

Università Politecnica delle Marche

Facoltà di Ingegneria

Corso di Ingegneria Civile e Ambientale

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura



**ADESIONE BITUME-AGGREGATO: CONFRONTO TRA DIVERSE
TIPOLOGIE DI EMULSIONI BITUMINOSE**

**AGGREGATE-BITUMEN ADHESION: COMPARISON BETWEEN
DIFFERENT TYPES OF BITUMEN EMULSION**

Relatore

Prof. Maurizio Bocci

Correlatore

Ing. Emiliano Prospero

Tesista

Riccardo Falasca

Anno accademico

2020/2021

Sommario

CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE	4
CAPITOLO 2 - MATERIALI	7
2.1 AGGREGATI LAPIDEI	7
2.2 BITUME	9
2.3 CONGLOMERATO BITUMINOSO	10
CAPITOLO 3 - RICICLAGGIO	12
3.1 RICICLAGGIO IN IMPIANTO	14
3.2 RICICLAGGIO IN SITO	16
CAPITOLO 4 - PROGRAMMA SPERIMENTALE	20
4.1 OBIETTIVO	20
4.2 MATERIALI UTILIZZATI	20
4.3 MACCHINARIO DI PROVA	25
4.4 PREPARAZIONE DEI PROVINI	27
CAPITOLO 5 - PROVA BBS PER LE EMULSIONI	29
5.1 PREPARAZIONE DEI PROVINI E DEI CASSERI	29
5.2 INVECCHIAMENTO MATTONELLE PROVINI	30
5.3 PISTONCINI PER PROVA PATTI	31
5.4 CONDIZIONAMENTO PROVINI DRY	32
5.5 CONDIZIONAMENTO PER PROVINI WET	33
5.6 RIEPILOGO	36
CAPITOLO 6 - RISULTATI DELLE PROVE SPERIMENTALI	37
6.1 PROVA PATTI	38
6.2 TIPOLOGIE DI ROTTURA	39
6.3 RISULTATI PROVE	42
Risultati Prove: DRY CALCARE VERGINE (DCV)	45
Risultati Prove: WET CALCARE VERGINE (WCV)	46
Risultati prove: DRY CALCARE INVECCHIATO (DCI)	49
Risultati Prove: WET CALCARE INVECCHIATO (WCI)	50
Riepilogo risultati: CALCARE	52

Risultati Prove: DRY PORFIDO VERGINE (DPV)	55
Risultati Prove: WET PORFIDO VERGINE (WPV)	57
Risultati Prove: DRY PORFIDO INVECCHIATO (DPI)	59
Risultati Prove: WET POTFIDO INVECCHIATO (WPI)	60
Riepilogo risultati: PORFIDO	62
CAPITOLO 7 - CONCLUSIONI	65
7.1 CONFRONTO TRA LE EMULSIONI.....	65
7.2 CONDIZIONAMENTO	65
INDICE DELLE IMMAGINI	67
SITOGRAFIA	67

CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE

In questo capitolo si farà un'introduzione sull'intero sistema delle pavimentazioni stradali. In generale l'obiettivo delle pavimentazioni stradali è quello di garantire una guida nel pieno della sicurezza e del confort, per garantire tali obiettivi risulta necessario che ogni strato della sovrastruttura sia messo in opera a regola d'arte. La pavimentazione stradale è costituita da vari strati, ciascuno con caratteristiche proprie con specifiche funzioni e di materiale diverso, i tre elementi principali che compongono il sistema delle pavimentazioni a partire dall'alto sono:

- lo strato d'usura,
- la struttura di collegamento
- il sottofondo.



Figura 1 Pacchetto stradale

Lo strato d'usura è la parte più superficiale della pavimentazione, e in quanto tale rappresenta il primo contatto con il carico trasmesso dai veicoli; deve perciò essere dotato di resistenza notevole e caratteristiche geometriche perfette. I materiali utilizzati dovranno pertanto avere delle formulazioni compositive specifiche, che non solo assolvano alle funzioni richieste, ma le mantengano elevate nel tempo, affinché la vita utile della pavimentazione stessa sia la più lunga possibile. Il manto effettuerà una protezione di tutta la struttura della pavimentazione, in particolare nei confronti di due elementi: l'elemento traffico e l'elemento ambiente. La protezione dal traffico è relativa sia ai carichi trasmessi dalle ruote, ma anche all'azione di sfregamento esercitata dagli pneumatici stessi, che portano alla rimozione di bitume nel tempo e quindi allo spogliamento dello stesso manto o semplicemente alla perdita di rugosità.

La protezione dall'ambiente invece, deriva da due principali forme di attacco: gli effetti termici, che conferiscono alla pavimentazione continue contrazioni e dilatazioni, ed il deterioramento provocato dal sole, da cui assorbono quotidianamente raggi ultravioletti che tendono a far invecchiare e indurire il bitume, portando così ad una perdita di elasticità e quindi eventuali rotture fragili. Per quanto riguarda il sottofondo spesso è costituito da inerti scelti secondo dei criteri di classificazione, esso ha il compito di sostenere tutto il corpo stradale, quindi eventuali disfunzioni comportano gravi danni agli strati sovrastanti, spesso questi problemi sono dovuti ad infiltrazioni o un errata scelta dei materiali.

Principalmente esistono due sovrastrutture:

- SOVRASTRUTTURE FLESSIBILI.
- SOVRASTRUTTURE RIGIDE

Le prime sono le più comuni in Italia, le seconde vengono utilizzate meno. Le differenze principali tra le due è che nella prima c'è largo uso di conglomerato bituminoso nelle seconde di calcestruzzo.

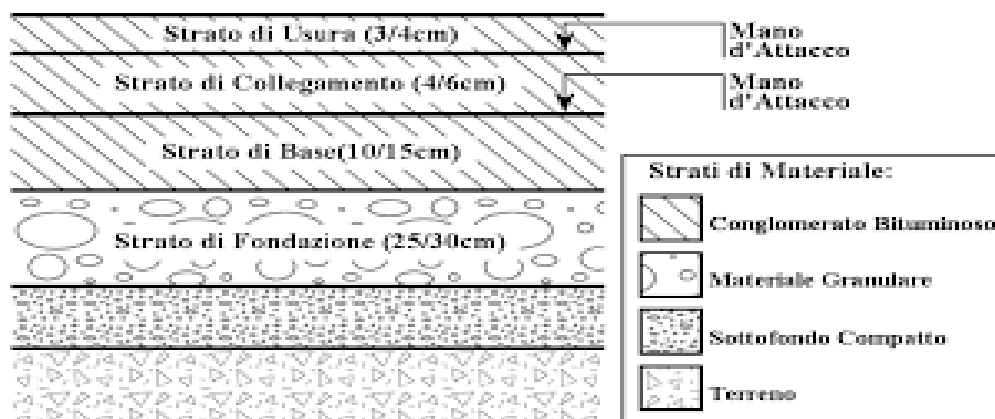


Figura 2 Pacchetto Stradale

Nel dettaglio i vari strati:

- **Fondazione:** lo strato di fondazione è il primo strato di posa del pacchetto stradale, esso è costituito da una miscela di aggregati non legati fra loro selezionati, aventi granulometria assortita. Questo strato ha il compito di ripartire i carichi sul terreno vergine ed isolare i materiali sovrastanti da eventuali problematiche idrauliche come risalita capillare di acqua.
- **Strato di base:** Questo strato è costituito da conglomerato bituminoso, con aggregati di dimensioni minori dello strato di fondazione, e chiamato anch'esso a sorreggere i carichi e limitare i carichi trasferiti allo strato di fondazione. Questo strato può essere realizzato sia con conglomerato a freddo che con conglomerato a caldo.
- **Strato di collegamento o Binder:** Come dice la parola stessa è uno strato di collegamento tra lo strato superiore d'usura e quello di base sottostante.
- **Strato d'usura:** È lo strato visibile all'utenza ed ha il compito di garantire la giusta aderenza ai veicoli ed il giusto confort sia a livello di guida che di acustica. Inoltre ha il compito di impedire l'infiltrazione ai sottostanti strati che potrebbero danneggiarsi

CAPITOLO 2 - MATERIALI

Come accennato i materiali principali utilizzati risultano essere gli aggregati lapidei e il bitume, che messi insieme formano il conglomerato bituminoso. Con il passare degli anni soprattutto per il bitume sono stati fatti passi avanti a livello tecnologico con l'introduzione di bitumi modificati, ottimizzando le proprietà fisico chimiche dei bitumi stessi, facendo sì di creare impasti con migliori caratteristiche di durabilità ed efficienza. Nel dettaglio brevemente andremo ora ad analizzare i due componenti principali.

2.1 AGGREGATI LAPIDEI

Gli aggregati costituiscono praticamente l'ossatura di tutti gli strati di pavimentazione. Essi vengono classificati mediante la loro dimensione, questo processo è svolto mediante la setacciatura degli stessi

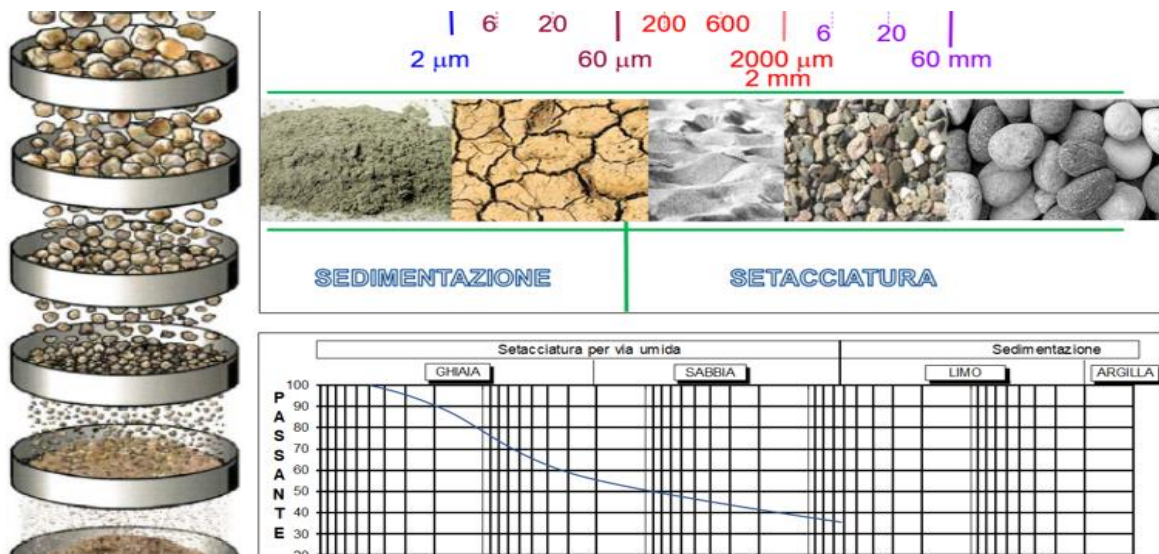


Figura 3 Setacciatura

creando delle curve granulometriche che permettono di caratterizzare il materiale.

In base alle dimensioni si definisce:

- CIOTTOLI elementi che di diametro presentano dimensioni maggiori di 20 mm
- GHIAIE elementi che presentano un diametro compreso tra i 2 mm e i 20 mm
- SABBIE elementi che presentano un diametro compreso tra i 0.06 mm e 2 mm
- LIMI elementi che presentano un diametro compreso tra i 0.002 e 0.06 mm
- ARGILLE se il diametro è inferiore a 0.002 mm

Ogni strato della pavimentazione avrà una sua dettagliata curva granulometrica ed inoltre, alcuni di questi materiali, in particolare i materiali estremamente fini sono gravemente pericolosi per le loro caratteristiche di materiali plastici, se presenti negli strati di fondazione. Gli inerti utilizzati per il conglomerato bituminoso oltre che rispettare parametri dimensionali, necessitano di alcuni parametri riguardanti la loro durabilità sotto i carichi dei veicoli, in particolare la loro capacità di resistere all'abrasione. Le caratteristiche principali:

- Dimensione dell'aggregato.
- Forma dell'aggregato, si tende ad evitare inerti con forme appiattite tondeggianti, favorendo le forme spigolose.
- La capacità del materiale di resistere all'abrasione e all'urto, sono preferibili aggregati basaltici, porfidi rispetto ad elementi di calcare che presentano meno resistenza all'abrasione.
- Aggregati puliti, con minor quantitativo di materiale fine possibile, favorendo l'adesione aggregato-legante.

Diverso discorso riguardante i terreni di fondazione poiché essi dipendono da parametri totalmente diversi, in particolare la classificazione oltre che basarsi sulla setacciatura si basa su, due indici fondamentali come il limite liquido e l'indice di plasticità che ci permettono di caratterizzare il terreno su cui posare i vari strati di conglomerato bituminoso. Essi vengono classificati mediante la CNR-UNI 10006

2.2 BITUME

I bitumi vengono utilizzati in campo stradale come frazione legante dei conglomerati bituminosi. I bitumi appartengono alla famiglia degli idrocarburi, forniscono la caratteristica di far aderire ogni singolo grano del conglomerato bituminoso. Al fine di rendere ottimali i bitumi ci possono essere aggiunte di additivi, in particolare additivi come polimeri, del tipo elastomero o plastomeri, che migliorano le proprietà del bitume stesso. Le principali caratteristiche degli stessi vengono espresse mediante alcune prove fondamentali:

- Prove di penetrazione: permettono di definire la consistenza di un bitume, in funzione della temperatura, classificandoli in bitumi Hard o Soft.
- Punti di rammollimento o rottura: permettono di definire il range di temperatura di utilizzo di diverse tipologie di bitume, evitando problemi di rammollimento e quindi spostamenti di massa di bitume o rotture fragili dovute alle eccessive basse temperature.

CLASSIFICAZIONE DEI BITUMI SEMI-SOLIDI IN BASE ALLA PENETRAZIONE (UNI EN 12591)

	Unità	Metodo di prova	Designazione delle classi								
			20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330
Valore della penetrazione a 25 °C	× 0,1 mm	EN 1426	20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330
Punto di rammollimento	°C	EN 1427	55-63	52-60	50-58	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43	30-38
Resistenza all'indurimento, a 163 °C ^{a)}		EN 12607-1 o EN 12607-3									
- variazione di massa, massimo, ±	%		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0
- penetrazione residua, minimo	%		55	53	53	50	50	46	43	37	35
- punto di rammollimento dopo indurimento, valore minimo	°C	EN 1427	57	54	52	49	48	45	41	37	32
Punto di infiammabilità, valore minimo	°C	EN 22592 (b)	240	240	240	230	230	230	230	220	220
Solubilità, valore minimo	% (m/m)	EN 12592	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0

a) In casi di arbitrato deve essere utilizzato solo il metodo RTFOT (b) Vedere 4.1.1.3.

Classi	20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/200	250/330
Viscosità dinamica	440	260	225	175	200	120	80	43	18

a 60°C
EN 12595

Figura 4 Classificazioni bitumi

2.3 CONGLOMERATO BITUMINOSO

In definitiva il conglomerato bituminoso risulta essere una miscela costituita da aggregati di diversa dimensione a seconda dello strato in cui viene posato, legati dal bitume ed eventuali additivi. In generale in conglomerati possono essere classificati in:

- CONGLOMERATO BITUMINOSO A **CALDO**: temperatura di posa in opera circa 150 °C
- CONGLOMERATO BITUMINOSO A **FREDDO**: stesi a temperatura ambiente

Un'altra classificazione importante è quella relativa alla percentuale dei vuoti:

- **APERTI**: percentuale dei vuoti maggiore del 10%
- **SEMICHIUSI**: vuoti compresi tra il 6-10%
- **CHIUSI**: vuoti compresi tra il 3-6%



Figura 5 Conglomerato Classico (Semi-chiuso)



Figura 6 Conglomerato Drenante (Aperto)

Le proprietà del conglomerato:

- **RUGOSITA'**: una delle proprietà fondamentali poiché garantisce aderenza e quindi sicurezza, quindi deve risultare comunque elevata.
- **DEFORMABILITA'**: caratteristica che permette la durabilità del conglomerato, ed è garantita dal giusto dosaggio di bitume, poiché un eccessivo dosaggio nei periodi estivi potrebbe portare ad ormaimento o la rottura in caso di percentuali di bitume al di sotto delle ottimali.
- **PERMEABILITA'**: l'attitudine del conglomerato a farsi attraversare dall' acqua. Nelle pavimentazioni tradizionali si cerca di evitare che l'acqua finisca nel sottofondo e danneggiarlo, creando uno strado d'usura impermeabile, altresì esistono particolari strati d'usura come quelli utilizzati su strade ad alta velocità come le autostrade, ovvero gli strati d'usura di tipo drenante, che permettono di evacuare le acque evitando lo spray aumentando la visibilità.
- **RESISTENZA A FATICA**: sicuramente una buona pavimentazione necessita di una buona resistenza ai carichi ciclici dovuti al traffico.

CAPITOLO 3 - RICICLAGGIO

Con il passare degli anni il tema ambientale ha preso sempre più piede e anche per quanto riguarda le strade c'è stato un forte aumento di interesse verso il riciclaggio delle vecchie pavimentazioni stradali in modo da riutilizzare il conglomerato vecchio trattato per essere risteso. Il conglomerato di riciclo spesso viene utilizzato a partire dalla semplice viabilità urbana o per le più trafficate autostrade, ma anche semplicemente per trattamenti di irruvidimento in sezioni di strada diventate particolarmente scivolose, ed inoltre possono essere utilizzate per zone da impermeabilizzare come parcheggi o simili.

Per quanto riguarda il riciclaggio esistono di due tipologie:

- **Riciclaggio a caldo**
- **Riciclaggio a freddo**

Per quanto riguarda il riciclaggio a caldo, il fresato riciclato risulta essere intorno all'10-40 % e viene riscaldato insieme al bitume a temperature maggiori di 150°C

Il riciclaggio a freddo invece è una tecnica che prevede l'utilizzo del fresato a temperature praticamente ambientali con aggregati anche umidi. È permesso l'utilizzo fino all'100% del materiale riciclato.

Quindi possiamo introdurre delle differenze tra le due tipologie di trattamento:

- Sicuramente, la completa rimozione della fase di riscaldamento degli inerti di riciclo e del bitume a temperature elevate, comportano un'ambiente di lavoro più sicuro per gli operatori, inoltre un notevole abbattimento del consumo di combustibile dato il minor sviluppo di energia per aumentare le temperature e quindi la quasi totale eliminazione delle emissioni in atmosfera;
- Come già precedentemente espresso l'impasto di miscele a freddo prevede l'utilizzo materiali di recupero fino al 100%, rispetto a un livello massimo del 30% per i processi di riciclaggio a caldo. Ciò implica principalmente i seguenti vantaggi: l'utilizzo di materiale che sarebbe di destinazione a discarica, quindi notevoli risparmi a livello di rifiuti ed inoltre la possibilità di ridurre l'utilizzo di cave, con notevoli vantaggi a livello di impatto ambientale;

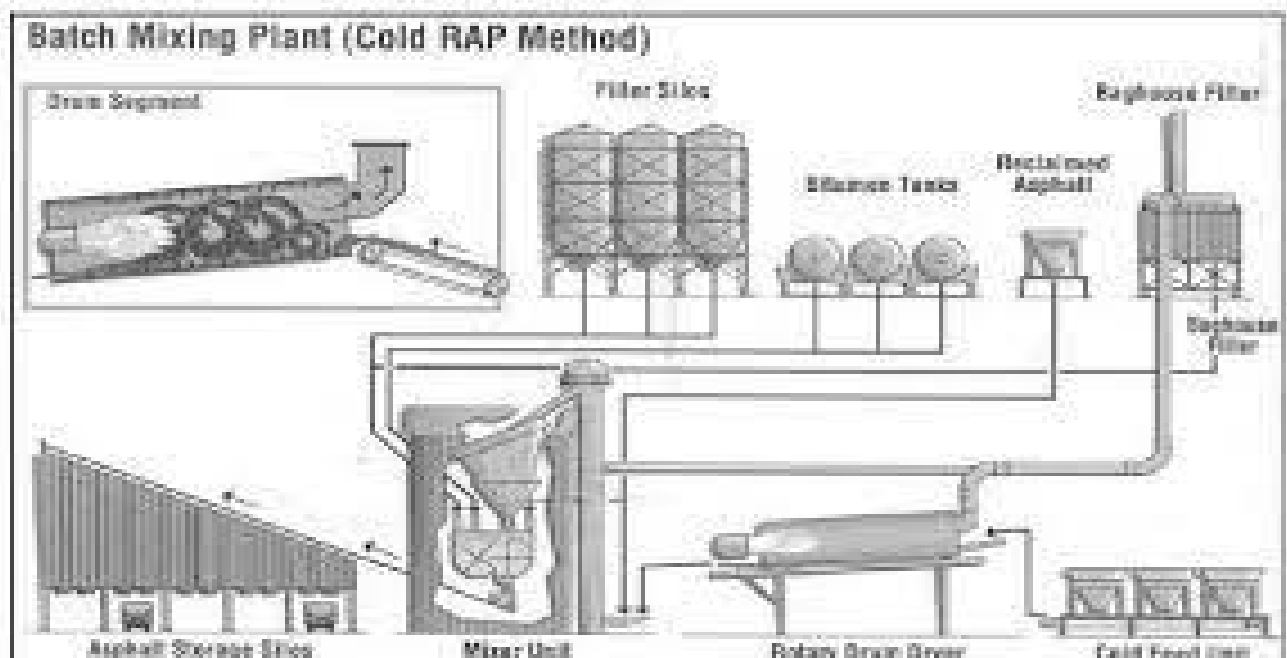
- la possibilità di eseguire tutte le fasi della lavorazione direttamente in sito con treni di riciclaggio con evidenti vantaggi in termini di velocità di esecuzione degli interventi e di riduzione dei trasporti. La maggiore velocità di messa a disposizione del materiale risulta sicuramente più conveniente a livello economico.

Il riciclaggio a freddo è una tecnica sviluppata in modo da riciclare il vecchio aggregato della pavimentazione stradale al fine di diminuire l'impiego di aggregato vergine con l'obiettivo di migliorare l'impatto ambientale e la salvaguardia dei lavoratori in quanto c'è l'assenza di sviluppo di vapori caldi.

il riciclaggio a freddo può essere messo in atto in due modi:

- DIRETTAMENTE IN SITO (TRENI DI RICILAGGIO)
- IN IMPIANTO E TRASPORTATO IN SITO

Riciclaggio in impianto fisso I leganti idrocarburici utilizzati in questo metodo sono le emulsioni bituminose ed il bitume schiumato.



3.1 RICICLAGGIO IN IMPIANTO

Il riciclaggio a freddo in impianto fisso, può essere effettuato sia con macchine ed attrezzature specifiche installate in modo permanente, oppure con impianti in cantieri mobili che permettono di sposare il cantiere nelle vicinanze di dove si opera. Negli impianti fissi, progettati esclusivamente per il riciclaggio a freddo di aggregati, i dosaggi, del bitume nuovo e degli aggregati, possono essere effettuati con maggior precisione, ed anche in base alle caratteristiche del fresato, inoltre può essere aggiunto dell'aggregato vergine per correggere eventualmente le curve granulometriche dell'impasto. La scelta di riciclare a freddo permette di usufruire il riciclato che può stoccato ed utilizzato successivamente a differenza del riciclaggio a caldo che richiede di essere utilizzato immediatamente a causa della perdita della lavorabilità con il raffreddamento dello stesso, e può essere quindi utilizzato solo nei processi di riciclaggio in sito; la fresatura a freddo, invece, fornisce un conglomerato di recupero che resta sciolto e lavorabile e può, quindi, essere riutilizzato sia nei processi di riciclaggio in sito sia in quelli in stabilimento. Inoltre uno dei vantaggi del riciclaggio a freddo, consiste nel non dover ricorrere ad energia termica nei processi di produzione: ciò comporta notevoli vantaggi dal punto di vista economico, energetico ed ambientale. Nel riciclaggio a freddo le miscele sono composte da:

- Materiale di recupero, proveniente dalla fresatura o scarifica di una vecchia pavimentazione;



- Successivamente il materiale proveniente dalla vecchia pavimentazione, il fresato di ricircolo RAP, viene trasportato in stabilimento o stoccato;



- Successivamente il fresato viene trattato per far sì che combaci con le curve granulometriche, possono essere aggiunti aggregati vergini di integrazione, per correggere la curva granulometrica degli inerti provenienti dal materiale di recupero. poi vengono aggiunte le emulsioni, cementi filler ed additivi vari; eventualmente acqua di aggiunta, per un miglioramento della lavorabilità.

Una volta pronta la miscela, il conglomerato bituminoso viene caricato sui mezzi e portato in cantiere, per essere successivamente posto in opera e costipato, ricostituendo così la pavimentazione originaria.



Figura 7 Finitrice in azione

3.2 RICICLAGGIO IN SITO

Per quanto riguarda la modalità di esecuzione in sito, esso rappresenta il punto di riferimento per quanto riguarda il riciclaggio a freddo, poiché permette di ottimizzare sia gli spazi e l'eliminazione del trasporto del RAP in eventuali zone di stoccaggio, quindi aumentando notevolmente la velocità di produzione.

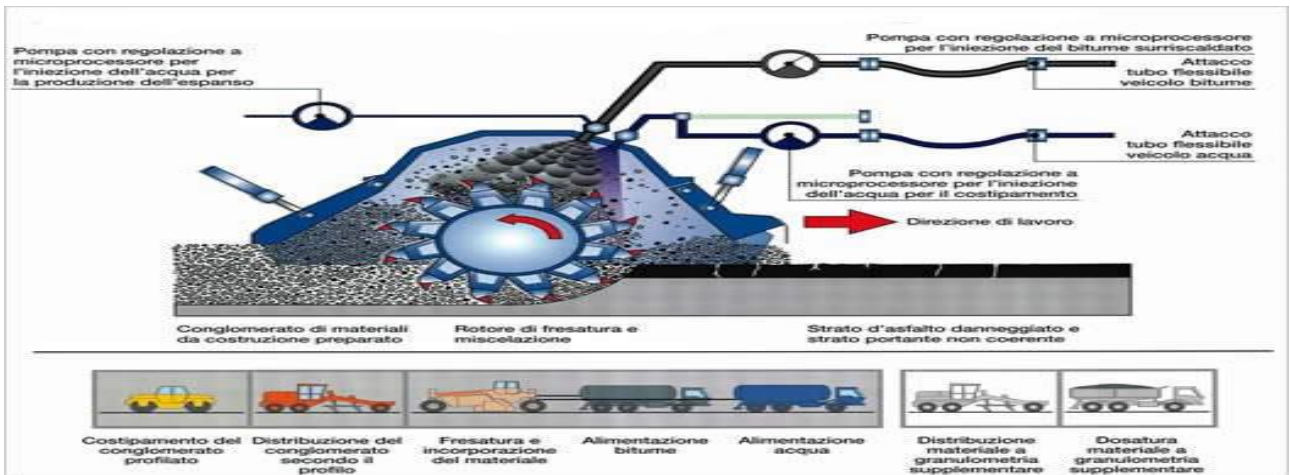


Figura 8 Treno di riciclaggi



Figura 9 Treno di riciclaggio

Quindi per il riciclaggio a freddo in sito, abbiamo:

- **Vantaggi ambientali:** come anticipato con il riciclaggio a freddo abbiamo la possibilità di riciclare la totalità del materiale, evitando così l'apertura di nuove cave per materiale vergine. Salute e benessere dei lavoratori che operano sulle macchine, e notevoli vantaggi anche per eventuali centri abitati nelle vicinanze data l'assenza di vapori e fumi sgradevoli;
- **Buone caratteristiche prestazionali dello strato riciclato:** sia in stabilimento ma anche in sito, con i macchinari moderni si riescono a creare giuste miscele di aggregati e legante, garantendo ottime prestazioni e una buona durabilità
- **Tempi brevi di costruzione:** essendo un processo a catena permette una notevole velocità di costruzione, creando meno disagio alla circolazione, poiché il "cantiere" va ad occupare solamente la corsia di interesse.

Treno di riciclaggio a freddo è composto in partenza da un camion cisterna che contiene il legante quindi il bitume e da un'altra cisterna che contiene acqua, che vanno ad alimentare la macchina che si occupa da prima di fresare la vecchia pavimentazione, che va a interessare la profondità di circa 5-7 cm, e successivamente di dosare l'emulsione con l'aggregato di ricircolo e quindi la stesa. Infine il tappeto viene livellato e costipato e la pavimentazione è ultimata.



Figura 10 Riciclatore o pulvimixer



Figura 11 Stesura Rap

CAPITOLO 4 -PROGRAMMA SPERIMENTALE.

Nel presente capitolo verranno illustrati l'obiettivo del programma sperimentale, svolto all'interno del Laboratorio di Strade del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Architettura dell'Università Politecnica delle Marche. Inoltre, verranno illustrate nel dettaglio le emulsioni bituminose utilizzate e le tipologie di aggregato su cui sono state testate. Ed infine verrà descritta la prova PATTI, ed i dati ottenuti.

4.1 OBIETTIVO

Come ampiamente descritto nei capitoli precedenti in questa tesi ci si è occupati dei materiali da riciclo (RAP) riutilizzati per le pavimentazioni stradali, e per far ciò si è andati ad analizzare l'effetto adesivo del tipo emulsione, ovvero la parte che lega il conglomerato bituminoso, su due principali supporti (aggregato calcareo e porfido). Inoltre, i due materiali di base sono stati testati oltre che nello stato vergine anche nello stato invecchiato, ovvero con uno strato di bitume invecchiato, ed in circostanze "wet" ovvero in presenza di acqua. Per concludere l'obiettivo della sperimentazione è quello di ricreare le probabili circostanze che si possono creare, sia per quanto riguarda un eventuale miscela preparata in stabilimento, che per le eventuali circostanze di riciclaggio in sito.

4.2 MATERIALI UTILIZZATI

Le basi di aggregato utilizzate come detto precedentemente sono due tipologie di roccia sono il porfido e il calcare:



Figura 12 Porfido

Figura 13 Calcare

Inoltre, oltre che testare il supporto nelle condizioni vergini si è proceduto anche all'invecchiamento degli stessi.

Ed inoltre con un diverso condizionamento "wet" e "dry".

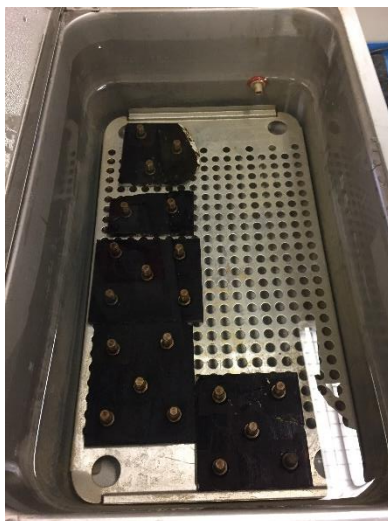


Figura 14 Provini Wet invecchiati.

Per quanto riguarda la parte del legante sono state utilizzate tre diverse emulsioni, della ditta Valli Zabban S.p.A, con le seguenti caratteristiche:

- **Emulsione Rigeval MC (C60B10)**

Questa risulta essere un'emulsione bituminosa tradizionale con bitume distillato, il contenuto di bitume si aggira intorno al 60%, di seguito la scheda tecnica


 Valli Zabban <small>DAL 1928</small> <small>TECNOLOGIE STRADALI</small>		SCHEDA TECNICA RIGEVAL MC			
Sito produttivo	Stabilimento di Bologna Stabilimento di Perugia	Via del Traghetto, 42 – 40100 Bologna Via della Valtiera, 101 – 06135 Collestrada			
Designazione	C60B10				
Descrizione del prodotto	Emulsione di bitume distillato per conglomerati bituminosi riciclati a freddo.				
Caratteristiche dell'emulsione	Metodo	U.d.M.	min	Prestazione max	Classe
Contenuto di legante	UNI EN 1428	%	58	62	6
Stabilità alla miscelazione con il cemento	UNI EN 12848	%		2	10
Viscosità a 40°C (tempo di efflusso tazza 2 mm)	UNI EN 12846	sec	15	70	3
Adesività	UNI EN 13614	%	90		3
Caratteristiche del legante recuperato tramite evaporazione (UNI EN 13074)					
Consistenza alla temperatura intermedia di esercizio Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm		100	3
Consistenza alle temperature elevate di esercizio Punto di rammollimento P.A.	UNI EN 1427	°C	43		6
Condizioni operative					
- Il prodotto deve essere messo in opera a temperature comprese tra 40 e 60°C. - Lo stoccaggio deve avvenire a temperature comprese tra 10 e 70°C. Attenzione: teme il gelo.. - Evitare riscaldamenti diretti con fluidi caldi aventi temperature superiori a 100°C. - In caso di stoccaggio prolungato senza movimentazione, si raccomanda di miscelare il prodotto per rimuovere l'eventuale sedimento. Non agitare l'emulsione con agitatori a pale. - Una volta all'anno è consigliabile la pulizia del serbatoio di stoccaggio					
<small>Le caratteristiche dichiarate nella presente scheda sono garantite e sono rilevabili, su campioni omogenei di prodotto prelevati in contraddittorio alla consegna secondo le vigenti norme, in particolare la UNI EN 58 e la UNI EN 12594.</small>					
<small>Rev.1 – 09/20</small>					

Figura 15 Scheda Tecnica Emulsione MC [1]

- **Emulsione Rigeval CM (C60BP10)**

Questa emulsione è costituita da emulsione acquosa con l'aggiunta di polimeri, quindi viene chiamato emulsione modificata con polimeri, di seguito la scheda tecnica:


 Valli Zabban <small>DAL 1928</small> <small>TECNOLOGIE STRADALI</small>		SCHEDA TECNICA RIGEVAL CM				
Sito produttivo	Stabilimento di Bologna Via del Tragheto, 42 – 40100 Bologna					
Designazione	C60BP10					
Descrizione del prodotto	Polymer Modified Bitumen in emulsione acquosa per conglomerati bituminosi riciclati a freddo prodotti in impianto.					
Caratteristiche dell'emulsione	Metodo	U.d.M.	min	Prestazione max	Classe	
Contenuto di legante	UNI EN 1428	%	58	62	6	
Stabilità alla miscelazione con il cemento	UNI EN 12848	%		2	10	
Viscosità a 40°C (tempo di efflusso tazza 2 mm)	UNI EN 12846	sec	15	70	3	
Adesività	UNI EN 13614	%	90		3	
Caratteristiche del legante recuperato tramite evaporazione (UNI EN 13074)						
Consistenza alla temperatura intermedia di esercizio Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm		70	3	
Consistenza alle temperature elevate di esercizio Punto di rammollimento P.A.	UNI EN 1427	°C	65		2	
Coesione Force ductility test a 10°C	UNI EN 13589 UNI EN 13703	J/cm ²	2		6	
Recupero di deformazione Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	75		4	
Condizioni operative						
<ul style="list-style-type: none"> - Il prodotto deve essere messo in opera a temperature comprese tra 40 e 60°C. - Lo stoccaggio deve avvenire a temperature comprese tra 10 e 70°C. Attenzione: teme il gelo.. - Evitare riscaldamenti diretti con fluidi caldi aventi temperature superiori a 100°C. - In caso di stoccaggio prolungato senza movimentazione, si raccomanda di miscelare il prodotto per rimuovere l'eventuale sedimento. Non agitare l'emulsione con agitatori a pale. - Una volta all'anno è consigliabile la pulizia del serbatoio di stoccaggio 						
<small>Le caratteristiche dichiarate nella presente scheda sono garantite e sono rilevabili, su campioni omogenei di prodotto prelevati in contraddittorio alla consegna secondo le vigenti norme, in particolare la UNI EN 58 e la UNI EN 12594.</small>						
<small>Rev.1 – 09/20</small>						

Figura 16 Scheda Tecnica Emulsione CM [2]

- **Emulsione Rigeval LX (C60BP10)**

Emulsione bituminosa modificato con l'aggiunta di lattice SBR, di seguito la scheda tecnica:


 Valli Zabban DAL 1928 TECNOLOGIE STRADALI		SCHEDA TECNICA RIGEVAL LX			
Sito produttivo	Stabilimento di Bologna Stabilimento di Perugia	Via del Traghetto, 42 – 40100 Bologna Via della Valtiera, 101 – 06135 Collestrada			
Designazione	C60BP10				
Descrizione del prodotto	Emulsione di bitume distillato e lattice SBR per conglomerati bituminosi riciclati a freddo				
Caratteristiche dell'emulsione	Metodo	U.d.M.	min	Prestazione max	Classe
Contenuto di legante	UNI EN 1428	%	60		6
Contenuto di acqua	UNI EN 1428	%		40	6
Grado di acidità pH	UNI EN 12850		2,0	4,0	
Stabilità alla miscelazione con il cemento	UNI EN 12848	%		2	10
Sedimentazione a 7 giorni	UNI EN 12847	%		10	3
Viscosità a 40°C (tempo di efflusso tazza 2 mm)	UNI EN 12846	sec	15	70	3
Caratteristiche del legante recuperato tramite evaporazione (UNI EN 13074)					
Consistenza alla temperatura intermedia di esercizio Penetrazione a 25°C	UNI EN 1426	dmm	50	70	3
Consistenza alle temperature elevate di esercizio Punto di ramollimento P.A.	UNI EN 1427	°C	55		2
Fragilità alle basse temperature Punto di rottura Fraass	UNI EN 12593	°C	-10		5
Recupero di deformazione Ritorno elastico a 25°C	UNI EN 13398	%	55		5
Condizioni operative					
<ul style="list-style-type: none"> - Il prodotto deve essere messo in opera a temperature comprese tra 40 e 60°C. - Lo stoccaggio deve avvenire a temperature comprese tra 10 e 70°C. Attenzione: teme il gelo.. - Evitare riscaldamenti diretti con fluidi caldi aventi temperature superiori a 100°C. - In caso di stoccaggio prolungato senza movimentazione, si raccomanda di miscelare il prodotto per rimuovere l'eventuale sedimento. Non agitare l'emulsione con agitatori a pale. - Una volta all'anno è consigliabile la pulizia del serbatoio di stoccaggio 					
<small>Le caratteristiche dichiarate nella presente scheda sono garantite e sono rilevabili, su campioni omogenei di prodotto prelevati in contraddittorio alla consegna secondo le vigenti norme, in particolare la UNI EN 58 e la UNI EN 12594.</small>					
<small>Rev.1 – 09/20</small>					

Figura 17 Scheda Tecnica Emulsione LX [3]

4.3 MACCHINARIO DI PROVA

- **Prova PATTI**

Il PATTI, **Pneumatic Adhesion Tensile Testing Instrument**, è stato sviluppato inizialmente dall'Istituto Nazionale degli Standards e delle Tecnologie americano (NIST, National Institute of Standards and Technology), e modificato successivamente da Youtcheff nel 1997, per valutare la capacità di resistenza a trazione del sistema bitume-aggregato di provini condizionati in differenti modalità. Tale prova viene detta modificata poiché essa era stata concepita inizialmente per la determinazione dell'adesione delle vernici sulle pareti. Per valutare l'adesione emulsione-aggregato, la prova si basa sull'adesione dell'emulsione sull'aggregato mediante l'utilizzo di piastrine dell'aggregato da testare. Un buon condizionamento del provino e del pistoncino fa sì che ci sia adesione tra il pistoncino e l'emulsione in modo da sottoporre lo stesso pistoncino ad una forza di trazione. Inoltre pistoncini hanno un vite auto-filettante che permette l'avvitamento alla macchina stessa del pistone.

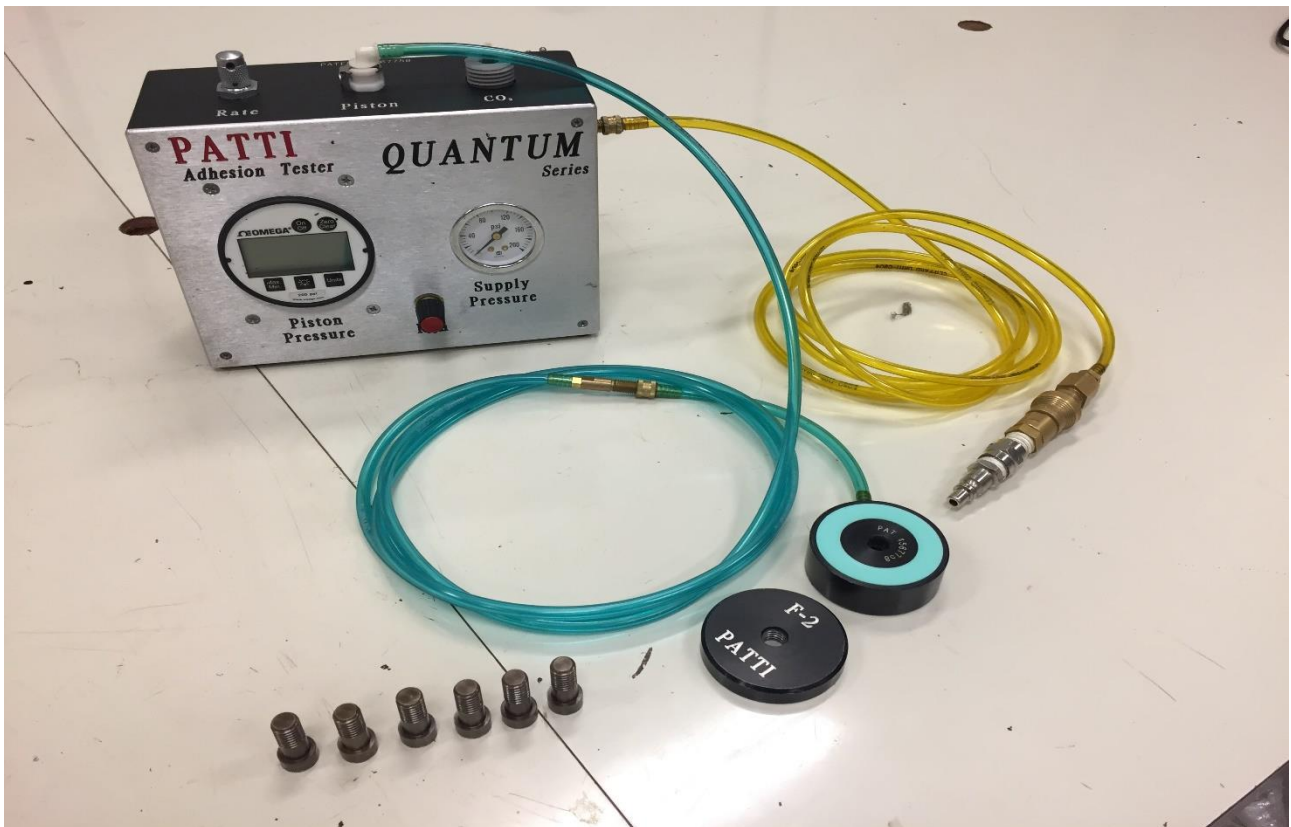


Figura 18 PATTI

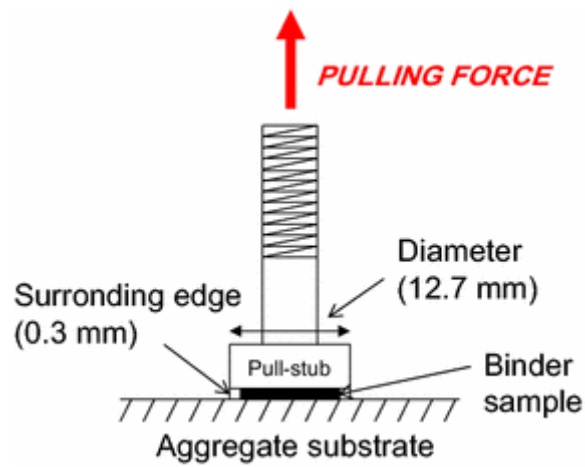


Figura 19 Pistoncino

Il funzionamento della macchina è dato dall'utilizzo di aria pressurizzata che entra all'interno della macchina mediante il collegamento del tubo giallo (vedi Fig.18) che fa pressurizzare la macchina, e il tubo blu collegato al piccolo martinetto dove è avvitato il pistoncino (vedi Fig.18), che applica la forza di trazione.

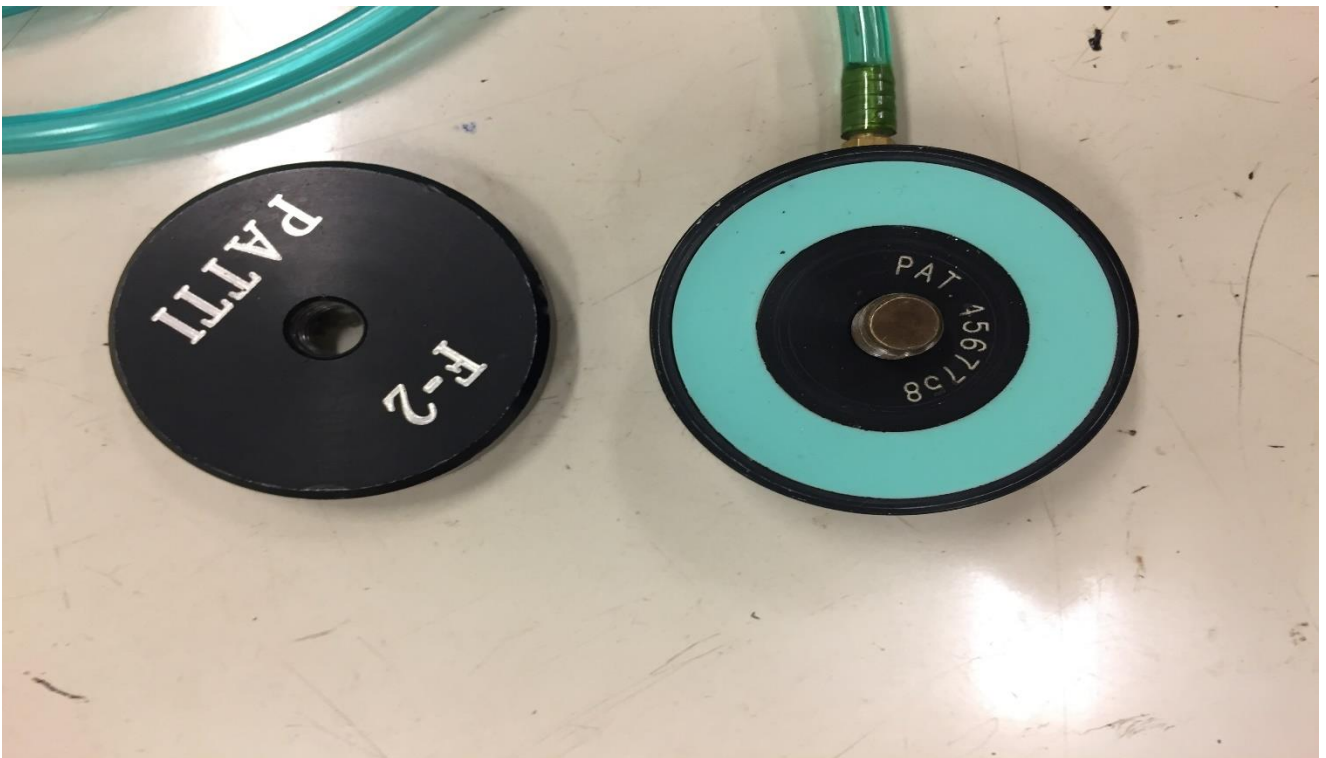


Figura 20 Martinetto

L'attivazione della macchina viene effettuata tramite il bottone rosso presente sulla stessa, e da quel momento viene applicata la pressione sul provino. Sul display possiamo visualizzare la pressione istantanea la massima e la minima, con unità di misura in psi. Risulta importante che durante la prova non si intralci in nessun modo la parte superiore del martinetto, poiché con tale operazione si altererebbero i valori. La rottura del provino è seguita da un rumore sordo, e da quel momento si può definire la prova conclusa.

4.4 PREPARAZIONE DEI PROVINI

Come precedentemente detto la prova è stata svolta utilizzando tre differenti tipologie di emulsione. Le emulsioni sono conservate in forno a 40° come specificato nelle schede tecniche fornite dalle aziende produttrici. È importante mescolare prima dell'utilizzo l'emulsione poiché è possibile che ci sia una separazione tra l'acqua che tende a rimanere in superficie e il bitume a fondo. La preparazione del provino avviene mettendo con una spatola la giusta quantità di emulsione all'interno di casseri di silicone.

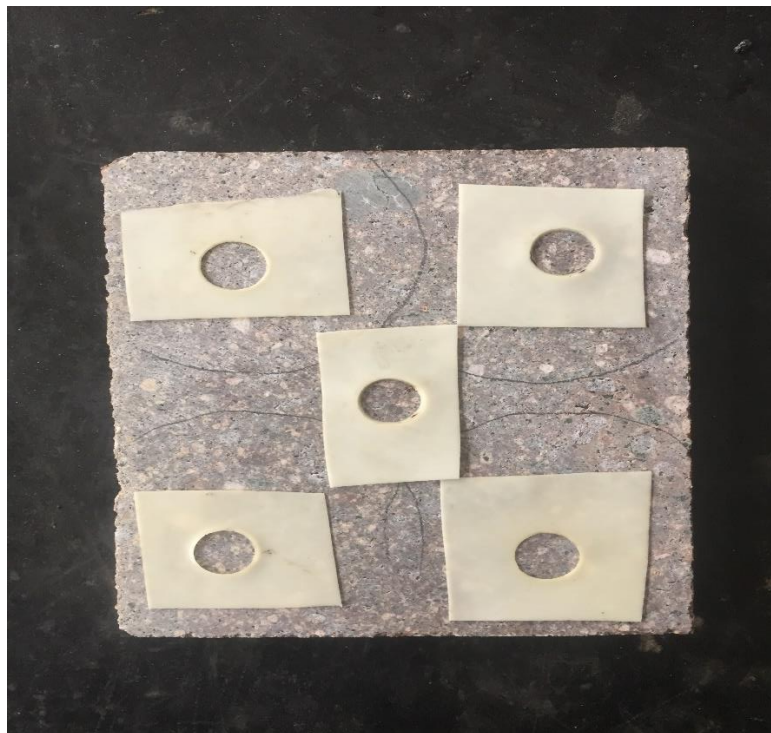


Figura 21 Casseri Provino

La quantità scelta dopo diversi test preliminari è stata di $0,14 \pm 0,005$ g, è tale quantità è stata misurata con l'utilizzo una bilancia elettronica



Figura 22 Bilancia Elettronica

Infine tutti i provini sono stati condizionati per 24 ore a 40 gradi in modo da farli asciugare, tenendo comunque il cassero per le 24 ore.

Le emulsioni oltre che essere testate su aggregati vergini sono state testate anche su provini invecchiati, in modo da realizzare uno strato che riproduca il conglomerato di riciclo.

CAPITOLO 5 - PROVA BBS PER LE EMULSIONI

Il nome del test che viene effettuato è BBS (Binder Bond Strength) e viene effettuato, come già visto, mediante un modificato strumento pneumatico per prove di trazione di adesione (PATTI). Per effettuare la prova sono stati applicati i seguenti condizionamenti.

5.1 PREPARAZIONE DEI PROVINI E DEI CASSERI

Per preparare i provini per la prova PATTI sono stati utilizzati dei casseri in silicone, ed inoltre per far sì che il cassero aderisse perfettamente all'aggregato, ed evitare l'eventuale rifluimento di emulsione al di sotto del cassero, si è adoperato anche del grasso con l'obbiettivo di "incollare" il cassero ed eliminare le bolle d'aria presenti. Le dimensioni del cassero utilizzate sono simili alla grandezza del pistoncino e hanno un diametro esterno di circa 12mm, e risultavano avere un ridotto spessore necessario al fine di ottenere una forma convessa della goccia dell'emulsione versata, che favorisse la fuoriuscita dell'aria durante l'incollaggio del pistoncino.

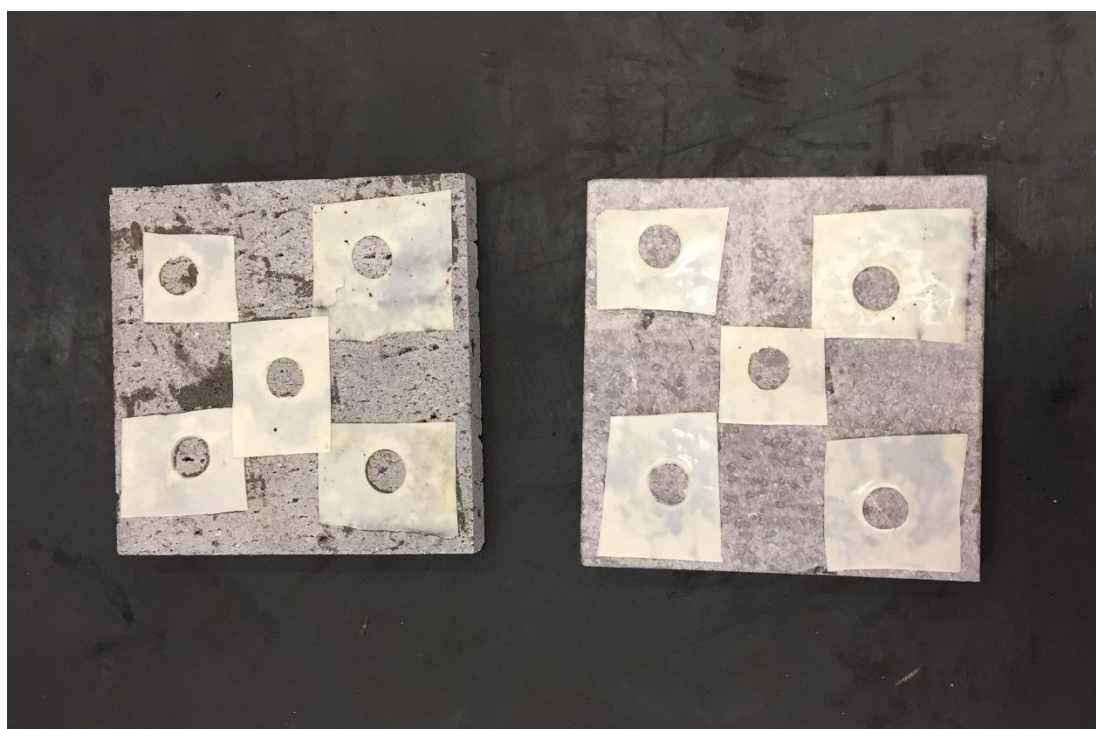


Figura 23 Casseri provini

5.2 INVECCHIAMENTO MATTONELLE PROVINI

Come precedente espresso si è voluto analizzare sia le condizioni di aggregato vergine che le condizioni di aggregato invecchiato. Per effettuare l'invecchiamento in modo da riprodurre il più possibile le condizioni in sito, è stato utilizzato un bitume modificato Hard 45/80-70, condizionato nella seguente maniera:

- Riscaldamento del bitume a 170°C per circa 2-2,5 ore in modo da far diventare il bitume sufficientemente viscoso e spalmabile con un pennello;
- Riscaldamento delle mattonelle di porfido e calcare a 170°C per simulare anche il riscaldamento degli inerti, per circa 30 minuti;
- Mediante l'utilizzo di un pennello si è creato un sottile film di bitume sulla superficie di ogni supporto;
- Infine le mattonelle sono state poste per 4 +/- 0.5 ore in forno a 135°C successivamente per 120 ore a 85°C in accordo con la norma AASHTO R 30.

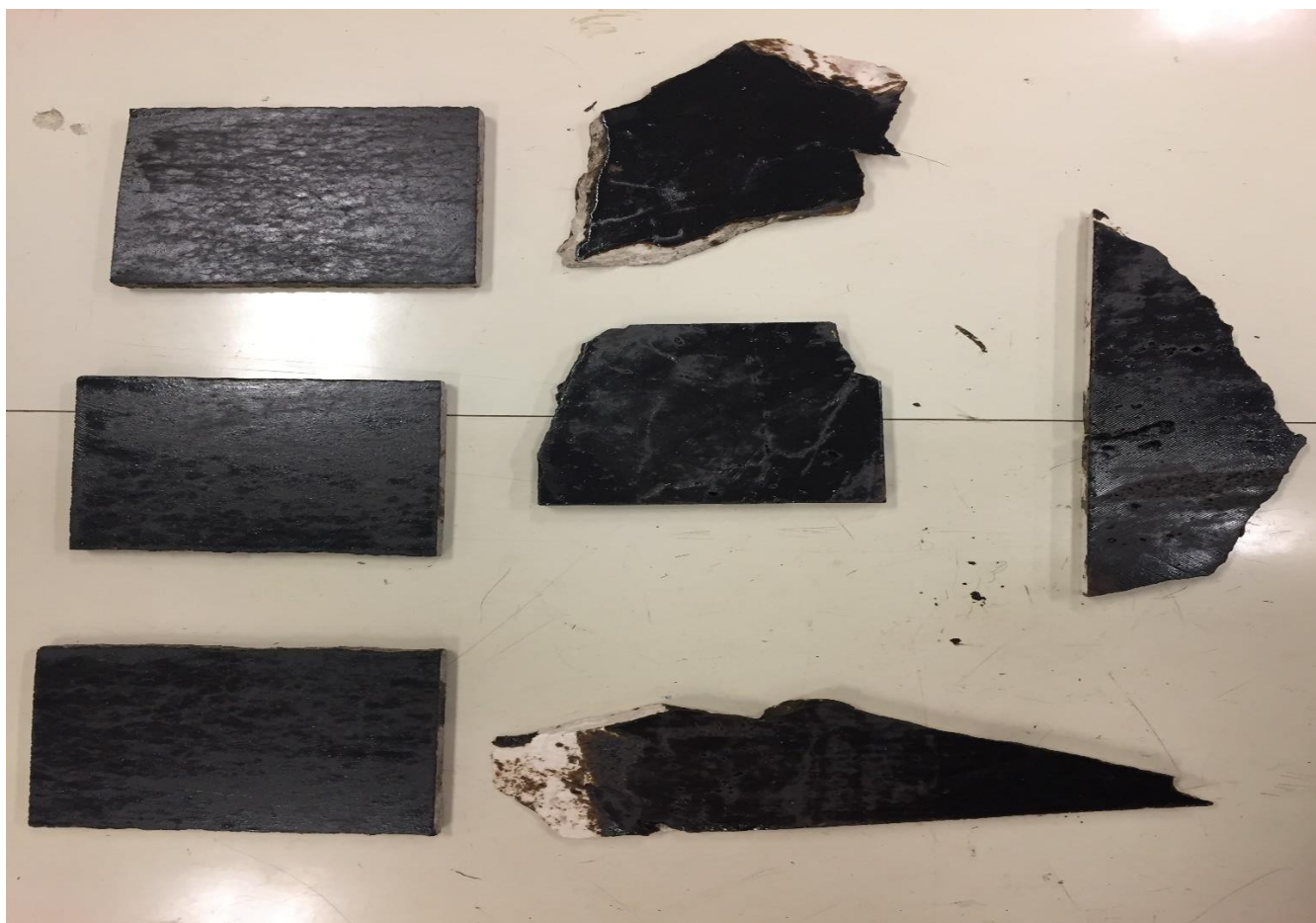
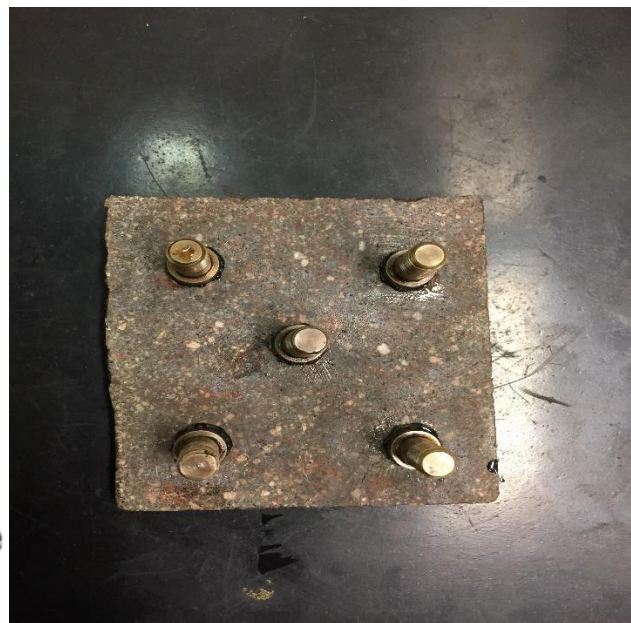
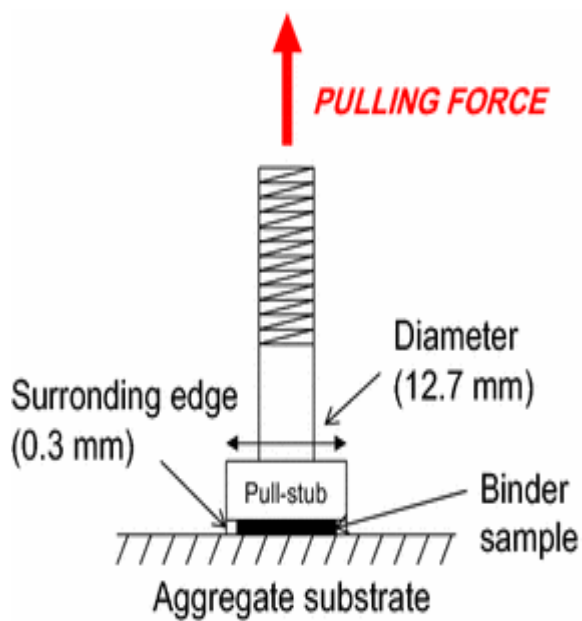


Figura 24 Aggregati invecchiati

5.3 PISTONCINI PER PROVA PATTI

I pistoncini per la prova PATTI utilizzati sono di tipo F-12 hanno un diametro interno di 11 mm ed un'area di 0.1472 pollici quadrati. Sono stati utilizzati pistoncini in ottone aventi una filettatura utile per essere avvitati al martinetto pneumatico della prova PATTI.



5.4 CONDIZIONAMENTO PROVINI DRY

Il condizionamento effettuato per provini vergini è lo stesso effettuato per i provini invecchiati, seguendo tale procedura

- Preparazione provino con almeno 5 allocazioni per i pistoncini con 0.14 ± 0.005 g di emulsione
- Provino inserito in forno a 40°C per 24 ore

INCOLLAGGIO PISTONCINI

La procedura di incollaggio dei pistoncini prevede:

- Riscaldamento per circa 30 minuti in forno dei pistoncini a 60°C
- Incollaggio pistoncini-legante
- Inserimento del sistema pistone-legante in forno a 60 °C per 30 minuti;
- Inserimento in camera climatica dell'intero sistema pistone-legante-supporto per 60 minuti a 25 °C

Riepilogo procedura DRY:

- Preparazione provini con 0.14 ± 0.005 di emulsione bituminosa
- Condizionamento a 40°C per 24 ore
- Riscaldamento pistoncini per circa 30 minuti a 60°C
- Incollaggio pistoncini
- Condizionamento a 60°C per 30 minuti del sistema aggregato-bitume
- Condizionamento a 25°C per 1 ora del sistema aggregato-bitume

5.5 CONDIZIONAMENTO PER PROVINI WET

Per quanto riguarda il condizionamento dei provini wet sono stati condizionati nella seguente maniera:

- Preparazione provino con almeno 5 allocazioni per i pistoncini con 0.14 ± 0.005 g di emulsione
- Provino inserito in forno a 40°C per 24 ore
- Incollaggio dei pistoncini

In seguito mediante l'utilizzo di un bagno termostatico il provino è stato depositato al suo interno per 24 ore in modo da valutarne le prestazioni dopo un contatto prolungato con acqua.



Figura 25 Bagno Termostatico con Provini

Dopo le 24 ore il provino è stato asciugato ed è stata effettuata la prova PATTI.

Riepilogo procedura WET:

- Preparazione provini con 0.14 ± 0.005 di emulsione bituminosa
- Condizionamento a 40°C per 24 ore
- Riscaldamento pistoncini per circa 30 minuti a 60°C
- Incollaggio pistoncini
- Condizionamento a 60°C per 30 minuti del sistema aggregato-bitume
- Raffreddamento sistema aggregato-bitume per circa 10-15 minuti
- Immersione per 24 ore in bagno termo statico a 25°C
- Pulizia acqua in eccesso e prova PATTI



Figura 26 Bagno Termostatico

5.6 RIEPILOGO

- **CONDIZIONAMENTO**

DRY			WET			
TEMPO PRE-INCOLAGGIO	24H	T= 40°	TEMPO PRE-INCOLAGGIO		24H	T= 40°
TEMPO RISC. PISTONCINI	30 MIN	T= 60°	TEMPO RISC. PISTONCINI		30 MIN	T= 60°
TEMPO PISTONCINO+BITUME	30 MIN	T= 60°	TEMPO PISTONCINO+BITUME		30 MIN	T= 60°
TEMPO COND.FINALE	60 MIN	T=25°	TEMPO TEMP.AMBIENTE		10 MIN	
			IMM.ACQUA T=25°		24H	T=25°

- **SUPPORTO**

CAMPIONI
PORFIDO
CALCARE

- **STATO**

CONDIZIONE
VERGINE
INVECCHIATO

- **EMULSIONI**

EMULSIONI
MC TRADIZIONALE
LX LATTICE
CM MODIFICATO

CAPITOLO 6 -RISULTATI DELLE PROVE SPERIMENTALI

Come precedentemente descritto in questo percorso sperimentale ci si è concentrati sullo studio di 3 tipologie diverse di emulsione con diversi condizionamenti dell'aggregato, per ogni supporto sono stati creati 5 provini, in modo da omogenizzare i risultati, su cui eseguire la prova PATTI. Ogni provino è stato denominato con una sigla che sarà presentata a seguire.

DENOMINAZIONE DELLE PROVE:

DENOMINAZIONE CONDIZIONAMENTO

- WET **W**
- DRY **D**

DENOMINAZIONE PROVINI

- Calcare **C**
- Porfido **P**

DENOMINAZIONE STATO

- Vergine **V**
- Invecchiato **I**

TIPOLOGIA EMULSIONE

- MC (Emulsione Tradizionale)
- LX (Emulsione con Lattice)
- CM (Emulsione modificata)

Facendo un esempio, un provino che ha come supporto il calcare, vergine, condizionato wet sarà denominato con la seguente sigla: **“WCV”**.

Inoltre nei dati sono stati analizzati anche le modalità di rottura dei provini e le varie pressioni di rottura.

6.1 PROVA PATTI

La prova PATTI (Pneumatic Adhesion Tensile Testing Instrument) descritta precedentemente, viene fatta a temperatura ambiente registrando sullo strumento la pressione di rottura necessaria a provocare il distacco tra pistoncino ed aggregato trovando il BP (Burst Pressure). Dunque si legge la BP (psi) e la si converte in POTS (Pull-Off Tensile Strength), forza di trazione del tiraggio (psi), mediante la relazione per poi convertire la forza da psi (pound per square inch) a kPa (chilo pascal). Oltre a riportare i valori di POTS, si osservano l'aggregato e il pistoncino per individuare il tipo di rottura (adesiva, coesiva, ibrida ovvero un misto tra le precedenti).

$$POTS = \frac{(BP \times Ag) - C}{Aps}$$

POTS = Forza di trazione del tiraggio (psi)

BP = Pressione di distacco provino (psi)

Ag = Area di contatto tra guarnizione e piatto di reazione = 1,914 pollici² per pistone di tipo F-2

C = Costante del pistone = 0,180 +/- 1,5% per pistone F-2

Aps = Area del pistoncino = 0,1472 pollici²

Conversioni 1 psi = 6,895 kpa

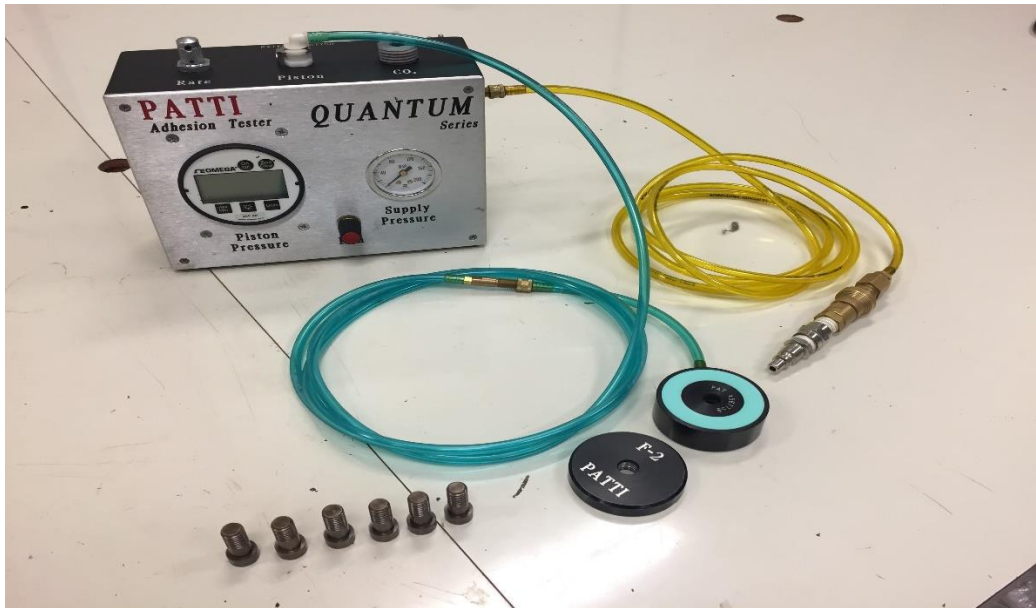


Figura 27 PATTI

6.2 TIPOLOGIE DI ROTTURA

Come accennato si sono analizzate anche le principali tipologie di rottura, che risultano esse principalmente di tre tipi

- **COESIVA**
- **ADESIVA**
- **IBRIDA**

Nella rottura coesiva si ha il cedimento del bitume stesso, ovvero l'aderenza tra bitume e aggregato risulta essere così elevata da far strappare il bitume stesso. Tale rottura fa sì che uno strato di bitume rimanga ancora sull'aggregato con la presenza di evidenti segni di strappo.

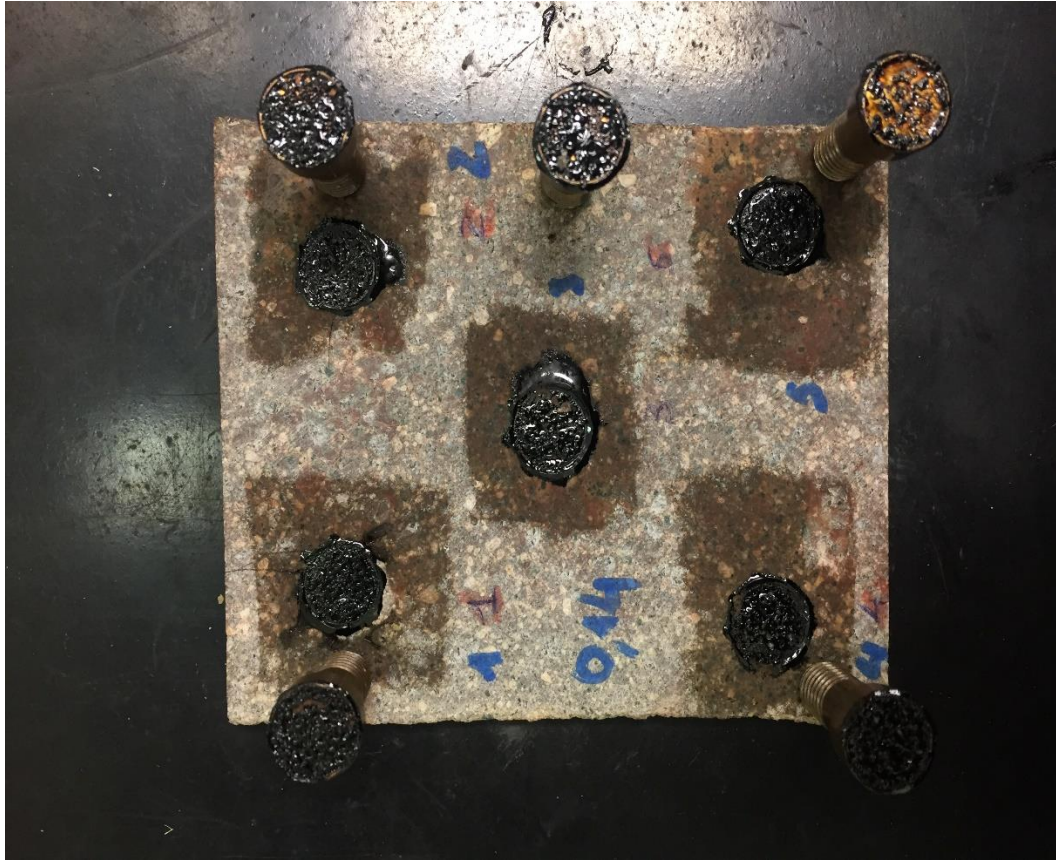


Figura 28 Rotture di tipo Coesivo

Le rotture di tipo adesivo sono quelle in cui si ha un limite di adesione tra il supporto ed il bitume stesso. Questo tipo di rottura si verifica principalmente nelle condizioni "wet".

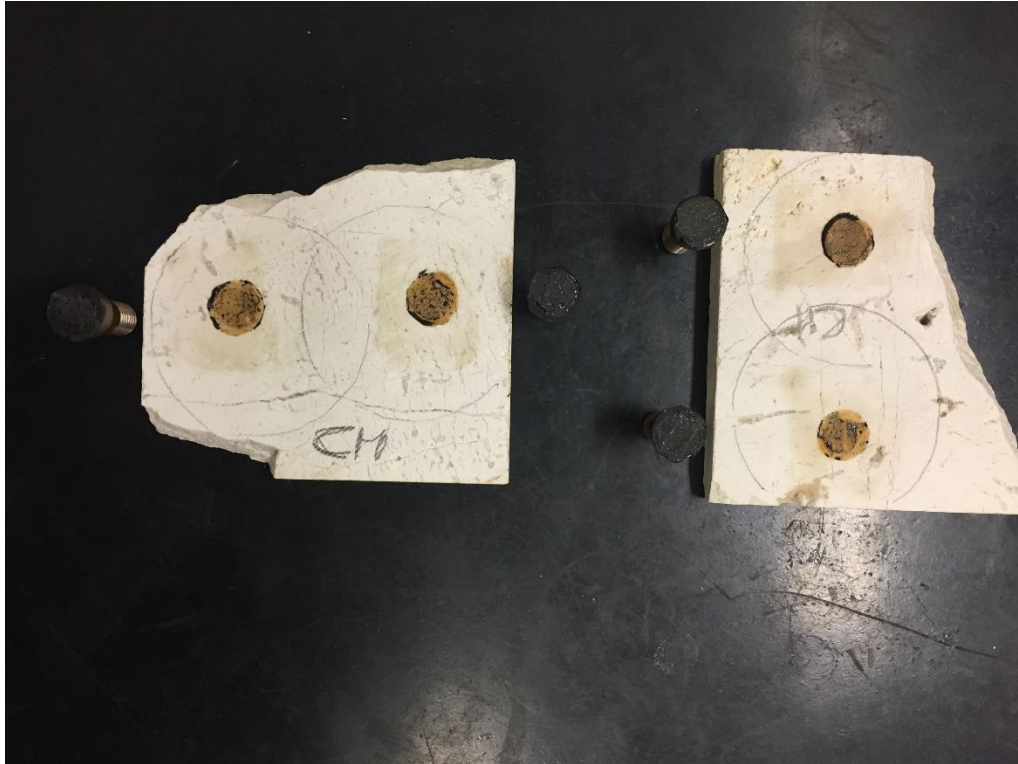


Figura 29 Rotture di tipo Adesive

Infine, risultano essere rotture di tipo ibrido quando le rotture sono un misto tra le due precedenti descritte.

6.3 RISULTATI PROVE

In questo capitolo si analizzeranno i dati ottenuti in laboratorio mediante la prova PATTI precedentemente illustrata. I risultati ottenuti sono stati analizzati e raggruppati in base al condizionamento eseguito sui provini e in base alle emulsioni utilizzate. I risultati saranno illustrati anche mediante l'utilizzo di grafici in modo da confrontare le varie condizioni. Come precedentemente espresso le prove sono state suddivise in cinque provini per supporto in modo da ottenere dei risultati con condizioni di partenza più simili possibili. I principali confronti che andremo ad analizzare sarà il comportamento delle diverse emulsioni sui due tipi di supporti e il loro comportamento in condizionamenti diversi. Nei risultati saranno presenti le pressioni di distacco del pistoncino in psi, i risultati in POTS (kpa) e saranno analizzate le principali tipologie di rotture. Sono presenti anche dei risultati evidenziati in rosso che indicano risultati eccessivamente lontani dal valore medio, dovuto a possibili errori grossolani e di sensibilità.

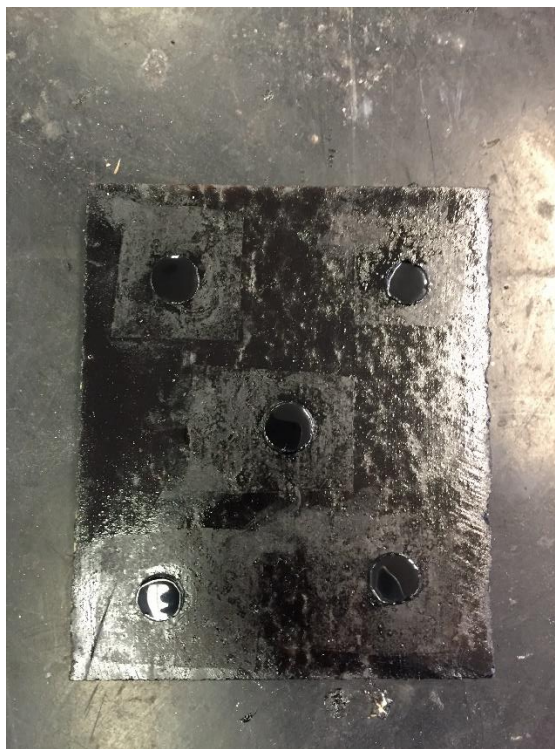


Figura 30 Pre-incollaggio



Figura 31 Incollaggio pistoni

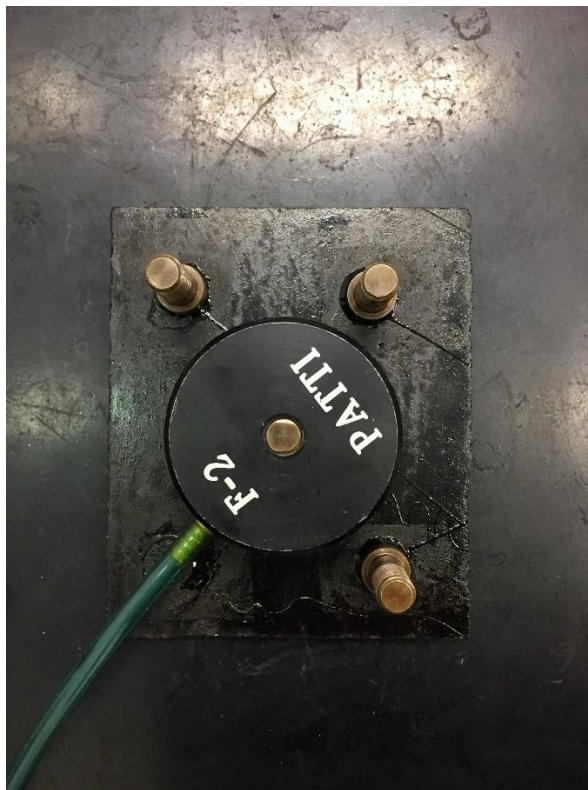


Figura 32 PATTI

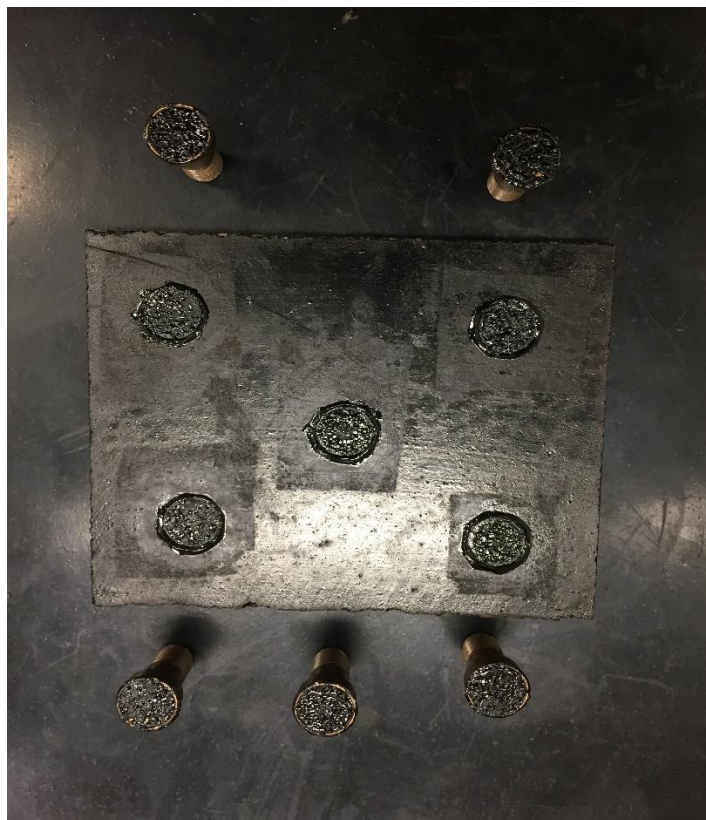


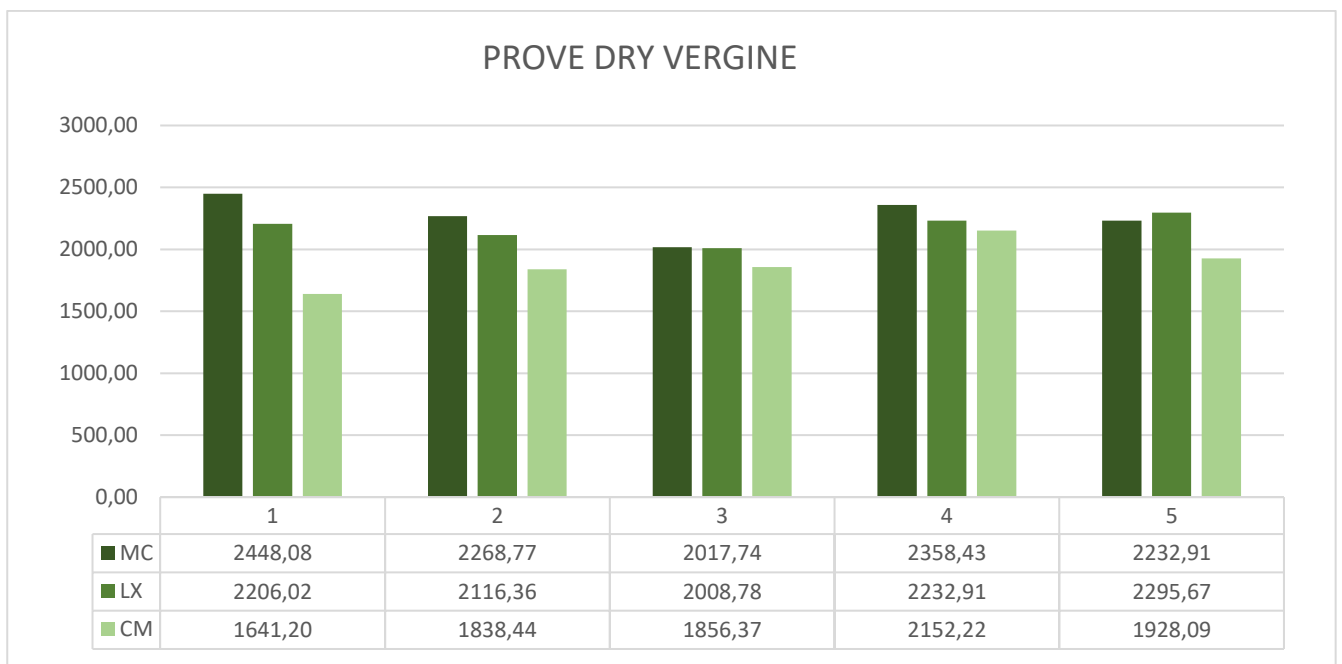
Figura 33 Povini rotti

Risultati Prove: DRY CALCARE VERGINE (DCV)

Risultati prove:

CALCARE	Pistone	psi	POTS (psi)	kPa	Rottura	media POTS	Rottura Prevalente
DCV(mc)	1	27,4	355,05	2448,08	C	2265,19	COESIVA
	2	25,4	329,05	2268,77	C		
	3	22,6	292,64	2017,74	A		
	4	26,4	342,05	2358,43	C		
	5	25	323,85	2232,91	C		
DCV(lx)	1	24,7	319,94	2206,02	C	2171,95	ADESIVA
	2	23,7	306,94	2116,36	C		
	3	22,5	291,34	2008,78	A		
	4	25	323,85	2232,91	A		
	5	25,7	332,95	2295,67	A		
DCV(cm)	1	18,4	238,03	1641,20	A	1883,26	ADESIVA
	2	20,6	266,63	1838,44	A		
	3	20,8	269,23	1856,37	A		
	4	24,1	312,14	2152,22	A		
	5	21,6	279,64	1928,09	A		

Confronto tra le varie emulsioni:

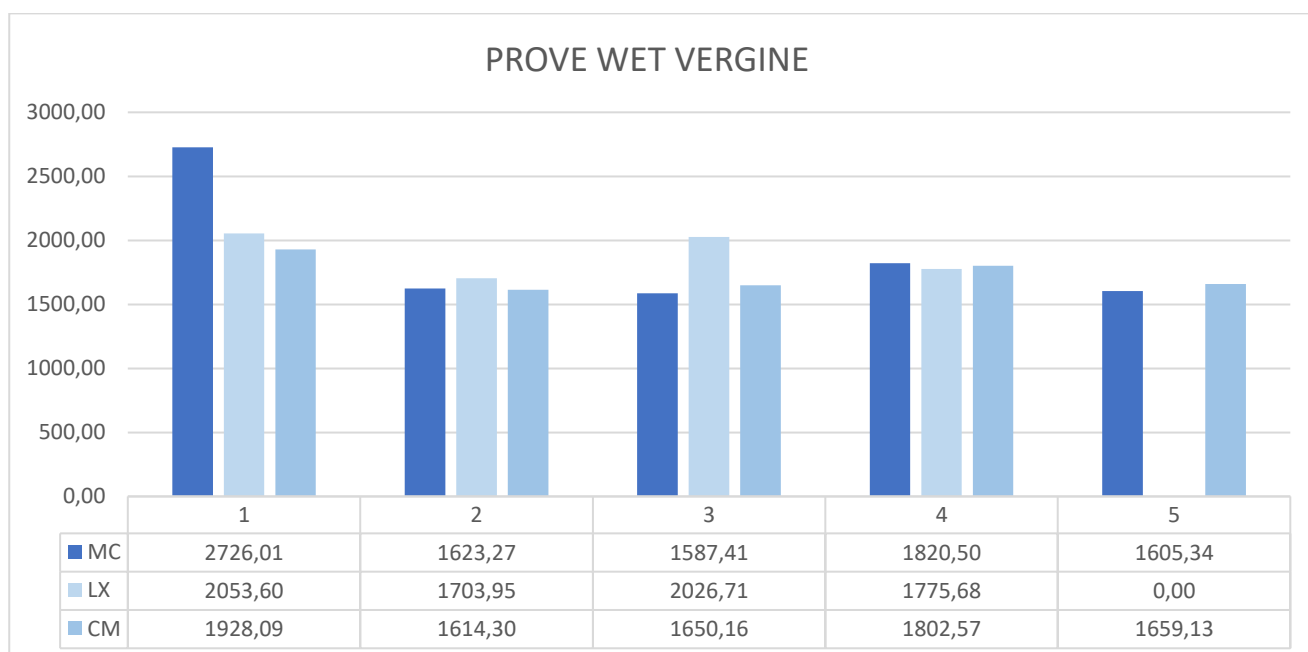


Risultati Prove: WET CALCARE VERGINE (WCV)

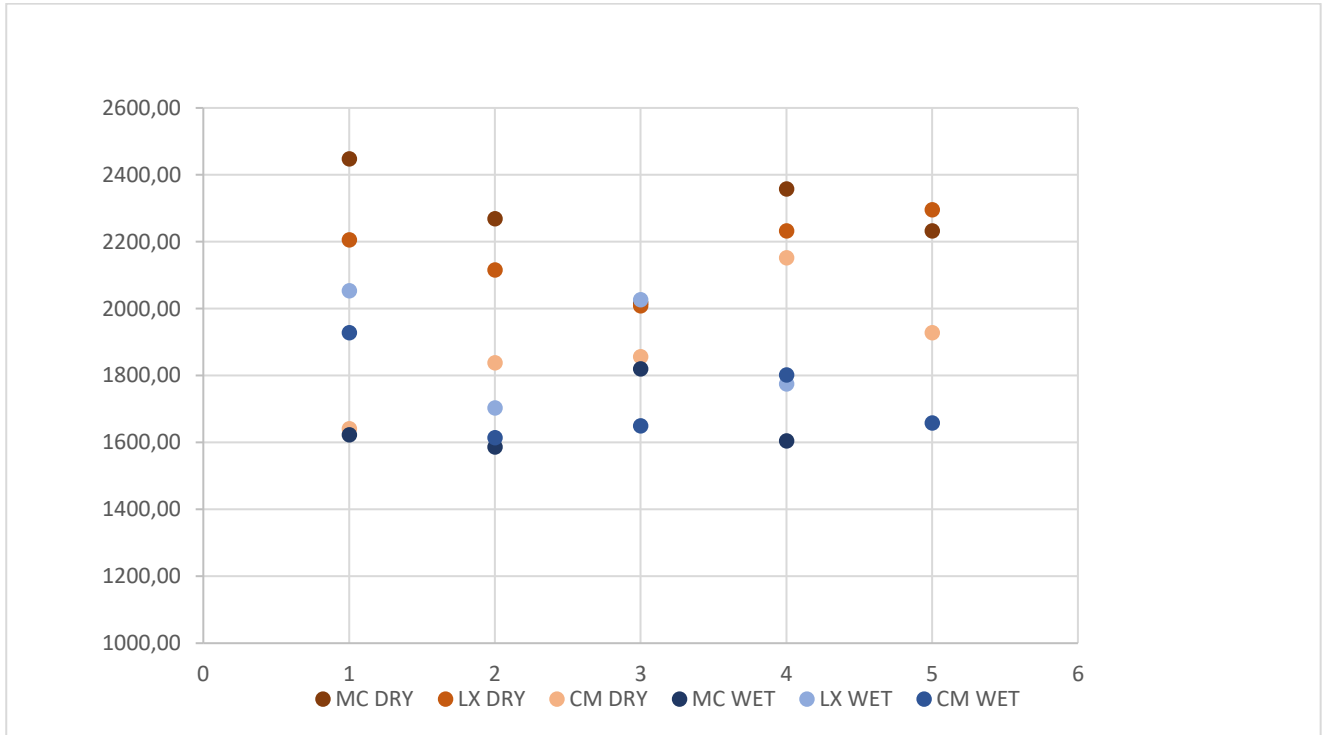
Risultato prove:

WCV(mc)	1	30,5	395,36	2726,01	A	1659,13	ADESIVA
	2	18,2	235,43	1623,27	C		
	3	17,8	230,23	1587,41	A		
	4	20,4	264,03	1820,50	A		
	5	18	232,83	1605,34	A		
WCV(lx)	1	23	297,84	2053,60	I	1889,99	ADESIVA
	2	19,1	247,13	1703,95	A		
	3	22,7	293,94	2026,71	A		
	4	19,9	257,53	1775,68	A		
	5	0	0,00	0,00	ND		
WCV(cm)	1	21,6	279,64	1928,09	A	1681,54	ADESIVA
	2	18,1	234,13	1614,30	A		
	3	18,5	239,33	1650,16	A		
	4	20,2	261,43	1802,57	A		
	5	18,6	240,63	1659,13	A		

Confronto tra emulsioni:



Confronto tra provini WET e DRY:



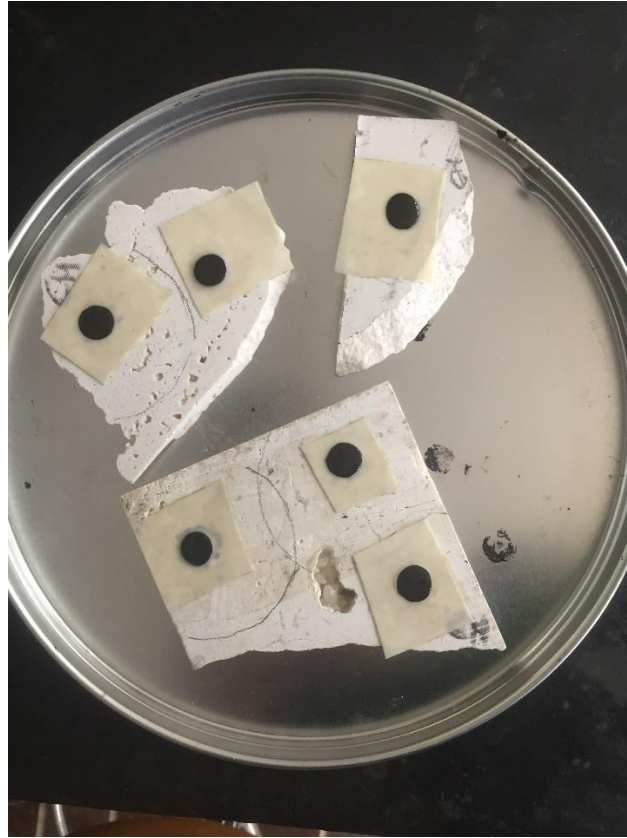


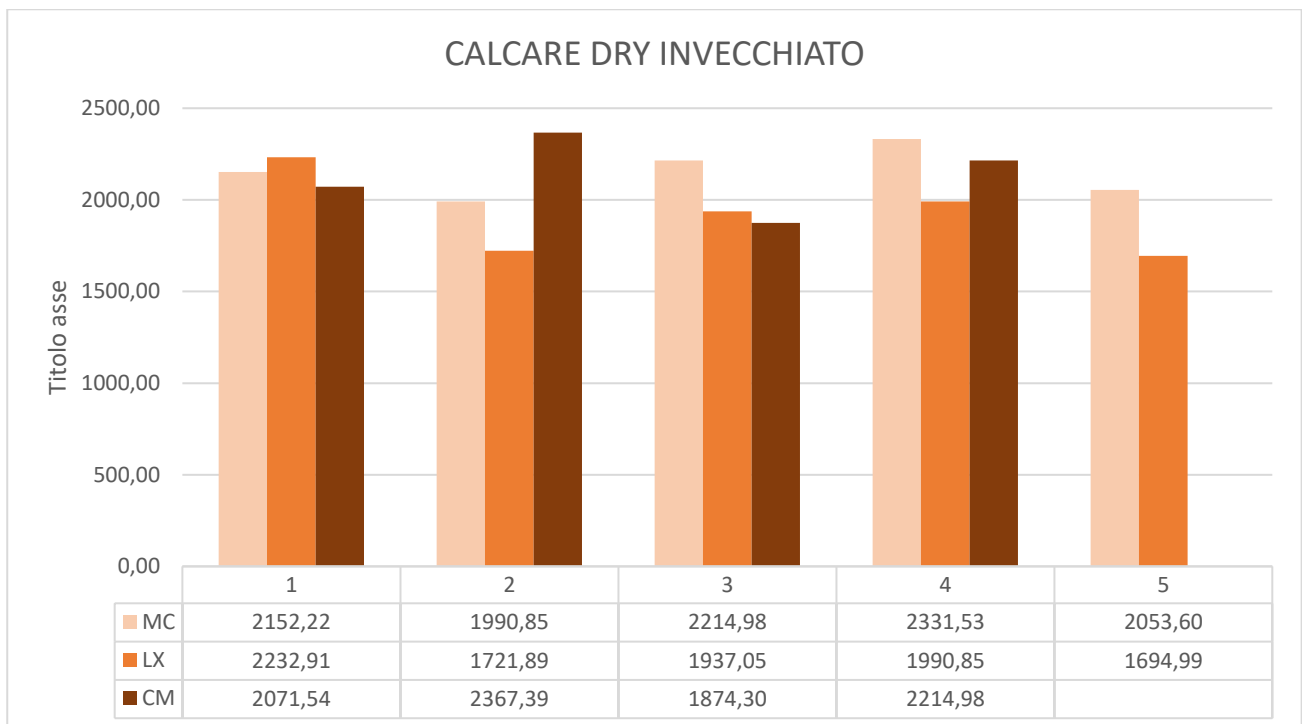
Figura 34 Provini Calcare

Risultati prove: DRY CALCARE INVECCHIATO (DCI)

Risultato Prove:

CALCARE	Pistone	psi	POTS (psi)	kPa	Rottura	media POTS	Rottura Prevalente
DCI(mc)	1	24,1	312,14	2152,22	C	2148,64	MISTA
	2	22,3	288,74	1990,85	A		
	3	24,8	321,24	2214,98	I		
	4	26,1	338,15	2331,53	C		
	5	23	297,84	2053,60	A		
DCI(lx)	1	25	323,85	2232,91	A	1915,54	ADESIVA
	2	19,3	249,73	1721,89	A		
	3	21,7	280,94	1937,05	I		
	4	22,3	288,74	1990,85	A		
	5	19	245,83	1694,99	I		
DCI(cm)	1	14,8	191,22	1318,44	A	1969,33	ADESIVA
	2	23,2	300,44	2071,54	A		
	3	26,5	343,35	2367,39	A		
	4	21	271,83	1874,30	A		
	5	24,8	321,24	2214,98	A		

Confronto emulsioni:

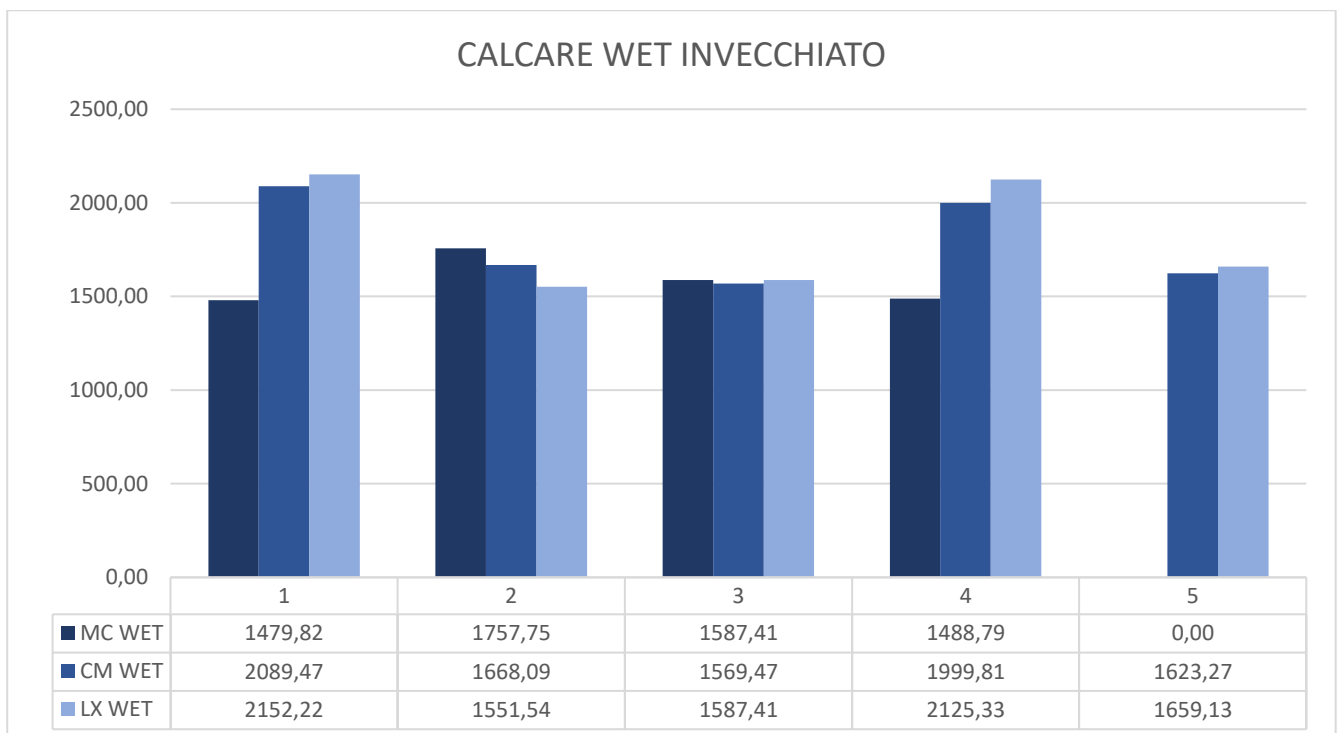


Risultati Prove: WET CALCARE INVECCHIATO (WCI)

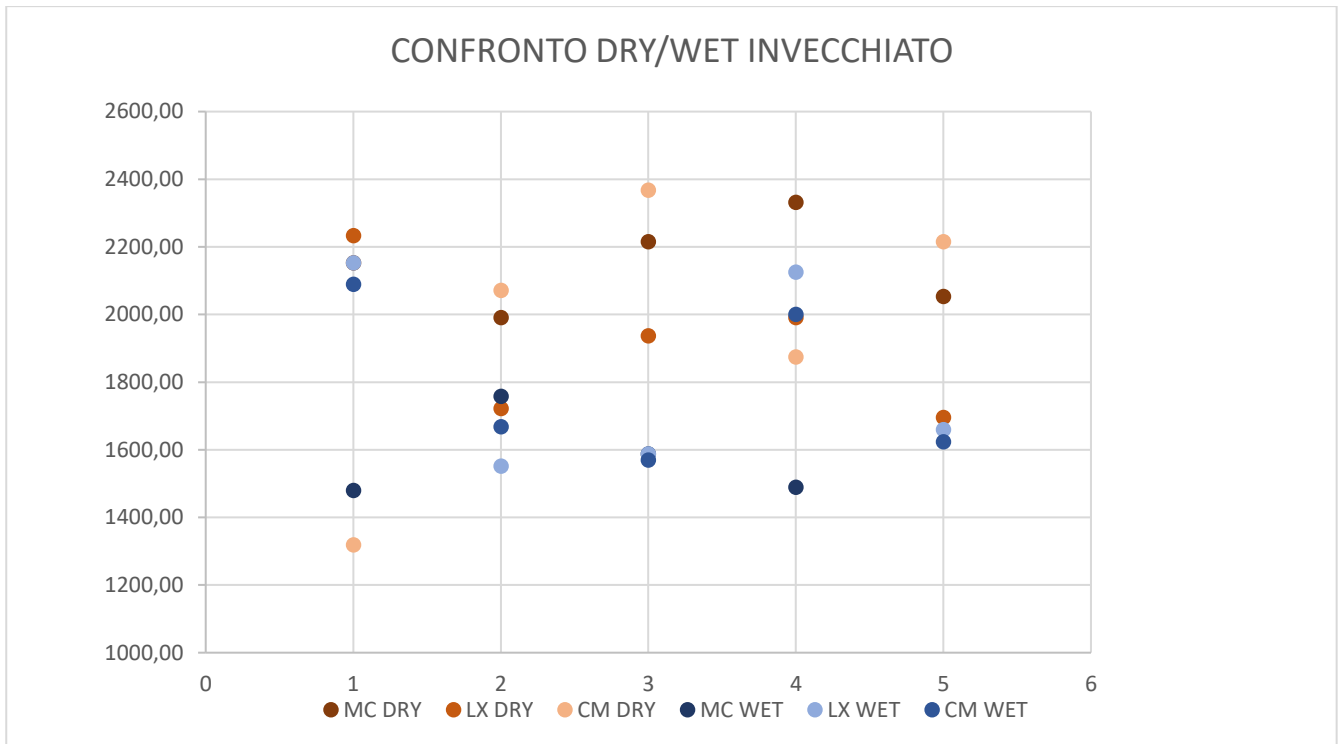
Risultati Prove:

CALCARE	Pistone	psi	POTS (psi)	kPa	Rottura	media POTS	Rottura Prevalente
WCI(mc)	1	16,6	214,62	1479,82	C	1578,44	COESIVA
	2	19,7	254,93	1757,75	C		
	3	17,8	230,23	1587,41	C		
	4	16,7	215,92	1488,79	A		
	5	0	0,00	0,00	Rot.Agg.		
WCI(lx)	1	24,1	312,14	2152,22	A	1815,13	ADESIVA
	2	17,4	225,02	1551,54	A		
	3	17,8	230,23	1587,41	C		
	4	23,8	308,24	2125,33	A		
	5	18,6	240,63	1659,13	A		
WCI(cm)	1	23,4	303,04	2089,47	C	1790,02	COESIVA
	2	18,7	241,93	1668,09	C		
	3	17,6	227,63	1569,47	I		
	4	22,4	290,04	1999,81	C		
	5	18,2	235,43	1623,27	C		

Confronto emulsioni:



Confronto tra provini DRY e WET



Riepilogo risultati: CALCARE

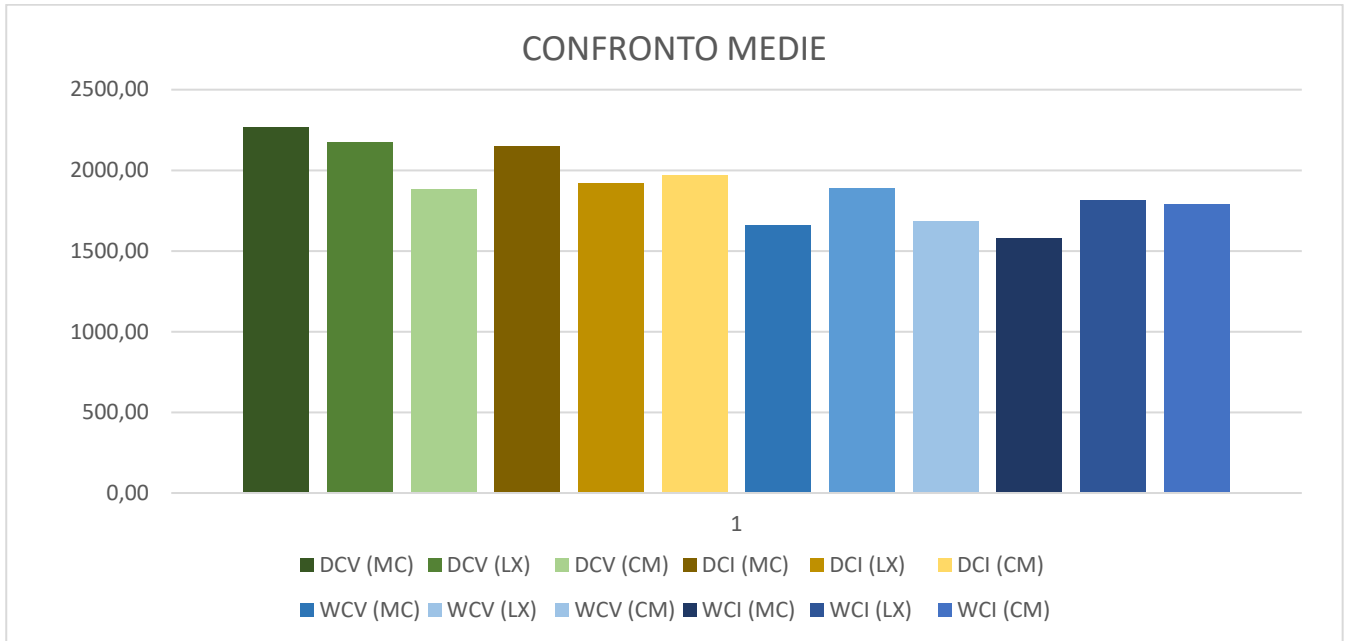
• CALCARE DRY

CALCARE	Pistone	psi	POTS (psi)	kPa	Rottura	media POTS	Rottura Prevalente
DCV(mc)	1	27,4	355,05	2448,08	C	2265,19	COESIVA
	2	25,4	329,05	2268,77	C		
	3	22,6	292,64	2017,74	A		
	4	26,4	342,05	2358,43	C		
	5	25	323,85	2232,91	C		
DCV(lx)	1	24,7	319,94	2206,02	C	2171,95	ADESIVA
	2	23,7	306,94	2116,36	C		
	3	22,5	291,34	2008,78	A		
	4	25	323,85	2232,91	A		
	5	25,7	332,95	2295,67	A		
DCV(cm)	1	18,4	238,03	1641,20	A	1883,26	ADESIVA
	2	20,6	266,63	1838,44	A		
	3	20,8	269,23	1856,37	A		
	4	24,1	312,14	2152,22	A		
	5	21,6	279,64	1928,09	A		
DCI(mc)	1	24,1	312,14	2152,22	C	2148,64	MISTA
	2	22,3	288,74	1990,85	A		
	3	24,8	321,24	2214,98	I		
	4	26,1	338,15	2331,53	C		
	5	23	297,84	2053,60	A		
DCI(lx)	1	25	323,85	2232,91	A	1915,54	ADESIVA
	2	19,3	249,73	1721,89	A		
	3	21,7	280,94	1937,05	I		
	4	22,3	288,74	1990,85	A		
	5	19	245,83	1694,99	I		
DCI(cm)	1	14,8	191,22	1318,44	A	1969,33	ADESIVA
	2	23,2	300,44	2071,54	A		
	3	26,5	343,35	2367,39	A		
	4	21	271,83	1874,30	A		
	5	24,8	321,24	2214,98	A		

• **CALCARE WET**

CALCARE	Pistone	psi	POTS (psi)	kPa	Rottura	media POTS	Rottura Prevalente
WCV(mc)	1	30,5	395,36	2726,01	A	1659,13	ADESIVA
	2	18,2	235,43	1623,27	C		
	3	17,8	230,23	1587,41	A		
	4	20,4	264,03	1820,50	A		
	5	18	232,83	1605,34	A		
WCV(lx)	1	23	297,84	2053,60	I	1889,99	ADESIVA
	2	19,1	247,13	1703,95	A		
	3	22,7	293,94	2026,71	A		
	4	19,9	257,53	1775,68	A		
	5	0	0,00	0,00	ND		
WCV(cm)	1	21,6	279,64	1928,09	A	1681,54	ADESIVA
	2	18,1	234,13	1614,30	A		
	3	18,5	239,33	1650,16	A		
	4	20,2	261,43	1802,57	A		
	5	18,6	240,63	1659,13	A		
WCI(mc)	1	16,6	214,62	1479,82	C	1578,44	COESIVA
	2	19,7	254,93	1757,75	C		
	3	17,8	230,23	1587,41	C		
	4	16,7	215,92	1488,79	A		
	5	0	0,00	0,00	Rot.Agg.		
WCI(lx)	1	24,1	312,14	2152,22	A	1815,13	ADESIVA
	2	17,4	225,02	1551,54	A		
	3	17,8	230,23	1587,41	C		
	4	23,8	308,24	2125,33	A		
	5	18,6	240,63	1659,13	A		
WCI(cm)	1	23,4	303,04	2089,47	C	1790,02	COESIVA
	2	18,7	241,93	1668,09	C		
	3	17,6	227,63	1569,47	I		
	4	22,4	290,04	1999,81	C		
	5	18,2	235,43	1623,27	C		

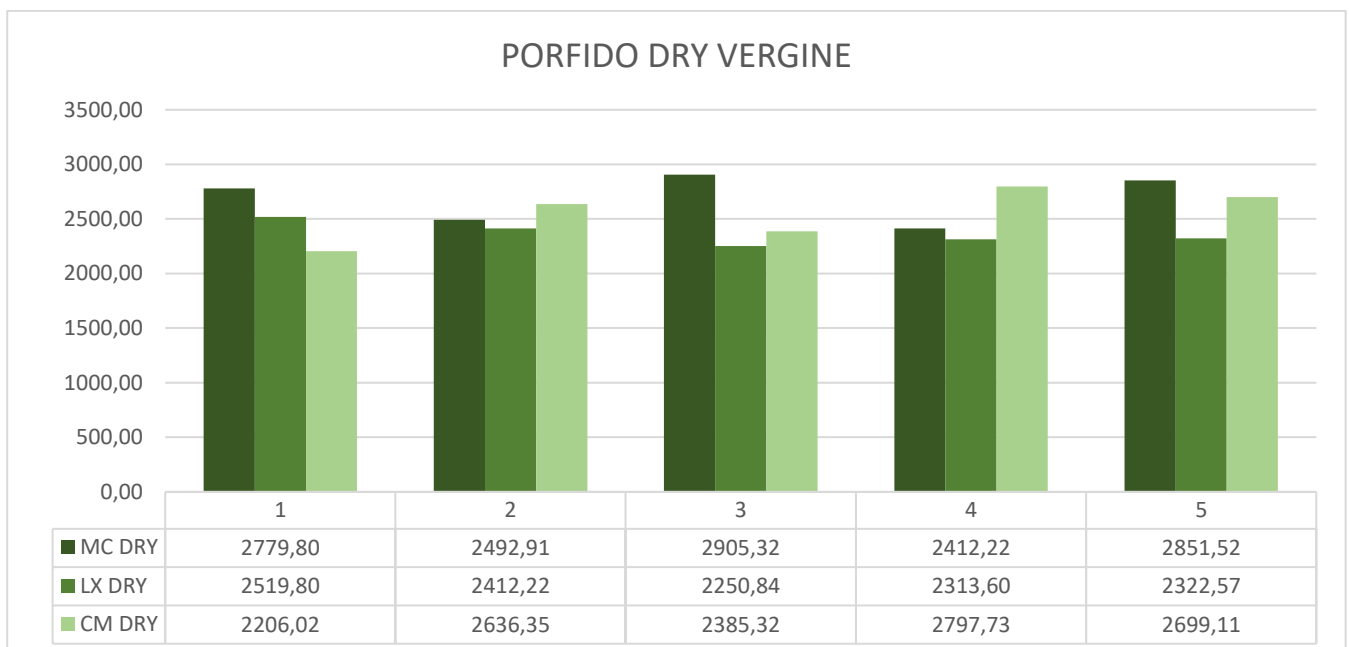
Confronto tra le medie dei valori ottenuti



Risultati Prove: DRY PORFIDO VERGINE (DPV)

PORFIDO	Pistone	psi	POTS (psi)	kPa	Rottura	media POTS	Rottura Prevalente
DPV(mc)	1	31,1	403,16	2779,80	C	2688,35	COESIVA
	2	27,9	361,55	2492,91	C		
	3	32,5	421,37	2905,32	C		
	4	27	349,85	2412,22	C		
	5	31,9	413,56	2851,52	C		
DPV(lx)	1	28,2	365,45	2519,80	C	2363,81	COESIVA
	2	27	349,85	2412,22	C		
	3	25,2	326,45	2250,84	C		
	4	25,9	335,55	2313,60	C		
	5	26	336,85	2322,57	C		
DPV(cm)	1	24,7	319,94	2206,02	C	2544,91	COESIVA
	2	29,5	382,36	2636,35	C		
	3	26,7	345,95	2385,32	C		
	4	31,3	405,76	2797,73	C		
	5	30,2	391,46	2699,11	C		

Confronto tra emulsioni:



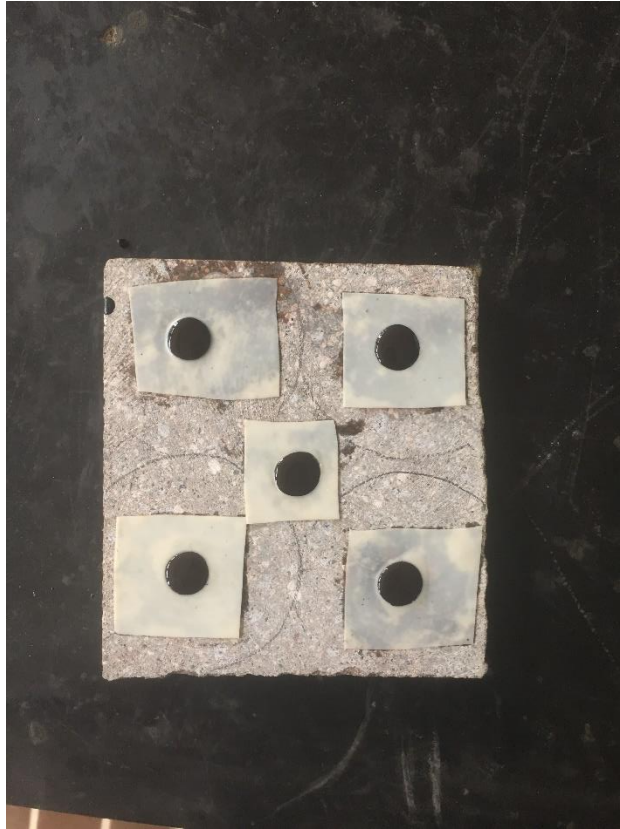


Figura 35 Porfido

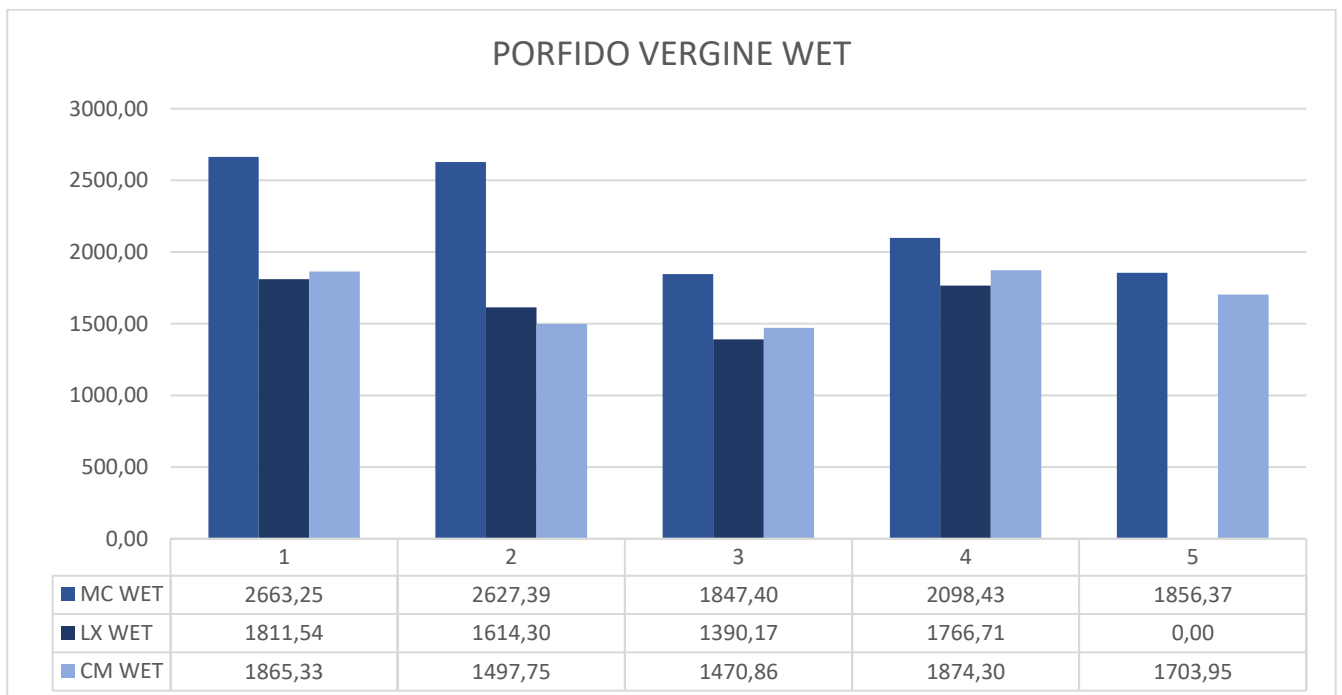


Figura 36 Porfido vergine e invecchiato

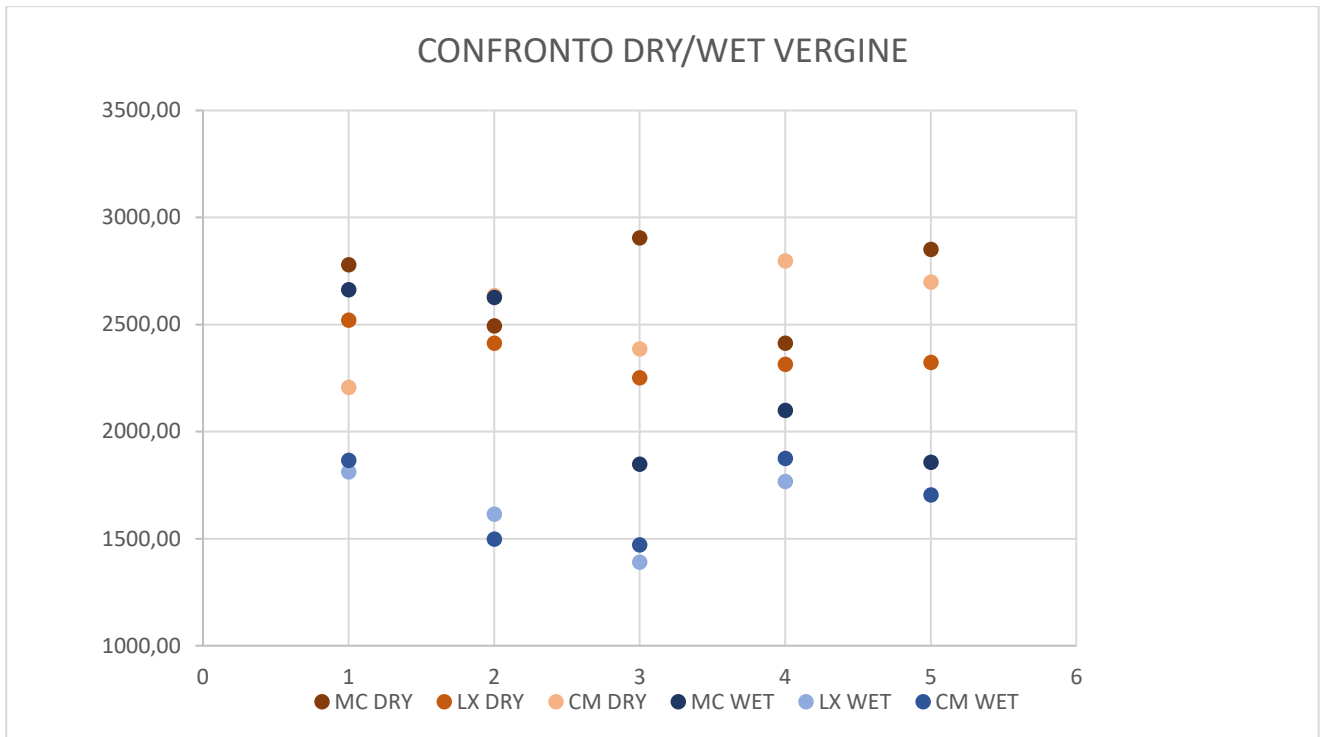
Risultati Prove: WET PORFIDO VERGINE (WPV)

PORFIDO	Pistone	psi	POTS (psi)	kPa	Rottura	media POTS	Rottura Prevalente
WPV(mc)	1	29,8	386,26	2663,25	C	2218,57	COESIVA
	2	29,4	381,06	2627,39	C		
	3	20,7	267,93	1847,40	C		
	4	23,5	304,34	2098,43	C		
	5	20,8	269,23	1856,37	C		
WPV(lx)	1	20,3	262,73	1811,54	C	1645,68	ADESIVA
	2	18,1	234,13	1614,30	C		
	3	15,6	201,62	1390,17	A		
	4	19,8	256,23	1766,71	C		
	5	ND	ND	ND	ND		
WPV(cm)	1	20,9	270,53	1865,33	I	1682,44	ADESIVA
	2	16,8	217,22	1497,75	A		
	3	16,5	213,32	1470,86	A		
	4	21	271,83	1874,30	I		
	5	19,1	247,13	1703,95	A		

Confronto tra emulsioni:



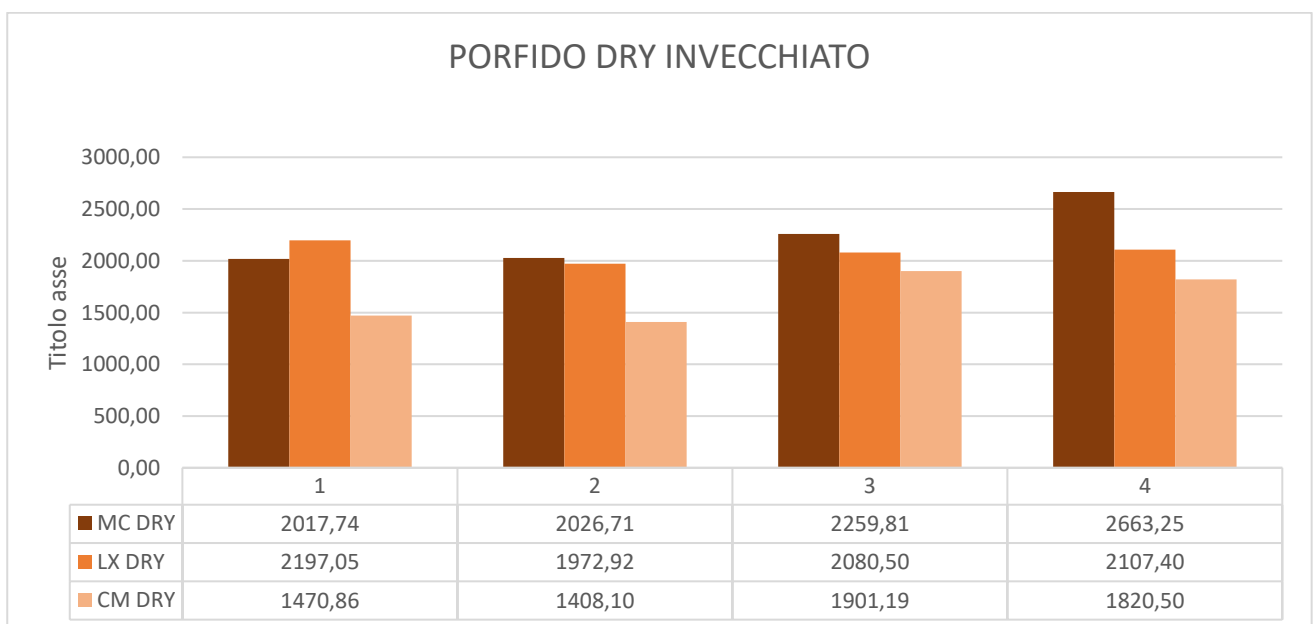
Confronto DRY/WET porfido vergine



Risultati Prove: DRY PORFIDO INVECCHIATO (DPI)

PORFIDO	Pistone	psi	POTS (psi)	kPa	Rottura	media POTS	Rottura Prevalente
DPI(mc)	1	34,6	448,67	3093,59	C	2412,22	COESIVA
	2	22,6	292,64	2017,74	C		
	3	22,7	293,94	2026,71	C		
	4	25,3	327,75	2259,81	C		
	5	29,8	386,26	2663,25	C		
DPI(lx)	1	24,6	318,64	2197,05	C	2089,47	COESIVA
	2	22,1	286,14	1972,92	C		
	3	23,3	301,74	2080,50	C		
	4	23,6	305,64	2107,40	C		
	5	ND	ND	ND	C		
DPI(cm)	1	29,4	381,06	2627,39	C	1709,93	IBRIDA
	2	16,5	213,32	1470,86	A		
	3	15,8	204,22	1408,10	C		
	4	21,3	275,74	1901,19	A		
	5	20,4	264,03	1820,50	I		

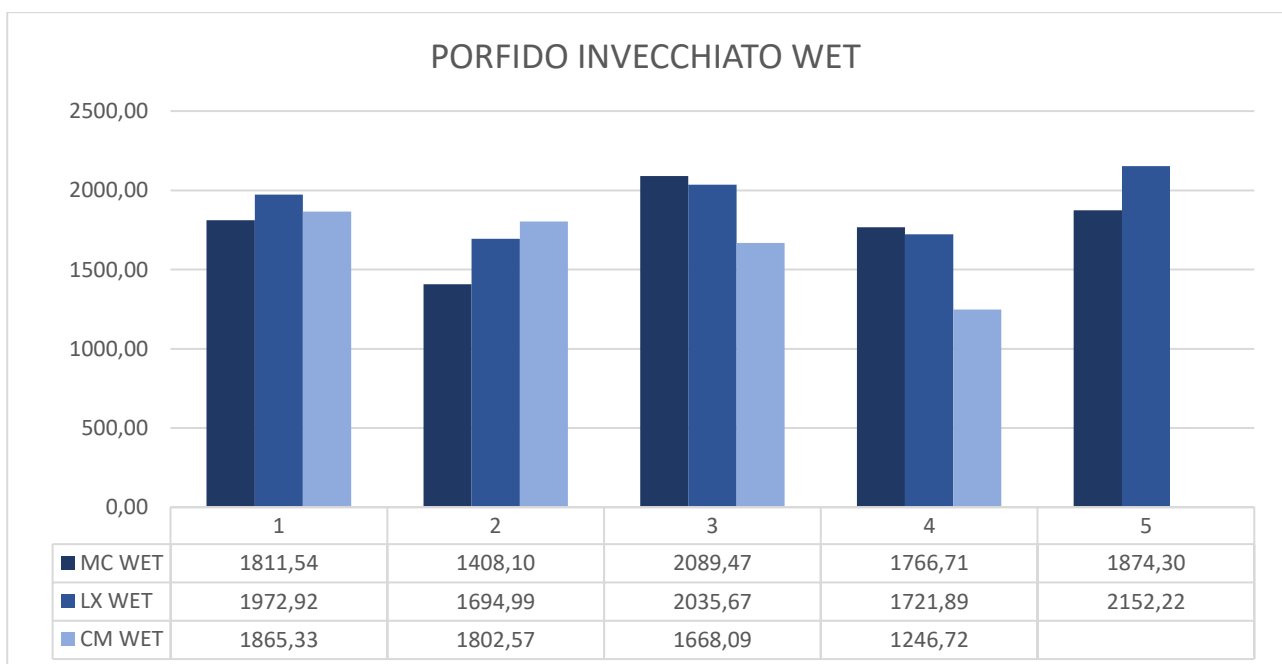
Confronto tra emulsioni:



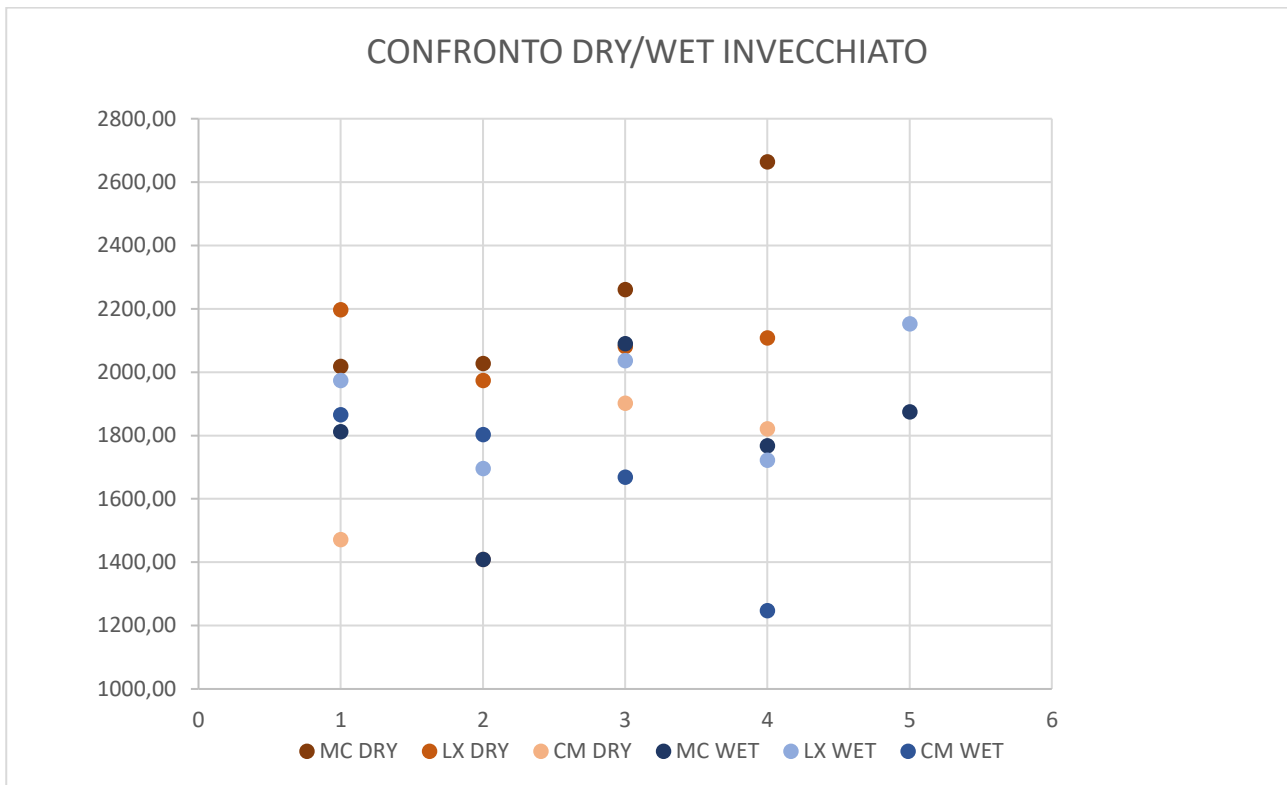
Risultati Prove: WET POTFIDO INVECCHIATO (WPI)

PORFIDO	Pistone	psi	POTS (psi)	kPa	Rottura	media POTS	Rottura Prevalente
WPI(mc)	1	20,3	262,73	1811,54	C	1784,64	COESIVA
	2	15,8	204,22	1408,10	C		
	3	23,4	303,04	2089,47	C		
	4	19,8	256,23	1766,71	C		
	5	21	271,83	1874,30	C		
WPI(lx)	1	22,1	286,14	1972,92	C	1915,54	COESIVA
	2	19	245,83	1694,99	C		
	3	22,8	295,24	2035,67	C		
	4	19,3	249,73	1721,89	C		
	5	24,1	312,14	2152,22	C		
WPI(cm)	1	20,9	270,53	1865,33	C	1645,68	IBRIDA
	2	20,2	261,43	1802,57	I		
	3	18,7	241,93	1668,09	A		
	4	14	180,82	1246,72	C		
	5	28,1	364,15	2510,84	I		

Confronto emulsioni



Confronto DRY/WET porfido invecchiato:



Riepilogo risultati: **PORFIDO**

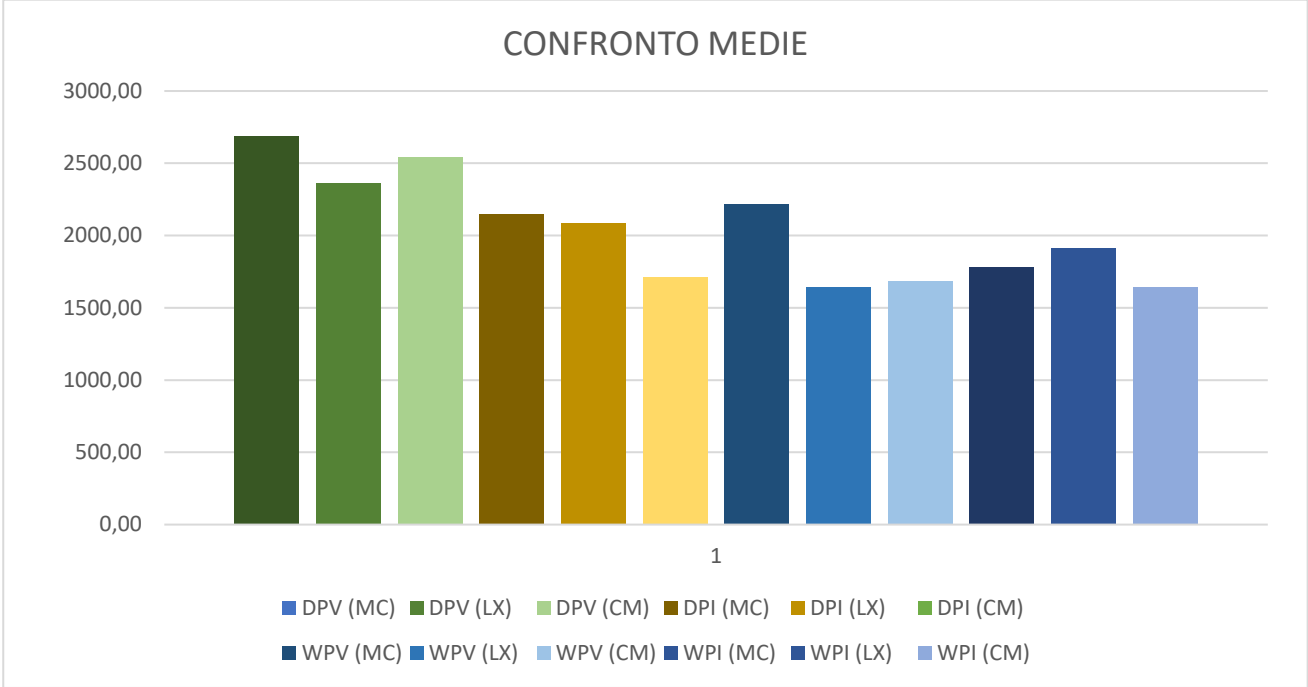
- PORFIDO DRY**

PORFIDO	Pistone	psi	POTS (psi)	kPa	Rottura	media POTS	Rottura Prevalente
DPV(mc)	1	31,1	403,16	2779,80	C	2688,35	COESIVA
	2	27,9	361,55	2492,91	C		
	3	32,5	421,37	2905,32	C		
	4	27	349,85	2412,22	C		
	5	31,9	413,56	2851,52	C		
DPV(lx)	1	28,2	365,45	2519,80	C	2363,81	COESIVA
	2	27	349,85	2412,22	C		
	3	25,2	326,45	2250,84	C		
	4	25,9	335,55	2313,60	C		
	5	26	336,85	2322,57	C		
DPV(cm)	1	24,7	319,94	2206,02	C	2544,91	COESIVA
	2	29,5	382,36	2636,35	C		
	3	26,7	345,95	2385,32	C		
	4	31,3	405,76	2797,73	C		
	5	30,2	391,46	2699,11	C		
DPI(mc)	1	34,6	448,67	3093,59	C	2412,22	COESIVA
	2	22,6	292,64	2017,74	C		
	3	22,7	293,94	2026,71	C		
	4	25,3	327,75	2259,81	C		
	5	29,8	386,26	2663,25	C		
DPI(lx)	1	24,6	318,64	2197,05	C	2089,47	COESIVA
	2	22,1	286,14	1972,92	C		
	3	23,3	301,74	2080,50	C		
	4	23,6	305,64	2107,40	C		
	5	ND	ND	ND	C		
DPI(cm)	1	29,4	381,06	2627,39	C	1709,93	IBRIDA
	2	16,5	213,32	1470,86	A		
	3	15,8	204,22	1408,10	C		
	4	21,3	275,74	1901,19	A		
	5	20,4	264,03	1820,50	I		

• **PORFIDO WET**

PORFIDO	Pistone	psi	POTS (psi)	kPa	Rottura	media POTS	Rottura Prevalente
WPV(mc)	1	29,8	386,26	2663,25	C	2218,57	COESIVA
	2	29,4	381,06	2627,39	C		
	3	20,7	267,93	1847,40	C		
	4	23,5	304,34	2098,43	C		
	5	20,8	269,23	1856,37	C		
WPV(lx)	1	20,3	262,73	1811,54	C	1645,68	ADESIVA
	2	18,1	234,13	1614,30	C		
	3	15,6	201,62	1390,17	A		
	4	19,8	256,23	1766,71	C		
	5	ND	ND	ND	ND		
WPV(cm)	1	20,9	270,53	1865,33	I	1682,44	ADESIVA
	2	16,8	217,22	1497,75	A		
	3	16,5	213,32	1470,86	A		
	4	21	271,83	1874,30	I		
	5	19,1	247,13	1703,95	A		
WPI(mc)	1	20,3	262,73	1811,54	C	1784,64	COESIVA
	2	15,8	204,22	1408,10	C		
	3	23,4	303,04	2089,47	C		
	4	19,8	256,23	1766,71	C		
	5	21	271,83	1874,30	C		
WPI(lx)	1	22,1	286,14	1972,92	C	1915,54	COESIVA
	2	19	245,83	1694,99	C		
	3	22,8	295,24	2035,67	C		
	4	19,3	249,73	1721,89	C		
	5	24,1	312,14	2152,22	C		
WPI(cm)	1	20,9	270,53	1865,33	C	1645,68	IBRIDA
	2	20,2	261,43	1802,57	I		
	3	18,7	241,93	1668,09	A		
	4	14	180,82	1246,72	C		
	5	28,1	364,15	2510,84	I		

Confronto tra le medie dei valori ottenuti:



CAPITOLO 7 - CONCLUSIONI

7.1 CONFRONTO TRA LE EMULSIONI

Analizzando i dati espressi nel precedente capitolo su supporti allo stato vergine, è emerso che le prove che hanno caratterizzato valori di rottura maggiori sono quelle svolte con l'emulsione tradizionale **MC**. L'emulsione tradizionale raggiunge i valori più elevati sia nel caso del supporto calcareo che nel porfido. Nel confronto con le altre emulsioni emergono valori inferiori dell'ordine del 5-15%. In particolare, abbiamo che sul calcare le prestazioni raggiunte dall'emulsione **LX** risultano essere inferiori del 5% mentre l'emulsione **CM** dell'ordine del 10-15%, rispetto all'emulsione **MC**. Nel caso del porfido il valore massimo è dato sempre dall'emulsione **MC** ma i valori risultano avere uno scostamento minore, dell'ordine massimo del 10%. In fine si evidenzia che il supporto a base di porfido fornisce valori a rottura mediamente più alti rispetto al supporto calcareo, evidenziando un maggior sviluppo di aderenza tra le emulsioni e il supporto stesso.

7.2 CONDIZIONAMENTO

I provini come precedentemente espresso sono stati condizionati in condizioni "WET" e "DRY", in modo da analizzare l'eventuale utilizzo delle emulsioni a contatto prolungato con l'acqua. È stata effettuata anche un'analisi su provini invecchiati anch'essi condizionati in condizioni "WET" e "DRY" a simulare l'utilizzo di aggregati provenienti da vecchie pavimentazioni. Dal programma sperimentale è emerso che in condizioni "WET" in generale i valori di resistenza risultano essere minori, oltre che avere nella maggior parte dei casi rotture di tipo adesive. Andando ad analizzare i seguenti rapporti di rottura (WET/DRY) abbiamo

- Calcare

MC = 0,73

LX = 0.87

CM = 0.89

- Porfido

MC = 0.82

LX = 0.68

CM = 0.66

L'emulsione tradizionale MC sul supporto calcareo risulta essere l'emulsione che soffre maggiormente il contatto con acqua, al fronte di un minore e omogenea perdita di resistenza delle altre due emulsioni. Nel caso del porfido si evidenzia una grave perdita di resistenza, nell'ordine del 30-35% nel caso delle emulsioni LX e CM, mentre un valore di resistenza più elevato evidenzia l'emulsione MC.

Le prove in cui sono stati utilizzati provini invecchiati condizionati DRY in generale valori di resistenza sono simili o leggermente inferiori ai provini con supporto vergine a sottolineare una buona relazione tra emulsioni e il bitume hard utilizzato per l'invecchiamento dei supporti. In condizioni WET i rapporti di resistenza (WET\DRY) sono:

- Calcare

MC = 0.734

LX = 0,948

CM = 0,87

- Porfido

MC = 0,73

LX = 0,91

CM = 0,96

I rapporti di resistenza tra i due condizionamenti risultano essere molto simili nel caso del supporto calcareo invecchiato rispetto ai rapporti dei supporti di calcare allo stato vergine. Invece nel porfido risulta esserci un'inversione, ovvero una maggiore resistenza all'acqua delle emulsioni LX e CM rispetto all'emulsione MC, con l'invecchiamento del supporto.

INDICE DELLE IMMAGINI

Figura 1 Pacchetto stradale	4
Figura 2 Pacchetto Stradale.....	5
Figura 3 Setacciatura	7
Figura 4 Classificazioni bitumi	9
Figura 5 Conglomerato Classico (Semi-chiuso)	10
Figura 6 Conglomerato Drenante (Aperto)	11
Figura 7 Finitrice in azione.....	16
Figura 8 Treno di riciclaggi.....	17
Figura 9 Treno di riciclaggio.....	17
Figura 10 Riciclatore o pulvimixer	18
Figura 11 Stesura Rap	19
Figura 12 Porfido	20
Figura 13 Calcare	20
Figura 14 Provini Wet invecchiati.....	21
Figura 15 Scheda Tecnica Emulsione MC [1]	22
Figura 16 Scheda Tecnica Emulsione CM [2]	23
Figura 17 Scheda Tecnica Emulsione LX [3].....	24
Figura 18 PATTI	25
Figura 19 Pistoncino	26
Figura 20 Martinetto	26
Figura 21 Casseri Provino	27
Figura 22 Bilancia Elettronica	28
Figura 23 Casseri provini	29
Figura 24 Aggregati invecchiati	30
Figura 25 Bagno Termostatico con Provini.....	33
Figura 26 Bagno Termostatico.....	35
Figura 27 PATTI	39
Figura 28 Rotture di tipo Coesivo	40
Figura 29 Rotture di tipo Adesive	41
Figura 30 Pre-incollaggio	42
Figura 31 Incollaggio pistoni.....	43
Figura 32 PATTI	43
Figura 33 Povini rotti	44
Figura 34 Provini Calcare	48
Figura 35 Porfido	56
Figura 36 Porfido vergine e invecchiato	56

SITOGRAFIA

- Schede tecniche emulsioni [1],[2],[3]- Sito web Valli Zabban S.p.a