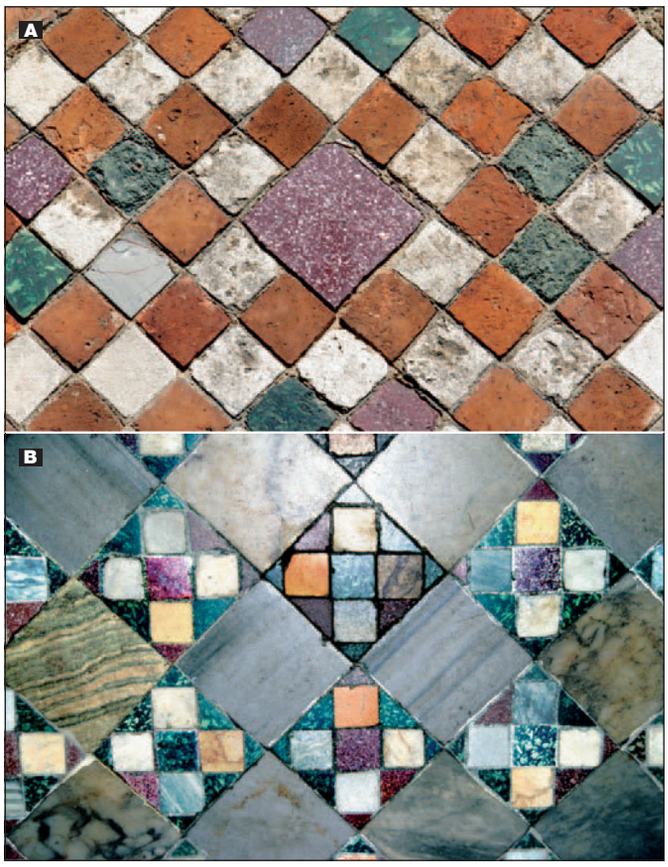

Figura 11 – Esempi minimali di riutilizzo. ***a*** *– Il mosaico è stato realizzato utilizzando tessere di "porfido rosso antico" [Gebel Dokhan, deserto orientale egiziano], di "porfido verde antico" [o porfido di Grecia, Krokeai, Alai Bey, Grecia], di Pietra d'Istria [Carso triestino], di Pietra di Brack [Isola di Brack, Dalmazia]. Una tessera – a sinistra nella foto - è in pietra grigia [ardesia, Lavagna – Genova-]. E' ovvio che i piccoli frammenti sono di risulta da blocchi più grandi, già in opera in monumenti d'età imperiale romana (Paramento murario della Chiesa del Santo Sepolcro, lato Cortile di Pilato, gruppo stefaniano, Bologna).* ***b*** *– Molte delle prime chiese di Roma hanno pavimenti protocosmateschi a mosaico dove i tipi litologici utilizzati, anch'essi di spolio, sono ancora più numerosi rispetto all'esempio precedente (Roma, pavimento della Basilica di Santa Maria d'Aracoeli).*

complesso stefaniano (**fig. 11**), nella Cripta dei SS. Vitale e Agricola nella chiesa omonima detta "in arena" impostata su una antica Basilica riferibile all'VIII secolo[66], nella Cripta di San Zama all'Abbadia anche questa costruita sui resti di una basilica paleocristiana[67], nel protiro della Chiesa di San Francesco dove di risulta sono sia le due colonne principali sia le sei formelle – un *patch-work* – poste in alto tre a destra e tre a sinistra del protiro stesso[68].

Ci è noto che verso la fine del IV secolo venne istituita a Roma la figura del *curator statuarum* che aveva il compito di impedire attraverso un controllo severissimo e l'imposizione di grosse multe di rubare e riutilizzare statue e fregi da monumenti semidiroccati e soprattutto dai luoghi cimiteriali. L'azione di questo magistrato risultò però, a quanto pare, quasi del tutto inutile vuoi perché le zone cimiteriali, ad esempio quelle sull'Appia antica, erano extraurbane e quindi impossibili da tenere sotto controllo, vuoi perché c'era una tale richiesta di pietre lavorate e non, che si preferiva incorrere nell'eventuale multa piuttosto che rinunciare alla remunerativa opera di spolio.

Ma non è tutto.

Le famigerate **calcare** furono fornaci, attive per secoli, dove si otteneva la calce ad uso edilizio vale a dire per le nuove costruzioni[69], dal trattamento di marmo e calcare: qui finirono trasformate in polvere non solo blocchi carbonatici scarsamente lavorati ma un numero straordinario di fregi, rilievi e addirittura statue che oggi avrebbero un valore inestimabile.

Furono poi gli stessi pontefici romani che favorirono questo scempio a partire da Pelagio II (579-590) e poi da Gregorio Magno (590-604). Ciò avvenne quando oramai l'iniziale rivalità tra Roma imperiale e pagana e Roma cristiana era cessata con la completa vittoria della seconda sulla prima; veniva così meno la necessità di ancorarsi ai simboli del passato essendo oramai divenuta la cattedra di Roma l'unico punto di riferimento e di aggregazione per il mondo occidentale orfano dell'impero. Il valore simbolico delle "pietre romane antiche" non cessò però completamente: ad esempio con la nascita del Sacro Romano Impero, Carlomagno utilizzò colonne e capitelli di spoglio prelevate da monumenti in rovina della Roma dei Cesari per la cappella Palatina del Duomo di Aquisgrana e successivamente colonne di risulta, anch'esse di età imperiale romana, vennero utilizzate da Ottone il Grande per la Cattedrale di Magdeburgo (quest'ultima oggi distrutta)[70].

Col passare dei secoli al fenomeno del riutilizzo si associò una percezione diversa del valore e della funzione di un monumento. Molte chiese paleocristiane furono tra il X e il XII secolo trasformate in romaniche e quest'ultime – in molti casi – vennero tra il '600 e il '700 completamente ricostruite secondo i mutati gusti dell'epoca. Tra la fine dell'800 e i primi del '900 si assiste ovunque a un processo retrogrado sulla scia del pensiero del famoso

[66] M. Del Monte "**Dal Simbolo al Manufatto: storia materiale della Cripta dei Santi Vitale e Agricola in Arena a Bologna**" in: "Martirio di Pace: memoria e storia del martirio nel XVII Centenario di Vitale e Agricola" a cura di Giulio Malaguti, Il Mulino, pp. 105-183, Bologna, 2004.

[67] M. Del Monte "**La Basilica paleocristiana di San Zama altrimenti detta Cripta dei Santi Nabore e Felice all'Abbadia in Bologna**", in preparazione.

[68] Le sei parti interne in altorilievo con animali simbolici dovevano fare parte di un ambone o di un pluteo o di un pontile e sono **molto più antiche** [VIII-IX secolo] della cornice gotica in cui appaiono oggi inserite.

[69] Ma anche per restaurare le imponenti mura di cinta Aureliane baluardo a difesa della città.

[70] "L'auctoritas di una colonna antica (come di altri materiali di spoglio) era ritenuta in sostanza la stessa di Roma, origine e centro dell'impero e della cristianità, e bastava a conferire all'edificio in cui essa veniva reimpiegata la patente di replica ideale e pienamente riuscita sotto il profilo strutturale, costruttivo, liturgico decorativo" L. De Lachenal "**Spolia: uso e reimpiego dell'antico dal III al XIV secolo**" Longanesi & C., p. 121, Milano, 1995.

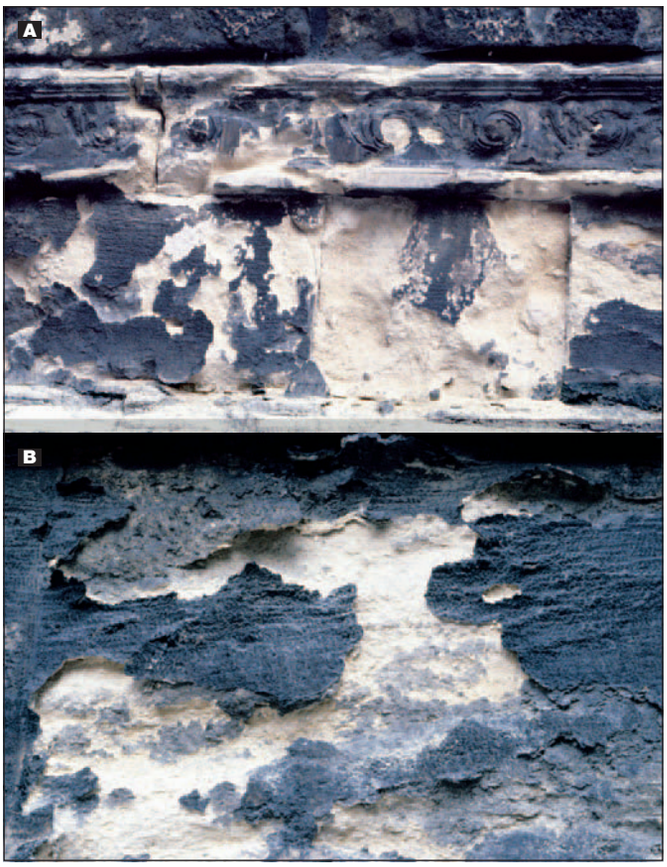

*Figura 12 **a** - Nel caso di pietre molto porose come certe arenarie e molte calcareniti, la scabrosità o roughness superficiale e l'alta porosità giocano un ruolo rilevante nei fenomeni d'interazione con le deposizioni acide. Le superfici appaiono annerite in modo generalizzato, indipendentemente dalle modalità con cui il manufatto è bagnato dall'acqua di pioggia. Le patine nere hanno in genere spessori modesti – qualche centinaio di µm – e rappresentano solo un aspetto dell'interazione. Altro fenomeno, più rilevante, consiste nella dissoluzione del cemento carbonatico che porta alla arenizzazione della pietra sotto la patina nera, verso l'interno. Quando la patina superficiale si stacca, e ciò può accadere per molte ragioni, viene facilmente allontanato anche lo straterello sabbioso decoesionato sottostante. **b** - Il processo di annerimento e di dissoluzione riprende così su una superficie arretrata sottostante [ben visibile nella foto]. Il degrado delle arenarie procede quindi per cicli, senza soluzione di continuità. Ciò spiega la perdita di centimetri, ma talora anche di decimetri, di materiale in pochi decenni. Il danno qui documentato si riferisce a una quindicina di anni fa quando l'inquinamento da fly-ash, a Bologna, era al suo acme. Fenomeni di questo tipo non dovrebbero, in questa città, più verificarsi (Bologna; paramento murario in calcarenite della Montagnola, via dell'Indipendenza).*

architetto e storico dell'arte francese Emmanuel Viollet-le-Duc e dei suoi moltissimi epigoni locali: si ricerca ovunque il "Medioevo". Così molte costruzioni vengono ricostruite e trasformate in romaniche o gotiche talora su vaghe tracce, talora su tracce inesistenti.
Abbiamo chiamato questo fattore di danno: "gusto dell'epoca" e in effetti, nel ricostruire "in stile" molti monumenti, sono andate irrimediabilmente perse le poche pietre antiche realmente medievali ancora presenti.
Tra i fattori di danno di tipo culturale vanno ricordati anche **i restauri**. I restauri sono spesso assolutamente necessari e inevitabili per ritardare la fine di un monumento ovvero per renderlo fruibile. Tuttavia ogni restauro, anche il migliore, rappresenta uno *shock* per l'opera, e non v'è dubbio che restauri ripetuti e ravvicinati nel tempo accelerino in definitiva la morte del monumento.
Altro fattore di danno è rappresentato dai **vandalismi**. Quando questi vengono compiuti da un singolo individuo sono in genere rimediabili. Quando vengono compiuti da una nazione, che per ragioni religiose, ideologiche, di potere o di natura economica[71], ne aggredisce un'altra sono irreversibili e talmente vasti e drammatici da risultare non valutabili e qui non è possibile farne neppure un breve cenno.

5 - Considerazioni conclusive

Quali considerazioni si possono trarre da quanto appena detto?
La durevolezza è una proprietà per certi versi sfuggente quindi difficile da descrivere e, a tutt'oggi, impossibile da quantificare. Essa varia, come si è detto, non solo a seconda del tipo di pietra, ma anche per lo stesso tipo se ci si sposta da una cava a un'altra e addirittura da blocco a blocco estratto dalla stessa cava. Soprattutto nel caso delle arenarie, ma anche di alcuni calcari e di alcune brecce, la durevolezza muta a seconda che il *verso* sia posto parallelo alla superficie di esposizione o normale. Dato che l'ambiente è fondamentale nel determinare la durevolezza, le osservazioni relative al comportamento di una pietra messa in opera fatte in un sito non potranno essere prese per buone, *tout court*, per prevederne il comportamento quando verrà messa in opera in un sito diverso, magari molto lontano.
L'ambiente inoltre può mutare più volte anche in tempi molto brevi: ad esempio sino a pochi anni fa (1980-1990) l'acidità ambientale, in molte città italiane tra cui Milano, Bologna, Pisa e altre, era molto più alta di quella odierna[72] (**fig. 12**). In seguito ad alcuni provvedimenti presi a tutela dell'ambiente e soprattutto della salute dei cittadini, primo fra tutti la metanizzazione degli impianti di riscaldamento, il pH delle deposizioni umide si è portato [in circa 10 anni, tra il 1990 e il 2000] da valori di poco inferiori a 4 a valori prossimi a 6 con una diminuzione dell'acidità di circa di 100 volte. La risposta di calcari, marmi, ma anche delle arenarie a cemento carbonatico, messe in opera in molte città dell'Italia centro-settentrionale è oggi quindi nettamente migliorata. La metanizzazione, oltre a ridurre le immissioni di SO_2 in atmosfera, ha anche portato a una forte riduzione delle *fly-ash* sostituite da *cluster* o catene di particelle submicroniche che sembrano avere un impatto meno marcato sulla superficie dei monumenti[73].

[71] Le ragioni, in ultima analisi, sono, sono state e saranno sempre e solo di natura economica.
[72] Cfr. *supra,* note 28, 55.
[73] Sarà solo il tempo a dire come andranno effettivamente le cose.

È prevedibile che il forte annerimento generalizzato dei decenni passati e soprattutto la formazione di spesse croste nere, osservate e campionate da chi scrive su numerosissimi monumenti europei e nordamericani, debbano considerarsi come due fenomeni ormai tramontati. Naturalmente questo radicale cambiamento ambientale – conseguente alla metanizzazione – non era prevedibile da nessuno 30 o 40 anni fa e quindi non poteva in alcun modo essere messo in conto nello stabilire il comportamento futuro delle pietre messe o da mettere in opera, s'intende, in campo aperto.

Dato che nessuno è indovino, buona norma è quella di utilizzare, per le nuove costruzioni, pietre locali, che sono state largamente utilizzate nei monumenti delle epoche passate e quindi ne hanno viste di tutti i colori: l'entità del degrado e i *patterns* di corrosione-dissoluzione o sfarinamento di queste pietre in opera da tempo in un sito ci permettono di fare ragionevoli[74] previsioni sulla durevolezza dello stesso tipo di pietra utilizzate oggi, fresca di cava, nello stesso sito.

Nel caso vengano utilizzate pietre straniere sarebbe bene far riferimento, non tanto o non solo alla scheda tecnica, ma soprattutto al comportamento mostrato in campo da queste pietre sia nel paese d'origine sia in altri paesi a clima diverso dove sono state in precedenza utilizzate.

Un metodo applicato per tentare di quantificare la durevolezza delle pietre è quello di esporre provini – cubetti, lastrine – in un certo ambiente per un certo periodo di tempo: chi scrive ha visto provini di rocce esposti su torri o campanili di molti siti europei da Parigi a Londra, da Bologna a Lisbona[75]. Questo metodo che porta sempre alla stesura di tabelle e alla realizzazione di grafici, e quindi di pregevoli pubblicazioni, di fatto risulta del tutto inutile per la soluzione del problema. Un concio di arenaria sulla parete di un palazzo ha una risposta ambientale che poco ha a che vedere con quella di un provino estratto dalla stessa cava di gran lunga più piccolo e non confinato.

Meglio allora riferirsi alle pietre tombali di un cimitero storico: sarà possibile osservare la risposta ambientale di un gran numero di tipi litologici su periodi spesso abbastanza lunghi e noti: l'anno della morte del defunto e quindi della messa in opera della lastra è scolpito sopra. Naturalmente, anche in questo caso, non sarà semplice estrapolare quanto osservato su una semplice lastra, esposta su 5 delle 6 facce, a un altro monumento spesso assai più complesso dove, di frequente, i fattori di danno agiscono su una sola faccia.

Un altro metodo è quello di studiare il comportamento delle pietre in camere di simulazione ad atmosfere controllate[76]. Questo metodo porta a risultati quantitativi migliori ma ha costi proibitivi e comunque anche in questo caso i dati ottenuti su provini sono difficilmente applicabili alle grosse pietre messe in opera in campo aperto.

Nel fare la scelta della pietra da utilizzare occorrerà tenere presente che nessuna pietra è durevole in senso assoluto. Anche le pietre avendo avuto una origine avranno necessariamente una fine, vale a dire che tutte le pietre, comprese le più durevoli sono destinare a scomparire con lo scorrere del tempo: *omnia orta cadunt*! Fortunatamente questo tempo è dell'ordine delle centinaia o delle migliaia d'anni e quindi poco interessa sia al proprietario del monumento, sia a chi se ne prende cura sponsorizzandone il restauro, sia infine al fruitore dell'opera.

L'unica ragionevole richiesta che può venir fatta a chi si occupa della durevolezza dei monumenti è quindi quella di scegliere all'atto della costruzione il tipo di pietra più idonea, valutata sulla base di quanto detto in precedenza, di provvedere alla **manutenzione ordinaria,** pratica questa di gran lunga più conservativa e meno svantaggiosa del restauro[77], di seguire con attenzione gli eventuali mutamenti ambientali, di suggerire come evitare gli eventi più sfavorevoli.

Spesso le cose sono più facili a dirsi che a farsi.

Durante il restauro del Duomo di Modena ci si chiese quali fossero le ragioni che annerivano la facciata. Chi scrive poté così osservare da vicino, innalzato nel canestro di una gru, conci e rilievi – in particolare il Cristo in mandorla, i simboli dei quattro evangelisti, e Sansone che smascella il leone – particolarmente anneriti. I risultati delle analisi fatte su campioni di polvere al SEM dimostrarono che una delle cause principali erano i fumi emessi dai bus di linea che si fermavano proprio ai piedi della facciata della chiesa. Noto ciò, la fermata non venne spostata[78].

Qualche anno fa fu chiesto, a chi scrive, di stabilire per quale motivo il Cenacolo di Leonardo nel refettorio di Santa Maria delle Grazie a Milano si anneriva. Le misure stabilirono che ciò era dovuto alle particelle prodotte

---

[74] Item: per la verità se saranno ragionevoli o no lo dirà solo il tempo. E' probabile, tuttavia, che le condizioni ambientali possano migliorare negli anni avvenire o comunque non peggiorare, ragion per cui sarà possibile azzardare previsioni fauste.

[75] The Swedish Corrosion Institute coordinò una quindicina di anni fa il MEP (Material Exposure Program) che prevedeva l'esposizione di provini di pietra in 36 siti di 13 Paesi diversi.

[76] Cfr. P. Ausset, Crovisier J.L., Del Monte M., Furlan V., Girardet F., Hammecker C., Jannette D. and R. A. Lefèvre "**Experimental study of limestone and sandstone sulphation in polluted realistic condition: the Lausanne atmospheric simulation chamber (LASC)"** Atmospheric Environment, 30, 18, 3197-3207, 1996; P. Ausset, M. Del Monte and R. A. Lefèvre "**Embryonic sulphated black crusts in Atmospheric Simulation Chamber and in the field : role of the carbonaceous Fly ash**" Atmospheric Environment, 33, 10, 1525-1534, 1999.

[77] Un esempio minimale è questo: una anziana signora rimane vedova. Tutte le settimane si reca al camposanto e oltre a mettere fiori nuovi tiene pulita la lastra tombale che le ricorda il marito defunto. Per molti anni la pietra, da cui vengono sistematicamente allontanate le particelle depositate resta integra e speculare. Poi muore anche la donna. La tomba abbandonata si opacizza e in pochi anni si degrada visibilmente. Purtroppo nessuno dà denari per la manutenzione ordinaria di un monumento: si preferisce sponsorizzare restauri plateali, che hanno una grossa ricaduta pubblicitaria, quasi sempre a danno avvenuto. Le piccole opere, il cui restauro non desta alcuna meraviglia a livello di massa, vanno tutte sistematicamente in rovina.

[78] Non conosco, nel momento in cui scrivo, come stiano le cose.

*Figura 13 – Il degrado delle colonne, ma anche delle paraste, degli stipiti delle porte, avviene sempre a partire dall'imoscapo, vale a dire dalla parte più bassa a contatto col suolo. Ciò può accadere per diversi motivi, ad esempio perché sono quelle più soggette a urti, ovvero perché raggiunte di frequente dalla pipi dei cani maschi. Ma ciò accade anche quando si possono escludere queste cause: l'unico fattore di danno che si può invocare è allora l'acqua e la risalita capillare con tutto ciò che questo comporta (termoclastia accentuata, crioclastia, cristallizzazione di sali, dissoluzione, ecc.). Quando la parte a contatto del suolo appare come meno degradata di quella sovrastante il motivo risiede nel fatto che è stata restituita, forse, più volte (Bologna, **a** – Palazzo Felicini-Fibbia costruito alla fine del '400: la parte inferiore del montante sinistro del portone principale, in origine in arenaria grigio-azzurra è stato restituito utilizzando un areanaria gialla. **b** - Particolare del montante sinistro del portone d'ingresso del palazzo Guidotti-Senni). Un tempo non erano solo i cani a rappresentare un pericolo per le arenarie a livello del suolo: "Al di 10 ditte [settembre 1535] mandono la grida che nesuno non pissase a li pilastri del palazo del podestà perché quelo pisse rogeghava le magegne di pilastri, e questo dì ne fu messo in pregone 5". Così Giacomo Rinieri in: "Cronaca: 1535-1549".*

dalla combustione di motori a ciclo diesel dei bus turistici che stazionavano nelle vicinanze. Nota la causa non cambiò nulla: i bus continuarono a fermarsi, spesso restando col motore acceso d'inverno, nelle solite aree di parcheggio[79].

E' importante poi sottolineare un aspetto del problema che riveste grande importanza pratica. Il criterio più utile nella scelta di una pietra che s'intende utilizzare per una qualsivoglia costruzione in un dato sito è, come si è detto, quello di osservare come si è comportato quel tipo di pietra in costruzioni d'epoca edificate nello stesso sito. Nel fare ciò occorre fare molta attenzione per non incorrere in un errore tanto banale quanto frequente. Un sillogismo del tipo: "dato che questa arenaria è praticamente intatta sulla facciata di questo palazzo rinascimentale, vale a dire ha dato buona prova di se per oltre 500 anni, allora anche questa arenaria, assai simile alla precedente, che mi accingo a mettere in opera in una nuova costruzione, farà una buona riuscita" è certamente valido a condizione però che la pietra che prendo come termine di paragone sia effettivamente d'epoca! Se questa, come accade spessissimo, è stata sostituita da poco tempo, durante un restauro, l'indicazione a cui giungo risulterà clamorosamente sbagliata.

Un esempio, fra i tantissimi che si potrebbero fare, è dato dal bugnato e dai capitelli in arenaria della facciata del palazzo del Podestà in piazza Maggiore a Bologna. Questa facciata venne realizzata, per ordine di Giovanni II Bentivoglio, signore di Bologna, dal celebre architetto Fioravante Fioravanti, detto Aristotele, sulla fine del XV secolo. Le rosette che formano il bugnato[80] e i capitelli sono in buone condizioni: se ne potrebbe evincere, sbagliando, che quel tipo di arenaria è pietra con una buona durevolezza, avendo dato buona prova di sé per più di cinque secoli. In realtà capitelli e rosette, fortemente danneggiate dal tempo, sono state restituite con pietre simili nei restauri eseguiti tra il 1835 e il 1842[81]. Se si osserva con attenzione si nota che le rosette "nuove" sono tutte incollate alla parte antica sottostante.

Si è detto che il degrado di una colonna, ma anche di una parasta o degli stipiti di una porta, ecc., ha sempre inizio dall'imoscapo, vale a dire dalla parte dell'elemento più prossima al suolo. Ciò è apparentemente contraddetto dalle osservazioni in campo dato che spesso si osserva proprio il contrario. Ma ciò è dovuto al fatto che le parti più degradate sono state sostituite, talora più volte, nel tempo: se appaiono in buono stato rispetto a quelle sovrastanti è solo perché da meno tempo si confrontano con i fattori ambientali di danno e in modo particolare con l'acqua liquida di pioggia (**fig. 13**).

Un altro esempio al riguardo concerne i blocchi di selenite che, oggi, rivestono alla base le torri di Bologna. Un insigne studioso[82], molti anni fa, considerava questo tipo di pietra "stranamente durevole" atteso che la vedeva intatta dopo ottocento-novecento anni di esposizione alle intemperie! Ma la spiegazione era un'altra: le torri vennero restituite con

[79] M. Del Monte e C. Sabbioni "**Prelievi di particelle aereodisperse nei locali del Cenacolo di Leonardo in S. Maria delle Grazie**" Bologna, pp. 14, 1986 (Nota tecnica). L'esempio non sembri fuori tema: gli affreschi sono corollari importanti delle pietre, seguono il degrado di queste ultime e vanno studiati da chi si occupa della conservazione dei monumenti in pietra. Anche in questo caso non so come stiano oggi le cose.

[80] Sarebbero tremila e una diversa dall'altra. Cfr. P. Gigli "**Per le vie e le piazze di Bologna**" Minerva Editrice, ivi, 1971.

[81] Cfr. G. Zucchini "**La verità sui restauri bolognesi**" per B.S.A., ivi, 1959. Lo Zucchini collaborò attivamente col Rubbiani nel restauro estetico di moltissimi monumenti bolognesi.

[82] F. Salmojraghi "**Materiali naturali da costruzione**" Ulirico Hoepli, Milano, p. 160, 1892. Nello stesso errore incorre il Winkler, che scrive: "Despit great solubilità, very corse-grained gypsum as dimension stone blocks have held up well throughout the centuries at the base of the Asinelli Towers in Bologna". Parlando di torri al plurale questo autore sembra riferirsi alle due famose torri simbolo della città di Bologna: come osservato subito sopra nessuno dei blocchi della scarpa della Garisenda è d'epoca. Nella torre Asinelli, **forse**, solo uno o due, sui tantissimi della scarpa, potrebbero essere coevi alla torre stessa (inizi XII sec.).

Figura 14 ***a*** *– Particolarissima attenzione dovrebbe essere portata, in presenza di elementi decorativi, come capitelli in arenaria, all'allontanamento dell'acqua di pioggia: ad esempio la manutenzione ordinaria e continua dei tubi delle grondaie è una pratica da seguire sempre con estrema cura. E' spesso possibile osservare che i tubi verticali di scolo sono stati sostituiti a danno avvenuto e non prima. Anche la pratica, utilissima di ricoprire la sommità del rilievo con una lamina di piombo (che si passiva in superficie; meno utile è invece il rame!) che favorisce l'allontanamento dell'acqua di pioggia impedendo sia il ruscellamento sia l'infiltrazione andrebbe fatta prima e non dopo che il danno è avvenuto. Il capitello, nella foto in alto, è stato protetto dall'acqua, appunto a danno avvenuto: ciò è ineccepibile avendo funzione portante anche se non c'è dubbio che sarebbe stato meglio intervenire prima.* ***b*** *- Curiosamente un capitello simile in opera a pochi metri da questo non presenta alcuna protezione: forse si aspetta, per intervenire, che faccia la fine del primo! (Bologna, capitelli in arenaria, Piazza Verdi).*

blocchi di selenite nuovi di cava, quindi a spigoli vivi – anche questi incollati sui blocchi retrostanti portanti della scarpa – nei restauri di fine '800. La selenite appariva al Salmojraghi intatta perché esposta da pochi anni, non più di dieci, e non da molti secoli.

In occasione di un restauro eseguito alcuni decenni fa, chi scrive, poté osservare da vicino l'arco di Costantino a Roma, senza rendersi assolutamente conto che molti elementi, in discreto stato di conservazione, non avevano 1700 ma solo 250 anni. Fu molto più tardi che poté leggere nel "Diario, Restauro dell'Arco di Costantino" di Pietro Bracci, quanto segue: "Lavori eseguiti: 8 teste mancanti alle 8 statue grandi delli schiavoni Daci, in piedi sopra le 8 colonne (….) come anche scolpite di nuovo tutte le braccia e mani mancanti alle suddette e similmente scolpite le 8 teste dell'Imperatore Costantino, e 4 altre teste di soldato e donne mancanti alli 8 Bassirilievi grandi situati fra le dette statue degli schiavoni (…) Per l'antico dato con colori ad olio cotto, S. 3" (Roma, 1732). Pur sapendo come stanno le cose e osservando l'arco con attenzione risulta oggi impossibile riconoscere le parti restituite nel XVIII secolo, da quelle del IV secolo[83]!

Dato che lo scopo di questa nota è soprattutto pratico occorre ora ribadire, ripetendo e semplificando, quanto già detto in precedenza: tra i fattori intrinseci di danno importantissime sono le **disomogeneità primarie** – minerali più alterabili di altri, disomogeneità di grana, grandi fossili, biuturbazioni, laminazioni, ecc.. – mentre tra quelli estrinseci è fondamentale la presenza di **acqua**. Si può dire, sempre semplificando, che in assenza d'acqua – tralasciando s'intende i fattori di tipo culturale – il danno non ha luogo e quindi anche le disomogeneità primarie diventano irrilevanti (**fig. 14**).

E' l'acqua ruscellante a sciogliere le parti sporgenti soggette a dilavamento, il *wash-out* degli anglosassoni: il fenomeno è accentuato dall'acidità (piogge a pH 4 - 5) ma avviene anche in presenza di acqua non inquinata (piogge a pH 5,6)[84].

La quasi totalità delle reazioni chimiche alla superficie dei monumenti in pietra avvengono solo in presenza di acqua[85]. Il fenomeno della crioclastia avvie-

[83] L'arte di mimetizzare tasselli di restauro o di rendere antiche statue false era nota anche in passato: tra gli ingredienti base per questa operazione vi era, quasi sempre, l'orina umana variamente brunita. Questa sostanza veniva usata in quanto contiene tracce consistenti di acido ossalico ed è l'acido ossalico secreto dai licheni che dà, in genere, la "patina del tempo" alle statue antiche. La "ricetta" viene descritta accuratamente nel "Il riposo" di Raffaello Borghini (1584) che si rifà, con ogni probabilità, a conoscenze vecchie di secoli. Molto tempo dopo nel suo "Istruzione elementare per gli studenti della scultura" Francesco Carradori scrive: "Al fine poi di uniformare il marmo antico nel colore al moderno, si dà a questo una patina con tinta calda composta di filligine di cammino….che si fa fondere e bollire nell'orina umana…" Art. XI, 1802. Il Vasari nella vita di Michelangiolo scrive che questi, giovanissimo, scolpì un puttino "…un Cupido che dormiva quanto il naturale…" e su consiglio di Pierfrancesco de' Medici "…lo acconciò di maniera che pareva antico…" sembrando così opera di età romana ne guadagnò assai in valore ("Le vite: vita di Michelangnolo Buonarruoti Fiorentino pittore, scultore et architetto").

[84] Questo valore è comunemente attribuito all'acqua di pioggia "naturale" in equilibrio con la CO_2 atmosferica.

[85] I danni in assenza di acqua liquida sono più che modesti. Cfr. D. Camuffo, M. Del Monte, R. A. Lefèvre, P. Ausset, A. Ionescu "**Modelling the penetration of SO_2 within the pores of calcareous stones and the concentration of gypsum in the near surface layer**" 2006, in stampa.

Figura 15 – Altro esempio, simile al precedente, che mostra come la mancanza di manutenzione ordinaria, favorendo il ruscellamento e l'infiltrazione dell'acqua di pioggia – soprattutto nel caso di parti sporgenti come la sommità di capitelli, marcapiani, mensole e quant'altro – porti spesso a danni rilevanti (Bologna, già case Sala, via Farini n. 21).

ne solo in presenza di acqua nei pori o nelle fessure. La termoclastia è favorita e amplificata dalla presenza di acqua. E' la risalita capillare e il conseguente trasporto e deposito di sali a determinare l'altezza, partendo dall'imoscapo, sino a cui è possibile osservare il danno su una colonna, una parasta o lo stipite di una porta o anche un semplice muro.
Ergo se si sottrae il monumento all'acqua se ne aumenta enormemente la durevolezza.
Ciò, nel caso di statue o altri monumenti mobili, lo si ottiene trasferendole dall'esterno all'interno. Questa pratica è tanto orrenda quanto spesso dolorosamente necessaria: l'opera, decontestualizzata, appare "astratta". La stessa cosa naturalmente non la si può fare per i monumenti fissi. In questo caso occorrerà proteggere i rilievi della facciata, ad esempio con mensole in cotto, in modo da evitare il *wash-out*[86]. Occorrerà, dove è possibile, mantenere i rilievi a una temperatura sempre più alta di quella dell'aria circostante: si eviterà così sia il fenomeno della condensa, sia il trasporto per termoforesi[87] di particelle sulle superfici.
Si dovrà inoltre con tagliole in piombo contrastare la risalita capillare o comunque evitare che l'acqua di pioggia stazioni nelle vicinanze dei muri favorendone l'allontanamento per gravità[88].
Lastre in piombo potranno proteggere la parte superiore dei capitelli, dei marcapiani, delle balaustre e ogni altra parte aggettante sia dall'infiltrazione dell'acqua di pioggia sia da fenomeno del ruscellamento (**fig. 15**).
Come si è detto nelle righe precedenti per valutare la durevolezza di una pietra che ci si accinge a mettere in opera occorre sapere molte cose sia sulla pietra, sia sul luogo dove verrà collocata, sia sull'esposizione che avrà rispetto ai punti cardinali, sia infine sulla forma che le verrà data.
Per quanto riguarda la natura della pietra nessun tecnico ha conoscenze tanto vaste quanto il Geologo.
Per quanto riguarda invece gli altri aspetti del problema – ambiente, forma, esposizione – occorre affinare le conoscenze. Non è cosa da poco, ma nel fare ciò, non v'è dubbio che il Geologo parta in *pole position* rispetto agli altri tecnici che si occupano di questo argomento: l'Architetto, l'Archeologo o l'Ingegnere.
I Francesi chiamano il danno subito dalle pietre "*maladie de la pierre*" facendo così un parallelismo, non del tutto ardito, tra l'uomo e la pietra. Ma allora, come l'uomo viene seguito dal dottore in medicina dal momento della nascita, a quello della malattia e della morte, ed è sempre un medico ad essere chiamato quando viene ritrovato un cadavere così lo specialista delle pietre, il Geologo, dovrebbe essere presente sia quando la pietra viene estratta dalla cava, sia quando viene messa in opera, sia quando insorgono problemi, sia infine quando una pietra viene ritrovata durante uno scavo, sia esso archeologico ovvero per le fondamenta di un edificio, per realizzare un tunnel o per posizionare tubi o cavi, e così via per accertarne la natura, la provenienza e il significato.

Ringraziamenti

Ringrazio di cuore il prof. Gian Battista Vai, il prof. Mario Ciabatti e il dott. Marco Tolomelli per la lettura critica del manoscritto. Un ringraziamento particolare al prof. Adriano Ferrari per i consigli inerenti i calcari bioturbati.

[86] Le mensole o i tettucci devono essere dimensionati tenendo conto dell'entità delle piogge e della direzione prevalente dei venti. Il palazzo Bocchi, a Bologna, edificato tra 1545 e il 1560 per l'umanista Achille Bocchi su disegno del Vignola, ha un tettuccio aggettante con mensole, sottodimensionato, che non ha protetto a sufficienza i motivi in arenaria della facciata che appare oggi molto degradata. In particolare sono del tutto compromessi la terrazza – un tempo in arenaria oggi completamene rifatta – i due marcapiano e tutte le finestre alla cimasa e lungo i montanti.
[87] Dei meccanismi di trasferimento di particelle dall'atmosfera alla superficie dei monumenti, tra cui la termoforesi, si parlerà in una nota successiva.
[88] Il ruolo fondamentale dell'acqua è noto, si può dire da sempre ed è sottolineato dalla trattatistica antica. "...se stanno in posti coperti [la pietre], resistono a ogni sforzo, se di contro stanno in posti all'aperto e scoperti, si sgretolano e dissolvono a causa delle gelate e della brina che vi si deposita" Vitruvio "De architectura", lib. II, 7. L'autore si riferisce a diversi tipi di pietre tra cui alcuni tufi calcarei.