POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

TECNICA ESTRATTIVA E STORIA NELLA CAVA MADRE DI CANDOGLIA

Original
TECNICA ESTRATTIVA E STORIA NELLA CAVA MADRE
DI CANDOGLIA / Morlin Visconti Castiglione, B., Oggeri, C., Oreste, P.. - STAMPA. - unico:(2015), pp. 273-279.
(Geologia e Turismo: dall'affioramento al costruito Bologna giugno 2013).

Availability:
This version is available at: 11583/2543108 since: 2015-07-28T10:53:12Z

Publisher:
ISPRA

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

15 September 2026

ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Associazione Italiana di Geologia e Turismo

Regione Emilia-Romagna
Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

GEOLOGIA & TURISMO
... A 10 ANNI DALLA FONDAZIONE

5° Congresso Nazionale Geologia e Turismo

Bologna, 6 -7 giugno 2013

ATTI ISPRA

Informazioni legali
L'istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo volume.

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma
www.isprambiente.gov.it

ISPRA, Atti 2015

ISBN 978-88-448-0721-4

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Citazione consigliata:
D'ANDREA M. & ROSSI R. (a cura di), 2015 – Geologia e Turismo ... a 10 anni dalla fondazione. 5° Congresso Nazionale Geologia e Turismo, Bologna, 6-7 giugno 2013, Atti, ISPRA, Roma.

Coordinamento tecnico-scientifico ed editoriale:
Myriam D'Andrea, Roberta Rossi
miriam.dandrea@isprambiente.it, roberta.rossi@isprambiente.it
ISPRA – Servizio Attività Museali
www.isprambiente.gov.it/it/museo

Revisione dei testi:
Myriam D'Andrea, Roberta Rossi, Alberto Compagnone
ISPRA – Servizio Attività Museali

Revisione dei testi lingua Inglese:
Daniela Genta
ISPRA – Servizio Portale WEB

Coordinamento tipografico:
Daria Mazzella
ISPRA - Servizio Comunicazione

Grafica di copertina:
Franco Iozzoli
ISPRA - Servizio Comunicazione

Elaborazione grafica e impaginazione:
Ti.Gi. Grafica di Mauro Abbafati

Didascalia foto di copertina:
Monte Etna, Patrimonio mondiale dell'Umanità dal 21 giugno 2013: attività parossistica del gennaio 2012. Archivio Ente Parco dell'Etna

ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Associazione Italiana di Geologia e Turismo

Regione Emilia-Romagna
Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

GEOLOGIA & TURISMO
… A 10 ANNI DALLA FONDAZIONE

a cura di
Myriam D'Andrea e Roberta Rossi

5° Congresso Nazionale Geologia e Turismo

Bologna, 6 -7 giugno 2013

ATTI ISPRA

PREFAZIONE

L'ISPRA dedica un Volume degli Atti al decennale dell'Associazione Italiana di Geologia e Turismo, riconfermando l'interesse dell'Istituto per le tematiche in questo trattate: la conoscenza del territorio, delle sue risorse e dei suoi rischi, la responsabilità della conservazione dei beni ambientali e culturali. Motivo ulteriore di adesione al progetto è la condivisione degli scopi dell'Associazione di cui l'Istituto è, dal 2014, Socio Istituzionale e il fatto che una delle curatrici è Socio fondatore e Vice Presidente dell'Associazione.

Il Volume ha offerto un'ottima occasione anche per ripercorrere brevemente la storia e l'impegno dei primi 10 anni di attività dell'Associazione, e per citare le sinergie da questa attivate con il mondo delle Istituzioni ed Organizzazioni nazionali impegnate nella divulgazione delle scienze della Terra e del loro inserimento nei circuiti del turismo culturale.

Il Volume propone le sessioni e i contributi secondo l'ordine stabilito per il Congresso; ogni sessione è preceduta da una breve presentazione a cura dei convener, ai quali sono stati sottoposti i contributi dagli autori. Si è ritenuto di annettere anche la ricca sessione poster, risultato del cospicuo lavoro di preparazione della mostra itinerante "Viaggio nella geologia dell'Italia, 2° edizione".

Le quasi 800 pagine che lo costituiscono raccontano la geologia del territorio italiano, con alcuni contributi su Argentina, Grecia e Marocco. L'intento da parte di tutti gli *autori, è quello di rendere disponibile il patrimonio scientifico, ambientale e culturale, e* di farlo percepire anche ad un pubblico meno specialistico.

Le curatrici desiderano ringraziare quanti hanno contribuito, con la loro disponibilità, a completare quest'opera imponente e complessa, in particolare: la Regione Emilia *Romagna, per l'impegno di risorse necessarie alla realizzazione grafica del Volume;* Paola Barchiesi (del Servizio Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna) e *Annalisa Aiello (del Museo Civico "E. Caffi" di Bergamo) per l'assistenza fornita nel corso della lavorazione; i referèe per la collaborazione nella verifica dei testi; tutti gli autori* dei contributi per la paziente attesa della pubblicazione. Un sentito ringraziamento va inoltre ai colleghi dell'ISPRA, Alberto Compagnone, Daniela Genta e Franco Iozzoli, per *il supporto nella stesura, e a Mauro Abbafati della TIGI Grafica per la pazienza e l'attenzione prestate nell'allestimento grafico del volume.*

Myriam D'Andrea
ISPRA, Servizio Attività Museali
Socio Fondatore e Vice-Presidente di Geologia e Turismo

Roberta Rossi
ISPRA, Servizio Attività Museali, Collezioni Paleontologiche

TECNICA ESTRATTIVA E STORIA NELLA CAVA MADRE DI CANDOGLIA

di Benigno Mörlin Visconti Castiglione [1], Claudio Oggeri [2] & Pierpaolo Oreste [2]

[1] Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano, direzione@duomomilano.it
[2] DIATI Politecnico di Torino, claudio.oggeri@polito.it; pierpaolo.oreste@polito.it

Abstract - Candoglia quarry: exploitation technique and history

The paper provides a synthetic overview of the technical and historical features related to the exploitation of marble quarry used for the construction and maintenance of the Milan Cathedral. The quarries are located at the entrance of the Ossola Valley, in the Northern Alpine range, and during the last 40 years the majority of the exploitation has been carried out in the Cava Madre di Candoglia, which is made up of a large underground cavern. The particular historical interest of these quarries arises also from the patents given to the geological area, which can be used only by the Veneranda Fabbrica del Duomo, the owner of the cathedral, and also for the complex transportation system that has allowed during decades to move blocks, slabs and manufactured elements from the quarry to the city. During the last two decades the exploitation has been developed at the adit of the cavern, by adopting the wire cutting and the chain saw cutting techniques, that allow higher recovery rates of the marble blocks.
In the meantime geomechanical characterization, numerical modelling and site monitoring have been carried out, in order to better understand the static behaviour of the cavern and to reach satisfactory recovery rates.

1. INQUADRAMENTO DELLA CAVA

Le cave di Candoglia sono situate in comune di Mergozzo, sulla sinistra del fiume Toce. Interessano un banco marmifero di colore bianco-rosa, la cui lente marmorea principale è compresa nelle metamorfiti del "massiccio dei laghi" della bassa val d'Ossola e, sul versante opposto del Toce, è identificata con il marmo di Ornavasso.
Le cave di marmo di Candoglia erano note ai Romani e utilizzate dall'antichità. É straordinario il fatto che il duca di Milano, che donò al Duomo le cave, abbia potuto fare una scelta così felice: non solo per le caratteristiche artistiche, ma soprattutto per le eccezionali qualità strutturali del materiale, pur partendo da un giacimento così modesto all'apparenza, che ha poi consentito la realizzazione di un edificio così imponente. Il valore della donazione ducale alla Fabbrica del Duomo diventa maggiormente significativo considerando la possibilità di trasporto a poco prezzo, utilizzando le vie d'acqua

dotate di opere idrauliche nuove, al servizio non solo del Duomo ma di tutta l'economia del Ducato. La realizzazione di idoneo pontile a Candoglia, l'allargamento di alcune anse del Naviglio, la nuova darsena e la chiusa di Viarenna, con il collegamento con i navigli interni fino al bacino del laghetto di Santo Stefano, sono interventi che hanno profondamente connotato lo sviluppo della citta di Milano per più di 5 secoli, e che ancor oggi hanno una valenza turistico-culturale di grande importanza.
Il particolare privilegio accordato alla Fabbrica venne recepito dal decreto del 19 ottobre 1927 n°1924, in cui venne "confermata l'esistenza della servitù perpetua spettante al Duomo di Milano sui fondi pubblici e privati del monte di Candoglia di scavare liberamente e gratuitamente marmi e selci per uso della Fabbrica, con divieto a chicchessia di cavare, trasportare e vendere il materiale suddetto, senza l'assenso dell'Ente stesso". Detto decreto fu convertito in legge 19 febbraio 1928 n°514 e le stesse disposizioni sono state assunte dall'articolo 22 della legge Regionale Piemonte 22 novembre 1978 n°69 "Coltivazione cave e torbiere".
A fronte delle necessità di materiale per il cantiere di Milano si aprirono nuove cave via via salendo lungo il pendio del monte.
Dalla seconda metà del 1800 la coltivazione avviene a quota 570 m, dove sul finire del '700 era stata aperta la cava Madre, servita soprattutto per il compimento della facciata del duomo, e a quota 900 m presso la cava di Cornovo, studiata nel 1969 da Ardito Desio e da Enea Occella. Le Cave sono tuttora in attività e permettono il prosieguo dei lavori di conservazione del monumento.
La Cava, gestita direttamente dalla Veneranda Fabbrica secondo una programmazione basata dalle esigenze di completamento del monumento, in questi ultimi 50 anni ha prodotto una media di 70 m^3 all'anno di materiale di prima scelta per i restauri. L'escavazione avviene per blocchi di circa 5 m di altezza e 10 di profondità.
Poiché l'escavazione della Cava Madre è stata nel tempo condotta in galleria, si è formata una grande caverna, profonda quasi 85 m, di larghezza massima di circa 22 m e di altezza di circa 50 m. La calotta di imbocco della galleria, dotata di scarso ricoprimento, è stata consolidata nel 1970 con grandi portali di calcestruzzo armato, mentre travi diaframma sono state costruite nell'ultimo decennio per contrastare la spinta delle pareti ed accedere in sicurezza al marmo dell'imbocco, particolarmente pregiato.
L'importanza della cava per il Duomo è fondamentale: ne ha condizionato la realizzazione, e unico monumento al mondo che possiede la cava di origine può procedere nei restauri con la certezza della disponibilità dello stesso materiale nei decenni a venire.
Ciò è importante nella conservazione delle professionalità specifiche degli scalpellini, dei cavatori e dei muratori della cattedrale: si tratta di attività artigianali ed artistiche altrimenti abbandonate.
Il Duomo rappresenta una delle principali manifestazioni dell'arte gotica in Italia, e nel contempo è una palestra dal punto di vista statico e cantieristico. Basti ricordare che le strutture portanti del Duomo non sono realizzate solo in marmo ma anche in gneiss, con soluzioni "composite" di abbinamento dei materiali che pongono interessanti aspetti di studio per la loro differente rigidezza.

2. TECNICA DI COLTIVAZIONE

Dal punto di vista ingegneristico e tecnico gli aspetti di interesse e studio sono molteplici. Dal punto di vista statico la caverna è caratterizzata da grandi sfondi e da luci libere (Fig.1), createsi con la completa coltivazione del marmo costituente il banco sub verticale, talora sede di vuoti dovuti a processi di dissoluzione dei carbonati, e comunque caratterizzato da discontinuità parallele al banco e oblique ad esso. Le pareti incassanti, di roccia scistosa e quarzitica, presentano notevoli contrasti di rigidezza con il marmo. Oltre agli aspetti di complessiva stabilità delle pareti va ovviamente riguardata la stabilità locale anche nel riguardo di potenziali distacchi di scaglie che potrebbero costituire un rischio per gli addetti.

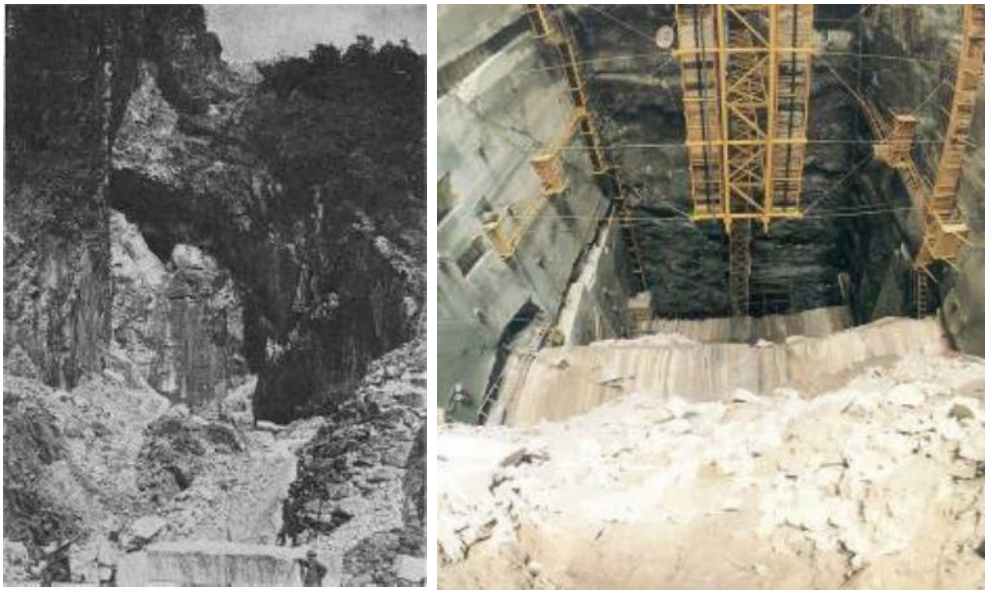

Fig. 1 - A destra la Cava Madre come si presentava agli inizi del 1900. Sulla destra, la volta e il fronte della parte più interna della cava, ad inizio anni '90. La coltivazione di tale settore è attualmente ferma in considerazione della fratturazione del marmo e delle convergenze misurate: in tale contesto la resa in blocchi e lastre può scendere sotto il 20%.

La qualità del marmo, in termini di colorazione e integrità, non è omogenea nel banco attualmente in vista, e ciò condiziona le decisioni operative di coltivazione anche su lungo termine. Inoltre, le coazioni presenti nel materiale e la risposta tipicamente elasto-fragile del materiale lapideo ne riducono la resa in termini di materiale di prima scelta, già a seguito della fase estrattiva. La tecnica di coltivazione tende quindi a eseguire distacchi graduali, grazie all'utilizzo di tecniche di taglio con tagliatrice a nastro diamantato ed a filo.

Il marmo, decisamente anisotropo, presenta una resistenza a compressione variabile tra 45 e 150 MPa ed una rigidezza da 40 a 100 GPa ed è sede di 5-6 sistemi di discontinuità a grande scala. Ciò nondimeno, nell'ultimo decennio, si è provveduto

a recuperare porzioni di banco nella zona di imbocco, dato il particolare pregio del materiale: ciò ha reso indispensabile adottare importanti opere di sostegno addizionali, quali travi puntone orizzontali in c.a., in grado di consentire anche il futuro ribasso degli scavi al di sotto del livello attuale (Fig. 2). I consolidamenti delle pareti sono completati con tiranti multi - trefolo e barre cementate di chiodatura (Pelizza et al., 2010).

Fig. 2 - A sinistra la zona di imbocco in fase di preparazione per il taglio dello sperone di marmo sulla destra; le pareti sono consolidate con tiranti e bullonatura, per contribuire alla stabilità nei riguardi delle discontinuità sub verticali. Sulla destra la situazione più recente dell'imbocco della Cava Madre: in primo piano la prima delle travi puntone, sulla destra è stato rimosso l'ultimo sperone di marmo e a sinistra della pala gommata vi è il gradone isolato e pronto per l'estrazione, *attuata con filo diamantato e ribaltamento della bancata. La resa in blocchi e lastre in tal caso* cresce a valori oltre il 70%.

3. ASPETTI GEOMECCANICI, MODELLAZIONE E MONITORAGGIO

Il marmo di Candoglia è un materiale lapideo anisotropo, di colorazione variabile dal bianco al rosa al grigio, sia con tonalità omogenee sia con tonalità sfumate e con striature o venature. Le caratteristiche geomeccaniche sono state determinate con prove di laboratorio volte ad individuare la distribuzione di tali parametri ed il comportamento in condizioni elastiche e in prossimità della rottura. L'anisotropia è evidente sia nei blocchi sia in bancata (Fig.3).

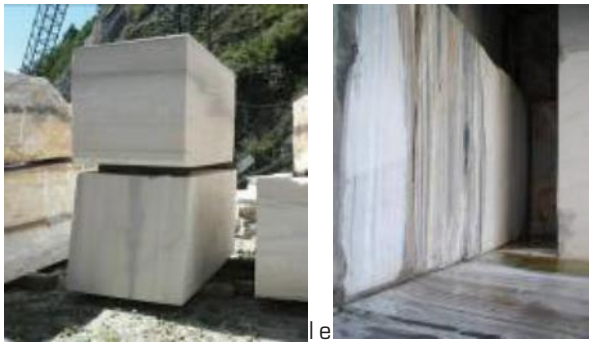

Fig. 3 - A sinistra, i blocchi ricavati *dal taglio con filo, pronti sul piazza*le. A destra, nella nicchia ricavata con tagliatrice a nastro, sono visibili venature grigio-rosa.

Caratteristica	Parametri geomeccanici principali di marmo e paragneiss			
	Simbolo	Unità	Marmo	Paragneiss
Massa volumica	ρ	kg/m^3	2620 - 2830	2300 - 2690
Res. compr. monoass.	C_0	MPa	44 - 155	29 - 157
Res. traz. indiretta	T_0	MPa	1,8 – 12,3	5,8 – 10,8
Modulo elastic. tang.	E_t	GPa	50 - 90	24 - 70
Modulo elastic. cec.	E_s	GPa	40 - 98	14 - 115
Coeff. Poisson tang.	ν_t	-	0,18 – 0,39	0,20 – 0,32
Velocità onde longit.	V_p	m/s	3210 - 6390	2120 - 2920

Tabella di sintesi delle principali caratteristiche geomeccaniche del marmo rosa e dello gneiss incassante. Altre rocce incassanti, non riportate in tabella, sono rappresentate da quarziti, sulla destra della vena, e micascisti, sulla sinistra.

Il comportamento del grande vuoto è stato quindi modellato con modelli numerici tridimensionali e bidimensionali che hanno consentito di mettere in luce la potenziale formazione di zone di plasticizzazione e di debolezza nel marmo stesso e nelle rocce incassanti. I modelli hanno ripercorso nel modo più fedele possibile anche la storia delle fasi di coltivazione nei vari settori della caverna.
Il terzo aspetto di rilievo dello studio ha riguardato l'assetto geostrutturale della massa rocciosa e il comportamento tenso-deformativo a seguito degli scavi.
Particolare riguardo è stato allora dedicato al sistema di monitoraggio che consente di aggiornare con periodicità le condizioni tenso-deformative della caverna. Tale sistema annovera mire topografiche, estensimetri, fessurimetri, celle di carico, clinometri, estensimetri e pendoli, la cui lettura regolare consente di agevolare le scelte delle singole operazioni di scavo, correlandole nel tempo, e di fornire riscontro alle simulazioni numeriche (Fig. 4). Il monitoraggio degli spostamenti e lo studio del comportamento delle pareti, nonché il progetto delle opere di sostegno, è stato seguito negli anni dal dipartimento DIATI del Politecnico di Torino, i cui ricercatori hanno messo a punto un modello numerico strutturale della caverna sia tridimensionale sia bidimensionale (Pelizza et al., 2000).
Per quanto riguarda il dettaglio del monitoraggio, sulla scorta dei risultati delle misure a disposizione, riferite in particolare ad una finestra temporale di osservazione di oltre 6 anni (anche se non per tutte le strumentazioni), si può ritenere che la statica della caverna presenti condizioni di sicurezza, in quanto i valori assoluti e le tendenze evolutive delle misure rientrano in campi di compatibilità con le previsioni e la stabilità. Il monitoraggio in particolare si incentra sulle misure di convergenza delle pareti dell'imbocco della caverna e sullo stato tensionale delle opere di sostegno quali i tiranti a trefolo e i travoni trasversali.

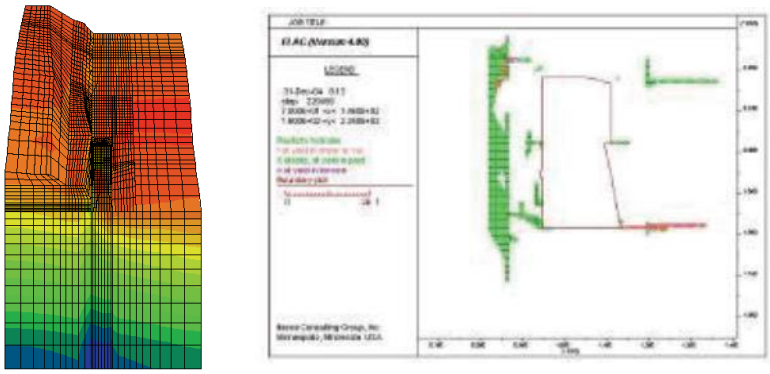

*Fig. 4 - Sulla sinistra il modello tridimensionale del filone sub verticale incassato nel versante mon*tano, sviluppato soprattutto per comprendere la distribuzione delle tensioni nel massiccio. Sulla *sinistra una sezione del modello 2D, elaborato con il codice alle differenze finite FLAC, in cui si evi*denziano le zone plastiche in corrispondenza di fasce di rocce scistose di scadenti caratteristiche.

Fig. 5 - A sinistra il dettaglio di una mira topografica affiancata ad un tirante a trefoli strumentato con cella di carico anulare. A destra l'unità di oscillazione del pendolo diretto, il cui punto di sospensione è collocato sulla volta al di sopra del secondo travone trasversale.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

PELIZZA S., ORESTE P., PEILA D. & OGGERI C. (2000) – Stability analysis of a large cavern for quarrying exploitation of a pink marble in Italy. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 15, n.4, pp. 421-435.

PELIZZA S., OGGERI C., ORESTE P., PEILA D., MÖRLIN VISCONTI CASTIGLIONE B. & CORBETTA E. (2010) – Una grande caverna per l'estrazione di pietra ornamentale: il casp della Cava Madre del Duomo di Milano a Candoglia. Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, n.95, pp. 23-30.

PELIZZA S., OGGERI C., ORESTE P., PEILA D. (2006) – The Candoglia quarry: the stability of the large room and the enlargement. Proceedings of MPES 2006, 15th Int. Symp. on Mine and Planning Equipment Selection,Turin, Vol.1., ISBN 8890134240.