

Confronto tra le caratteristiche meccaniche di diversi livelli di estrazione del Botticino Classico

Alberto Clerici¹, Alberto Meda²

¹Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Brescia; Via Branze, 38 - 25125 Brescia; fax:0303715503; e-mail: alberto.clerici@ing.unibs.it

²Dipartimento di Progettazione e Tecnologie, Università degli Studi di Bergamo, alberto.meda@unibg.it

Comparison between different mechanical characteristics of Botticino Classico at different extraction levels.

ABSTRACT: Two different extraction levels of Botticino Classico marble are studied herein. The considered material is an almost pure calcareous from the upper part of the “Formazione della Corna”, commercially named Botticino Classico marble, extracted in Botticino Mattina near Brescia (Italy).

As every sedimentary rocks, Botticino Classico has different characteristics, due to its genesis, that can influence the use in building applications: firstly, it could be found differences in the behaviour of material coming from different extraction levels and, eventually, an anisotropic behaviour could be detected due to the presence of sedimentation layers. The tests have shown an almost uniform behaviour for the materials coming from different layers and with different orientations respect to the sedimentation layers.

Key terms: Botticino Classico, mechanical characterization.

Termini chiave: Botticino Classico, caratterizzazione meccanica.

Riassunto

Vengono esaminati due differenti livelli da cui viene estratto il litotipo calcareo, praticamente puro, appartenente alla porzione superiore della Formazione della Corna, noto commercialmente come Marmo di Botticino Classico, coltivato sul versante sud-occidentale del Monte Fratta, in Comune di Botticino Mattina (BS), pochi chilometri ad est di Brescia.

Come ogni roccia sedimentaria stratificata, anche il Botticino Classico presenta caratteristiche, legate alla propria genesi, che possono riflettersi in maniera sostanziale sull'impiego del materiale in edilizia ed architettura: a livello dell'intero giacimento possono esserci differenze anche notevoli, non solo estetiche ma anche meccaniche, tra i diversi banchi; a scala del singolo banco si può assistere ad una differenziazione in senso laterale, oltre che ad una marcata anisotropia del materiale come conseguenza del modello deposizionale piano-parallelo del minerale che costituisce la roccia. Questi fattori devono essere conosciuti in quanto sensibilmente influenti sul valore commerciale del litotipo.

La caratterizzazione fisico – meccanica è stata ottenuta con prove di laboratorio sia standard che non convenzionali.

Le prove meccaniche effettuate, tutte relative a parametri fondamentali dei materiali lapidei utilizzati come elementi strutturali o architettonici, hanno mostrato una sostanziale omogeneità del materiale nei confronti della orientazione della sollecitazione rispetto ai piani di

sedimentazione ed una sostanziale costanza delle caratteristiche meccaniche all'interno del giacimento.

Introduzione

In questa nota vengono riportati i risultati di una serie di prove e di analisi condotte in laboratorio su campioni provenienti dall'area di coltivazione presente sul versante sud-occidentale del Monte Fratta, in Comune di Botticino Mattina (BS), pochi chilometri ad est di Brescia. Dalla cava si estrae a cielo aperto un litotipo calcareo, praticamente puro, noto commercialmente come Marmo di Botticino Classico. Esso è stato impiegato a Brescia sin dall'epoca romana (Tempio di Vespasiano, Teatro, Foro, Terme); successivamente è stato utilizzato, nella stessa città, per diverse edifici (Chiesa di Santa Maria dei Miracoli, Palazzo della Loggia, Duomo Nuovo) e, alla fine dell'Ottocento, ha iniziato ad essere impiegato ed apprezzato anche al di fuori della provincia bresciana: grande impulso alla sua conoscenza venne dalla realizzazione del Vittoriano, edificato a Roma per commemorare Vittorio Emanuele II, e da allora si sono moltiplicati in Italia e nel mondo (soprattutto in Giappone, Stati Uniti, Arabia Saudita) gli utilizzi del Botticino Classico sia come rivestimento che come elemento strutturale.

Inquadramento geologico

Il materiale esaminato proviene dalla porzione superiore

della Formazione della Corna (Retico superiore - Sinemuriano), unità che appartiene alla serie del Bacino Lombardo ed è estesamente presente nella provincia bresciana in prossimità del margine meridionale delle Prealpi.

Il litotipo è un calcare micritico pressoché puro, di colore prevalentemente bianco-nocciola, dolomitizzato in quantità trascurabile, con limitata porosità sia alla scala del campione a mano che alla scala dei microscopi ottico ed elettronico.

Caratteristica è la presenza di oncoliti, stromatoliti costituite da un nucleo bioclastico o micritico sul quale le alghe si sono sviluppate fissando nella loro crescita carbonato di calcio, di diametro per lo più compreso tra 1 e

2 centimetri.

L'ambiente di sedimentazione era costituito da una piattaforma carbonatica presente in un bacino marino lagunare di pochi metri di profondità, con modeste ma continue oscillazioni del livello dell'acqua che saltuariamente portavano anche a temporanee emersioni (Schirolli, 1997).

Il giacimento del Botticino Classico in coltivazione è costituito da un insieme di bancate, ciascuna di spessore compreso tra 1.00 e 4.80 m, con una altezza complessiva massima di 76 metri. I banchi hanno immersione di $260^\circ \pm 10^\circ$ e inclinazione che varia tra 25° nella parte basale, a circa 15° nella parte alta e, nell'area di estrazione formano il fianco di una vasta anticlinale (Fig. 1).



Fig. 1 Panoramica dell'area di estrazione del Botticino Classico in comune di Botticino Mattina, Brescia.
View of the Botticino Classico extraction area in Botticino Mattina (Brescia, Italy).

Ogni banco è individuato da un numero decrescente dalla base dell'anticlinale verso l'alto sino alla bancata 1 e, al di sopra di questa, da lettere dell'alfabeto in progressione verso l'alto.

Nella gran parte dei banchi è possibile riconoscere tre livelli, denominati cimale (C), mezzo (M) e fondo (F); generalmente, il primo e l'ultimo hanno spessore tra loro

simile e circa doppio del livello intermedio. All'interno dei livelli si possono ulteriormente distinguere intervalli (spesso quattro, ma fino a sette) a facies differenti, che rispecchiano le oscillazioni, sopra citate, della profondità marina, con i livelli subtidali prevalenti rispetto a quelli intertidali (mentre la facies sopratidale è assente). In alcuni casi, come ad esempio nell'ottava bancata, sono presenti banchi in cui

non è possibile operare una distinzione in livelli.

Le bancate sono delimitate da stiloliti (che rappresentano superfici di soluzione dovute alla pressione esercitata dal carico dei sedimenti sovrastanti) in cui sono presenti livelli di spessore millimetrico o centimetrico di peliti (“vena grassa”, in gergo) per lo più a composizione illitica, di colore verde pallido o nocciola. I livelli presenti all’interno delle bancate sono invece individuati da peliti più sottili o stiloliti chiuse. In ogni caso, queste superfici di debolezza sono sempre state sfruttate dai cavautori nelle operazioni di coltivazione e taglio del materiale.

In cava viene utilizzata una apposita simbologia per contrassegnare i blocchi che vengono successivamente portati alla lavorazione. In particolare, viene messo in evidenza, con tre linee parallele, il piano ortogonale alle superfici di sedimentazione e perpendicolare al fronte di scavo in sito: questo (Fig. 2) rappresenta il verso convenzionale di segazione delle lastre da commercializzare; raramente viene sezionata anche la lastra perpendicolare ai piani di deposizione e parallela al fronte di scavo (taglio “a бага”), oppure la lastra parallela ai piani deposizionali (taglio “al verso”).

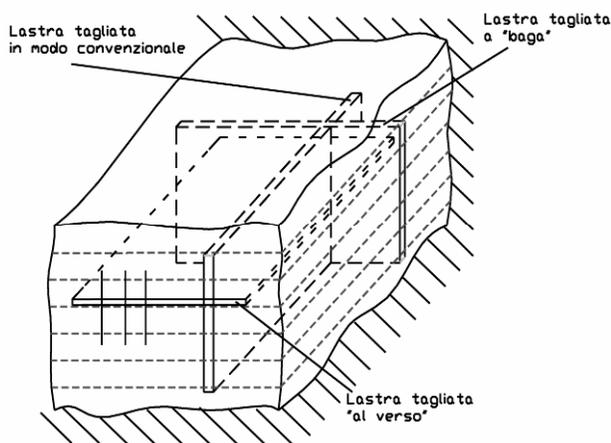


Figura 2 Differenti orientazioni di taglio delle lastre.
Different orientations of slabs.

Le differenze sedimentologiche sopra accennate si riflettono sulle caratteristiche estetiche e tecniche dei diversi materiali estratti: nell’ambito del Botticino Classico vengono infatti distinte tre qualità commerciali, denominate extra, prima e normale; il criterio seguito per l’attribuzione del grado di qualità si basa essenzialmente sull’aspetto estetico, ed in particolare sull’omogeneità del disegno e del colore.

Il termine “extra” individua il materiale di qualità migliore, caratterizzato da un disegno omogeneo costituito da oncoliti ben definite e distribuite omogeneamente in una massa di fondo micritica di colore bianco-nocciola (“mandorlato”, in gergo), con stiloliti sottili, poco diffuse, di disegno netto e parallele ai piani di stratificazione.

I banchi di questa qualità sono generalmente

corrispondenti ad orizzonti subtidali.

La qualità “prima” definisce invece un disegno con tonalità biancastre e con elementi aventi contorni meno definiti; le stiloliti sono diffuse e variamente orientate e possono essere presenti alcune cavità macroscopiche. Questi banchi corrispondono ad orizzonti in parte ricristallizzati o bioturbati.

La qualità “normale” indica infine orizzonti di facies intertidale, caratterizzati da cavità strato-concordanti, da piccole oncoliti e da una diffusa laminazione stromatolitica.

Come ogni roccia sedimentaria stratificata, anche il Botticino Classico presenta caratteristiche, legate alla propria genesi, che possono riflettersi in maniera sostanziale sull’impiego del materiale in edilizia ed architettura: a livello dell’intero giacimento possono esserci differenze anche notevoli, non solo estetiche ma anche meccaniche, tra i diversi banchi; a scala del singolo banco si può assistere ad una differenziazione in senso laterale, oltre che ad una marcata anisotropia del materiale come conseguenza del modello deposizionale piano-parallelo del minerale che costituisce la roccia. Tutti questi fattori devono essere conosciuti in quanto sensibilmente influenti sul valore commerciale del litotipo.

Caratterizzazione fisica e meccanica

Per verificare gli aspetti sopra citati, sono stati esaminati campioni provenienti da due differenti bancate (l’ottava e la decima).

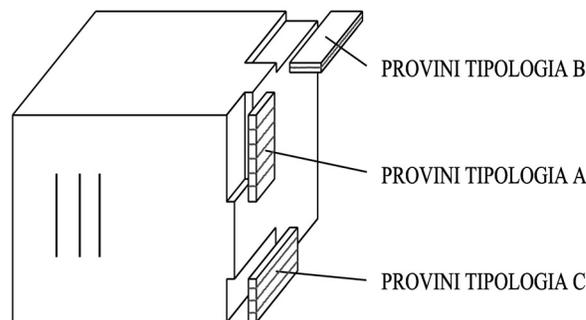


Figura 3 Orientazione dei provini rispetto al piano di sedimentazione.
Specimens orientation in respect of deposition layer.

La prima di queste, i cui campioni vengono qui individuati dalla sigla 8a era già stata considerata in una precedente nota (Clerici & Meda, 2004); essa è stata confrontata con una campionatura proveniente dalla stessa banca (8b) ma da una diversa area di estrazione. Della seconda si è considerato il livello F (fondo).

In laboratorio, per misurare le differenze di comportamento del materiale alle diverse orientazioni delle sollecitazioni meccaniche, si sono utilizzati, almeno per le prove più significative, tre differenti tipologie di provini, denominati A, B e C, in funzione della loro orientazione rispetto ai piani di sedimentazione (Figura 3).

La gran parte delle prove, inoltre, sono state condotte in tre diverse condizioni di umidità: a contenuto d'acqua naturale, in condizioni anidre ed in condizioni di saturazione.

Massa volumica apparente in condizioni anidre ed in condizioni naturali

La prova, condotta secondo le indicazioni del UNI EN 1936, ha dato un valore medio, dopo essiccazione in forno a 110°C, pari a 2653 kg/m³ ed un valore di 2715 kg/m³ in condizioni ambiente.

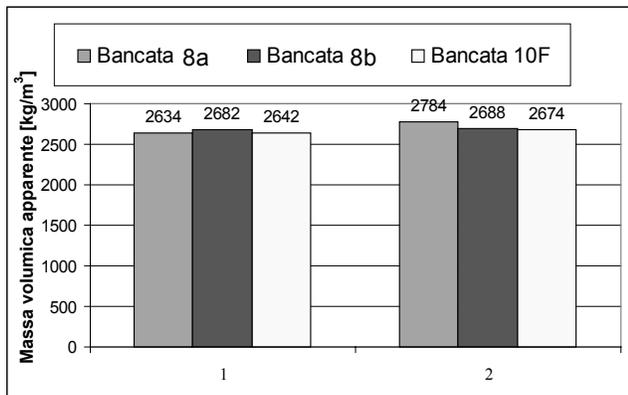


Figura 4 Massa volumica in condizioni anidre (1) ed in condizioni ambiente (2).

Volumic mass in anidridic condition (1) and room condition (2).

Si può notare come i valori ottenuti per le diverse bancate siano molto simili, con differenze massime del 4%.

Velocità ultrasoniche

La determinazione è stata condotta su provini cilindrici di diametro pari a 7.4 cm e lunghezza di 24 cm con una

apparecchiatura in grado di indurre un impulso elastico di compressione.

Le velocità di propagazione degli ultrasuoni, calcolata come media aritmetica delle velocità ottenute su cinque provini, sono mostrate in Tab. 1. Le prove, eseguite in condizioni ambiente, mostrano come non vi sia una sostanziale differenza di propagazione quando le onde sono parallele o perpendicolari ai piani di sedimentazione. Velocità leggermente inferiori sono state misurate per i provini provenienti dalla bancata 8b.

Tabella 1 Velocità di propagazione delle onde in m/s in condizioni ambiente per due diverse direzione di prova.

Wave propagation velocity in m/s at room condition for two different test orientations.

		Condizioni ambiente		
		8a	8b	10F
Carico	G	5970	5399	5828
	M	5703	5419	5902

Compressione cubica e cilindrica

Le prove sono state eseguite su cubi di lato 70 mm prelevati tramite taglio con lama diamantata e su cilindri di diametro 75 mm ed altezza 240 mm prelevati mediante carotatura, secondo le indicazioni UNI EN 1926.

Tabella 2 Resistenza a compressione cubica per diverse condizioni ambientali e per due direzioni di carico (in MPa).

Cubic compressive strength for different ambient conditions and load directions (in MPa).

		Condizioni secche			Condizioni ambiente			Condizioni umide		
		8a	8b	10F	8a	8b	10F	8a	8b	10F
Carico	B	153	138	164	157	187	160	138	164	174
	C	136	163	154	118	150	127	126	125	144

Per quanto riguarda le prove a compressione, queste sono state eseguite su provini in tre condizioni ambientali differenti: in condizioni ambiente (T = 20°C), in condizioni secche (provini tenuti in forno a 60°C per almeno 48h o fino a quando il peso risulta stabilizzato) e in condizioni umide (provini immersi in acqua in camera umida a 22°C per almeno 48h o fino a quando il peso risulta stabilizzato).

Vengono considerate due direzioni di prelievo con direzioni di sedimentazione perpendicolari o parallele rispetto all'azione di compressione.

In Tab. 2 sono riportati i risultati ottenuti come media dei risultati ottenuti da 5 prove per ogni orientazione del provino e bancata di provenienza.

Valori di resistenza leggermente superiori si ottengono

per prove in condizioni secche. Non sono invece evidenti differenze sostanziali tra le resistenze delle diverse bancate.

Per quanto riguarda le prove di compressione su cilindri sono state eseguite solo prove in condizioni ambiente ed i risultati sono mostrati in Tab. 3. Una elevata resistenza è stata misurata per la bancata 8b, mentre gli altri valori risultano significativamente inferiori.

Prove a flessione

Le prove di flessione su quattro punti di carico sono state eseguite seguendo la normativa ASTM C880-89 su prismi di base 38 mm, altezza 25 mm e lunghezza 300 mm su luce 250 mm e punti di carico ai quarti. Anche in questo caso sono state considerate le tre condizioni ambientali utilizzate per le prove di compressione. I risultati ottenuti da 5 prove per ogni orientazione e bancata di provenienza sono mostrati in Tab. 4.

Tabella 3 Resistenza a compressione cilindrica in condizioni ambiente per due diverse orientazioni di carico (in MPa).
Cylindrical compressive strength for at room condition for two different load direction and load directions (in MPa).

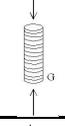
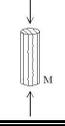
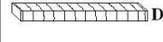
		Condizioni ambiente		
		8a	8b	10F
Carico		85	144	72
		83	169	69

Tabella 4 Resistenza a flessione per diverse condizioni ambientali e per tre direzioni di carico (in MPa).
Flexural strength for different ambient conditions and three different load directions (in MPa).

		Condizioni secche			Condizioni ambiente			Condizioni umide		
		8a	8b	10F	8a	8b	10F	8a	8b	10F
Carico		8.0	9.6	5.3	7.6		4.0	5.6	7.4	4.8
		10.1	11.7	8.7	8.9		0.7	9.6	8.2	6.5
		9.1	9.6	9.3	11.5		8.8	8.8	9.4	5.6

Dai valori ottenuti si può notare come i provini provenienti dalla bancata 10F abbiano valori sempre inferiori alle altre bancate.

Occorre segnalare la situazione particolare delle prove, in condizioni ambientali, con piani di sedimentazione paralleli ai coltelli di carico: i provini appartenenti alla bancata 10F hanno dato valori estremamente bassi, dovuti probabilmente alla presenza di un'elevata difettosità.

Prova a trazione diretta

Le prove di trazione diretta sono state eseguite secondo le indicazioni della ASTM D2936-95 su cilindri di diametro 75 mm ed altezza 240 mm con le medesime orientazioni adottate nella prova a compressione (Tab. 5).

Valori molto bassi sono stati misurati per uno stato di sollecitazione parallelo ai piani di sedimentazione, in particolare per i provini provenienti dalla bancata 10F.

Prove di splitting

Le prove di splitting (o brasiliane) sono state eseguite secondo la ASTM D3967-95 su cilindri di 74 mm di

diametro e 35 di altezza. I valori misurati (Tab. 6) sono molto simili per i tre piani di carico e per le due bancate provate

Tabella 5 Resistenza a trazione diretta in condizioni ambiente per due diverse orientazioni di carico (in MPa)

Direct tensile strength at room condition for two different load directions (in MPa)

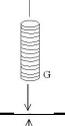
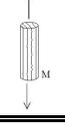
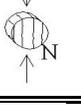
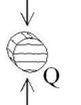
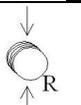
		Condizioni ambiente		
		8a	8b	10F
Carico		1.7	2.7	0.7
		3.0	5.7	4.8

Tabella 6 Splitting test in condizioni ambiente per due diverse orientazioni di carico (in MPa).
Splitting test at room condition for two different load directions (in MPa).

		Condizioni ambiente		
		8a	8b	10F
Carico		5.2	5.8	4.1
		5.3	8.1	5.1
		6.5	6.8	5.5

Prove per la misura del modulo elastico

Il modulo elastico è stato misurato su provini cilindrici ($\phi = 75$ mm, $h = 240$ mm) secondo le indicazioni della ASTM D3148-93 con le orientazioni adottate precedentemente.

Tre provini per ogni orientazioni sono stati testati ottenendo i risultati illustrati in Tab. 7. I moduli elastici risultano poco influenzati dal piano di carico ed i valori minori sono stati misurati per la bancata 8b.

Considerazioni conclusive

La sperimentazione condotta ha confermato come il Botticino Classico sia un materiale di ottime caratteristiche

Bibliografia

Schirolli P., 1997. La successione liassica nelle Prealpi bresciane centro-occidentali (Alpi Meridionali, Italia): stratigrafia, evoluzione paleogeografico-strutturale ed eventi connessi al rifting. *Atti Tic. Sc. Terra, Serie speciale* 6, 5-137.

Clerici A. & Meda A., 2004 - Caratteristiche meccaniche del Botticino Classico. *GEAM* Torino, Italia, n. 1-2, 5-10.

ASTM C 880-89. Flexural strength of dimensional stone.

ASTM D 2936-95. Direct tensile strength of intact rock core specimens.

ASTM D 3148-93 Elastic moduli of intact rock core specimens in uniaxial compression.

ASTM D 3967-95. Splitting tensile strength of intact rock core specimens.

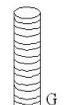
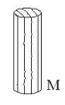
UNI EN 1936:2001. Metodi di prova per pietre naturali. Determinazione delle masse volumiche reale e apparente e della porosità totale aperta.

UNI EN 1926:2000. Metodi di prova per pietre naturali. Determinazione della resistenza a compressione

meccaniche ed ha indicato che le differenze riscontrabili sui livelli e sulle bancate esaminate sono del tutto contenute.

Anche la direzione di lavorazione, che prevede per lo più il taglio “normale” per esaltare gli aspetti estetici del materiale, incide solo marginalmente sulla risposta meccanica dello stesso.

Tabella 7 Modulo elastico in condizioni ambiente per due diverse direzioni di carico (in GPa).
Young's modulus at room condition for two different load directions.

		Condizioni ambiente		
		8a	8b	10F
Carico		66.1	80.0	73.8
		67.6	80.1	66.9

Ringraziamenti

Si desidera ringraziare innanzi tutto il Dott. Fabio Bonardi, presidente della Cooperativa Valverde, che ha messo a disposizione il materiale, ed il Laboratorio Pietro Pisa dell'Università degli Studi di Brescia, dove sono state condotte le prove.

Un ringraziamento anche agli Ingegneri Valentina Bendinelli, Angelo Bertoli, Simona Bonomelli, Anna Dester, Stefano Spranzi ed Elisabetta Valente che hanno eseguito parte delle prove e delle analisi.