



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
124° (2006), Vol. XXX, P. II, pp. 155-172

FULVIO ZEZZA *

Le architetture monumentali in pietra della Puglia

Metodologie di ricerca innovative per la conservazione

Le architetture monumentali in pietra della Puglia sono oggetto, ormai da tempo, di attenzione per la loro tutela, e di interventi conservativi per la loro salvaguardia. Si torna sovente ad affrontare l'argomento conservazione in varie sedi per confrontare procedure e tecniche per il restauro che non sempre elimina, anzi talora accentua, le conseguenze del degrado subito in precedenza dalla pietra. L'argomento stesso è visto da ottiche particolari, proprie di ogni professionalità, che singolarmente non possono restituire un quadro organico di riferimento al quale potersi affidare per la soluzione di progetto più adeguata; talora, ci si sofferma, ad esempio, sulla identificazione delle architetture e sugli elementi compositivi, e talaltra sulla storia dei restauri o sui problemi strutturali o sulla qualità dei materiali o sugli effetti dei trattamenti. La conservazione dei monumenti comprende in realtà una serie di azioni che sono alla base della formulazione delle metodologie d'intervento e di restauro più appropriate. Inoltre, se si considera che la conservazione tende alla salvaguardia dei beni culturali, nei quali si ritrova la storia di ogni territorio che li custodisce, essa si riveste di un significato etico e culturale. Tale significato vale anche per i monumenti della Puglia, strettamente legati a quelli del Bacino Mediterraneo, il quale ha visto nascere e svilupparsi le grandi civiltà del passato e custodisce il più grande patrimonio storico e archeologico del mondo (fig. 1).

La Puglia è tra le poche regioni italiane in cui l'uso della pietra locale è sempre continuato nel tempo; il contatto tra l'uomo e le risorse lapidee del territorio non si è mai interrotto nell'arco dei millenni e dei secoli che li hanno scanditi. In lastre di calcare sono le più antiche testimonianze, le strutture megalitiche tipo dolmen, sorte nell'Occidente europeo nel III e II millennio a.C., in età neolitica, e divenute il monumento rappresentativo dell'età del bronzo nella regione (fig. 2). Queste tombe

* Facoltà di Architettura, Università IUAV di Venezia, Tolentini - S. Croce 191, 30125 Venezia. E-mail: zezza@iuav.it

a tumulo erano costituite da lastoni ortostatici e di copertura, formanti nell'insieme una galleria, ed assumevano una forma ellittica una volta ricoperti da pietrame. I resti archeologici in tufo calcareo documentano l'estrazione del materiale lungo la costa dove sorgevano gli antichi centri nei quali sono state ritrovate costruzioni monumentali come, ad esempio, il foro di Egnazia (fig. 3), che sorgeva sul confine tra la Peucezia e la Messapia, ubicata su un tell o collina artificiale formatasi nel tempo coi resti dei vari insediamenti succedutisi dal XIV sec. a.C. (fig. 4) fino all'età romana e medievale. A Roca, altro centro costiero noto per essere un esempio di continuità e di diretto rapporto spaziale tra gli insediamenti dell'età del bronzo, il centro messapico, le antiche fortificazioni del IV secolo a.C., e il castello con le strutture e le fortificazioni del sec. XIV, si è pure fatto largo uso del tufo calcareo. Con la presenza di Roma in Puglia, dalla fine del sec. IV a.C., che pure ha prediletto sia l'uso dei marmi importati dall'Oriente (valga in tal senso l'esempio delle colonne terminali della Via Appia a Brindisi in marmo proconnesio; con i rocchi di quella crollata nel 1567 è stata costruita la colonna di S. Oronzo a Lecce) continuò l'uso del calcare nella costruzione di sistemi fortificati, ponti, porti, mausolei e anfiteatri tra i quali è assai noto quello di Lecce, la cui cavea resta interamente scavata nella pietra leccese (fig. 5). Nel periodo che segna l'affermazione di Roma sul territorio regionale vengono cancellate quasi ovunque, in conseguenza probabilmente dei numerosi eventi bellici, le testimonianze della colonizzazione greca. Taranto conserva ancora le tracce dell'impiego del tufo calcareo, equivalente al poros greco, tra i resti dell'antica fortificazione dell'acropoli e del tempio dorico, VI secolo a.C., che si ritiene dedicato a Poseidone (fig. 6). La successiva impronta bizantina sull'architettura del territorio, che si risente a partire dal sec. IX, segna ancora il perpetuarsi dell'uso tradizionale della pietra locale che si coglie, per quanto riguarda il monumento più rappresentativo del Salento, in S. Pietro di Otranto (fig. 7). Per le chiese e le abbazie romaniche, vero gioiello dell'architettura pugliese, la progettazione e le tecniche costruttive, si sono avvalse del calcare estratto dalle cave delle Murge (fig. 8); questa pietra, per quanto dura e compatta, ha dimostrato la sua versatilità per essere lavorata e scolpita. Nei secoli successivi, allorquando trionfa il barocco, è la pietra leccese (fig. 8) ad assumere il ruolo di protagonista pur se non mancano, nello stesso periodo, le architetture in tufo calcareo. La storia di queste mirabili opere s'intreccia per molti versi con quella dei castelli sorti in special modo dopo il tramonto del dominio bizantino nella prima metà del sec. XI. I Normanni, prima, e poi gli Svevi e gli Angioini hanno di volta in volta rinnovato le tecniche nell'arte di costruire e fortificare ma non hanno per questo rinunciato all'impiego del calcare compatto, della pietra leccese e del tufo calcareo. Peraltro, esisteva già al tempo di Orso I nel sec. IX il castello di Monte S. Angelo (fig. 9) di cui Roberto il Guiscardo nella seconda metà del sec. XI ne ricostruì l'impianto e fece edificare la torre normanna. Le torri costiere, dal canto loro, costruite soprattutto nel periodo che va dalla fine del sec. XVI agli inizi del sec. XVII nel contesto della difesa contro le invasioni dal mare e distribuite lungo tutta la costa pugliese, con densità particolar-

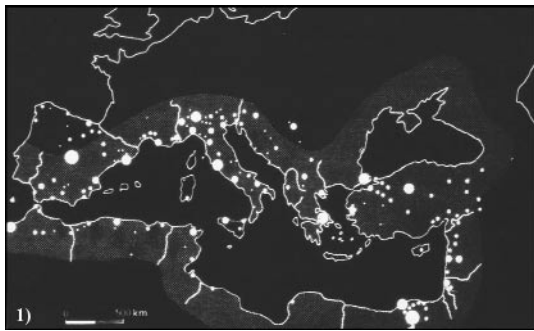
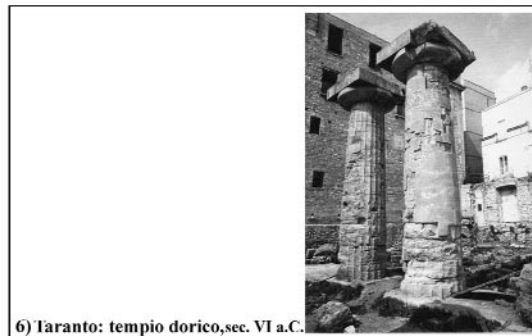
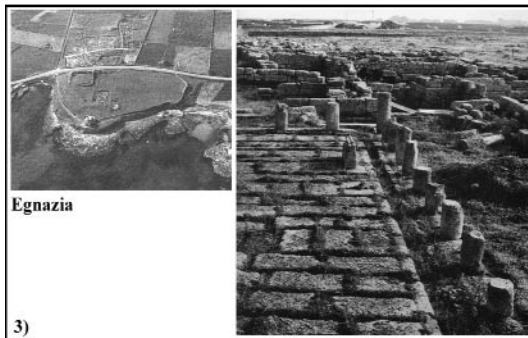
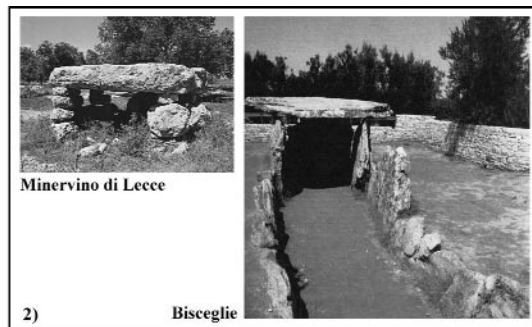


Fig. 1. Il Mediterraneo conserva il più grande patrimonio archeologico e storico-architettonico del mondo.



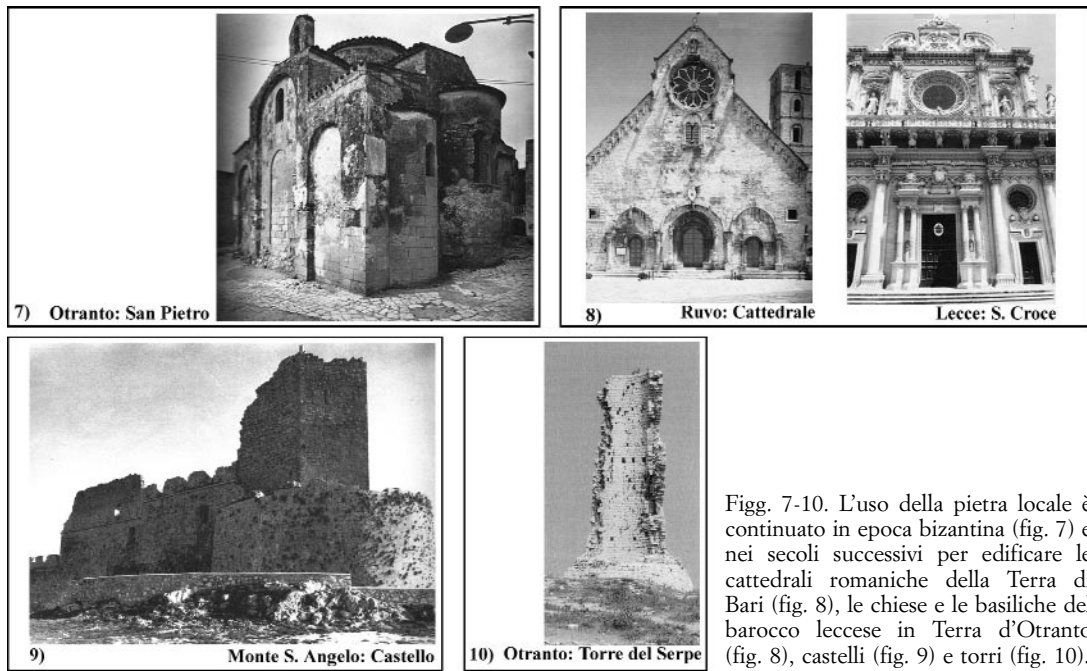
Figg. 2-6. In Puglia il contatto tra l'uomo e le risorse lapidee del territorio non si è mai interrotto nel tempo: i resti delle strutture megalitiche dell'età del bronzo (fig. 2) e quelli degli antichi centri di Egnazia (fig. 3) e di Roca messapica, fortificata nel sec. IV a.C. (fig. 4), testimoniano, al pari delle opere architettoniche risalenti alla presenza romana (fig. 5) e alla colonizzazione greca (fig. 6), l'uso dei locali affioramenti calcarei di età cretacea, mio-pliocenica e quaternaria.

mente rilevante tra Otranto e Leuca, Barletta e Monopoli e attorno al promontorio del Gargano, dimostrano che il calcare e le calcareniti locali sono state il materiale necessario per la loro costruzione. La torre del Serpe (fig. 10) è tra le più antiche; fu fatta restaurare da Federico II nel 1230; è una torre cilindrica che poggia su un basamento elicoidale; si ritiene che, prima di essere utilizzata per l'avvistamento, era l'antico fanale ad olio del porto di Otranto.

Molto di quanto è stato costruito su questo territorio nel passato e che oggi viene considerato patrimonio culturale è andato inevitabilmente perduto per guerre e devastazioni ma anche le deturpazioni, l'incuria e l'abbandono hanno avuto un ruolo determinante sull'aumento delle perdite irreparabili. Il patrimonio resta, tuttavia, ingente e complessivamente si connota come risultato di un'identificazione associata ai diversi momenti storici e ai vari contesti socio-culturali. Per la sua tutela, la conservazione è stata di volta in volta attivata con diverse finalità; gli interventi hanno spaziato tra il restauro e la ristrutturazione, la riparazione e la manutenzione sino a comprendere il controllo ambientale. Studi e ricerche si sono affiancati negli ultimi decenni alle fasi più salienti dei lavori essendo alla fine prevalso il criterio che non si può conservare bene ciò che non si conosce bene e, pertanto, almeno per i restauri più significativi e importanti, conoscenza e tutela sono state concepite come momenti non distinti dalla ricerca.

La situazione attuale dello stato di conservazione del patrimonio culturale in Puglia porta a riconoscere una pluralità di condizioni per le quali il degrado della pietra è solo uno degli aspetti più evidenti; molti altri fattori si ricollegano ai rischi naturali e, in particolare, al rischio idrogeologico (figg. 11-12). Tale situazione indica in modo inequivocabile che il restauro per la salvaguardia di un'opera architettonica non può esaurirsi esclusivamente nello studio di piccoli campioni di roccia da analizzarsi in laboratorio; ogni struttura progettata è un sistema dinamico che interagisce con il terreno sulla quale è fondata, risente dell'ambiente circostante ed è composta da diversi materiali che reagiscono diversamente alle sollecitazioni indotte dalla struttura e al degrado da parte degli agenti atmosferici esterni. Questa significativa premessa equivale alla convinzione che la conservazione debba basarsi sugli aspetti storici, tecnologici e strutturali dei monumenti, le tecniche analitiche e le metodologie d'indagine, i parametri ambientali; i metodi e i nuovi prodotti per i trattamenti, le analisi territoriali, i programmi di prevenzione e di gestione di monumenti e siti.

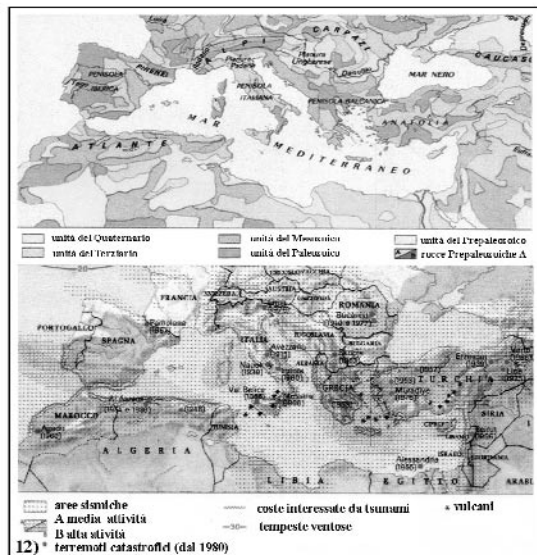
Per la Puglia e i suoi monumenti, in particolare, l'analisi dello stato di conservazione delle architetture in pietra calcarea delinea un'ampia casistica raggruppabile in due settori tematici: l'uno relativo al rapporto struttura-sito-ambiente e l'altro al binomio pietra-trattamento. Il programma Ambiente e Clima, attraverso il quale la Commissione Europea ha stimolato negli anni novanta un approccio globale e assegnato progetti per lo sviluppo di tecnologie innovative di monitoraggio dell'ambiente miranti sia a prevedere e ridurre i rischi naturali che ad assicurare la tutela, ha contribuito sostanzialmente all'approfondimento di tali settori della



Figg. 7-10. L'uso della pietra locale è continuato in epoca bizantina (fig. 7) e nei secoli successivi per edificare le cattedrali romaniche della Terra di Bari (fig. 8), le chiese e le basiliche del barocco leccese in Terra d'Otranto (fig. 8), castelli (fig. 9) e torri (fig. 10).

CAUSE INTRINSECHE		INADEGUATEZZA DELL'EDIFICIO ALLA DURATA NEL TEMPO
DIFETTI DI PROGETTAZIONE		ERRORI STRUTTURALI; SCELTA DEI MATERIALI
CRITERIO DI COSTRUZIONE		ACCURATEZZA NELLA COSTRUZIONE QUALITÀ DEI MATERIALI
CONTESTO AMBIENTALE		CONDIZIONI DEL SITO (clima, morfologia, geologia etc.)
CAUSE ESTRINSECHE		PRESENZA DI AGGRESSIONE DALL'ESTERNO
	AZIONI A LUNGO TERMINE	ALTERAZIONE EVENTI GEOLOGICI CON EVOLUZIONE PROGRESSIVA NEL TEMPO (subsidenza, erosione)
NATURALI		EVENTI METEOROLOGICI ECCEZIONALI (piogge pesanti)
	AZIONI A BREVE TERMINE	EVENTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI (inondazioni, terremoti, frane) INCENDI
	AZIONI DIRETTE	DISTRUZIONI, MODIFICAZIONI NEL TEMPO DEGLI EDIFICI ESTRAZIONE DI MATERIALE DAL SOTTOSUOLO
ANTROPICHE		INTERVENTI ANTROPICI A LIVELLO TERRITORIALE INQUINAMENTO
11)	AZIONI INDIRETTE	

Figg. 11-12. La durata nel tempo delle architetture monumentali dipende da una molteplicità di fattori (fig. 11) tra i quali assumono rilevanza il tipo e la qualità di pietra da luogo a luogo impiegata e i rischi naturali (fig. 12).



ricerca. Infatti, una componente del programma ha riguardato la conservazione dei monumenti e, in quest'ambito, sono state sviluppate due metodologie che si collegano l'una alle componenti geologico-ambientali dell'area costiera mediterranea (F. Zezza, 1998) e l'altra alla suscettibilità dei materiali da costruzione all'alterazione (F. Zezza, 1996).

In merito alla prima è opportuno premettere, per inquadrare appieno la casistica pugliese, che il territorio è parte integrante del più ampio contesto territoriale mediterraneo, in cui le condizioni di rischio per i monumenti derivano da terremoti e frane, inondazioni ed erosione e, in modo più circoscritto, da attività vulcanica e subsidenza, fenomeni questi che rispondono alla geologia e alle condizioni meteo-climatiche dell'area mediterranea. In Puglia il rischio sismico non risulta di rilevante portata, ad eccezione dell'area garganica (fig. 13) e di quella appenninica, nelle quali, oltre ai danni dei terremoti recenti, le gravi distruzioni del passato sono attestate dalle fonti storiche talune delle quali documentano le gravi conseguenze del terremoto del 1627 sulle città della Capitanata mentre altre riferiscono anche del crollo della cosiddetta "colonna mozzata" (una delle due colonne romane che segnano il termine della Via Appia a Brindisi) a seguito del terremoto del 1567, fig. 14.

Più frequenti sono i dissesti per frana provocati dall'instabilità dei pendii; essi riguardano in modo particolare le aree soggette al dissesto idrogeologico. Le condizioni di rischio esistono per quei monumenti situati sull'orlo di acclivi versanti sia appenninici che di solchi erosivi (gravine e lame), che solcano il territorio carsico, con grotte naturali e artificiali. I cedimenti che si verificano lungo questi versanti sono per lo più improvvisi e i progetti di conservazione delle strutture architettoniche che rientrano in tali situazioni non sempre prevedono le necessarie indagini. È emblematico, a tal riguardo, il caso del Castello di Massafra (fig. 15); nell'attuale configurazione del castello, risultata da una profonda trasformazione del sec. XVII, si riconosce l'impianto angioino, quadrilatero con quattro torri circolari scarpate (quella di sud-est viene ristrutturata e resa poligonale dagli Imperiali tra la fine del sec. XVII e l'inizio del sec. XVIII). L'impianto, già lambito da un recente collasso per subsidenza (*collapse into voids*), che aveva provocato il crollo parziale del piazzale antistante l'ingresso, era l'oggetto di un progetto di restauro, alla fine degli anni novanta, che prevedeva la ricostruzione del piazzale e il risanamento dei locali interni. La torre poligonale di sud-est, ristrutturata tra la fine del seicento e gli inizi del settecento, trasmetteva un carico eccessivo sulle calcareniti di fondazione nelle quali si erano aperte vistose fessure di neoformazione beanti; essa avrebbe seguito a breve la stessa sorte del piazzale se il progetto di restauro non fosse stato profondamente rivisto e trasformato in un progetto di consolidamento al fine di scongiurare il dissesto dell'intera struttura monumentale.

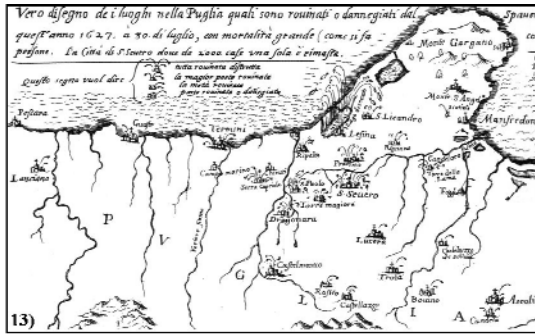
Il rischio erosione, dal canto suo, è comune lungo la costa e coinvolge gli antichi centri costieri. Per restare nell'ambito dei già citati esempi di Egnazia e Roca, va rilevato che riguardo alla prima la costa tende a ridursi per il sollevamento del livello marino con conseguenze già evidenti in tal senso per le strutture già rag-

giunte dal moto ondoso (fig. 16) mentre a Roca è in atto un fenomeno di erosione marina per la facile erodibilità delle calcareniti a matrice argillosa che ivi affiorano. Il progressivo arretramento della falesia, la quale presenta resti delle antiche fortificazioni del IV secolo a.C. sull'orlo instabile, tende in prospettiva a danneggiare irreparabilmente queste significative testimonianze del passato destinate a seguire gli eventi di crollo che si sono già manifestati nella zona dell'antico centro messapico (fig. 17).

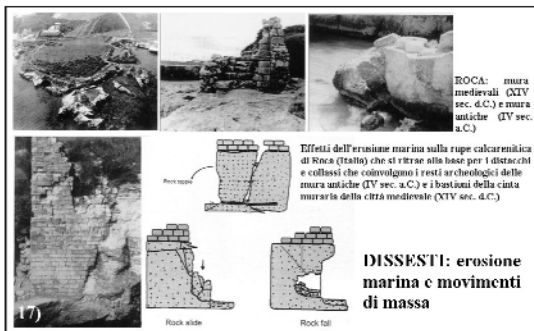
Ma ciò che nel contesto ambientale della Puglia, provoca un'azione che predispone le strutture architettoniche al dissesto è l'aerosol marino (fig. 18), dai più sottovalutati sotto questo aspetto in quanto ritenuto solo un agente dell'alterazione superficiale della pietra. Gli effetti della sua azione di lunga durata sono paragonabili a quelle dei rischi naturali propriamente detti. Si tratta di un contaminante naturale immesso direttamente dal mare nell'atmosfera in quantità stimate pari a 10 milioni di t/a; esso disgrega le malte e i materiali e penetra nell'interno delle murature agendo sugli elementi portanti delle strutture. La sua azione non si arresta sulla fascia costiera ma è dimostrato che può fare risentire i suoi effetti fino a distanze dell'ordine di 120 km dalla costa. I sali marini migrano nell'interno murature, disgregano la malta e agiscono progressivamente sui paramenti e gli elementi portanti: le mura di Otranto, prima dei lavori di restauro, hanno costituito, per quanto riguarda il Salento, un significativo esempio riguardo l'azione dei sali marini sulla malta e sulla pietra al pari del castello di Acaja, alle porte di Lecce, che evidenziava non solo le vistose lacune nel paramento originario in pietra leccese ma anche la loro evoluzione in crolli, con conseguenti dissesti statici della struttura (fig. 19).

L'importanza che deve essere attribuita alle indagini relative al territorio e all'ambiente, soprattutto a scala locale, non sono separabili da quelle sulla struttura. Un progetto di recupero è valido se all'analisi dettagliata di un manufatto architettonico, che si articola dalla definizione del metodo e degli strumenti progettuali per giungere ai metodi operativi del restauro specifici dell'intervento sul costruito storico, aggiunge gli elementi di analisi del territorio e dell'ambiente. Non può essere ignorata l'esistenza del problema e operare secondo schemi consueti in virtù del fatto che la consistenza di una architettura monumentale non è paragonabile a quella di un normale edificio, che può essere rinnovato secondo ritmi naturali nell'ambito del patrimonio edilizio. La raccolta, la codifica, l'analisi, la rappresentazione cartografica e la gestione degli attributi territoriali del sito di ogni monumento diventano, pertanto, il riferimento di base per la soluzione di progetto come viene indicato dall'approccio metodologico, sinteticamente illustrato nel grafico (fig. 20) nel quale gli strumenti analitici relativi al sito e all'ambiente sono necessariamente legati a quelli del monumento. Le fasi del procedimento indicato servono, infatti, per trarre i criteri che ispirano le scelte progettuali più appropriate.

Passando a considerare il binomio pietra-intervento, va considerato che in genere, la preservazione sostenibile dei monumenti richiede tre fasi operative: anamnesi, diagnosi e terapia, ognuna delle quali fornisce la documentazione neces-

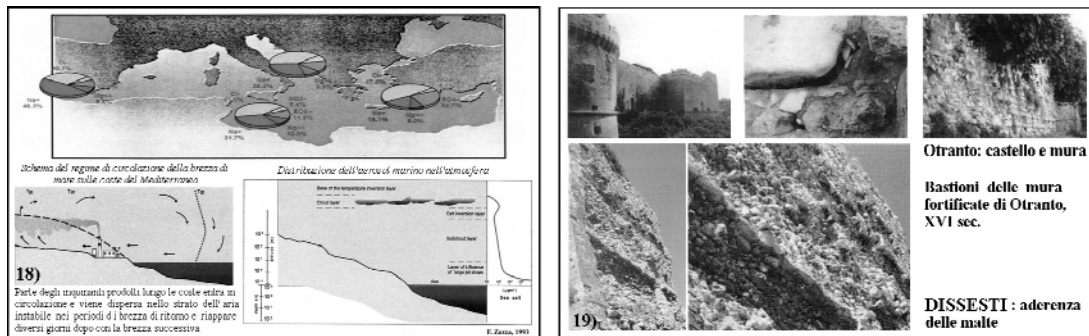


Figg. 13-17. Dal punto di vista geologico il territorio pugliese si connota come un sistema in grado di esporre le architetture monumentali ai rischi naturali. Tra questi è nota l'incidenza dei terremoti (figg. 13-14), dei collassi per subsidenza (collapses into voids) fig. 15, e l'evoluzione dei processi in atto connessi alla dinamica costiera (figg. 16-17).



16) Egnazia: mura

17) DISSESTI: erosione marina e movimenti di massa



Figg. 18-19. Al contesto ambientale è collegata l'azione dell'aerosol marino (fig. 18) che degrada la pietra e disgrega le malte (fig. 19) fino a coinvolgere la stabilità degli elementi portanti delle strutture edificate.

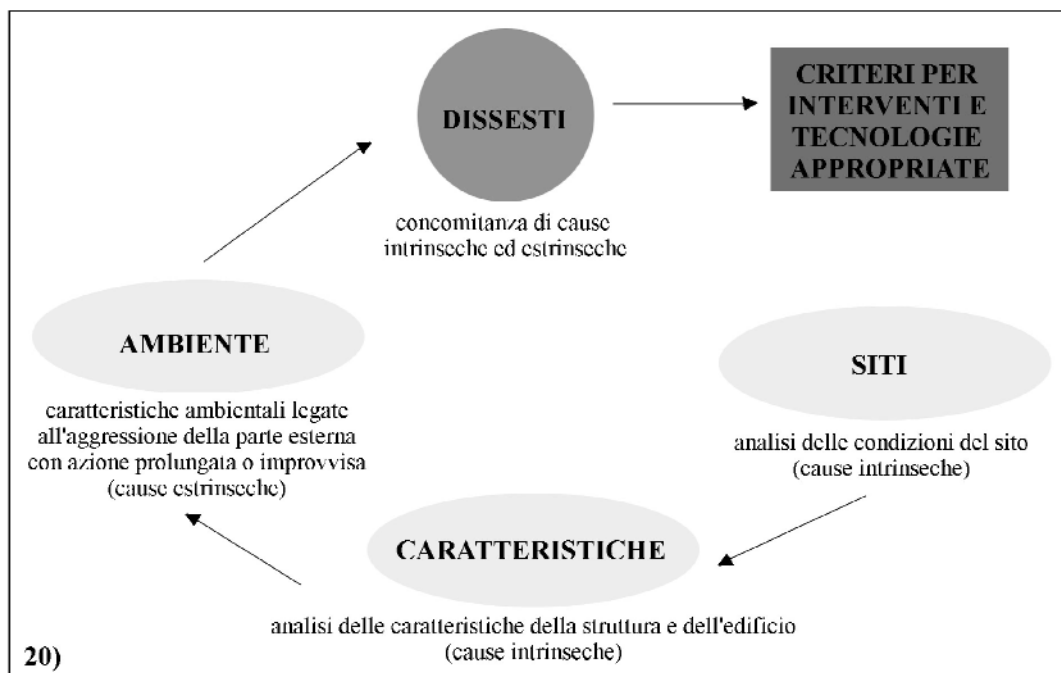


Fig. 20. Approccio metodologico per stabilire le cause dei dissesti e i criteri di intervento sulle architetture monumentali (da F. Zezza, 1998).

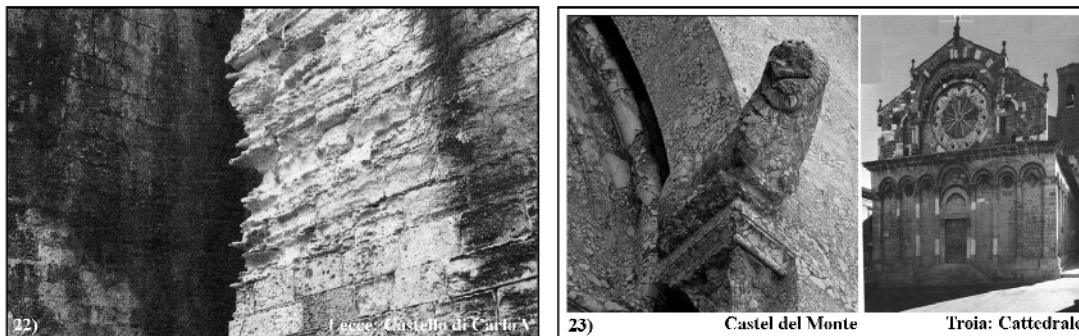
saria per l'elaborazione finale del progetto (fig. 21). L'anamnesi consiste nell'acquisizione, elencazione e valutazione di tutte le informazioni, dati e documenti che si rendono indispensabili per poter identificare e descrivere il monumento e tracciare la sua storia. La diagnosi usa le informazioni fornite dall'anamnesi e diviene la base per selezionare e scegliere le misure di prevenzione più appropriate. Elementi della diagnosi, l'ultimo dei quali è il tasso di alterazione che identifica l'effettivo stato di conservazione del monumento, sono: il materiale lapideo e le sue proprietà, le forme di alterazione, i fattori e i processi del degrado, la progressione con la quale la degradazione procede.

Per restare nell'argomento riguardante il materiale lapideo e l'impiego di metodologie per la conservazione, va osservato che ogni architettura progettata in Puglia, dalla più antica alla più recente, rivela sempre la stretta relazione con la geologia del luogo dove essa sorge per il fatto che il materiale utilizzato proviene dagli affioramenti di roccia più vicini, in special modo quando erano necessarie notevoli quantità di materiale o, come nel caso dei sistemi fortificati, bisognava costruire in fretta. Il calcare compatto delle cattedrali romaniche della Terra da Bari proviene dagli affioramenti del Mesozoico delle Murge, la biocalcarenite dei monumenti della Terra d'Otranto, ovvero la pietra leccese, appartiene ai sedimenti del Miocene; il tufo calcareo fa parte dei depositi più recenti, plio-pleistocenici, e si ritrova in lembi sparsi in quasi tutta la regione. Alquanto subordinati sono i calcari miocenici dell'appennino dauno e i brecciati, di varia età, del Gargano dai quali proviene la varietà di breccia corallina impiegata a Castel del Monte. Ritenere che i diversi litotipi calcarei presentino tutti un analogo comportamento al degrado è concezione antiquata ed erronea.

A grande scala, i corpi sedimentari da cui essi provengono appartengono ad ambienti deposizionali marini notevolmente diversi; in ogni ambiente, inoltre, in virtù della batimetria dei fondali e delle condizioni di deposito, si sono sedimentati prodotti che rivelano evidenti e ulteriori differenze, a scala media e piccola. Le litofacies sono, in sostanza, non soltanto diverse per colore e compattezza ma anche per composizione chimico-mineralogica e, soprattutto, sedimentologico-petrografica (figg. 22-23). Il tipo e il grado dell'alterazione che possono svilupparsi in queste litofacies sono strettamente legate alle tessiture sedimentarie le quali comprendono, tra le più comuni, quelle di origine organica (fossili e bioturbazioni) ed inorganica (laminazione, stratificazione gradata, variazioni granulometriche, orientazione preferenziale dei granuli e assestamento, mosaici cristallini, fratture, stiloliti). La pietra leccese, ad esempio, deve la diversa tendenza ad essere colpita dalla degradazione di tipo selettivo (figg. 24-25) in base alla granulometria, al variabile contenuto di materiali argillosi e glauconite e, soprattutto, alla strutture bioturbate dei vari orizzonti stratigrafici. A S. Croce, in occasione dell'intervento di restauro degli anni '80 venne riscontrato che, a parità di condizioni di esposizione dei blocchi, sia lavorati che scolpiti, e delle colonne il differente grado di suscettibilità al degrado della pietra leccese era legato alle caratteristiche sedimentologiche dei



Fig. 21. Le fasi operative della preservazione sostenibile dei monumenti.



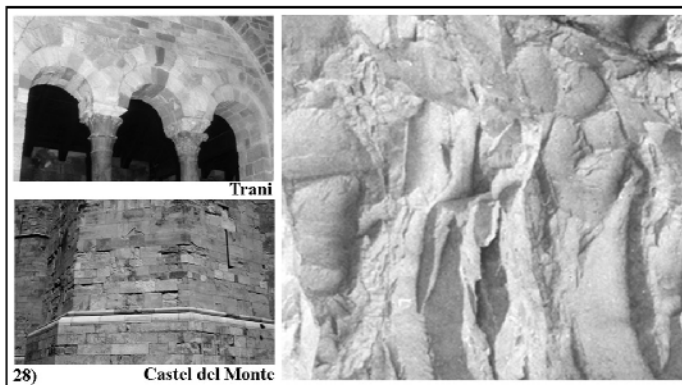
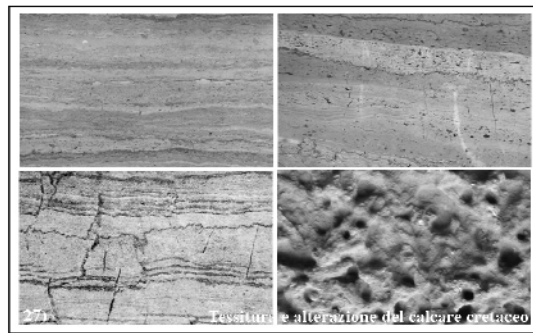
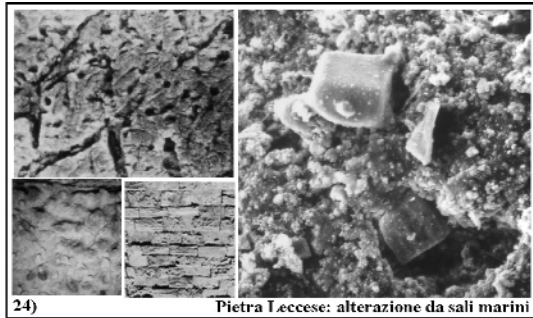
Figg. 22-23. Il tipo e il grado di alterazione delle litofacies calcaree della Puglia sono in stretta relazione con la composizione chimico-mineralogica e con le caratteristiche sedimentologico-petrografiche del materiale lapideo.

livelli di cava dai quali proveniva il materiale lapideo. Tali proprietà sedimentologiche si riflettono sulle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale e condizionano, una volta subentrata l'alterazione, il comportamento sotto carico degli elementi lapidei; a S. Croce le colonne di I ordine che supportano la balaustra presentavano all'epoca del restauro profonde fratture di neoformazione che hanno richiesto la "ricucitura" delle discontinuità con perni di acciaio e il relativo incollaggio con resina epossidica.

Per il tufo calcareo, sia la stratificazione gradata che la laminazione incrociata e il diverso addensamento dei granuli sono, al pari delle strutture organiche (fossili e bioturbazioni), i principali fattori che determinano le forme di degradazione selettiva dei blocchi esposti agli agenti atmosferici, come dimostra l'esempio riprodotto che si riferisce alla torre delle Saline presso Taranto, fig. 26.

Il calcare del Cretaceo, a sua volta, diventa vulnerabile al degrado quando la sua omogeneità è sostituita da una irregolare distribuzione di grani, micrite e mosaici cristallini oppure presenta soluzioni di continuità, quali strutture stilolitiche e fratture ricementate o, ancora, quando l'originario sedimento micritico è finemente suddiviso in lamine con fenditure verticali (*dessication cracks*) e planari (*sheet cracks*), figg. 27-28. Quanto si coglie osservando le forme dell'alterazione della Cattedrale di Trani o di Castel del Monte, costruiti in pietra calcarea delle Murge, si riscontra puntualmente, pur se con graduazioni da luogo a luogo diverse, in tutte le architetture monumentali della Puglia in calcare.

Nel recente passato si è molto insistito sullo studio del weathering in laboratorio. I risultati delle analisi, che pur hanno fornito importanti contributi e chiarito la dinamica del processo, non sono estrapolabili per valutare l'entità del danno di una intera superficie, anche in relazione al fatto che è sempre limitato il numero dei campioni che possono essere raccolti, soprattutto se si tratta di superfici scolpite. Le analisi non distruttive hanno potuto sopperire a tale difficoltà dimostrando che può essere individuata per esteso la portata degli effetti del processo di alterazione e che di tale processo, inoltre, si può seguire l'evoluzione nel tempo. Diverse metodologie sono state proposte in tal senso, dalle semplici documentazioni che ritraggono le patologie del degrado a quelle più articolate che forniscono le informazioni sulla distribuzione e il grado di danno, la previsione di rischio, la stima sulla necessità e l'urgenza dell'intervento. Punto debole di questo tipo di documentazioni è l'interpretazione degli elementi che vengono raccolti e rappresentati, pur se la restituzione cartografica viene fornita attraverso elaborazioni al computer. Strutturalmente diverso è l'approccio metodologico, proposto da chi parla sul finire degli anni ottanta e perfezionato nel decennio successivo nell'ambito di ricerche svolte in seno a progetti europei sui monumenti. La tecnica non distruttiva ICAW (Integrated Computerized Analysis of Weathering), fig. 29, è in grado di restituire in forma oggettiva i risultati di una serie di informazioni che riguardano il tipo di degrado superficiale e le relative strutture sepolte che si estendono in profondità. Il procedimento per determinare le forme della degradazione e lo spes-



Figg. 24-28. Effetti dei sali marini: degradazione selettiva delle litofacies bio-calcarenitiche (pietra leccese) di S. Croce (Lecce), fig. 24-25; disgregazione granulare delle calcareniti plio-pleistoceniche (tufo calcareo) connessa alla composizione granulometrica e alla laminazione interna (fig. 26); degradazione selettiva e fessurazione delle micriti laminari con stiloliti (calcare cretaceo) di Trani e di Castel del Monte (fig. 27-28).

sore dei livelli di alterazione consiste rispettivamente nella trasformazione di immagini pittoriche in immagini digitali e nell'impiego di impulsi ultrasonici. La prima operazione si basa sulla interpretazione degli istogrammi dei livelli di grigio dell'oggetto considerato, la dispersione di tali livelli in relazione al colore della pietra, alla caratteristiche di tessitura e all'intensità delle forme di degrado; la seconda utilizza le misure ultrasoniche, adottando il metodo omeosuperficiale, e calcola lo spessore degli strati di alterazione; pertanto, le strutture sepolte vengono individuate mediante l'interpretazione dei diagrammi distanza-tempo ottenuti, fig. 30.

La valutazione quantitativa dello stato di degrado è la successiva operazione che consente di classificare gli intervalli di materiale alterato, definendone indici e proprietà. Tale valutazione si basa su una tabella di correlazione tra velocità ultrasoniche e parametri del materiale lapideo (resistenza a compressione, compattezza, porosità e imbibizione), fig. 31.

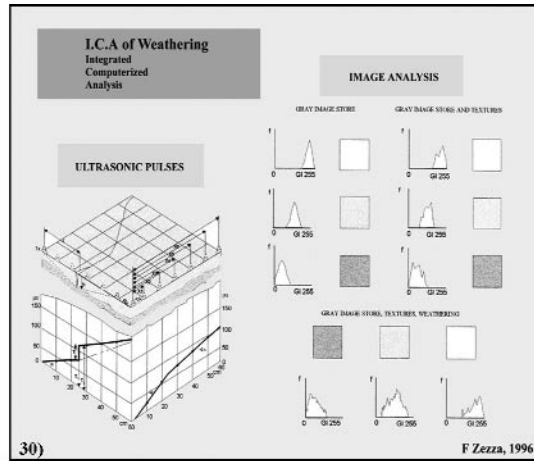
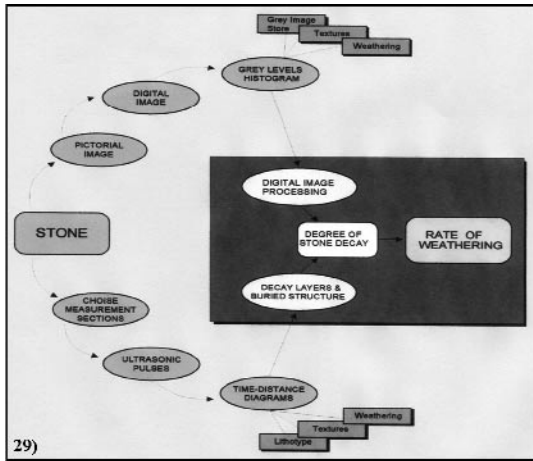
Il tasso complessivo della degradazione è quantitativamente espresso dalle categorie o classi di danno esistenti, correlate ai suddetti indici, e viene qualitativamente rappresentato nelle immagini digitali, fig. 32.

Gli esempi riprodotti indicano la possibilità di ottenere singole mappe relative a: 1) rappresentazione delle forme e dell'intensità del danno superficiale, fig. 33; 2) valutazione del danno in profondità, fig. 34; 3) verifica del materiale sostituito nel corso di restauri (qui si rappresentano alcuni risultati dell'analisi relativa a Castel del Monte dopo i lavori di restauro agli inizi del '900), fig. 35; 4) correlazione tra stato di alterazione, grado di fessurazione e caratteristiche meccaniche del materiale lapideo (caso delle colonne romane della Via Appia a Brindisi, fig. 36).

È da sottolineare pure che il mapping elaborato con la metodologia ICAW viene incontro alla necessità di monitorare le superfici danneggiate e, qualora esse siano state sottoposte a trattamento, tale metodologia consente di controllare le proprietà della pietra acquisite dopo il trattamento stesso, come indica la fig. 37. L'impiego di tale metodologia rientra anche nella programmazione di piani di gestione delle superfici trattate quando, come è dimostrato dall'esempio relativo al portale principale della Basilica di S. Nicola, a Bari (fig. 38), si rende indispensabile valutare l'efficacia nel tempo del trattamento conservativo.

Non è superfluo ricordare che la stessa metodologia di indagine non distruttiva può essere applicata alle architetture naturali di pietra, come le grotte carsiche con dipinti preistorici. Nel Salento, infatti, essa è stata utilizzata nella Grotta dei Cervi per verificare lo stato di conservazione dei dipinti in ocre e guano e per raccogliere gli elementi di valutazione per successive indagini comparative inerenti, soprattutto, l'evoluzione del fenomeno di alterazione nel tempo della sostanza colorante e lo sbiadimento dei pannelli pittorici, fig. 39.

Le applicazioni della metodologia sopra menzionata si spingono dunque, con riferimento alla preservazione sostenibile della pietra dei monumenti, sino alla fase di "terapia" che comprende, tra le operazioni più significative, tests di applicazione di misure preventive, controlli della qualità dell'intervento, monitoraggio e gestione.



ULTRASONIC PULSES (Km/sec)	0,6	1,8	3,0	5,0	6,5
STRENGTH (MPa)	1	5	10	50	100
COMPACTNESS	0,52	0,59	0,66	0,93	0,97
POROSITY (%)	46	40	34	6	1
IMBIBITION (%)	25	18	13	1,40	0,80
STONE DECAY (degree)	WEATHERED ROCK		FRESH ROCK	MARBLES LIMESTONES	
	CALCARENITES				

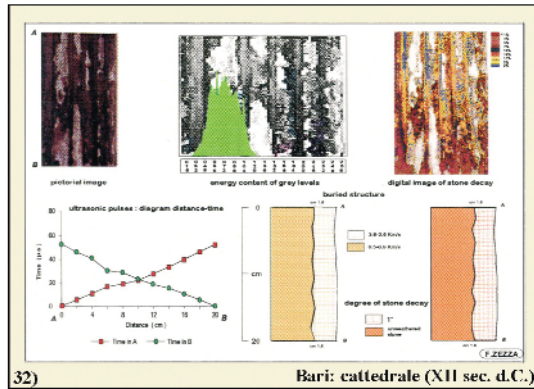
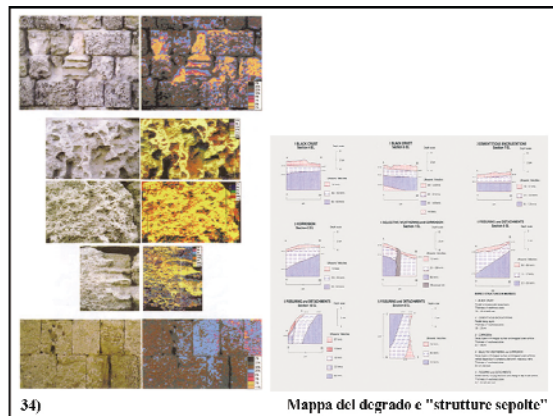
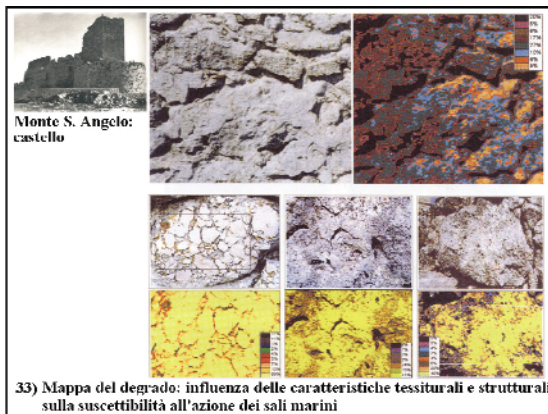


Fig. 29-32. Approccio metodologico ICAW (Integrated Computerized Analysis of Weathering, F. Zezza, 1996) fig. 29, per la verifica dello stato di conservazione dei materiali lapidei mediante indagini non distruttive. La procedura comprende l'analisi digitale delle forme del degrado e il calcolo dello spessore delle parti alterate (fig. 30); essa consente inoltre di valutare indici e parametri fisico-meccanici dei livelli alterati (fig. 31) e di stabilire complessivamente il tasso della degradazione, espresso dalle categorie o classi di danno (fig. 32).



Figg. 33-36. La tecnica analitica ICAW viene impiegata per informazioni sia di carattere puntuale, legate a locali manifestazioni di danno in superficie e in profondità (figg. 33-34), sia a livello più generale, per verifiche su superfici interessate da sostituzioni di materiale lapideo nel corso di restauri (fig. 35). Tale impiego trova, inoltre, applicazione per definire il rapporto tra stato di alterazione, fessurazione e proprietà fisico-meccaniche del materiale lapideo degradato (fig. 36).



Figg. 37-39. Mediante la metodologia ICAW può essere controllata l'evoluzione del degrado superficiale e, nel caso di superfici trattate, può essere verificata la riuscita dei trattamenti di consolidamento mediante la comparazione delle strutture sepolte, pre e post-trattamento (Santa Croce, Lecce fig. 37, Basilica di San Nicola, Bari, fig. 38). La stessa metodologia è utilizzata per il monitoraggio dello stato di conservazione di dipinti su roccia mediante la misura delle variazioni cromatiche nel tempo della sostanza colorante (es. dipinti in ocre e guano nella Grotta dei Cervi a Badisco, fig. 39, da F. Zezza, 2003).

Tali aspetti della conservazione richiedono, sia per il tipo di argomento che per la complessità della materia, specifiche sedi per essere approfonditi. D'altro canto, l'obiettivo sin qui delineato consiste nel dimostrare fino a che punto si può stabilire con certezza la possibilità di successo di un intervento; e, in particolare, se è sufficiente conoscere la natura e le proprietà chimico-fisiche dei prodotti consolidanti e idrorepellenti, il loro meccanismo d'azione, la cinetica di eventuali reazioni chimiche e le proprietà adesive senza procedere ad una serie di controlli in sito con metodi non distruttivi per la verifica dell'efficacia nel tempo. Se, inoltre, come pare evidente, la causa di molti insuccessi nel campo dei trattamenti conservativi risiede nelle procedure incomplete è auspicabile che talune prassi vengano riconsiderate.

Una strategia di più ampia portata è, perciò, necessaria; essa dovrà ispirarsi a nuove proposte operative per preparare adeguati piani di prevenzione per la salvaguardia delle architetture monumentali. Da tale strategia potranno sicuramente trarre giovamento i monumenti della Puglia, sia quelli sui quali i trattamenti conservativi non si sono di fatto rivelati efficaci sia i tanti che restano e attendono ancora di essere restaurati. I monumenti della Puglia sono una componente importante del patrimonio nazionale; tutelare questi monumenti, i quali rappresentano un bene insostituibile che esprime l'identità della storia, dell'arte e dell'architettura dell'intero territorio pugliese, è il modo più opportuno per continuare a riaffermare la cultura e la civiltà di questa Regione.