

Modalita' di prelievo ed esecuzione di prove di laboratorio su materiale lapideo

Dott. Geol. Andrea Tralli

Laboratorio Geotecnico
4 Emme Service Spa
Via Zuegg, 20, 39100 Bolzano (BZ)

1. Introduzione

L'uso di aggregati per opere di protezione (armourstone) lungo i fiumi e nelle zone costiere per proteggere strutture di ingegneria dall'azione delle onde, è molto usato. Per ragioni economiche e non solo, viene spesso utilizzata la pietra naturale per la costruzione di questi frangiflutti. La distribuzione della pietra in diverse zone, le varie dimensioni e le proprietà variabili degli armourstone utilizzati sono influenti. Il loro deterioramento con il tempo, attraverso l'abrasione e la disintegrazione può causare danni alle strutture costiere e fluviali. È pertanto necessario indagare la prestazione a lungo termine e la qualità dell'aggregato utilizzato.

Gli aggregati per opere di protezione (armourstone) utilizzati nelle costruzioni devono essere conformi a tutti i requisiti della norma europea EN 13383-1. La quale comprende gli aggregati naturali e industriali comuni e tradizionali, aggregati per opere di protezione riciclati e alcuni materiali provenienti da fonti nuove o non comuni.

La necessità di eseguire prove e dichiarare tutte le proprietà specificate è limitata in funzione della particolare applicazione nell'utilizzo finale o dell'origine dell'aggregato.

Il campionamento deve essere effettuato come specificato nella EN 13383-2.

In questo studio, saranno prese in esame le proprietà di due calcari utilizzati come armourstone in una zona costiera siciliana, stoccati in una stessa zona ma provenienti da due cave vicine.

2. Scopo

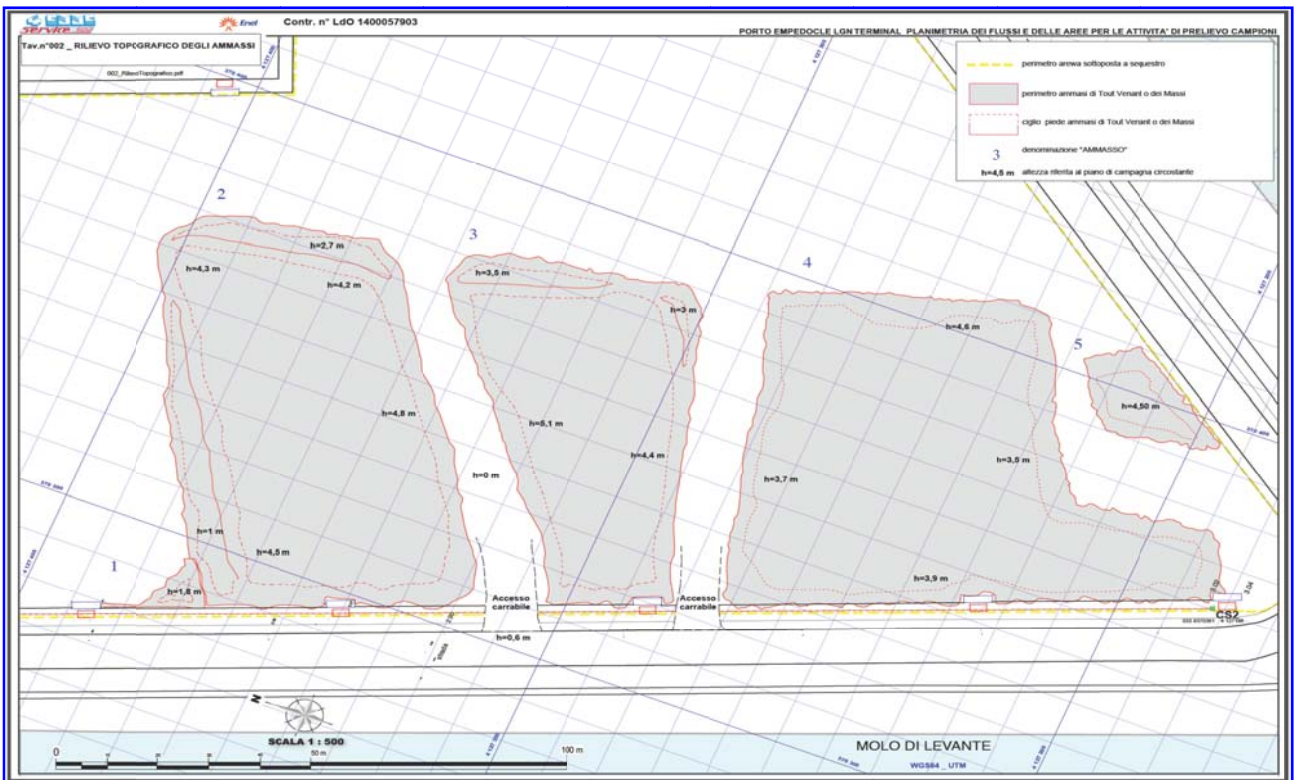
Nel seguito sono descritte le attività da svolte presso il Cantiere Enel Ingegneria e Ricerca situato nell'ex Area ASI di Porto Empedocle (AG) su materiali da cava per la determinazione delle proprietà fisiche, meccaniche e chimiche degli stessi. Le attività si sono svolte in accordo ad un Piano esecutivo di campionamento dei materiali da cava stoccati in cantiere al fine di garantire che i controlli e le prove in sito e in laboratorio diano informazioni complete circa il materiale soggetto ad indagine.

Il materiale da caratterizzare è costituito da circa 35.000 t di tout-venant (di peso variabile da 1 a 500 kg) e circa 23.000 t di massi di scogliera (di peso variabile da 1.000 a 3.000 kg) messi a deposito in area di pertinenza dell'Appaltatore di Enel Ingegneria e Ricerca (Impresa generale Mondello srl di Gela).



3. Descrizione delle attività

Preliminarmente alla identificazione ed al prelievo dei campioni, si sono svolte le attività di rilievo topografico per la definizione dell'ubicazione e della consistenza volumetrica dei materiali da cava depositati in cantiere



Le operazioni consistono nell'esecuzione di rilievi speditivi dell'area, anche per l'individuazione degli accessi interni al deposito e degli spazi disponibili per le operazioni, nella predisposizione della documentazione fotografica completa ante attività di prelievo, nella misurazione con distanziometro manuale e nella georeferenziazione GPS dell'area, con restituzione di planimetrie e piani volumetrico.

È stato predisposto il piano e il programma dettagliato dei campionamenti con indicazione dell'ubicazione piazzole di campionamento e della profondità di esecuzione degli scavi esplorativi (pozzetti).

In cantiere si sono principalmente svolte le attività di identificazione dei materiali, di caratterizzazione (granulometrica, di peso e di uniformità dei materiali da verificare con mezzi speditivi) e di prelievo dei campioni da inviare al Laboratorio prove su materiali lapidei, per la loro esecuzione.

Nel seguito si descrivono pertanto queste attività:

- identificazione delle geometrie e dei pesi su un campione significativo di massi e di tout venant per la caratterizzazione granulometrica, determinazione della distribuzione di massa e verifica del rapporto tra dimensioni/forma dei materiali da cava nel loro complesso;
- caratterizzazione del materiale a deposito mediante l'utilizzo di mezzi speditivi (determinazione dell'indice sclerometrico, dell'indice RQD, la descrizione ed il riconoscimento con utilizzo di metodiche dirette quali attacco con HCl, l'uso della lente e la determinazione della durezza di Mohs);
- identificazione, definizione delle posizioni di prelievo dei campioni ed esecuzione degli stessi mediante carotaggi e non (prelievo di massi o parti di essi, integri), in accordo al Piano di campionamento;
- sistemazione in cassette catalogatrici ed il trasporto dei campioni presso il Laboratorio per l'esecuzione di prove di caratterizzazione fisica, chimica e meccanica definite nel piano di campionamento e/o nella scheda prelievo, se decise in Cantiere eventuali integrazioni al programma base.

In Laboratorio, le prove da svolgere sui materiali tout-venant e massi di scogliera, riguardarono la determinazione di:

- analisi petrografica;
- massa volumica;
- assorbimento d'acqua;
- resistenza a rottura;
- resistenza a cicli di gelo-disgelo;
- resistenza all'abrasione;
- resistenza alla cristallizzazione salina;
- contenuto di sostanze pericolose.

Al termine di tutte le prove sono stati rilasciati dei certificati di prova.

4. Attività in cantiere

L'indagine Topografica preliminare ha permesso di mappare l'ubicazione e la geometria schematica degli ammassi. Successivamente sono state individuate e mappate le suddivisioni degli ammassi in campi.

Per ammasso sarà inteso, nel corpo del presente studio, un cumulo costituito da massi o tout venant di materiale proveniente da una delle due cave o da entrambi, depositati sul piazzale dell'area e fisicamente distaccati da altre porzioni interessate da cumuli.

Sono stati individuati cinque ammassi e denominati con numerazione progressiva da 1 a 5, da Nord verso Sud. La superficie complessiva coperta dagli ammassi ammonta a 12.350 m² con sup. minima (ammasso "1") di 80 m² e massima (ammasso "2") di 4.420 m².

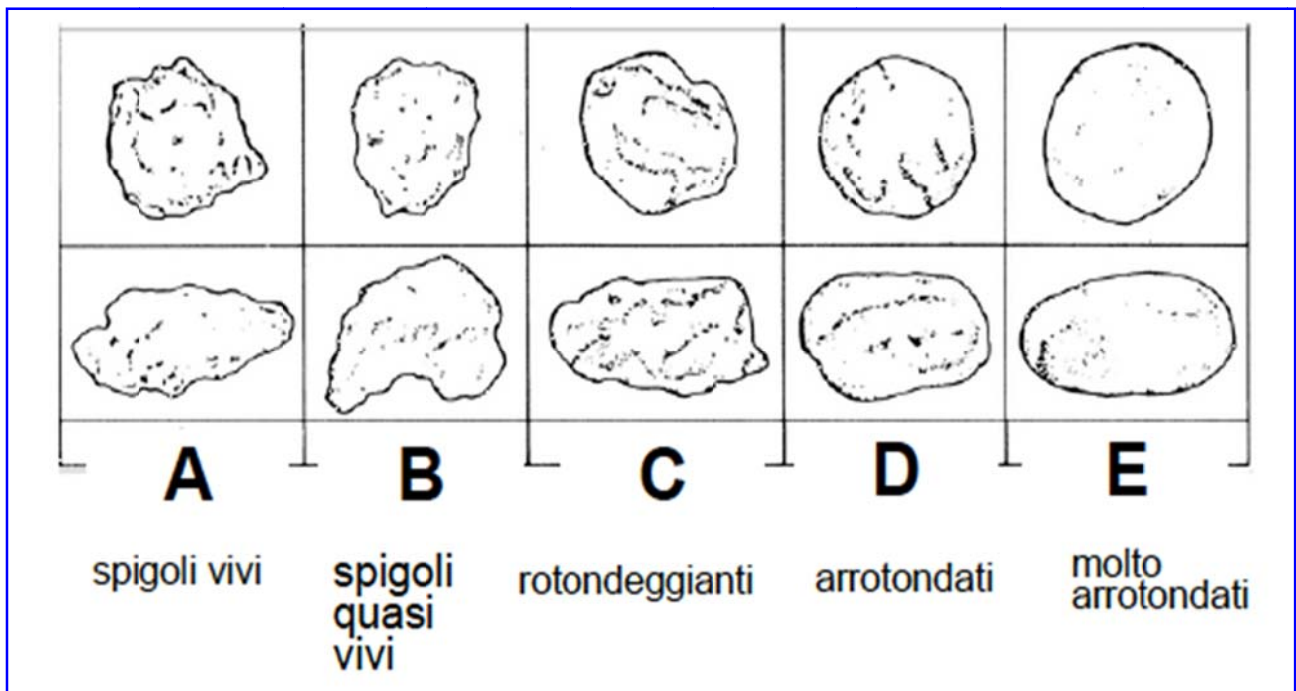
Identificate le verticali di prelievo in situ, rappresentate sul programma dettagliato dei campionamenti, sono stati definiti tutti i punti o le aree da interessare alla marcatura dei blocchi e massi per il successivo prelievo e trasporto nell'area di campionamento, nella quale si provvedeva ad effettuare i carotaggi.

In accordo alle disposizioni EN 13383-2, riscontrato preliminarmente che il rapporto lunghezza-spessore era inferiore a 3 si è proceduto secondo le seguenti fasi:

- prelievo dei massi dalla zona delimitata;
- marcatura di ciascun elemento con vernice secondo la codifica riportata nel piano di campionamento;
- trasporto nell'attigua "area di misura" a mezzo escavatore con benna;
- approntamento dell'attrezzatura di misura sul pavimento di prova precedentemente pulito e delimitato;
- esecuzione delle misure con l'ausilio strumentazione livellante di riscontro con registrazione delle misure con apparecchiatura laser con precisione superiore al decimo di millimetro;
- definizione del grado di arrotondamento degli spigoli;
- prove sclerometriche su ciascun masso;
- valutazioni sul grado e tipologia di fessurazioni riscontrate sul masso;
- pesatura con cella di carico;
- rapporto conclusivo.

Su ciascun aggregato (masso o blocco di tout-venant) prelevato è stata effettuata una valutazione qualitativa riferita alla forma ovvero al grado di arrotondamento degli spigoli vivi.

La maggior parte degli elementi è risultata di tipo "C" e soltanto alcuni massi presentavano degli spigoli molto arrotondati e quindi di tipo "D".



La campagna sclerometrica è stata condotta su aggregati aventi dimensioni idonee. La prova, di tipo non distruttiva, ha consentito di effettuare una grande quantità di prove puntuali sulla superficie degli aggregati.

Le prove sono state eseguite disponendo lo strumento in verticale sulla superficie, previa pulizia e marcatura dei punti di battuta su griglia regolare. Sono state escluse le porzioni di roccia interessate da cavità o concentrazione di vacuoli nei primi 6 cm.

Non è stato necessario bloccare su basamento il campione in considerazione delle dimensioni metriche dei massi. La superficie di prova è rimasta sempre ortogonale all'asse dello strumento.

Ad ogni rimbalzo è corrisposta la lettura dell'indice per la definizione del valore di resistenza a compressione. Il rimbalzo è direttamente proporzionale alla resilienza ovvero alla durezza della superficie della roccia.

L'intervallo di esistenza dell'Indice del martello di Schimdt varia tra 0 e 60 ovvero tra materiali molto teneri sino a litolipi estremamente duri.

Questo valore dell'Indice di rimbalzo è correlabile alla resistenza a compressione monoassiale, nota la densità della roccia (rock density kN/m^3) della roccia stessa, grazie all'ausilio di diagrammi sperimentali che riescono a tenere conto dell'Indice di rimbalzo e del peso di volume.

Le prove sono state condotte in verticale, quindi non è stato necessario utilizzare il fattore di correzione legato all'angolo con cui si dispone l'asse dello strumento rispetto al piano orizzontale

Il valore dell'indice di rimbalzo è oscillato da un minimo di 10 ad un massimo di 42 con valore medio 16,31. considerata una densità dei calcari di base pari a 22 kN/m^3 , il valore di resistenza media alla compressione è risultato pari a 22,0-22,5 MPa. Le prove sono state condotte sulla totalità del materiale.

Sono state condotte le prove di effervescenza all'HCl (diluito in soluzione al 10%) e nella scala proposta da 1 (nulla) a 5 (molto forte) è risultato dare sempre lo stesso risultato 4 (alta).

Le prove sono state condotte su superficie opportunamente pulita ed asciutta.

L'effervescenza all'HCl nel Calcarea di base è risultata uniforme, salvo locali condizioni in cui a causa di microvacuoli o di calcarea polverizzato si riscontrava una reazione più accelerata mentre nelle Calcilutiti si registrava sempre la medesima reazione.

Sono state condotte le prove di Durezza (durometria) con l'ausilio di campioni di comparazione. Questa proprietà anisotropica delle rocce essendo legata alla capacità di una roccia di essere scalfita è stata determinata per raffronto tra due minerali di paragone.

I minerali di riferimento della scala di Mohs che sono stati adottati come estremi di riferimento sono stati il gesso (2) e la calcite (3).

Il Calcarea di base preso in considerazione nelle prove condotte ha dato valori di scalfitura sempre minori o prossimi della calcite (3) in ogni caso sempre maggiori del gesso (2). Nella scala di Mohs infatti le prove condotte hanno evidenziato una resistenza alla scalfitura compresa tra 2 e 3.

Il Calcarea di base opportunamente pulito ha sempre mostrato una facile scalfitura superficiale che solo raramente poteva ridursi (presenza di calcite ricristallizzata) e raggiungere valori nella scala di Mohs pari a 3.

La durezza delle Calcilutiti è risultata uniforme e pari a "3" in tutti i punti di prova.

Il peso medio dei 97 (per normativa erano 90) massi presi in considerazione è di 1.496,22 kg, con valori massimi di 5.441 kg e valori minimi di 321 kg e dimensioni medie lungo i tre assi risultate pari a 1,5 m – 1,1 m - 0,9 m, con valori massimi di 2,35 m e valori minimi di 0,49 m.

Rispetto ai 200 blocchi da pesare da normativa ne sono stati prelevati e misurati 413. Il cui peso complessivo ammonta a 7245,69 kg per una media di 17,54 kg. Dell'intero volume prelevato soltanto il 5% è risultato inferiore al chilogrammo.

Il grado di arrotondamento è risultato del tipo "C" ovvero con grado di arrotondamento degli spigoli rotondeggianti salvo alcune rare eccezioni in cui il masso si presentava con angoli più arrotondati presumibilmente a causa del trasporto e/o movimentazione post estrazione e sin deposizionale dell'ammasso.

I massi appartengono alla medesima formazione litologica dei Calcari di base. Il litotipo descritto fa riferimento ai "Calcari di base" della serie evaporitica del Messiniano. Originariamente (Mottura, 1871) lo ha definito "Calcarea siliceo" ma tale denominazione non corretta fu presto abbandonata per passare alla denominazione proposta da Ogniben nel 1957, indicativa del calcarea che si trova alla base della successione evaporitica messiniana.

Noto anche come "Calcarea Solififero" per le particolari mineralizzazioni di zolfo presenti in alcuni affioramenti. Si tratta di calcarea grigio-giallastro stratificato in banchi metrici separati da giunti pelitici. I banconi calcarei,

caratterizzati dalla locale presenza di pseudomorfi di alite, presentano a luoghi stratificazione millimetrica ritmica e verso l'alto una struttura brecciata con elementi intraclastici.

Si tratta di un deposito di origine salina in seguito a concentrazione di salamoie che durante la formazione è stato interessato da afflussi periodici di acque dolci. Scarso contenuto fossilifero, rari foraminiferi, frammenti vegetali di origine continentale e resti di pesci e stromatoliti algali.

In alcuni casi sono stati riscontrati livelli lenticolari di celestina SrSO_4 cristallino. La scomparsa di questi minerali, per solubilizzazione, ha lasciato dei vuoti di forma regolare che conferiscono alla roccia un aspetto che nel tempo gli ha fatto attribuire denominazioni come "perciuliatu" ovvero forato, pieno di buchi.

Numerose osservazioni alla lente di ingrandimento 6x e 20x hanno messo in evidenza la struttura dei calcari di base come costituita da un aggregato di minutissime particelle di natura calcarea con scarsa o assente matrice interessata da ricristallizzazioni calcitiche.

In molti casi la struttura del litotipo è costituita da piccoli granuli cementati tra di loro con un certo numero di minuscoli vuoti, vacuoli che possono essere allineati o distribuiti più o meno irregolarmente.

Nell'ambito dei giacimenti sono spesso presenti discontinuità trasversali alla superficie di stratificazione.

Nei massi osservati in cantiere non sono state osservate superfici di discontinuità mentre è da registrarsi in maniera prevalente la presenza di vacuoli o di allineamenti di vuoti.

La struttura osservata è quella di un packstone a tessitura granosostenuta che in alcuni punti, per la variazione delle quantità di grani, passava a wackestone (Dunham). Sono state osservate numerose cavità e oomicriti. Numerosi i vuoti lasciati dalla dissoluzione di minerali sindeposizionali.

Le Calcilutiti presumibilmente attribuibili al Cretaceo-Eocene sono considerabili come "Roccia carbonatica" con matrice micritica prodotta da decantazione di frammenti organici (planctonici) e/o di altra natura in condizioni di mare mediamente profondo con tessitura calcilutitica (Folk) o micritica.

Riguardo alla verifica dell'RQD sui vari massi presi in considerazione è stato che i singoli massi non hanno quasi mai evidenziato fratture che potessero essere considerate come discontinuità considerato che risultavano riempite da calcite secondaria che addirittura ne migliorava le caratteristiche di resistenza.

Grazie all'osservazione alla lente d'ingrandimento è stata osservata sempre la medesima variabilità della struttura dei calcari di base.

Individuata la superficie da interessare al carotaggio si predisponavano gli agganci al masso della base della carotatrice. Installata la colonna di carotaggio sul blocco in maniera solidale e stabile, si dotava della relativa corona e dei condotti per i fluidi di perforazione per effettuare la perforazione con continuo apporto di fluidi.

Raggiunta la profondità massima si estraeva il carotiere e si procedeva al recupero della carota previa realizzazione della documentazione fotografica.

Estratta la carota veniva immediatamente marcata con pennarelli indelebili, avendo cura di indicare la direzione di avanzamento, quindi si riponeva nelle cassette catalogatrici.

Al termine delle operazioni di carotaggio, i campioni opportunamente marcati, registrati e verificati, inseriti nelle cassette catalogatrici venivano opportunamente conservati in luoghi idonei, in attesa di essere spediti al laboratorio.

5. Prove di Laboratorio

Il materiale prelevato nel cantiere di Porto Empedocle è stato distribuito tra due laboratorio in modo da fare le prove in contraddittorio. Una è arrivato al Laboratorio della 4 Emme Service S.p.a. di Bolzano e l'altra è andata al Laboratorio DICATeA dell'Università di Parma.

I campioni sono stati accettati solo dopo che si è accertata la corrispondenza tra l'ordine di prova e il materiale consegnato.

Dei campioni accettati solo una parte è stata sottoposta a prove, in modo da avere del materiale per poter ripetere in quei casi i primi test non davano risultati univoci.

Sono state eseguite le seguenti prove:

- n° 40 determinazione della massa volumica e dell'assorbimento d'acqua (UNI EN 13383-2 par. 8);
- n° 40 prove di resistenza alla compressione (UNI EN 1926);
- n° 4 analisi petrografiche (UNI EN 932-3);
- n° 24 determinazioni della resistenza all'usura, micro-Deval (UNI EN 1097-1);
- n° 40 determinazioni della resistenza al gelo e la disgelo (UNI EN 13383-2);
- n° 24 prove al solfato di magnesio (UNI EN 1367-2);
- n° 2 determinazioni di sostanze pericolose (D.lgs. 152/06).

Tabella riassuntiva delle prove condotte:

Determinazioni	Norma	u.m.	Risultato medio	CIRA-CUR
Massa volumica	UNI EN 13383-2	Mg/m ³	2,2	Marginal
Assorbimento d'acqua	UNI EN 13383-2	%	4,5	Marginal
Resistenza alla compressione	UNI EN 1926	MPa	33,3	Poor
Resistenza all'usura, micro-Deval	UNI EN 1097-1	%	31-30	Poor
Resistenza al gelo e al disgelo	UNI EN 13383-2	%	0,4-0,7	Good
Cristallizzazione salina al solfato di magnesio	UNI EN 1367-2	%	22,9-17,9	Marginal

Le analisi petrografiche hanno confermato la presenza di due calcari, "il Calcare di base" e "le Calcilutiti".

Le analisi sulla presenza di sostanze pericolose hanno dato esito negativo.

Si riporta la tabella 3.1.2 del CIRA – CUR che fornisce dei valori indicativi sulla qualità del materiale:

Quality and durability guide (not intended for specification purposes)						
Laboratory tests	Criteria	Reference	Excellent	Good	Marginal	Poor
	Petrographic evaluation	Trained petrographer	**	**	**	**
	Mass density, ρ_{rock} (t/m ³)	EN 13383-2:2002	> 2.7	2.5-2.7	2.3-2.5	< 2.3
	Water absorption (%)	EN 13383-2:2002	< 0.5	0.5-2.0	2.0-6.0	> 6.0
	Microporosity/total porosity (%)	Lienhart (2003)	< 2	2-6	6-20	> 20
	Methylene blue adsorption (g/100g)	Verhoef (1992)	< 0.4	0.4-0.7	0.7-1.0	1.0
	Compressive strength (MPa)	EN 1926:1999	> 120	120-80	80-60	< 60
	Schmidt impact index (% rebound)	ISRM (1988)	> 60	50-60	40-50	< 40
	Sonic velocity (km/s)	EN 14579:2004	> 6	4.5-6	3-4.5	< 3
	Point load strength (MPa)	ISRM (1985)	> 8	4-8	1.5-4	< 1.5
	Fracture toughness (MPa.m ^{1/2})	ISRM (1988)	> 1.7	1.0-1.7	0.6-1.0	< 0.6
	Indirect tensile (Brazilian) strength (MPa)	ASTM D3967-95a (2004) ISRM (1978)	> 10	5-10	2-5	< 2
	Los Angeles (% loss)	EN 1097-2:1998	< 15	15-25	25-35	> 35
	Micro-Deval (% loss)	EN 1097-1:1996	< 10	10-20	20-30	> 30
	MgSO ₄ soundness (% loss)	EN 1367	< 2	2-10	10-30	> 30
	Freeze-thaw (% loss)	EN 13383-2:2002	< 0.5	0.5-1	1.0-2	> 2
	Sonic velocity reduced by freeze-thaw (% change) ***	Section 3.8.6	< 5	5-15	15-30	> 30
	Wet-dry (% loss)	ASTM D5313-04	< 0.5	0.5-1	1.0-2	> 2

Dove si intende:

- Excellent: ideale, utilizzabile sempre;
- Good: non si nota una degradazione significativa, situazioni normali;
- Marginal: può avvenire una significativa degradazione, occorre sovradimensionare i massi;
- Poor: da non utilizzare.

Il raffronto tra i risultati trovati e la tabella CIRA-CUR è puramente indicativa, perché per ragioni di natura economica e/o progettuali possono variare le valutazioni.

È interessante analizzare la variabilità dei risultati. Se andassimo a separare i risultati in base alla natura petrografica degli aggregati testati si vede che le Calcilutiti danno risultati nettamente migliori dei Calcari di base, di uno o due gradi di valutazione.

Le Calcilutiti e i Calcari di base provengono da due cave diverse, molto vicine dal punto di vista geografico, ciò significa che l'analisi dei materiali è importante per valutare bene le loro prestazioni.

6. Riferimenti a disposizioni di legge, normative e specifiche di lavoro

Tutte le attività descritte nel seguito saranno svolte in osservanza alle seguenti disposizioni di legge:

- D. Lgs. n. 81 del 9 aprile 2008, Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;

- D. Lgs n.152 del 3 aprile 2006 con le modifiche introdotte dal D. Lgs dell'8 novembre 2006, n.284, dal D. Lgs 16 gennaio 2008, n.4, dal D.A. n.211/GAB dell'11 dicembre 2008 e dal Decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare 10 agosto 2012, n.161 (Disciplina di utilizzazione delle terre e rocce da scavo);
- UNI EN 13383-1 e 2 - Aggregati per opere di protezione – armourstone;
- PPE0305064 Servizio per le attività di prelievo in Cantiere e l'esecuzione di prove in laboratorio su materiali depositati in Cantiere.