



Prof. Ing. Vincenzo Cotecchia

STUDIO GEOLOGICO-TECNICO E STATO DI CONSERVAZIONE

Repubblica Italiana - Ministero dei Lavori Pubblici
Concorso Internazionale per la sistemazione dei Sassi di Matera



*Biblioteca Provinciale
Tommaso Stigliani*



Vincenzo Cotecchia

Studio geologico-tecnico e stato di conservazione

Prima edizione digitale marzo 2023

ISBN: 978-88-89313-80-0

EDIZIONE A CURA DI DOMENICO SCAVETTA E FELICE LISANTI

Si ringraziano

Michele Morelli per aver messo a disposizione la copia originale da cui è tratta questa riedizione digitale

Antezza Tipografi – grafica copertina

Quest'opera è distribuita con *Licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 4.0 Internazionale* (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



Indice

Colophon

Nota editoriale

Nota

1 - PREMESSA

2 - TRATTI FONDAMENTALI DEI SASSI

3 - CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E

MORFOLOGICHE DEI SASSI E DELLE ZONE
CONTERMINI

3.1 - Stratigrafia

3.2 - Tettonica

3.3 - Morfologia

4 - CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DELLE
CALCARENITI

4.1 - Scopi e metodologia di studio

4.2 - Stato di fratturazione delle calcareniti

4.3 - Caratteristiche fisiche e meccaniche delle calcareniti

Note

5 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELLE
CALCARENITI

6 - MODIFICHE APPORTATE DALL'UOMO ALL'AMBIENTE
FISICO PREESISTENTE

6.1 - Tessuto edilizio

6.2 - Opere di fognatura e di acquedotto

Note

7 - DISSESTI STATICI E STATO DI CONSERVAZIONE DEI
MANUFATTI

7.1 - Dissesti statici

7.1.1 - Tipi di dissesti

7.1.2 - Distribuzione nel tempo e nello spazio di
dissesti

7.2 - Cause dei dissesti

7.2.1 - Fattori di dissesto insiti nell'ambiente fisico

7.2.2 - Fattori di dissesto derivanti dall'opera
dell'uomo

7.3 - Stato di conservazione dei fabbricati e delle opere igienico-sanitarie

8 - DISSESTI ACCERTATI E CINEMATICAMENTE POSSIBILI NELL'AMMASSO CALCARENITICO

8.1 - Tipi di dissesti osservati in corrispondenza di scarpate e dei pendii in calcarenite

8.2 - Scivolamenti cinematicamente possibili in talune zone dei Sassi

9 - ANALISI DI STABILITÀ RELATIVA AD UNA ZONA DEI SASSI

9.1 - Metodologia adottata nell'analisi di stabilità

9.1.1 - Criteri adottati per la valutazione degli scivolamenti possibili in relazione alle forze agenti e la definizione delle zone di instabilità

9.1.2 - Ipotesi assunte e scelta dei parametri per l'analisi di stabilità

9.1.3 - Curva dell'equilibrio limite

9.2 - Analisi di stabilità relativa alla zona «B» (Rione Casalnuovo)

Note

10 - MIGLIORAMENTO DELLE CONDIZIONI DI STABILITÀ DELL'AMMASSO CALCARENITICO

Nota

Catalogo Libryd-Scri(le)tture ibride
Energheia



Repubblica Italiana
Ministero dei Lavori Pubblici

Concorso Internazionale
per la sistemazione
dei «Sassi» di Matera.

Studio geologico - tecnico
e stato di conservazione

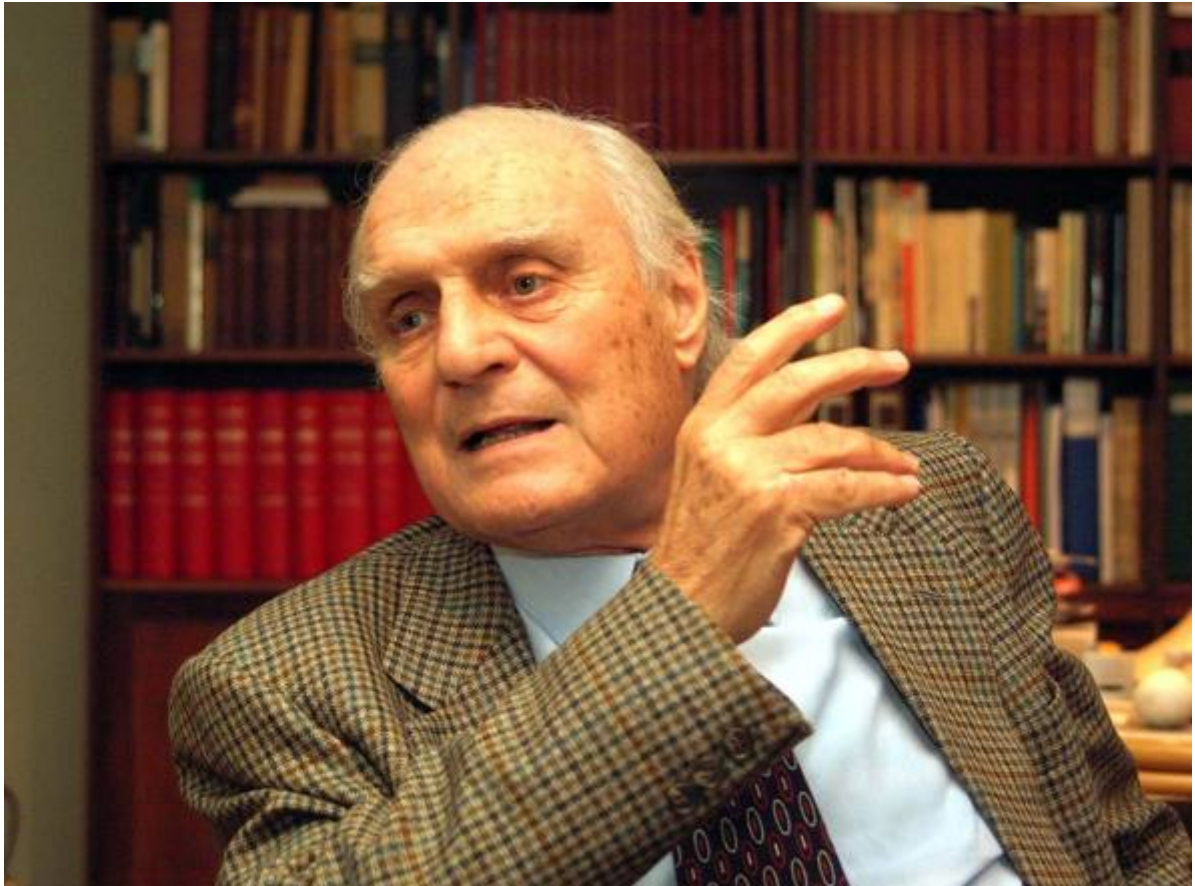
Prof. Ing. Vincenzo Cotecchia

Nota editoriale

In questo testo, redatto dal Professore Vincenzo Cotecchia¹, vengono analizzate le caratteristiche geologico-tecniche degli antichi Rioni dei Sassi, in occasione del Concorso Internazionale dei Sassi.

Nota

¹ Vincenzo Cotecchia è stato un ingegnere e geologo che ha applicato metodi e conoscenze naturalistiche, geostrutturali, geomorfologiche, petrografiche e geomeccaniche agli obiettivi dell'Ingegneria nella ricerca scientifica, nella didattica e nell'attività professionale di alto livello. Pioniere della Geologia ingegneristica in Italia, ne ha favorito l'avanzamento nel corso della sua lunga carriera di insegnante e ha attirato l'attenzione di geologi e ingegneri sui temi più attuali della geologia ingegneristica in innumerevoli e prestigiosi incontri scientifici.



Ha sempre sottolineato la necessità di approfondire la conoscenza della Geologia dell'Ingegneria e di ampliarla all'Idrogeologia, alla Stabilità dei pendii, alla Meccanica delle rocce e alla Geotecnica. Si è distinto in Idrogeologia, studiando l'intrusione di acque marine interne e i suoi svantaggi sulle acque dolci sotterranee, diventando così un punto di riferimento internazionale. Attraverso l'idrogeologia, ha anticipato l'attuale portata dell'ampliamento della geologia ingegneristica all'ambiente.

Iniziò la sua brillante e proficua carriera accademica, prestissimo, nel 1950 come Professore Associato di Geologia ingegneristica presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Bari e fu poi nominato professore ordinario, preside dell'Istituto di Geologia e Geotecnica dell'Ingegneria e decano del Facoltà di Ingegneria. Ha poi affiancato al suo tradizionale insegnamento di Geologia ingegneristica e Geotecnica l'insegnamento di Geoingegneria ambientale. Nel 2001 è stato nominato Professore Emerito dal Ministro dell'Università e della Ricerca Scientifica.

Sotto la sua magistrale direzione scientifica, dodici dei suoi assistenti sono stati promossi professori ordinari e associati di Geologia ingegneristica e Geotecnica in molte Università italiane. Grazie al suo energico impegno, molti giovani ricercatori sono entrati a far parte dell'Istituto che si è collegato alle applicazioni delle Tecnologie Avanzate nel Campo dell'Idrogeologia, Centro Studi (CSATAI) e del "Centro di Ricerca sulle Risorse Idriche e sull'Instabilità del Territorio (CERIST)" dell'Associazione Italiana Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR).

Nel 1972 Vincenzo Cotecchia è stato uno dei membri fondatori e primo presidente del Gruppo Italiano dell'Associazione Internazionale di Geologia dell'Ingegneria (IAEG), che promuove incessantemente. Ha organizzato con successo numerosi convegni e simposi, in particolare il Simposio Internazionale IAEG su "Engineering Geology issues in seismic area", tenutosi a Bari nel 1986.

Autore prolifico, ha pubblicato più di 300 articoli scientifici. Dal 1986 è fondatore, editore e animatore della Rivista "Engineering Geology and Hydrogeology" pubblicata dal Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Ha svolto un ruolo fondamentale in numerose commissioni nazionali e internazionali. Gli sono stati affidati importanti incarichi ministeriali, in particolare al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e al Comitato Scientifico del Servizio Geologico Nazionale. È delegato del Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica all'interno del Comitato Nazionale per la Protezione del Suolo. È esperto di Geologia ingegneristica del Consiglio Scientifico del "Gruppo Nazionale per la Protezione dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI)" del Ministero della Protezione Civile. Per sei anni ha supervisionato più di 500 ricercatori in tutta Italia, nell'ambito del progetto finalizzato "Fenomeni da frana" del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Vincenzo Cotecchia è stato membro del Gruppo Frane di IAEG e invitato come relatore generale in occasione di convegni e simposi. Per citarne alcuni: ha tenuto il discorso generale su "Ricognizione sistematica, mappatura e registrazione dei movimenti dei versanti" al Primo Simposio IAEG Praga sulle frane, nel 1976; la già citata relazione generale in occasione del Simposio IAEG

di Bari sulle aree sismiche, nel 1986; e la relazione generale al Simposio IAEG di Atene su “Ingegneria Geologia di opere antiche, monumenti e siti storici”, nel 1988.

Ha organizzato il Simposio “The Fragile Towns in Italy”, Giardini Naxos, 1995 con la partecipazione dell’IAEG e del “Gruppo Nazionale di Geologia dell’Ingegneria”. Ha inoltre organizzato il Convegno GEOBEN “Aspetti geologici e geotecnici della conservazione dei beni storici e culturali”, CNR, Torino, 2000.

È stato nominato delegato italiano del CERN, membro della Commissione UNESCO e ha ricevuto diversi incarichi di consulenza per il Fondo Speciale delle Nazioni Unite nel Terzo Mondo. È stato il coordinatore del Progetto di ricerca della Commissione Europea sugli effetti dei cambiamenti climatici, fenomeni neotettonici e sismici sull’evoluzione delle frane.

La qualifica professionale del Vincenzo Cotecchia come ingegnere geologo e idrogeologo è testimoniata dall’incessante attività che ha svolto da 50 anni in Italia e nel mondo - Yemen, Turchia, Togo, Arabia Saudita, Grecia, Egitto, Ecuador, Perù - come consulente o responsabile per problematiche di Geologia ingegneristica e progettazione di grandi opere come dighe, gallerie, strade, autostrade, opere marittime, ecc. e per la ricerca, la progettazione e l’utilizzo delle acque sotterranee e, in particolare, per la protezione delle acque sotterranee contro l’intrusione di acqua di mare. Ha instaurato un’interessante simbiosi nella sua indagine scientifica tra Scienze della Terra Applicate, Ingegneria e Scienze Storiche e Umanistiche, favorendo la ricerca avanzata di Geologia dell’Ingegneria finalizzata alla conservazione del patrimonio storico. In questa attività ha collaborato con archeologi di nota fama. La sua competenza professionale ha riguardato tutte le fasi progettuali delle suddette opere, dalla progettazione preliminare, fino agli studi di fattibilità economica.

Vincenzo Cotecchia è stato insignito della Medaglia André Dumont, Premio Internazionale decennale dell’Università di Liegi nel 1980; il Premio Nazionale delle Scienze “Italia 1982” e la Medaglia d’Oro, quale benemerito contributore alla cultura, del Ministero dell’Università e della Ricerca Scientifica. Inoltre, nel 1998 il Primo Ministro francese gli ha conferito il titolo di “Chevalier dans l’Ordre des Palmes Académiques” per i servizi resi alla cultura francese.

Durante la sua vasta carriera professionale ha ricevuto numerosi riconoscimenti tra i quali, il più importante, è stata la Medaglia IAEG Hans Cloos, ottenuta nel 2004 per quanto riguarda la sua lunga carriera e i consistenti contributi nel campo delle Scienze della Terra Applicate.

1 - PREMESSA

Il presente studio si riferisce alla documentazione che il Provveditorato Regionale alle OO.PP. per la Basilicata - Ufficio del Genio Civile di Matera - sta predisponendo ai fini del Concorso internazionale per la sistemazione dei «Sassi» di Matera.

L'incarico di approntare gli elaborati alla presente relazione allegati veniva affidato dal Provveditorato stesso allo scrivente, il quale nel corso degli studi e dei rilievi, teneva conto di quanto convenuto con l'ufficio del Genio Civile di Matera e di quanto raccomandato dall'apposita Commissione di esperti, nominata per definire l'oggetto e le modalità del bando di concorso.

Avendo fra l'altro la suddetta Commissione stabilito che la ricerca storico - artistica, affidata all'Arch. Livia Bertelli, prendesse dettagliatamente in esame alcune ben definite aree dei «Sassi», lo scrivente ha anche provveduto all'esecuzione dei lavori topografici di dettaglio di quattro zone, necessari alla citata ricerca storico-artistica: i relativi elaborati grafici sono raccolti in appendice al presente studio, separatamente dagli elaborati costituenti quest'ultimo.

Con l'Arch. Bertelli venivano tenuti stretti contatti, perché gli studi a carattere geologico e geotecnico procedessero di pari passo con quelli storico-artistici e non ignorandosi a vicenda.

Lo studio ha riguardato i seguenti settori: stratigrafia, tettonica, morfologia e topografia, meccanica delle rocce, dissesti dei manufatti e stabilità degli stessi, stato di conservazione in genere ed attuali condizioni igienico-sanitarie dei Sassi, relazioni con gli interessi storico-artistici.

Ha attivamente collaborato con lo scrivente il Dr. Damiano Grassi, il quale ha peraltro guidato l'intera équipe addetta ai rilevamenti e allo studio geo morfologico. Hanno inoltre validamente collaborato con lo scrivente nei diversi settori di specifica competenza l'Ing. Fiorenzo Cotecchia, l'Ing. Vincenzo Grilli, l'Ing. Giovanni Papa, l'Ing. Francesco Plasmati, il Dr. Andrea Salvemini e l'Ing. Giuseppe Spilotro.

2 - TRATTI FONDAMENTALI DEI SASSI

I Sassi occupano la parte alta del versante destro della stretta e profonda Gravina di Matera (foto nn. 1-12), costituito da calcareniti quaternarie in trasgressione sui calcari mesozoici di base (Tav. 1 e 2). Sede di stazioni preistoriche e parzialmente abitati già in età romana ed ellenistica, offrono un classico esempio di come nel tempo, sotto la spinta dell'espansione demografica e di complessi fattori socio-economici, un impianto urbano si modifica nelle sue strutture e nei suoi confini.

I Sassi, infatti, devono l'originalità della loro fisionomia e dei loro pittoreschi particolari essenzialmente alla costante tendenza dell'uomo di adattare il tessuto urbano alle caratteristiche fisiologiche del territorio preesistente e, viceversa, di modellare il territorio per consentire l'espansione dell'impianto urbano. Nel modellamento molto spesso irrazionale e nell'espansione sempre disordinata e priva di scelte ingegneristiche va però anche ricercata la causa prima dei gravi dissesti statici che hanno colpito e colpiscono i manufatti dei Sassi (Tav. 4 e 5).

L'aspetto peculiare del tessuto edilizio sta nel modo con il quale strutture e manufatti poggiano sulla superficie o si inseriscono nel sottosuolo di terrazze strette ma ripetutamente sovrapposte, ottenute con tagli in roccia verticali e subverticali, con spianate e talora con parziali colmate. In gran numero grotte, cisterne d'acqua, manufatti d'ogni tipo, dimensione ed epoca sono scavati o poggiano sulla calcarenite di ciascuna terrazza (Tavv. 6-13).

Un siffatto impianto urbano, sebbene poco abbia lasciato dell'originario aspro paesaggio rupestre, deve oggi le sue condizioni di stabilità anche alla configurazione della Gravina sulla quale si affaccia, dei due grabigioni che lo attraversano ed allo stato di fratturazione tettonica (Tav. 14) e di diagenesi della calcarenite che lo sostiene.

3 - CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E MORFOLOGICHE DEI SASSI E DELLE ZONE CONTERMINI

L'area rilevata comprende i Sassi propriamente detti ed entrambi i versanti del torrente Gravina di Matera, con incluse le località Madonna delle Vergini, Murgecchia e Murgia Timone. In detta area, caratterizzata da una successione stratigrafica semplice e monotona, la Gravina di Matera costituisce l'elemento fisiografico primario e condizionante.

3.1 - Stratigrafia

La successione stratigrafica dei terreni affioranti è, a partire dal basso verso l'alto, la seguente: calcari cretacei, calcareniti quaternarie ed argille grigio-azzurre quaternarie. Queste ultime occupano una fascia molto limitata, sviluppantesi ad occidente dei Sassi grosso modo al confine tra il centro storico e la restante parte della città (Tav. 1). Sulle o nelle calcareniti, per contro, poggiano o sono ricavati tutti i manufatti dei Sassi.

I calcari cretacei fanno parte di quella formazione nota in letteratura sotto il nome di «Calcere di Altamura». Essi formano l'ossatura dell'intera regione ed affiorano laddove la copertura quaternaria è stata asportata dall'erosione idrometeorica o fluviale. In corrispondenza del torrente Gravina di Matera, essi occupano il fondovalle e la maggior parte di entrambe le sponde per uno spessore dell'ordine dei 100 m (foto nn. 1 - 6). Sulla sponda destra, il passaggio stratigrafico calcari-calcareniti avviene alle quote 350-360 metri. Il piano costituente il tetto delle rocce mesozoiche ha direzione N 30° E e immersione 12-16° NW.

A partire dal fondo della Gravina e procedendo verso l'alto, la successione cretacea visibile è data da:

- Alternanza di calcari essenzialmente detritici stratificati in banchi aventi spessori di 1 m circa con «pacchi» di calcari lastriformi («calcari a chiancarelle») talora leggermente marnosi e dotati di spessori variabili da pochi mm ad un massimo di 10 cm.
- Calcari microcristallini, di color nocciola ed a frattura concoide, stratificati in grossi banchi aventi spessore massimo di 2 m circa.
- Calcari massicci, d'aspetto marnoso e più o meno carsificati (foto nn. 13 e 14). Essi costituiscono il tetto della formazione mesozoica ed offrono uno spessore complessivo di 30 m circa.

Le calcareniti calabriane, dette anche «Tufo di Gravina», poggiano in trasgressione e con leggera discordanza angolare sul «Calcere di Altamura». Alla base la formazione è caratterizzata dalla presenza di un conglomerato

trasgressivo, avente una potenza massima dell'ordine dei 2 m (foto n. 15). Trattasi di un conglomerato praticamente monogenico, i cui elementi essenzialmente calcarei (derivanti dalla distruzione del substrato mesozoico) sono dotati di diametri variabili da pochi mm a 8-10 cm. La frazione sottile costituente la matrice è di natura essenzialmente calcarenitica e subordinatamente sabbioso-argillosa. Il rapporto tra la frazione grossolana e quella fina varia da punto a punto, specie in senso verticale. In alcuni sottili livelli v'è una netta prevalenza del materiale fino. Più di frequente si presenta come una roccia sciolta.

Il passaggio stratigrafico fra il detto conglomerato di base e le calcareniti vere e proprie è graduale e si compie, in uno spessore di 3-4 m, tramite un'alternanza di livelli prevalentemente conglomeratici con livelli schiettamente sabbiosi o sabbioso-calcarenitici (foto n. 16).

Le calcareniti propriamente dette, che in linea di massima offrono un'omogeneità granulometrica e diagenetica vieppiù crescente verso l'alto, hanno un colore che va dal giallastro al grigio-biancastro e di sovente si presentano riccamente macrofossilifere (pecten, ostree, echinidi, brionzoi, ecc.). A luoghi la roccia può essere considerata una vera e propria bioclastite, essendo nella sua quasi totalità costituita da macrofossili cementati da scarso materiale calcarenitico. Il loro contenuto in carbonati varia da un minimo dell'85, 25% ad un massimo del 98,48%. La frazione non carbonatica a grana media o media-fina è molto scarsa, di norma inferiore all'1% ma talora anche dell'ordine del 3%, è costituita da quarzo, feldspati, idrossidi di ferro, ematite e miche. La frazione non carbonatica a grana fina o finissima varia dal 2% al 12% circa ed è data essenzialmente da caolinite, montmorillonite, geothite ed illite. Caratteristica fondamentale della roccia in parola è quella di avere un assortimento granulometrico ed un grado di diagenesi ampiamente variabile da punto a punto. Si passa da una granulometria medio-grossolana ad una medio-fina, da un materiale a consistenza lapidea ad una sorta di sabbione debolmente cementato, talora frantumabile con le dita della mano. Quest'ultima proprietà è messa in risalto anche dall'erosione differenziale che gli agenti idrometeorici operano sulle superfici rocciose esposte (foto. nn. 17 e 18).

La formazione si presenta ovunque massiccia, con irregolari accenni di stratificazione. Lo spessore massimo che essa offre, nell'ambito dei Sassi e nelle zone più lontane dal bordo della Gravina, è dell'ordine dei 50-55 m.

Per eteropia laterale, le calcareniti passano alle argille grigio-azzurre più o meno sabbiose e talora marnose, facenti parte della «Formazione delle Argille di Gravina» del Calabriano. Il limite fra le due formazioni, riportato nella carta e nelle sezioni geologiche (Tav. 1 e 2), è piuttosto approssimativo vuoi per il tipo di passaggio stratigrafico vuoi perché esso avviene nel centro abitato di Matera.

3.2 - Tettonica

Lo studio delle caratteristiche tettoniche della zona in oggetto ha ovviamente risentito della ristrettezza dell'area, della scarsità di affioramenti calcarenitici

nell'ambito dei Sassi e del fatto che le rocce cretacee sono visibili solo in corrispondenza delle sponde della Gravina, dove peraltro ha fortemente agito l'erosione fluviale. Gli elementi relativi alle calcareniti derivano in massima parte da accertamenti condotti nelle numerose grotte in esse ricavate.

Lo schema tettonico riconosciuto nei calcari di base è piuttosto semplice e rispecchia abbastanza fedelmente quello regionale. Esso è caratterizzato da deformazioni relativamente modeste, originate da uno stile plicativo e da faglie di tipo essenzialmente distensivo. Le pieghe sono blande, a largo raggio e con direzioni assiali sviluppantisi in prevalenza da NW a SE. Gli strati presentano una leggera e generale immersione verso NW. Fra le faglie prevalgono quelle a direttrice appenninica (NW-SE), con piani immergenti di norma a NE. Altre faglie si sviluppano secondo le direttrici E - W, N - S e NE - SW. Tutte sembrano avere rigetti modesti, dell'ordine di pochi metri. L'insieme degli elementi disgiuntivi determina un motivo ad horst e graben, con gradinate modeste ma multiple.

I calcari si presentano in genere molto fessurati. Da una indagine statistica, condotta sulla sponda destra del Gravina nel tratto sottostante al Rione Casalnuovo, è emerso che le fratture sono raggruppabili nei seguenti sistemi principali:

Direzione	Immersione		%
1) N.70W	40 ÷ 75° SW	talora a NE	32%
2) N.40W	50 ÷ 80° NE	talora a SW	31%
3) N.40E	50 ÷ 80° NW	di rado a SE	22%
4) E-W	70 ÷ 80° N	di rado a S	9%
5) N-S	60 ÷ 75° E	talora a W	6%
<i>totale</i>			<i>100%</i>

Anche la formazione calcarenitica mostra d'essere stata interessata da faglie di tipo distensivo, verosimilmente connesse a modesti movimenti differenziali originatisi nel corso del sollevamento che portò nel Quaternario all'emersione dell'intera regione. In particolare, sono state individuate quattro faglie sviluppantisi: una grosso modo da N a S, due secondo la direttrice appenninica ed una secondo la tirrenica. La più significativa sembra essere quest'ultima, che è stata osservata in una grotta del versante sud della Civita (foto nn. 19 e 20). Essa è diretta da N 65° E a SW, con piano di faglia immergente di 40° verso NW. Non è stato possibile accertare l'entità del rigetto, a causa tra l'altro dell'assenza di stratificazione nelle calcareniti. Il piano di faglia è attualmente completamente riempito da breccia a grossi elementi calcarenitici e da materiale argilloso. Le due faglie sviluppantisi secondo la direttrice appenninica sono state individuate nel Rione Casalnuovo. Entrambe sono dirette da N 70° W a SE, con piano di faglia immergente a SW di 40°.

In merito allo stato di fratturazione della formazione calcarenitica, si dirà nel capitolo relativo alle caratteristiche geomeccaniche della roccia.

3.3 - Morfologia

Il torrente Gravina di Matera, con la sua valle stretta, profonda e sinuosa, costituisce l'elemento fisiografico che condiziona la morfologia dell'intera zona. Impostatosi secondo un percorso verosimilmente già tracciato nelle linee generali dagli accidenti tettonici, come tra l'altro testimonia l'andamento quasi ad angolo retto del suo solco, la sua evoluzione morfologica ha fortemente risentito dei movimenti quaternari che, con varie pause ed alternanze, sollevarono l'intera regione alle quote attuali. La configurazione odierna della valle e dei suoi versanti è la risultante della sovrapposizione degli effetti di più fattori morfogenetici; fra questi un posto di primo piano occupano le oscillazioni del livello marino (intese come movimenti relativi fra livello mare e continente), l'azione dell'uomo e degli agenti idrometeorici sulla erodibilissima calcarenite.

La presenza a quote diverse di varie forme di erosione fluviale nei depositi calcarenitici (foto nn. 21 e 22), di terrazzi stretti ed appena abbozzati sia nelle calcareniti che nei calcari, di orizzonti calcarei particolarmente carsificati rispetto ad altri dello stesso litotipo, di grotte e condotti carsici a sviluppo essenzialmente orizzontale nonché la presenza di tronchi d'alveo abbandonati a quote più alte rispetto all'attuale solco e l'alternarsi di tratti perfettamente verticali con altri variamente inclinati lungo le sponde della valle sono tutti elementi che testimoniano come l'abbassamento nel tempo del livello di base dell'erosione fluviale si è prodotto con movimenti ora bruschi ora lenti, con pause prolungate e con ripetute oscillazioni che hanno originato sovrapposizioni morfologiche.

Per quanto riguarda il versante destro che ci interessa più da vicino, la sua attuale configurazione a gradinate multiple, con pareti ovunque verticali e subverticali allungate in genere grosso modo parallelamente alla Gravina, è essenzialmente il risultato dell'opera dell'uomo. Nell'attuale momento morfogenetico, la sua evoluzione morfologica rimane però ancora strettamente condizionata dalla presenza e conformazione della Gravina.

Il territorio dei Sassi è inoltre caratterizzato dalla presenza di due solchi d'erosione fluviale, in corrispondenza dei quali sono sorti il Sasso Barisano a Nord ed il Sasso Caveoso a Sud. La Civita occupa l'area morfologicamente più elevata, posta a cavallo fra le due cavee naturali. Sul fondovalle dei due solchi fluviali in parola corrono oggi Via Fiorentini (Sasso Barisano) e Via Buozzi (Sasso Caveoso). Al di sotto dei due piani stradali in corrispondenza della parte più incassata dei solchi d'erosione, sono stati collocati i collettori principali della fognatura. Sull'argomento si ritornerà in seguito.

4 - CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DELLE CALCARENITI

L'individuazione, ai fini pratici, delle proprietà e del comportamento geomeccanico di un ammasso roccioso discontinuo costituisce un problema di non semplice risoluzione e schematizzazione e molto più complesso di quello relativo ai materiali sciolti. Oltre e più che al tipo di roccia di cui è costituito, un insieme roccioso deve infatti le sue proprietà alla presenza di sistemi di giunti mutuamente influenzantisi. Questi, infatti, suddividono la massa rocciosa in volumi elementari (foto nn. 9, 23 e 24) e provocano tra l'altro un marcato comportamento anisotropo del materiale a rottura. Dai mutui collegamenti e spostamenti dei blocchi unitari, all'interno dell'intera struttura rocciosa, dipendono in definitiva i requisiti di resistenza globale dell'insieme. Di modo che la possibilità pratica di poter effettuare vuoi una previsione più o meno di massima del comportamento meccanico di un pendio in roccia vuoi un'analisi di stabilità tridimensionale sufficientemente realistica può scaturire solo da una scrupolosa e corretta individuazione e caratterizzazione delle superfici di discontinuità presenti nella roccia e dei parametri di resistenza intrinseca della roccia stessa.

4.1 - Scopi e metodologia di studio

Lo studio delle discontinuità presenti nella calcareniti è stato condotto laddove è stato possibile osservare la roccia in affioramento, oltre che in grotta. L'indagine, pertanto, ha interessato solo l'area che dal Rione Casalnuovo si spinge al Civita-Caveoso (Tav. 14), che peraltro forma una larga fascia sviluppantesi parallelamente ed immediatamente a ridosso del bordo della Gravina di Matera.

È bene precisare che per discontinuità (o giunti o piani di minor resistenza) si intendono sia i giunti di stratificazione sia le superfici di rottura di origine essenzialmente tettonica (fratture e faglie). Nel nostro caso, trattandosi di una roccia non stratificata ma massiccia, le discontinuità sono costituite dalle fratture e dal piano di separazione calcari-calcareniti.

Lo studio è stato affrontato mediante un accurato e laborioso rilievo statistico di tutte le discontinuità presenti nella roccia e la rappresentazione grafica dei giunti stessi a mezzo di proiezioni stereografiche. Con il rilievo statistico si è voluto tra l'altro definire in termini quantitativi, oltre che qualitativi, il grado di separazione globale dell'insieme roccioso, mediante «indici di fratturazione». L'impiego di diagrammi polari ha consentito di riprodurre i piani di discontinuità e le relative rette di intersezione nella loro configurazione tridimensionale e quindi di valutare la loro significatività ai fini della stabilità del pendio. Adottando in particolare la proiezione equatoriale, ad

aree equivalenti, dell'emisfero inferiore di riferimento, è stato possibile tra l'altro definire le relazioni angolari intercorrenti tra piani e tra rette (esprimenti anche direzioni di forze agenti sui piani) e piani nello spazio, individuare la direzione ed il tipo dei potenziali movimenti di scivolamento nonché rendere agevole ed immediato il confronto fra situazioni diverse¹.

In particolare, l'acquisizione e l'elaborazione dei dati geologici dovevano tra l'altro consentire di:

- Accertare se, nell'ambito dell'area considerata, la posizione spaziale dei piani di minor resistenza ed il grado di separazione globale della roccia fossero variabili.
- Individuare le «zone di omogeneità» in base alla posizione spaziale dei piani di tutte le discontinuità presenti, alla maggiore o minore frequenza di taluni sistemi di giunti rispetto ad altri ed ai valori degli «indici di fratturazione» (dati dalla spaziatura e dalla frequenza delle fratture).
- Valutare, per ogni «zona omogenea» e per ogni singolo sistema di giunti, l'apertura, la spaziatura (cioè la distanza intercorrente fra una frattura e l'altra di uno stesso sistema, misurata secondo la normale ai piani di frattura stessi) e la frequenza (intesa come numero di fratture presenti in 1 ml, secondo la normale ai piani di frattura stessi) delle fratture.
- Definire le caratteristiche morfologiche delle superfici dei giunti (rugosità, scabrosità, ondulazione dei piani, ecc.), dalle quali in gran parte dipendono sia le proprietà di attrito lungo i giunti che la distribuzione delle tensioni
- Accertare la presenza e la natura di eventuali materiali di riempimento nelle fratture nonché la presenza di umidità o di venuta d'acqua in corrispondenza delle discontinuità.
- Consentire di individuare la direzione ed i tipi di scivolamento geometricamente possibili e quindi di valutare concretamente le condizioni di stabilità e di pendii e scarpate (di cui si dirà nel capitolo 8).
- Fornire tutti quegli elementi di base indispensabili per una razionale scelta del tipo e delle modalità esecutive di intervento di risanamento della roccia direttamente o indirettamente interessata dai manufatti.
- Per quanto si riferisce ai parametri di resistenza della roccia, essi sono scaturiti da prove di laboratorio, su numerosi campioni opportunamente scelti.

4.2 - Stato di fratturazione delle calcareniti

I risultati, ottenuti dall'elaborazione dei dati forniti dal rilievo statistico delle discontinuità, indicano innanzitutto che, nell'ambito dell'area presa in considerazione, la posizione spaziale dei piani di frattura ed il grado di separazione globale dell'ammasso calcarenitico sono variabili. In particolare, è possibile riconoscere sei «zone di omogeneità», differenziantisi l'una dall'altra per la prevalenza di taluni sistemi di giunti piuttosto che di altri e per un maggiore o minore grado di fratturazione della roccia. Le zone, indicate con le

lettere «A», «B», «C», «D», «E» ed «F», sono state delimitate nella Tavola 14, dove è stata anche riportata la posizione pianimetrica delle fratture più significative.

Per ciascuna zona di omogeneità, i dati relativi alle caratteristiche di fratturazione sono stati quindi riassunti in quattro diagrammi (A1, A2, A3, A4, per la zona «A»; B1, B2, B3, B4 per la zona «B»; ecc. figg. 1-24). I diagrammi A1, B1, C1, D1, E1, ed F1 (figg. 1, 5, 9, 13, 17 e 21) indicano l'orientazione e la frequenza (espressa in %) di ciascun sistema di giunti (S1, S2, S3, ecc.) nell'ambito di ciascuna delle zone di omogeneità.

I diagrammi polari ad aree equivalenti A2, B2, C2, ecc. (figg. 2, 6, 10, 14, 18 e 22) mostrano la posizione spaziale e quindi la giacitura dei sistemi di discontinuità sul piano equatoriale dell'emisfero inferiore di riferimento; all'interno della linea delimitante ciascun sistema ricadono i poli di tutti i piani di frattura facenti parte del sistema stesso. Di modo che è possibile ricavare entro quali limiti varia l'orientazione e la inclinazione dei piani di discontinuità formanti un determinato sistema. I poli P1, P2 ecc., che si leggono nei diagrammi in parola, rappresentano i massimi di concentrazione, di frequenza della giacitura dei vari sistemi di fratture (vale a dire che, ad esempio, il polo P1, che si osserva all'interno della linea delimitante il sistema S1, indica la giacitura del piano di frattura rappresentativo dell'intero sistema S1).

I diagrammi equatoriali A3, B3, C3, ecc. (figg. 3, 7, 11, 15, 19, e 23) riportano i piani, indicati sia dai grandi cerchi (p1, p2, p3, ecc.) che dai rispettivi poli (P1, P2, P3, ecc.), rappresentanti i principali sistemi di giunti (S1, S2, S3, ecc.). Le intersezioni fra i grandi cerchi sono contrassegnate dalle lettere $I_{1,2}$, $I_{1,3}$ ecc.; vale a dire che, ad esempio, il punto $I_{1,2}$ indica la posizione spaziale del punto rappresentante la intersezione del piano p1 (indicante il sistema S1) con il piano p2 (rappresentante il sistema S2).

I diagrammi A4, B4, C4, ecc. (figg. 4, 8, 12, 16, 20, e 24) mostrano anch'essi la posizione spaziale dei principali sistemi di fratture. In questi ultimi due tipi di diagrammi figura anche il piano pb di stratificazione che separa le calcareniti dai calcari di base. Nei diagrammi C2, C3, F2, F3 sono stati inoltre riportati i grandi cerchi (pf) ed i relativi poli (Pf) dei piani di faglia riconosciuti nelle zone «C» ed «F».

La tabella completa infine il quadro delle caratteristiche di fratturazione delle calcareniti, con dati relativi ai valori medi e massimi dell'apertura, spaziatura e frequenza delle discontinuità nonché alla natura dell'eventuale materiale di riempimento delle fratture.

CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DELLE DISCONTINUITÀ PRESENTI NELLE CALCARENITI QUATERNARIE

Zona di omogeneità	Sistema di fratture	Giacitura		Apertura (cm)		Spaziatura (m)		Frequenza (n.fratt./m)	
		direzione	immersione	Med.	Max	Med.	Max	Med.	Max
A	S 1	E - W	70° N	1,5	4,0	2,50	0,84	0,40	1,20
	S 2	N 70° W	60° NE	1,4	3,0	5,26	1,00	0,19	1,00
	S 3	N 70° E	75° NW	0,6	1,2	5,88	0,45	0,17	2,25
B	S 1	E - W	60° N	1,5	3,0	1,49	0,33	0,67	3,00
	S 2	N 70° W	75° NE	1,6	4,0	1,79	0,20	0,56	5,00
	S 3	N 40° W	70° NE	0,5	1,0	5,26	0,63	0,19	1,60
C	S 1	N 70° W	70° N	1,5	10,0	2,32	0,34	0,43	2,98
	S 2	E - W	60° N	2,2	15,0	2,86	0,74	0,35	1,35
	S 3	N 40° W	80° NE	0,5	2,0	10,00	0,67	0,10	1,4

Zona di omogeneità	Sistema di fratture	Giacitura		Apertura (cm)		Spaziatura (m)		Frequenza (n.fratt./m)	
		direzione	immersione	Med.	Max	Med.	Max	Med.	Max
D	S 1	N 70° W	75° NE	0,7	2,0	3,45	0,94	0,29	1,06
	S 2	N 25° E	60° NE	0,4	1,8	3,85	0,44	0,26	2,27
	S 3	N 40° W	70° SW	1,6	5,2	4,76	1,39	0,21	0,72
E	S 1	N - S	70° E	0,7	15,0	2,33	0,53	0,43	1,87
	S 2	N 20° W	60° NE	0,6	3,0	2,70	0,35	0,37	2,86
	S 3	N 35° E	75° SE	0,5	2,0	3,45	0,24	0,29	4,03
F	S 1	E - W	65° N	1,6	3,2	2,13	0,68	0,47	1,46
	S 2	N 40 W	60° SW	0,6	1,0	5,26	0,50	0,19	2,00
	S 3	N 70° W	75° NE	1,6	4,5	6,67	0,57	0,15	1,75

Il primo quadro generale che l'insieme dei dati, forniti dai diagrammi e dalla tabella, dà dell'ammasso calcarenitico si articola nei seguenti punti principali:

- L'ammasso roccioso esaminato è in buona parte costituito da calcarenite moderatamente fratturata. Solo in corrispondenza di aree molto ristrette e ben circoscritte la roccia risulta molto fratturata. Ciò si ricava dai valori medi della spaziatura (1,49-10,00 m) e della frequenza (0,10-0,67 fratt./m) dei giunti nonché dalla posizione planimetrica dei giunti stessi (Tav. 14).
- Le discontinuità determinano un certo allentamento dell'ammasso roccioso, la possibilità di scivolamenti di tipo a blocco ed a cuneo (di cui si dirà in seguito) ed una certa permeabilità in una roccia di per sé praticamente impermeabile.
- Fra le «zone omogenee», la «B» e subordinatamente la «E» e la «C» sono quelle maggiormente fessurate.
- I piani di discontinuità hanno (nell'ambito di ciascuna zona di omogeneità) posizioni spaziali preferenziali e di norma forti inclinazioni (60-85°).
- I sistemi di giunti che più di frequente ricorrono e che maggiormente suddividono la massa rocciosa sono quelli diretti da E ad W, da N 70° W a SW e da N 40° W a SW.
- L'ammasso roccioso risulta suddiviso in blocchi prismatici a base essenzialmente e grossolanamente rombica, triangolare, trapezoidale o quadrata, aventi volumi variabili in ragione dell'orientazione, spaziatura ed estensione delle superfici di discontinuità.

- I giunti hanno uno sviluppo longitudinale variabile da qualche metro a poche decine di metri (ciò sulla base di quanto è stato possibile misurare direttamente).
- Le fratture sono di norma beanti (foto nn. 25, 266, e 27), con labbra distanti tra loro da pochi mm fino anche a 15-20 cm. Date le caratteristiche granulometriche, di diagenesi e meccaniche della roccia, le fratture con apertura inferiore ad 1 mm sono difficilmente individuabili e molto spesso risultano occluse per via chimica (deposizione di CaCO₃ da parte delle soluzioni acquose sature circolanti).
- I piani di discontinuità sono tutti rugosi e scabrosi e solo talora leggermente ondulati; a volte sono interessati da striature di movimento.
- I piani di frattura presentano spesso macchie di umidità e talora chiari segni di passaggio d'acqua.
- I materiali di riempimento, che si rinvengono in corrispondenza dei piani di discontinuità, poche volte sono di natura argillosa.
- Non di rado le discontinuità, dotate di apertura di norma non superiore ad 1,5-2 cm, risultano completamente o parzialmente occluse per fenomeni chimici (foto nn. 28 e 29).

Analizzando più in dettaglio le caratteristiche di fratturazione di ciascuna zona omogenea, si ha che la calcarenite della zona «A» risulta interessata da tre principali sistemi di discontinuità (S1: E-W, 70° N; S2: N 70° W, 60° NE; S3 N 70° E, 75° NW), che nel loro insieme raggruppano il 91% di tutte le discontinuità presenti nella roccia (diagramma A1 di fig. 1). Gli altri giunti esistenti danno luogo ad altri due sistemi minori S4 (6%) e S5 (3%), orientati rispettivamente in direzione N 40°W e N 40° E. Dal diagramma equatoriale A2 (fig. 2) si ricava il campo di variabilità dell'orientazione e dell'inclinazione dei piani di frattura nell'ambito di ciascuno dei cinque sistemi. I diagrammi A3 ed A4 (figg. 3 e 4) mostrano invece la posizione spaziale dei piani rappresentanti i tre sistemi principali e del piano di contatto calcareniti - calcari nonché dei punti e delle rette di intersezione dei piani stessi.

I piani dei giunti formanti il sistema principale S1, che rappresentano il 57% di tutte le discontinuità osservate nella roccia e che raramente immergono a sud, sono quelli dotati di maggiore apertura (l'apertura media è di 1,5 cm, quella massima di 4 cm) e frequenza (il numero medio di fratture per metro lineare è di 0,40, quello massimo è di 1,20). È interessante notare come il sistema S3 sebbene abbia denunciato una frequenza media di appena 0,17% fratt./m, raggiunge in taluni punti dei massimi di frequenza dell'ordine di 2,25 fratt./m. La circostanza, che si riscontra anche per i sistemi di giunti delle altre zone, trova spiegazione nel fatto che, mentre le fratture del sistema S1 sono più uniformemente distribuite, quelle del sistema S3 sono concentrate in fasci.

Raramente i giunti del sistema S1, come pure quelli degli altri sistemi, sono interessati da materiali di natura argillosa. Striature di movimento sono state osservate su taluni piani di frattura appartenenti al sistema S2. Alcune fratture del sistema S3 sono occluse per fenomeni chimici. I prismi rocciosi, originati dall'intersezione dei vari sistemi di frattura, hanno una base grosso modo rombica o trapezoidale. L'ammasso roccioso, nel suo insieme, può considerarsi moderatamente discontinuo. I valori della spaziatura e della frequenza dei tre principali sistemi di giunti sono infatti dell'ordine di 2,50-5,88 m di 0,17-0,40

fratt./m. Solo in corrispondenza della ripida scarpata, che caratterizza la fascia centrale della zona in esame, la calcarenite risulta relativamente molto fratturata ed allentata (Tav. 14).

Anche la calcarenite della zona «B» deve la sua discontinuità essenzialmente a tre principali sistemi di giunti (S1: E-W, 60° N; S2: N 70° W, 75° NE; S3: N 40°W, 70° NE), che complessivamente raggruppano il 96% di tutte le fratture esistenti nella roccia stessa diagramma B1 di fig. 5. La posizione spaziale di detti sistemi è riportata nei diagrammi B2, B3 e B4 figg. 6, 7 e 8). Un quarto sistema S4: N 70° E, 70° NW) comprende il 3% delle fratture (figg. 5 e 6), mentre il rimanente 1% è costituito da piani di discontinuità ad orientazione variabile.

I giunti del sistema S2, che raramente immergono verso SW, sono quelli dotati di maggiore apertura (i valori medi e massimi sono rispettivamente di 1,6 e 4 cm); la loro frequenza media è di 0,56 fratt./m mentre quella massima è di 5 fratt./m. I valori medi e massimi della frequenza dei giunti del sistema S1 sono rispettivamente: 0,67 e 3 fratt./m. Il loro massimo sviluppo longitudinale accertato è di 33 m circa.

Sia le discontinuità del sistema S1 che quelle dell'S2 sono a volte ricementate per via chimica. L'insieme dei giunti separa prismi a base essenzialmente e grossolanamente rombica. La massa calcarenitica della zona in parola è quella che risulta maggiormente fratturata rispetto all'intera area indagata. Ciò tra l'altro emerge chiaramente dai valori medi (1,49-5,26 m) e minimi (0,20-0,63 m) denunciati dalla spaziatura.

I tre sistemi di fratture principali della zona «C» (S1: N 70°W, 70° NE; S2: E - W, 60° N; S3: N 40° W, 80° NE) sono praticamente gli stessi di quelli della zona «B», invertendosi come frequenza solo i primi due. Complessivamente essi comprendono il 96% delle fratture presenti nella roccia; il rimanente 4% forma un quarto sistema S4 orientato in senso N-S (diagrammi C1, C2, C3, e C4 di figg. 9-12).

I giunti del sistema E-W sono quelli dotati di maggiore apertura 2,2 cm in media, con massimi di 15 cm. Anche le discontinuità del sistema S1 offrono aperture apprezzabili, con valori medi e massimi di 1,5 e 10 cm rispettivamente, e valori medi e massimi di frequenza dell'ordine di 0,43 e 2,98 fratt./m. La spaziatura media varia da 2,32 m (S1) a 10 m (S3), con punte minime di 0,74 m (S2). Talune fratture dei sistemi S1 ed S3 risultano occluse per deposizione di CaCO₃. I prismi di roccia originati dall'intersezione dei diversi sistemi di discontinuità hanno base essenzialmente rombica.

La zona è una delle più fratturate dell'intera area analizzata. In essa sono state individuate due modeste faglie orientate da N 70° W a SE, i cui piani, occupati da breccia tettonica, immergono di 40° a SW.

La zona «D» è quella meno fratturata. Solo il 74% delle fratture in essa individuate è però raggruppabile in tre principali sistemi; il 16% dà luogo ad un quarto sistema, mentre 10% è disperso in direzioni diverse (diagramma D1 di fig. 13). Non c'è inoltre una netta prevalenza fra i tre sistemi principali: l'S1 (N 70° W, 75° NE) infatti raggruppa il 30% delle fratture, mentre l'S2 (N 25° E, 60° SE) e l'S3 (N 40° W, 70° SW) costituiscono rispettivamente il 23% ed il 21%.

I valori medi e massimi della frequenza sono i più bassi registrati: 0,21-0,29 fratt./m e 0,72-2,27 fratt./m. Conseguentemente la spaziatura media è di 3,45 m

(S1) e di 4,76 m (S3), con valori minimi di 0,44 m (S2). L'S3 è il sistema con fratture più aperte: 1,6 e 5,2 sono i valori medi e massimi rispettivamente. La roccia risulta suddivisa in prismi a base rombica, triangolare e trapezoidale.

La zona «E», che è una delle più fratturate, è la più eterogenea per quanto si riferisce alla posizione spaziale delle discontinuità. In essa infatti compaiono tra l'altro tutti i sistemi di giunti che caratterizzano le zone già descritte e la zona «F». Di modo che le discontinuità risultano distribuite in ben sei sistemi, in percentuali variabili da un minimo del 10 ad un massimo del 28% (diagramma E1 di fig. 17). I tre sistemi principali (S1 N-S, 70° E; S2: N 20° W, 60° NE, S3: N 35° E, 75° SE) raggruppano appena il 64% delle fratture. Detti sistemi sono dotati di una frequenza media di 0,29-0,43 fratt./m, con massimi di 4,03 fratt./m (S3). I valori medi della spaziatura oscillano da un minimo di 2,33 m (S1) ad un massimo di 3,45 m (S3). I giunti dell'S1 sono quelli che mediamente risultano più aperti, con valori medi e massimi di 0,7 e di 15 cm rispettivamente. L'ammasso roccioso, che si presenta molto fratturato in corrispondenza del rilievo di Madonna de Idris, risulta suddiviso in prismi a base trapezoidale, triangolare, rombica, pentagonale.

Nella zona «F», i tre sistemi principali, che comprendono il 77% delle fratture, sono dotati delle stesse orientazioni osservate per le zone «B» e «C», anche se in successione percentuale diversa. Le rimanenti fratture formano tre sistemi secondari (diagramma F1 di fig. 21). Le caratteristiche spaziali dei sistemi principali sono riassunte nei diagrammi F2, F3 ed F4 delle figg. 22-24. I valori dell'apertura, della spaziatura e della frequenza si possono leggere nella tabella. È il caso di ricordare che, nella zona in parola, è stata rinvenuta la più significativa faglia in calcareniti, diretta da N 65° E a SW, con piano di faglia, completamente riempito da breccia e/o da materiale argilloso immergente di 40° verso NW.

L'insieme roccioso risulta suddiviso in prismi a base essenzialmente rombica, trapezoidale, triangolare.

4.3 - Caratteristiche fisiche e meccaniche delle calcareniti

Sono stati effettuati numerosi prelievi di campioni di calcarenite; nelle diverse zone dei Sassi al fine di definire le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali rinvenuti. Sono stati prelevati, inoltre in particolare, diversi campioni di calcareniti nella zona del rione Casalnuovo, zona B, che sotto il profilo geologico-strutturale e per il rilevante grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, risulta di particolare interesse rispetto alle altre zone dei Sassi. I campioni prelevati sono stati inviati al Laboratorio prove materiali annesso all'Istituto di Costruzioni di Strade, Ferrovie ed Aeroporti dell'Università di Bari, per le opportune analisi di laboratorio.

Le prove sono state effettuate, in particolare, su alcuni campioni rappresentativi, tra quelli inviati in Laboratorio, e precisamente su un campione prelevato da un masso all'imbocco del rione Casalnuovo, contrassegnato col n.

5, e su due campioni provenienti dalle cantine 1^a 2^a S. Donato, rispettivamente contrassegnati con i numeri 6 e 7.

Per il primo di tali campioni ci si è limitati alla determinazione delle caratteristiche fisiche (peso-volume, peso specifico reale, porosità, coefficiente di imbibizione, contenuto di calcare), mentre per gli altri due, oltre la determinazione dello stato fisico, sono state analizzate le caratteristiche di resistenza meccanica, determinando i carichi di rottura dei provini sia a compressione monoassiale che a trazione con la prova brasiliana. Per il campione n. 6 infine rimaneggiato e ricostituito in laboratorio con valori diversi di umidità, sono state effettuate prove di resistenza a taglio con l'apparecchio di Casagrande, al fine di rilevare le variazioni delle caratteristiche meccaniche di coesione e di attrito interno, al variare del contenuto d'acqua del campione.

Le prove richiamate hanno posto in evidenza, per i diversi campioni, le seguenti caratteristiche:

- peso-volume variabile da 2,104 gr/cm³ per il campione n. 5 a 1,679 gr/cm³ per il campione 6, a 1,558 gr/cm³ per il campione 7;
- peso specifico reale di 2,679 gr/cm³ per il campione n. 5, 2,666 gr/cm³ per il campione n. 6, 2,682 gr/cm³ per il campione n. 7.

Conseguentemente la porosità risulta pari a:

21,61% per il campione n. 5

37,03% per il campione n. 6

41,91% per il campione n. 7

con valori, come si rileva, più elevati per i materiali prelevati in corrispondenza delle cantine di S. Donato rispetto a quelli del masso posto all'imbocco del rione Casalnuovo.

I coefficienti di imbibizione risultano pari a:

22,56% per il campione n. 5

13,61% per il campione n. 6

12,07% per il campione n. 7

mentre il contenuto di carbonato varia da 85,25% per il campione n. 6, a 88,07% per il campione n. 5, a 98,48% per il campione n. 7.

Le prove di compressione effettuate su n. 3 provini per ciascuno dei campioni n. 6 e n. 7 hanno posto in evidenza un valore medio del carico di rottura di circa 30 kg/cm² per il campione n. 6, mentre tale valore non raggiunge i 10 kg/cm² per il campione n. 7; con ciò denotando una notevole variazione di resistenza meccanica in zone pur fra loro contigue quali risultano essere le due cantine di S. Donato.

Le prove di resistenza per trazione, secondo il metodo brasiliano, hanno mostrato inoltre carichi di rottura di circa 2 kg/cm^2 , con valori più elevati per i provini ricavati dal campione n. 6 (in numero di quattro) rispetto a quelli del campione n. 7 (in numero di due), come era logico attendersi sulla base delle risultanze della prova a compressione.

Le prove di resistenza a taglio sono state effettuate sul campione n. 6, rimaneggiato e ricostituito in laboratorio, con diverse caratteristiche fisiche e precisamente in un primo tempo con valori di densità secca di $1,55 \text{ gr/cm}^3$ ed umidità 5,15%, e successivamente con densità secca di $1,528 \text{ gr/cm}^3$ ed umidità 10,83%; tali prove hanno posto in evidenza la sostanziale indipendenza del valore dell'angolo di attrito ($\phi = 45^\circ$) dal tenore di umidità, mentre si riscontra l'insorgere di una modesta coesione ($c = 0,04 \text{ kg/cm}^2$) all'aumentare del valore del contenuto d'acqua.

In base alle risultanze delle indagini e delle prove condotte in laboratorio, il materiale esaminato, costituito dalla calcarenite meglio nota localmente sotto il nome di «tufo di Matera», mentre dimostra in media discrete caratteristiche di resistenza, per altro verso presenta vistose variazioni, da zona a zona, delle caratteristiche di stato fisico.

Note

¹ La suddetta metodologia di interpretazione delle discontinuità presenti in un ammasso roccioso è stata recentemente proposta da KLAUS W. JOHN al II Congresso della Società Internazionale di Meccanica delle Rocce, svoltosi a Belgrado nel 1970.

Se si considera un piano p , passante per il centro dell'emisfero di riferimento (fig. a), l'intersezione del piano con il cerchio equatoriale (linea sottile in fig. a) rappresenta la *direzione* (N 20° E) del piano stesso rispetto ai punti cardinali. L'*inclinazione* e l'*immersione* del piano in parola (50° SE) sono invece rappresentate dal «grande cerchio», che è la proiezione (polare) sul cerchio equatoriale, della curva di intersezione del piano in parola con la superficie dell'emisfero inferiore.

Il punto P, detto polo del piano p , è la proiezione, sul cerchio equatoriale, dell'intersezione P' della normale al piano p , passante per il centro, con la superficie dell'emisfero inferiore (fig. 6). Di modo che su un diagramma reticolato ad aree equivalenti (reticolo di Schmidt) la posizione spaziale di un qualsiasi piano p è definita dal «grande cerchio» p e dal relativo polo P.

Il piano p può essere rappresentato anche solo dal polo P, in quanto da questo si può facilmente ricostruire il grande cerchio (infatti P viene a trovarsi sulla normale al grande cerchio p ad una distanza angolare di 90°).

Con siffatto metodo è possibile diagrammare la posizione spaziale di tutti i sistemi di discontinuità p presenti nella roccia (ogni sistema S raggruppa tutte quelle fratture aventi la stessa giacitura). Ogni grande cerchio p oppure ogni polo P rappresenta un sistema S di discontinuità.

5 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELLE CALCARENITI

Le calcareniti, che son permeabili praticamente solo per fessurazione, non costituiscono un acquifero. L'assenza di un substrato impermeabile e, subordinatamente, il discontinuo e globalmente moderato stato di fratturazione della roccia non consentono il formarsi di una falda idrica. Ciò è tra l'altro comprovato dall'assoluta assenza di manifestazioni sorgentizie, anche in corrispondenza dei versanti della valle della Gravina di Matera.

Le acque di pioggia, che attraverso le discontinuità tettoniche si infiltrano nell'ammasso calcarenitico, raggiungono e si insediano nei sottostanti calcari mesozoici, molto permeabili per fessurazione e carsismo. In questi, ma a notevole profondità, ha sede un'imponente falda acquifera, la cui quota piezometrica è soltanto di alcune decine di metri al di sopra del livello del mare o della quale si ha conoscenza dai pozzi, profondi anche svariate centinaia di metri, di recente eseguiti nella Murgia e in tutta la regione pugliese in genere.

6 - MODIFICHE APPORTATE DALL'UOMO ALL'AMBIENTE FISICO PREESISTENTE

La totale e perfetta aderenza dell'impianto urbano dei Sassi al difficile andamento della superficie del suolo, l'intimo adattamento delle singole unità abitative e dei manufatti in genere alla roccia, l'apprezzabile valore che il rapporto fra i volumi di scavo e di edificato molto spesso assume, la sostanziale differenza che si riscontra nella configurazione morfologica dei due contrapposti versanti della Gravina sono elementi di giudizio già sufficienti per valutare l'entità del rimodellamento subito dal pendio sotto l'intensa e multiforme azione dell'uomo. Il susseguirsi ed il sovrapporsi alla rinfusa, senza alcun ordine apparente, di innumerevoli tagli in roccia, terrapieni, cisterne di acqua, grotte ed edifici lasciano chiaramente intendere come, più che a precise scelte ingegneristiche ed architettoniche, le numerose espansioni subite nel tempo dell'area urbana ed i rinnovamenti verificatisi nel tessuto edilizio preesistente siano stati dettati sempre da esigenze di carattere squisitamente economico (per cui lo scavare costava meno del costruire, la calce meno dell'intonaco, ecc.) ed accompagnati da progressivi rimodellamenti della superficie del terreno, nonché dalla realizzazione di opere e strutture in sotterraneo.

Con rare eccezioni, fra cui il Monte Errone di Madonna dell'Idris (foto n. 9), oggi ben poche tracce rimangono del primitivo aspro paesaggio descritto in antichi documenti, fatto di grossi spuntoni di roccia, affioranti qua e là e variamente modellati dall'erosione idrometeorica e delle acque incanalate, e di ciclopici macigni distaccatisi dalle parti sommitali del pendio. L'asprezza della zona, tra l'altro ricca di vegetazione, era accentuata dalla presenza delle due cavee che circondano la Civita, ricolme anch'esse di grossi blocchi rocciosi ed incise sul fondovalle dai decisi solchi dei due grabiglioni. Questi erano caratterizzati da un marcato regime torrentizio ed abbondantemente alimentati, durante le piogge, dalle acque di ruscellamento superficiale provenienti dalla collina del Castello e della Nera. In essi confluivano inoltre le acque di altri modesti, ma talora altrettanto, impetuosi solchi torrentizi, che si venivano ad originare in più punti del ciglio del pendio incombente sui Sassi. Verosimilmente il grabiglione sul cui fondovalle oggi si sviluppa Via Fiorentini nel Sasso Barisano prendeva origine da un punto di Piazza V. Veneto (già Piazza della Fontana) e, dopo un ripidissimo tratto iniziale, confluiva nella Gravina; l'altro imboccava il Sasso Caveoso grosso modo nei pressi del Liceo e, attraverso Via Buozzi, sboccava nella Gravina in corrispondenza di Piazza S. Pietro Caveoso.

Nei suoi tratti fondamentali, detto complesso paesaggio si è conservato pressoché inalterato fino al XV secolo circa, quando sembra essersi iniziata la prima significativa espansione demografica. Fino alla prima metà del secolo in parola, la morfologia dei Sassi era stata alterata solo dalla presenza di pochi edifici e di numerose grotte, aventi sul davanti orti e ampi spazi vuoti nonché cisterne d'acqua all'interno ed all'esterno. La topografia materana del XVIII

secolo registra ancora diversi ponti per l'attraversamento dei fianchi detti numerosi solchi a regime torrentizio.

Fatta eccezione per poche e ristrette aree, oggi la superficie del suolo è completamente ricoperta e, nel groviglio di fabbricati e manufatti vari (foto nn. 10-12), solo a tratti è possibile osservarne la natura e l'andamento. L'attuale motivo morfologico dominante è dato da una successione di terrazze, di gradinate multiple (foto nn. 30-32), ottenute con tagli perfettamente verticali o subverticali, digradanti in direzione del ciglio della Gravina e, subordinatamente, dell'asse delle cavee del Barisano e del Caveoso. Per modo che l'impianto urbano si articola essenzialmente mediante una successione verticale di livelli edificati, il cui numero varia da rione a rione in ragione della primitiva conformazione morfologica ed altezza del pendio.

Le Tavv. 10 e 11 riportano l'ubicazione delle grotte, delle cisterne d'acqua esterne e dei vicinati esistenti nei Sassi. Per l'inaccessibilità dei luoghi, le cisterne d'acqua esistenti all'interno delle grotte e delle case-grotte non sono state censite. Vale la pena far presente che le grotte scavate nella calcarenite, in tempi e per finalità diversi (foto n. 33), si addentrano anche per 60-70 m nel pendio e che ciascuna di esse può interessare un volume anche dell'ordine di 700 m³. Le cisterne d'acqua (foto n. 34) hanno un volume medio di 36 m³ circa. Le planimetrie e le sezioni orizzontali e verticali, appositamente eseguite in scala 1:200 (Tavv. 6-9), nonché le foto nn. 41 e 42 mettono ben in evidenza come nel versante sud della Civita, nel Sasso Caveoso e nei rioni Malve e Casalnuovo, si sviluppano e si articolano in senso orizzontale e verticale gli edifici, le grotte, i vicinati, le strade, ecc. e come questo insieme di manufatti si fonde con la roccia del pendio.

È interessante notare come ai tre ordini costruttivi del Rione Malve fanno riscontro i sei ed i dieci ordini rispettivamente del Rione Casalnuovo e del versante sud della Civita. In questa ultima, in effetti, ai dieci ordini rilevati altri ne seguono verso l'alto.

Vale a questo punto la pena di esaminare più da vicino il tessuto edilizio e le opere di fognatura e di acquedotto dei Sassi.

6.1 - Tessuto edilizio¹

Un elemento fortemente caratterizzante della strutturazione urbana di Matera nella sua costruzione storica, almeno fino alla prima metà di questo secolo, è rilevabile essenzialmente dalla perfetta aderenza dell'impianto urbano alla singolarità e complessità dell'andamento orografico del territorio. La conformazione della collinetta della Civita, a picco sulla Gravina e sulle due scoscese fosse dei Sassi, determinò a suo tempo i confini della città per motivi difensivi e servì in seguito ad isolare tra loro le due ripide conche del Barisano e del Caveoso la cui strutturazione urbana, per la corrispondenza totale delle strutture viarie e per l'adattamento delle unità abitative alla complessa e varia

morfologia del terreno, portò a caratterizzare diversamente il tessuto urbano dei due quartieri.

Tuttavia, la logica della loro organizzazione costruttiva, sia nell'impianto di distribuzione dei percorsi che delle unità abitative, è simile essendo strettamente legata al rapporto diretto con la roccia malleabile dei Sassi, la quale costituisce ora il sostegno di percorsi che seguono direttamente l'andamento delle curve di livello, ora l'elemento stesso della costruzione della città.

Le unità abitative dei Sassi, almeno fino al IX secolo, erano formate quasi essenzialmente da grotte e solo in seguito appaiono le prime case «palazziate» che raramente, nel loro sviluppo verticale, sono interamente costruite ma che spesso, aderendo alla scoscesità del terreno, alternano parti scavate a parti costruite.

Le tipologie edilizie usate nei Sassi non sono molto dissimili da quelle che si trovano nei comuni dell'area Materana, ma il rapporto tra lo scavato ed il costruito reinterpreta quei pur semplici elementi architettonici secondo un processo di acculturazione che porta a considerare il trattamento della parte scavata secondo gli schemi formali dell'architettura costruita, creando una singolare «architettura in negativo» in cui si confondono elementi costruttivamente portati ed elementi portanti.

Senza soffermarci sull'architettura sacra «scavata», che raggiunge espressioni figurative spesso altissime nei Sassi, accenniamo invece alle tipologie abitative, tessuto connettivo dell'intera struttura urbana dei due quartieri.

Dal punto di vista funzionale, l'abitazione ad un vano scavata non differisce dall'organizzazione della «casedda» o del «lamione» dell'agro materano, costituiti da un unico ambiente, più o meno vasto, che segue uno schema standardizzato preciso: il posto fisso del forno e della «pila» dell'acqua, la dimensione dell'ambiente abitato e, in fondo, la stalla. Anche le «case soprane» seguono il loro classico schema tipologico e gli elementi che maggiormente caratterizzano l'architettura del Sasso non sono, quindi, dettati dalle scelte tipologiche nella loro organizzazione funzionale e distributiva, quanto dalla plasticità degli interni scavati e dal «montaggio» tipologico dei singoli pezzi abitativi (costruiti o scavati), cui corrisponde un rapporto diretto e immediato fra tipologie edilizie-morfologia urbana-morfologia del territorio. Questo rapporto diretto è un elemento che ritroviamo costante nel tempo fino al primo estendersi della città nel piano, fra i secoli XVII e XVIII, quando il margine superiore della fossa dei Sassi diventa elemento direttivo per la costruzione della nuova città e il «montaggio» delle tipologie abitative sul margine urbano segue spesso l'andamento a schiera o in linea, quasi a sottolineare il bordo naturale di confine fra il Piano e l'area scoscesa dei Sassi.

Riportiamo in sintesi le fasi storiche salienti della costruzione della città.

Il luogo fu abitato sin dalle epoche più remote, e di ciò testimoniano i numerosi reperti archeologici lungo la Gravina materana, che denotano la presenza di insediamenti umani già dal paleolitico. Tra le stazioni preistoriche individuate lungo la Gravina (la cui scelta ubicazionale era chiaramente dettata dalla facile difesa che poteva essere fornita dalla conformazione stessa del

territorio e dalla possibilità dell'approvvigionamento di acqua), l'unica rimasta come permanenza del «locus» è quella che era localizzata sull'area attualmente occupata dalla «Civita».

Questo insediamento umano, la cui produttività doveva permanere nel tempo di tipo essenzialmente agricolo, entrò nel periodo ellenistico nell'area economica delle vicine colonie costiere. Documenti e reperti archeologici (anche iscrizioni usate spesso nel Sasso come materiale di recupero) ci permettono di accertare il processo di ellenizzazione e poi di romanizzazione subito dall'abitato materano che con la costruzione del tracciato della via Appia si viene a mettere in posizione di facili relazioni, come nodo di traffico, col territorio produttivo ed amministrativo della regione.

È di difficile ricostruzione, tuttavia, la lettura del tracciato urbano che la città ebbe prima dell'epoca medioevale, potendosi solo stabilire che l'area occupata dalla città era essenzialmente quella della Civita, oltre a piccoli nuclei agricoli nell'area dei due Sassi.

La mancanza di elementi sufficienti per la lettura del tracciato urbano è da collegarsi probabilmente alle vicende storiche subite dalla città, dalla invasione dei Longobardi nel 622 alla distruzione quasi totale che ne fecero i Saraceni.

Nel periodo longobardo la città fu ulteriormente fortificata con il rifacimento del perimetro delle mura e la costruzione, verso il Piano, ai piedi della Civita, della mole di Castelvecchio. Gli ingressi alla città fortificata avvenivano attraverso le porte di «giuso» e di «suso» lungo la salita del Duomo, dal Sasso Barisano si accedeva attraverso la porta di San Nicola del Sole, presso la Torre Metellana; dal Sasso Caveoso si accedeva attraverso la Porta Pistola nel Rione Pianella, la Porta di San Marco, presso l'attuale Liceo, e la Porta posta presso la torre Capone.

Il Sasso Caveoso era già in parte abitato nelle zone dei Rioni Pianella, Malve e Liceo. Nel Barisano, presso il Rione Casale, dove doveva esservi un piccolo nucleo agricolo, si stabilì un insediamento longobardo che servì in seguito come polo di espansione per il popolamento del Sasso.

L'arrivo nell'area materana dei monaci basiliani, costretti a trasmigrare dalle leggi iconoclaste, influì non poco sulla strutturazione abitativa del Sasso con le costruzioni degli eremi, delle laure e dei cenobi scavati nella roccia lungo la Gravina, che servirono in seguito ad incrementare la crescita urbana lungo le pendici rocciose, costituendo piccoli nuclei produttivi che ben presto si trasformavano in casali e borghi di contadini che accudevano alle proprietà del Monastero.

I casali e le abitazioni scavate lungo le pareti dei Sassi avevano scarsi contatti fra di loro e con la Civita, separati dal corso dei due predetti «grabiglioni». Un rapporto diretto ed un andamento unitario fra le parti della città non si avrà quasi mai, almeno fino agli inizi di questo secolo, nonostante i ponti di collegamento costruiti sui grabiglioni, aumentando l'isolamento degli abitanti dei vari rioni, la cui possibilità di vita comunitaria è stata sempre assai ridotta a livello urbano.

Con il dominio della città da parte dei Normanni e degli Svevi, si ebbe un ulteriore incremento della popolazione nei due Sassi e il restauro del

Castelvecchio. La prima metà del XIII secolo vede, con la nomina della città ad Archidiocesi metropolitana, la costruzione della cattedrale sul colle della Civita e di chiese fra le più notevoli, quali quelle di San Domenico e di Santa Maria Nuova (San Giovanni Battista) sul margine del Sasso Barisano. Inizia così la realizzazione di grandi conventi fuori della città murata, lungo il confine naturale fra Sasso e Piano.

Il tessuto urbano dei Sassi doveva tuttavia restare, almeno fino al Quattrocento, a maglie molto rade, costituite essenzialmente da case scavate nella roccia e rare costruzioni in muratura, alternate a orti e spazi aperti.

Matera entra, alla metà del sec. XV, in una fase di espansione demografica, favorita anche dalla maggiore apertura dei mercati e dall'incremento dell'industria della seta e del ferro lavorato. Nel '500 l'incremento della popolazione si fa più sostenuto contandosi, nel 1532, 1.898 «fuochi» ed arrivando, nel 1595, a ben 3.100. È questo il periodo in cui la città antica dei Sassi e della Civita acquista un aspetto ormai più simile a quello attuale; le abitazioni si fanno fitte e la loro perfetta aderenza all'andamento naturale del terreno le pone in un rapporto diretto con la strada, ma più spesso questo rapporto viene mediato e la loro organizzazione avviene, con alternarsi di parti scavate e facciate in muratura, secondo unità funzionali (i «vicinati») composte di più unità abitative prospicienti uno spazio libero comune, che permetteva la proiezione all'aperto dell'angusto spazio abitabile della grotta.

L'incremento demografico subito dalla città la porta ormai ad estendersi, nel sec. XVI, nell'area dei due Sassi fino ai lati estremi del Barisano (dove fu costruito nel 1591 il convento di Sant'Agostino) e del Caveoso; qui pare si fosse insediata una colonia di immigrati serbi, che avevano trovato lungo gli scoscesi terrazzamenti di Casalnuovo, in cui alcune grotte erano già state abitate dai monaci, la possibilità di scavare abitazioni sulla docile roccia, ricorrendo solo raramente ai costosi materiali da costruzione per case palazziate. Il nuovo Rione rimase tuttavia quasi isolato dal resto della città, separato dalla fossa del grabiglione del Caveoso.

L'incremento produttivo dei commerci, che aveva permesso l'espandersi della città, porta alla necessità di spostare il centro cittadino in un'area più baricentrica, funzionale alla nuova esigenza urbana di avere un luogo di riunione e di mercato. Viene allora costruita la Piazza Sedile (l'attuale Vittorio Emanuele²), prospiciente il Castelvecchio, fuori le mura, che ormai hanno perso completamente la loro funzione difensiva; si crea così un'area di cerniera fra le tre parti della città: la Civita, il Barisano, il Caveoso.

Una costruzione di difesa viene eretta invece agli inizi del secolo sulla collinetta prospiciente la «Civita» oltre il Piano: il castello fatto costruire dal Conte Tramontano, aperto alla vista della città e del territorio, che è venuto a costituire così uno degli elementi più caratterizzanti dell'attuale paesaggio urbano.

Le vecchie porte della città acquistarono la funzione di un controllo daziario e fiscale e ne furono costruite altre due oltre la piazza Sedile, di cui presso il convento di San Francesco.

La seconda metà del secolo XVII segnò l'inizio di un periodo di fondamentale importanza per la costruzione della città, che continuerà fino al secolo successivo con l'assunzione di Matera a sede della Regia Udienza Provinciale.

La localizzazione dei nuovi uffici e l'impulso nuovo che venne ad avere la città furono occasione di una profonda ristrutturazione dell'impianto urbano, il cui disegno si delineò chiaramente anche al di fuori della «Civita» e dei Sassi (che ormai assai popolosi contavano la maggiore percentuale delle abitazioni materane), strutturando la città in alto, verso il Piano, lungo i margini naturali delle ripide conche dei Sassi.

L'asse urbano principale viene tracciato in posizione baricentrica partendo da piazza Sedile (considerata ormai l'effettiva area centrale urbana) e proseguendo da un lato verso il Piano, lungo la via Beccherie fino a Piazza Fontana, e dall'altro congiungendosi lungo la vecchia salita delle mura alla piazza del Duomo. L'altro allineamento tracciato nella struttura urbana di Matera nei secoli XVII-XVIII, e che sarà di riferimento fondamentale alla città ottocentesca, è indicato dalle nuove localizzazioni di grandi conventi nel piano lungo il bordo della fossa del Caveoso (nella via del Seminario), fino a Piazza Fontana, e quindi, dalla Piazza Fontana costeggiano il Barisano con la via di San Biagio.

La via Beccherie e la Piazza Sedile accolsero le nuove funzioni amministrative della città mantenendo e sviluppando quelle commerciali e artigiane. Gli edifici più notevoli costruiti lungo le nuove direttrici urbane sono quasi sempre di tipo ecclesiastico: il grande Seminario, che apre con eccellente soluzione urbanistica il nuovo allineamento sottolineato dalla notevolissima costruzione di «case nuove»; il convento di Santa Chiara; la chiesa del Purgatorio, che chiuderà visivamente col suo volume la fuga prospettica di Via Ridola, leggibile come elemento emergente di riferimento visivo dal Sasso Caveoso; ancora, infine, il grande convento di Santa Lucia con la Fontana sulla piazza omonima, ove si affaccia anche la possente costruzione del convento dell'Annunziata; più oltre, davanti al convento di San Domenico, viene eretta la chiesa di San Francesco di Paola che accenna il prolungamento di un altro asse urbano, sviluppato poi nel secolo successivo costituito dall'attuale via XX settembre.

Ai margini del Barisano viene costruito il convento di San Rocco e ricostruito quello di Sant'Agostino.

L'antica San Francesco viene inglobata nella nuova costruzione della chiesa e del convento, il cui isolato si inseriva magistralmente nell'impianto urbano (che oggi è stato del tutto deturpato) creando una zona di cerniera e di filtro tra i nuovi allineamenti del Piano e i vecchi quartieri dei Sassi e della Civita. Il fianco della nuova mole della chiesa di San Francesco veniva così a concludere, con il palazzo della Regia Udienza, la piazza del Sedile, in cui nel 1759 fu costruito il prospetto del municipio.

Al rinnovamento urbano non sono estranei i quartieri dei Sassi e della Civita. Quest'ultimo vecchio rione subì un profondo processo di rinnovamento con la ricostruzione ed il rimodernamento di palazzi nobiliari come quelli del Moro, Alvino, Ferrau-Giudiciopietro e Venusio.

Anche i Sassi subirono in alcune parti un processo di ristrutturazione nella riorganizzazione dei percorsi principali, nella cura dell'arredo urbano, nelle cornici e decorazioni e, in taluni casi, nella costruzione e nel restauro di palazzotti posti in una posizione urbana più privilegiata rispetto al nuovo impianto che andava dandosi alla città. I percorsi vengono meglio collegati dai ponti sui «grabiglioni» del Barisano e del Caveoso e in quest'ultimo quartiere si nota chiaramente la ricerca di più diretti collegamenti dei rioni con i nuovi assi urbani del Piano.

Nelle altre zone dei Sassi, tuttavia, nonostante la spinta al rinnovamento, rimase evidente la selezione di classe esercitata sugli abitanti dei quartieri, i quali erano rappresentati in massima percentuale da pastori e contadini.

L'analisi tipologica delle abitazioni chiarisce con estrema evidenza l'appartenenza sociale dei loro abitanti; questo appare nel rapporto tra le abitazioni scavate e quelle costruite con materiali che, pur nella loro semplicità (dai blocchetti di tufo alle tegole), venivano comunque ad essere proporzionalmente costosi; nella presenza percentuale nei Sassi, rispetto alla Civita e al Piano, di abitazioni costituite da un unico vano; nella scarsa percentuale, infine, rispetto agli altri rioni, di case soprane o a più piani.

La selezione sociale degli abitanti del Sasso si fa più evidente nel secolo scorso, quando l'incremento della popolazione porta ad un ulteriore affollamento e conseguente degrado delle condizioni di vita nei due quartieri.

Le nuove abitazioni ripetono elementi tipologici già presenti nel Sasso differenziandosi, in genere, nel tipo di montaggio ma arrivando tuttavia a soluzioni assai interessanti, come nel caso dei nuovi borghi costruiti sul ciglio del rione Casalnuovo; gli interventi sono ormai pianificati e guidati da un controllo più deciso sull'uso e la proprietà del suolo e fanno capo in genere ad un'unica proprietà terriera, al fine di concentrare le abitazioni dei propri contadini (la proprietà della terra andava concentrandosi massimamente attorno ad un ristretto numero di famiglie, anche di estrazione borghese, mentre le proprietà del clero e quelle demaniali andavano assottigliandosi); sono questi gli interventi edilizi ormai ai margini esterni dei Sassi, mentre nel cuore dei due quartieri (che hanno raggiunto un alto indice di densità abitativa) gli interventi sono isolati e sporadici. La costruzione della città ottocentesca è volta tutta al Piano ed è un'opera di completamento secondo le direttrici urbane dettate dall'impianto settecentesco; i Sassi invece, considerati socialmente degradati, vengono volutamente esclusi, almeno formalmente, dalla nuova organizzazione urbana.

È solo agli inizi di questo Secolo che avvengono i guasti nella struttura urbana settecentesca, con l'abbattimento degli isolati davanti e presso San Francesco e la ricostruzione della spina tra via Beccherie e corso Umberto.

I Sassi, d'altra parte, subiscono una ristrutturazione fondamentale nella organizzazione dei percorsi con la copertura dei due grabiglioni, venendosi così a formare due grandi strade collettrici del traffico dei quartieri, unendo i vari rioni tra loro dove erano, per Secoli, stati divisi e caratterizzati. Tuttavia la condizione abitativa dei Sassi andò peggiorando ulteriormente per il forte e costante incremento della popolazione urbana (Matera), che superò nel 1901 i

17.000 abitanti; nel 1911 arrivò a 17.726; nel 1921 a 18.357 per contare, infine, nel censimento del 1951, 30.390 abitanti, di cui 15.900 residenti nei Sassi.

La selezione di classe degli abitanti nel Sasso divenne sempre più evidente, risiedendovi il 62,2% della totalità dei cittadini attivi dediti all'agricoltura e il 61,5% di quelli dediti all'industria. Il degrado abitativo e il sovraffollamento è facilmente leggibile dai dati del censimento del 1951, donde risulta che su 5.238 abitazioni occupate nella città, ben 1.527 erano sfornite di servizi e acqua potabile e nei Sassi erano ancora occupate 1.561 abitazioni in grotta e 1.693 abitazioni avevano ancora all'interno la stalla.

Le caratteristiche più salienti qui descritte, relativamente all'impianto urbano del Sasso, alla sua completa aderenza all'andamento del terreno nella sua rispondenza funzionale e nell'uso dei materiali - tutti elementi che ne stabiliscono il rapporto diretto essenziale tra tipologia edilizia e morfologia urbana - vengono lette, in una particolare ottica, come il frutto di una profonda e secolare carenza ed emarginazione economica. Questa portava a precise soluzioni architettoniche e spaziali non in modo diretto, per scelta di espressione formale, ma in modo mediato per esigenza economica, onde, come detto già nelle pagine precedenti, lo scavare costava meno del costruire; il sostenere meno dello sbancare; la calce meno dell'intonaco; l'organizzarsi in nuclei funzionali abitativi, infine, portava ad un minimo di mutua assistenza laddove l'assistenza non c'era. Solo la fantasia e l'estro degli abitanti dei Sassi ci hanno lasciato, di quella che doveva essere stata per Secoli la miseria fatta città, un quadro di insostituibile interesse storico e formale.

6.2 - Opere di fognatura e di acquedotto

La fognatura dei Sassi (Tav. 13) è quasi dappertutto di tipo misto e convoglia le acque nella Gravina di Matera. Essa, oltre che a servizio diretto dei Sassi, smaltisce anche le acque di tutta la parte della città di Matera che gravita a ridosso degli stessi.

Due collettori principali di questa fognatura sono impostati nei due profondi solchi naturali, fondovalle delle due cavee costituite dal Sasso Barisano e dal Sasso Caveoso. Questi due collettori fanno a loro volta capo ad un collettore circondariale che, correndo a mezza costa sulla sponda destra del Torrente Gravina di Matera, scarica le acque a valle del centro abitato.

Si tratta di una fognatura veramente «sui generis» in quanto, data l'urbanistica del Rione dei Sassi, le fogne, talvolta superficiali e talvolta molto profonde (anche di profondità maggiore di 4-5 m), si articolano nel modo più vario sia planimetricamente che altimetricamente, spesso attraversando addirittura abitazioni o correndo sul tetto delle case.

Tutta la fognatura, costruita in tempi diversi ma comunque lontani, è costituita da cunicoli in tufo e tubazioni in stato di conservazione davvero precario, con perdite diffuse un po' dappertutto e perdite localizzate di notevole entità. Essa ha perso quindi gran parte della sua funzionalità, essendo

praticamente impossibile accedere alla stessa ai fini della sua ispezione e dei lavori manutentori.

Anche per l'acquedotto ci si trova di fronte ad una rete (Tav. 12) il cui stato di conservazione e di efficienza può compromettere, a causa di perdite d'acqua, la stabilità di talune strutture e senz'altro l'utilizzazione dei Sassi medesimi. Detta rete è di costruzione non recente (20-30 anni) ed è da ritenere funzionale ancora attualmente, anche se la manutenzione e gli interventi su di essa sono limitati ai soli tronchi lasciati in funzione, essendosi prudenzialmente isolati quelli che oggi non hanno più utenze da servire.

Si ritiene che le condotte attualmente in funzione siano circa il 50% del totale e che parte di quelle chiuse all'esercizio potrebbero essere riaperte senza alcun significativo lavoro di riparazione.

L'argomento dello stato di conservazione delle opere di fognatura e di acquedotto verrà ripreso nel capitolo seguente, dove tra l'altro verranno evidenziate le opere di immediato intervento necessarie.

Note

¹ Questo paragrafo è stato cortesemente in buona parte redatto dall'Arch. Livia Bertelli.

² Oggi Piazza del Sedile.(*N.d.C.*)

7 - DISSESTI STATICI E STATO DI CONSERVAZIONE DEI MANUFATTI

7.1 - Dissesti statici

7.1.1 - Tipi di dissesti

I manufatti dei Sassi sono interessati da dissesti statici di vario tipo ed entità, manifestantisi sotto forma di fessurazioni, rotture delle masse murarie e di deformazioni della configurazione geometrica delle strutture e sfocianti non di rado in crolli e sprofondamenti parziali o totali. Questi ultimi colpiscono sia fabbricati che muri di sostegno e strade (foto nn. 43 - 49).

Le condizioni statiche delle grotte sono ovunque decisamente migliori rispetto a quelle di tutti gli altri tipi di manufatti. I dissesti che in esse si riscontrano sono sempre di entità relativamente modesta o comunque tale da non risultare in alcun caso pregiudizievole ai fini della stabilità complessiva delle stesse. Ciò che più di frequente si rileva è la caduta o il semplice distacco di modesti volumi di roccia dalle volte o dalle pareti e l'instabilità di voltine in conci di tufo.

Tralasciando i dissesti riguardanti le strade, banali nel loro meccanismo e manifestantisi con avvallamenti o sprofondamenti, quelli che interessano fabbricati e strutture di sostegno sono riconducibili a: crolli parziali o totali, lesioni di vario tipo ed entità (foto nn. 50-74) e deformazioni dei paramenti verticali delle murature (foto n. 75).

Nei dissesti, che sotto forma di fessurazioni colpiscono gli edifici, è possibile riconoscere, sia pure in linea di larga massima, un andamento generale. Le lesioni, infatti, sembrano rientrare in un quadro fessurativo d'insieme, caratterizzato da una più o meno evidente rotazione dei manufatti intorno ad un asse ideale.

Questo ha spesso la stessa orientazione dell'asse della Gravina o dei grabiglioni. Siffatta circostanza comprova tra l'altro la specifica e significativa influenza esercitata dal fattore morfologico. I tipi di lesioni che più di frequente si riscontrano possono così distinguersi:

- Lesioni di distacco sviluppatasi secondo le direttrici di volte a botte in muratura e grosso modo parallele ad un ideale asse di rotazione.
- Lesioni di distacco normale all'asse di ideale rotazione, con fessurazioni a ramo unico o a rami multipli, con labbra divergenti verso l'alto o verso il basso.
- Lesioni di distacco tra paramenti verticali e piani orizzontali (piani stradali, piani di calpestio di terrazzi, cortili, solai), all'incirca parallele al già detto asse di rotazione. Questo tipo di lesione è quello che tende ad

allargarsi con maggiore rapidità, mentre il paramento verticale tende a ribaltarsi con un leggero moto rotativo.

- Lesioni di distacco su strutture murarie originate da movimenti relativi (cioè da spostamenti di una parte rispetto all'altra della muratura interessata dalla lesione), di traslazione e o di rotazione, con piani di traslazione ed assi di rotazione variamente orientati. Se l'asse di rotazione giace sul piano di imposta la lesione è del tipo a V; se giace invece su un qualsiasi altro piano situato al di sopra di quello di imposta, le lesioni sono generalmente del tipo a labbra divergenti verso il basso. Queste ultime sono di norma associate a traslazioni relative sul piano di imposta.

Nella carta dei dissesti statici dei manufatti (Tav. 4), dove sono stati riportati tutti i dissesti riconosciuti nell'area dei Sassi, le lesioni sono state indicate con simboli ed aggettivi diversi, a seconda del tipo e dell'entità. In base a questa ultima si hanno:

- *Lesioni gravissime*: quelle che sembrano compromettere seriamente la stabilità dell'intero edificio o di gran parte di esso. Esse interessano direttamente le strutture portanti e si presentano con labbra molto aperte.
- *Lesioni gravi*: quelle la cui posizione lascia prevedere la possibilità di crolli parziali. Esse consistono in rotture nelle strutture portanti e sono dotate di una certa apertura.
- *Lesioni lievi*: quelle poco aperte e che in nessun modo pregiudicano la stabilità del fabbricato.

Vale la pena precisare che, per l'inaccessibilità dei luoghi, non sempre è stato possibile osservare da vicino i dissesti rilevanti.

7.1.2 - Distribuzione nel tempo e nello spazio di dissesti

In tutta l'area dei Sassi numerosi indizi testimoniano che, da antica data, i fenomeni di dissesto costituiscono un problema alquanto serio. Esiste tutta una serie di opere (foto nn. 76-80) - muri di sostegno, rudimentali chiodature, puntellature ecc. - a carattere provvisorio e di primo intervento chiaramente realizzate in tempi diversi e dettate da necessità contingenti e strettamente connesse con la «crescita» a volte rapida ma sempre disordinata, dall'impianto urbano.

All'interno di molte grotte si rinvencono archi e volte dei tipi più svariati (a tutto sesto, rampanti, accostati gli uni agli altri o intervallati in vario modo, ecc.) realizzati per porre rimedio vuoi a movimenti di roccia vuoi agli eccessivi ed indiscriminati scavi operati nella roccia stessa. Talora voltine in conci di «tufo» sono state eseguite con lo scopo precipuo di separare due grotte sovrapposte, che l'indiscriminato scavo aveva messo in comunicazione.

Oltre a muri di sostegno, contrafforti e tiranti in ferro, largo uso di archi a volte è stato fatto per conferire una maggiore stabilità alle strutture murarie.

Per quanto si riferisce alla distribuzione nello spazio dei dissesti statici, dalla Tavola 4 emerge chiaramente che anche essa rispecchia e risulta condizionata dalle caratteristiche morfologico - strutturali dell'area dei Sassi. I dissesti sono infatti più frequenti e più gravi lungo l'intera fascia situata immediatamente a ridosso della Gravina e lungo i versanti dei grabiglioni. In

particolare nel Sasso Barisano i maggiori dissesti si osservano su entrambi i versanti incombenti su Via Fiorentini, a partire all'incirca dalle quote medie dei versanti stessi verso il fondovalle. Nel Caveoso principalmente sul versante sinistro del grabi- glione, a partire dalla parte mediana di Via Buozzi.

7.2 - Cause dei dissesti

Una sistematica, cronica insufficienza «ambientale» è la vera ragione di un fenomeno di dissesto così esteso nel tempo e nello spazio e così complesso nella sua genesi e dinamica evolutiva. L'ostinato cumularsi di un insieme di circostanze, ricorrenti e contingenti, mutuamente influenzantisi è ciò che più di frequente si riscontra alla base di dissesti. Il più delle volte anche quei fattori, che si mostrano appariscenti e decisamente pregiudizievole, in effetti non intervengono che come concausa. Il fatto che non di rado la causa e la dinamica di un crollo o di un qualsiasi altro grave dissesto è difficilmente riconoscibile conferma appunto che il dissesto stesso non è che l'espressione ultima, macroscopica, di tutta una serie di episodi precedenti, sui quali hanno agito fattori diversi. Talora, infine, son semplici fattori accidentali di vario genere, che innescano incrinature o lesioni nelle strutture in elevazione, che successivamente si evolvono in dissesti più gravi a causa della vetustà e del cattivo stato di conservazione del manufatto.

Esistono tuttavia casi in cui il dissesto è imputabile essenzialmente ad uno o due fattori principali; inoltre alcuni fattori di dissesto assumono importanza diversa da una zona all'altra dei Sassi o addirittura di uno stesso rione.

In definitiva si può affermare che le principali cause di dissesto più che nell'ambiente fisico vanno ricercate negli effetti dell'opera dell'uomo. A tal proposito vale la pena premettere che, a meno che non intervengano altri fattori (decadimento delle proprietà fisiche e meccaniche della roccia, fenomeni di erosione sotterranea, ecc.) o particolari situazioni stratigrafiche (alternanze di livelli conglomerati con livelli sabbioso-calcarenitici), le caratteristiche di resistenza meccanica della calcarenite sono di norma pienamente compatibili con le sollecitazioni trasmesse dai manufatti. D'altra parte, tenuto conto dell'intimo adattamento dei manufatti alla roccia, la causa del dissesto, più che nelle proprietà intrinseche del terreno, va spesso ricercata nell'interazione fra strutture e roccia.

La fatiscenza di buona parte dei manufatti, dovuta a vetustà ed alla pessima manutenzione degli stessi, è infine da tener presente vuoi nella ricostruzione della dinamica del dissesto vuoi nella valutazione della causa prima che lo ha prodotto.

7.2.1 - Fattori di dissesto insiti nell'ambiente fisico

I più significativi e ricorrenti sono:

- *Le discontinuità tettoniche* presenti nella calcarenite (foto nn. 81-89); che determinano: la suddivisione in blocchi ed un più o meno accentuato allentamento dell'ammasso roccioso, la possibilità di scivolamenti di blocchi di varia forma e dimensione, l'infiltrazione nel sottosuolo delle acque meteoriche o di altra provenienza ed una complessa distribuzione delle tensioni nel mezzo stesso (trattandosi di giunti rugosi e scabrosi, sui loro piani si originano concentrazioni di tensioni).

In merito alla significatività delle fratture ai fini della stabilità delle scarpate e del pendio, si dirà nel capitolo che segue. Qui vale la pena evidenziare che le discontinuità sviluppantisi in prossimità del bordo della Gravina e dei grabiglioni son quelle maggiormente aperte o che comunque tendono ad aprirsi. Ciò si riflette non poco sulla distribuzione spaziale dei dissesti (Tav. 4). La fig. 25 mostra un esempio di dissesto essenzialmente prodotto dalla presenza di superfici di discontinuità nella roccia di fondazione.

- *La disomogeneità granulometrica e diagenetica* delle calcareniti, che è più marcata nella parte bassa della formazione. Il terreno di fondazione dei manufatti distribuiti alle basse quote ed in prossimità del ciglio della Gravina è eterogeneo è dotato di proprietà meccaniche relativamente più scadenti, risultando esso costituito da alternanze di livelli conglomeratici con livelli sabbioso - calcarenitici. Detto materiale è osservabile anche sulle pareti di alcune grotte. Ciò è talora causa di assestamenti differenziali, anche se quasi sempre modesti. La distribuzione spaziale dei dissesti nell'ambito dell'intera area dei Sassi, descritta nel precedente paragrafo, risente non poco di detta caratteristica della formazione calcarenitica.
- *La facile erodibilità e degradabilità* delle calcareniti da parte degli agenti idrometeorici. Per l'arretramento di fronti rocciosi particolarmente esposti all'erosione, parte delle strutture portanti di quei manufatti ergentisi sul bordo estremo di scarpate viene a trovarsi scalzata alla base e/o sospesa nel vuoto (foto nn. 90 e 91). La degradabilità della roccia, per via chimica (dissoluzione del CaCO_3 , processi di ossidazione, ecc.) o per semplice imbibizione d'acqua, produce un apprezzabile decadimento delle caratteristiche fisiche e di resistenza meccanica della roccia di fondazione, con conseguenti cedimenti e rotture.

Il fattore di dissesto in parola agisce in tutta l'area dei Sassi. Le figg. 26 e 28 mostrano alcuni dissesti originatisi anche per il decadimento delle proprietà meccaniche della calcarenite.

- *Il vuoto, la decompressione dei versanti e la spontanea evoluzione morfologica dei versanti della Gravina.* I blocchi unitari, di cui si compone l'ammasso calcarenitico, tendono a muoversi per assumere posizioni sempre più stabili e compatibili con la configurazione delle scarpate e dell'intera valle della Gravina. A causa del richiamo esercitato dal vuoto prodotto dalla Gravina e subordinatamente dai grabiglioni, anche le fratture della roccia ad orientazione sfavorevole tendono ad aprirsi maggiormente o, quanto meno, a non occludersi. E' interessante notare

che anche le lesioni di distacco, presenti nelle murature degli edifici e la direzione di ribaltamento dei manufatti o di parte di essi, risentono del fenomeno in parola (vedi paragrafo precedente).

I fattori in parola hanno svolto un ruolo di primissimo piano nella distribuzione spaziale dei dissesti (Tav. 4).

7.2.2 - Fattori di dissesto derivanti dall'opera dell'uomo

I più significativi, che agiscono come causa sia ricorrente che contingente sono:

- *Il tipo di tessuto edilizio ed i difetti di costruzione.* Il tessuto edilizio - nel quale tra l'altro rientrano anche le grotte, i tagli in roccia, le colmate ed i rilevati, le opere di fognatura e di acquedotto di cui si dirà in seguito - rappresenta nella maggior parte dei casi la causa prima, determinante dei dissesti. Si è già detto che l'impianto urbano dei Sassi è un susseguirsi ed un sovrapporsi alla rinfusa, senza un preciso e programmato schema costruttivo, di manufatti eseguiti in tempi e con finalità diversi e frequentemente con tecniche non corrette.

Spesso non conforme alle più elementari regole della statica, la quasi totalità dei fabbricati ha subito modifiche e rimaneggiamenti vari (ampliamenti, sopraelevazioni, apertura di vani, nicchie, terrazzi, giardini, pensili, rampe di scale, ecc.), mentre al di sotto di essi veniva scavata altra roccia per realizzare immensi depositi, cantine, cisterne, ecc. Ad una strutturazione disordinata e disarticolata delle fondazioni, si aggiunge la circostanza che esse risultano mal dimensionate e non di rado del tutto insufficienti, in relazione ai carichi attualmente agenti (figg. 27 e 29). Una deficienza di dimensionamento caratterizza anche buona parte delle strutture di sostegno, che talora mostrano tracce di rifacimento.

Infine, ponendosi le strutture anche nel sottosuolo oltre che sul suolo, si originano complessi fenomeni di interazione fra strutture, roccia e vuoti, che danno luogo ad altrettanto complessi fenomeni di dissesto.

La foto n. 63 mostra un esempio di archi e volte spingenti su strutture prive di contrafforti; le figg. 27 e 29 offrono un esempio d'impostazione di strutture portanti verticali in chiave ad archi e/o volte sottostanti; la foto n. 46 mostra un indebolimento delle sezioni resistenti per l'escavazione di grotte e/o cisterne immediatamente a ridosso di vuoti sotterranei preesistenti.

Infine, l'impiego di materiali da costruzione dotati di scadenti caratteristiche di resistenza meccanica («tufi» cavati in posto) e facilmente deteriorabili (foto nn. 92-95) è concausa di assestamenti differenziali delle murature, generalmente accompagnati da un incremento di spinte originato dalle volte o dagli archi sulle murature perimetrali. Si vengono così a produrre lesioni di distacco, cedimenti in chiave delle volte, schiacciamenti, crolli parziali. I fenomeni di dissesto vengono spesso esaltati dall'asportazione dei leganti operata dagli agenti idrometeorici su talune strutture direttamente esposte (anche su archi e volte).

- *Le numerosissime grotte e cisterne d'acqua* ricavate nella calcarenite di tutti i Sassi in tempi e per finalità diversi. Oltre ad interrompere la continuità dell'ammasso roccioso, i vuoti dovuti a grotte e cisterne originano in seno all'ammasso stesse complesse distribuzioni e concentrazioni di sollecitazioni, difficilmente valutabili in quanto esprimono la risultante degli effetti prodotti da un gran numero di grotte variamente disposte e ramificate. Infatti, un anello di roccia rilasciata, con zone sollecitate a trazione e zone a taglio, è presente nella calcarenite immediatamente circostante a ciascuna grotta.

La configurazione e l'estensione di detto anello e delle zone di sollecitazioni indotte nonché l'entità delle sollecitazioni stesse variano in ragione della disposizione, dimensione e configurazione geometrica dei vuoti e delle proprietà meccaniche della roccia (e quindi dell'assortimento granulometrico, del grado di diagenesi, di fessurazione e di degradazione della calcarenite). Di modo che, anche tralasciando le sollecitazioni indotte dai manufatti poggiati sulle grotte, all'interno dell'ammasso calcarenitico regna un molto complesso stato di sollecitazione, essenzialmente dovuto alla presenza di un gran numero di vuoti mutuamente influenzanti e che variamente si affiancano, si sovrappongono e si intersecano. È interessante a tal proposito notare che in talune zone il rapporto vuoto - pieno può raggiungere valori anche dell'ordine del 40-50%.

A meno che non intervengano altre circostanze (infiltrazioni d'acqua, orientazione sfavorevole delle fratture, ecc.) la presenza di una grotta difficilmente da sola è causa di gravi dissesti.

Per contro nel ruolo di concausa esse occupano un posto di primissimo piano, specie se la presenza di piani di discontinuità e di fenomeni di degradazione della calcarenite, infiltrazioni d'acqua e tessuto edilizio intervengono come fattori determinanti e contingenti. Opere di sostegno di volte e pareti, eseguite in tempi diversi ed anche lontani, si osservano in diverse grotte.

Le figg. 25, 26 e 28 mostrano alcuni dissesti prodottisi anche per la presenza di grotte e cisterne.

- *La presenza di aree o punti di preferenziale raccolta, ristagno ed infiltrazione nel sottosuolo delle acque di pioggia*, dovuta alla mancanza di un razionale ed adeguato sistema di raccolta e di smaltimento delle acque stesse. Dette aree, presenti un po' ovunque nei Sassi, sono essenzialmente costituite da vicinati, quasi sempre situati al di sotto del piano stradale e che un tempo assolvevano all'importante funzione di raccolta e convogliamento nelle cisterne delle acque di pioggia, e da giardini pensili. La Tav. 11 mostra come vicinati e giardini pensili sono distribuiti nei Sassi e l'area occupata da ciascuno di essi. Accumuli d'acqua si osservano anche in corrispondenza di cortili interni, di fabbricati privi di copertura e di depressioni di vario genere della superficie topografica (foto n. 96). Da un calcolo appositamente condotto, è emerso che le aree in parola occupano una superficie di 4 ha circa, contro circa 30 ha che riguardano l'intera superficie dei Sassi.

Mentre il ristagno d'acqua produce l'imbibizione e quindi il decadimento

delle caratteristiche fisiche e di resistenza meccanica della roccia, l'infiltrazione concentrata e circoscritta di cospicui quantitativi d'acqua, attraverso le fratture della roccia, innesca fenomeni di erosione sotterranea riduce le proprietà di attrito dei piani di discontinuità e quindi aumenta le possibilità di scivolamenti di blocchi sugli stessi piani di discontinuità (foto nn. 97 e 98). Inoltre la presenza di sistemi di fratture addentranti nei sottostanti calcari mesozoici consente all'acqua di muoversi nel sottosuolo «a canaletto» o, talora, per zolle ristrette e separate fra loro con moto di filtrazione dotato di notevole gradiente idraulico.

Vale la pena infine evidenziare che in molte grotte, particolarmente in quelle chiuse con muratura, per insufficienza di ventilazione la roccia è permanentemente umida (foto nn. 99, 100 e 101).

Nel dissesto documentato con la fig. 26 è evidente il ruolo svolto dalla presenza di un vicinato.

- *Le perdite e le infiltrazioni d'acqua dovute al precario stato di conservazione delle opere di fognatura e di acquedotto.* La vetustà, il pessimo stato di conservazione e la mancanza assoluta di manutenzione delle opere di fogna e di acquedotto danno luogo a continue e cospicue perdite sia in forma diffusa che concentrata. Per l'ostruzione di tratti secondari e per l'affluire di portate maggiori che in passato, le fogne entrano spesso in pressione anche per piogge non eccezionali. Perdite continue e conseguenti dissesti di un certo rilievo si osservano anche in corrispondenza dei punti di allaccio della rete d'acquedotto a fontane pubbliche. Gli effetti prodotti dalle perdite d'acqua in parola potrebbero a luoghi risultare più gravi di quelli dovuti alle dianzi descritte infiltrazioni d'acqua di pioggia, vuoi per il loro carattere di continuità, vuoi per la forma concentrata dell'infiltrazione vuoi per i carichi idraulici che spesso l'acqua possiede all'uscita dalle tubazioni vuoi perché la roccia viene ad essere interessata in punti fissi.
- *I tagli di scarpate verticali, le colmate ed i rilevati.* Specie laddove la roccia è fessurata, i numerosissimi tagli di pareti verticali e subverticali sono spesso causa di distacchi e di scivolamenti di blocchi rocciosi più o meno grandi, con conseguenti gravi dissesti ai manufatti. In merito alla significatività dei tagli in parola ai fini della stabilità delle scarpate e dello stesso pendio naturale si dirà nel capitolo seguente.

Crolli di muri di sostegno, sprofondamenti o avvallamenti di strade e di cortili, assestamenti differenziali delle fondazioni di fabbricati sono spesso dovuti alla presenza di colmate e di rilevati, realizzati sommariamente e con materiale di risulta non idoneo, messo in opera alla rinfusa e senza una adeguata costipazione e drenaggio. Alcuni esempi sono forniti dal recente crollo del muro di sostegno della piazza antistante alla Cattedrale (foto n. 47) e dallo sprofondamento della strada sitata immediatamente a monte di Via San Giacomo (foto nn. 48 e 49).

Vale la pena a questo punto riportare alcuni esempi di dissesti, indicandone le cause. La fig. 25 mostra diversi tipi di dissesti che hanno colpito fabbricati, strade, muri di sostegno e giardini pensili.

Lesioni di distacco e deformazioni geometriche dei paramenti verticali hanno interessato l'edificio in muratura di tufi ed il terrazzo che si possono osservare nella sez. A-A¹ e nelle foto nn. 73-75. In particolare una grossa lesione, apertasi tra il paramento verticale ed il piano calpestio del terrazzo (quest'ultimo interessato da altre numerose e pericolose lesioni), tende lentamente ma costantemente ad aprirsi, mentre lo stesso paramento verticale tende a ribaltarsi con un leggero moto rotativo (foto nn. 73 e 74). La causa responsabile va ricercata essenzialmente negli assestamenti disuniformi della roccia di imposta, determinati da sistemi sovrapposti di grotte, da scadente qualità della roccia di fondazione e dalla presenza di quest'ultima di piani di frattura disposti anche a franapoggio (foto n. 75).

La sez. B-B' e le foto nn. 48 e 49 illustrano invece un grave e diffuso dissesto che ha portato al crollo del fianco destro di un grosso muro di sostegno, della sede stradale e di alcuni manufatti in muratura. Gli edifici situati immediatamente a monte risultano interessati da vistose lesioni di distacco (foto nn. 50-53). Il muro di sostegno, realizzato con conci di tufo, porta inoltre tracce di interventi di risanamento effettuati in un passato anche recente.

Lo scarso costipamento dei materiali costituenti il terrapieno ivi esistente, l'assoluta mancanza di opere di drenaggio, le perdite d'acqua alla fontana pubblica ivi presente nonché la presenza di vuoti sotterranei sono i fattori principali che hanno determinato il dissesto.

Il crollo riportato in fig. 26 e foto n. 46 ha interessato alcuni edifici di modeste dimensioni, le sottostanti grotte con le relative facciate in muratura nonché la strada che attraversa la zona e una cisterna d'acqua. La situazione di dissesto si è venuta a creare a seguito dello scavo delle grotte e della cisterna, che ha tra l'altro ridotto gli elementi resistenti.

Il superamento della resistenza a taglio della calcarenite lungo la superficie di rottura, è stato facilitato dal decadimento delle proprietà meccaniche della roccia operato da fenomeni di imbibizione. L'infiltrazione d'acqua nel sottosuolo era prodotto dalla presenza, immediatamente al di sopra delle grotte di un vicinato, che raccoglieva le acque di pioggia per poi convogliarle verso la cisterna, e dalle perdite di un tronco di fogna passante nelle vicinanze.

Le due forme di dissesto che si osservano in fig. 27 e foto n. 59 sono entrambe effetto di una errata impostazione statica.

Il distacco della facciata di un edificio dal retrostante corpo è ben visibile nella sez. A-A', la quale mostra una grossa lesione apertasi sul prospetto perpendicolare alla facciata in oggetto che tende a ribaltarsi. Altre lesioni di distacco, con cigli sempre divergenti verso l'alto, si rinvennero all'interno dell'edificio. La sez. B-B' evidenzia come le volte a botte o a padiglione, sovrapposte su tre distinti piani, esercitano sul muro di facciata spinte alle quali il muro stesso non è in grado di offrire una adeguata reazione, in quanto non contraffortato.

A ciò si aggiunge la mancanza di copertura e quindi la diretta esposizione della volta dell'ultimo piano all'azione idrometeorica. Da siffatta circostanza discende che la volta in parola, a causa delle acque di pioggia, subisce ed esercita un periodico incremento di peso e di spinte rispettivamente.

Il dissesto, che si legge nella sez. C-C' della stessa tavola, riguarda elementi strutturali di un edificio e si rende manifesto con lo sfilamento di alcuni conci in chiave della volta e con varie lesioni di distacco sulle murature. Il fenomeno è imputabile al fatto che, in chiave alla volta in parola e lungo l'intera generatrice, al piano superiore si erge una muratura portante che scarica in misura del tutto incompatibile con la portanza della volta stessa. In casi del genere è molto probabile che il dissesto sfoci in crollo

La presenza di una cisterna d'acqua esattamente in corrispondenza della struttura muraria costituente la facciata esterna di un edificio, di un vasto vicinato a pozzo (delimitato dalla facciata stessa) e di una grotta sviluppatesi al di sotto e grosso modo parallelamente a detta struttura, sono i principali fattori responsabili del dissesto che sotto forma di gravissime lesioni di distacco ha colpito il fabbricato riportato in fig. 28 e foto 40. Anche il decadimento delle caratteristiche meccaniche della roccia di fondazione, dovuto ad un prolungato stato di imbibizione della stessa, ha contribuito in modo apprezzabile al prodursi del dissesto.

La fig. 29 e le foto nn. 63 e 64 mostrano infine una serie di dissesti che ha colpito elementi strutturali o di tamponamento di un fabbricato sviluppantesi lungo un tratto di pendio. Nella parte superiore, l'edificio si presenta seriamente lesionato, con la muratura di tamponamento distaccata dal corpo.

Nella sez. B-B' di fig. 29 si osserva il crollo totale della volta a botte rampante posta a copertura del vano scale.

Anche in questo caso la causa prima va ricercata essenzialmente in errati criteri costruttivi. Infatti, il fenomeno di crollo è da attribuirsi al fatto che la volta è stata realizzata con conci di tufo messi di piatto e fortemente sollecitati a pressione eccentrica per di più l'arco è a sesto ribassato. I dissesti accertati nella parte superiore dell'edificio sono fondamentalmente prodotti dal fatto che la volta a botte scarica alle imposte su archi, i quali, spingendo sulla muratura di tamponamento, ne hanno provocato il distacco.

Non si esclude che anche la fogna in cunicolo di tufo ivi passante possa aver contribuito al prodursi del fenomeno di dissesto.

7.3 - Stato di conservazione dei fabbricati e delle opere igienico-sanitarie

Se a quanto è stato detto nelle pagine precedenti si aggiunge la circostanza che già da tempo i Sassi versano in uno stato di abbandono praticamente totale, emerge chiaramente che le attuali condizioni di conservazione degli stessi non possono che risultare cattive o addirittura pessime. Al loro progressivo e ormai quasi totale spopolamento ha fatto seguire una multiforme azione vandalica dell'uomo, che va dall'irrazionale deturpazione delle opere d'arte all'asportazione di porte, finestre, tegole, conci di tufo dalle murature, ecc. all'accumulo disordinato ma massiccio di rifiuti e di materiale detritico di

varia natura e provenienza. I vicinati, le gradelle, i giardini pensili e talora persino le grotte e gli edifici oltre che da rifiuti sono invasi da erbacce, che tra l'altro ostacolano enormemente il libero deflusso delle acque di pioggia, con conseguenti ristagni prolungati e quindi imbibizione della roccia di fondazione. Per mancanza di ventilazione e per la presenza di cisterne d'acqua interne, molte grotte, ed in particolare modo quelle completamente murate, sono talmente sature di umidità che le pareti e le volte sono tappezzate di muschio e gocciolano.

In merito allo stato di conservazione dei fabbricati, la planimetria di cui alla Tav. 5 offre un'idea immediata e globale della situazione esistente. In essa, oltre ai crolli totali, è possibile discernere:

- Gli edifici riattabili previo radicale intervento, in quanto interessati da crolli parziali, lesioni di distacco gravissime e gravi e totalmente o in parte privi di copertura.
- Gli edifici riattabili mediante interventi di una certa entità, in quanto colpiti da lesioni di distacco lievi ma pregiudizievoli e/o dotati di insufficiente copertura.
- Gli edifici interessati da lievi e sporadiche lesioni, tutt'oggi parzialmente abitati e riattabili con interventi modesti.

Occorre far presente che per molti edifici non è stato possibile appurare soddisfacentemente lo stato di conservazione, data l'inaccessibilità degli stessi.

Per quanto si riferisce alle opere di fognatura, l'età di costruzione e la mancanza assoluta di interventi e di manutenzione sono alla base dell'attuale precario stato di conservazione. La fognatura ha perso quindi gran parte della sua funzionalità, essendo tra l'altro praticamente impossibile accedervi per lavori di ispezione e manutentori. Per l'abbandono quasi totale dei Sassi, è d'altra parte venuta a mancare la determinante spinta all'effettuazione degli interventi dell'EAAP, cioè a dire le segnalazioni di perdite, rotture e infiltrazioni a tale Ente da parte degli abitanti del centro storico. Conseguentemente oggi le perdite e le infiltrazioni si sono ancor più accentuate anche perché le ostruzioni a valle, nei vari tratto secondari di fognatura, non vengono risentite dalle poche utenze esistenti a monte.

In particolare si sottolinea l'importanza che il problema della fognatura riveste per la conservazione (e non solo per la utilizzazione) dei Sassi in quanto, come è stato già detto, le infiltrazioni di acque nel sottosuolo costituiscono una continua e seria minaccia per la stabilità dei Sassi. Anche per l'acquedotto ci si trova di fronte ad una rete il cui stato di conservazione e di efficienza può compromettere la stabilità di talune strutture murari e senz'altro l'utilizzazione dei Sassi medesimi. Detta rete è da ritenersi ancora funzionale, anche se la manutenzione e gli interventi su di essa sono limitati ai soli tronchi lasciati in funzione, essendosi prudenzialmente isolati quelli che oggi non hanno più utente da servire. Si ritiene che le condotte attualmente in funzione siano circa il 50% del totale e che parte di quelle chiuse all'esercizio potrebbero essere riaperte senza alcun significato lavoro di riparazione.

Per quanto attiene alle future esigenze dei servizi in parola, si precisa anzitutto che la necessità di realizzare adeguate opere di fognatura si impone in forma e misura diversa, a seconda che si tratti dello smaltimento delle acque

nere o di quelle bianche. In effetti, sia che si affronti il problema della conservazione dei Sassi che quello della loro utilizzazione, risulta estremamente urgente provvedere alla raccolta ed allontanamento delle acque pluviali da tutta la zona, mediante canalizzazioni e fogne che evitino nel modo più assoluto e scrupoloso le infiltrazioni ed i ristagni di acqua.

Immediati interventi sono in tal senso anche sollecitati dalla necessità di continuare ad assicurare il funzionamento dei collettori provenienti dalle zone urbane esterne ai Sassi e dallo stato di conservazione dei collettori stessi.

Lo smaltimento delle acque nere e le opere allo scopo necessarie sono invece più strettamente connessi col tipo di utilizzazione dei Sassi e quindi dipendono direttamente dall'assetto definitivo di questi ultimi, dalle attività umane e dalla densità di popolazione che li interesseranno. A meno della risoluzione dei più urgenti problemi riguardanti qualche esigua zona, i relativi interventi non sono quindi impellenti e potranno definirsi subordinatamente alle decisioni circa la destinazione dell'intera zona dei Sassi.

Tali interventi però, sia che riguardino le acque meteoriche che quelle nere, non consisteranno in lavori di riparazione ed integrazione della fognatura esistente, bensì nell'esecuzione di nuove reti. In effetti, le notizie ed i dati attinti sia nei sopralluoghi sia attraverso colloqui con funzionari dell'EAAP, hanno mostrato che, a meno di qualche eventuale e sporadico caso di possibile utilizzazione di tratti di fogna esistenti, peraltro molto improbabile, le condizioni su citate di articolazione, conservazione ecc. della fognatura esclude qualsiasi reimpiego di opere esistenti.

In particolare, per quanto riguarda la rete pluviale da realizzare, la sua articolazione planimetrica e la profondità di posa dovranno tener conto della situazione plano-altimetrica dei vicinati a pozzo, a suo tempo realizzati in modo che le acque meteoriche venissero convogliate in cisterne, sia esterne che interne alle grotte. Tali acque dovranno invece essere raccolte dalla futura fognatura, evitando scrupolosamente che esse pervengano e si accumulino nei vuoti delle vecchie cisterne, le quali attualmente sono per la maggior parte riempite di materiali di riporto e detriti. Inoltre bisognerà tener presente che, nella quasi generalità dei casi, il piano dei vicinati è a quota inferiore a quello dei vicini viottoli o strade, per cui le fogne che correranno lungo queste ultime dovranno essere opportunamente approfondite, al fine di raccogliere le acque dei vicinati.

8 - DISSESTI ACCERTATI E CINEMATICAMENTE POSSIBILI NELL'AMMASSO CALCARENITICO

Prima di passare ad esaminare da vicino i tipi di dissesto presenti o cinematicamente possibili nella massa calcarenitica, vale la pena sottolineare che essi rientrano nell'evoluzione del rilievo e pertanto vanno inseriti in un quadro generale ma ben definito.

Uno stretto rapporto di interdipendenza lega fra loro le condizioni di equilibrio dei versanti della Gravina nell'attuale momento morfogenetico, la configurazione geometrica degli stessi versanti, le caratteristiche di moto dei blocchi singoli formanti l'ammasso roccioso e le caratteristiche petrografiche, fisiche e geomeccaniche delle rocce presenti.

La configurazione morfologica dei versanti della valle, oltre a mostrare gli effetti delle oscillazioni nel tempo del livello marino (v. paragrafo 3.3), riflette le sensibili differenze che le rocce presenti posseggono nelle caratteristiche petrografiche, fisiche e meccaniche. Infatti mentre nella loro parte alta, dove regnano le calcareniti, entrambi i versamenti offrente acclività di pendio relativamente minori, per contro nella parte mediana e bassa, dove affiorano le rocce mesozoiche, essi si presentano verticali o subverticali (foto nn. 2, 3, 5 e 6). I tratti modellati nelle calcareniti sono inoltre caratterizzati dalla presenza di rientranze e sbalzi più o meno pronunciati (foto nn. 21, 22, 103, 104), prodotti dall'erosione fluviale e da quella idrometeorica e in parte dovuti ad un minor grado di diagenesi della roccia.

D'altra parte, anche per l'esistenza di discontinuità nella roccia, il vuoto originato dall'escavazione della valle è causa di una decompressione dei versanti e di un forte richiamo, verso lo stesso vuoto, del materiale roccioso ormai privo di contenimento laterale. Di modo che, mentre nella parte più bassa dei versanti le fratture si mostrano chiuse o comunque non sono suscettibili ad aprirsi maggiormente (trovandosi l'ammasso roccioso sotto il carico dei terreni sovrastanti e tendendo ad annullarsi l'effetto dovuto alla mancanza di contenimento laterale), per contro nella parte alta dei pendii, a causa della decompressione, si ha un generale allentamento dell'ammasso calcarenitico in corrispondenza dei piani di discontinuità sia preesistenti che di neo-formazione. Sotto l'azione del peso e di altre eventuali forze agenti (gravitative, sismiche, idrostatiche, ecc.), i blocchi rocciosi diventano sede di deformazioni lente e vengono sospinti verso l'esterno del pendio (cioè verso il vuoto).

In definitiva, quindi, la stabilità di un siffatto pendio è legata all'entità del richiamo verso il vuoto che i blocchi rocciosi unitari subiscono nella parte alta del pendio, conseguenzialmente alle deformazioni trasversali ed al creep laterale della formazione rocciosa.

Per quanto si riferisce poi al tipo ed alle caratteristiche di moto dei dissesti, esse dipendono dalle dimensioni dei blocchi rocciosi elementari (che a loro volta sono determinate dalla spaziatura e dall'estensione dei piani di frattura),

dalla posizione spaziale dei piani di discontinuità rispetto al pendio ed alle sollecitazioni su di essi agenti, dall'entità e dal modo con cui i carichi applicati agiscono, dalla maggiore o minore rugosità dei piani dei giunti (in quanto condiziona le proprietà di attrito lungo i giunti stessi) dalle proprietà meccaniche della roccia e dalla natura dell'eventuale materiale di riempimento delle fratture.

Vale infine la pena evidenziare che, tra le forze suscettibili di modificare l'equilibrio del pendio, rivestono talora interesse quella esercitate dall'acqua di infiltrazione nell'ammasso roccioso nei periodi piovosi. Particolarmente importante è la risultante delle pressioni idrauliche che l'acqua esercita nei giunti.

8.1 - Tipi di dissesti osservati in corrispondenza di scarpate e dei pendii in calcarenite

Le forme di dissesto che si osservano su entrambi i versanti in calcarenite della Gravina sono riconducibili essenzialmente a crolli ed a scivolamenti di blocchi di varie forme e dimensioni.

I crolli, che come è noto, sono fenomeni discontinui caratterizzati da una rottura relativamente brusca e da un moto con forte accelerazione iniziale, sono determinati dal distacco di masse rocciose di norma sporgenti, già sottoposte a sforzi di trazione ed interessate dall'innescò di una fessurazione fortuita e rapidamente estesasi. Lo scalzamento al piede del pendio o della scarpata, che ha lasciato la calcarenite a sbalzo, è stato prodotto vuoi dall'erosione fluviale (foto nn. 21, 22, 103) vuoi dall'erosione idrometeorica, che ha operato l'arretramento di orizzonti calcarenitici scarsamente diagenizzati, vuoi dall'uomo (foto nn. 39 46, 48, 104). In qualche caso essi sono conseguenti a scivolamenti avvenuti nel sottostante pendio.

L'evento di crollo è nella nostra calcarenite favorito dalla diminuzione di coesione che non di rado la roccia subisce a causa dell'azione solvente delle acque e dell'alterazione fisica del gelo e dello sgelò. La disgregazione termica, che in un primo stadio si manifesta con screpolatura, (porta allo sgretolamento ed alla desquamazione della roccia (foto nn. 35 e 89). Occorre inoltre tener presente che, a seguito di microsismi o di sollecitazioni di altro genere capaci di imprimere una certa oscillazione ai blocchi calcarenitici, le parti basali dei blocchi stessi vanno soggette a fenomeni di «affaticamento» pressoché continui. Questi, specie laddove la roccia è tenera, producono un progressivo deterioramento, disgregamento e riduzione delle superfici di appoggio in parola, con conseguente perdita progressiva di stabilità dei blocchi stessi.

In assenza di giunti di stratificazione e con il piano di contatto calcari-calcareniti disposto con debole pendenza a reggipoggio, nella massa calcarenitica gli scivolamenti si producono solo lungo le superfici di discontinuità preesistenti. Come è noto, uno scivolamento, il cui moto iniziale

prevalentemente lento può essere interrotto da fasi di arresto più o meno lunghe, si origina quando viene superata la resistenza a taglio lungo la superficie di scorrimento. In un ammasso «secco» (cioè non acquifero) quale è il nostro, l'equilibrio è assicurato praticamente dalla sola resistenza di attrito, in quanto lungo i piani di discontinuità (non interessati dalla presenza di materiale sciolto di riempimento o da processi di deposizione di CaCO_3) la calcarenite possiede al massimo una coesione apparente, dovuta a fenomeni di «interlocking» (cioè a giustapposizione delle asperità in corrispondenza dei piani di frattura, che come si è detto sono rugosi).

È bene però a tal proposito ricordare che nelle nostre calcareniti non di rado i giunti risultano saldati, talora totalmente ma più di frequente in modo parziale e discontinuo, per processi chimici di deposizione del CaCO_3 contenuto nelle acque circolanti. Siffatte saldature parziali, che interrompono la continuità delle fratture e danno origine ad una sorta di «giunti intermittenti», introducono una coesione lungo i piani dei giunti e quindi producono un aumento della resistenza massima allo scorrimento ed al distacco. Si può inoltre affermare che la coesione in parola è decisamente maggiore di quella propria (intrinseca) della roccia calcarenitica. A riprova di ciò sta tra l'altro il fatto che il materiale carbonatico costituente la saldatura offre dunque maggiore resistenza all'erosione sia fluviale che idrometeorica (foto nn. 17 e 28). È stato inoltre riscontrato che taluni blocchi calcarenitici si sono staccati dall'ammasso roccioso secondo superfici di rottura di neoformazione grosso modo parallele ed immediatamente antistanti o retrostanti ad un giunto più o meno completamente saldato.

Un'ultima precisazione va infine fatta in merito alla resistenza a taglio lungo la superficie di discontinuità. Nei casi in cui, per la presenza di materiale sciolto di riempimento, le labbra delle fratture non sono fra loro a contatto diretto, le proprietà di attrito lungo i piani delle fratture stesse risultano essere quelle del materiale di riempimento e pertanto vanno considerate secondo i criteri della meccanica delle terre.

Per quanto si riferisce ai tipi di scivolamento osservati su entrambi i versanti della Gravina, essi sono «a blocco» ed «a cuneo». Nel primo tipo i blocchi, limitati dalla superficie libera del pendio (o della scarpata) e da piani di frattura preesistenti, si sono mossi restando a contatto con una sola superficie di discontinuità. Nel secondo tipo la massa calcarenitica si è mossa, restando a contatto con due o più piani di fratture, secondo la linea di intersezione di due discontinuità oppure secondo la linea di massima pendenza di un solo piano di frattura.

Un'accurata analisi dei piani sui quali si sono prodotti gli scorrimenti ha permesso di accertare che lo scivolamento dei blocchi calcarenitici avviene con due distinte modalità: «per scavalamento delle asperità» e «per taglio delle asperità» presenti sui piani dei giunti e dovute alla rugosità degli stessi. I piani sui quali lo scivolamento si è prodotto con taglio delle asperità mostrano molto spesso striature di movimento e si presentano relativamente lisci. Talora su o al piede di essi è possibile ancora osservare del materiale calcarenitico minutamente frantumato. È verosimile che nei casi in parola, in cui il movimento si è prodotto come se i giunti fossero dotati di coesione apparente

(dovuta a fenomeni di interlocking), l'entità della sollecitazione normale al piano di scorrimento abbia assunto valori piuttosto elevati o comunque decisamente minori a quelli che hanno agito negli scivolamenti per scavalco delle asperità.

Sul versante sinistro della Gravina, gli scivolamenti di tipo a blocco sono più frequenti e coinvolgono maggiori volumi di roccia. È stato inoltre appurato che i grossi blocchi possono scivolare secondo pendenze minori di quelle relative a blocchi di piccole dimensioni. Infine, la presenza sul versante sinistro della Gravina di masse rocciose sciolte su piani a pendenza molto bassa (8-10°) lascia presumere l'intervento di sollecitazioni sismiche, che hanno agito verosimilmente in passato.

8.2 - Scivolamenti cinematicamente possibili in talune zone dei Sassi

Fin qui sono stati messi in evidenza i tipi, le cause ed il meccanismo dei dissesti che già hanno colpito i pendii e le scarpate in roccia. Nel presente paragrafo verrà invece condotta un'analisi tridimensionale degli scivolamenti che, dal solo punto di vista cinematico, potrebbero in futuro verificarsi. Nel capitolo seguente (cap. 9), applicando agli scivolamenti cinematicamente possibili le forze agenti e quelle resistenti, verrà eseguita una vera e propria analisi tridimensionale di stabilità in una zona prescelta dei Sassi.

In ciascuna delle «zone omogenee» individuate (paragrafo 4.2. Tav. 14 e figg. 3, 7, 11, 15, 19, 23), la possibilità, il tipo e la direzione di scivolamento sono appurabili mettendo in relazione la posizione spaziale dei piani di discontinuità ivi presenti con l'andamento del pendio e delle scarpate. A tal fine sono stati costruiti i diagrammi equatoriali ad aree equivalenti A5, B5, C5 ecc. di figg. 30, 31, 32, 33, 34 e 35. In essi, oltre ai piani di discontinuità presenti nella roccia, sono stati riportati uno o più piani (p_n, p_n', p_n'') rappresentanti l'andamento del pendio o delle scarpate principali.

Vale la pena precisare che i diagrammi in parola possono essere utilizzati per l'analisi adimensionale e tridimensionale delle possibilità di scivolamento in corrispondenza di un qualsivoglia taglio o scarpata (basta riportare nel diagramma il grande cerchio, cioè la direzione e l'immersione della scarpata la cui stabilità si vuole esaminare).

I principali criteri che bisogna seguire per lo studio dei diagrammi A5, B5, ecc. sono:

- Un movimento di scivolamento su un piano di frattura o sulla linea di intersezione di due discontinuità può avvenire solo e solo se la superficie del pendio o della scarpata interseca e quindi è dotata di maggiore pendenza rispetto al piano e alla linea in parola.
- In corrispondenza di un piano di discontinuità, un movimento di scivolamento è possibile solo nelle direzioni individuate da quel tratto del

grande cerchio, rappresentante il piano in parola, che giace all'esterno del grande cerchio rappresentante il pendio (o la scarpata). Infatti solo in quelle direzioni la componente di immersione del piano di possibile scorrimento assume valori minori rispetto all'immersione del pendio. Le componenti dell'immersione di un piano sono date da rette immaginarie congiungenti il centro del diagramma con punti situati sul grande cerchio del piano stesso.

- Uno scivolamento del tipo a blocco, cioè uno scivolamento in cui la massa rocciosa si muove restando a contatto con una sola superficie di appoggio su un piano p_1 è possibile solo se oltre al pendio p_n , uno o più piani di frattura intersecano il piano p_1 , in modo da separare il blocco roccioso dal resto dell'ammasso, consentendone quindi il movimento verso l'esterno del pendio.

Di modo che uno scivolamento sul piano p_1 , intersecato dal piano p_2 , può verificarsi solo nelle direzioni comprese tra il punto d'intersezione dei due piani $I_{1,2}$ ed il punto M_1 di intersezione di p_1 con il cerchio equatoriale del diagramma.

- Uno scivolamento a blocco su un piano p_1 , intersecato dal piano p_2 oltre dal pendio p_n , può avvenire solo se la direzione di scorrimento coincide con la linea di massima pendenza N_1 di p_1 quindi, tenuto conto di quanto dianzi detto, solo se N_1 ricade tra $I_{1,2}$ ed M_1 ; cioè a dire se il segmento N_1 interseca il grande cerchio p_n (indicante il pendio) e il grande cerchio p_2 . Se N_1 non è compreso tra $I_{1,2}$ ed M_1 è possibile solo uno scivolamento a cuneo.
- Uno scivolamento di tipo a cuneo, cioè uno scivolamento in cui la massa rocciosa si muove restando a contatto con due piani di discontinuità p_1 e p_2 , è possibile solo nella direzione $I_{1,2}$ (cioè secondo la linea di intersezione dei piani p_1 e p_2) e solo se il segmento congiungente il centro del diagramma con il punto $I_{1,2}$ interseca i grandi cerchi p_1 , p_2 e p_0 (quindi se $I_{1,2}$ giace all'esterno del grande cerchio p_n indicante il pendio).

Ciò premesso e tenendo presente che nei diagrammi di figg. 30-35 le parti tratteggiate indicano direzioni di instabilità, possiamo ad esaminare gli scivolamenti che, sotto l'azione del solo peso, potrebbero verificarsi in ciascuna delle sei zone già indicate.

Nella zona «A» (fig. 30), dove il pendio e le scarpate (p_n) risultano orientate prevalentemente in senso N. 55° W con immersioni di norma non inferiori di 70° a NE, gli scivolamenti più probabili sono di tipo a cuneo. Essi possono prodursi secondo: la linea di intersezione dei piani di frattura p_1 e p_3 , che immerge di 67° a N 30° E (sul diagramma di fig. 30 è rappresentata dal segmento congiungente il centro del diagramma stesso con il punto di intersezione $I_{1,3}$ dei grandi cerchi p_1 e p_3); la linea di intersezione dei piani di discontinuità p_2 e p_3 , che immerge di 57° a N 46° E (sul diagramma è indicata dal segmento unente il centro con $I_{2,3}$ che è il punto di intersezione dei grandi

cerchi p_2 e p_3) ; la linea di intersezione dei piani p_1 e p_2 , dotata di un'immersione di 52° verso N 64° E (cioè secondo la direzione $I_{1,2}$).

Scivolamenti a blocco secondo la linea di massima pendenza dei piani p_1 , p_2 e p_3 non sono possibili. Essi potrebbero verificarsi solo nelle direzioni comprese nei tratti $I_{1,3} - M_3$, $I_{1,3} - M_1$, $I_{2,3} - M_2$. In dette direzioni però la componente dell'immersione dei piani di discontinuità assume valori piuttosto bassi: ad esempio nel tratto $I_{2,3} - M_2$ la componente d'immersione del piano di frattura p_2 (la cui massima pendenza è di 60° ed è indicata dalla normale N_2 al grande cerchio p_2) varia da un massimo di 57° (in corrispondenza di $I_{2,3}$) ad un minimo di 0° (in corrispondenza di M_2).

Dal diagramma si ricava inoltre che la su descritta situazione rimane immutata anche in quei casi in cui i piani di frattura p_1 e p_2 , si presentano con minori immersioni ($30-50^\circ$). Inoltre scivolamenti a cuneo possono verificarsi per qualsiasi valore di immersione del pendio maggiore di 52° .

Nella zona «B» (fig. 31), nella quale il pendio e le scarpate (p_n) risultano disposti in senso N 47° W ed immergenti a NE con valori di norma non inferiori di 75° , gli scivolamenti possibili sono di tipo sia a blocco che a cuneo. I più probabili scivolamenti a cuneo sono: secondo $I_{1,3}$ e $I_{2,3}$, cioè in corrispondenza rispettivamente della linea di intersezione dei piani di discontinuità p_1 e p_2 che immerge di circa 60° a N e della linea di intersezione dei piani di frattura p_2 e p_3 che immerge di 70° a N 58° E. Gli scivolamenti a blocco più probabili possono verificarsi sui piani p_1 e p_3 , secondo la loro linea di massima pendenza N_1 (immergente a N di 60°) ed N_3 (immergente a N 50° E di 60°).

La possibilità di scivolamenti è pressoché nulla laddove il pendio o le scarpate si presentano, ferma restando l'orientazione, con pendenze uguali minori di 60° .

Per la zona «C» (fig. 32) sono stati presi in considerazione due diverse disposizioni di pendio e di scarpata: il pendio p_n avente direzione N 35° W ed immersione 70° NE ed il pendio p_n' con direzione N 25° E ed immersione 70° SE.

Secondo il pendio p_n , le possibilità di scivolamenti di qualsiasi tipo sono molto scarse. Scivolamenti a blocco potrebbero verificarsi sui piani di discontinuità p_1 e p_2 solo nei tratti compresi rispettivamente tra $I_{1,n}$ ed M_1 e tra $I_{2,n}$ ed M_2 . In dette direzioni però la componente di immersione dei piani stessi è piuttosto modesta. Solo per p_n 80° potrebbero verificarsi scivolamenti a cuneo, nelle direzioni $I_{2,3}$ e $I_{1,3}$ ed a blocco secondo le linee di massima pendenza N_1 ed N_2 dei piani p_1 e p_2 . In nessun caso il piano di faglia p_f desta seria preoccupazioni.

Considerando il pendio p_n' , gli scivolamenti più probabili sono di tipo a cuneo e potrebbero verificarsi secondo $I_{3,f}$ cioè lungo la linea di intersezione

del piano di frattura p_3 con il piano di faglia p_f , che immerge di 40° a S 48° E.

La situazione rimane immutata per $p_n' > 40^\circ$. Per $p_n' < 40^\circ$ lo scivolamento a cuneo secondo $I_{3,f}$ non è più possibile.

Anche per la zona «D» nel diagramma di fig. 33 sono stati presi in considerazione i pendii p_n (N 20° W, 70° NE) e p_n' (N 10° E, 75° ESE). In corrispondenza di p_n gli scivolamenti più probabili sono di tipo a cuneo e possono verificarsi secondo $I_{1,2}$ (cioè secondo la linea di intersezione dei piani p_1 e p_2 , che immerge di 57° a N 86° E) e $I_{1,4}$ (che è la direzione dell'intersezione dei piani p_1 e p_n). Scivolamenti a blocco sono possibili ma poco probabili solo in direzioni che non coincidono mai con le linee di massima pendenza dei piani di discontinuità. Per $p_n \leq 55^\circ$ l'ammasso roccioso non dovrebbe essere suscettibile di scivolamenti di qualsiasi tipo.

Considerando p_n' , le condizioni di stabilità dell'ammasso calcarenitico sono decisamente peggiori. Infatti sono cinematicamente possibili movimenti sia a cuneo, secondo $I_{1,2}$, $I_{3,4}$, $I_{1,4}$, $I_{2,4}$ e $I_{2,3}$, sia a blocco secondo le linee di massima pendenza N_2 ed N_4 rispettivamente dei piani di frattura p_2 e p_4 . Per $p_n < 50^\circ$ l'insieme si presenta per contro relativamente stabile.

Dal diagramma si ricava inoltre che le scarpate più instabili sono quelle che immergono ad Est ed a Sud con pendenze maggiori di 55° e di 45° rispettivamente.

Per la zona «E» sono stati diagrammati (fig. 34) tre diversi pendii o scarpate: p_n (N 10° W, 75° ENE), p_n' (N 50° E, 70° SE) e p_n'' (N 55° W, 70° NE). Con p_n sono possibili scivolamenti a cuneo; secondo $I_{1,2}$, $I_{1,3}$ e $I_{2,3}$, $I_{1,4}$, $I_{2,4}$, $I_{3,4}$ ed a blocco sui piani p_2 e p_4 secondo le loro linee di massima pendenza N_2 ed N_4 .

In corrispondenza di p_n' l'ammasso calcarenitico si presenta sufficientemente stabile per qualsiasi pendenza uguale a minore di 75° . Solo per $p_n 75^\circ$ potrebbero verificarsi scivolamenti a cuneo, secondo $I_{1,3}$ ed $I_{2,3}$, ed a blocchi in corrispondenza di discontinuità p_1 e p_2 .

Le condizioni di stabilità in corrispondenza p_n'' sono praticamente le stesse di quelle viste per p_n . Per entrambi i pendii le possibilità di scivolamenti si riducono notevolmente per pendenze minori di 50° - 60° .

Per la zona «F» (fig. 35) sono state esaminate le possibilità di scivolamenti in corrispondenza di quattro diversi pendii o scarpate: p_n , p_n' , p_n'' , p_{ni} . Nessun movimento significativo è possibile che si verifichi per qualsiasi pendenza di p_n , p_n' e p_n'' . Solo in corrispondenza di p_n è possibile ma poco probabile (data la natura e la pendenza) uno scivolamento a blocco secondo la linea di intersezione del piano di faglia p_f e del piano di contatto calcari-calcareniti p_b .

Per contro scivolamenti a cuneo ed a blocco (seconda la linea di massima pendenza dei piani di discontinuità) sono possibili in diverse direzioni in corrispondenza del pendio p_{ni} e di un qualsivoglia pendio o scarpata immergente verso NW con pendenze maggiori di 30° .

A conclusione di quanto fin qui detto si può affermare che la zona potenzialmente più stabile è la «C», sebbene questa sia fra le più fratturate dei Sassi. La zona più instabile è virtualmente la zona «E». La zona «B», quantunque sia la più fratturata di tutte, è quella in cui le possibilità di scivolamenti sono relativamente minori, specie per pendii e scarpate dotati di pendenze non superiori di 60°. La zona «F», mentre mostra una gravissima instabilità per pendii e scarpate immergenti anche di poche decine di gradi nel settore che va da N a W, è per contro virtualmente stabile in tutte le rimanenti direzioni.

9 - ANALISI DI STABILITÀ RELATIVA AD UNA ZONA DEI SASSI

L'analisi di stabilità qui condotta riguarda quella porzione di versante destro della Gravina già indicata (Tav. 14) come zona «B» (Rione Casalnuovo). Adottando la metodologia che qui appresso verrà descritta ed utilizzando i diagrammi delle figg. 3, 7, 11, 15, 19 e 23 nonché quelli relativi agli scivolamenti cinematicamente possibili (figg. 30, 31, 32, 33, 34 e 35), l'analisi in oggetto può essere estesa a tutte le altre zone omogenee individuate (zone «A», «C», «D», «E», «F», di Tav. 14).

I criteri sui quali basa l'analisi che qui verrà fatta sono condizionati da quanto è stato detto nelle pagine precedenti. A questi in particolare si rimanda per quanto concerne:

- Le caratteristiche geologiche e la configurazione morfologica dei versanti della Gravina (capitolo 3).
- Le proprietà ed il comportamento meccanico di un ammasso roccioso fessurato (parte introduttiva del cap. 4).
- Le caratteristiche di fratturazione, dei piani di discontinuità fisiche e meccaniche della calcarenite (paragrafi 4.2. e 4.3.).
- Lo stato di decompressione e di generale allentamento che la parte superficiale dell'ammasso calcarenitico presenta, in corrispondenza dei piani di discontinuità preesistenti e di neoformazione, a causa dell'escavazione della Gravina nonché il forte richiamo che il vuoto stesso della Gravina esercita sui blocchi rocciosi ormai privi di contenimento laterale (parte introduttiva del cap. 8).
- Le modalità ed i tipi di dissesti che si producono e che cinematicamente potrebbero prodursi in corrispondenza dei versanti o delle scarpate in roccia (paragrafi 8.1. e 8.2.).

Ciò che qui vale la pena ancora premettere è che in un siffatto pendio roccioso occorre scindere le condizioni di stabilità della parte più alta e superficiale da quelle relative all'ammasso calcarenitico considerato nel suo insieme, in quanto, per i motivi detti in precedenza, diversi sono lo stato tensionale (il modello delle forze applicate) e la meccanica del movimento.

9.1 - Metodologia adottata nell'analisi di stabilità

9.1.1 - Criteri adottati per la valutazione degli scivolamenti possibili in relazione alle forze agenti e la definizione delle zone di instabilità

Nell'analisi degli scivolamenti possibili, volendo tener conto oltre al peso, della presenza di altre forze agenti, è sufficiente ricordare che il movimento di

scivolamento a blocco su una superficie preesistente di discontinuità avviene quando la componente, secondo il piano, della risultante delle forze agenti sul blocco (forza peso, spinte idrauliche sui piani di discontinuità, forze sismiche, ecc.) supera il valore della resistenza a taglio. In tal caso, se la direzione della risultante R forma un angolo Ψ con l'orizzontale e « d » è l'angolo di immersione del piano di discontinuità, il fattore di sicurezza allo scivolamento, nell'ipotesi che le tensioni normali siano uniformemente distribuite sulla superficie di scivolamento, è dato da $FS = \text{tg}(\Psi - d) \cdot \text{tg} \emptyset$; dove \emptyset rappresenta l'angolo di attrito reale.

Laddove il blocco roccioso si muove lungo due, tre o più superfici di discontinuità, è sempre possibile determinare la risultante R delle varie forze agenti sul blocco e l'inclinazione rispetto al piano orizzontale di tale risultante.

Nella ricerca della forza risultante, torna particolarmente utile l'impiego della proiezione sferica, specie se si tiene conto del fatto che le diverse forze agenti sul cuneo di roccia potrebbero non essere contenute nello stesso piano.

In presenza, quindi, di dati sistemi di discontinuità, la stabilità del cuneo di roccia è legata alla direzione della risultante R delle forze applicate. Al variare della direzione di tale risultante, per l'intervento di forze aggiuntive di natura deterministica o di tipo stocastico (ad es. forze sismiche), possono ottenersi le diverse forme di rottura (cioè a dire qualsiasi spostamento del solido, a seguito della sua instabilità).

Con l'uso delle proiezioni sferiche, è inoltre possibile¹ individuare i limiti sia delle zone di stabilità che di instabilità totale nonché quelli relativi ai diversi tipi di instabilità con scivolamento su uno, o due o tre piani di discontinuità.

Occorre pertanto individuare in quale di dette zone, la cui estensione è legata soltanto ai sistemi di fratture presenti nell'ammasso roccioso, cade la risultante delle forze applicate. Ciò al fine di valutare vuoi il grado di stabilità del blocco di roccia vuoi il tipo di instabilità cui il blocco stesso andrebbe incontro al variare della direzione della risultante R delle forze applicate, per l'intervento di forze aggiuntive al peso del blocco stesso.

Di modo che, in base alla direzione della risultante R delle forze applicate (ed al suo punto r rappresentativo sul piano equatoriale) ed ai sistemi di discontinuità presenti, su ciascun diagramma viene a definirsi una zona di perfetta stabilità $Z_{1,2,3}$ ed una zona di instabilità totale Z_0 . Nella prima, che è individuata dal triangolo sferico avente per vertici i poli P_i il cuneo di roccia, delimitato dalla superficie libera del terreno e dai piani di discontinuità, resta in contatto con questi ultimi. Nella seconda, che è individuata dal triangolo sferico avente per vertici i punti I_{ij} , il cuneo viene a staccarsi dalla superficie libera del pendio, in quanto privo del contatto con ciascuno dei tre piani di discontinuità. Le rimanenti zone, in cui viene ulteriormente a suddividersi il diagramma equatoriale (o meglio la sfera di cui il diagramma equatoriale rappresenta la proiezione), sono indicative dei vari tipi di scivolamenti possibili (in numero di sei per tre piani di frattura) nei quali il cuneo rimane in contatto con uno o due piani di discontinuità.

Infatti, per un blocco delimitato da tre piani di frattura p_1 , p_2 e p_3 , la rottura (cioè a dire il movimento incipiente del cuneo di roccia) può avvenire, come si è

già detto, con spostamento su due dei tre piani portanti (tre possibilità, a seconda dei piani interessati) ovvero su un solo piano (ancora tre possibilità) o infine su nessun piano (instabilità totale del volume roccioso, con apertura dei tre piani portanti). Sono possibili pertanto sette distinti tipi di rottura, ivi inclusa quella per instabilità totale, ai quali corrispondono altrettante zone sul diagramma equatoriale. Dette zone, contrassegnate dalla lettera Z_i o Z_{ij} , stanno ad indicare il piano (o i piani) sul quale lo scivolamento può avvenire.

Nel caso particolare di due soli piani portanti p_1 e p_2 , l'applicazione dei criteri precedentemente espressi porta a concludere che si determinano quattro distinte zone Z_1 , Z_2 , $Z_{1,2}$ e Z_0 , alle quali corrispondono i quattro possibili modelli di rottura (scivolamento solo sul piano p_1 ; scivolamento solo su p_2 ; scivolamento su p_1 e p_2 lungo l'intersezione dei piani; instabilità totale). La zona di completa stabilità viene infine a ridursi ad una curva, identificantesi con l'arco di grande cerchio compreso nella zona $Z_{1,2}$ e nel piano normale all'intersezione (curva passante per i poli p_1 e p_2 dei piani).

9.1.2 - Ipotesi assunte e scelta dei parametri per l'analisi di stabilità

Individuati i possibili tipi di scivolamento, viene analizzata la stabilità dei blocchi rocciosi prendendo in considerazione la sola resistenza tangenziale opposta dall'attrito lungo le superfici di discontinuità, considerare totalmente aperte, e prescindendo dall'eventuale contributo offerto dalla coesione.

Non si tiene conto inoltre dell'effetto dovuto ai momenti delle forze agenti e di quelle resistenti (e quindi della distribuzione delle tensioni lungo i piani di discontinuità) data la trascurabile influenza che questi hanno nel tipo di movimento ipotizzato. Infatti, nell'ipotesi che tutte le rotture (cioè tutti i movimenti dell'ammasso roccioso) abbiano inizio con una traslazione, si può ammettere che al momento della rottura non agiscono i momenti delle forze applicate. Tale ipotesi è evidentemente ottimistica, in quanto vi è la possibilità di movimenti del volume di roccia che non sono traslazioni: ad es. scivolamenti lungo una superficie con movimento del volume roccioso intorno ad un asse istantaneo di rotazione. Tuttavia in effetti la libertà di movimento del volume di roccia è condizionata dalla sua forma, che è quella di un cuneo posto nel banco roccioso, e le reazioni delle varie facce di contatto limitano molte possibili rotazioni nello spazio.

Nell'analisi di stabilità di un qualsiasi ammasso roccioso² la scelta dei parametri da assumere ed in particolar modo la definizione dei valori da assegnare all'angolo di attrito ed alle forze applicate costituiscono un problema particolarmente delicato. Di modo che, onde evitare inesattezze nella stima dei parametri, anziché assegnare un determinato valore a ciascuno di questi, è più appropriato apprezzare le possibili conseguenze di un qualunque errore nella loro valutazione e rilevare il «peso» di ciascun parametro nei riguardi delle condizioni limiti di stabilità. In tal caso si dirà che il parametro p_1 è critico se una variazione Δp_1 di questo porta il punto rappresentativo r della risultante delle forze R in condizioni limiti.

Si riesce in tal modo a valutare l'importanza relativa dei parametri in gioco, assegnando diversi «fattori di ignoranza» ai valori dei parametri stessi. Detto criterio è indubbiamente più rispondente rispetto a quello della ricerca di un unico fattore di sicurezza.

Anche a riguardo degli angoli di attrito lungo i piani di discontinuità, pur tenendo conto della rugosità delle loro superfici e dei valori ottenuti in laboratorio su campioni di roccia, sono state analizzate le conseguenze derivanti dall'assunzione di valori diversi, ridotti nel rapporto a determinati, prefissati valori del fattore di sicurezza inteso nel significato tradizionale.

I valori assunti, ritenuti validi per i diversi piani di discontinuità, risultano dalla tabella che qui si riporta.

Angoli di attrito in gradi			
Corrispondente a fattore di sicurezza	Ridotto per i fattori di sicurezza		
FS = 1,00	FS = 1,5	FS = 1,8	FS = 2,25
45°	30°	25°	20°

A riguardo delle forze applicate, occorre d'altra parte rilevare che la direzione verticale delle forze di gravità è rappresentata, nel reticolo emisferico del piano equatoriale, dal centro O.

La forza dovuta ad un «accelerazione» laterale, rappresentativa di condizioni sismiche, può inoltre essere incorporata nell'analisi ricorrendo all'analogia col concetto del «cono di attrito»³. Infatti l'applicazione, secondo una qualsiasi direzione, di una forza orizzontale unitamente alla forza peso, comporta come risultato un cono intorno all'origine, la cui semiapertura è data dalla relazione: $\text{tg } \emptyset_{\text{sism}} = S/W$, essendo S/W il rapporto fra i moduli della forza sismica laterale e della forza peso. Se, ad esempio, si considera una forza orizzontale, la cui intensità è pari ad un quinto della forza peso, risulta $\text{tg } \emptyset_s = 0,2$ e quindi $\emptyset_s = 11^\circ$.

L'intersezione di detto cono con l'emisfero inferiore di riferimento si proietta, sul piano equatoriale, in un cerchio intorno all'origine. È possibile quindi in tal modo individuare, tenendo conto di tutti gli altri parametri, la direzione più critica di stabilità.

Lo stesso criterio può, infine, essere applicato per tener conto di altre forze agenti sul cuneo di roccia (ad esempio le resistenze d'attrito lungo i piani di discontinuità). In particolare tale criterio risulta utile anche nella valutazione delle forze stabilizzanti, una volta fissato il grado di sicurezza ricercato per il cuneo di roccia in condizioni precarie di stabilità.

9.1.3 - Curva dell'equilibrio limite

La costruzione della curva dell'equilibrio limite, per determinati valori dell'angolo di attrito relativo alle diverse superfici di discontinuità, può effettuarsi ricorrendo ancora una volta al concetto del «cono d'attrito» e disegnando, sul reticolo del piano equatoriale, la serie alternata di archi di

grandi cerchi e piccoli cerchi, rappresentante l'intersezione, con l'emisfero inferiore di riferimento, della «superficie conica». Cioè a dire di quella superficie costituita dalle direzioni di tutte le rette formanti un certo angolo con le normali ai piani rappresentati dai rispettivi poli.

La curva limite è, come è noto, una curva chiusa, che suddivide la sfera in due zone rispettivamente di stabilità e instabilità totale. L'ampiezza della zona di stabilità è, poi, legata ai valori dell'angolo di attrito relativi ai diversi piani, nel senso che essa aumenta all'aumentare di tali angoli.

Il valore estremo $f_i = \tan \varnothing_i = 0$ dei coefficienti d'attrito relativi ai diversi piani di discontinuità comporta, ovviamente la coincidenza della curva limite con la curva costituita dai grandi cerchi passanti per i poli dei vari piani.

Per un volume di roccia delimitato da tre piani di discontinuità p_1, p_2, p_3 , la curva limite è costituita da tre archi di grandi cerchi nelle zone $Z_{1,2}, Z_{1,3}, Z_{2,3}$, raccordati da tre archi di piccoli cerchi nelle zone Z_1, Z_2 e Z_3 . Nel caso di due soli p_1 e p_2 , tale curva risulta invece costituita da due archi di grandi cerchi nella zona $Z_{1,2}$ e da due archi di piccoli cerchi, l'uno nella zona Z_1 e l'altro nella zona Z_2 .

Costruita la curva dell'equilibrio limite, non solo viene a definirsi la zona entro la quale deve cadere il punto r (rappresentativo della direzione della risultante R delle forze applicate) perché vi sia stabilità, ma, in relazione agli spostamenti che detto punto può subire in seguito a variazioni delle forze applicate, è anche possibile rilevare se questo potrà verosimilmente raggiungere la curva limite e quale sarà la più sfavorevole combinazione dei numerosi parametri in gioco nei riguardi della stabilità.

In tal modo, con l'esame dei diagrammi ottenuti in base a procedimenti grafici che tengano conto delle caratteristiche di discontinuità individuate, si riesce immediatamente ad individuare il più probabile tipo di rottura che potrà verificarsi, rilevando in quale delle zone, nelle quali è stato suddiviso il diagramma equatoriale, cade il punto rappresentativo della direzione della risultante delle forze applicate.

9.2 - Analisi di stabilità relativa alla zona «B» (Rione Casalnuovo)

In merito ai sistemi di discontinuità presenti nella calcarenite della zona in parola ed agli scivolamenti cinematicamente possibili (fig. 31), si è già detto nel paragrafo 8.2. Il disegno assonometrico a curve di livello di tavola 15 offre una veduta spaziale dei due principali piani di discontinuità p_1 e p_2 (rappresentanti rispettivamente i sistemi S_1 ed S_2) e del piano p_b di contatto stratigrafico calcari-calcareniti nonché del cuneo di roccia delimitato da detti piani e dalla superficie libera del terreno.

Dal diagramma B5 di fig. 31 si ricava che, nel caso in cui i piani di discontinuità intersecano il piano di contatto p_b , in corrispondenza di questo gli scivolamenti possibili sarebbero di tipo a cuneo secondo la linea $I_{1,2}$ di intersezione dei piani p_1 e p_2 , che immerge di circa 14° a N 36° W. Laddove invece le superfici di frattura non intersecano il piano di base p_b , lo scivolamento più probabile, sempre del tipo a cuneo, avverrebbe secondo la retta di intersezione $I_{1,3}$ dei piani p_1 e p_3 , immergente di 60° a Nord.

Nelle figg. 36 e 37, derivate dalla fig. 31, sono stati riportati rispettivamente i poli P dei piani p_1 , p_2 e p_3 rappresentanti i tre sistemi principali di frattura ed i poli P dei piani p_1 , p_2 , p_3 dove p_b è il piano di contatto calcari-calcareni. Dette rappresentazioni possono considerarsi significative rispettivamente della parte più alta e superficiale del versante Casalnuovo della Gravina e della parte media e più interna dello stesso versante. Oltre ai poli p_i dei vari piani, sono state riportate le intersezioni mutue di questi, rappresentate in proiezione sferica dai punti I_{ij} , tenendo conto della corrispondenza reciproca esistente fra i poli P_i e i punti I_{ij} (ad esempio l'intersezione $I_{1,3}$ dei piani p_1 e p_3 coincide col polo del grande cerchio passante per P_1 e P_3).

Lo studio dei possibili tipi di rottura è stato condotto utilizzando i diagrammi di figg. 38, 39 e 40 e 42, 39 e 43, considerando a due a due i piani rappresentativi dei sistemi di discontinuità individuali. In ciascun diagramma (ad esempio quello di fig. 38) sono stati riportati sia i due piani, rappresentati dai poli, che la retta intersezione di questi, individuata dal punto di intersezione dei grandi cerchi dei due piani stessi.

Per uno scivolamento del tipo a cuneo sui due piani, nella direzione della retta di intersezione di questi, le risultanti sia delle componenti normali ai due piani che delle resistenze d'attrito lungo questi ultimi sono contenute nei piani definiti sia dalla direzione delle normali che dalla direzione del movimento possibile. Tali piani sono individuati sul diagramma in proiezione sferica dai grandi cerchi passanti per ciascuno dei poli e per il punto intersezione.

Come è stato detto nelle pagine precedenti, le quattro zone nelle quali viene suddiviso il diagramma indicano, in relazione alla direzione della risultante agente sul cuneo di roccia, il tipo di rottura possibile.

Così, nel diagramma di fig. 38, vengono a definirsi le quattro zone Z_0 , Z_1 , Z_2 , $Z_{1,2}$ per le quali le rotture possibili sono rappresentate rispettivamente:

- Dal distacco del cuneo dai due piani p_1 e p_2 .
- Dallo scivolamento di tipo a blocco sul piano p_1 .
- Dallo scivolamento di tipo a blocco sul piano p_2 .
- Dallo scivolamento del cuneo su ambedue i piani p_1 e p_2 .

A riguardo di quest'ultima zona $Z_{1,2}$, il grande cerchio di stabilità totale (passante per i poli P_1 e P_2 ⁴) determina l'ulteriore suddivisione della stessa zona nei riguardi della direzione del movimento del cuneo, con l'orientazione di tale movimento data sempre dal punto di intersezione $I_{1,2}$.

Una rottura di tipo a blocco potrebbe inoltre verificarsi nella direzione della componente di immersione del piano di scivolamento (p_1 o p_2) in relazione alla direzione della forza applicata.

Se come forza applicata al cuneo di roccia si considera il solo peso, la direzione verticale di tale forza è individuata dal centro del diagramma.

Volendo tener conto di una contemporanea azione di forze orizzontali in ogni direzione, forze sismiche, il luogo dei punti r della risultante delle forze viene a coincidere con un cerchio avente come centro l'origine. Tale cerchio rappresenta, come si è detto, la traccia di un cono, del quale la tangente dell'angolo al vertice è pari al rapporto fra le componenti orizzontale e verticale della risultante delle forze applicate.

Nelle figg. 38, 39, 40 e 42, 39, 43 sono state riportate sia le curve dell'equilibrio limite (angolo di attrito $\varphi = 45^\circ$ sui tre piani) che quelle relative ai valori $\varphi = 30^\circ$ e $\varphi = 20^\circ$ corrispondenti ai valori $FS = 1,5$ ed $FS = 2,25$ del fattore di sicurezza.

Dall'esame delle figg. 38, 39 e 40 si rileva come il punto rappresentativo della direzione delle forze applicate cada esternamente alla curva dell'equilibrio limite e, quindi, non risulti assicurata (tenendo conto della sola resistenza d'attrito lungo le superfici di discontinuità) la stabilità della parte dell'ammasso, interessato contemporaneamente dai tre sistemi di fratturazione p_1 , p_2 e p_3 .

Dall'osservazione diretta dell'ammasso roccioso è possibile dedurre che l'equilibrio di alcune zone superficiali del versante è assicurato dal fatto che l'estensione dei piani di frattura in taluni casi non è totale. In altri termini, le nuove superfici di scivolamento innescate da piani preesistenti di discontinuità non risultano ancora totalmente aperte. In questi casi, infatti, la resistenza opposta allo scivolamento del blocco lungo i piani di discontinuità non è solo quella d'attrito, ma ad essa viene a sommarsi il contributo offerto dalla coesione lungo quelle aree della superficie di scivolamento non ancora interessate dai fenomeni di fratturazione.

La presa in conto della coesione lungo i piani di discontinuità, comporta, nei riguardi dei diagrammi di figg. 38, 39 e 40, un ampliamento della zona di stabilità racchiusa dalla curva dell'equilibrio limite, fino ad includere verosimilmente il centro del reticolo rappresentativo della direzione della forza peso. Nel momento in cui si ha l'apertura di queste superfici di discontinuità (per effetto del deterioramento nel tempo della roccia), viene a mancare il contributo alla resistenza offerta dalla coesione e si determina la rottura dell'ammasso con il conseguente movimento dei blocchi lungo i piani di frattura.

Sulla base di quanto rilevabile dalle figg. 38, 39 e 40 la rottura dell'ammasso avviene con scivolamento sul piano p_1 secondo la linea di massima pendenza N_1 (fig. 38) ovvero a cuneo secondo la retta intersezione dei piani p_1 e p_3 (fig. 39) o infine sul piano p_3 secondo la linea di massima pendenza N_3 o ancora a cuneo secondo la retta intersezione dei piani p_2 e p_3 (fig. 40). Il tutto in relazione alla direzione della risultante delle forze applicate. Come può rilevarsi sia dall'esame delle tre figure citate che da quella riassuntiva (fig. 41), ottenuta dalla sovrapposizione delle precedenti, gli scivolamenti dei vari blocchi, non

adeguatamente contrastati dalle resistenze di attrito lungo i piani di frattura, possono avvenire secondo una direzione compresa in un settore piuttosto ristretto: (fra N e N 60 E).

Tale tipo di scivolamento, individuato sulla base della sola rappresentazione grafica, concorda pienamente con quanto verificatosi nella parte alta del versante Casalnuovo, laddove si sono avuti distacchi di massi anche di notevoli proporzioni, con scivolamento verso il basso lungo i piani di discontinuità rilevati.

Dall'esame delle figg. 42, 39, 43 e 44 si rileva, viceversa, come la presenza del piano p_b (piano di base delle calcareniti) ampli notevolmente la zona di stabilità. Il punto rappresentativo r della direzione della risultante R delle forze applicate non solo risulta interno alla curva di equilibrio limite ma lo è anche rispetto alla intersezione della «superficie conica» con apertura $\varphi = 20^\circ$ ($FS = 2,25$).

Il parametro che gioca in maniera sostanziale ai fini della stabilità dell'ammasso roccioso è costituito, come si rileva facilmente dalla fig. 44, dall'attrito sul piano di stratificazione. Piano che, per altro verso, risulta disposto con leggera pendenza a reggipoggio.

Le condizioni di stabilità del Rione Casalnuovo, risultano infatti migliori di quelle del versante opposto della Gravina (lato Belvedere), laddove alla presenza degli stessi sistemi di discontinuità si aggiunge la concordanza - sia pure con valori non elevati - della pendenza del piano di stratificazione con quello della superficie del pendio. Si spiega, in tal modo, la maggior rilevanza che assume, per tale versante, il fenomeno di distacco di grossi blocchi di roccia, verificantesi a diverse quote lungo tutto il pendio.

Sulla base di quanto fin qui esaminato, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- a) La parte più alta e superficiale del versante roccioso considerato si presenta in condizioni precarie di stabilità, così come è dimostrato dal distacco e dalla caduta di grossi blocchi di roccia, alcune dei quali si trovano tuttora in condizioni di equilibrio prossimi alla instabilità. Per tale zona del versante si ritiene necessario prevedere il ricorso ai metodi moderni di intervento per migliorarne le condizioni di stabilità.
- b) Per la parte media e più interna del versante, le condizioni di stabilità risultano assicurate dalla favorevole giacitura del piano di base delle calcareniti e dalle caratteristiche meccaniche delle rocce interessate.
- c) Tenendo conto della posizione spaziale dei piani di discontinuità rispetto all'andamento del pendio, si ricava che le condizioni di stabilità del versante esaminato sono decisamente migliori rispetto a quelle del versante opposto della Gravina (lato Belvedere).

Note

¹ P. LONDE, G. VIGIER e R. VORMERINGER: «Stability of Rock slopes, a three - dimensionai study» Proceedings of Asce, genn. 1969.

² K. TERZAGHI: «Sources of Error in Joint Surveys». Geotechnique, Seti. 1965.

³ J. TALOBRE: «La mécanique des roches» Dunod, Paris, 1957. - L. MULLER: «Der Felsban» Erike, Stuttgart, Germany, 1963.

⁴ Come si è detto in precedenza, la zona di stabilità totale, nel caso di due sole superfici di discontinuità, si riduce all'arco di grande cerchio del piano normale alla direzione di scivolamento.

10 - MIGLIORAMENTO DELLE CONDIZIONI DI STABILITÀ DELL'AMMASSO CALCARENITICO

Le condizioni di stabilità del versante in calcarenite della Gravina, direttamente ed indirettamente interessato dai Sassi, possono e devono essere migliorate facendo ricorso ai molteplici moderni sistemi di intervento. Ovviamente non è questa la sede per approfondire i diversi aspetti e problemi connessi con la scelta, l'adozione e la tecnica operativa degli interventi stabilizzanti necessari. Questi devono necessariamente tener conto del tipo di movimento franoso possibile o in atto nonché delle locali specifiche condizioni morfologiche e di fratturazione della roccia.

Va qui sottolineata la necessità di prevedere anche interventi che possano rendersi indispensabili nell'immediato futuro, al fine di conferire all'ammasso roccioso quella riserva di sicurezza necessaria per far fronte a fenomeni di instabilità dovuti, per esempio, a forze esterne aggiuntive (sismiche, idrauliche, ecc.). Non va dimenticato infatti che, anche se da qualche tempo non si sono riscontrati nella zona sismi di una certa entità, i microsismi sono per contro sempre presenti ed esercitano un'azione determinante sull'instabilità progressiva del pendio e delle scarpate¹. A detta azione dovranno tra l'altro convenientemente richiamarsi gli interventi che si andranno ad effettuare.

Una serie di interventi preventivi deve innanzitutto consentire di prevenire la formazione di altre situazioni di instabilità e di non peggiorare quelle già esistenti. Dovendo eliminare i principali fattori attivi dei dissesti, gli interventi in parola dovranno essere diretti a migliorare la configurazione morfologica dei pendii e delle scarpate - mediante il disgaggio di massi, l'eliminazione degli appicchi più instabili, la riduzione (ove possibile) e la sistemazione delle scarpate con opere di sostegno in muratura, ecc. - ed a conferire una sistemazione idraulica superficiale all'intera area dei Sassi, mediante raccolta e canalizzazione delle acque di precipitazione atmosferica ed il risanamento degli impianti idraulici mal funzionanti. Opere murarie dovranno inoltre essere realizzate a protezione di quei fronti rocciosi particolarmente suscettibili all'erosione idrometeorica ed alla disgregazione termoclastica.

I criteri che si dovranno seguire, al fine di migliorare le proprietà di resistenza meccanica e quindi le condizioni di stabilità dell'insieme calcarenitico formante i pendii e le scarpate, sono sostanzialmente due:

- Modificare, e rendere quindi più incline alla stabilità, lo stato di sollecitazione interno dell'ammasso roccioso, introducendo in esso elementi artificiali bulloni o chiodi, ancoraggi iniettati, ecc.) capaci di assorbire quelle tensioni che l'ammasso stesso non è in grado di sopportare.
- Migliorare le caratteristiche meccaniche dei piani di discontinuità presenti nella calcarenite facendo localmente ricorso ad iniezioni (con miscele cementizie, silicati, resine sintetiche, secondo i casi).

Per assicurare e rinforzare l'insieme calcarenitico, oltre alle tradizionali opere di sostegno e di protezione agenti dall'esterno (muri ed opere di sostegno di vario tipo e dimensione, reti metalliche, ecc.), si può far ricorso ad ancoraggi corti e lunghi che, opportunamente introdotti all'interno dell'ammasso roccioso, consentono di sostenere, serrare, armare, ed ancorare i blocchi calcarenitici. Anche laddove il pendio roccioso mostra di possedere una chiara instabilità virtuale o addirittura in atto, l'intervento mediante ancoraggio costituisce sempre un criterio ed una riserva di sicurezza. Peraltro sono tutti rimedi che in superficie lasciano poche tracce, evitando così di disturbare la vista dall'esterno.

Per la stabilizzazione di scarpate o di tratti di pendio, ben si prestano gli ancoraggi lunghi (tiranti): barre oppure fili di acciaio immessi in fori praticati nella roccia ed ivi ancorati mediante l'iniezione di un legante (di norma boiaccia di cemento o malta). Essi oltre a svolgere un'azione di armatura e di ancoraggio, dovranno esercitare un serraggio ed una compressione dei blocchi formanti l'ammasso calcarenitico, in modo da incrementare tra l'altro d'attrito lungo i piani di discontinuità.

I tiranti possono essere messi in opera con diversi gradi di tensione, a seconda delle esigenze geomeccaniche locali: queste, oltre alle locali condizioni morfologiche, strutturali e di fratturazione condizionano anche la lunghezza (che può essere anche di 50 m.), l'orientazione, la densità e la disposizione.

Le tirantature potrebbero essere impiegate anche per migliorare la stabilità, mediante ancoraggio, di alti muri di sostegno e di pareti di scavi eseguite in prossimità di fabbricati. Oltre ad ancorare i blocchi rocciosi mobili, le tirantature dovranno principalmente impedire ulteriori fenomeni di rottura progressiva nella roccia retro e sottostante.

La tecnica delle chiodature o bullonature potrebbe invece essere impiegata per il serraggio ed il consolidamento delle pareti e delle volte delle grotte. Essa infatti è oggi molto comune nella pratica dei lavori per coltivazioni minerarie sotterranee e per il rinforzo delle volte delle gallerie in roccia stratificata o fessurata. La scelta del tipo di bullone da adottare dipenderà dalle condizioni locali e dal ruolo che esso dovrà svolgere, cioè se dovrà operare una semplice azione di ancoraggio oppure un'azione di serraggio e/o di compressione della roccia.

Lo studio di dettaglio, condotto sullo stato e sulle caratteristiche di fratturazione della calcarenite e sugli scivolamenti cinematicamente possibili nelle zone indicate dalla Tav. 14, fornisce tutti quei dati e quelle informazioni di base indispensabili per impostare un razionale progetto di intervento e per un'oculata scelta delle tecniche da adottare.

Per quanto si riferisce agli interventi mediante iniezione, essi dovranno avere carattere essenzialmente locale ed integrativo, dati i larghi assorbimenti cui si andrebbe incontro e i conseguenti costi che essi impongono. Loro scopo principale dovrà essere quello di ridurre la permeabilità per fessurazione del mezzo ed incrementarne le doti di resistenza lungo i giunti. Nel caso di fessure non troppo aperte e non riempite da materiale sciolto a granulometria molto fine, si potranno in casi di effettiva necessità impiegare miscele cementizie opportunamente dosate e rese più stabili con l'aggiunta di bentonite e/o altre

sostanze naturali o artificiali. In presenza di fessure dell'ordine o al di sotto del mm oppure di grosse fratture completamente riempite da materiale a grana fine o finissima, occorrerà far ricorso, in casi decisamente delicati, urgenti e circoscritti, ai silicati ed alle resine sintetiche caratterizzati invero da una maggiore penetrabilità ma anche da alti costi. A tal proposito si consiglia in via di larga massima l'impiego di resine organiche di tipo furfurolico, indurite mediante acidi benzensulfonici ed aniline. Queste dovrebbero consentire di iniettare anche i materiali argillosi presenti nelle fratture.

In merito al problema del restauro e della conservazione delle pitture murarie e delle altre opere artistiche esistenti nei Sassi, da troppo tempo ormai abbandonate all'aggressione dell'ambiente fisico ed all'incuria dell'uomo, trattasi di interventi costosi ed estremamente delicati, la cui scelta è valida in ragione del tipo e dell'importanza dell'opera d'arte stessa, dell'attuale stato di conservazione della roccia interessata e di quanto si vuole ottenere. Soltanto l'accurato esame dell'ambiente e delle caratteristiche della roccia interessata o formante l'opera potrà di volta in volta suggerire la soluzione tecnica più adatta ed economicamente più conveniente; tuttavia vale qui la pena di inquadrare il problema nei suoi termini generali. Poiché è quasi sempre l'acqua di impregnazione o di percolazione che causa i guai peggiori (gelo e sgelò, dissoluzione del carbonato di calcio, idratazione del solfato di calcio, ecc.), la tecnica di base dovrà mirare essenzialmente all'impermeabilizzazione della roccia nonché al rifacimento delle parti più profondamente degradate. Più in particolare, scopo precipuo del trattamento dovrà essere quello di rendere insensibile la roccia agli attacchi di natura fisica e chimica dell'ambiente, renderla idrofuga in modo di impedire all'acqua di entrarvi e nello stesso tempo lasciare pressoché inalterata la capacità di drenaggio (aliquota dei vuoti) della roccia, in modo da non impedire la fuoriuscita del vapore acqueo o di altri gas in essa presenti.

I prodotti che a tal fine potrebbero essere impiegati variano in ragione delle caratteristiche e dello stato di conservazione della roccia.

È questo comunque un argomento da valutare particolarmente all'atto esecutivo e in collaborazione di esperti nella materia della conservazione degli affreschi in genere.

Nota

¹ Il centro abitato di Matera, pur facendo parte della Murgia, zona fra quelle relativamente più stabili dell'intera Europa, ricade ai margini della Fossa Bradanica, onde può risentire sia pure lievemente di quella fenomenologia sismica propria di certe zone dell'Appennino. Stando agli eventi a tutt'oggi verificatisi, Matera non può definirsi zona sismica. Infatti l'ultimo evento sismico registrato risale al secolo scorso e nell'intera era cristiana sembra che si siano avvertiti solo tre sismi significativi, che hanno raggiunto tutti il VI° della Scala Mercalli. Detti sismi si sono verificati negli anni 1634, 1845 e 1885. A riguardo si consulti: E. GIORGETTI, E. JACCARINO *Italian earthquake catalogue from the beginning of the christian age up to 1968*. Appendix to the note published in Bollettino di Geofisica teorica ed applicata, XIII, 50, giugno 1971.

Catalogo Libryd-Scri(le)tture ibride

- Raffaele Giura Longo, Lamisco, 2015 (1999)
- Luigi De Fraja, Il convitto nazionale di Matera, 2016 (1923)
- Luigi De Fraja, Il nostro bel San Giovanni, 2016 (1926)
- Francesco Paolo Festa, Notizie storiche della città di Matera, 2016 (1875)
- Barone Pio Battista Firrao, Narrazione descrittiva della festività per la solenne coronazione di Maria SS.ma della Bruna protettrice della città di Matera, 2016 (1843)
- Giuseppe Gattini, La Cattedrale illustrata, 2016 (1913)
- Domenico Ridola e la ricerca archeologica a Timmari. Forma e linguaggi, 2016
- Francesco Paolo Volpe, Cenno storico della Chiesa Metropolitana di Matera, 2016 (1847)
- Francesco Paolo Volpe, Saggio intorno agli schiavoni stabiliti in Matera nel secolo XV, 2016 (1852)
- Maria Stella Calò Mariani, Carla Gugliemi Faddi, Claudio Strinati, La Cattedrale di Matera dal Medioevo al Rinascimento, 2017 (1978)
- Giuseppe Pupillo e Operatori C.R.S.E.C. BA_7, Altamura, Immagini e Descrizioni Storiche, 2017 (2007)
- Francesco Paolo Volpe, Memorie storiche, profane e religiose sulla città di Matera, 2017 (1818)
- Archivio Storiografico di Raffaele Giura Longo, 2017
- Raffaele Giura Longo, Società e storiografia degli ultimi 150 anni a Matera, 2017 (1967)
- Raffaele Giura Longo, Per una storia del movimento cattolico in Basilicata, 2017 (1966-1967)
- Raffaele Giura Longo, Note storiche sulla Banca Popolare del Materano, 2018 (1967)
- Raffaele Giura Longo, Una inesistente lucanità, 2018 (1991, 2006)
- AA. VV., Fiori spontanei di Murgia, 2018 (2006)
- Raffaele Giura Longo, Le origini del Liceo E. Duni, 2018 (1965)

- Domenico Ridola, *Le grandi trincee preistoriche di Matera*, 2018 (1926)
- Raffaele Giura Longo, *I Sassi: da museo a città*, 2018 (2001)
- Giacomo Racioppi, *Origini storiche basilicatesi investigate nei nomi geografici*, 2018 (1876)
- Francesco Nitti, *Scuola e cultura a Matera dall'Ottocento a oggi*, 2018 (1956)
- Raffaele Lamacchia, *I cinquant'anni della Biblioteca Provinciale di Matera*, 2019 (1987)
- Mutual Security Agency Special Mission to Italy, *Il villaggio La Martella a Matera*, 2019 (1953)
- Cristina Foti, *Angeli Santi e Dèmoni nelle chiese materane tra Medioevo ed Età Barocca*, 2019 (1998)
- Giuseppe Gattini, *S. Eustachio principal patrono della città di Matera*, 2019 (1917)
- Giuseppe Gattini, *Vita di S. Eustachio*, 2019 (1991)
- Daniela Giovinazzi, *La "legenda" greca di S. Eustazio*, 2019 (1995)
- Giacomo Racioppi, *Storia dei popoli della Lucania e della Basilicata*, 2020 (1902, 2a ed.)
- Francesco Nitti, *Le Giornate di Matera-Settembre 1943*, 2020 (1954)
- Francesco Paolo Volpe, *Esposizione di talune iscrizioni esistenti a Matera e delle vicende degli Ebrei nel nostro Reame*, 2020 (1844)
- Giuseppe Siggillino, *Monsignor Di Macco. Un Arcivescovo onorato dal popolo e dimenticato dal clero*, 2020
- Francesco Paolo Volpe, *Descrizione ragionata di alcune Chiese de' tempi rimoti esistenti nel suolo campestre di Matera*, 2020 (1842)
- Francesco Nitti, *Una città del Sud*, 2020 (1956)
- Eustachio Verricelli, *Cronica de la Città di Matera nel Regno di Napoli (1595 e 1596)*, 2020
- Lidia De Rita, *Controllo sociometrico di vicinati in una comunità lucana*, 2020 (1954)
- *La città – Rivista di Architettura, Urbanistica, Politica – N. 1 – Luglio 1959*

- Federico Bilò e Ettore Vadini, *Matera e Adriano Olivetti. Conversazioni con Albino Sacco e Leonardo Sacco*, 2021 (2013)
- Vincenzo Baldoni, *Palazzo Lanfranchi. Appunti sui rinvenimenti nel corso del restauro*, 2021 (1990)
- Michele Valente, *Evoluzione socio economica dei Sassi di Matera nel XX secolo*, 2021 (2007)
- Lupo Protospata, *Breve Chronicon*, 2021
- Antonella Manupelli, *Archivio di Stato di Matera, 1955-1988*, 2021 (1988)
- Rossella Villani, *Pittura murale in Basilicata. Dal Tardo Antico al Rinascimento*, 2022
- Raffaele Sarra, *La Civita ed i Sassi di Matera*, 2022 (1939)
- Gruppo di Studio per l'inventario del Patrimonio storico-artistico-urbanistico della provincia di Matera, *Il centro storico di Matera*, 2022 (1973)
- Alberto Rizzi, *Gli affreschi delle Chiese Rupestri*, 2022 (1973)
- Pietro Antonio Ridola, *Memoria genealogico-istorica della famiglia Gattini da Matera*, 2022 (1887)
- Autori Vari, *Giambattista Pentasuglia. Un materano alla Spedizione dei Mille*, 2022
- Domenico Ridola, *Brevi Note sulla Stazione Preistorica della Grotta dei Pipistrelli e della vicina Grotta Funeraria*, 2022 (1912)
- Eleonora Bracco, *Le ricerche archeologiche nell'Agro di Matera, 1938-1950*, 2022
- Comune di Matera, *Concorso internazionale per il restauro urbanistico-ambientale dei Rioni Sassi di Matera*, 2022 (1978)
- Luigi Piccinato, *Piano Regolatore Variante Generale*, 2022 (1974)
- Manfredo Tafuri, *Un contributo alla comprensione della vicenda storica dei Sassi*, 2023 (1977)

Energheia

Energheia — *Ενέργεια*, termine greco con cui Aristotele indicava la manifestazione dell'essere, l'atto — è nata nel 1989 svolgendo l'attività di produzione culturale nell'ambito della ricerca e della realizzazione di iniziative legate a nuovi strumenti di espressione giovanile.

Accanto all'omonimo Premio letterario, diffuso su tutto il territorio nazionale, con le sue diverse sezioni — arrivato, nel 2023, alla sua XXIX edizione — l'associazione ha allargato i suoi confini nazionali, promuovendo il **Premio Energheia Europa** nei Paesi europei e il **Premio Africa Teller** rivolto ai Paesi africani, con l'intento di confrontarsi con le "altre culture", in un percorso inverso al generale flusso di informazioni.

L'associazione annovera tra le sue produzioni culturali la pubblicazione delle antologie **I racconti di Energheia** e **Africa Teller**, ovvero la silloge dei racconti finalisti delle varie edizioni del Premio in Italia e in Africa.

Il sodalizio materano, inoltre, pone fondamentale risalto alla produzione di **cortometraggi** — tratti dai racconti designati dalle Giurie del Premio nel corso degli anni — dove la parola scritta si trasforma in suoni e immagini.

Onde Lunghe, guida all'ascolto della musica raccontata, le **Escursioni di Energheia**, tra natura e cultura e **Libryd-Scri(le)tture Ibride**, sono le ultime attività intraprese.

Il simbolo dell'Associazione raffigura la fibula a occhiali, antico monile fabbricato in diversi metalli in uso nelle civiltà pre-elleniche della Lucania e risalente all'età del ferro IX-VII secolo a. C.

Libryd-Scri(le)tture ibride

Associazione Culturale Energheia – Matera

Via Lucana, 79 – Fax: 0835.264232

sito internet: www.energheia.org

e-mail: energheia@energheia.org

facebook.com: [premio energheia](https://www.facebook.com/premioenergheia)

twitter: [PremioEnergheia](https://twitter.com/PremioEnergheia)