

ALBERTO CLERICI - FRANCESCO SFRATATO

# La geologia nella pratica edilizia

**MATERIALI LAPIDEI:  
CARATTERISTICHE, ATTIVITÀ ESTRATTIVE,  
DURABILITÀ E PROCESSI DI DEGRADO**



Dario Flaccovio Editore

Alberto Clerici - Francesco Sfratato

LA GEOLOGIA NELLA PRATICA EDILIZIA

ISBN 978-88-579-0053-7

© 2010 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. – tel. 0916700686 – fax 091525738

[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it) [info@darioflaccovio.it](mailto:info@darioflaccovio.it)

Prima edizione: ottobre 2010

Clerici, Alberto <1955->

La geologia nella pratica edilizia : materiali lapidei: caratteristiche, attività estrattive, durabilità e processi di degrado / Alberto Clerici, Francesco Sfratato. - Palermo : D.

Flaccovio, 2010.

ISBN 978-88-579-0053-7

1. Edilizia – Impiego [di] Materiali lapidei I. Sfratato, Francesco <1977->.

691.2 CDD-22

SBN Pa0229520

*CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"*

Stampa: Tipografia Priulla, ottobre 2010

#### RINGRAZIAMENTI

Si vuole innanzi tutto ringraziare la professoressa Irene Giustina, del Dipartimento di Ingegneria Civile Architettura Territorio e Ambiente dell'Università degli studi di Brescia, che ha fornito dapprima lo spunto per questo testo e, successivamente, numerosi suggerimenti avendo avuto la pazienza di leggerne le bozze.

Un ringraziamento all'amico Fabio Bonardi, collega geologo, Presidente della cooperativa Valverde di Botticino Mattina (BS), che ha permesso la ripresa di fotografie nel laboratorio della cooperativa e ha fornito numerosi consigli; analogamente si ringrazia Massimo Peretti per il prezioso sostegno nella redazione della sezione riguardante i processi di trasformazione dei materiali lapidei.

Un ringraziamento va anche all'ing. Federica Giudici e ai dott. Andrea Da Pra e Alessio Bonzani che, nell'ambito delle attività condotte per le proprie tesi di laurea, si sono occupati della ricerca storica dei giacimenti e dell'esecuzione di prove di laboratorio sui materiali lapidei.

Si ringraziano infine per la disponibilità Clara Moschini, Fabrizia Ciria, Giampiero Guglielmazzi, Massimo Marian e Federico Protti.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte. La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.



#### SERVIZI GRATUITI ON LINE

Questo libro dispone dei seguenti servizi gratuiti disponibili on line:

- le risposte degli autori a quesiti precedenti
- files di aggiornamento al testo
- possibilità di inserire il proprio commento al libro.

L'indirizzo per accedere ai servizi è: [www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF0053](http://www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF0053)

**INDICE**

<i>Presentazione</i> .....	pag. IX
<i>Premessa</i> .....	» XI
1. I MATERIALI NATURALI	
1.1. Introduzione .....	» 2
1.2. Gli elementi.....	» 2
1.3. I minerali .....	» 5
1.3.1. La descrizione e il riconoscimento dei minerali .....	» 8
1.3.2. Le rocce come insiemi di minerali .....	» 17
1.4. Le rocce ignee .....	» 18
1.4.1. Le serie di Bowen.....	» 18
1.4.2. La tessitura delle rocce ignee .....	» 20
1.4.3. La descrizione del campione a vista.....	» 22
1.4.4. La classificazione delle rocce ignee .....	» 24
1.4.5. La giacitura delle rocce ignee intrusive .....	» 27
1.4.6. I prodotti dell'attività vulcanica .....	» 30
1.5. La diagenesi e le rocce sedimentarie .....	» 37
1.5.1. Le rocce terrigene .....	» 39
1.5.2. Le rocce organogene.....	» 47
1.5.3. Le rocce chimiche .....	» 57
1.5.4. Gli ambienti di formazione delle rocce sedimentarie .....	» 65
1.6. Il metamorfismo e le rocce metamorfiche .....	» 74
1.6.1. I minerali delle rocce metamorfiche.....	» 75
1.6.2. Le tessiture metamorfiche .....	» 76
1.6.3. I tipi di metamorfismo .....	» 79
1.6.4. La nomenclatura di alcune rocce metamorfiche .....	» 81
1.6.5. Il ciclo delle rocce .....	» 87
1.7. Il materiale roccia: caratteristiche fisiche e meccaniche di base .....	» 88
1.7.1. Le caratteristiche fisiche di base .....	» 90
1.7.1.1. Il colore .....	» 90
1.7.1.2. La massa volumica apparente (o peso di volume).....	» 92
1.7.1.3. La massa volumica reale (o peso specifico della parte solida) ..	» 93
1.7.1.4. La porosità totale .....	» 94
1.7.1.5. Il contenuto d'acqua .....	» 97
1.7.1.6. Il grado di saturazione .....	» 97

1.7.2.	Le caratteristiche meccaniche di base .....	»	98
1.7.2.1.	La resistenza a compressione monoassiale .....	»	98
1.7.2.2.	La resistenza a trazione diretta .....	»	100
1.7.2.3.	Le costanti elastiche statiche .....	»	102
1.8.	Le deformazioni e le rotture nelle rocce .....	»	107
1.8.1.	Le pieghe .....	»	111
1.8.2.	Le fratture .....	»	114
1.8.3.	Le faglie .....	»	115
1.8.4.	I sovrascorrimenti .....	»	119
1.9.	Le discontinuità e l'ammasso roccioso .....	»	121
1.9.1.	Le caratteristiche fisiche delle discontinuità .....	»	124
1.9.1.1.	L'orientazione nello spazio (giacitura) .....	»	124
1.9.1.2.	La persistenza .....	»	126
1.9.1.3.	Le irregolarità: forma e rugosità .....	»	129
1.9.1.4.	L'alterazione delle superfici delle discontinuità .....	»	131
1.9.1.5.	L'apertura .....	»	131
1.9.1.6.	Il materiale di riempimento .....	»	133
1.9.1.7.	Le condizioni di umidità .....	»	134
1.9.1.8.	La spaziatura delle discontinuità .....	»	134
1.9.2.	L'ammasso roccioso .....	»	135
2.	L'ESTRAZIONE E LA LAVORAZIONE DELLE PIETRE ORNAMENTALI		
2.1.	Introduzione .....	»	142
2.2.	Cenni storici .....	»	143
2.3.	Generalità sulla coltivazione delle pietre ornamentali .....	»	161
2.4.	La coltivazione mineraria mediante l'uso dell'esplosivo .....	»	174
2.5.	La coltivazione con filo diamantato .....	»	187
2.5.1.	L'impiego del filo diamantato .....	»	187
2.6.	Le metodologie di abbattimento alternative .....	»	196
2.7.	La coltivazione in sotterraneo .....	»	205
2.8.	Il ribaltamento, il taglio e la movimentazione del materiale lapideo .....	»	212
2.9.	Le lavorazioni .....	»	216
2.9.1.	Il processo di trasformazione del blocco .....	»	217
2.10.	La finitura .....	»	228
2.10.1.	I tipi di finiture .....	»	228
3.	I PROCESSI NATURALI DI DEGRADAZIONE		
3.1.	Introduzione .....	»	246
3.2.	I processi elementari di disgregazione fisica .....	»	247

3.2.1.	Il crioclastismo .....	» 247
3.2.2.	Il termoclastismo .....	» 251
3.2.3.	L'idroclastismo .....	» 253
3.2.4.	La cristallizzazione di sali .....	» 254
3.2.5.	Il bioclastismo .....	» 255
3.2.6.	La diminuzione della pressione litostatica .....	» 256
3.3.	I processi elementari di alterazione chimica.....	» 260
3.4.	I prodotti della degradazione .....	» 269
4.	LA NORMATIVA PER LE PIETRE NATURALI	
4.1.	Introduzione .....	» 276
4.2.	Il marchio CE per i prodotti in pietra naturale: le norme di prodotto .....	» 276
4.3.	La normativa per la conduzione delle prove sulle pietre naturali .....	» 277
4.3.1.	La normativa sulla terminologia delle pietre naturali .....	» 280
4.3.2.	Esempi di normativa per le prove fisico-chimiche .....	» 281
4.3.2.1.	L'assorbimento d'acqua per capillarità .....	» 281
4.3.2.2.	L'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica.....	» 283
4.3.2.3.	La durezza della roccia .....	» 283
4.3.2.4.	La massa volumica reale e apparente; la porosità totale e aperta .....	» 285
4.3.2.5.	La resistenza al gelo .....	» 285
4.3.2.6.	La resistenza alla cristallizzazione di sali .....	» 287
4.3.2.7.	La resistenza all'invecchiamento dovuto ad anidride solforosa .....	» 287
4.3.2.8.	La resistenza all'invecchiamento mediante shock termico	» 288
4.3.2.9.	La resistenza all'invecchiamento dovuto a nebbia salina ..	» 288
4.3.3.	Esempi di norme per la conduzione di prove meccaniche e tecniche	» 288
4.3.3.1.	La resistenza a compressione .....	» 289
4.3.3.2.	La resistenza a flessione sotto carico concentrato .....	» 289
4.3.3.3.	Il modulo elastico dinamico .....	» 291
4.3.3.4.	La determinazione della resistenza allo scivolamento tramite l'apparecchiatura di prova a pendolo .....	» 294
4.3.3.5.	Il carico di rottura in corrispondenza dei fori di fissaggio	» 295
4.4.	I marchi commerciali .....	» 296
4.5.	La descrizione delle forme di alterazione .....	» 297
4.6.	Alcuni approfondimenti .....	» 310
4.6.1.	Le croste .....	» 310
4.6.2.	L'alterazione chimica promossa dalla porosità .....	» 310
4.6.3.	La dilatazione termica .....	» 311
4.6.4.	Il tipo di finitura e usura differenziale .....	» 313
4.6.5.	La fratturazione e la scagliatura nelle rocce sedimentarie .....	» 313

## VIII

---

5.	LE TERRE	
5.1.	Introduzione .....	» 316
5.2.	Le terre granulari e le terre coesive .....	» 316
5.3.	La classificazione delle terre: l'analisi granulometrica .....	» 319
5.4.	Le principali caratteristiche fisiche dei terreni .....	» 324
5.4.1.	La massa volumica apparente (o peso di volume) .....	» 324
5.4.2.	La massa volumica reale (o peso specifico della parte solida) .....	» 325
5.4.3.	La porosità totale .....	» 325
5.4.4.	L'indice dei vuoti .....	» 326
5.4.5.	La porosità efficace .....	» 327
5.4.6.	Il contenuto d'acqua .....	» 327
5.4.7.	Il grado di saturazione .....	» 328
5.5.	Le caratteristiche fisiche determinabili sui soli terreni granulari .....	» 328
5.6.	Le terre fini .....	» 333
5.7.	I principali impieghi delle terre in edilizia .....	» 339
5.7.1.	I principali impieghi delle terre granulari .....	» 339
5.7.2.	I principali impieghi delle terre fini .....	» 341
5.7.2.1.	L'argilla per la produzione di laterizi da costruzione .....	» 343
	BIBLIOGRAFIA .....	» 349
	NORMATIVA UNI .....	» 351

## *Presentazione*

Sin dall'antichità più remota, i costruttori hanno riconosciuto nella pietra indiscusse qualità di resistenza, durezza, pregio estetico e versatilità di impiego che l'hanno resa senza alcun dubbio il materiale edilizio reputato più nobile e prezioso. Ciò le ha garantito una ininterrotta fortuna in ogni tempo e luogo, anche a fronte di fatiche e costi spesso immani per il suo approvvigionamento. Ancora oggi, nonostante la grande varietà di materiali edili disponibili sul mercato ben più vantaggiosi per costo, produzione e comportamento, la pietra continua a essere uno stabile punto di riferimento soprattutto in relazione ai suoi valori estetici, cromatici e decorativi, con un'offerta commerciale ormai amplissima.

Chiunque lavori nel comparto delle costruzioni immancabilmente si trova, dunque, a confrontarsi con questo materiale, sia che debba provvedere alla sua conservazione e al suo recupero nell'edilizia storica e monumentale – che ne fece il più largo uso – sia che voglia impiegarlo nell'attività progettuale corrente, dalla piccola scala del design o degli interni alla macroscale della progettazione architettonica e urbana e dell'ingegneria. Desta non poca sorpresa, tuttavia, osservare come oggi davvero pochi operatori edili conoscano a fondo la pietra, e ciò a partire dai percorsi didattici e di formazione, anche accademica, che raramente contemplan specifici approfondimenti su tale soggetto. Architetti, designer, ingegneri per le opere di nuova costruzione sembrano orientarsi scegliendo i materiali principalmente sulla base di valori cromatici e formali, mentre nei lavori di restauro e conservazione rischiano di intervenire sugli elementi lapidei in modo assai superficiale, commettendo spesso, in entrambi i casi, grossolani errori: costose pavimentazioni e rivestimenti esterni che si sbracciano alla prima gelata, eleganti piani di cucina che si chizzano al banale contatto con l'olio, marmi ornamentali di pregio documentale o artistico puliti con detersivi o solventi che li danneggiano irrimediabilmente.

E si potrebbe continuare a lungo, mostrando come sia andato ormai perduto un sapere sulla natura e sull'impiego delle rocce sedimentate in secoli di storia, testimoniato anche nella trattatistica e nella manualistica d'architettura che hanno sempre riservato grande attenzione ai materiali lapidei. Già Leon Battista Alberti ribadiva, sulla scorta dell'insegnamento di Catone e di Vitruvio, quanto fosse necessario per l'architetto «avere un'idea di quanto varie e sorprendenti siano le qualità delle pietre, in modo da potersene servire ai diversi fini che a ciascuna competono nella maniera più appropriata». In un lungo elenco di varietà lapidee e delle loro specifiche indicava come, pure se su basi esclusivamente empiriche e descrittive, fosse allora «ottimamente» noto il loro comportamento: «una pietra cosparsa di sabbia luccicante», ad esempio, «sarà resistente; se a tratti vi si vedranno sprizzare come delle scintille d'oro, sarà dura da vincere; se è piena di

punti neri, sarà indomabile», e ricordava a proposito delle venature che «minore sarà il numero (...) più sana sarà la pietra», specificando come le «più facili a fendersi sono quelle che contengono nel mezzo una riga color argilla o ocra marcia». E sapendo che ogni roccia, anche dello stesso tipo, ha caratteri e comportamento peculiari difficili da prevedere, consigliava di estrarre la pietra possibilmente d'estate e di tenerla esposta a cielo aperto almeno due anni prima del suo impiego, in modo che le intemperie ne facessero emergere con chiarezza i pregi e soprattutto i difetti (*De Re Aedificatoria*, L. II, capp. VIII-IX).

Questo nuovo volume nasce proprio con l'obiettivo di riportare professionisti e operatori del settore edile a un uso consapevole della pietra, fondato su cognizioni scientifiche grazie alle quali è oggi ampiamente consentito di conoscere a priori il carattere dei diversi litotipi e le loro potenzialità di utilizzo. L'idea del libro è maturata nell'ambito di una lunga attività didattica accademica interdisciplinare svolta da Alberto Clerici, con la collaborazione di Francesco Sfratato, nel corso di laurea specialistica in Ingegneria edile-Architettura della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli studi di Brescia; da anni, infatti, un corso di fondamenti di Geologia applicata integra l'insegnamento di Storia delle tecniche architettoniche, tenuto da chi scrive, con il fine di riservare un serio approfondimento, altrimenti del tutto assente nella formazione degli allievi ingegneri-architetti, intorno a uno dei più pregevoli e diffusi materiali della storia edilizia.

Lo specifico interesse per l'applicazione della pietra nel settore delle costruzioni ha indotto gli autori a concepire un'opera decisamente innovativa che va a colmare una effettiva lacuna editoriale: il libro spazia dai temi classici della geologia, fondamentali per comprendere la natura dei minerali e delle rocce e quindi assegnare loro la giusta collocazione petrografica, alla definizione delle caratteristiche fisiche, di resistenza e di durabilità dei materiali – con approfondimenti sulle prove dettate dalle odierne normative – così come ai giacimenti, ai siti e alle tecniche estrattive e alle lavorazioni più diffuse in età preindustriale e nell'attualità, fornendo gli elementi essenziali per comprendere e valorizzare la complessità contenuta in ogni elemento edilizio lapideo, nuovo o antico che sia. Particolare attenzione è riservata anche alle terre – i ciottoli, le ghiaie, le sabbie e soprattutto l'argilla, che costituisce la materia prima dei manufatti ceramici e dei mattoni da costruzione, forse ancora più diffusi della stessa pietra – e ai numerosi altri materiali rocciosi e minerali che nell'edilizia trovano largo utilizzo diretto o come aggregati e additivi. Gli autori, cogliendo acutamente le molteplici sollecitazioni provenienti dal settore dell'architettura, sono riusciti ad approntare con chiarezza e semplicità un manuale completo che, grazie anche all'ausilio di un rilevante apparato di grafici e immagini, può senz'altro proporsi come una valida guida per operatori edili e professionisti, sia nel progetto del nuovo sia nella conservazione del costruito, consentendo loro di maturare una profonda consapevolezza nei confronti dei materiali lapidei e del loro più consono ambito di impiego.

*Irene Giustina*

## *Premessa*

Molte delle rocce presenti sulla superficie terrestre hanno caratteristiche tali da poter essere impiegate come materiale da costruzione, così come numerosi sono i campi di possibile impiego per questi materiali naturali.

Per poter operare delle scelte in modo che i materiali naturali vengano utilizzati opportunamente nelle diverse destinazioni d'uso in ambito edile e architettonico è indispensabile avere conoscenza di alcune loro caratteristiche e proprietà nonché delle tipologie e delle entità delle sollecitazioni e delle aggressioni a cui andranno incontro nel tempo.

Le caratteristiche e le proprietà delle rocce che concorrono a determinarne il possibile impiego in edilizia e in architettura, pur dipendendo tutte, più o meno direttamente, dalla geologia (in senso lato) possono essere ordinate in una serie di fattori principali (fattore geologico in senso stretto, fattore estetico, fattore economico) tra loro strettamente vincolati.

Il fattore geologico comprende diversi elementi, come:

- la struttura della roccia, intesa come frequenza e disposizione nello spazio delle discontinuità (fratture, piani di strato, piani di scistosità, ecc.) e di altri elementi (come pieghe, piani di anisotropia, ecc.) che dipendono dalla storia geologica del giacimento e determinano le dimensioni di materiale roccioso integro cavabile e utilizzabile;
- il contenuto mineralogico e, quindi, la collocazione petrografica della roccia;
- le caratteristiche fisiche, ad esempio la porosità;
- le caratteristiche di resistenza meccanica, come la resistenza a flessione;
- le caratteristiche di resistenza ad aggressioni chimiche, ad esempio all'anidride solforosa;
- la durabilità, cioè le stesse resistenze considerate nel tempo;
- le caratteristiche tecniche, come la risposta all'inserimento di elementi di fessaggio;
- la lavorabilità, cioè la possibilità di eseguire lavorazioni diverse (dalla estrazione, al taglio, alla finitura).

Il fattore estetico, comunque legato alla geologia, è senza dubbio determinante soprattutto da quando, agli inizi del Novecento, le pietre naturali hanno progressivamente perso il ruolo di elemento strutturale, sostituite da calcestruzzo e acciaio e affiancate dai laterizi, per essere utilizzate sempre più come materiale di finitura e completamento; esso dipende principalmente da:

- la colorazione dominante;
- l'uniformità di colore (esistono rocce monocromatiche e rocce policrome);

- la distribuzione del colore: a macchie, con venature, ecc.;
- la lavorazione di finitura, in grado di esaltare la colorazione dominante o la policromia;
- la presenza di difetti, ad esempio cavità;
- la durabilità del colore nel tempo, dipendente in larga misura dal contenuto mineralogico;
- la gradevolezza degli accostamenti tra rocce diverse e tra roccia e materiali differenti.

Il fattore economico in parte dipende sì da logiche commerciali e di mercato, ma è in parte legato, anch'esso, alla geologia. Per quanto attiene a quest'ultima, si possono citare i seguenti elementi che concorrono:

- la disponibilità del materiale, intesa come abbondanza sulla superficie terrestre o a piccola profondità da questa;
- l'estensione dei giacimenti, che condiziona la possibilità di ammortizzare i costi fissi di una coltivazione mineraria;
- l'uniformità qualitativa del materiale di interesse;
- la morfologia del sito estrattivo, soprattutto in termini di acclività;
- l'ubicazione e l'accessibilità del giacimento rispetto ai luoghi di utilizzo;
- la necessità di lavorazioni preliminari o preparatorie allo sfruttamento, come la rimozione di materiale inerte o con caratteristiche qualitative scadenti, oppure lo scavo di gallerie di accesso al giacimento nel caso di estrazione in sotterraneo.

In edilizia e in architettura gli impieghi dei materiali lapidei naturali sono diversi. Si possono innanzi tutto distinguere i materiali che vengono impiegati direttamente, cioè senza che subiscano un trattamento di trasformazione industriale, e quelli che hanno invece un impiego indiretto, cioè successivo ad una trasformazione industriale.

Tra gli impieghi diretti, che interessano prevalentemente le rocce, si possono elencare: rivestimenti di edifici, pavimentazioni interne ed esterne, opere murarie, coperture, gradini, stipiti, davanzali, zoccolature, sculture, elementi architettonici ed ornamentali, elementi strutturali (pilastri, colonne), oggettistica.

Tra gli impieghi indiretti di materiali rocciosi va citata la produzione di cementi (da marne, calcari, argilliti), di calce aerea (da calcari e dolomie), di calce idraulica (da calcari marnosi) e la produzione di aggregati, cioè frammenti a diversa pezzatura ottenuti da frantumazione di diversi tipi di rocce, per malte, calcestruzzi e pietre agglomerate.

Naturalmente gli aggregati vengono spesso ottenuti direttamente da terre di granulometria adatta (soprattutto sabbia e ghiaia). Se si estende l'elenco degli impieghi di materiali naturali "geologici" in edilizia e in architettura, occorre infatti

considerare anche le terre, citando le argille per il confezionamento di prodotti ceramici vari (tra cui terrecotte, gres, maioliche, porcellane, ecc.), le ghiaie e i ciottoli per pavimentazioni in esterno, i ciottoli e i massi per paramenti murari, i depositi piroclastici (come le pozzolane per i cementi omonimi), ma anche molti minerali che sono oggetto di coltivazione per impieghi diversi, come quarzo, feldspati e carbonati (impiegati proprio nella produzione delle ceramiche) e il gesso (in quella dei cementi) e molti altri.

Commercialmente, i materiali lapidei vengono distinti in tre sole categorie: graniti, marmi e pietre. I graniti comprendono tutte le rocce lucidabili di elevata durezza; i marmi comprendono tutte le rocce lucidabili di limitata durezza; col termine “pietra” si intendono le rocce non lucidabili.

Questa classificazione, molto schematica, fornisce una prima indicazione relativa sia alla lavorabilità delle rocce sia alle prestazioni che queste possono fornire in opera. Va da sé che la scelta della roccia da destinare a un determinato impiego non può però limitarsi a questa distinzione in quanto, all’interno di ciascuna delle tre categorie, rientrano rocce con caratteristiche estetiche, fisiche, meccaniche, chimiche, di durabilità e tecniche molto differenti.

Nella scelta di una roccia per uno specifico scopo è allora necessario procedere con due ulteriori passaggi: innanzi tutto è utile conoscere il nome litologico scientificamente corretto, in secondo luogo è indispensabile acquisire le caratteristiche della roccia in termini quantitativi mediante apposite analisi e prove.

Per quanto riguarda la classificazione rigorosa delle rocce è prassi fare riferimento a quanto in uso in ambito geologico, sulla base di una doppia procedura: innanzi tutto si opera una distinzione fondata sulla genesi della roccia e, successivamente, sul suo contenuto mineralogico o, in alcuni casi, sulle dimensioni dei grani che la costituiscono.

Conoscendo il nome scientificamente corretto di una roccia si hanno certamente informazioni ulteriori anche sul suo possibile impiego in un determinato ambito d’uso, in quanto le diverse litologie, o gruppi di litologie, hanno caratteristiche medie che le rendono adatte a un impiego e, viceversa, sconsigliabile ad altri.

Per quanto invece riguarda la definizione delle caratteristiche fisiche, meccaniche, chimiche e tecniche ci si avvale di una vasta serie di prove e analisi, regolate da una normativa specifica, che consente di determinare quantitativamente tutti gli elementi utili. La normativa copre pressoché ogni campo di possibile uso del materiale lapideo e caso per caso è necessario individuare e utilizzare le specifiche prove adatte a caratterizzare il comportamento in un ben preciso ambito di impiego della roccia.

Va tenuto presente che non esistono rocce in assoluto adatte a qualsiasi applicazione ma, piuttosto, vi sono categorie di materiali che, per le proprie caratteristiche geologiche s.l., si rivelano più o meno impiegabili nei diversi settori d’uso.

Un esempio per chiarire: il granito (propriamente detto) può essere impiegato come elemento strutturale per le sue ottime caratteristiche meccaniche, ed in applicazioni in esterno per la sua buona resistenza alle aggressioni chimiche, ma non è adatto né per la produzione oggettistica né per quella statuaria; la pietra ollare, viceversa, trova applicazione quasi esclusivamente in questi due settori e non può essere impiegata in sostituzione del granito nelle altre applicazioni.

Il testo vuole quindi fornire alcune indicazioni per poter valutare, nell'ambito della progettazione di un'opera con elementi in pietra, comprendendo anche il restauro dell'esistente, se il materiale che si prevede di impiegare è adatto allo scopo e se è compatibile con le condizioni e i processi fisico-chimici dell'ambiente di posa.

La trattazione è suddivisa in cinque capitoli che si occupano rispettivamente di:

- genesi delle rocce e loro classificazione;
- estrazione e lavorazione dei materiali lapidei;
- tecniche di coltivazione, prima lavorazione e finitura delle pietre ornamentali;
- proprietà fisiche e meccaniche delle rocce, secondo la normativa italiana;
- genesi e utilizzi delle terre.

Poiché l'attribuzione del corretto nome litologico ai materiali lapidei ha anche una utilità pratica, si sono innanzi tutto richiamati alcuni elementari concetti relativi alla genesi delle diverse rocce e alla loro classificazione. L'argomento è trattato nel capitolo 1.

La presenza di discontinuità nella roccia, così come di pieghe o di altri elementi strutturali, condizionano le dimensioni e la forma dei blocchi che possono essere estratti e, successivamente, lavorati: l'utilizzo di questi materiali non può prescindere quindi dalla conoscenza degli elementi geometrici imposti dalla geologia del giacimento. Di ciò si fornisce qualche elemento nel capitolo 2.

Materiali diversi richiedono procedimenti di estrazione di differente tipologia, così come tecniche diverse di lavorazione e di finitura: vengono quindi descritte le più diffuse tecniche di coltivazione adottate nelle cave di pietra ornamentale, di prima lavorazione delle pietre estratte e di finitura. L'argomento costituisce il capitolo 3.

Poiché tutte le rocce sono soggette a sollecitazioni meccaniche e ad aggressioni chimiche, vengono descritte le proprietà fisiche e meccaniche delle rocce ed i diversi processi naturali che portano al loro degrado ed è brevemente illustrata una parte della normativa italiana ed europea che regola la conduzione delle prove sui materiali lapidei (capitolo 4).

Infine, viene succintamente trattato l'argomento relativo alle terre, considerando sia la genesi, sia i principali impieghi in edilizia (capitolo 5).

L'idea che ha guidato la stesura di queste pagine è stata quella di trasmettere al lettore, anche non specialista, le nozioni per poter essere in grado di valutare, nella pratica professionale, quando e come possa essere necessario o indispensabile approfondire uno specifico argomento, in modo da poter operare le scelte corrette nell'impiego delle pietre naturali, le quali devono soddisfare sia esigenze estetiche che fornire, durevolmente nel tempo, le prestazioni richieste.

## 2.9. LE LAVORAZIONI

I differenti trattamenti a cui un materiale lapideo può essere sottoposto dipendono, oltre che dal tipo di roccia, anche dal suo valore commerciale.

Questo non solo è determinato dalle sue qualità tecniche e di resistenza ma è legato ai caratteri cromatici (colore, disegno, sfumature, ecc.), al valore storico e alla sua disponibilità.

Materiali lapidei con colorazioni difficilmente rintracciabili in natura come il blu, l'azzurro e il verde, oppure con un disegno particolare assumono un elevato valore commerciale, così come i materiali storici che sono stati impiegati per la realizzazione di importanti opere artistiche quali chiese, statue ed edifici. Ad esempio, i marmi utilizzati per gli interventi di restauro conservativo del Duomo di Milano provengono da un unico giacimento in galleria ubicato a Candoglia (VB) dove gli elevati costi per il processo di estrazione sono giustificati solo dal tipo di impiego finale del materiale.

Per rocce intensamente fratturate, ma con pregiate qualità cromatiche, come alcuni calcari, brecce e travertini, si procede alla resinatura del blocco ovvero si utilizzano potenti collanti per mantenere compatto il materiale roccia che, altrimenti, si disgregherebbe in frammenti di dimensioni decimetriche.

Le caratteristiche mineralogiche e petrografiche di una roccia e in particolare la durezza e le dimensioni dei minerali (o dei clasti) ne condizionano la lavorabilità al punto che alcune rocce sono più indicate per determinati impieghi rispetto ad altre; ad esempio i marmi, che hanno composizione carbonatica (e quindi bassa resistenza alla levigazione, cfr. paragrafo 1.3) se omogenei cromaticamente e a grana fine hanno sempre trovato largo impiego nell'arte statuaria; viceversa, normalmente si sfruttano le caratteristiche di resistenza fisico-chimica del granito (composto da minerali dotati di elevata durezza come il quarzo e i feldspati) per opere strutturali, manufatti e pavimentazioni per uso esterno.

Inoltre, come per la maggior parte dei prodotti commercializzati, il valore di una determinata tipologia di pietra ornamentale dipende dalla sua richiesta e disponibilità sul mercato nonché dall'efficienza della rete di distribuzione. Ad esempio, l'entrata nel mercato del lapideo dei paesi asiatici, in particolare della Cina, che hanno bassissimi costi di produzione, ha portato anche in Italia un incremento dell'utilizzo di questi materiali (soprattutto graniti) a scapito di quelli autoctoni, con una conseguente riduzione dei prezzi di mercato.

Anche nell'ambito di uno stesso giacimento, il materiale lapideo può assumere differente valore in base alla qualità commerciale. Questa viene attribuita al singolo blocco e, solitamente, dipende dalla sua omogeneità cromatica, dalla assenza di fratture, cavità, inclusioni e concentrazioni di minerali (come quarzo, noduli di selce, ecc.).

Le differenti qualità determinano quindi, nell'ambito dello stesso materiale, prodotti più o meno pregiati che vengono impiegati per differenti finalità e perciò subiscono lavorazioni diverse.

In linea generale si distinguono blocchi da telaio di prima e seconda scelta, blocchi da tagliablocchi, blocchi da fresa e infine blocchi per la realizzazione di muri, rilevati e scogliere che non vanno al processo di trasformazione; in alcuni casi anche le dimensioni contribuiscono a fare il prezzo del materiale poiché blocchi più grossi, oltre a consentire particolari lavorazioni, riducono, durante le fasi di trasformazione, il quantitativo di scarto aumentando di contro quello commercialmente valido. Infine, un ulteriore fattore che determina il tipo di lavorazione al quale sarà sottoposto il blocco di cava è l'impiego finale del materiale lapideo (pavimentazioni, rivestimenti, manufatti, arredamento urbano, elementi strutturali, arte funeraria o statuaria), distinguendone l'uso per interno o per esterno nonché le diverse finiture superficiali (lucidato, bocciardato, fiammato, ecc.) cui sottoporlo (si veda anche il capitolo 4 sulla normativa).

Dal quadro sin qui delineato appare evidente come la scelta di un materiale per un determinato impiego, nonché le sue successive lavorazioni, dipendano da numerosi fattori di carattere geologico, giacimentologico, commerciale, artigianale e normativo, andando ad interessare differenti competenze e professionalità.

### **2.9.1. Il processo di trasformazione del blocco**

Il blocco estratto in cava, riquadrato e portato a dimensioni tali da poter essere trasportato con autocarri, viene normalmente condotto in un laboratorio nel quale subisce una lavorazione che consiste nella produzione di semilavorati (lastre), di prodotti finiti (marmette, cordoli, rivestimenti) e manufatti vari (ad esempio panchine, fontane, statue).

Occorre distinguere però tra le segherie, cioè le aziende che si occupano principalmente della riduzione dei blocchi in lastre, e i laboratori di trasformazione che sono solitamente specializzati nella finitura della lastra e nella realizzazione dei manufatti; naturalmente esistono anche laboratori che effettuano entrambi i processi.

Sino a qualche decennio fa vi era una distinzione più netta delle tipologie di aziende che operavano nell'ambito della filiera produttiva delle pietre ornamentali: esistevano ditte che si occupavano unicamente della coltivazione del materiale lapideo, come ad esempio avveniva nel comprensorio ossolano; i blocchi venivano poi inviati ad aree nelle quali erano concentrate le segherie (ad esempio il Veronese); infine, i semilavorati venivano nuovamente trasportati e distribuiti ai diversi laboratori (anche ossolani) per le operazioni di finitura.

Poiché ogni lavorazione effettuata sul materiale attribuisce allo stesso un valore aggiunto, oggi vi sono aziende che svolgono più attività, coprendo talora tutta la filiera produttiva, anche se permane un certo numero di ditte specializzate in un unico ambito.

In linea generale, le fasi di taglio del blocco in elementi di minori dimensioni, quali lastre o masselli sono comuni per tutte le tipologie di rocce, salvo alcuni particolari accorgimenti che non modificano nella sostanza la tecnologia impiegata.

I blocchi di migliore qualità (figura 2.122) definiti anche *blocchi da telaio* (di prima scelta se esenti da imperfezioni evidenti, di seconda scelta se con modesti difetti cromatici ma in ogni caso privi di fratturazioni) vengono suddivisi in lastre tramite l'impiego di una attrezzatura nota come *telaio* per marmi o per graniti. Le pezzature dei blocchi da telaio sono comprese tra 2.00 e 3.50 m di lunghezza, altezza 1.00 ÷ 2.00 m e profondità (spessore) 1.00 ÷ 1.50 m. Nella maggior parte dei casi la dimensione dei blocchi è limitata non tanto dalla capacità del telaio quanto dalle modalità di trasporto: un trasporto convenzionale su camion consente infatti un carico massimo di 30 tonnellate, pari a 10-11 m<sup>3</sup>, peso oltre il quale è necessario un trasporto eccezionale con mezzi particolari e con costi elevati. Tranne i casi in cui il laboratorio è situato nelle immediate adiacenze della cava ed è raggiungibile attraverso una viabilità privata, le dimensioni sopra indicate sono quelle solitamente impiegate.

Il blocco da telaio viene sollevato (figura 2.123) tramite un carroponte e posto in un telaio a lame (figura 2.124) dove viene tagliato in lastre dello spessore richiesto (normalmente compreso tra 1.5 e 5 cm).



Figura 2.122

Blocchi pronti per la lavorazione a telaio



Figura 2.123  
Movimentazione del blocco  
con un carro-ponte



Figura 2.124  
Il blocco nel telaio a lame;  
queste sono in azione nella  
parte superiore del blocco

Nel telaio, il taglio avviene grazie a un movimento ritmico “avanti-indietro” di una serie di lame metalliche, disposte in un carro portalame, tra loro parallele e distanziate in funzione dello spessore che si vuole ottenere (figura 2.125), tenendo conto che l’operazione di taglio asporta uno spessore di roccia circa pari alla larghezza delle singole lame.

Nei telai per graniti le lame sono di ferro e durante il loro impiego si usurano; l’azione di taglio è determinata essenzialmente dalla graniglia di ferro angolosa che, mischiata ad acqua e calce, viene distribuita sopra le lame in movimento; tale miscela si deposita sotto le lame in azione e, sfregando sulla roccia, ne provoca il taglio. L’acqua ha il compito di raffreddare le lame e la roccia, di facilitare lo scorrimento delle lame e di asportare progressivamente i detriti fini prodotti dall’azione tagliante mentre la calce consente l’addensamento della miscela, permette alla graniglia di rimanere in sospensione nel fluido e, riducendo l’ossidazione, evita la formazione di ruggine. Da questa lavorazione si ottengono lastre con una superficie debolmente ruvida detta *a piano sega*.

Nei telai per marmi le lame sono in acciaio e sulle stesse sono montate delle placchette diamantate che svolgono l’azione di taglio. In questo caso non vi è usura della lama ma solo delle placchette, che vengono periodicamente sostituite; inoltre l’assenza di quarzo nei marmi permette velocità di taglio più elevate e una maggior durezza degli utensili da taglio. Il taglio avviene unicamente con l’impiego di abbondante acqua. Le lastre hanno una superficie liscia detta *a taglio diamante*.



Figura 2.125  
Particolare delle lame in  
fase di taglio

I blocchi di qualità inferiore, definiti *da tagliablocchi*, sono porzioni lapidee informi o squadrate che contengono al loro interno difetti o fratture tali per cui non possono essere tagliati nel telaio per il rischio che, nel corso del taglio, possa avvenire la rottura di una o più lastre, con conseguente danneggiamento di tutto il blocco e anche del telaio. Per questa categoria di materiali viene utilizzata una

macchina nota appunto come *tagliablocchi*, costituita da una serie di dischi diamantati (sino a 40) disposti verticalmente e da un disco orizzontale (figura 2.126). I dischi verticali, ruotando e spostandosi ripetutamente lungo la dimensione maggiore del blocco (lunghezza), penetrano nella roccia per qualche millimetro a ogni passaggio creando così delle lastre, chiamate *filagne*, di lunghezza pari a quella del blocco, larghezza di poco inferiore al raggio del disco (10-50 cm) e spessore determinato dall'interdistanza imposta tra un disco e l'altro. Il disco orizzontale, che si abbassa ed entra in funzione al termine dei tagli verticali, procede al distacco, alla base, delle filagne dal blocco.

Altre tagliablocchi sono costituite da due soli dischi, uno verticale e uno orizzontale, che lavorano contemporaneamente: la lama orizzontale è posta un poco più avanzata rispetto a quella verticale in modo che i due tagli si intersechino senza che le due lame entrino in contatto tra loro (figura 2.127).



Figura 2.126  
Una tagliablocchi: sono visibili sei dischi diamantati verticali e, sulla sinistra, quello orizzontale



Figura 2.127  
Tagliablocchi con un solo disco verticale che lavora contemporaneamente a un disco orizzontale

Da questa lavorazione si ottengono lastre (filagne) dello spessore desiderato, sviluppate in lunghezza e di larghezza limitata (10-50 cm). Anche qui l'impiego di acqua è indispensabile. Le singole filagne vengono poi tagliate ulteriormente, sempre con frese circolari (fresa intestatrice), per avere le dimensioni della marmetta finale (figura 2.128).



Figura 2.128  
Il taglio delle filagne per la  
produzione di marmette

Negli ultimi anni si stanno sviluppando anche attrezzature multifilo che al posto dei dischi diamantati hanno fili diamantati (anche più di 30); tali macchine sono in grado di sopperire alla limitazione del taglio in profondità della tagliablocchi a disco.

I blocchi di minor pregio, caratterizzati da colorazioni poco omogenee e inclusioni, oppure aventi forme molto irregolari, sono definiti *blocchi da fresa* e vengono impiegati per la realizzazione di masselli (blocchetti, cordoli), di lavorati (fontane, caminetti, colonne, ecc.) o per l'esecuzione dello spaccatello, cioè un elemento lapideo con una superficie tagliata a disco e una faccia, a vista, ottenuta a spacco naturale seguendo un piano di discontinuità (stratificazione, scistosità, foliazione) del materiale. In ogni caso l'utensile utilizzato è una fresa (figura 2.129) caratterizzata da un disco diamantato di grande diametro (1-2 m) in grado di muoversi sul piano orizzontale; le apparecchiature più moderne consentono anche l'inclinazione del disco e l'esecuzione di tagli, oltre che verticali, anche secondo le angolazioni desiderate. Per forme geometriche semplici è addirittura possibile impostare, tramite software, la forma finale del lavorato e lasciare che la macchina operi i tagli in maniera completamente automatica.



Figura 2.129  
Fresa durante il taglio  
di una lastra di grosso  
spessore

Per la realizzazione di alcune opere in massello, come ad esempio i cordoli, i blocchi da fresa vengono tagliati con un disco di diametro sino a 3.5 m (“discone”, figura 2.130) in grado di realizzare lastre di notevole spessore che successivamente vengono ridotte con le frese sopra descritte con dischi di diametro inferiore.



Figura 2.130  
Discone di 3 m di diametro

Durante le differenti lavorazioni l'acqua utilizzata, ricca di particelle fini della roccia tagliata e di modeste quantità del materiale che costituisce le lame e/o le placche dei dischi, viene recuperata con un processo che prevede il passaggio in vasche e silos (figura 2.131), sul fondo dei quali avviene la sedimentazione delle

particelle solide; queste vengono successivamente allontanate e passate in filtro-presse che permettono l'espulsione di molta acqua, formando così dei panetti (figura 2.132) di "farina di roccia" palabili e caricabili su camion per il successivo trasporto in discariche autorizzate. L'acqua viene quindi riutilizzata all'interno del laboratorio, con solo modeste periodiche integrazioni quantitative.



Figura 2.131  
Vasca e silos di  
decantazione. In secondo  
piano, dietro i silos si  
intravede la filtropressa



Figura 2.132  
Panetti di fanghi filtropressati

Il blocco, dopo esser stato tagliato, viene spostato su un bancale (figura 2.133) dove inizia la lavorazione delle singole lastre o delle filagne.

La movimentazione viene operata da macchine, munite di ventose sotto vuoto, che sono in grado di sollevarle, ribaltarle e spostarle rapidamente e in sicurezza (figure 2.134 e 2.135).



Figura 2.133  
Le lastre tagliate,  
pronte per la successiva  
lavorazione



Figura 2.134  
Movimentazione delle lastre



Figura 2.135  
Ribaltamento delle lastre

Le lastre di alcuni tipi di materiale lapideo di particolare pregio subiscono un trattamento che consente di aumentarne le caratteristiche di resistenza. In questi casi le lastre vengono fatte asciugare rapidamente in un forno per essiccazione (figura 2.136) per eliminare l'umidità presente a seguito della lavorazione a telaio. Successivamente vengono protette su un lato da una rete plastica (l'operazione è detta *retinatura*) che viene incollata su tutta la loro superficie (figura 2.137). Sulla faccia opposta le lastre subiscono una operazione di *resinatura* (figura 2.138) con collanti specifici per il tipo di roccia in lavorazione che, penetrando nei pori e nelle cavità, incrementano le caratteristiche di resistenza meccanica della roccia e creano una superficie piana.



Figura 2.136  
Le lastre fatte passare in un  
forno per essiccazione

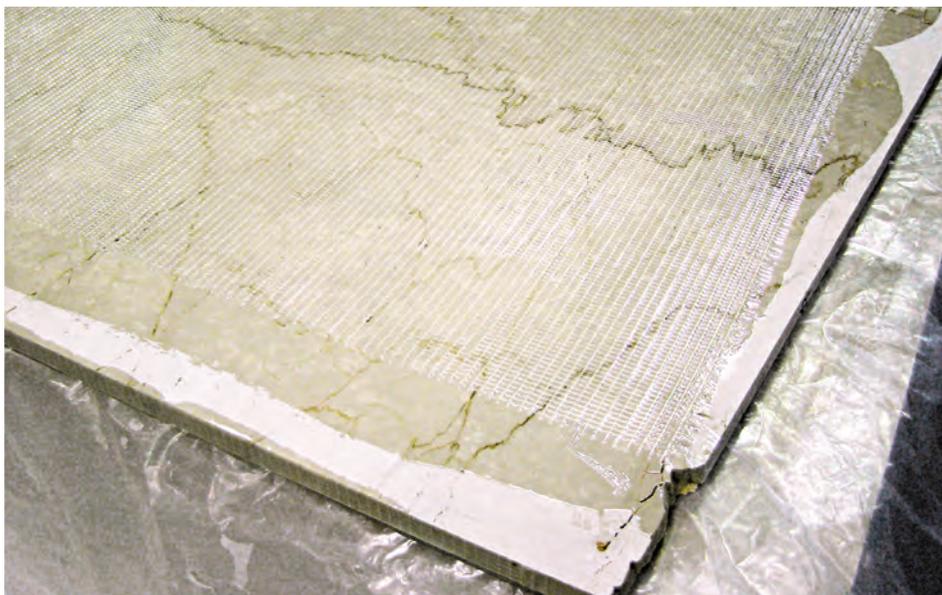


Figura 2.137  
La rete protettiva e di rinforzo incollata a una faccia della lastra



Figura 2.138  
L'operazione di resinatura

Dopo tale trattamento il materiale lapideo è pronto per essere lavorato in superficie mediante gli interventi di finitura.

## 2.10. LA FINITURA

Col termine *finitura* si intende indicare la lavorazione conclusiva che viene svolta sulla superficie della pietra. La finitura è operata sia per motivi estetici (normalmente porta infatti a una esaltazione delle colorazioni e dei contrasti cromatici) sia per motivi funzionali (ad esempio per diminuire la superficie esposta agli agenti atmosferici, oppure, al contrario, per aumentare l'attrito di una pavimentazione). Alcune tecniche di finitura (come la lucidatura e la levigatura) sono possibili sia sulle rocce commercialmente dette graniti che sui marmi, altre sono possibili solo su una delle due categorie (la fiammatura si pratica solo nei primi, la lavorazione con la sabbia manuale solo sui secondi), altre ancora, infine, solo con litotipi che presentano determinate caratteristiche tessiturali (ad esempio, la superficie "a spacco" di una lastra è possibile solo su rocce che presentino scistosità).

L'effetto estetico di una lavorazione su un determinato litotipo non può essere previsto con assoluta certezza basandosi unicamente sul nome del litotipo stesso poiché, come si è visto in precedenza (capitolo 1), qualunque nome litologico non individua in modo assoluto una precisa miscela di componenti (minerali o clasti) ma, piuttosto, intervalli più o meno ampi: si è già visto che viene chiamato granito un litotipo in cui i minerali essenziali possono essere presenti in percentuali diverse (il quarzo può variare dal 20% al 60%, il feldspato potassico tra il 35 e il 90% e i plagioclasti oscillano tra il 10 e il 65%). In graniti provenienti da contesti geologici differenti, ai minerali essenziali possono associarsi, in quantità diversa, minerali accessori vari. Infine, commercialmente vengono chiamati graniti anche litotipi diversi da quanto individuato scientificamente e dalla normativa.

Tutto ciò significa che, oltre – naturalmente – a non potersi basare sul nome commerciale di una roccia che si intende impiegare, la variabilità intrinseca prevista anche nella nomenclatura rigorosa fa sì che si possano avere risultati differenti su rocce aventi il medesimo nome litologico e che tali differenze non siano del tutto preventivabili.

È importante sottolineare quindi che solo con una campionatura diretta si può apprezzare compiutamente il risultato finale di una lavorazione sulla specifica roccia in esame.

### 2.10.1. I tipi di finiture

La lastre ottenute in laboratorio hanno, come detto al paragrafo 2.9, una finitura superficiale a piano sega (debolmente ruvida, figura 2.139) nel caso in cui siano state tagliate con un telaio per graniti e una finitura superficiale a diamante (liscia, figura 2.140) se derivano da un taglio con telaio per marmo o attrezzature che impiegano dischi diamantati o fili diamantati (frese e tagliablocchi) per la realizzazione delle filagne.

Prima della riduzione della lastra o della filagna alle dimensioni desiderate, si procede all'esecuzione della finitura superficiale attraverso differenti metodolo-

gie. In alcuni casi, come ad esempio per pavimentazioni esterne, la finitura a piano sega può già costituire la lavorazione finale: si ha una superficie opaca, con colori e contrasti cromatici sfumati, ma regolare e debolmente rugosa.

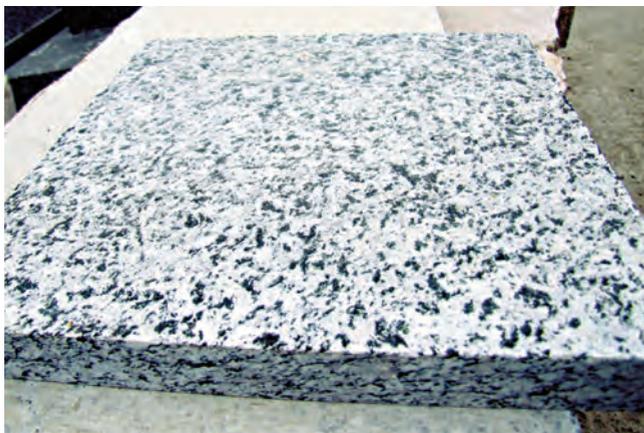


Figura 2.139  
Finitura superficiale  
a piano sega



Figura 2.140  
Finitura superficiale  
a diamante

Le operazioni di finitura consistono generalmente nella lavorazione fisico-meccanica (lucidatura, bocciardatura, fiammatura, granigliatura, ecc.) della porzione superficiale della lastra o della filagna mentre meno frequenti sono gli interventi di tipo chimico (anticatura).

La lucidatura consiste nell'utilizzare una macchina (lucida lastre o lucidatrice, figura 2.141), all'interno della quale vengono fatte passare sulla superficie delle lastre (o delle filagne) una serie di teste abrasive rotanti (al carburo di silicio) a grana progressivamente più fine (figura 2.142), sino a ottenere una superficie perfettamente liscia, uniforme e lucida (figura 2.143).

Figura 2.141  
La macchina lucida lastre  
(lucidatrice)



Figura 2.142  
Abrasivi a grana  
progressivamente più fine  
da sinistra verso destra; in  
secondo piano la testa  
rotante sulla quale vengono  
montati gli abrasivi



Figura 2.143  
La lastra, perfettamente  
lucidata, esce dalla  
macchina



La stessa attrezzatura viene impiegata per ottenere una superficie levigata della lastra interrompendo il processo di lavorazione prima di installare gli abrasivi a grana più fine; tale procedura porta ad avere una superficie priva di irregolarità superficiali, liscia, uniforme ma non lucida (finitura levigata). Più specificamente, utilizzando abrasivi a grana diversa si possono ottenere la finitura opaca, satinata, semilucida, levigata grossolana, levigata media e levigata fine.

La lucidatura dà alla superficie una perfetta planarità esaltandone alcune caratteristiche: in particolare la superficie lucidata mette in evidenza le colorazioni e, quindi, acuisce i contrasti cromatici e, permettendo una riflessione della luce regolare, conferisce una vivace lucentezza. Inoltre, poiché riduce al minimo la superficie esposta agli agenti della degradazione chimico-fisica (cfr. capitolo 3), migliora la resistenza della roccia nel tempo. Questa lavorazione è particolarmente indicata per rocce con minerali o componenti (clasti) dotati di caratteristiche di resistenze all'abrasione omogenee ed elevate, mentre è sconsigliata in rocce costituite da minerali aventi resistenza all'abrasione disomogenea o modesta. Ad esempio, nel caso di pavimentazioni interessate da un frequente passaggio, la presenza di minerali con bassa resistenza all'abrasione porterebbe a una precoce perdita della lucidatura superficiale con tendenza ad avere una finitura opaca-levigata che sarebbe sostanzialmente omogenea in presenza di minerali con caratteristiche tra loro confrontabili, oppure disomogenea o a chiazze se tra i minerali vi fossero sostanziali differenze di comportamento all'usura. La presenza nella roccia di minerali fillosilicatici come le miche (biotite, muscovite, clorite), che hanno struttura lamellare, può portare invece a perdere localmente la lucidatura a seguito del distacco delle lamelle di questi minerali dovuto, ad esempio, al transito pedonale oppure a operazioni di pulizia della pavimentazione.

Questo decadimento non si riscontra, o si riscontra in misura nettamente minore, in impieghi differenti, quali ad esempio nei rivestimenti interni, dove lo stress al quale è sottoposto il materiale lapideo è di gran lunga inferiore che nell'uso esterno.

In rocce che mostrano una elevata anisotropia meccanica, come in alcune metamorfiche, è possibile ottenere una superficie "a piano cava" (o "a spacco") mediante l'impiego di uno scalpello a lama percosso con una mazzetta lungo i piani di scistosità. Si possono ottenere lastre di spessore anche ridotto (1.5 cm) con una superficie grezza e leggermente irregolare (figura 2.144).

La finitura a spacco si ottiene anche su qualunque tipo di roccia (figura 2.145), a percussione con uno scalpello (utilizzato spesso a mano) oppure a pressione con una trancia pneumatica (figura 2.146).

Figura 2.144  
Finitura a spacco su gneiss  
(Dorato della Valmalenco, so)



Figura 2.145  
Finitura a spacco  
su blocchetti di porfido  
di diverse dimensioni



Figura 2.146  
Trancia meccanica utilizzata  
per la riquadratura dei  
blocchetti di porfido



Su una superficie comunque ottenuta, ad esempio su un piano sega, ma anche su una superficie che presenta segni di alterazione dovuti, nel tempo, ad aggressioni chimiche o meccaniche, può essere operata la fiammatura, che consiste nel passaggio di una fiamma ad alta temperatura e pressione (figura 2.147), alimentata da bombole di ossigeno e propano, che produce piccole scaglie della superficie della roccia, dello spessore di  $1 \div 2$  mm (figura 2.148), che viene così rinnovata (figura 2.149). La finitura superficiale ottenuta con il processo di fiammatura si presenta moderatamente scabrosa, opaca, donando una connotazione rustica alla pietra ed elevate proprietà antiscivolo (figura 2.149).

La fiammatura può essere eseguita in modalità manuale su qualsiasi tipo di manufatto o con un sistema completamente automatizzato sulla lastra o sulla filagna (figura 2.150).



Figura 2.147  
Macchina per fiammatura  
manuale in azione



Figura 2.148  
Scaglie prodotte  
dalla fiammatura  
di un granito bianco

Figura 2.149  
Finitura fiammata portata  
a termine sul materiale  
ripreso in figura 2.147



Figura 2.150  
Macchina per fiammata  
automatica in azione su una  
filagna di granito rosso



La sabbiatura prevede l'utilizzo di sabbia silicea, eventualmente addizionata con materiale abrasivo in polvere, proiettata ad alta pressione; la superficie sabbiata si presenta scabra, ma poco irregolare. Attualmente la sabbiatura è stata quasi completamente sostituita dalla analoga tecnica della granigliatura che consiste nella proiezione sulla superficie della lastra di una graniglia di cilindretti di acciaio di diametro e lunghezza di circa 2-3 mm oppure di piccole sfere; la graniglia viene recuperata in un sistema a circuito chiuso (figura 2.151) sino a quando le dimensioni dei singoli elementi di acciaio si riducono sino alla granulometria della sabbia generata dal processo di granigliatura della roccia. Questa metodologia funziona a secco (senza l'utilizzo di acqua) e l'impiego dell'acciaio, e non di ferro, permette di evitare la formazione di ruggine sulla superficie del materiale (figura 2.152).



Figura 2.151  
Macchina  
per la granigliatura  
delle filagne (granigliatrice)



Figura 2.152  
Piccole sfere di acciaio  
utilizzate per eseguire  
una finitura granigliata

Una superficie più o meno rugosa (sculptura) si può ottenere anche con un getto d'acqua ad alta pressione (waterjet, cfr. paragrafo 2.6) oppure con spazzole diamantate abrasive rotanti (spazzolatura).

La finitura può essere applicata anche per ottenere un effetto di anticatura della roccia. Per elementi di dimensioni minori si impiega un cilindro metallico cavo (buratto), rotante, entro cui si mettono gli elementi lapidei da lavorare.

Per materiali lapidei di composizione carbonatica vengono impiegate tecniche di lavorazione chimica come l'impiego di acidi (acidatura), come l'acido cloridrico diluito, che rendono irregolare e ossidano la porzione superficiale della lastra conferendo un aspetto segnato dal tempo.

Con appositi utensili (bocciarda, gradina, martellina, subbia – figure 2.153 e 2.154), impiegati manualmente (finitura con utensili) o meccanicamente (finitura a macchina – figura 2.155), si possono lavorare le superfici “ad urto”. La bocciarda è un martello con superficie di battitura a cuspidi che permette di ottenere una superficie rugosa, detta *finitura bocciardata*, con alternanza di depressioni e di punti in rilievo (figure 2.156 e 2.157). La gradina è uno scalpello piatto e dentato che, utilizzato manualmente, produce solchi continui e irregolari; usata con una macchina, si ottiene una gradinatura con un disegno più regolare (figura 2.158), detta anche *rigatura*. La scalpellatura è ottenuta con uno scalpello piatto che produce solchi irregolari, simili a quelli prodotti dalla gradina ma meno incisi. La martellina è un martello con tagliente dentato che pratica una serie di piccole depressioni allineate sulla superficie (una superficie martellinata è rappresentata nella figura 2.159). La finitura “spuntata” si ottiene con la subbia, cioè uno scalpello appuntito percosso da una mazzetta; la superficie presenta depressioni marcate di forma circolare (figura 2.160) o leggermente allungate.



Figura 2.153  
Teste di una bocciardatrice



Figura 2.154  
Utensili manuali