

## LA MITIGAZIONE DEI RISCHI NATURALI PER IL PATRIMONIO CULTURALE

*Il 5 giugno del 2007 si è tenuto, nella sala "Cristoforo Cosentini" della biblioteca Zelantea, un seminario internazionale di studi su «La mitigazione dei rischi naturali per il patrimonio culturale. Le attività del progetto NOE in Sicilia». La manifestazione, per l'eccezionale livello culturale dei relatori e l'importanza dei temi trattati, merita di essere ricordata, anche in considerazione del fatto che un momento dei lavori è stato dedicato ai rischi naturali della pinacoteca Zelantea, assunta come campione di un'ipotesi di evento e di intervento.*

*Sull'avvenimento vengono qui pubblicati due scritti, uno dei quali riguarda appunto il caso della nostra pinacoteca.*

ANTONINO PEZZINO<sup>1</sup>, STEFANO GRESTA<sup>1</sup>, SEBASTIANO IMPOSA<sup>1</sup>, PAOLO MAZZOLENI<sup>1</sup>, FRANCESCO BARONE<sup>1</sup>, GERMANA BARONE<sup>1</sup>, DOMENICO BELLA<sup>2</sup>, CHIARA CALABRÒ<sup>1</sup>, MAURO F. LA RUSSA<sup>1</sup>, LUCIANA RANDAZZO<sup>1</sup>

## ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA E DEL DEGRADO: UN APPROCCIO INTEGRATO AL PATRIMONIO DI ACIREALE

### INTRODUZIONE

La città di Acireale, situata sul versante sudorientale del Monte Etna, rappresenta una tipica città del Barocco siciliano. Il territorio comunale si estende per un'area di circa 40 km<sup>2</sup> e la popolazione attuale raggiunge i 50.000 abitanti.

Le origini della città sono da ricercarsi a partire dalla colonizzazione greca, ma durante le guerre puniche la città assume un importante ruolo nello scenario storico. Durante il Seicento veniva precisandosi l'assetto urbanistico della città con piazza Duomo che diveniva perno di un sistema viario radiale. Le distruzioni dell'11 gennaio 1693 diedero l'avvio ad un'opera di ricostruzione che testimonia della ricchezza e della grande capacità di ripresa della città. Acireale si trasformò in un cantiere; sorsero nuovi palazzi e chiese al posto di quelli demoliti; le vecchie strade furono allargate, ne furono tracciate nuove. Tale ricostruzione diede ad Acireale il suo volto settecentesco tardo barocco. Espressione di questo patrimonio artistico monumentale, che caratterizza peraltro le più importanti città della Sicilia orientale (per esempio Siracusa, Ragusa, Noto, Modica, Scicli e Avola recentemente incluse nella lista del Patrimonio mondiale dell'UNESCO) sono la Cattedrale della Maria SS. Annunziata, la Basilica dei Santi Apostoli Pietro e Paolo, la Basilica di San

---

<sup>1</sup> Centro di Ricerche sulle cause di degrado per il recupero dei Beni Culturali e Monumentali, (C.Ri.Be.Cu.M.) - Università di Catania.

<sup>2</sup> Centro Scientifico per l'Ambiente (C.S.A.) - Acireale.

Sebastiano, la Chiesa dei Crociferi, la Chiesa di Santa Maria del Suffragio, il Palazzo Comunale, le ville Platania, Fichera e Pennini-Floristella, la Biblioteca Zelantea. Oltre che dall'imperante stile barocco, tali monumenti sono accomunati dall'intima relazione esistente tra il materiale da costruzione utilizzato e il contesto geologico come evidenziato dall'uso, oltre che dei calcari provenienti dall'altopiano Ibleo, anche delle rocce vulcaniche etnee. Negli ultimi decenni, sono stati condotti diversi studi sulla città di Acireale e sulle altre città della Provincia di Catania, ma l'attenzione è stata rivolta per lo più agli aspetti architettonici e storici (Gaudio, 1929; Fichera, 1934; Rodolico, 1953). Di contro, le ricerche riguardanti i materiali da costruzione sono esigue e recenti (Barone et al., 2004; Cirrincione et al., 2000; Mazzoleni et al., 2003; Punturo et al., 2006).

Dal punto di vista tettonico e strutturale, il versante orientale dell'Etna è caratterizzato da un quadro estremamente complesso (Fig. 1). Tuttavia, si possono definire alcune caratteristiche dei terremoti etnei, quali i bassi valori (alcuni bars) dello stress drop e delle dimensioni della sorgente (da poche decine a poche centinaia di metri). Ciò è causato dalla elevata eterogeneità locale della crosta terrestre, che non permette l'accumulo di stress elevati e la propagazione di estese superfici di rottura. Tale incapacità di accumulare (e quindi rilasciare) grandi quantità di energia è confermata dai bassi valori di magnitudo riscontrabili nei terremoti locali (la massima magnitudo strumentale osservata è circa 5). Conseguenza diretta della elevata eterogeneità di tutta la crosta nella regione etnea, nonché della superficialità degli ipocentri dei terremoti, è il fatto che modesti rilasci energetici, inducono, su aree mesosismiche pur estremamente limitate (spesso meno di 1 kmq), effetti disastrosi (Gresta, 1990). Inoltre, l'intera Sicilia orientale è interessata da importanti strutture tettoniche regionali ad andamento NNW-SSE che caratterizzano la scarpata Ibleo-maltese (Fig. 1) e sono responsabili di grandi terremoti distruttivi, come quelli del 1169 e del 1693.

Scopo di questo lavoro è l'analisi del rischio a cui sono oggi soggetti otto edifici caratteristici del patrimonio artistico del centro storico di Acireale. Tale rischio si esprime in termini dei possibili effetti sul patrimonio causati da terremoti (locali e/o regionali) e dal degrado dei materiali di costruzione. Mediante un approccio integrato delle diverse tecniche di indagine, per ognuno degli otto edifici esaminati è stata condotta una

serie di indagini scientifiche secondo una procedura standard che verrà di seguito illustrata, volte alla stima della pericolosità sismica al sito e alla definizione del livello di degrado e degli agenti responsabili.

### CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA

Come detto in precedenza, Acireale ricade nel basso versante sudorientale del vulcano Etna, e si colloca al tetto della "Timpa di Acireale", struttura tettonica che rappresenta una delle manifestazioni morfologiche più eclatanti della Sicilia orientale, insieme alle altre scarpate di faglia che si rinvergono nel basso e medio versante orientale dell'Etna. Il termine "timpa", localmente, è sinonimo di scarpata, la cui origine è da attribuirsi all'attività di strutture tettoniche a carattere prevalentemente distensivo, orientate circa NNO-SSE ed aventi la caratteristica di ribassare il labbro orientale. Anche se ben evidenti nei bassi versanti, queste scarpate di faglia sono porzioni di più estesi allineamenti, coperte da più recenti colate laviche che ne hanno mascherato le forme e reso, in alcuni casi, quasi impossibile la definizione. Tuttavia, la notevole attività sismo-tettonica che si è realizzata e che ancor oggi si realizza in questi tratti ha permesso di individuarne la presenza mediante accurati rilievi macrosismici ed evidenze cinematiche lungo zone di fratturazione pre-, co- e post-sismica (Gresta et al., 1997).

Gli edifici oggetto della presente indagine si collocano nel centro storico di Acireale che, morfologicamente, risulta essere una zona subpianeggiante, con una leggera pendenza verso Est (Fig. 2). Totalmente urbanizzato, il centro storico non mostra affioramenti geologici, tranne che per alcuni rari spuntoni di roccia che emergono dalle pareti murarie di alcuni antichi palazzi. La geologia in superficie e la stratigrafia in corrispondenza delle opere di interesse architettonico sono il risultato delle sezioni stratigrafiche che sono state ricavate attraverso delle perforazioni a carotaggio continuo (vedi Fig. 3). In tutti i casi nel centro storico sono presenti tre formazioni vulcaniche: *lave superiori*, *tufti*, *brecce vulcanoclastiche (o depositi di Lahars)*

*Lave superiori* - Si tratta di colate di copertura. In taluni casi in tutta la loro interezza, ovvero con un orizzonte scoriaceo in testa, il corpo centrale, lavico lapideo, mentre alla base le scorie e brecce laviche di base, in altri, spesso, mancano di gran parte del corpo lavico lapideo.

Nei casi in cui sia presente la colata ancora ben conservata, è presente un orizzonte scoriaceo che si identifica con un deposito sciolto a granulometria ruditeico sabbiosa di colore marrone scuro con presenza di elementi a spigoli vivi di dimensioni centimetriche. La porzione lavico lapidea, sottostante all'orizzonte vulcanoclastico, è costituita da un basalto compatto, scarsamente poroso, di colore grigio scuro. Alla base della colata è presente nuovamente l'orizzonte scoriaceo.

*Tuffiti* - Granulometricamente è assimilabile ad una sabbia limosa con pomici di diametro variabile tra i 5 e i 15 cm, di colore giallo marrone. Spesso al di sotto di questo deposito si rinviene un ulteriore livello lavico, anch'esso costituito da un orizzonte costituito da scorie laviche e da un basalto compatto al di sotto del livello di autoclastesi.

*Brecce vulcanoclastiche (depositi di Lahars)* - Si tratta di un deposito vulcanoclastico compatto e con elementi prevalentemente a spigoli vivi. Esso si presenta mal classato ed eterogeneo.

## I MONUMENTI INVESTIGATI

### La Cattedrale della Maria SS. Annunziata

La fondazione della Basilica si fa risalire agli albori del XV secolo ma è a partire dal 1598 che l'edificio sacro comincia ad assumere un aspetto basilicale grazie ai nuovi lavori per la realizzazione delle tre absidi e del transetto sovrastato da una cupola ottagonale, dove l'uso della pietra nera dell'Etna e di quella bianca di Siracusa mette in evidenza la perizia tecnica e artistica di mastri e maestri operanti in quel periodo. La facciata dell'edificio, posta tra due torri con guglie maiolicate, nel 1668 venne arricchita con la realizzazione di un portale in marmo bianco.

### La Basilica dei Santi Apostoli Pietro e Paolo

La costruzione della chiesa ebbe inizio nella prima metà del XVII secolo. Si tratta di una cattedrale in stile neogotico caratterizzata dal movimento di due ordini di colonne sovrapposte e da una caratteristica facciata asimmetrica con una singola torre.

### La Basilica di San Sebastiano

La chiesa è stata costruita nella seconda metà del 1400. Questa antica costruzione venne distrutta durante il terremoto del 1693 e ricostruita

nel 1699. Si trova lungo Corso Vittorio Emanuele, nei pressi di Piazza Duomo, ed è caratterizzata da corone di balaustre sormontate da statue che si fondono con colonne, pilastri, nicchie e volute.

#### Chiesa dei Crociferi (o di San Camillo, o di Santa Maria delle Grazie)

La Chiesa di San Camillo venne costruita nel 1730. La facciata della chiesa ha un caratteristico aspetto stretto e allungato e si estende tra due lesene in pietra di Siracusa. Esse sono sormontate da capitelli in stile dorico quasi privi di decorazioni.

#### La Chiesa di Santa Maria degli Angeli

La chiesa di S. Maria degli Angeli, annessa al convento dei PP. Cappuccini fondato nel 1571, al pari di questo presenta un prospetto sobrio e veramente francescano. La primitiva chiesa era stata costruita nel 1574; nel 1640 era portato a termine il suo ampliamento. Gravemente danneggiata dal terremoto del 1693, la chiesa è stata restaurata a più riprese sempre conservando l'originaria semplicità delle sue linee.

#### Chiesa di Maria SS. della Purità (o dei Padri Filippini)

Realizzata in stile neoclassico su disegno dell'arch. Francesco Di Paola Patanè nel 1840, la chiesa presenta un prospetto interno; si accede, infatti, ad essa da due stradette laterali tramite un cortile (con doppio piccolo portico a colonne) su cui prospetta pure l'oratorio filippino fondato nel 1756.

#### Chiesa S. Maria del Suffragio

La chiesetta venne costruita nel 1634, ma rimase spoglia e disadorna fino al 1750, quando fu affrescata dal noto pittore Paolo Vasta. Essa appare quasi asimmetrica rispetto alla strada ed ha la facciata rivolta ad Est.

#### La Biblioteca Zelantea

Alla fine di Via Cavour si trova la Biblioteca Zelantea, fondata nel 1671. L'edificio, costruito all'inizio del XX secolo, accoglie anche la Pinacoteca, che attualmente conserva opere della scuola siciliana dei secoli XV-XX, dipinti, disegni, sculture, reperti ceramici nonché opere in legno di artigianato siciliano del '700.

## I MATERIALI

I monumenti del centro storico di Acireale sono stati costruiti sia con materiali lapidei di origine sedimentaria che magmatica.

Le rocce vulcaniche sono state utilizzate per lo più nei muri e nei basamenti e frequentemente si alternano con i calcari bianchi dando origine ad una particolare bicromia. I differenti tipi di rocce cavati nell'area etnea si distinguono sulla base dell'abbondanza in fenocristalli e della vescicolazione. La varietà più comune è quella detta "occhio di pernice" caratterizzata da una struttura porfirica e vescicolare con pasta di fondo molto fine e scura. Non meno importante è l'utilizzo delle piroclastiti e della cosiddetta "ghiara" (antico suolo ricoperto da lava, la cui composizione è stata modificata dalle alte temperature e dalla circolazione di fluidi) nel confezionamento di malte e intonaci ai quali viene conferito un tipico colore grigio scuro (Boscarino, 1992) o rossastro (nel caso della "ghiara").

Le rocce sedimentarie rappresentano più del 90% dei materiali da costruzione in opera negli edifici a carattere monumentale del centro storico di Acireale. Le calcarenitiche sono la tipologie più utilizzate; essi provengono dalla Piattaforma carbonatica dei Monti Iblei (Carbone et al. 1982) e nel complesso vengono indicati con il nome di "Pietra di Siracusa".

Quattro varietà di calcari sono state individuate tramite l'analisi autptica degli elementi lapidei dei monumenti di Acireale:

- 1) Calcarenite oolitica - il litotipo più utilizzato (Basilica Cattedrale Maria SS. Annunziata, Basilica di San Pietro e Paolo) è una calcarenite massiva di colore bianco-crema a struttura omogenea costituito per più del 90% da ooliti. Tale litotipo presenta analogie strutturali e tessiturali con il calcare oolitico ascrivibile alla formazione Monte Carruba, i cui affioramenti sono presenti principalmente nella Penisola della Maddalena e nell'isola di Ortigia (SR). Questa calcarenite si presenta sia con una granulometria ruditica e grossolana sia con una granulometria più fine; quest'ultima varietà è stata utilizzata principalmente nella realizzazione degli elementi architettonici decorativi dei monumenti (statue, fregi, capitelli).
- 2) Calcare a lumachella - è una calcarenite organogena molto compatta e cementata di colore grigio-giallastro (Basilica dei Santi Apostoli

Pietro e Paolo). I bioclasti sono costituiti essenzialmente da modelli interi ed esterni di gusci di bivalvi, che si concentrano in accumuli eterogenei generalmente paralleli alla stratificazione originaria del sedimento, e rare ooliti. Tale litotipo presenta analogie strutturali e tessiturali con la facies a lumachella della formazione Monte Carruba, affiorante nell'isola di Ortigia e nella penisola della Maddalena (SR).

- 3) Calcarenite - calcisiltite micritica - è presente abbondantemente negli elementi lapidei del prospetto principale della Basilica Cattedrale SS. Annunziata, è una calcarenite giallastra poco compatta con struttura eterogenea per la presenza di frammenti di gusci di bivalvi, tubi di vermi ed evidenti bioturbazioni di forma cilindrica. Tale litotipo presenta caratteristiche tessiturali simili alla "Pietra di Noto", calcare ascrivibile alla formazione Palazzolo ed affiorante nel territorio compreso fra Cassibile, Noto e Palazzolo Acreide.
- 4) Calcirudite organogena - è stato riconosciuto esclusivamente nelle 4 colonnine superiori del prospetto principale della Basilica cattedrale Maria SS. Annunziata. Questa litotipo è caratterizzato da struttura eterogenea per la presenza di numerosi bioclasti di bivalvi, tubi di vermi.

## IL DEGRADO

L'osservazione macroscopica preliminare ha permesso di individuare lo stato di conservazione dei monumenti oggetto di studio i quali sembrano interessati da diverse fenomenologie alterative frutto di processi biologici, fisici e chimici. Il weathering chimico, in questi ultimi decenni, ha subito un vero e proprio incremento esponenziale in conseguenza, soprattutto, degli effetti del sempre crescente inquinamento atmosferico. Le attività industriali ed urbane hanno, infatti, sempre più intensamente modificato la composizione dell'atmosfera e i monumenti rappresentano i più importanti indicatori di tale fenomeno, vittime di una combinazione di variabili interconnesse (predisposizione naturale al degrado, ubicazione, composizione dell'atmosfera, microclima, etc.) che con il passare del tempo possono decretare il loro lento ed inesorabile disfacimento. Gli inquinanti atmosferici ( $\text{SO}_2$ , NO,  $\text{NO}_2$ , CO, Pb.

Cd, Ni, O<sub>3</sub> e le particelle di aerosol atmosferico), prodotti dal traffico autoveicolare ed anche dall'emissione in atmosfera di ceneri vulcaniche e gas da parte dell'Etna, si configurano dunque come i maggiori responsabili dei fenomeni alterativi. Non va però dimenticato che il grado di alterazione di un materiale lapideo dipende anche dal grado di alterabilità dei minerali costituenti la roccia, dall'omogeneità e dalla superficie specifica esposta agli agenti distruttivi, quindi, dalle caratteristiche composizionali, tessiturali e strutturali dei differenti materiali da costruzione utilizzati nell'area.

Le rocce vulcaniche in genere sono scarsamente interessate da gravi fenomeni di alterazione come patine rossastre ed efflorescenze mentre limitatamente ai litotipi massivi si hanno processi di degrado quali le esfoliazioni, spesso associate all'azione dei sali. Le analisi petrografiche e geochimiche mostrano l'assenza di cambiamenti mineralogici e chimici confermando pertanto il carattere prettamente fisico delle tipologie di degrado riscontrate (Mazzoleni, 2007). In tali fenomeni la presenza di acqua sembra giocare un ruolo importante sia perché permette il trasporto di sali che si originano dal substrato o dall'apporto di aerosol marino e soprattutto nella generazione di stress interni in seguito alla cristallizzazione per idratazione di alcune specie saline (ad esempio l'idratazione di thenardite in mirabile).

Più complessi ed importanti sono i fenomeni di degrado che investono i litotipi calcarenitici, proprio per le peculiarità composizionali, tessiturali e strutturali che li caratterizzano. In particolare sono stati riconosciuti le seguenti forme di degrado:

- a) alveolizzazione: si manifesta con la formazione di cavità (alveoli) di forma e dimensione variabili dovuta all'azione disgregatrice esercitata dalla pressione di cristallizzazione dei sali all'interno dei pori del materiale lapideo;
- b) erosione differenziale: determina la messa in risalto degli antichi motivi tessiturali della roccia;
- c) distacco: il fenomeno prelude la caduta degli strati superficiali del materiale; spesso il distacco è generato dalla pressione esercitata da sali che cristallizzano al di sotto dello strato superficiale del materiale (subefflorescenze);
- d) efflorescenza: dovute alla presenza di sostanze saline, in genere di

- colore biancastro e di aspetto cristallino. Tale fenomeno si evidenzia principalmente nelle parti basali dei monumenti dove la risalita di soluzioni saline per capillarità è più efficace;
- e) crosta nera: tipico dei materiali lapidei di natura calcarea che si forma nelle zone maggiormente protette dall'azione di dilavamento della pioggia; essa si genera in seguito a trasformazione chimica del substrato calcareo (solfatazione) ad opera degli agenti inquinanti e a deposito di materiale aerotrasportato di varia natura;
  - f) patina biologica: con la formazione di un sottile strato di colore variabile, aderente alla superficie e di evidente natura biologica;
  - g) degrado antropico: quali integrazioni, sostituzioni, scritte e graffiti;
  - h) vegetazione infestante: presenza di piante superiori.

Al fine di condurre la caratterizzazione composizionale delle forme di degrado (croste nere, patine ed efflorescenze) riscontrate nei monumenti oggetto di studio, sono stati prelevati alcuni campioni dai paramenti murari degli edifici selezionati. Sui campioni selezionati sono state eseguite le indagini mineralogiche attraverso diffrattometria ai raggi X (XRF; vedi Fig. 4) e spettroscopia infrarossa in Trasformata di Fourier (FTIR; vedi Fig. 5).

## INDAGINI GEOFISICHE

Il tremore sismico, comunemente definito 'rumore sismico', esiste ovunque sulla superficie della Terra e riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino ( $10^{-15}$  [m/s<sup>2</sup>]<sup>2</sup> in termini di accelerazione). Esso è costituito principalmente da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali. Il rumore sismico è prodotto essenzialmente dal vento o dalle onde marine. Anche l'attività industriale o il traffico veicolare possono generare tremore sismico, soprattutto in alta frequenza (alcuni Hz), che si attenua rapidamente allontanandosi dalla sorgente.

Un aspetto interessante è che il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici. Infatti il rumore di fondo eccita le frequenze proprie di vibrazione del sottosuolo rendendole chiaramente visibili nello spettro del rumore sismico

misurato alla superficie. Esattamente nello stesso modo, se un edificio ha frequenze proprie di vibrazione, il tremore ecciterà maggiormente la struttura in corrispondenza di queste frequenze e l'effetto verrà rilevato misurando lo spettro di rumore all'interno dell'edificio.

L'amplificazione sismica è la prima causa degli effetti distruttivi del terremoto: se la frequenza di risonanza del sottosuolo coincide con quella degli edifici presenti, può avere luogo un fenomeno di accoppiamento fra le due modalità di vibrazione. Questo effetto di *amplificazione sismica* produrrà un aumento della sollecitazione sugli edifici.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, la tecnica che si è maggiormente consolidata è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare principalmente da Nakamura (1989). E' ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli. Riconosciuta questa capacità, ne risulta che il metodo HVSR può essere usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità ( $1-D$ ). Si consideri un sistema a due strati che si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $H$  del primo strato. Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore  $H$  degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto, ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per: il contenuto in frequenza, la risposta strumentale e l'ampiezza del segnale. La normalizzazione rende più semplice l'interpretazione del segnale, ed è alla base della popolarità del metodo. Inoltre i microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume,

e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. L'applicabilità pratica del metodo è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (Gallipoli et al., 2000; Mucciarelli e Gallipoli, 2001; Castellaro et al., 2005).

Nel caso della vulnerabilità sismica degli edifici, i modi di vibrazione che interessano maggiormente sono quelli orizzontali, poiché sono quelli più dannosi per le strutture che sopportano facilmente sforzi di compressione ma non di taglio, e poiché generalmente i solai negli edifici moderni hanno risposta spettrale piuttosto piatta.

E' noto che la loro frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dalla sua altezza e può essere pertanto stimata, in prima approssimazione, secondo la relazione: frequenza naturale edificio  $\approx$  10 Hz / numero piani. Fermo restando che si tratta di una semplificazione (le frequenze naturali reali degli edifici andrebbero misurate sperimentalmente), sono da attendersi condizioni di doppia risonanza quando la frequenza naturale dell'edificio è circa uguale alla frequenza naturale del terreno di fondazione.

Nella presente indagine tutte le misure di microtremore ambientale sono state effettuate con un tromografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (TROMINO-TM, 10x7x14 cm. 1 Kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da due batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati, amplificati e digitalizzati a 24 bit, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz. Tutte le misure in campo aperto sono state orientate secondo il Nord, mentre per le misure effettuate all'interno degli edifici si è orientato lo strumento nella direzione di uno degli assi dell'edificio stesso. Il segnale è stato acquisito in ciascun sito per circa 15 minuti, e i risultati presentati in questo lavoro sono stati ottenuti col software proprietario Grilla. Esso calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza, per ciascuna finestra. La funzione HVSR finale è data dalle media degli HVSR di ciascuna finestra. Per produrre l'HVSR finale le componenti orizzontali sono mediate tra loro con la media qua-

dratica e vengono poi divise per la componente verticale. Tutti i grafici presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con lisciamento secondo finestre triangolari con ampiezza pari al 5% della frequenza centrale. Dalle registrazioni sono state ricavate e analizzate due serie di dati: le curve HVSR e le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto. I segnali sono stati analizzati, anche secondo le procedure denominate “del sito di riferimento”. Tale metodo consiste nel riportare gli spettri in velocità delle tre componenti del moto, registrate all’interno degli edifici, alle medesime componenti del sito esterno, scelto come riferimento.

### LA PERICOLOSITÀ SISMICA

La pericolosità sismica viene definita da diversi parametri caratteristici del movimento del suolo (per esempio, l’accelerazione massima), mentre la scuotibilità rappresenta una misura degli scuotimenti che gli edifici subiscono durante un terremoto. La stima della pericolosità sismica e della scuotibilità confluisce nella costruzione di uno “spettro di risposta”, i cui valori stanno alla base della valutazione del carico sismico, anche ai sensi delle norme sismiche vigenti. In questo contesto si suppone che un edificio si comporti come un oscillatore armonico semplice che è assimilabile a un pendolo. I parametri caratteristici di questo modello sono la frequenza naturale dell’oscillatore e il fattore di smorzamento, che sono determinati dalla dimensione, dalla configurazione della struttura e dal materiale di cui è costituita.

L’accelerazione massima al suolo fornisce il valore di riferimento, dato che lo spettro di risposta, espresso in termini di accelerazione, converge per alte frequenze verso tale valore. La forma dello spettro di risposta rappresenta invece le risposte e gli scuotimenti relativi che gli edifici subiscono in funzione della loro tipologia. I metodi per la stima della pericolosità e della scuotibilità possono essere suddivisi in tre gruppi: approcci probabilistici; metodi empirici di regressione; metodi sintetici di simulazione.

Negli approcci probabilistici si stima la probabilità che un evento o un parametro come l’accelerazione massima, superi un certo livello entro un determinato lasso di tempo. Nei metodi di regressione, invece, si utilizzano relazioni empiriche tra caratteristiche della sorgente (magni-

tudo, intensità epicentrale, profondità e distanza sorgente – ricevitore) ed effetti riscontrati ai siti (accelerazione massima del suolo, intensità macrosismica, ecc.). Un serio problema di questi approcci risiede nel fatto che si considera di principio un solo parametro, nella maggior parte dei casi l'accelerazione massima del suolo. Il disegno dello spettro di risposta avviene in un passo successivo tenendo conto della situazione geologica dei siti in modo piuttosto generico. Nello stesso tempo non è garantito che le relazioni empiriche usate sia nell'approccio di regressione che nell'analisi probabilistica siano valide per la zona in considerazione. Data anche la scarsità di rilevanti terremoti registrati strumentalmente nell'area di Acireale, l'applicazione di approcci statistici e di metodi empirici appare assai problematica. Si è quindi utilizzato un approccio sintetico secondo il metodo di Boore (1983), modificato da Langer (1986). Esso si basa sulla simulazione del segnale sismico tenendo conto delle caratteristiche fisiche della sorgente di un terremoto di scenario e dei cambiamenti che le onde subiscono durante la propagazione dalla sorgente alla superficie. In tal modo è possibile stimare la pericolosità e la scuotibilità in base alle condizioni dei siti individuali. Come risultato del metodo si ottengono i sismogrammi sintetici completi, da cui si ricavano gli spettri di risposta. In Sicilia tale procedura è già stata applicata con successo per la zonazione sismica delle aree urbane di Catania e di Ragusa Ibla (Gresta e Langer, 1999; Gresta et al., 2004).

La simulazione di una sorgente sismica segue il modello stocastico di Hanks e McGuire (1981) e Boore (1983). Si rimanda a questi autori per la formulazione del problema e i relativi sviluppi matematici.

E' invece importante rimarcare che, durante il loro percorso verso la superficie, le onde sismiche subiscono delle modifiche dovute alla riflessione, alla rifrazione e all'assorbimento. Tali effetti vengono descritti matematicamente nella funzione di trasferimento del mezzo stratificato. Nel metodo qui applicato si ottiene la funzione di trasferimento TFF(f) nel dominio delle frequenze mediante le matrici di Haskell (1953). In particolare vengono considerate le onde di taglio con una polarizzazione orizzontale (onde "SH"), dato che queste sono le più importanti per la pericolosità sismica. La struttura geologica in questo contesto è rappresentata da una sequenza di strati orizzontali, posti su un semispazio infinito, che contiene la sorgente sismica.

Il calcolo dello spettro di risposta consta di diverse fasi. Anzitutto, si selezionano il periodo naturale e il fattore di smorzamento. Successivamente si calcola il relativo spostamento dell'oscillatore, cioè la risposta in relazione al terreno e si osserva la sua massima ampiezza. Questo passaggio viene ripetuto per un insieme di frequenze naturali in modo da ottenere uno "spettro" di risposta. Data la natura stocastica del modello della sorgente la simulazione di accelerogrammi sintetici viene ripetuta  $n$  volte. In tal modo si ottengono  $n$  rappresentazioni del processo statistico che sta alla base del modello. Con la variazione dei parametri di ingresso del modello durante ogni simulazione si tiene inoltre conto delle incertezze della conoscenza di tali grandezze. In questo studio sono state eseguite 50 simulazioni per ogni sito e ogni scenario: si sono poi ricavati i valori medi ed i valori medi  $+1$  deviazione standard dei parametri caratteristici dei segnali (valori "84%"), nonché i relativi spettri di risposta.

La stima della pericolosità tramite l'approccio sintetico si basa quindi sulla definizione di scenari sismici, considerando i terremoti importanti verificatisi anche ad una notevole distanza. In alternativa (e/o a complemento) si ipotizzano degli eventi locali, anche di magnitudo modesta, che comunque possono causare notevoli danni a scala locale.

Una sintesi della sismicità della Sicilia orientale è stata pubblicata da Azzaro e Barbano (2000). Il principale evento è quello del 11 gennaio 1693,  $M=7$ ,  $I_0 = XI$ , che può essere considerato come terremoto caratteristico della Sicilia sudorientale. Gli effetti prodotti da questo terremoto sono ben documentati, e secondo la valutazione macrosismica esso ha avuto in Acireale effetti corrispondenti a una intensità del  $X^o$  grado. Ad Acireale si sono riscontrati effetti rimarchevoli anche per terremoti di magnitudo più modesta. Tra questi è da menzionare l'evento sismico del 20 Febbraio 1818, la cui intensità in Acireale è stata dell' $VIII^o$  grado. L'epicentro per questo secondo terremoto di scenario è stato posto a circa 5 km a sud del centro storico di Acireale.

Dall'applicazione del metodo sopra descritto, si ricava che l'ampiezza del segnale dipende in modo significativo dalla frequenza limite inferiore  $f_0$  e dallo "stress drop"  $\tau$ . In prima approssimazione si può ipotizzare che lo stress drop in una determinata zona sismogenica sia costante, e pertanto non dipenda dalla magnitudo o dal momento sismico del terremoto. In quest'ottica tale valore controlla la relazione

fra momento sismico (o magnitudo) ed estensione geometrica della sorgente. La stima dello stress drop per eventi storici è afflitta da notevoli incertezze. Per tutte le simulazioni sintetiche si è pertanto scelto di utilizzare un valore di  $\tau=200$  bar, come stimato per il terremoto regionale del 13 dicembre 1990 ( $M=5.5$ ). Tutti i parametri della sorgente, cioè coordinate ipocentrali, momento sismico e stress drop sono stati sottoposti ad una variazione casuale attorno i valori di riferimento. Le deviazioni standard del momento sismico e dello stress drop sono state fissate pari al 50%, quella per la profondità pari al 20%. Il catalogo dei forti terremoti in Italia (Boschi et al., 1995) riporta l'epicentro del terremoto del 1693 nei pressi di Catania, mentre Azzaro e Barbano (2000) favoriscono una posizione sulla Scarpata Ibleo-Maltese, ca. 20 km ad est della ubicazione del CFT. Le coordinate del CFT rappresentano il caso più conservativo e vengono pertanto, in questa sede, preferite a quelle di Azzaro e Barbano (2000). Un'ulteriore incertezza deriva dal fatto che le sorgenti sismiche in realtà non sono puntiformi ma hanno una determinata estensione che cresce con l'aumentare della magnitudo (o del momento sismico). L'estensione geometrica della sorgente del terremoto del 1693, per esempio, può essere stimata in ca. 200 km<sup>2</sup>. Siccome l'ipocentro rappresenta un solo punto sulla sorgente estesa, le sue coordinate sono state sottoposte ad una variazione casuale la cui deviazione standard varia da caso a caso, tenendo conto sia dell'incertezza delle coordinate stesse sia della estensione dell'evento. Si è scelta una deviazione standard di 20 km per lo scenario del terremoto del 1693 e di 2 km per lo scenario di un evento locale con parametri corrispondenti al terremoto nel 1818. Infine, per entrambi i terremoti di scenario si è utilizzata un'unica profondità ipocentrale, pari a 15 km. Oltre alle caratteristiche dei terremoti di scenario, per la generazione dei accelerogrammi sintetici, è necessaria la conoscenza di un modello geologico generale. La situazione puntuale ai vari siti viene determinata dalla loro posizione stratigrafica rispetto al modello generale e dalla litologia locale. Tutti i parametri geotecnici sono stati sottoposti ad una variazione casuale con una distribuzione uniforme attorno ai valori medi. La deviazione standard di questa variazione è del 10% per tutti i parametri, come indicato da Casadio e Elmi (1995).

## RISULTATI

I risultati ottenuti dalle diverse indagini sugli otto edifici di interesse oggetto della presente indagine sono analiticamente riportati nel DVD annesso al presente volume.

Qui di seguito, allo scopo di mostrare i diversi passi metodologici dell'indagine svolta, si riportano dettagliatamente i risultati relativi alla Cattedrale, mentre nelle considerazioni conclusive si fornirà un quadro sintetico dei risultati nel loro complesso.

L'indagine di sismica passiva a stazione singola è stata effettuata attraverso l'esecuzione di 16 misure di microtremore ambientale, suddivise tra l'interno della Cattedrale (Fig. 6), le due torri campanarie (Foto 1, 2 e 3) e una misura esterna all'edificio (Foto 4).

La misura a stazione singola in campo aperto è stata effettuata orientando lo strumento secondo il Nord, mentre per le misure effettuate all'interno della Cattedrale si sono adottati i seguenti accorgimenti: i) direzione E-W dello strumento lungo l'asse principale dell'edificio; ii) direzione N-S dello strumento nella direzione perpendicolare all'asse principale dell'edificio.

Dall'analisi dei rapporti spettrali HVSR relativi al segnale registrato all'esterno della Cattedrale (Fig. 7), si evidenzia una modesta amplificazione (circa 4) sulla banda di frequenze 1-4 Hz; in particolare è presente la frequenza di risonanza propria del sottosuolo, tra 2 e 2.5 Hz, con amplificazione poco maggiore di 5. Risulta abbastanza evidente una certa direzionalità del segnale (Fig. 8) poichè la componente E-W del microtremore risulta più amplifica rispetto alla componente N-S.

In Figura 9 è riportato il rapporto tra lo spettro in velocità della componente N-S del moto registrato sulla facciata (Sito P, vedi foto 1) e lo spettro della stessa componente del segnale registrato al sito esterno (vedi Fig. 6 e foto 4). Si nota un'amplificazione del moto, alla frequenza di circa 2.2 Hz, pari a circa 14 (Modo Fondamentale). A frequenze maggiori si notano delle amplificazioni che rappresentano i Modi Superiori. Per la componente E-W, si è trovata un'amplificazione del moto a circa 2.2 Hz (Modo Fondamentale), pari a 11. La coincidenza della frequenza fondamentale dell'edificio con la frequenza fondamentale del sottosuolo (vedi Fig. 7) potrebbe comportare effetti di doppia risonanza in caso di evento sismico. Sempre utilizzando la metodologia del sito di riferimento, le misure effettuate sulle due torri campanarie (Siti Q ed O,

vedi foto 1) hanno evidenziato, per la componente E-W (Fig. 10), che la torre sud ha un'amplificazione maggiore (circa 20) rispetto alla torre nord (circa 13). Per la componente N-S, l'amplificazione delle due torri risulta essere uguale (circa 20).

Infine, in Figura 11 sono mostrati gli spettri sintetici relative ai due terremoti di scenario, calcolati al sito su cui insiste la Cattedrale. I valori di accelerazione al sito calcolati per il terremoto del 1693, il maggiore verificatosi in Sicilia Orientale in epoca storica, sono più elevati rispetto a quelli relativi al terremoto locale. In entrambi i casi non si osservano amplificazioni particolari, per ben definite bande di frequenza.

Per quel che riguarda i materiali lapidei utilizzati per la realizzazione del *prospetto* della Cattedrale, questi sono riportati in Figura 12. Da rimarcare che il *prospetto* venne realizzato a partire dal XVII secolo, mentre i due campanili, in stile gotico con base ottagonale, pur se identici non sono coevi. Infatti il campanile sul lato sud (torre vecchia) e la cupola sono del 1655, mentre il campanile sul lato nord (torre nuova), il rosone e le restanti decorazioni del *prospetto* sono invece in stile neogotico, realizzati nel 1890. L'interno, a croce latina (Figura 4), è in stile barocco. Per quanto concerne le diverse forme di degrado censite, queste sono riportate nella scheda di Figura 13.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati di questo lavoro, volto alla conoscenza e caratterizzazione dei materiali utilizzati e all'analisi del rischio a cui sono oggi soggetti otto edifici caratteristici del patrimonio artistico del centro storico di Acireale, sono di seguito sintetizzati.

L'architettura del centro storico di Acireale è in molti casi contraddistinta dalla bicromia delle facciate dei palazzi e delle chiese. Tale aspetto è stato in molti casi ottenuto grazie al sapiente uso di alternanze di rocce vulcaniche basiche "pietra nigra" e di calcari "pietra di Siracusa" (figura duomo). Questo ultimo termine in realtà racchiude differenti tipi di calcareniti, calcilutiti e calciruditi con differenti caratteri mineralogografici e petro-fisici. La determinazione di tali caratteri, in primo luogo con analisi in situ e successivamente con le prove di laboratorio, assume un ruolo fondamentale nello studio dei processi di degrado dei materiali lapidei (Fitzner et al., 1998). Tale approccio è stato quello

seguito nella analisi di alcuni tra i più pregevoli monumenti di Aci-reale. Le forme di degrado più comunemente riscontrate sono legate, oltre che alla natura dei materiali, a differenti fattori i più importanti dei quali sono la presenza di acqua per risalita capillare e di aerosol marino (alveolinizzazione, patine biologiche, bande di umidità, efflorescenze), l'inquinamento atmosferico, la presenza di polveri e di ceneri vulcaniche (croste nere) e l'incuria dell'uomo.

Per quel che riguarda le forme di degrado associate alle tipologie di materiale lapideo, tutti i campioni di crosta nera oggetto di studio, indipendentemente dal substrato, sono risultati caratterizzati da gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Tra le fasi accessorie, sono state riscontrate tracce di weddellite ( $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2 + x \text{H}_2\text{O}$ ).

Le analisi (XRD e FTIR) condotte sui campioni di efflorescenze saline prelevate principalmente da intonaci utilizzati per il rivestimento esterno dei paramenti murari hanno, invece, messo in evidenza la presenza di thenardite.

Il solfato di sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) è un sale estremamente pericoloso perché forma cristalli, che in relazione a variazioni d'umidità, possono assumere volumi differenti, sottoponendo il materiale originale a continui stress meccanici. Inizialmente il sale cristallizza anidro mentre, in condizioni di elevata umidità ed intorno a valori di temperatura compresi fra  $-1.40$  e  $+35^\circ\text{C}$ , cristallizza decaidrato, aumentando notevolmente di volume e causando all'interno dei materiali porosi forti tensioni che ne causano il rapido deterioramento.

Lo svilupparsi di tale forma di alterazione causa rigonfiamento ed esfoliazione, pertanto, il degrado procede per cicli successivi portando alla perdita di materiale (centimetri e a volte decimetri) in pochi decenni.

L'entità del degrado aumenta per varie ragioni, in particolare, si assiste ad un aumento di volume (il gesso ha un volume maggiore rispetto alla calcite) e tale trasformazione genera tensioni considerevoli all'interno del substrato lapideo causando decoesione e/o distacco di frammenti. Inoltre, la maggiore capacità di assorbimento della radiazione solare da parte dei livelli anneriti produce una differente dilatazione, che associata alla differente dilatazione lineare del gesso rispetto alla pietra sottostante, determina spesso la laminazione della superficie.

Per quel che riguarda la stima della pericolosità sismica al sito, quat-

tro degli otto siti (Chiesa di Santa Maria del Suffragio, Basilica dei Santi Apostoli Pietro e Paolo, Chiesa Maria SS. della Purità, Chiesa dei Crociferi) non presentano significativi valori di amplificazione legata alla geologia superficiale. I restanti quattro siti mostrano soltanto modesti valori (compresi tra 5 e 7) dell'amplificazione. Il confronto fra le frequenze proprie dei terreni di fondazione e quelle caratteristiche degli edifici offre un ulteriore confortante elemento. Soltanto la Cattedrale ha mostrato valori quasi coincidenti fra il modo fondamentale di vibrazione dell'edificio e la frequenza propria del sito. Questo è l'unico caso, tra gli otto esaminati, in cui sembra possibile il verificarsi, in concomitanza con lo scuotimento del suolo dovuto a un sisma, del fenomeno della doppia risonanza.

Per quel che concerne le sollecitazioni attese, sono state analizzate le coppie di spettri sintetici, ottenute per ogni sito simulando l'effetto di due possibili terremoti di scenario. In valore assoluto, le maggiori accelerazioni calcolate si osservano per i siti su cui insistono la Biblioteca Zelantea, la Chiesa dei Crociferi, la Chiesa di Santa Maria degli Angeli e la Basilica di San Sebastiano. Inoltre, non mancano alcune evidenze, apparentemente contrastanti. Per la maggioranza dei siti il massimo evento atteso (terremoto regionale del 1693) induce accelerazioni maggiori rispetto al secondo terremoto di scenario (evento locale del 1818). Tuttavia, per i siti su cui insistono la Biblioteca Zelantea e la Basilica di San Sebastiano, è proprio questo secondo terremoto di scenario a produrre le maggiori accelerazioni. In sintesi si può concludere che i risultati delle simulazioni mostrano un "carico sismico", per gli otto edifici indagati, che può essere definito come variabile tra modesto e moderato.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.

Azzaro R., Barbano M.S. (2000). Analysis of the seismicity of South-eastern Sicily: a proposed tectonic interpretation. *Ann. Geofis.*, 43, 171-199.

Barone G., Branca C., Gresta S., Imposa S., Leone A., Majolino D. (2004). Geoarcheometry and geophysical methodologies applied to the study of cultural heritage: "St Agata la Vetere" in Catania (Sicily, Italy). *J. Cultural Heritage*, 5, 263-271.

Boore D.M. (1983). Stochastic simulation of high frequency ground motion based on seismological models of radiated spectra. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 1865-1894.

Boscarino S. (1992). Vaccarini architetto. *Catania, Ed. Banca Agricola Emea*.

Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smiriglio G., Valensise G. (1995). Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.c. al 1980. *Istituto Nazionale di Geofisica, Storia Geofisica Ambiente*, Bologna, 973 pp.

Carbone S., Grasso M., Lentini F. (1982). Considerazioni sull'evoluzione geodinamica della Sicilia sud-orientale dal Cretaceo al Quaternario. *Mem. Soc. Geol. It.*, 24, 367-386.

Casadio M., Elmi C. (1995). Il manuale del geologo. *Pitagora Editrice*, Bologna.

Castellaro S., Mulargia F., Bianconi L. (2005). Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica. *Geologia Tecnica e Ambientale*, vol. 3.

Cirincione R., Lombardo T. et al. (2000). I materiali lapidei utilizzati nel chiostro di levante del Monastero di S. Nicolò l'Arena di Catania e considerazioni sul loro degrado. *Boll. Acc. Gioena Sci. Nat.*, 33, 175-186.

Fichera F. (1934). G.B. Vaccarini e l'architettura del Settecento in Sicilia. *Reale Accademia d'Italia, Rome*, pp 174-229.

Fritzner B., Heinrichs K. (1998). Damage Diagnosis at natural stone monuments – mapping and measurements. *Proceedings 4<sup>th</sup> International Congress "Restoration of Buildings and Architectural Heritage"*. Centro Internazionale para la Conservacion del Patrimonio, CICOP, Spain, 170-172.

Gallipoli R., La Penna V. et al. (2000). Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy. *European J. Environm. Eng. Geophys.*, 4, 117-128.

Gaudio G. (1929). L'Abbazia di S Nicolò l'Arena di Catania. *Archivio Storico per la Sicilia Orientale*, 2, 227-243.

Gresta S. (1990). Sismicità in ambiente vulcanico. L'Etna. *Proceedings 2<sup>nd</sup> Workshop "Aree sismogenetiche e rischio sismico in Italia."* (E. Boschi e M. Dragoni eds.), 509-519.

Gresta S., Bella D., Musumeci C., Carveni P. (1997). Some efforts on active faulting processes (earthquakes and aseismic creep) acting on the eastern flank of Mt. Etna (Sicily). *Acta Vulcanol.*, 9, 101-108.

Gresta S., Langer H., 1999. Simulazioni "strong ground motion" nell'area urbana di Catania. In: *Carta geologica dell'area urbana di Catania. Scala 1:10.000*. Editrice S.E.L.C.A., Firenze.

Gresta S., Langer H., Mucciarelli M., Gallipoli M.R., Imposa S., Letticia J., Monaco C. (2004). The site response in the city of Ragusa-Ibla (Sicily) by using microtremors and strong ground motion simulations. In: *Risk Analysis IV* (C.A. Brebbia ed.), WIT Press, Southampton, pp. 93-101.

Hanks T.C., McGuire R.K. (1981). The character of high frequency strong ground motion. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 2071-2095.

Haskell N.A. (1953). The dispersion of surface waves in layered media. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 43, 17-34.

Kanai K. (1957). The requisite conditions for predominant vibration of round. *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, 31, 457.

Lachet C., Bard P.Y. (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitation of Nakamura's technique. *J. Phys. Earth*, 42, 377-397.

Langer H. (1986). Seismotektonische Herdparameter und Ausbreitungseffekte bei Mikroerdbeben im Bereich der westlichen Schwäbischen Alb. *Berichte Institut für Geophysik Univ. Stuttgart*, 2, 1-113.

Mazzoleni P. (2007). The use of volcanic stones in architecture: the example of Etnean region. An overview. *Acta Vulcanol.*, in print.

Mazzoleni P., Punturo R., Russo L.G., Censi P., Lo Giudice A., Marletta D., Pezzino A. (2003). I materiali lapidei dell'apparato di facciata della Chiesa di S.Nicolò l'Arena di Catania: caratterizzazione e considerazioni sulla provenienza. In: *Proceedings of National Congress AIAR*, Ravello, 6-7 February, 2003.

Mucciarelli M., Gallipoli M.R. (2001). A critical review of 10 years of microtremor HVSR technique. *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, 42, 255-266.

Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *QR Railway Tech. Res. Inst.*, 30, 25-33.

Nogoshi M. e Igarashi T., 1970. On the propagation characteristics of microtremors. *J. Seism. Soc. Japan*, 23, 264-280.

Punturo R., Russo L. et al. (2006). Building stone employed in the historical monuments of Eastern Sicily (Italy). An example: the ancient City centre of Catania. *Environ. Geol.*, 50, 156-169.

Rodolico F. (1953). *Le pietre delle città d'Italia*. Le Monnier, Firenze, pp 492.

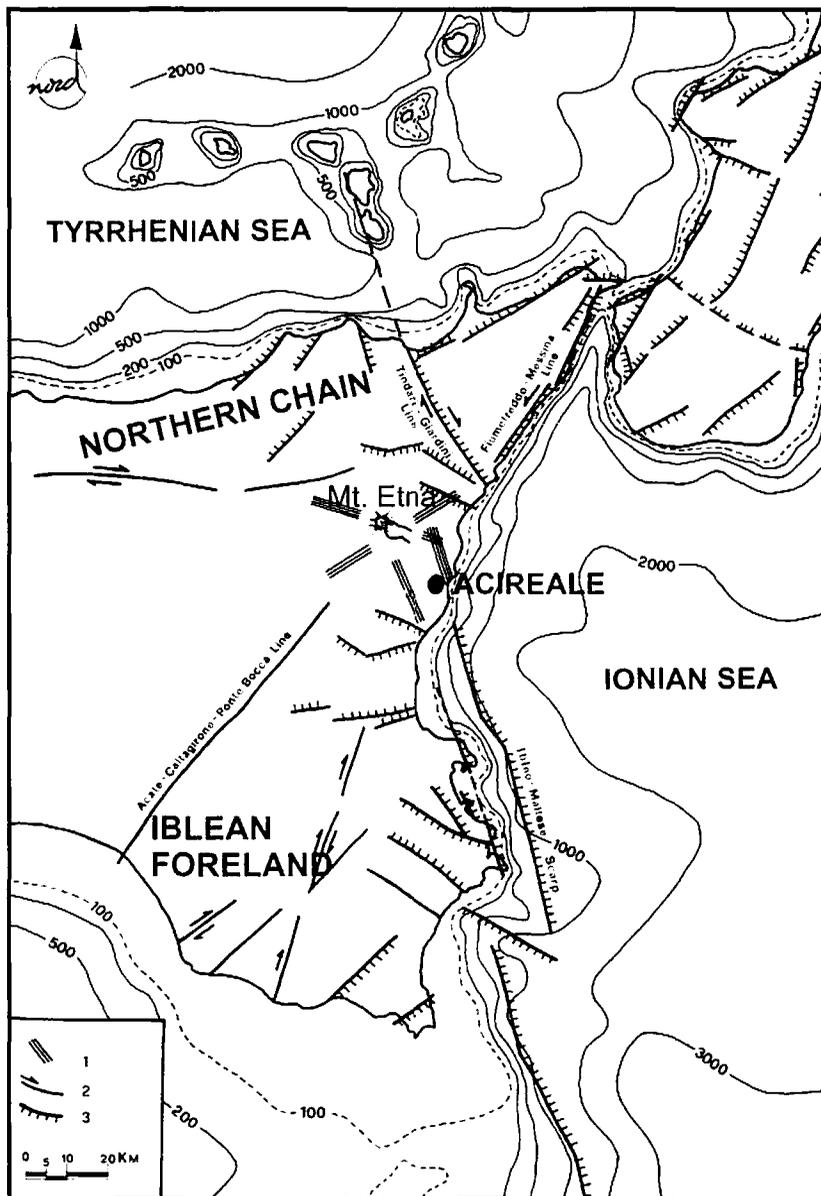


Fig. 1 – Mappa schematica della Sicilia Orientale, riportante i principali elementi geologici e strutturali.

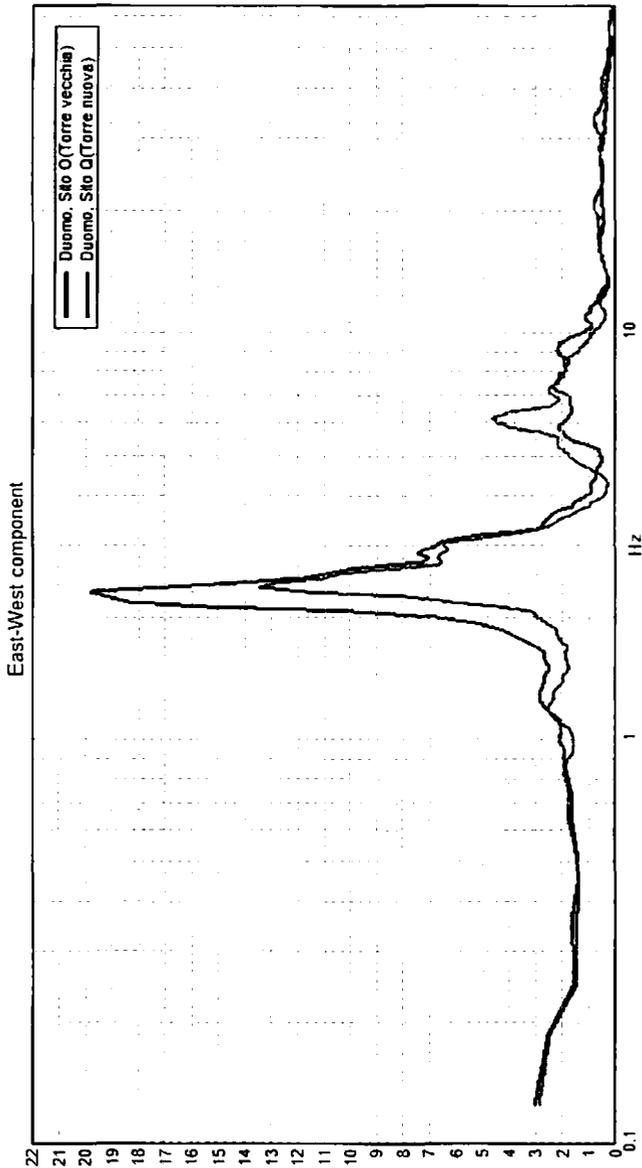


Fig. 2 – Carta geologica del centro storico di Acireale con l'ubicazione degli edifici oggetto di studio e dei sondaggi meccanici riportati in figura 3.

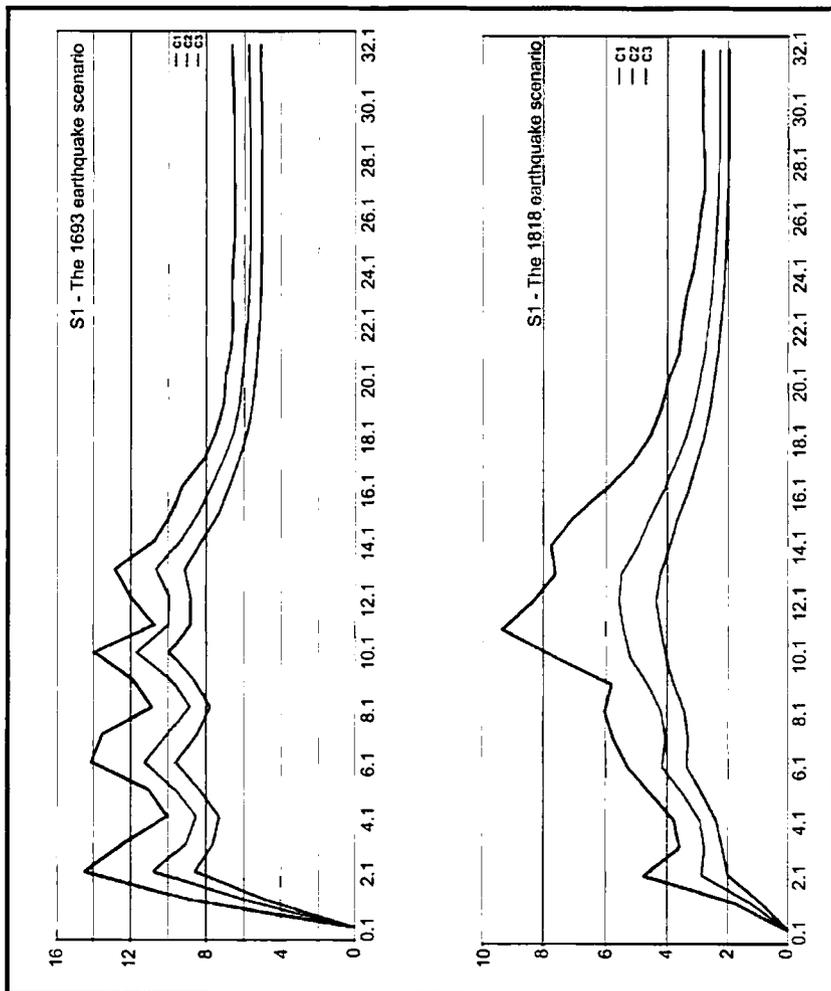


Fig. 10 – Rapporti spettrali della componente E-W, ottenuti con il metodo del sito di riferimento, relativi alla torre sud (vecchia) e alla torre nord (nuova) della Cattedrale.

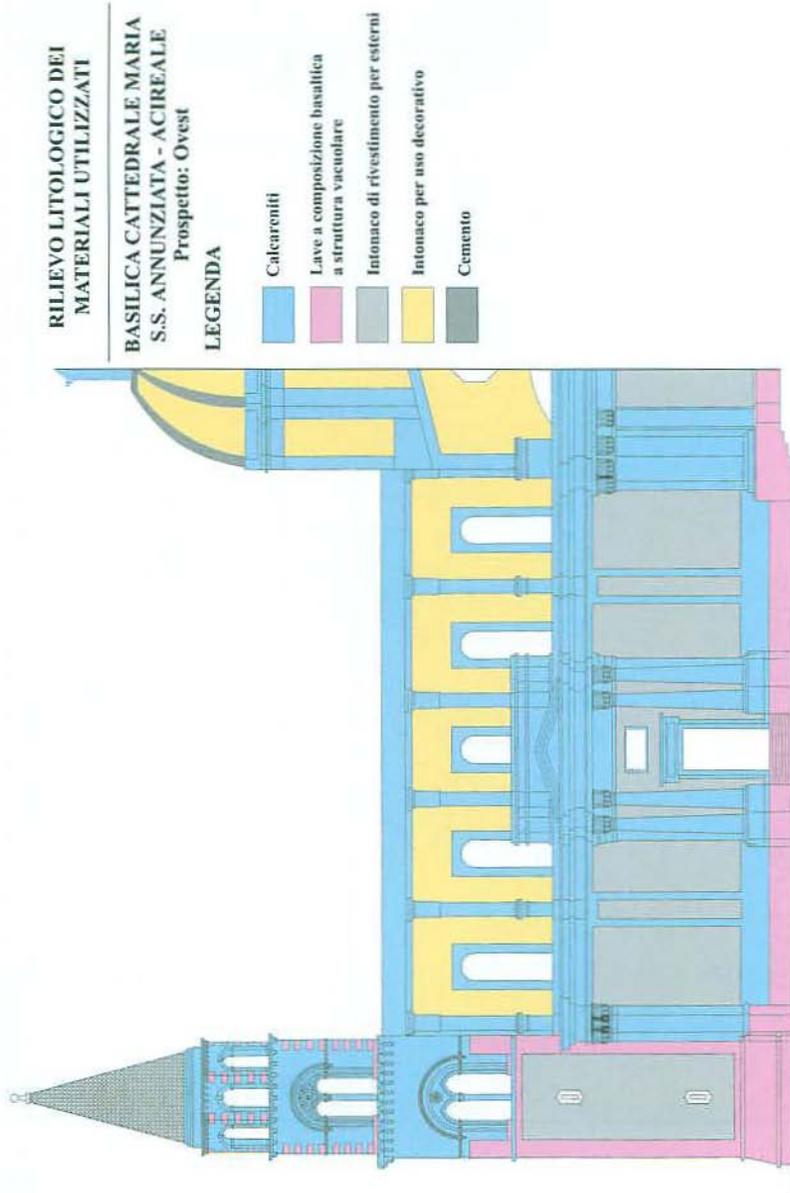


Fig. 4 – Analisi XRD delle croste nere campionate sulla facciata del Duomo.



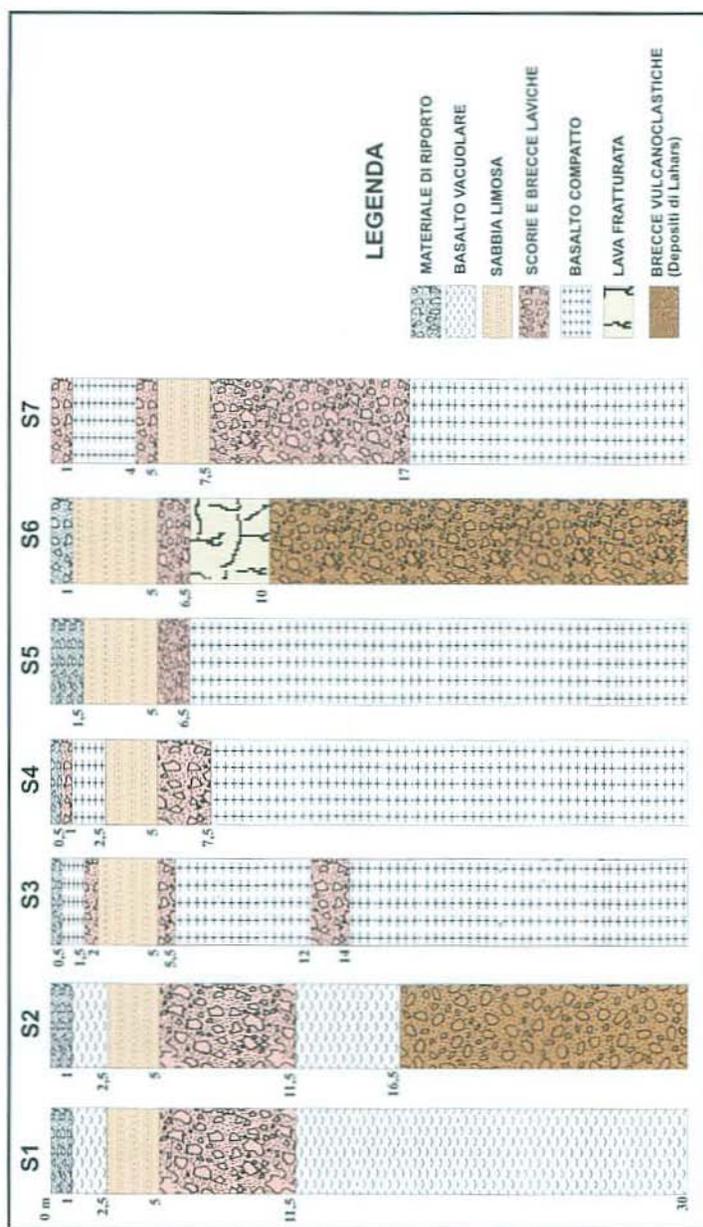


Fig. 3 – Stratigrafie geologiche relative ai sondaggi utilizzati (vedi testo per dettagli).

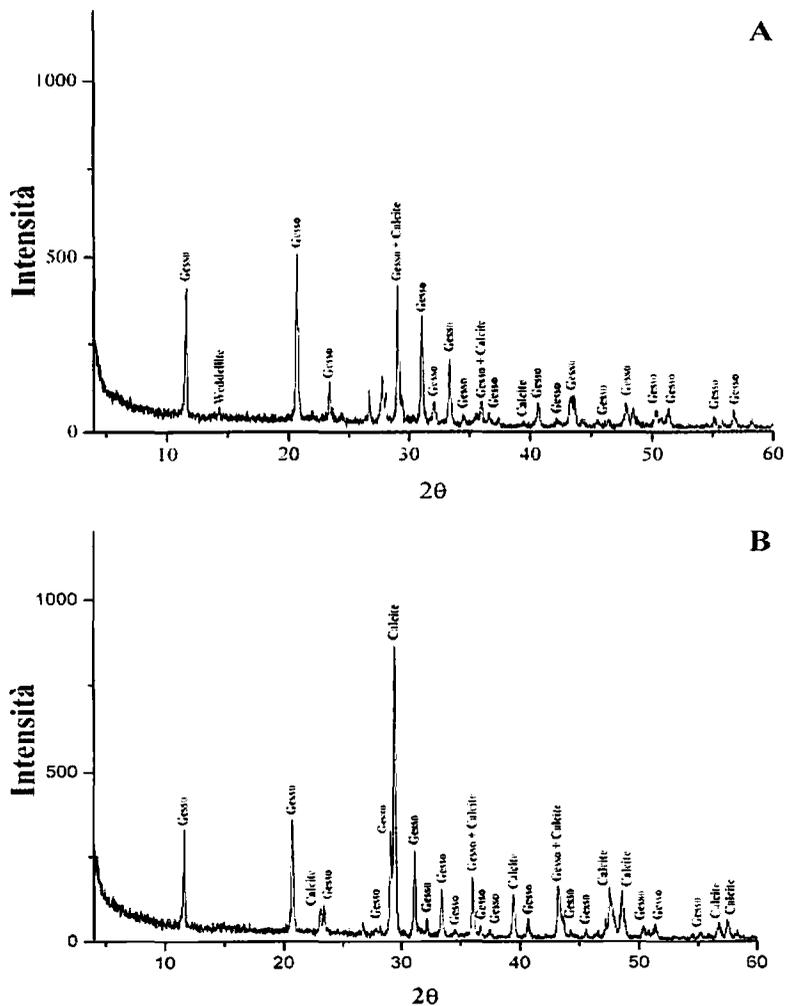


Fig. 12 – Prospetto della Cattedrale riportante i materiali lapidei utilizzati per la sua realizzazione.

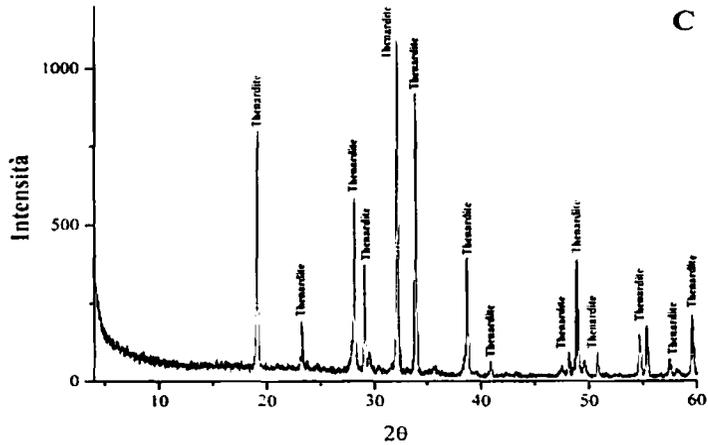


Fig. 5 – Analisi XRD (in alto) e FTIR delle efflorescenze campionate sulla facciata della chiesa di S. Camillo (in foto).

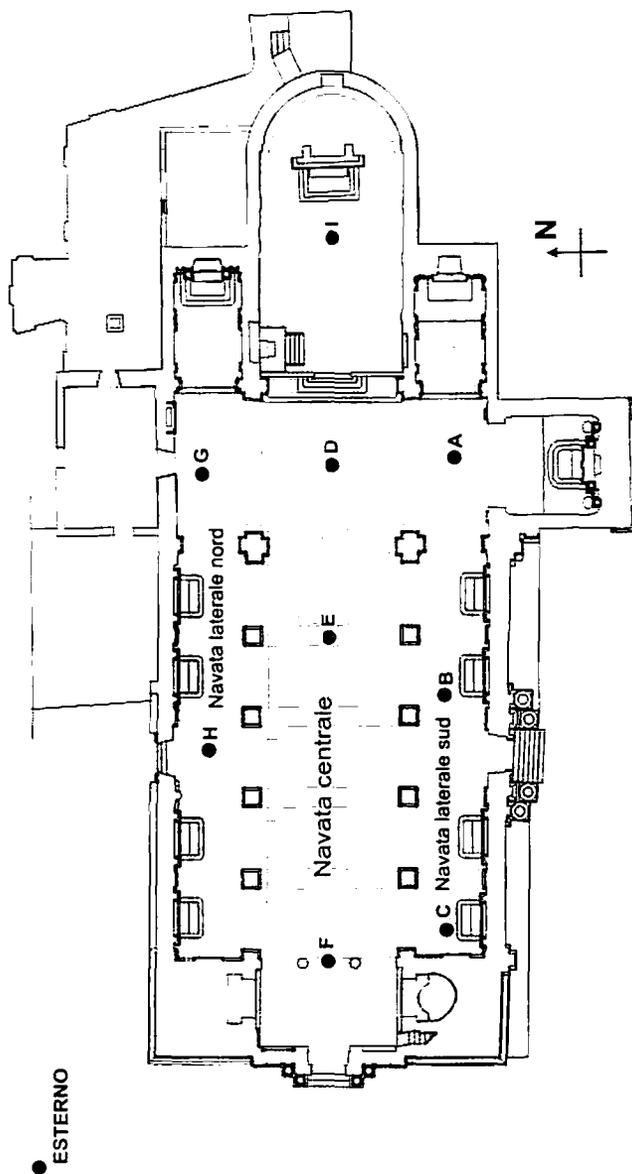


Fig. 6 – Planimetria della Cattedrale con ubicazione dei siti di registrazione del microtremore ambientale.

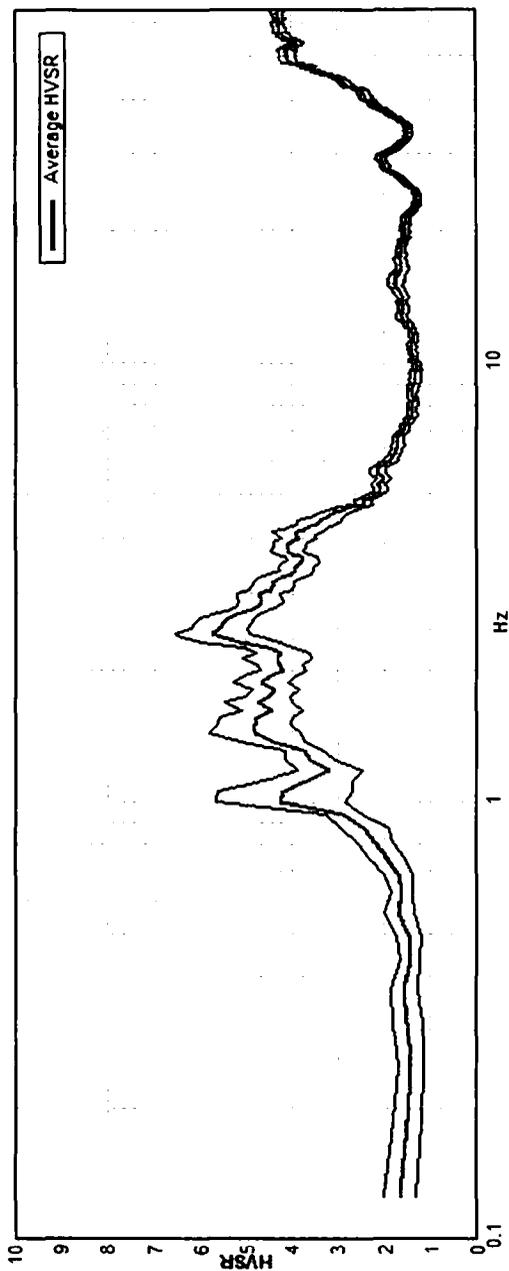


Fig. 7 – Rapporto spettrale HVSR relativo al microtremore registrato all'esterno della Cattedrale.

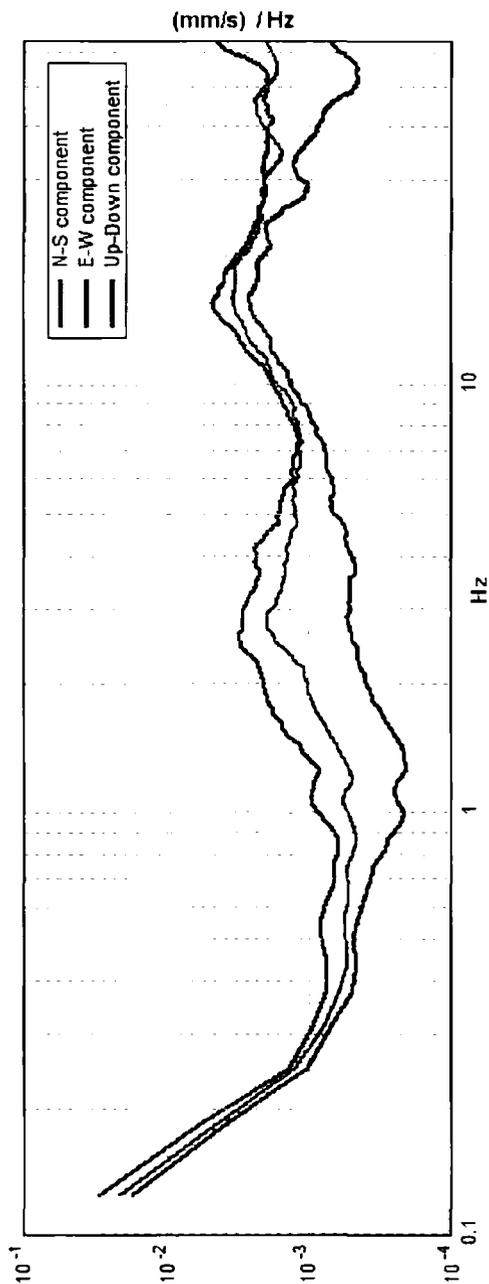


Fig. 8 – Spettri in velocità delle tre componenti del moto relativo al microtremore registrato all'esterno della Cattedrale.

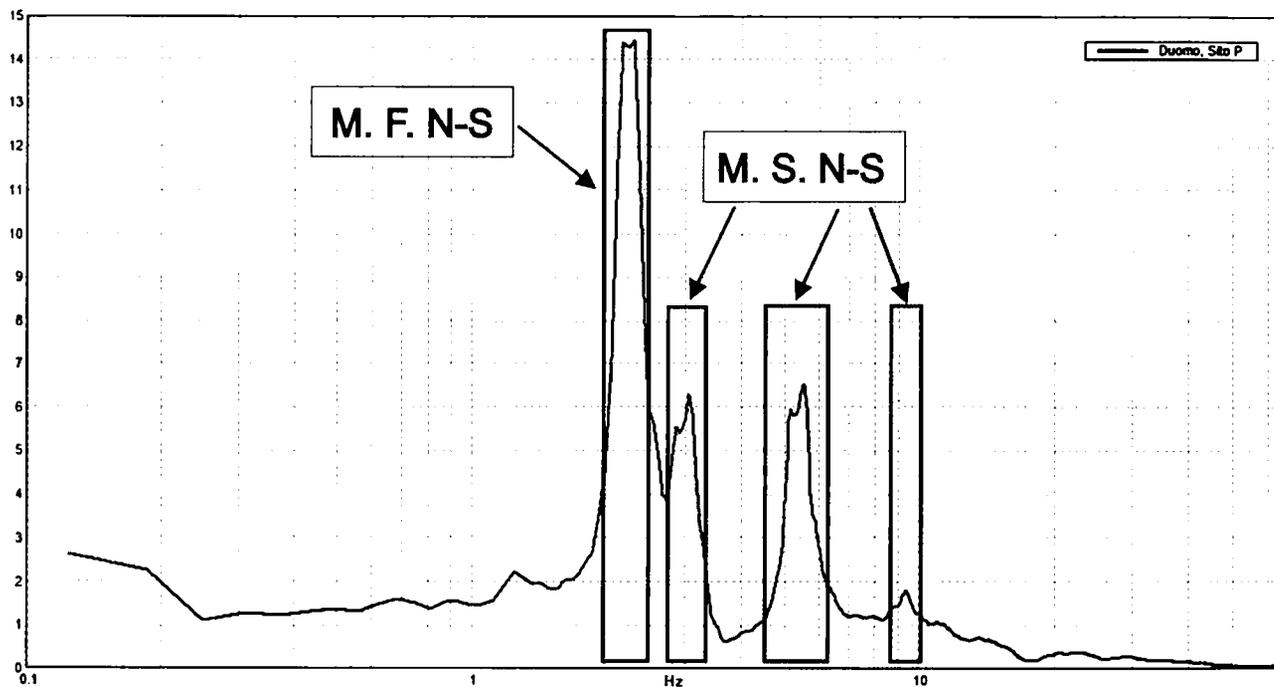


Fig. 9 – Sito P della Cattedrale: rapporto spettrale della componente N-S, ottenuto con il metodo del sito di riferimento. Risultano evidenti il Modo Fondamentale (M. F.) e i Modi Superiori (M. S.) di vibrazione tipici dell'edificio.

	Materiali	Forme di degrado
	<p><u>Pietra lavica ad occhio di pernice</u>          Utilizzata nel basamento e nelle paraste del prospetto principale e laterale</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bande di umidità</li> <li>• Efflorescenze</li> </ul>
	<p><u>Marmo bianco</u>          Utilizzato nel portale d'ingresso principale</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Patine biologiche</li> <li>• Principio di croste nere</li> </ul>
	<p><u>Calcarenite oolitica</u>          Utilizzato in alcuni elementi architettonici lapidei del prospetto laterale (base delle colonne)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Patine biologiche</li> <li>• Croste nere</li> <li>• Degradazione differenziata</li> <li>• Principio di alveolizzazione</li> <li>• (colonne prospetto laterale)</li> </ul>
	<p><u>Calcarenite bianco-giallastra</u>          Utilizzata nella maggior parte degli elementi architettonici lapidei dei prospetti principale (I e II ordine) e laterali (colonne, finestre)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Patine biologiche</li> <li>• Croste nere</li> <li>• Degradazione differenziata</li> <li>• Degrado antropico</li> </ul>

Fig. 13. – Scheda tipo (in questo caso relativa alla Cattedrale) riportante le forme di degrado individuate.

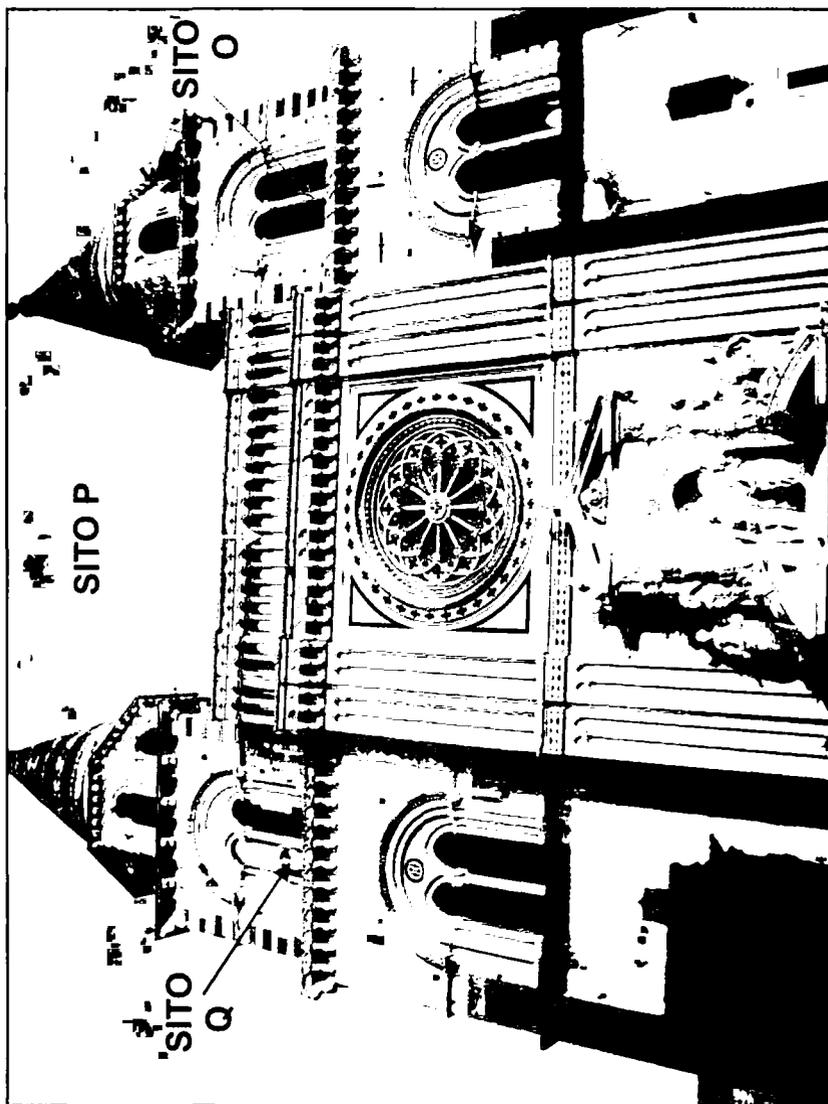


Foto 1 – Facciata della Cattedrale, con ubicazione dei siti di misura del microtremore.

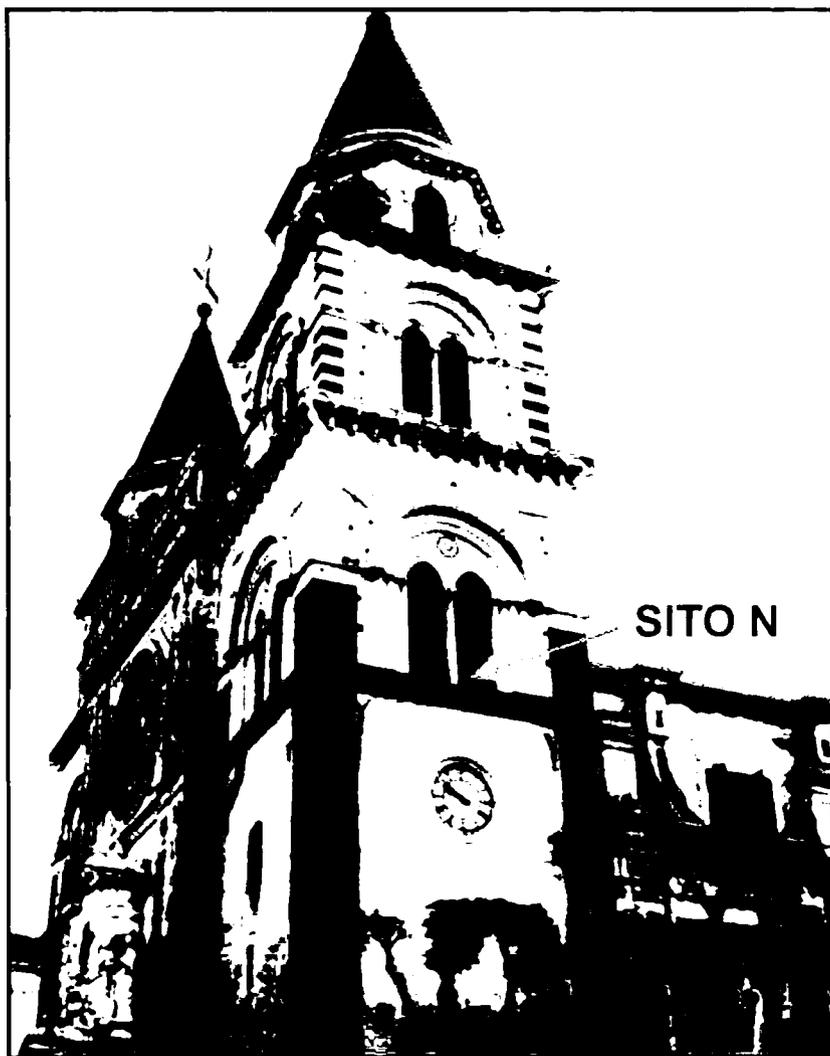


Foto 2 – Ubicazione del sito di misura del microtremore effettuata sulla torre campanaria della Cattedrale, lato sud.

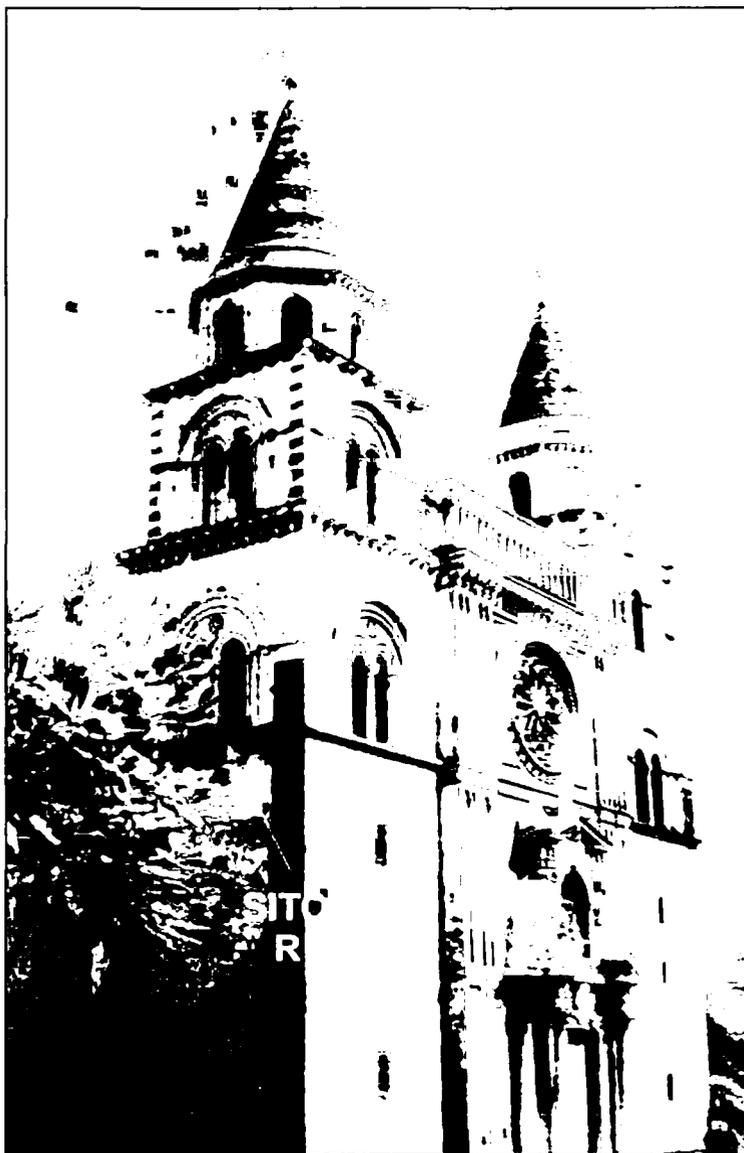


Foto 3 – Ubicazione del sito di misura del microtremore effettuata sulla torre campanaria della Cattedrale, lato nord.



Foto 4 – Esterno della Cattedrale, con ubicazione del sito esterno di misura del microtremore.