UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA

Dipartimento di Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente ed Urbanistica

Valutazione delle prestazioni meccaniche e dell'impatto ambientale mediante LCA di nuovi leganti sostenibili contenenti filler calcareo

Evaluation of mechanical performance and environmental impact by LCA of new sustainable binders containing calcareous filler

Relatore:

Francesca Tittarelli

Tesista:

Francesco Cingolani

Anno Accademico 2021-2022

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE 6
1.1 SOSTENIBILITÁ NEL CALCESTRUZZO 6
1.2 I PRINCIPALI VANTAGGI DELL'UTILIZZO DEL CALCESTRUZZO 7
2. I CEMENTI E LA LORO NORMATIVA 10
2.1 NORMATIVA EUROPEA 10
2.2 CLASSIFICAZIONE CEMENTI 11
3. I LEGANTI ALTERNATIVI AL CEMENTO 14
3.1 LC3 15
3.2 AAMS 16
4. MATERIALI IMPIEGATI 18
4.1 INERTE 19
4.2 SABBIA 20
4.3 FILLER CALCAREO 21
4.4 ACQUA 21
4.5 CEMENTO PORTLAND 22
4.6 METACAOLINO 23
4.7 ATTIVATORI 24
4.7.1 IDROSSIDO DI SODIO 24
4.7.2 SILICATO DI SODIO 24
5. METODI 26
5.1 LAVORABILITA' 26
5.2 DENSITA' 27
5.3 RESISTENZA A FLESSIONE 28
5.4 RESISTENZA A COMPRESSIONE 29
5.5 MODULO ELASTICO 31
5.6 RITIRO LIBERO 33
5.7 RITIRO VINCOLATO 35
6. CRH 37
7. OSSERVAZIONE VISIVA 38
8. ANALISI SPERIMENTALE: LC3 42
8.1 MIX DESIGN 42
8.2 PREPARAZIONE DEI PROVINI 44
8.2.1 IMPASTI 44

8.2.2 LAVORABILITA E CONSISTENZA DELLE MALTE 46
8.2.3 CONFEZIONAMENTO PROVINI E STAGIONATURA 50
8.3 DENSITA' 52
8.4 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA 54
8.4.1 RISULTATI PROVA A FLESSIONE 56
8.4.2 RISULTATI PROVA MECCANICA A COMPRESSIONE 61
8.4.3 RISULTATI MODULO ELASTICO DINAMICO 66
8.4.4 RISULTATI RITIRO LIBERO 71
8.4.5 RISULTATI RITIRO VINCOLATO 73
9 ANALISI SPERIMENTALE: AAMs 75
9.1 MIX DESIGN 75
9.2 PREPARAZIONE DEI PROVINI 75
9.2.1 IMPASTI 75
9.2.2 LAVORABILITA' E CONSISTENZA DELLE MALTE 76
9.2.3 CONFEZIONAMENTO PROVINI E STAGIONATURA 77
9.2.4 DENSITA' 77
9.3 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA 78
9.3.1 RISULATI PROVA A FLESSIONE 78
9.3.2 RISULTATI PROVA A COMPRESSIONE 82
9.3.3 RISULTATI MODULO ELASTICO DINAMICO 85
9.3.4 RISULTATI RITIRO LIBERO 87
9.3.5 RISULTATI RITIRO VINCOLATO 88
10. ANALISI LCA: Life Cycle Assessment 94
10.1 INTRODUZIONE LCA 94
10.2 CARBON FOOTPRINT 96
10.3 FASI DI UNO STUDIO LCA 97
10.3.1. DEFINIZIONE DELLO SCOPO E DEL CAMPO DI APPLICAZIONE 97
10.3.2. ANALISI DI INVENTARIO CICLO VITA (LCI) 99
10.3.3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI AMBIENTALI SUL CICLO VITA 100
10.3.4. INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI 101
10.4 PUNTI DI FORZA E LIMITI DELLA METODOLOGIA LCA 101
10.5 SOFTWARE LCA: GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION 102
10.5.1 EPD DASHBOARD 103
10.5.2 EPD EDITION 104
10.5.3 EDP RESULT 106
10.6 ANALISI SPERIMENTALE LCA 107

10.6.1 LC3 e AAMs 107
10.6.2 RISULTATI LCA: LC3 e AAMs 110
10.6.3 CEM II 113
10.6.4 RISULTATI LCA : CEM II 115
10.6.5 CEM IV 116
10.6.6 RISULTATI LCA: CEM IV 118
10.6.7 CONFRONTO IMPATTO AMBIENTALE DELLE VARIE MISCELE 119
11. CONCLUSIONI 125
BIBLIOGRAFIA 126
RINGRAZIAMENTI 128
APPENDICE 129

1. INTRODUZIONE

1.1 SOSTENIBILITÁ NEL CALCESTRUZZO

Cemento e calcestruzzo sono da sempre i protagonisti delle costruzioni, materiali insostituibili nella vita quotidiana. Si sono adattati alle esigenze sempre nuove e più ambiziose nel mondo moderno, diventando una risposta sicura e sostenibile alla richiesta di edifici e infrastrutture dettata da una popolazione in costante crescita.

Il calcestruzzo è uno dei materiali da costruzione maggiormente diffusi, viene impiegato per residenze, opere pubbliche ed infrastrutture. Ma il calcestruzzo è un materiale sostenibile? Nonostante le contrazioni subite dal mercato, la ricerca e l'innovazione nel settore cementifero sono fondamentali per ottenere sia un processo che un prodotto più rispettoso dell'ambiente.

Contro l'immaginario comune che associa altri materiali a soluzioni costruttive più naturali, il calcestruzzo ha incredibili vantaggi sul piano della sostenibilità, tanto da rappresentare una concreta soluzione per il mondo futuro. Basti pensare che è l'unico materiale reperibile localmente con un enorme risparmio in termini di CO2 sul trasporto.

E' il materiale più utilizzato al mondo in generale dopo l'acqua, per un motivo. È abbondante, conveniente, disponibile localmente e può essere utilizzato in innumerevoli modi.

Le straordinarie proprietà del calcestruzzo lo rendono un elemento vitale sia per limitare la portata, sia per combattere gli effetti del cambiamento climatico, consentendo lo sviluppo di edifici e comunità sostenibili e resilienti in tutto il mondo.

Quando si prendono in considerazione le prestazioni di un edificio durante il suo intero ciclo di vita, il calcestruzzo offre notevoli vantaggi in termini di sostenibilità rispetto ad altri materiali da costruzione grazie alle sue proprietà innate, come la sua resistenza, durabilità, resilienza a condizioni meteorologiche estreme e pericoli come il fuoco, la sua massa termica, la sua riciclabilità, il suo assorbimento di carbonio e la sua disponibilità locale.

Esso ha eccellenti qualità di sostenibilità e l'industria ha compiuto progressi significativi nella riduzione delle emissioni di CO2 derivanti dalla produzione di cemento. Oggi, fornitori e progettisti di calcestruzzo, e a loro volta i loro clienti, possono utilizzare il calcestruzzo per ridurre al minimo l'impronta di carbonio: ottimizzando il mix, l'uso efficiente dei materiali e riconoscendo il potenziale di assorbimento del carbonio del calcestruzzo per sequestrare permanentemente la CO2 negli edifici. Il calcestruzzo può anche essere riutilizzato e a fine vita è riciclabile al 100%.

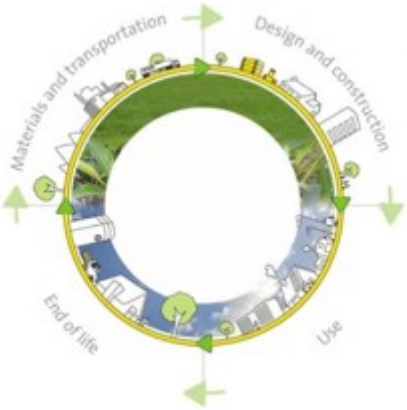


Figura 1 Sostenibilità calcestruzzo

https://adgreenblog.wordpress.com/tag/calcestruzzo-sostenibile/

Il calcestruzzo è un materiale da costruzione versatile, che è in grado di migliorare la sostenibilità dell'intero ciclo di vita di un edificio o di un'infrastruttura. È un materiale da costruzione che offre innumerevoli vantaggi dal punto di vista ambientale, sociale ed economico, potendo contribuire così allo sviluppo di una società globale più sostenibile ed in grado di contrastare i cambiamenti climatici.

1.2 I PRINCIPALI VANTAGGI DELL'UTILIZZO DEL CALCESTRUZZO

- **Forza, durata, resilienza e sicurezza**

La società si aspetta che l'ambiente edificato – edifici, ponti e altre infrastrutture – sia duraturo e sicuro – la sicurezza è la prima priorità. C'è anche un'aspettativa di resilienza di fronte ai disastri, siano essi disastri naturali o altri eventi, e che edifici, ponti e infrastrutture durino a lungo. Il calcestruzzo è ben noto per le sue caratteristiche di forza, durabilità, resilienza e sicurezza: il calcestruzzo, ad esempio, ha un'elevata resistenza al fuoco.

Figura 2 Proprietà calcestruzzo

https://gccassociation.org/sustainability-benefits-of-concrete/

- **Emissioni di carbonio e Circolarità**

Il calcestruzzo è parte integrante dell'economia circolare, sia perché può essere prodotto utilizzando materiali provenienti da demolizioni e scarti industriali, sia perché può essere completamente riciclato e riutilizzato a fine vita. La continua ricerca nel campo dei materiali a base cementizia, inoltre, ha fatto nascere negli anni prodotti innovativi in grado di affrontare

concretamente il fenomeno dei cambiamenti climatici.

Figura 3 Proprietà Calcestruzzo

https://gccassociation.org/sustainability-benefits-of-concrete/

- **Biodiversità**

La biodiversità è fondamentale per la salute del nostro pianeta: è fondamentale limitare il nostro impatto sulla terra. L'industria del cemento e del calcestruzzo ha un impegno di lunga data per migliorare e migliorare la biodiversità nelle aree in cui opera.

Figura 4 Caratteristica calcestruzzo

https://gccassociation.org/sustainability-benefits-of-concrete/

- **Local**

Il calcestruzzo è un prodotto con materie prime disponibili localmente. L'ingrediente chiave del cemento (circa il 10-15% del peso del calcestruzzo) è a base di calcare, che è ampiamente e abbondantemente disponibile. Ciò significa che vi è un notevole risparmio di carbonio nel trasporto, poiché il materiale non deve essere trasportato su lunghe distanze.

Figura 5 Caratteristica calcestruzzo

https://gccassociation.org/sustainability-benefits-of-concrete/

- **Versatilità e Design**

Il calcestruzzo è il materiale da costruzione ideale per una vasta gamma di applicazioni grazie alla sua versatilità. Può essere modellato in un numero infinito di forme e mantenere la sua forza, consentendo ai progettisti di utilizzarlo per una vasta gamma di usi.

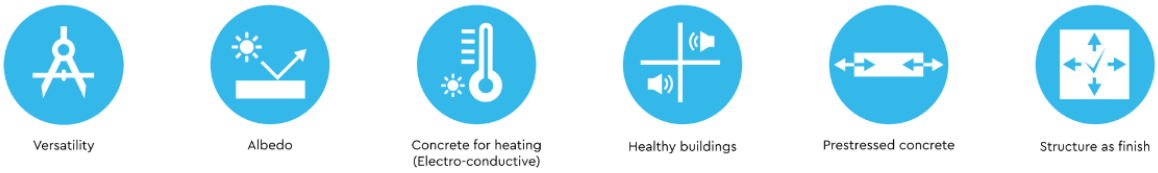


Figura 6 Proprietà calcestruzzo

https://gccassociation.org/sustainability-benefits-of-concrete/

Esso è fabbricato utilizzando aggregati grezzi (ghiaia o rocce frantumate), aggregati fini (sabbia), acqua, cemento e sostanze aggiunte nella miscela. Nella produzione del calcestruzzo, cemento, aggregati e altri materiali appropriati sono miscelati con l'acqua. Durante la miscelazione del calcestruzzo vengono aggiunti anche degli additivi (prodotti chimici) in piccole quantità, per modificare le proprietà del calcestruzzo. Il cemento agisce come legante, indurisce quando viene aggiunta l'acqua e lega insieme gli altri costituenti del calcestruzzo. Il componente principale del cemento è il clinker che viene prodotto da materie prime come ad esempio calcare e argilla, macinate finemente, miscelate e introdotte all'interno di un forno. Vengono poi aggiunti al clinker del gesso e altri materiali addizionali e poi macinati fino a rendere il tutto una polvere sottile: il cemento. La produzione del cemento genera emissioni di anidride carbonica tramite due differenti sorgenti: la combustione (40%) e la calcinazione (60%). Le emissioni di CO2 generate dalla combustione dipendono dal combustibile utilizzato. Quindi, le emissioni di CO2 dovute alla calcinazione sono generate quando le materie prime, principalmente il calcare e l'argilla, sono riscaldate e la CO2 è liberata dalla decomposizione del calcare. Il calcestruzzo è uno dei materiali da costruzione che quando è progettato, prodotto e utilizzato in modo appropriato può contribuire attivamente a realizzare uno sviluppo più sostenibile, proprio grazie agli aspetti descritti qui di seguito.

Il settore edilizio sta tentando di ridurre l'impatto ambientale, migliorando le tecniche di produzione, puntando all'innovazione e all'ottimizzazione delle specifiche di prodotto.

Una struttura in calcestruzzo eco-efficiente è quella dove:

• L'impatto ambientale totale è stato minimizzato durante l'intero ciclo di vita.

• La struttura è stata progettata e costruita correttamente per soddisfare l'utilizzo per cui è stata ideata.

E dove

• I materiali sono fabbricati con un impatto ambientale ridotto.

• Il cemento è prodotto utilizzando le moderne tecniche produttive, riciclando materie prime e utilizzando energia prodotta da fonti alternative.

• Il calcestruzzo usa il minor quantitativo di cemento per ottenere i requisiti richiesti di resistenza e durabilità

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è quello di analizzare diversi mix di miscele in cui si va a ridurre la percentuale di cemento Portland (Clinker) in favore di altri leganti maggiormente sostenibili, cercando di mantenere le prestazioni il più possibile vicine a quelle del calcestruzzo. Andremo inoltre a studiare il comportamento di varie miscele a differenti temperature di stagionatura, analizzandone il ciclo vita e calcolandone l'impatto ambientale in kg di CO2 equivalente.

2. I CEMENTI E LA LORO NORMATIVA

2.1 NORMATIVA EUROPEA

La **UNI EN 197-1** fa parte del corpo normativo UNI dal 6 ottobre 2011 (con sei mesi di anticipo rispetto alle regole comunitarie): è la **nuova versione della EN 197-1**, la norma europea che stabilisce composizione, caratteristiche e criteri di conformità per i cementi comuni, quelli "tradizionali", definizione che per vedere la luce a livello comunitario presso gli organi tecnici preposti ha richiesto 20 anni di lavori, quando si è concretizzata la prima versione nel 1992.

La norma sostituisce la precedente versione del 2000 e incorpora al suo interno anche gli allegati dal valore normativo, prodotti negli anni (A1 relativo ai cementi a basso calore di idratazione e A3 dedicato alla caratterizzazione delle ceneri volanti), e la **EN 197-4** relativa ai cementi d'altoforno a bassa resistenza iniziale. Inoltre, per la prima volta trova spazio in una norma europea la classificazione dei cementi resistenti ai solfati, oggetto per lunghi anni di discussioni comunitarie.

L'interesse verso uno sviluppo di cementi sempre più sostenibili ha portato, nel 2018, allo sviluppo di due nuovi cementi da aggiungere alla normativa esistente, con il progetto europeo EnDurCrete (new Environmental friendly and Durable Concrete), coordinato da HeidelbergCementGroup, in collaborazione con l'UNIVPM ed altri 15 partners da 12 paesi differenti. Questi sono un CEM II/C (50% CEM I, 40% Loppa, 10% Calcare) e un CEM VI (46% CEM I, 43% Loppa, 10% Cenere volante).

Successivamente, il 17 giugno 2021 esce la nuova UNI EN 197-5, la quale introduce, appunto, due nuovi cementi che finora non erano stati contemplati dalla normativa UNI EN 197-1:

- Il cemento Portland composito CEM II/C-M che, rispetto ai CEM II già esistenti, diminuisce il quantitativo minimo di clinker ammissibile dal 65% al 50%;

- Il cemento composito CEM VI che, rispetto al già esistente CEM V, aumenta il contenuto massimo di loppa d'altoforno dal 49% al 59%, e il contenuto di filler calcareo da 0% al 20%

Main types	Notation of the products (types of cement)		Composition (percentage by mass a)										
			Main constituents										Minor additional constituents
			Clinker	Blast-furnace slag	Silica fume	Pozzolana		Fly ash		Burnt shale	Limestone		
						natural	natural calcined	siliceous	calcareous				
	Type name	Type notation	K	S	D b	P	Q	V	W	T	L c	LL c	
CEM II	Portland-composite cement d	CEM II/C-M	50-64	(----------36-50----------)									0-5
CEM VI	Composite cement	CEM VI (S-P)	35-49	31-59	–	6-20	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM VI (S-V)	35-49	31-59	–	–	–	6-20	–	–	–	–	0-5
		CEM VI (S-L)	35-49	31-59	–	–	–	–	–	–	6-20	–	0-5
		CEM VI (S-LL)	35-49	31-59	–	–	–	–	–	–	–	6-20	0-5

a The values in the table refer to the sum of the main and minor additional constituents.

b In case of the use of silica fume, the proportion of silica fume is limited to 6-10 % by mass.

c In case of the use of limestone, the proportion of limestone (sum of L, LL) is limited to 6-20 % by mass.

d The number of main constituents other than clinker is limited to two and these main constituents shall be declared by designation of the cement (for examples, see Clause 6).

Figure 7 Norma UNI EN 197-5
https://www.azichem.com/news/uni-en-197-1201-composizione-specificazioni-e-criteri-di-conformita-per-cementi-comuni

In sintesi la norma aggiornata definisce e specifica: **27 tipi di cementi comuni, 7 cementi comuni resistenti ai solfati (SR)** e il requisito di base per il basso calore (LH), nonché **3 distinti cementi d'altoforno** con bassa resistenza iniziale (L) e le caratteristiche / proporzioni dei loro costituenti.

Inoltre per ciascun prodotto sono definiti i **requisiti meccanici, fisici, chimici** e le **classi di resistenza**, i criteri di conformità e le regole da rispettare per garantire le prestazioni attese dall'utilizzatore.

2.2 CLASSIFICAZIONE CEMENTI

La normativa europea sui cementi è incentrata su due requisiti fondamentali: la classe di resistenza ed il tipo di cemento, quest'ultimo inteso come composizione dei suoi ingredienti. La composizione o proporzione tra i costituenti conferisce al prodotto idratato, oltre alle proprietà meccaniche, anche particolari caratteristiche di resistenza agli attacchi chimici o chimico -fisici. Il tipo di cemento influisce sulla capacità di mantenere nel tempo le caratteristiche di resistenza del conglomerato ottenuto (malta o calcestruzzo).

I prodotti della famiglia dei cementi comuni coperti dalla normativa EN/197-1 sono raggruppati in cinque principali tipi:

- **CEM I Cemento Portland**: sono costituiti almeno per il 95% da clinker e in misura variabile da 0 a 5% da costituenti minori. Sono generalmente utilizzati nella prefabbricazione di calcestruzzi armati semplici e precompressi.
- **CEM II Cemento Portland composito**: hanno come costituenti principali oltre al clinker, presente in percentuale variabile dal 65 al 94%, le loppe granulate d'altoforno, la silica fume, le pozzolane, le ceneri volanti, scisti calcinati e calcare. Hanno proprietà molto simili a quelle dei CEM I che li rendono idonei ai più comuni impieghi nella realizzazione di calcestruzzi armati normali e precompressi, di elementi prefabbricati.
- **CEM III Cemento d'altoforno**: sono costituiti da clinker fino al 64%, e loppa granulata basica d'alto forno. Questo tipo è articolato in tre sottotipi con contenuti di loppa variabile dal 36% al 95%. Rispetto al cemento Portland, i CEM III sono principalmente indicati nelle situazioni in cui il calcestruzzo è soggetto ad ambienti chimicamente aggressivi e per la realizzazione di opere di grosse dimensioni.
- **CEM IV Cemento pozzolanico**: sono costituiti da clinker tra il 45 e 89%, e materiale pozzolanico naturale o artificiale. In base alla percentuale di materiale pozzolanico, variabile dal 11% al 55%, sono articolati in due sottotipi. Il termine "pozzolana" deriva dal nome da Pozzuoli, località della Campania dove si estraeva il materiale, destinato, fin dall'antichità, alla produzione malte idrauliche. Presentano una elevata resistenza all'attacco chimico.
- **CEM V Cemento composito**: sono costituiti da una miscela di clinker, loppa d'altoforno e pozzolana e sono adatti a realizzare calcestruzzi esposti ad ambienti mediamente aggressivi quali acqua di mare, acque acide, terreni solfatici, etc.

Le tipologie di cemento a seconda dei costituenti impiegati e della relativa percentuale di utilizzo, sono costituite da cinque tipi principali individuati da un numero romano da I a V. I cementi di tipo II, III, IV e V, inoltre, sono suddivisi in sottotipi. Tutti i cementi, infine, devono soddisfare i requisiti chimici e prestazionali indicati nella tabella sotto riportata (prospetto 1 della norma EN 197-1).

Tipi principali	Denominazione dei 27 prodotti (tipi di cemento comune)		Composizione (percentuale in massa[a])										
			Costituenti principali										Costituenti secondari
			Clinker	Loppa di altoforno	Fumo di silice	Pozzolana		Cenere volante		Scisto calcinato	Calcare		
						naturale	naturale calcinata	silicea	calcarea				
			K	S	D[b]	P	Q	V	W	T	L	LL	
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cemento Portland alla loppa	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland ai fumi di silice	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland alla pozzolana	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento Portland alle ceneri volanti	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Cemento Portland allo scisto calcinato	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	Cemento Portland al calcare	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Cemento Portland composito[c]	CEM II/A-M	80-88	◄- - - - - - - - - - - - 12-20 - - - - - - - - - - - - ►									0-5
		CEM II/B-M	65-79	◄- - - - - - - - - - - - 21-35 - - - - - - - - - - - - ►									
CEM III	Cemento d'altoforno	CEM III/A	35-64	36-65	-	-		-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-		-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-		-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cemento pozzolanico[c]	CEM IV/A	65-89	-	◄- - - - - 11-35 - - - - - ►					-	-	-	0-5
		CEM IV/B	45-64	-	◄- - - - - 36-55 - - - - - ►					-	-	-	0-5
CEM V	Cemento composito[c]	CEM V/A	40-64	18-30	-	◄- - 18-30 - - ►			-	-	-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-49	-	◄- - 31-49 - - ►			-	-	-	-	0-5

a) I valori del prospetto si riferiscono alla somma dei costituenti principali e secondari.
b) La proporzione di fumi di silice è limitata al 10%.
c) Nei cementi Portland compositi CEM II/A-M e CEM II/B-M, nei cementi pozzolanici CEM IV/A e CEM IV/B e nei cementi compositi CEM V/A e CEM V/B i costituenti principali diversi dal clinker devono essere dichiarati mediante la designazione del cemento (per esempio vedere punto 8).

Figure 8 Tabella norma UNI EN 197-1
https://www.azichem.com/news/uni-en-197-1201-composizione-specificazioni-e-criteri-di-conformita-per-cementi-comuni

Ognuno dei tipi e sottotipi di cemento previsti dalla norma UNI EN 197-1 è disponibile in sei differenti classi di resistenza individuate dalle sigle 32.5N, 32.5R, 42.5N, 42.5R, 52.5N e 52.5R. Per i cementi d'altoforno (CEM III) è prevista, inoltre, la classe di resistenza a lento indurimento (L). L'appartenenza di un cemento ad una determinata classe di resistenza, tra quelle sopramenzionate, è stabilita sostanzialmente dai valori di resistenza meccanica a compressioni ottenuti su provini di malta confezionati e conservati in accordo alle procedure previste dalla norma EN 196-1.

Nella Figura 4 (Prospetto 2 della UNI-EN 197-1) che individua i requisiti minimi in termini di resistenza a compressione di un determinato cemento, valutata su malta, si può notare come la sigla numerica rappresenti il valore in N/mm² della tensione di rottura a compressione ottenuto a 28 giorni e questo indipendentemente che il cemento risulti ad indurimento normale (N) o a rapido indurimento (R) o a indurimento lento (L).

Classe di resistenza	Resistenza alla compressione MPa				Tempo di inizio presa	Stabilità (espansione)
	Resistenza iniziale		Resistenza normalizzata			
	2 giorni	7 giorni	28 giorni		min	mm
32,5 N	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10,0	-				
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30,0	-				

Figure 9 Tabella Classe di Resistenza UNI EN 197-1
https://www.azichem.com/news/uni-en-197-1201-composizione-specificazioni-e-criteri-di-conformita-per-cementi-comuni

La differenza tra due cementi N ed R di pari resistenza meccanica a compressione a 28 giorni (ad esempio, 42.5 N/mm²) consiste nella resistenza a compressione, valutata su provini maturati per 2 giorni, che dovrà risultare maggiore di 10 N/mm² o 20 N/mm², rispettivamente per i cementi di classe 42.5N e 42.5R. Questo, ovviamente, non significa che il calcestruzzo confezionato con un cemento di classe 42.5N non possa attingere valori di resistenza a compressione a 2 giorni di 20 N/mm². Ad esempio, si potranno conseguire questi risultati adottando per il calcestruzzo con il cemento 42.5N rapporti a/c più bassi di 0.50 per conseguire il risultato atteso.

La norma, tuttavia, vuole mettere in evidenza che, a parità di tutte le condizioni, il calcestruzzo confezionato con un cemento di classe 42.5R possiederà alle brevi stagionature (ed in particolare dopo 2 giorni) prestazioni meccaniche superiori rispetto ad un analogo impasto, di pari rapporto a/c, confezionato con un cemento di classe 42.5N.

3. I LEGANTI ALTERNATIVI AL CEMENTO

I cementi sono i leganti più utilizzati a livello globale per confezionare malte e calcestruzzi. L'industria mondiale del cemento, tuttavia, è di fronte a una serie di questioni aventi un' importante impatto sociale ed ambientale, che riguardano problemi di carattere energetico-economici legati alle quantità di energia, impliciti all'uso di combustibili fossili, sempre più costosi e limitati. Considerando che la produzione di 1 tonnellata di cemento necessita di 1,7 tonnellate di materie prime e comporta una emissione di 0,8 tonnellate di CO2 in atmosfera, l'impatto ambientale correlato non può essere sottovalutato. È stato stimato infatti che la produzione di cemento rappresenta circa il 7-8% delle emissioni mondiali di CO2. La produzione del cemento Portland rappresenta il 74- 81% delle emissioni totali di CO2 del calcestruzzo, mentre il contributo degli aggregati rappresenta invece il 13-20%.

La necessità di ridurre le proprie emissioni ha spinto il settore delle costruzioni a cercare alternative valide attraverso la preparazione di cementi che impiegano rifiuti o sottoprodotti industriali, tra cui le scorie d'altoforno, le ceneri volanti e il fumo di silice, oppure in forma di nuovi leganti, quali ad esempio i geopolimeri, sottocategoria degli AAMs (alkali activated materials)

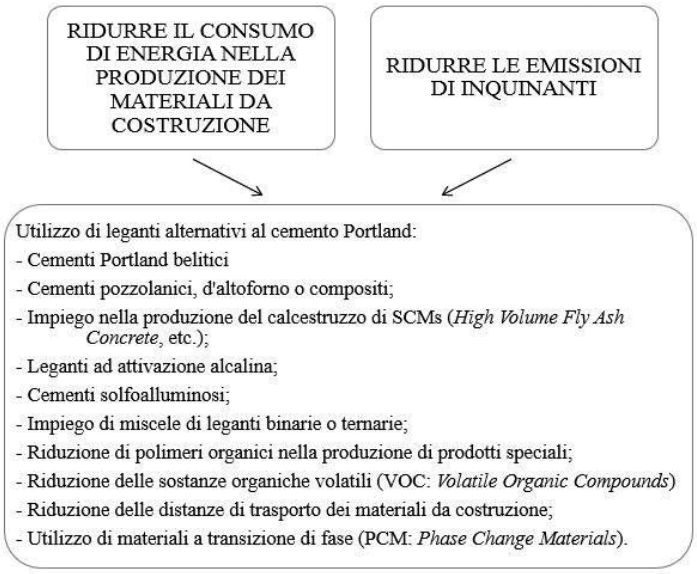


Figure 10 Tabella materiali alternativi al Cemento Portland

https://www.ingenio-web.it/articoli/costruire-sostenibile-nuovi-orizzonti-della-ricerca-nel-settore-dei-leganti-e-dei-calcestruzzi-2/

3.1 LC3

Dopo una breve introduzione sulla necessità di contenere il più possibile le emissioni di CO2 nell'industria del cemento, si sottolinea la disponibilità di una nuova tipologia di cemento denominato con la sigla LC3 (Limestone Calcined Clay Cement) la cui tecnologia, basata sull'azione combinata di tre componenti principali, il clinker, l'argilla calcinata e il calcare macinato, si sta sviluppando in tutto il mondo. Gli LC3 con il 50-64% di cemento Portland di tipo I si possono classificare come CEM II/C-M dalla recente normativa UNI EN 197-5 emessa nel 2021. (da sviluppare, con le proporzioni analizzate noi abbiamo seguito la norma. Gli LC3 solo con il 50-64% di cemento possono essere classificati come CEM II/C-M)

Questo nuovo tipo di cemento potrebbe arrivare a contenere, quindi, un contenuto di clinker molto più basso (anche inferiore al 50%) rispetto agli odierni cemento portland tipo I e tipo II e cemento pozzolanico tipo IV (si veda la normativa europea sui cementi EN197), arrivando a ridurre le emissioni di CO2 anche del 30%.

Molteplici potrebbero essere i vantaggi tecnici legati all'impiego di cemento LC3 nel calcestruzzo, quali:

- minore durata della stagionatura dei getti (minore influenza della manodopera);
- una maggiore coesività e resistenza alla segregazione delle miscele (maggiore tolleranza sulle eventuali variazioni del contenuto di acqua nel calcestruzzo)
- una maggiore resistenza agli attacchi chimici (aumento della durabilità);
- una minore permeabilità all'acqua
- un più basso calore d'idratazione (getti massivi).

Tra i vantaggi commerciali viene evidenziata la maggiore disponibilità delle materie prime, in particolare dell'argilla utilizzata per la produzione del cemento LC3, potendo provenire anche dagli scarti di varie attività minerarie. Anche il calcare utilizzato potrà essere più facilmente reperibile, avendo un più basso grado di purezza rispetto a quello impiegato per la produzione del clinker di cemento Portland. Infatti, eventuali impurità quali quarzo e minerali argillosi non influenzano negativamente la qualità del cemento LC3. Oltre a questi fattori, c'è un'ulteriore importante proprietà del cemento LC3 è quella di ridurre la quantità di clinker in siti di produzione dove materiali come la cenere volante o la loppa granulare macinata non sono disponibili o sono molto costose e questo vale, ovviamente, anche per la produzione del calcestruzzo.

Esistono tuttavia delle criticità sia tecniche sia commerciali sull'utilizzo del cemento LC3:

- la mancanza di sufficienti esperienze di campo rispetto alla storia più che centenaria dei cementi tradizionali;
- i test di laboratorio ancora poco numerosi per la verifica dei requisiti tecnici
- una maggiore richiesta d'acqua e conseguentemente un maggior consumo di additivi riduttori d'acqua rispetto ai cementi tradizionali;

- un potenziale maggior rischio di corrosione indotta da carbonatazione delle armature nelle strutture di cemento armato;
- una possibile riduzione delle resistenze meccaniche a lungo termine in generale, maggiormente evidente in calcestruzzi maturati in condizioni di temperatura superiori ai +40°C;
- una possibile riduzione della durabilità delle strutture in cemento armato a causa di una maggiore porosità della microstruttura nei legami che si sviluppano durante l'idratazione;
- il costo di produzione tendenzialmente maggiore rispetto ai cementi tradizionali a causa di maggiori investimenti da parte dei produttori sia nel processo produttivo che nella scelta più accurata delle materie prime.

Infine, alcuni fattori di mercato possono influire negativamente sullo sviluppo commerciale del cemento LC3. Poiché, infatti, alcune caratteristiche del cemento LC3 possono essere molto differenti rispetto a quelle del cemento tradizionale (colore, finezza, aspetto superficiale di finitura, tempi di presa, etc..) la natura conservativa del mercato delle costruzioni può rallentare in modo significativo l'adozione del nuovo cemento tra gli utilizzatori.

3.2 AAMS

I materiali ad attivazione alcalina (AAM) sono uno dei sistemi alternativi di leganti e anche una futura alternativa realistica alle miscele tradizionali di cemento Portland. In questo modo si reagisce al fabbisogno di costruzioni in calcestruzzo più efficienti, durature e sostenibili.

AAM è il nome generico che descrive un tipo di sistema di leganti, il quale nasce dalla reazione di una fonte di metalli alcalini (solida o sciolta) con una polvere solida di silicato di alluminio (geopolimeri compresi). I materiali di base utilizzati per il legante possono essere ricavati da numerosissimi sottoprodotti o scarti di altre attività industriali. A seconda dei prodotti utilizzati, alcuni possono essere utilizzati direttamente, mentre altri richiedono ulteriori processi di produzione, quali ad es. macinatura, calcinazione o attivazione termica a 700-900 °C. I materiali di base utilizzati con maggiore frequenza sono: scorie di altoforno derivanti dalla produzione di acciaio, cenere volante proveniente dalle centrali a carbone e metacaolino ricavato dalla calcinazione di caolino.

L'attivatore è il secondo componente principale di AAM. Il suo ruolo è quello di garantire lo sviluppo iniziale della resistenza e di aumentare la reattività. Nel caso di AAM gli attivatori si basano su un metallo alcalino, sodio o potassio, e un composto anionico, spesso formato da idrossido o silicato oppure anche da carbonato o solfato. Il processo di attivazione può essere accelerato aggiungendo alla polvere secca una piccola quantità di clinker di cemento o di una miscela minerale oppure riducendo la granulometria dei materiali di base o con l'aggiunta di calore. L'attivatore può essere una soluzione liquida composta da uno o più componenti aggiunti ai materiali di base secchi. In questo caso, il materiale così prodotto può essere definito un sistema bicomponente. In generale, gli AAM possono essere suddivisi in due diverse categorie, sulla base della composizione del prodotto finale:

• I sistemi a basso contenuto di calcio basati sull'attivazione dei materiali di base con basso contenuto di calcio, ad es. cenere volante o metacaolino

• i sistemi ad alto contenuto di calcio basati sull'attivazione dei materiali di base con alto contenuto di calcio;

La differenza è dovuta fondamentalmente alla modifica del sistema di legante, ma fa realizzare notevoli risparmi per quanto riguarda le materie prime primarie, emissioni di CO_2, messa in discarica e costi finanziari.

Figure 11 Confronto tra il calcestruzzo a base di cemento Portland e calcestruzzo geopolimerico in merito alla possibile composizione della miscela e possibili effetti sull'ambiente

https://www.cpi-worldwide.com/uploads/journals/pdf/2021/02/it/it_02_2021_12_17.pdf

Gli AAM si basano su materie prime secondarie e su sottoprodotti industriali, il suo utilizzo contribuisce direttamente al passaggio all'economia circolare e alla creazione di un vero mercato per queste materie prime alternative.

Il materiale da costruzione AAM non offre soluzioni standard per tutte le possibili applicazioni delle costruzioni in calcestruzzo. I vantaggi essenziali di questi calcestruzzi sono dovuti al fatto che, grazie alla varietà delle possibili combinazioni con le quali si possono produrre, si possono realizzare a misura di un determinato scopo.

In questo lavoro di tesi si sono andate a studiare diverse miscele cementizie contenenti il calcare e il metacaolino, diminuendo gradualmente il contenuto di cemento, andando a valorizzare il filler calcareo, cercando di mantenere le caratteristiche meccaniche, di compressione e flessione, all'interno del range delle resistenze strutturali:

- **LC3**: partiamo da una miscela di riferimento costituita dal 50% di cemento, con l'obiettivo di andare però a ridurre quest'ultima mano a mano, sostituendo il cemento con calcare e metacaolino (50%CEM 50%LC2; 40%CEM 60%LC2; 30%CEM 70%LC2; 20%CEM 80%LC2; 10%CEM 90%LC2)

- **AAMs**: utilizziamo miscele con nessun contenuto di cemento, sostituendolo con calcare, metacaolino ed un'attivatore: idrossido di sodio, anche comunemente chiamato soda caustica (NaOH) e una soluzione di silicato di sodio (SS)

4. MATERIALI IMPIEGATI

La malta è un conglomerato cementizio costituito da una miscela di legante (ad esempio cemento e/o calce), acqua, inerti fini (ad esempio sabbia) ed eventuali additivi, il tutto in proporzioni tali da assicurare lavorabilità all'impasto fresco e resistenza meccanica dopo la presa e l'indurimento.

La sperimentazione si è basata su malte stagionate fino a 90 giorni in stagionatura umida, ovvero mantenendo il provino nella pellicola trasparente (in cui viene avvolto subito dopo la scasseratura) fino a 90 giorni. ’utilizzo del film protettivo per “confezionare” i provini serve a mantenere quindi un’umidità maggiore del 95% e al non far evaporare l’acqua interna del provino per permettere la massima idratazione del cemento. Di seguito sono riportati i materiali che sono stati utilizzati per la sperimentazione.

Figure 1 Sabbia; Cemento ; Calcare

4.1 INERTE

Gli inerti impiegati nelle malte hanno lo scopo di frenare il fenomeno del ritiro (dovuto alla presenza del legante) e riducono la possibilità della formazione di crepe. L'inerte costituisce lo scheletro portante della malta, occupa circa il 65-70 % del volume complessivo.

Gli aspetti dell'inerte da prendere in considerazione sono:

- la provenienza;

- la purezza;

- la granulometria.

Essi sono essenzialmente sabbia di vario tipo, ghiaia, pietrisco, ma quello maggiormente utilizzato è la sabbia di fiume. La provenienza dell'inerte può essere naturale o artificiale. La purezza si misura in base alla quantità di sali e/o di elementi chimicamente alterabili come i calcari teneri che l'inerte contiene.

E' necessario creare un buon assortimento granulometrico per assicurare la resistenza meccanica e la lavorabilità della miscela.

Gli inerti vengono suddivisi, in base alla loro grandezza, in:

• Inerti finissimi (filler), con diametro inferiore a 0,063 mm;

• Inerti fini (sabbia), con diametro compreso tra 0,063 - 4 mm;

• Inerti grossi (ghiaia), con diametro maggiore di 4mm.

Pertanto, si potranno verificare i seguenti casi:

- una malta a grana fine si userà per realizzare intonaci lisci in cui è richiesta molta lavorabilità e resistenza meccanica non elevata;

- una malta a grana media si userà per realizzare intonaci rustici interni e per legare tra loro le murature interne, dove sono richieste una lavorabilità e una resistenza medie;

- una malta a grana grossa si userà per intonaci esterni e per legare tra loro murature esterne in cui è richiesta un'elevata resistenza.

Per questo motivo è importantissimo, in fase di mix design, tenere in considerazione la percentuale di umidità dell'inerte utilizzato, in base alla quale si va a ridurre o aumentare l'apporto di acqua da aggiungere. L'inerte ottimale è quello in condizioni s.s.a., ossia satura a superficie asciutta, il quale non rilascia né sottrae acqua al mix.

Per la sperimentazione in questione abbiamo utilizzato un inerte umido per cui, nel mix design, abbiamo aggiunto meno acqua in modo da raggiungere il rapporto a/c voluto (il calcolo è stato fatto riportando l'inerte a s.s.a. in quanto condizione ottimale).

4.2 SABBIA

L'inerte utilizzato per questa tesi sperimentale è la sabbia Esincalce, con diametro dei grani minore o uguale a 8 mm, utilizzata direttamente con l'umidità del sacco. La sabbia 0/8 è una composizione chiamata anche "mista per getto" ideale per l'utilizzo in calcestruzzi. La sua curva granulometrica permette con l'aggiunta di cemento e acqua di un ottimo impasto per la produzione di prodotti legati sia in cantiere che per il "fai da te". Dal momento che, nella presente sperimentazione, sono stati usati sacchi di sabbia diversi per ogni miscela, per trovarne l'umidità si è proceduto in questo modo: pesato una piccola quantità di sabbia umida, posizionata in forno a circa 105°, fatta essiccare per 3 giorni e, successivamente, pesata di nuovo e utilizzato quindi la formula :

$$Ur(\%) = peso\ umido - peso\ secco\ peso\ secco \cdot 100$$

L'umidità media dei sacchi utilizzati per le miscele CEM II II/B-LL è di 8,81, mentre quella dei sacchi utilizzati per le miscele CEM VI è pari a 7,05. Dal momento che, per fare gli impasti, la sabbia da utilizzare deve essere in condizioni s.s.a (satura superficie asciutta), l'acqua da aggiungere, considerata nel mix design, sarà minore rispetto a quella che avremmo inserito utilizzando sabbia secca.

Figure 2 Sabbia 0/8 Esincalce Humid

https://esincalce.com/sabbia-0-8/

4.3 FILLER CALCAREO

L'altro inerte utilizzato per la sperimentazione è un filler calcareo, ricavato da pure rocce calciche. Il FILLER CALCAREO, molto resistente e, al tempo stesso, lavorabile con molta facilità, è un prodotto minerale che può essere aggiunto all'impasto di calcestruzzo nel corso del suo confezionamento, oppure al clinker al momento della produzione del cemento in fabbrica.

Il filler calcareo, in realtà, può essere impiegato anche in diverse miscele, come le malte, gli stucchi o gli autolivellanti. Lo si utilizza, inoltre, per molti altri prodotti, nei casi in cui vi sia bisogno di sfruttare una carica a basso costo.

Entrando nel dettaglio, il FILLER CALCAREO si presenta come un prodotto in polvere. Componente fondamentale del cemento che oggi viene messo in commercio, è composto da inerti calcarei finemente triturati, le cui caratteristiche - sia chimiche che fisiche - cambiano in funzione del tipo di produzione e in base alla loro origine. Di conseguenza, è possibile distinguere, per esempio:

i. un tipo di FILLER CALCAREO destinato alla produzione di malte predosate o premiscelate;
ii. un tipo di filler calcareo dalla granulometria ridotta destinato alle miscele bituminose;
iii. un tipo di filler calcareo destinato al calcestruzzo, che consente di generare miglioramenti reologici evitando di compromettere le resistenze meccaniche.

Figure 3 Calcare – Limestone

4.4 ACQUA

Per sviluppare le proprie prestazioni il cemento ha la necessità di una quantità di acqua "giusta", dopo di che l'acqua "in eccesso" ha il solo obiettivo di favorire il raggiungimento di una certa lavorabilità, ma tale "eccesso" può comportare una perdita di qualità, in particolare in termini di prestazioni fisico meccaniche, impermeabilità e durabilità. Viceversa, al fine di evitare una dannosa disidratazione del calcestruzzo in fase di indurimento, una stagionatura umida è quanto mai utile per lo sviluppo delle prestazioni attese del calcestruzzo.

Le prestazioni meccaniche di un calcestruzzo sono molto legate al rapporto acqua/cemento (water cement ratio) essendo quest'ultimo giustamente considerato l'indicatore qualitativo principale di ogni conglomerato cementizio da cui derivano una serie di proprietà di origine chimico fisico meccaniche. Un basso rapporto acqua cemento porta a una pasta cementizia più compatta e, quindi, più resistente, più impermeabile, più durevole, con minori rischi di ritiro se si prendono opportune precauzioni.

Se si aggiunge, infatti, la sola acqua necessaria per l'idratazione il calcestruzzo è "troppo rigido" ed è difficile da gettare. Aggiungendo acqua si aumenta la classe di consistenza, ovvero si migliora la lavorabilità del calcestruzzo consentendo allo stesso materiale di riempire facilmente le casseforme. Ma l'aggiunta di acqua in fase di getto porta ad una serie di conseguenze negative per tutte le proprietà chimico fisiche meccaniche progettate nella fase di studio del proporzionamento della miscela (mix design), come la riduzione della resistenza, la presenza di materiale segregato, presenza di vespai, fessure da ritiro plastico e idraulico in superficie al calcestruzzo.

La qualità del cemento e dei prodotti derivati, come la malta e il calcestruzzo, dipende dalla materia prima e dalle proporzioni dei componenti, soprattutto dalla percentuale di acqua. Il rapporto acqua/cemento è indispensabile che sia al disotto di certi limiti per evitare che la successiva evaporazione lasci troppo vuoti all'interno della massa solidificata peggiorandone la resistenza e le qualità meccaniche.

4.5 CEMENTO PORTLAND

Come ho già detto precedentemente, Il cemento Portland è il materiale edile più utilizzato al mondo. Questo tipo di cemento, classificato nella categoria CEM I è versatile ed economico, ed ampiamente utilizzato nell'industria delle costruzioni: dalle residenze agli ospedali, alle scuole, ai tunnel e agli aeroporti. È adatto per la produzione di calcestruzzo rinforzato e precompresso in cui si richiede un'elevata resistenza, utilizzato soprattutto per le opere in cemento armato.

Il cemento grigio Portland è un legante idraulico, un materiale inorganico finemente macinato che, mescolato con acqua, forma una pasta che rapprende ed indurisce inseguito a reazioni e processi di idratazione e che, una volta indurita, mantiene la sua resistenza e la sua stabilità anche sott'acqua. Il prodotto di cottura polverizzato è una miscela di argilla, calcare e sabbia: il clinker, composto principalmente da silicati di calcio. Il contenuto di clinker di questo tipo di cemento è almeno del 95%. Quando alla pasta di cemento, aria e acqua, si aggiungono gli aggregati come sabbia e ghiaia, pietrisco o altro materiale granulare, questa agisce come una colla e lega insieme gli aggregati per formare una massa paragonabile alla pietra: il calcestruzzo, il materiale più comune e resistente che esiste. I materiali utilizzati nella fabbricazione di cemento Portland devono contenere proporzioni appropriate di calce, silice, allumina e ferro.

A seconda della finezza della macinatura, il cemento viene prodotto nella classe di resistenza 42,5 o 52,5. All'interno della sua classe di resistenza, questo cemento è caratterizzato come avente una resistenza normale o alta a breve termine. Il cemento Portland soddisfa i requisiti della Norma Europea UNI EN 197-1, allegato A1 incluso. Questo standard definisce composizione, specifiche chimiche, meccaniche e fisiche così come i criteri di conformità per i cementi comuni.

Quando il cemento Portland viene miscelato con l'acqua, il prodotto solidifica in alcune ore e indurisce progressivamente nell'arco di diverse settimane. Anche se la presa continua nel tempo si considera ottenuta completamente a 28 giorni quando raggiunge il 90% del suo sviluppo.

Figure 4 Cemento Portland

4.6 METACAOLINO

Il metacaolino è una pozzolana artificiale che si ottiene calcinando le argille caolinitiche al di sopra di un determinato intervallo termico. Negli ultimi dieci anni è aumentato l'interesse per l'utilizzo del metacaolino come additivo pozzolanico per la sostituzione parziale del cemento nel calcestruzzo. Fondamentalmente è possibile conseguire un miglioramento generale delle proprietà del calcestruzzo utilizzando il metacaolino. I vantaggi principali si riferiscono al miglioramento della resistenza alla compressione e durabilità del calcestruzzo. Quest'ultima proprietà è ottenuta diminuendo la penetrazione del cloruro e riducendo le reazioni espansive nel calcestruzzo. Il maggior interesse per il metacaolino è dovuto al miglioramento ottenibile per le proprietà, in particolare di resistenza e durabilità. Inotre, la sostituzione di leganti come il cemento con il metacaolino comporta un materiale da costruzione più sostenibile per via degli effetti sull'ambiente comparativamente minori.

A differenza di altri materiali, come per esempio la polvere di silicato oppure diverse scorie di altoforno, il metacaolino non è un sottoprodotto di un processo industriale, ma piuttosto un prodotto realizzato in determinate condizioni controllate. Il metacaolino è un materiale che può presentare proprietà differenti, a seconda delle materie prime utilizzate, dalle temperature e durata della calcinazione. Essendo molto fino il metacaolino, presenta una superficie estremamente grande. Ciò limita la lavorabilità e occorre impiegare più acqua oppure un superfluidificante al fine di mantenere la lavorabilità. La forma irregolare della grana, comporta, per l'appunto, qualche difficoltà durante il processo di miscelazione. Questi svantaggi sono però più che compensate dai vantaggi sostanziali per altre proprietà, come per esempio la durabilità e la resistenza. Bisogna però prendere tutto con prudenza poiché dipende da diversi fattori come la qualità de metacaolino, la sua capacita di reazione e varie alter caratteristiche

Quindi, il miglioramento prestazionale delle miscele di calcestruzzo con il metacaolino è chiaramente riconoscibile.

L'utilizzo del metacaolino come surrogato parziale del calcestruzzo offre ad alcuni importanti vantaggi: migliore resistenza, migliore permeabilità, migliore resistenza alle reazioni chimiche, migliore resistenza alle penetrazioni del cloruro, riduzione di efflorescenze e un minore coefficiente di ritiro. Inoltre il metacaolino come surrogato rende il calcestruzzo altamente resistente e autocompattante.

Figure 5 Metacaolino

4.7 ATTIVATORI

La scelta dell'attivatore è fondamentale, infatti da questo dipende la reattività delle componenti cementizie. Una volta scelta la modalità d'attivazione (solida o liquida) è necessario decidere quale attivatore alcalino conviene adoperare, tenendo in considerazione non solo la reattività, ma anche l'impatto ambientale che deriva da questo e la durabilità che il materiale finale deve ottenere. Gli attivatori scelti sono a base di metalli alcalini (Na, K). L'attivazione avviene in generale in soluzione acquosa, perché durante il mescolamento produce molto calore e se è aggiunta troppo velocemente e il premiscelato secco non è abbastanza omogeneo si possono verificare ebollizione e schizzi, che vista l'elevata basicità rappresentano un problema consistente per i lavoratori esposti . Risulterebbe troppo pericoloso e difficile da controllare come attivatore solido o come soluzione concentrata; inoltre, l'idrossido di sodio solido è igroscopico e si carbonata rapidamente, risulta quindi praticamente impossibile da adoperare. L'aumento del contenuto molare dell'idrossido di sodio nella soluzione comporta un aumento del pH, ma anche della viscosità.

4.7.1 IDROSSIDO DI SODIO

L'idrossido di sodio, noto anche come liscivia e soda caustica, è un composto inorganico con la formula NaOH. È un composto ionico solido bianco costituito da cationi di sodio Na + e anioni idrossido OH-. La soda caustica (NaOH) permette di ottenere i pH più basici tra questi attivatori. NaOH accelera e facilita la dissoluzione delle componenti cementizie, ma i prodotti ottenuti hanno basse resistenze ed elevata porosità.

Come con l'idratazione dell'acido solforico, la dissoluzione dell'idrossido di sodio solido in acqua è una reazione molto esotermica che rilascia una grande quantità di calore, che è un pericolo per la sicurezza a causa della possibilità di schizzi. La soluzione risultante è generalmente incolore e inodore.

4.7.2 SILICATO DI SODIO

Allo stato puro non è adatto per essere utilizzato direttamente su superfici in calcestruzzo, perchè ha la tendenza a carbonatare, cioè a reagire in superficie con la CO2 formando un composto bianco. Inoltre la sua reazione in questi casi è reversibile all'acqua, cioè se bagnato a lungo ritorna allo stato di gel. Questo può essere un vantaggio nelle superfici orizzontali in caso di insorgere di microfessurazioni, tuttavia è uno svantaggio nell'impermeabilizzazione di superfici orizzontali interrate. Le proprietà più note dei silicati ,invece, sono quelle di impermeabilizzare, di resistere agli attacchi chimici, di consolidare/indurire e di rendere i materiali resistenti al fuoco.

Applicati al fondo in calcestruzzo, i silicati mineralizzano legandosi con gli altri silicati o metalli alcalini presenti, formando una struttura microcristallina e traspirante. I silicati diventano quindi parte integrante del fondo a cui sono applicati e per questo si differenziano da altri trattamenti che invece formano un film sopra il calcestruzzo o sopra l'intonaco. I silicati sono alcalini, e grazie a questa proprietà inibiscono la crescita batterica e riducono la carbonatazione dei materiali cementizi ed hanno ottime proprietà anticorrosive.

5. METODI

Questo capitolo descrive le procedure e le tecniche utilizzate in modo da fornire una descrizione dettagliata dei passaggi seguiti, utili per raccogliere e analizzare i dati, che serviranno per ricavare le proprietà necessarie per l'analisi delle miscele create.

5.1 LAVORABILITA'

La lavorabilità è una caratteristica del calcestruzzo particolarmente importante: condiziona la capacità del calcestruzzo fresco a muoversi e ad essere opportunamente compattato

Viene definito "lavorabile" un calcestruzzo il cui impasto abbia una consistenza tale da poter esse-re gettato e trasportato con facilità senza presentare fenomeni di segregazione. Un aspetto importante della lavorabilità è il lavoro compiuto per vincere la resistenza di attrito fra le particelle del calcestruzzo (attrito interno) e fra il calcestruzzo stesso e la superficie delle casseforme o delle armature (attrito superficiale).

La scelta della lavorabilità del calcestruzzo più appropriata nelle diverse circostanze è, o dovrebbe essere, uno degli elementi prescrittivi propri del progettista poiché è conseguente al tipo di struttura, alla sua morfologia, alle sue dimensioni.

In linea di massima è comunque possibile sostenere che, a parità di altre condizioni, la lavorabilità aumenti con l'aumentare della quantità d'acqua e della dimensione degli aggregati, nonché con l'aggiunta di additivi specifici.

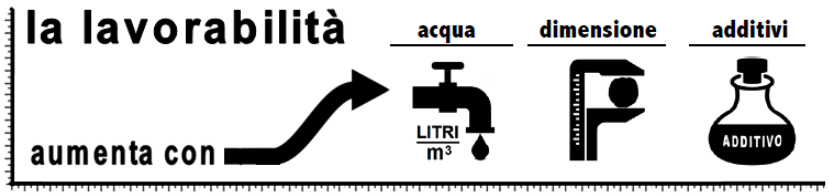


Figura 12 Fattori che aumentano la lavorabilità del calcestruzzo
https://www.azichem.com/news/caratteristiche-del-calcestruzzo-lavorabilita-e-consistenza

Sulla stessa base è possibile sostenere che, a parità di altre condizioni, la lavorabilità diminuisca con il tempo, con l'aumentare della temperatura e, condizione spesso trascurata, con il protrarsi del mescolamento.

Figura 13 Fattori che diminuiscono la lavorabilità
https://www.azichem.com/news/caratteristiche-del-calcestruzzo-lavorabilita-e-consistenza

La consistenza è l'espressione della lavorabilità attraverso metodi di misura normalizzati. In effetti le definizioni qualitative del tipo "lavorabile", "poco lavorabile" o "molto lavorabile" possono "rendere l'idea" ma non forniscono un parametro di riferimento univoco e riproducibile più di quanto non faccia una prova empirica con la cazzuola.

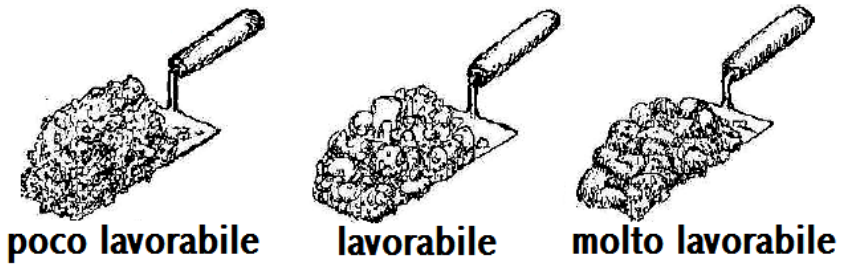


Figura 14 Consistenza calcestruzzo
https://www.azichem.com/news/caratteristiche-del-calcestruzzo-lavorabilita-e-consistenza

5.2 DENSITA'

La densità del calcestruzzo può essere ricavata dal rapporto tra il suo peso e il suo volume. Quest' ultimo può essere ottenuto misurando le dimensioni del provino (lunghezza, larghezza e altezza) e calcolando l'area totale. Il peso può essere determinato utilizzando una bilancia. La densità può quindi essere calcolata dividendo il peso per il volume. È importante utilizzare unità di misura coerenti, ad esempio kg/m³, per ottenere una misura precisa della densità.

La densità ottimale del calcestruzzo dipende da diversi fattori, tra cui la destinazione d'uso del calcestruzzo, la resistenza richiesta, la durabilità desiderata e le condizioni ambientali. In generale, la densità del calcestruzzo viene espressa come peso volumico e la maggior parte dei calcestruzzi ha una densità compresa tra 2.400 e 2.800 kg/m³.

Tuttavia, per alcune applicazioni specifiche, ad esempio per strutture che richiedono una maggiore resistenza o per applicazioni esposte a condizioni ambientali severe, è richiesta una densità più elevata. In questi casi, la densità può superare i 3.000 kg/m³.

In generale, è importante che la densità del calcestruzzo sia controllata con attenzione per garantirne la qualità e la durabilità. La densità eccessivamente bassa può causare problemi come la

fragilità, la perdita di resistenza e la suscettibilità all'acqua. La densità eccessivamente elevata, d'altra parte, può causare un aumento del peso e una maggiore complessità nella manipolazione e nell'utilizzo del calcestruzzo.

5.3 RESISTENZA A FLESSIONE

Dal punto di vista scientifico, la resistenza a flessione indica la resistenza di un materiale alla deformazione: in altre parole, fornisce informazioni sulla forza necessaria per distruggere un campione di sezione definita. Superato tale valore, il campione testato si rompe.

Lo strumento è una pressa idraulica automatica con una capacità di 300 kN e 20 kN. La struttura ha un unico vano dotato di due celle di carico coassiali rispettivamente di 20 kN e 300 kN; quella a minore capacità è salvaguardata dai sovraccarichi tramite un arresto automatico della deformazione.

Con l'utilizzo di opportuni dispositivi si possono effettuare prove di flessione su provini prismatici 40 mm x 40 mm x 160 mm.

Durante la prova di flessione il prisma viene adagiato su due supporti inferiori posti ad una distanza di 100 mm, e caricato grazie al coltello superiore oscillante. I campioni vengono prima rotti a flessione, poi le due metà del campione, sono sottoposte a prova di compressione.

Attraverso il computer, durante la prova è possibile visualizzare l'andamento del carico in kN o della pressione in MPa al variare del tempo. Quando il campione arriva a rottura, il software mostra il valore di rottura. Il software dà la possibilità di immettere i dati del campione (nome, data di confezionamento, condizioni, tempo di indurimento, ecc), ed è quindi possibile ottenere rapporti di prova per ciascuna prova effettuata.

La realizzazione, per queste macchine di prova, permette una precisione di azionamento, sia se deve prevedere rampe di carico e scarico, sia se deve mantenere un carico costante; in quest'ultimo caso il motore esegue solo regolazioni occasionali in retroazione, eliminando il surriscaldamento del fluido idraulico e le sue conseguenze in termini di risposta complessiva della macchina.

Figure 15 Prova a flessione

Il carico applicato aumenta gradualmente a velocità stabilita, fino a portare a rottura il provino. I valori vengono acquisiti e memorizzati dal computer che individua la forza massima al momento della rottura. La forza è espressa in N e successivamente convertita in tensione espressa in MPa. La tensione Rf [MPa] di rottura è calcolata tenendo conto della geometria del provino e della metodologia di applicazione del carico. La formula applicata è la seguente:

$$R_f = 1{,}5 \cdot \frac{F \cdot l}{b \cdot h^2}$$

Dove:

- F massima forza applicata (N);
- l distanza tra i due appoggi metallici (100 mm);
- b larghezza del provino (40 mm);
- h altezza del provino (40 mm).

Con questi dati è stato possibile graficare i valori di resistenza a flessione delle 5 malte realizzate in funzione del tempo di stagionatura dei campioni sottoposti a collaudo.

5.4 RESISTENZA A COMPRESSIONE

La prova di compressione è una prova estremamente importante per misurare i valori di resistenza-deformazione di un materiale sottoposto a carichi diversi di schiacciamento. Essa, infatti, fornisce una serie di informazioni sulla qualità del prodotto, essenziali sia per il produttore sia per l'utente di terze parti. Quali il limite elastico, il limite di proporzionalità, il limite di snervamento, il carico di snervamento e, per alcuni materiali, la resistenza alla compressione.

Svolgere attività di controllo qualità come la prova di compressione su una vasta gamma di prodotti diventa, quindi, fondamentale per assicurarne la validità.

La resistenza alla compressione è utilizzata per indicare il carico di rottura di un determinato provino, sottoposto a schiacciamento. Essa si misura con una forza uniforme, applicata con macchine di prova sui provini cilindrici del materiale in esame. Il procedimento è lo stesso descritto per la prova meccanica a flessione, ma in questo caso abbiamo le due estremità del provino a causa della prova a rottura precedente con un supporto, naturalmente differente. Quindi, otterremo 4 compressioni per ogni provino.

Il provino viene posizionato in mezzo ai due piatti della pressa (due piastre) e si incrementa il carico con andamento costante, fino alla sua rottura (Fig.13). La prova viene eseguita esercitando una forza di compressione perpendicolare al provino, su una superficie di dimensione 40x40 mm. È possibile

quindi risalire alla tensione di rottura conoscendo la forza esercitata e l'area su cui è applicato il carico.

Figure 16 Prova meccanica a compressione

Anche in questo contesto i valori di carico e la conseguente deformazione assiale del provino vengono graficizzati dal terminale collegato alla pressa idraulica, da cui si ottiene la tensione massima a compressione F. Lo sforzo di compressione, espresso in MPa, è stato determinato grazie alla seguente formula:

$$R_c = \frac{F}{S}$$

Dove:

- F forza massima applicata in N;
- S area di carico in mm^2.

Come per la flessione, anche per la prova a compressione, le prove sono state effettuate a 1, 3, 7, 28 e 90 giorni di maturazione.

5.5 MODULO ELASTICO

Il modulo elastico, o modulo di Young, è un indice della rigidità del materiale e quindi delle capacità deformative e di resistenza. L'indagine ultrasonica è una prova non distruttiva applicata sulle strutture in calcestruzzo, mediante la quale viene determinata la velocità di propagazione degli impulsi delle onde longitudinali ultrasoniche nel calcestruzzo indurito. La misurazione della velocità di propagazione dell'impulso ultrasonico può essere usata per le seguenti determinazioni:

- uniformità del calcestruzzo;

- presenza di fessure o vuoti;

- difetti di getto;

- variazioni delle proprietà nel tempo;

- modulo di elasticità dinamico: rapporto tra lo sforzo applicato e la conseguente deformazione

Il principio sui cui si basa questo metodo è il seguente: delle onde ultrasonichesono prodotte mediante un trasduttore elettroacustico (sonda emittente in materiale piezoeletrico) posto a contatto con le superfici del calcestruzzo sottoposto a prova; dopo aver percorso tutto il provino, le onde sono convertite da un secondo trasduttore (sonda ricevente) in segnale elettrico elaborato da circuiti che consentono di misurare il tempo di transito degli impulsi.

Per lo svolgimento dell'indagine ultrasonica si è usato un apparecchio apposito ad ultrasuoni tramite sonde a contatto chiamato "Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicator Tester " (PUNDIT) (Fig.30) Le prove sono state effettuate sui provini a 1, 3, 7, 28 e 90 giorni di maturazione, conservati nelle medesime condizioni come descritto precedentemente. Inoltre, prima di eseguire la prova, il macchinario è stato tarato, regolando il tempo di transito della barra di calibrazione a 25,3 μs (specifiche del produttore). Il tempo di percorrenza così rilevato ha permesso di calcolare la velocità di propagazione dell'onda ultrasonica.

Il misuratore Pundit è costituito da due trasduttori collegati tramite due cavi al generatore di impulsi. La prova consiste nel misurare il tempo impiegato dall'onda ad attraversare il provino, inserito tra i due trasduttori. Prima dell'inizio viene applicato uno strato di grasso sulle facce dei trasduttori e sulle superfici del provino a contatto con essi, per garantire l'omogenizzazione del flusso. Lo strumento viene quindi tarato eseguendo la prova con un cilindro d'acciaio. Per rendere l'idea, possiamo semplificare il tutto con la foto sottostante:

Figura 17 Strumento per la misurazione del modulo elastico

In questo modo si può ricavare il tempo di propagazione dell'impulso ultrasonico in µs. Conoscendo il tempo di percorrenza delle onde e la lunghezza del provino è possibile ricavare la velocità dell'onda ultrasonica che si propaga nel provino:

$$V = \frac{l}{t}$$

Dove:

- l è la lunghezza del provino in metri;
- t è il tempo di propagazione in secondi.

La velocità delle onde elastiche è strettamente connesso al modulo elastico dinamico tramite la seguente formula:

$$E_d = \frac{v^2 \cdot \rho \cdot [(1+\gamma_d) \cdot (1-2\gamma_d)]}{(1-\gamma_d)}$$

Dove:

- Ed è il modulo di elasticità dinamico in N/m2;
- v è la velocità dell'onda espressa in m/s;
- ρ è la densità del mezzo espressa in Kg/m3;
- γd indica il modulo elastico di Poisson del calcestruzzo assunto pari a 0,2

5.6 RITIRO LIBERO

Il ritiro igrometrico è una diminuzione di volume della massa di calcestruzzo, dovuta essenzialmente alla lenta evaporazione dell'acqua in eccesso rimasta imprigionata nel getto. La norma UNI 11307 ricorda che il calcestruzzo è generalmente soggetto a variazioni dimensionali attribuibili a fenomeni di idratazione e a scambi di acqua con l'ambiente circostante (ritiro per essicamento o igrometrico). Quando queste variazioni dimensionali sono contrastate da vincoli le auto-tensioni che si creano possono portare a formazione di fessure, e questo fenomeno è ancora più importante in presenza di macro variazioni di sezioni, presenza di cavità e/o inserti.

Il ritiro igrometrico o da essiccamento è causato dall'evaporazione dell'acqua contenuta dal conglomerato verso l'ambiente esterno insaturo di vapore e si manifesta durante tutta la vita utile del conglomerato anche se la maggior parte di questo fenomeno si manifesta nei primi mesi (stagionatura).

Tale contrazione dipende fondamentalmente dalla formazione all'interno dei pori capillari, inizialmente saturi di acqua, che a causa della tensione superficiale provocano la contrazione della pasta cementizia. Tale fenomeno dipende principalmente da fattori ambientali, quali la temperatura esterna e l'umidità relativa.

Per contrastare il ritiro è opportuno ridurre il rapporto acqua/cemento, aumentare il rapporto aggregato/cemento e, soprattutto, bagnare costantemente l'opera specialmente nei primi giorni di stagionatura (stagionatura umida).

Abbiamo distinto due tipi di ritiro:

1. RITIRO IGROMETRICO LIBERO: abbiamo creato il provino senza alcun vincolo, ovvero senza una barra metallica all'interno. Alle estremità presenta due perni metallici (posti nella fase di creazione del provino) per consentire la misura in modo adeguato.

2. RITIRO IGROMETRICO VINCOLATO: all'interno del provino è presente una barra metallica di 25 cm posta durante la creazione dei provini.

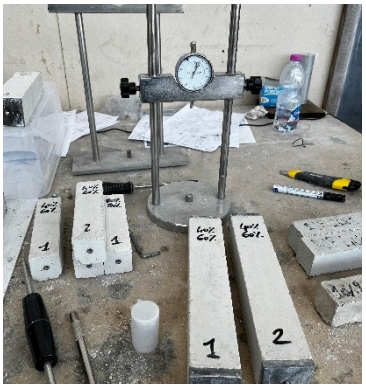


Figure 18 Strumenti per la misurazione dei ritiri

I provini utilizzati (dimensioni 40x40x160 mm) sono quelli alle cui estremità, in fase di getto, sono stati immersi due perni di forma cilindrica in acciaio inox, di 10 mm di altezza e 10 mm di diametro. Dopo lo scassero il provino viene messo nella camera climatizzata a 20°C, a un'umidità del 50% ± 5% per 60 giorni di rilevazione successivi. È importante, inoltre, durante il tempo di rilevamento, che i provini non vengano posizionati a diretto contatto con una superficie o tra loro, ma poggino su barre metalliche, in modo da consentire l'appoggio solo in 2 punti e non ostacolare la deformazione. Riducendo al minimo la presenza di qualsiasi ostacolo che avrebbe potuto vincolare la deformazione, il ritiro è definito libero. La misurazione del ritiro libero avviene tramite il confronto tra la dimensione longitudinale di una barra di riferimento di lunghezza nota e la dimensione longitudinale (soggetta a ritiro) dei provini analizzati. La barra è detta "asta di calibrazione" e consiste in una barra di metallo inossidabile della lunghezza di 160 ± 1 mm. Lo strumento utilizzato per la misurazione è un micrometro di rilevazione fino a 10 µm. Prima di effettuare la misurazione, però, importante è sistemare una sfera metallica nel perno inferiore dove poggia il provino, come base di appoggio. Dunque, si procede prima con l'asta di calibrazione e poi con il provino. Per ottenere dei dati adeguati, ripetiamo 3 volte questo passaggio. Infine, raccogliamo I dati in una tabella, facendo la media dei valori ottenuti.

Figure 17 Strumenti per la misurazione del ritiro libero

Inserito il provino nello strumento si rileva la misura dal micrometro, che verrà successivamente confrontata con quella rilevata dall'asta di calibrazione a lunghezza fissa. Le misure sono state prese mantenendo i provini sempre nella stessa posizione rispetto allo strumento e sono state effettuate con un'accuratezza di 5 µm, ovvero di 0,005 mm. Le misurazioni vengono fatte ogni giorno durante la settimana successiva alla scasseratura, periodo in cui si sviluppa maggiormente il fenomeno del ritiro. In seguito, nelle due settimane successive, sono state effettuate rilevazioni ad intervalli di 48 ore, fino ad arrivare a 2 rilevazioni settimanali, con un'ultima a 60/62 giorni. In tal modo otteniamo la differenza di dimensione longitudinale propria di una determinata tipologia di malta dalla differenza di lunghezza periodica tra la barra di calibrazione ed i campioni. Si è calcolata così la differenza tra il valore medio delle tre misurazioni giornaliere effettuate su un determinato provino ed il valore medio delle rilevazioni sulla barra di riferimento.

In seguito, è stata effettuata una media tra le due differenze dei due campioni realizzati per ciascuna tipologia di malta. Infine, si è ottenuta la differenza di lunghezza media Δ (misurata in millimetri) dei provini della malta analizzata, dall'inizio della rilevazione al tempo t, con la seguente formula:

$$\Delta = V_{medio}t - V_{medio}t_0$$

Dove:

- Vmediot media delle differenze dei due provini tra le misurazioni effettuate sui provini e le misurazioni effettuate sulla barra di calibrazione al tempo t (mm);
- Vmediot0 media delle differenze dei due provini tra le misurazioni effettuate sui provini e le misurazioni effettuate sulla barra di calibrazione al tempo t0 (mm).

A questo punto, noti i valori di contrazione longitudinale Δ, si calcolano le deformazioni, espresse in mm/m, con il seguente rapporto:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{l}$$

Dove:

- Δ variazione di lunghezza del provino al tempo t, individuata come sopra (mm);
- l lunghezza iniziale del provino (0,16 m).

5.7 RITIRO VINCOLATO

Questo tipo di rilevazione permette di verificare il ritiro igrometrico vincolato (barra metallica filettata all'interno del provino), in particolar modo la variazione volumetrica contrastata da elementi vincolanti che si trovano all'interno del campione di malta.

Come già precedentemente detto, la preparazione dei campioni avviene tramite il confezionamento di provini di dimensione 50x50x250 mm tramite un cassero in acciaio, dove all'interno sono presenti degli scompartimenti costituiti da due piastre di dimensioni 50x50 mm ed 8 mm di spessore, collegate tramite una barra filettata.

I casseri con i provini hanno avuto lo stesso trattamento dei provini per la misurazione del ritiro libero, in questo caso, però, la misura rilevata della barra di armatura viene confrontata con un'asta di calibrazione differente (circa 250 mm), di una lunghezza maggiore, senza l'utilizzo delle sfere metalliche come base di appoggio del provino. Durante la misurazione il provino viene messo sempre nella stessa posizione (Fig.16).

Figure 16 Strumento misurazione ritiro vincolato

6. CRH

La seconda parte di questa tesi è stata svolta in Olanda, in particolare nell'azienda CRH, per determinare l'impatto ambientale di ogni miscela (LC3 ed AAMs) e per verificare se le miscele create con leganti alternativi, hanno effettivamente un'impronta di CO2 equivalente, minore rispetto alle miscele realizzate con cemento Portland . Il confronto dei risultati delle diverse miscele è stato effettuato utilizzando la metodologia Life Cycle Assessment (LCA), grazie al software specifico messo a disposizione dall'azienda stessa: GCCA Programs (Global Concrete Cement Association).

CRH (Cement Roadstone Holdings) è un'azienda irlandese leader a livello mondiale nella produzione e commercializzazione di materiali da costruzione. Fondata nel 1936, CRH opera in 31 paesi in tutto il mondo, offrendo una vasta gamma di prodotti per la costruzione di strade, edifici, infrastrutture e opere pubbliche. L'azienda è impegnata nell'innovazione tecnologica, per garantire la qualità e l'efficienza dei suoi prodotti e servizi. Con una forza lavoro globale di oltre 90.000 persone, CRH continua a crescere e a espandersi, diventando un punto di riferimento nel settore dei materiali da costruzione.

CRH,inoltre, ha una forte attenzione alla sostenibilità e all'impatto ambientale delle sue attività. L'azienda conduce un'analisi del ciclo di vita (LCA, Life Cycle Assessment) dei suoi prodotti, per valutare l'impatto ambientale a livello globale e identificare aree di miglioramento. Ad esempio, l'LCA del cemento prodotto da CRH tiene conto dell'utilizzo delle materie prime, dell'energia necessaria per la produzione, delle emissioni di gas a effetto serra e dello smaltimento dei rifiuti. In questo modo, CRH è in grado di ridurre l'impatto ambientale della sua produzione e di offrire prodotti più sostenibili ai propri clienti. Inoltre, l'azienda sta investendo in tecnologie pulite e innovative per ridurre ulteriormente le sue emissioni di CO2 e migliorare la sostenibilità delle sue attività.

Per quanto riguarda la sperimentazione, la mia tesi nasce grazie all'azienda CRH, che ci ha fornito i materiali necessari per le miscele,adatti per la valutazione delle prestazioni meccaniche e dell'impatto ambientale di nuovi leganti sostenibili contenenti filler calcareo. Inoltre mi ha permesso di fare un tirocinio europeo nella loro azienda di 4 mesi. L'azienda ha un impegno sostenibile nella produzione di prodotti a basso impatto ambientale e ha una vasta conoscenza e esperienza nell'utilizzo di filler calcareo in leganti sostenibili.

Figura 17 Logo CRH
https://www.crh.com/global/europe/netherlands

7. OSSERVAZIONE VISIVA

PROVINI DOPO 90 GIORNI DI STAGIONATURA

Figura 2 Provini dopo 90gg di stagionatura sottoposto ad ambiente di climatizzazione di 20°
RIF (50%C 50%LC2) e 40%C 60%LC2
LC3

Figura 3Provini dopo 90gg di stagionatura sottoposto ad ambiente di climatizzazione di 40°
30%C 70%LC e 20%C 80%LC2 e 10%C 90%LC2
LC3

Figura 4 Provini dopo 90gg di stagionatura sottoposto ad ambiente di climatizzazione di 40°
NaOH ed SS (Miscele con attivatori)
AAM

PROVINI PER I RITIRI DOPO 90 GIORNI DI STAGIONATURA A 20°
LC3 e AAM

Figura 18 Provini dopo 90gg di stagionatura con presenza di fessure e crepe

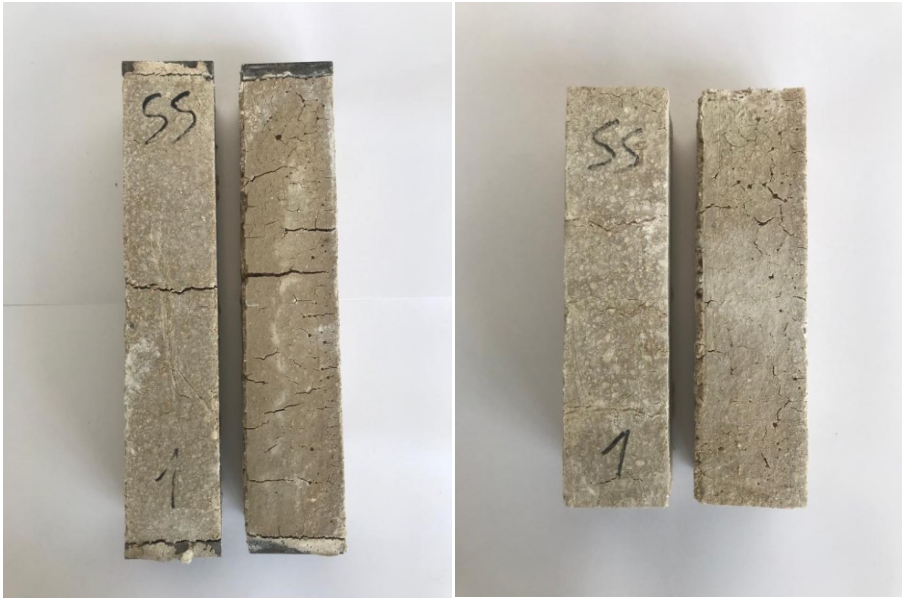


Figura 19 Provini con attivatore con spaccature dopo 90gg di stagionatura
SS AAM

Figura 20 Provini con attivatore con spaccature ed efflorescenze dopo 90gg di stagionatura
NaOH AAM

Figura 21 Provini con attivatore con spaccature ed efflorescenze dopo 90gg di stagionatura

8. ANALISI SPERIMENTALE: LC3

L'analisi sperimentale del cemento LC3 è un'indagine scientifica finalizzata a valutare le proprietà e le prestazioni di questo tipo di materiale. LC3 è un cemento a clinker ridotto, ovvero con una quantità minore di clinker rispetto ai cementi tradizionali, che viene sostituita da materiali alternativi. L'obiettivo di questa analisi è quello di verificare se il cemento LC3 soddisfa i requisiti prestazionali richiesti per le applicazioni edilizie, nonché di identificare eventuali vantaggi o svantaggi rispetto ai cementi convenzionali.

8.1 MIX DESIGN

Mix-design significa letteralmente “progetto della miscela” cioè, sostanzialmente, stabilire la composizione della miscela cementizia determinando le quantità dei singoli ingredienti in funzione delle esigenze esecutive (lavorabilità, reperibilità dell’aggregato, ecc…) dalle prestazioni richieste e dalle condizioni ambientali in cui si troverà la struttura (durabilità, resistenza meccanica, ecc.). Il mix design è quell'operazione fondamentale nella progettazione di un calcestruzzo che consente il corretto proporzionamento di tutti i componenti, ed è fondamentale per la produzione di un calcestruzzo di qualità. In questo lavoro di sperimentazione sono state eseguite delle malte standard col fine di determinare una certa lavorabilità, resistenza meccanica e durabilità.

Dunque, in questa fase di sperimentazione, abbiamo lavorato su 5 tipi di miscele differenti:

- Miscela 50%CEM 50%LC2;
- Miscela 40%CEM 60%LC2;
- Miscela 30%CEM 70%LC2;
- Miscela 20%CEM 80%LC2;
- Miscela 10%CEM 90%LC2.

Di seguito, in tabella (Tabella 1), i mix design di ogni miscela.

50%CEM 50%LC2	Cement	Water	Sabbia Esincalce 0/8	Metakaolin	Limestone
Materials (g/L)	10,00	16,70	60,00	6,67	3,33
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,50	2,70
Volume materials (ml)	3,23	16,70	22,64	2,67	1,23
Volume materials (ml/L)	69	359	487	57	27
Materials for 1L (g/L)	215	359	1291	143	72
Materials for 1L (g/L) Humid Sand	215	332	1318	143	72

40%CEM 60%LC2	Cement	Water	Sabbia Esincalce 0/8	Metakaolin	Limestone
Materials (g/L)	8,00	17,50	60,00	8,00	4,00
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,50	2,70
Volume materials (ml)	2,58	17,50	22,64	3,20	1,48
Volume materials (ml/L)	54	369	478	68	31
Materials for 1L (g/L)	169	369	1266	169	84
Materials for 1L (g/L) Humid Sand	169	345	1290	169	84

30%CEM 70%LC2	Cement	Water	Sabbia Esincalce 0/8	Metakaolin	Limestone
Materials (g/L)	6,00	18,90	60,00	9,33	4,67
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,50	2,70
Volume materials (ml)	1,94	18,90	22,64	3,73	1,73
Volume materials (ml/L)	40	386	463	76	35
Materials for 1L (g/L)	123	386	1226	191	95
Materials for 1L (g/L) Humid Sand	123	362	1250	191	95

20%CEM 80%LC2	Cement	Water	Sabbia Esincalce 0/8	Metakaolin	Limestone
Materials (g/L)	4,0	19,7	60,0	10,7	5,3
Dry density (g/L)	3,1	1,0	2,7	2,5	2,7
Volume materials (ml)	1,3	19,7	22,6	4,3	2,0
Volume materials (ml/L)	25,87	395,00	453,98	85,58	39,58
Materials for 1L (g/L)	80	395	1203	214	107
Materials for 1L (g/L) Humid Sand	80	370	1228	214	107

10%CEM 90%LC2	Cement	Water	Sabbia Esincalce 0/8	Metakaolin	Limestone
Materials (g/L)	2	22,00	60	12,00	6,00
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,50	2,70
Volume materials (ml)	0,65	22,00	22,64	4,80	2,22
Volume materials (ml/L)	12,33	420,58	432,84	91,76	42,48
Materials for 1L (g/L)	38	421	1147	229	115
Materials for 1L (g/L) Humid Sand	38	396	1172	229	115

Tabella 1 MIX DESIGN LC3

Per ottenere il calcestruzzo desiderato, tuttavia, dopo un buon mix design occorre considerare ancora tutta quella serie di fasi esecutive, come la preparazione dell'impasto, la miscelazione, la stagionatura che sono passaggi essenziali per determinare la qualità del materiale. Un buon mix design, dunque, non è il solo responsabile delle caratteristiche del nostro calcestruzzo, ma costituisce una fase fondamentale nella progettazione del materiale che sarà come vorremo se avremo proporzionato correttamente tutti gli elementi.

8.2 PREPARAZIONE DEI PROVINI

8.2.1 IMPASTI

Nella preparazione delle miscele, le modalità di impasto e di inserimento degli ingredienti giocano un ruolo fondamentale alla buona riuscita. Come già detto, per questa sperimentazione sono stati creati 5 impasti diversi per studiare ed evidenziare il comportamento di LC3 con diverse percentuali di calcare e metacaolino, a diverse temperature di stagionatura. Siamo partiti da un rapporto acqua-cemento a/c = 0,84 e da un rapporto inerte-cemento i/c = 3, considerando l'utilizzo di un cemento di tipo I, 52,5 N (normale) ed una sabbia Esincalce 0-8 mm per la creazione dell'impasto di riferimento. Il secondo composto lo abbiamo ottenuto riducendo la quantità di clinker, sostituendola con una percentuale di calcare e di metacaolino del 60%. Si è dunque partiti dalla quantità massima di cui questo studio si è occupato, in modo tale da andare subito a constatarne la lavorabilità. Si è poi proceduto con gli impasti da 70%, 80% e 90%, riducendo gradualmente il quantitativo di cemento. Gli ingredienti, per ogni impasto, sono stati pesati con una bilancia a terra, per i quantitativi maggiori, con un bilancino di precisione per i quantitativi inferiori.

Figura 22 Bilance utilizzate

Una volta unite le polveri all'acqua si è iniziato a mescolare con l'aiuto di un miscelatore Hobart (Figura 15), o un trapano mescolatore. Aumentando il quantitativo di metacaolino, l'impasto diventa sempre più viscoso e più difficile da mescolare (Fig.22): (il trapano serve a getti > 1L)

Figura 22 Macchinario Miscelatore

Figura 23 Trapano Mescolatore

8.2.2 LAVORABILITA E CONSISTENZA DELLE MALTE

La lavorabilità, come detto in precedenza, indica la capacità della miscela allo stato fresco, di muoversi senza presentare fenomeni di segregazione, garantendo facilità di messa in opera, compattazione migliore, fuoriuscita dell'aria durante la compattazione e minore porosità allo stato indurito. Maggiore è la lavorabilità e minore sarà la necessità di vibrare l'impasto all'interno dei casseri, per ottenere una buona omogeneità e resistenza a fine maturazione del provino.

Figura 24 Malta fresca dopo il mescolamento

Per ottenere questi aspetti, nella fase precedente al getto, è stato definito il grado di lavorabilità secondo la norma UNI EN 1015-3:2007; il metodo utilizzato è quello dello Slump test, ovvero la prova di spandimento.

La prova di spandimento alla tavola a scosse è un metodo utilizzato per la determinazione della consistenza della malta allo stato fresco.

L'attrezzatura necessaria per l'esecuzione della prova è la seguente:

a) Tavola a scosse
b) Spatola
c) Riga

Si appoggia la tavola orizzontale, in modo stabile sul supporto. Viene posizionato il tronco di cono cavo al centro della tavola. Utilizzando la spatola, si riempie lo stampo e si livella la malta al margine superiore utilizzando un regolo. Prima di sformare il cono la superficie libera della tavola a scosse deve essere pulita. Viene rimosso lo stampo. Lo stampo viene sollevato lentamente in direzione verticale. L'operazione di rimozione del cono deve essere compiuta in un tempo compreso fra 5 e 10 s con sollevamento regolare senza provocare movimenti laterali e di torsione al calcestruzzo. La miscela viene assestata con 15 colpi con una frequenza di circa 1/s, ovvero 15 colpi in 15 secondi. Si misura infine lo spandimento sui 2 diametri (a1 e a2) ortogonali in corrispondenza della croce tracciata sulla tavola.

Figura 25 Preparazione stampo

Infine, si ripete lo stesso procedimento per ogni miscela, in modo da verificare la consistenza adeguata, e quindi un adeguata lavorabilità. Per ogni malta abbiamo ottenuto un diametro maggiore o uguale a 14cm e inferiore a 20cm. Possiamo, dunque, definire le miscele come plastiche.

Consistence in use	Flow value mm	Procedure
Stiff mortar	< 140 mm	Test the mortar in accordance with 7.2.1
Plastic mortar	140 mm to 200 mm	Test the mortar in accordance with 7.2.1 or 7.2.2
Soft mortar	> 200 mm	Test the mortar in accordance with 7.2.3

Figura 26 Tabella per la verifica della consistenza
https://www.unicalcestruzzi.it/documents/87676/0/Guida+alla+classe+di+consistenza.pdf/

Di seguito, si possono vedere gli spandimenti ottenuti per ogni miscela:

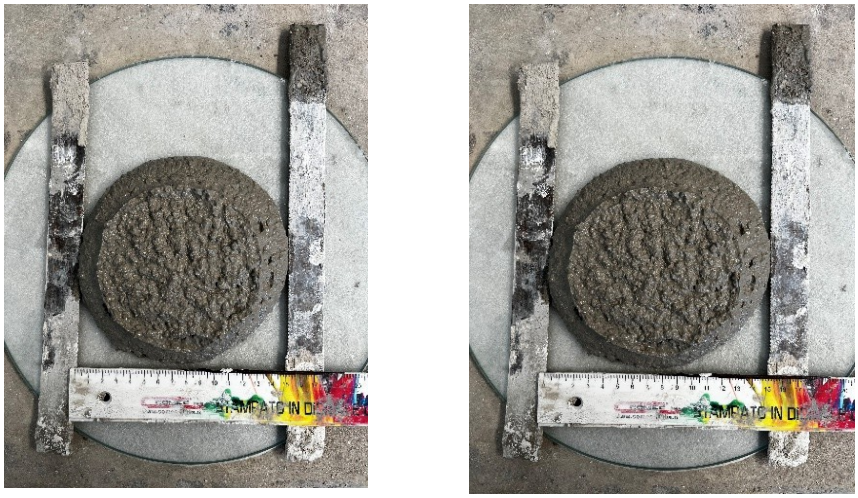


Figura 26 Misurazione dello spandimento RIF 50%C 50%LC2

Figura 27 Misurazione dello spandimento 40%C 60%LC2

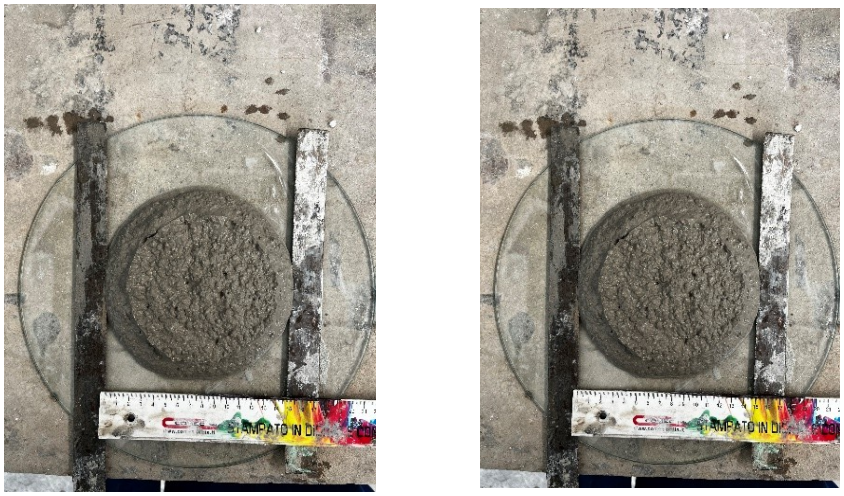


Figura 28 Misurazione dello spandimento 30%C 70% LC2

Figura 29 Misurazione dello spandimento 20%C 80% LC2

Figura 30 Misurazione dello spandimento 10%C 90%LC2

8.2.3 CONFEZIONAMENTO PROVINI E STAGIONATURA

A questo punto le miscele vengono gettate nei casseri, contenitori metallici e in plastica divise in tre scomparti, per la realizzazione di tre provini parallelepipedi (4x4x16 cm) per ogni stampo.

Figura 31 Casseri di metallo e casseri di plastica

Inoltre, si sono realizzati anche dei provini di dimensione 5x5x25 cm, i quali sono stati utilizzati casseri in acciaio assemblati con viti (Fig.26). Poi all'interno del cassero verrà messa un'asta di acciaio di contrasto, con filettatura M6 per una lunghezza di 25 cm nella malta. I provini così ottenuti (2 provini per ogni miscela) saranno utilizzati per la determinazione del ritiro igrometrico vincolato delle malte. (aggiungi anche la descrizione dei casseri 4x4x16 cm per il ritiro libero con le vitine inglobate)

Figura 32 Casseri metallici per il ritiro vincolato

In seguito, si svolge l'operazione di vibrazione dei campioni attraverso una piastra vibrante che permette di eliminare i vuoti d'aria all'interno dei campioni e quindi di riempire perfettamente il cassero.

Figura 33 Casseri riempiti messi nella piastra vibrante

I casseri vengono quindi avvolti nella pellicola trasparente e conservati in 3 diversi tipi di ambienti:

• Camera di essiccazione (temperatura 20°);

• Forno (temperatura 40°);

• Frigorifero (temperatura 10°).

Figura 34 Camera di essicazione 20' e forno 40'

La scelta di eseguire stagionature a tre temperature differenti è data dalla volontà di visualizzare come varia il comportamento delle malte in base al contenuto di calcare e metacaolino alle diverse temperature, poiché lo sviluppo della resistenza meccanica e del modulo elastico è più lento a 10°C e più rapido a 40°C.

Dopo 24h di maturazione i provini sono stati tutti scasserati con attenzione e per ogni tipologia di impasto, sono stati suddivisi e denominati per giorni di maturazione in funzione dello studio del comportamento meccanico dei campioni (1, 3, 7, 28, 90 giorni) (Fig.29). Avvolti poi nella pellicola, in modo da mantenere una umidità del 95% per 3,7,28 giorni di maturazione e poi lasciati all'aria,

hanno continuato il processo di maturazione nei rispettivi ambienti a diverse temperature. La stagionatura ha lo scopo di garantire la resistenza meccanica.

Figura 35 Provini scasserati

8.3 DENSITA'

Dopo aver scasserato i provini in base al tempo di stagionatura, con l'aiuto della bilancia, abbiamo misurato il peso. Con il peso dei provini di malta sottoposti a stagionatura a 1,3,7,28 e 90 giorni di maturazione e stagionati a 20°, 40° e 10°, sono state rilevate le densità (g/cm3) dei composti conoscendo il loro volume (di circa 256 cm3 per provini di dimensioni 40x40x160 cm) con la seguente formula:

$$\rho = \frac{M_{28}}{V}$$

Dove:

- M28 massa del provino a 28 giorni di stagionatura (kg);
- V volume approssimativo del provino (0,000256 m3).

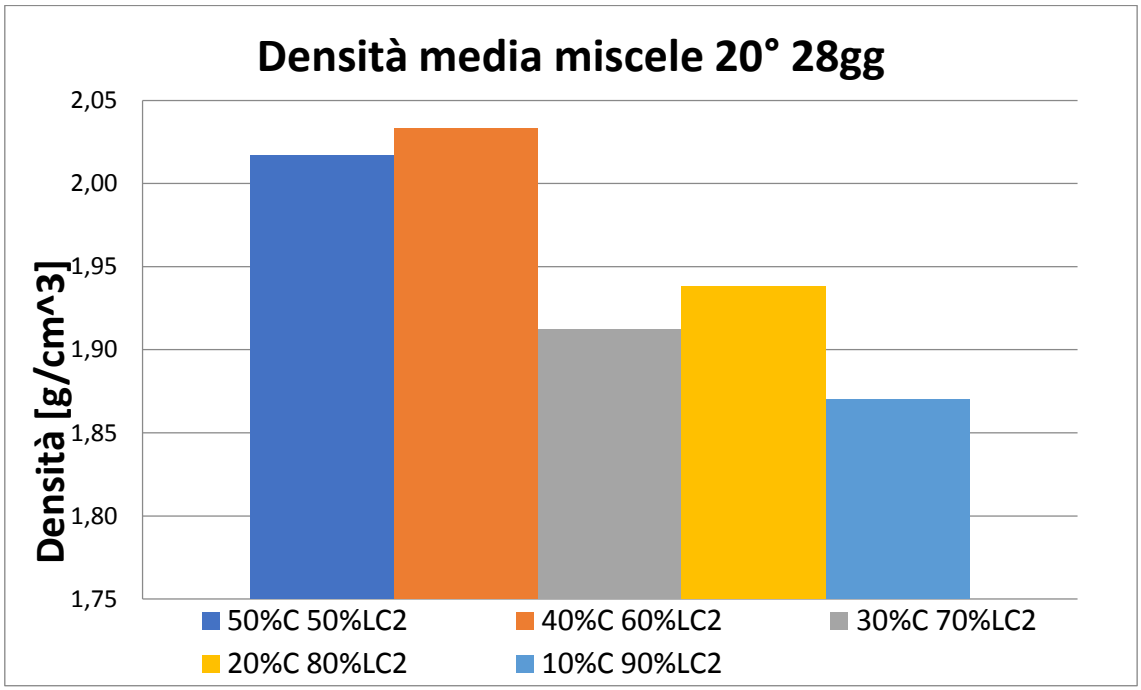
Una volta calcolato la densità, raccogliamo tutti i dati in file Excel, come riportato come esempio nella figura sottostante:

20°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]
PROVINO 1	26/Sep	0	0,000	0,00
PROVINO 2			0,000	0,00
PROVINO 1	27/Sep	1	530,84	2,07
PROVINO 2			566,46	2,21
PROVINO 1	29/Sep	3	553,19	2,16
PROVINO 1	03/Oct	7	529,57	2,07
PROVINO 1	24/Oct	28	520,48	2,03
PROVINO 2			512,24	2,00
PROVINO 1	26/Dec	90	489,12	1,91
PROVINO 2			474,27	1,85

40°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]
PROVINO 1	26/Sep	0	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00
PROVINO 1	27/Sep	1	511,97	2,00
PROVINO 2			533,49	2,08
PROVINO 1	29/Sep	3	538,43	2,10
PROVINO 1	03/Oct	7	512,89	2,00
PROVINO 2			525,53	2,05
PROVINO 1	24/Oct	28	494,13	1,93
PROVINO 2			496,74	1,94
PROVINO 1	26/Dec	90	437,24	1,71
PROVINO 2			-	-

10°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]
PROVINO 1	26/Sep	0	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00
PROVINO 1	27/Sep	1	527,79	2,06
PROVINO 2			517,97	2,02
PROVINO 1	29/Sep	3	559,67	2,19
PROVINO 1	03/Oct	7	552,17	2,16
PROVINO 2			542,05	2,12
PROVINO 1	24/Oct	28	523,85	2,05
PROVINO 2			540,35	2,11
PROVINO 1	26/Dec	90	463,99	1,81
PROVINO 2			475,04	1,86

Tabella 2 Raccolta dati Excel miscela 50%C 50% LC2



8.4 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA

Esiste un notevole numero di prove meccaniche per la caratterizzazione del comportamento strutturale dei materiali: trazione, compressione, fatica, frattura. Lo scopo di ciascuna è definire, in ciascun ambito, i limiti di utilizzabilità di ogni materiale. Le prove devono rispondere a normative stringenti per essere affidabili e ripetibili e per ogni tipologia di materiale esistono prove più o meno atte a metterne in risalto prestazioni e caratteristiche specifiche.

La resistenza meccanica rappresenta la capacità di sopportare un carico applicato, ovvero lo sforzo massimo che un provino di un determinato materiale è in grado di subire prima di arrivare a rottura. In questo caso effettueremo le prove di flessione e compressione su provini di dimensione 40x40x160 mm realizzati per tutte le miscele. Le prove sono state svolte in accordo alle normative UNI EN 1015-11 del 2007 e UNI EN 196-1 del 2005 per ogni miscela, esattamente a 1, 3, 7, 28 e 90 giorni di stagionatura in diversi ambienti climatici come citato precedentemente: in camera climatica a temperatura di 20 °C, in frigo a temperatura di 10°C e in forno a temperatura di 40°C.

Le prove a flessione e a compressione vengono effettuate mediante una pressa idraulica automatica (Fig.42). Lo strumento è in grado di valutare la resistenza a flessione su provini di forma parallelepipeda con dimensioni 4x4x16 cm, mentre valuta la resistenza a compressione su provini cubici 4x4x4 cm o di forma parallelepipeda con la dimensione maggiore ridotta. Per le due prove meccaniche si utilizzano due tipi di supporti metallici differenti. La pressione esercitata sul campione è rilevata da sensore e viene visualizzata direttamente sul PC collegato all'apparecchiatura su cui è installato un software di gestione.

Figure 36 Macchinario per la prove meccaniche

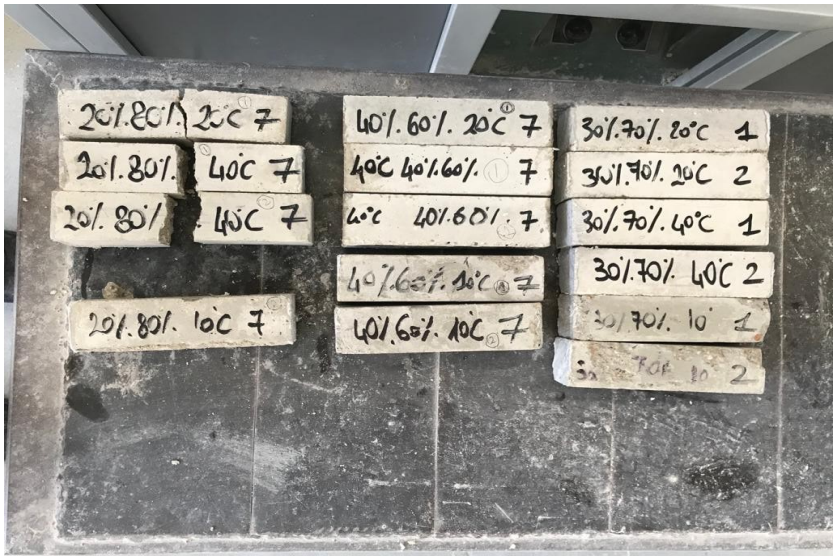


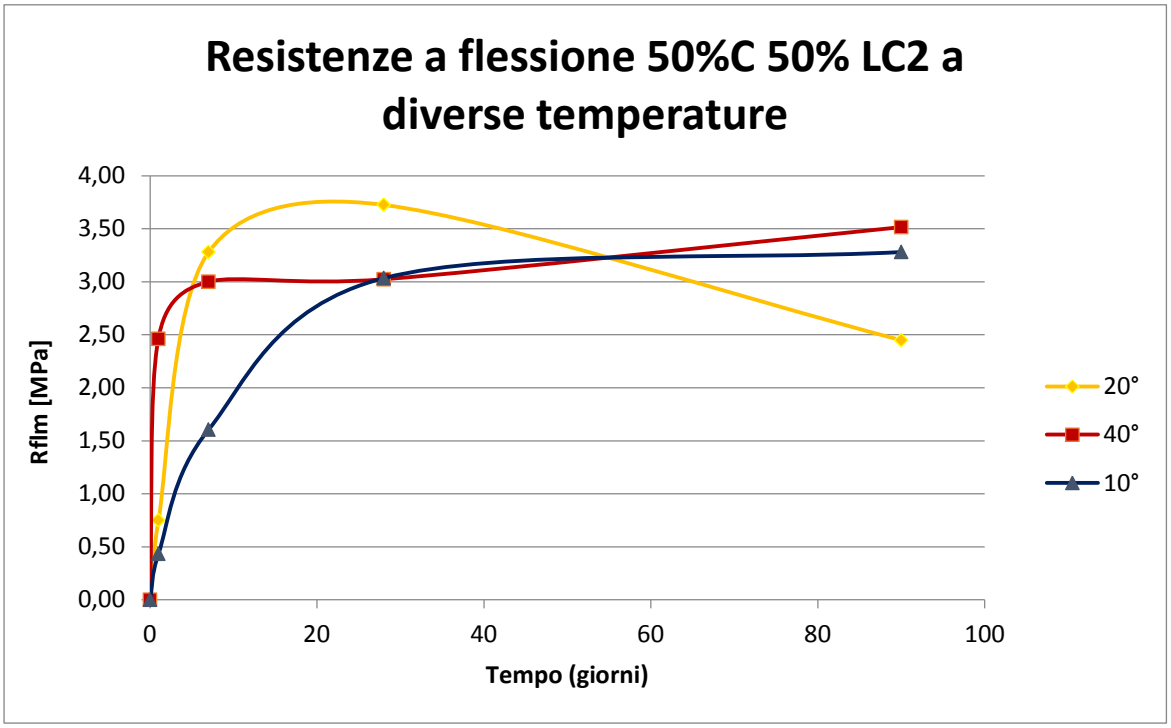
Figura 37 Foto Provini per le prove meccaniche

8.4.1 RISULTATI PROVA A FLESSIONE

In seguito alle prove svolte abbiamo rilevato i seguenti risultati caratteristici di ogni impasto.

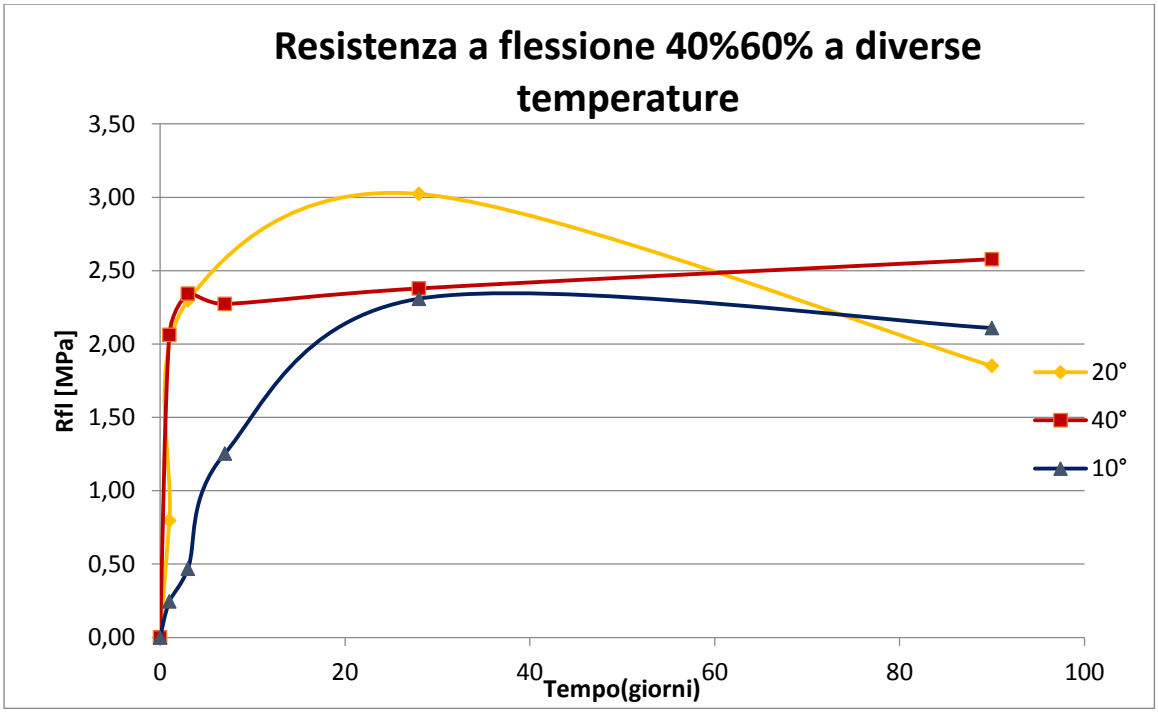
- RIF 50%C 50%LC2

Come possiamo vedere la resistenza meccanica a flessione dei provini ad ognuna delle 3 temperature è crescente. La curva dei provini a 40°C raggiunge nel breve tempo valori più elevati rispetto a quelle dei provini conservati alle altre temperature, per poi assestarsi infine in maniera asintotica allo stesso modo della resistenza a flessione dei provini stagionati a 20°C. I provini a 10° invece raggiungano valori di resistenza a flessione più alti in tempi maggiori e dopo i 50 giorni assumono valori che superano quelli a 20°C e 40°C.



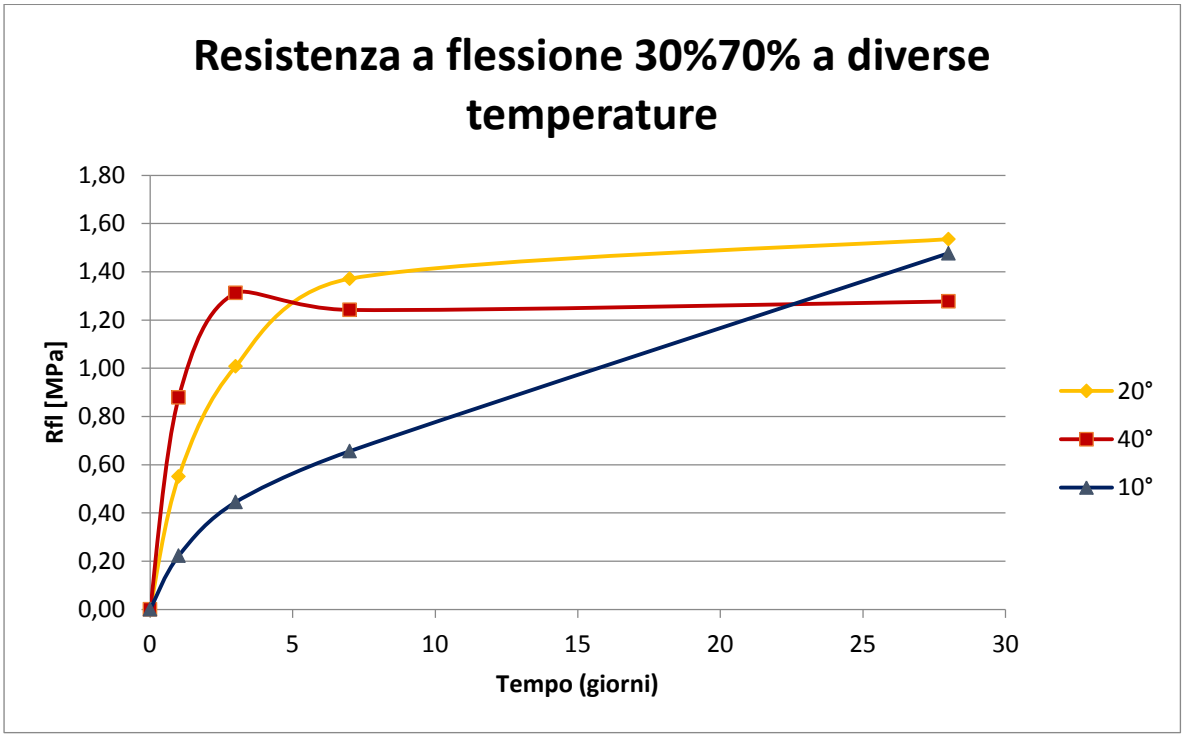
- 40%C 60%LC2

La resistenza meccanica a flessione della miscela 40%C 60% LC2 si comporta in maniera simile a quelle di RIF, con la differenza che otteniamo valori leggermente più bassi per ogni ambiente di stagionatura. L'unica piccola differenza l'abbiamo per la miscela a 20' che ha un andamento piu crescente rispetto alla miscela di riferimento, che tende invece ad appiattirsi dopo 10 giorni di stagionatura



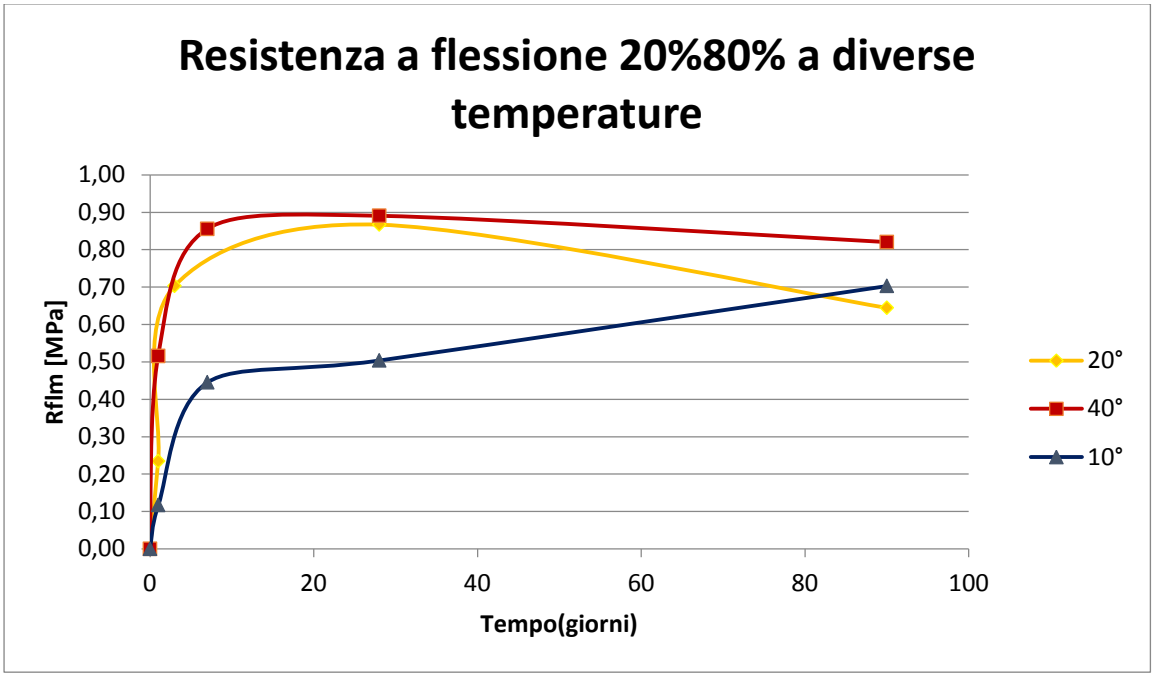
30%C 70%LC2

Dal grafico notiamo come i provini di tutte e tre le temperature di stagionatura hanno una curva di resistenza meccanica a flessione simile, con valori leggermente più elevati per quella a 20°C. A differenza delle altre miscele, in questo caso, abbiamo che la curva del provino a 10' ha una curva sempre crescente all'aumentare del tempo di stagionatura, fino a raggiungere un valore maggiore della miscela a 40'.



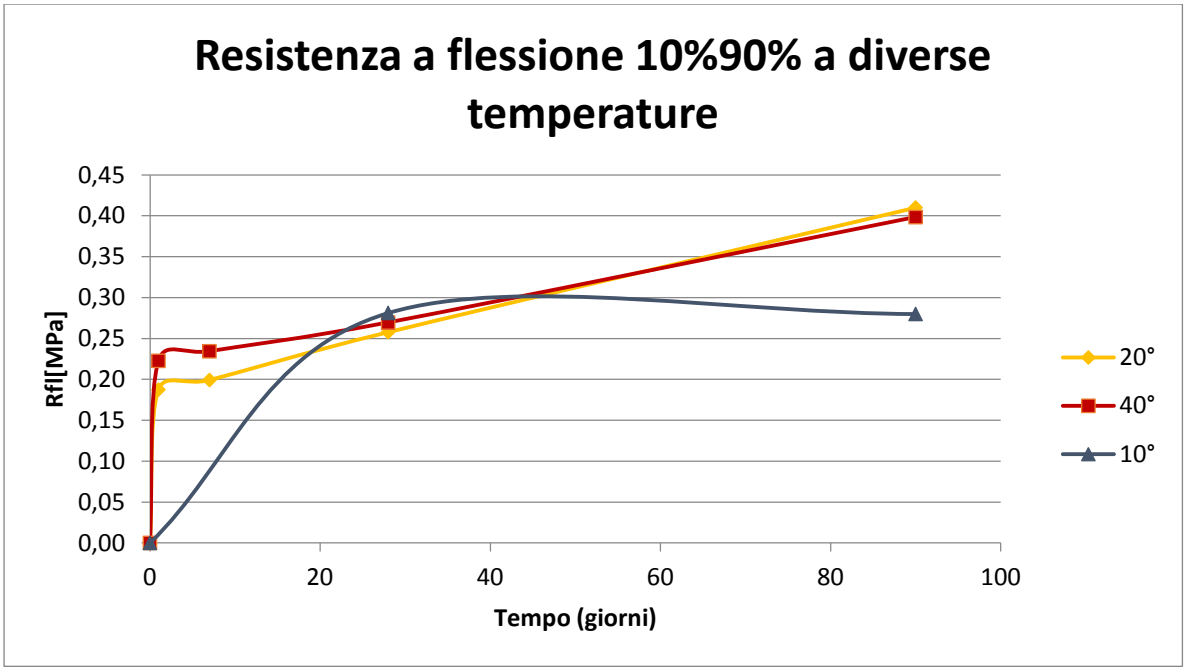
20%C 80%LC2

In questo caso, abbiamo che I provini a 20' e 40', tendono ad avere dei valori molto simili, anche avendo due andamenti diversi, quando raggiungono I 28gg di stagionatura. Comportamento differente lo abbiamo per la miscela a 10', dove aumenta il suo valore, all'aumentare del tempo di stagionatura, fino a raggiungere il punto massimo a 90gg di stagionatura.



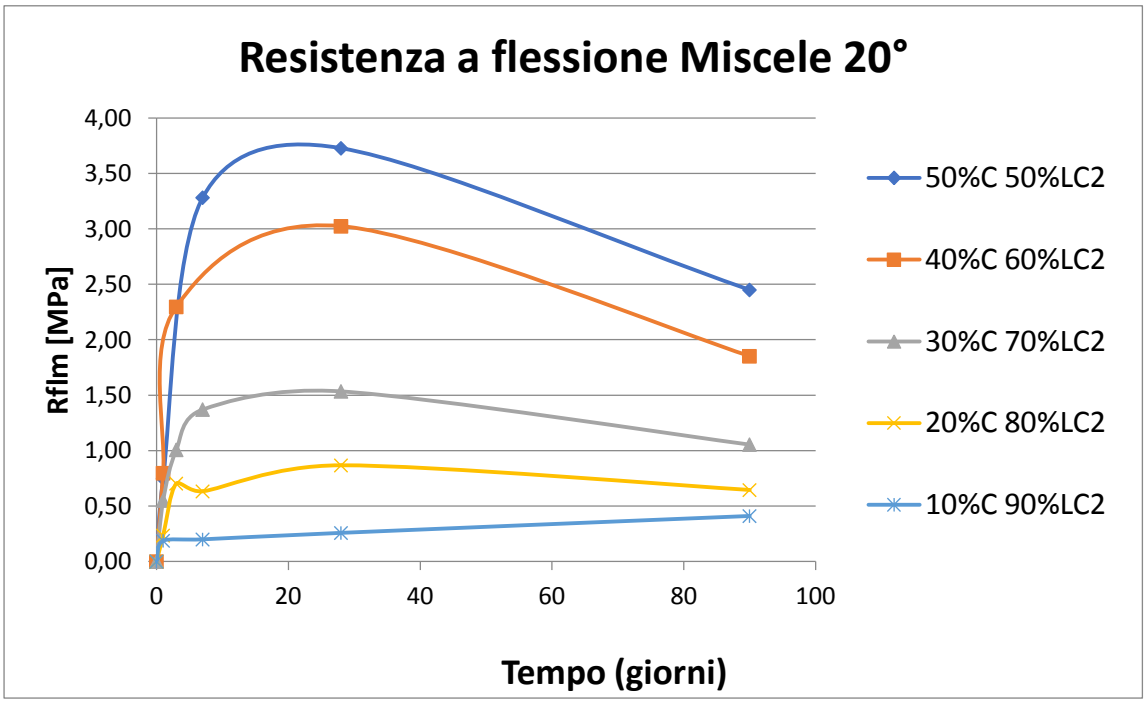
10%C 90%LC2

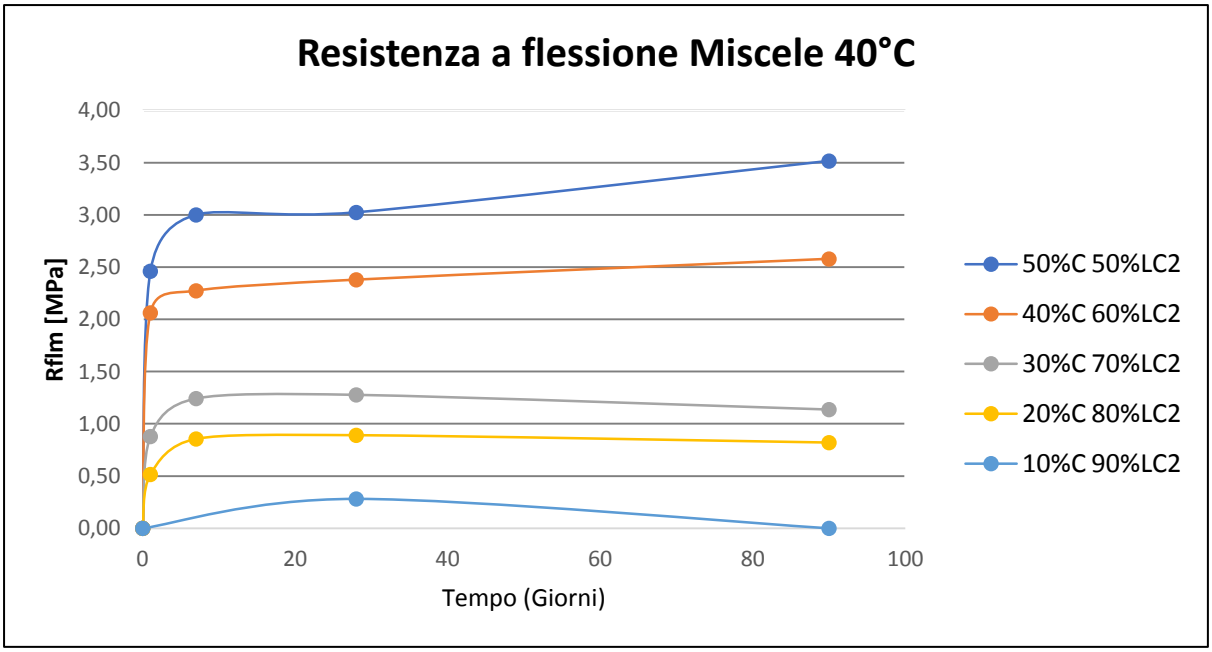
In questo caso, abbiamo un andamento molto altalenante per I primi giorni di stagionatura, dato che essi durante la scasseratura, erano molto "morbidi" e fragili, quindi in alcuni casi non siamo riusciti ad ottenere alcun valore. Però, aumentando il tempo di stagionatura, le miscele tendono ad avere valori simili, anche se molto bassi rispetto alla miscela di riferimento, come vediamo dal grafico:

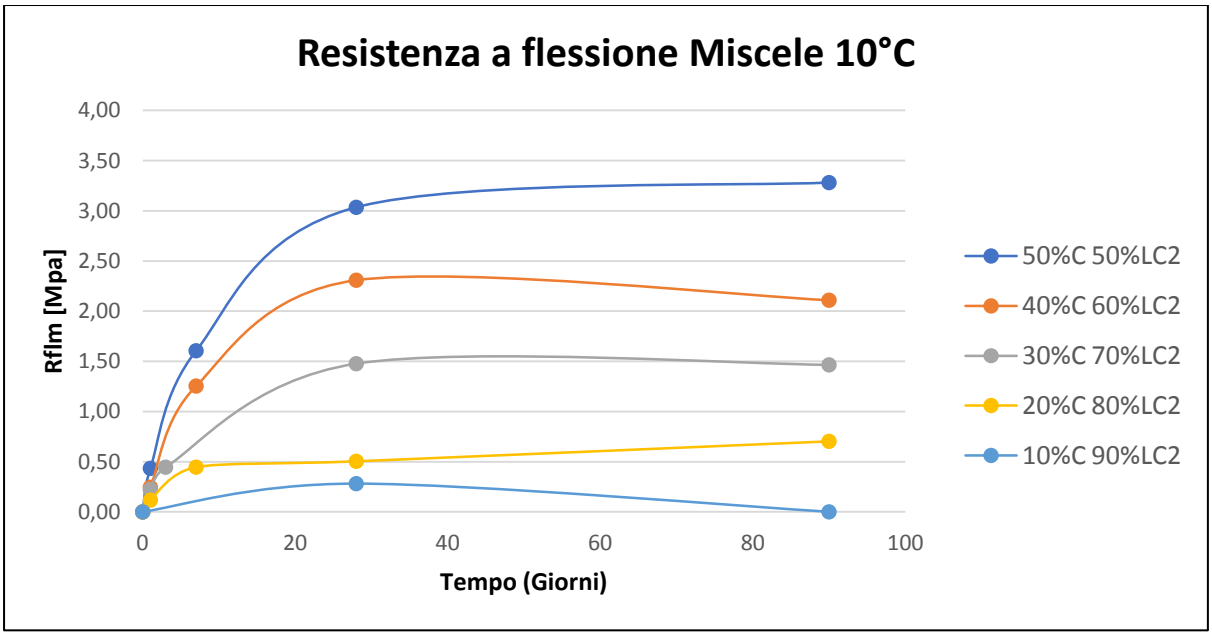


In questa prima parte di sperimentazione è stato riscontrato che, sostituendo il calcare e il metacaolino al cemento, la resistenza meccanica a flessione e compressione tendono ad abbassarsi. Diminuendo il quantitativo di cemento, come possiamo vedere dal grafico sottostante, la resistenza meccanica a flessione diminuisce per ogni miscela.

Infine, mettiamo a confronto le varie miscele a seconda del tempo di stagionatura e dell'ambiente di climatizzazione:




Resistenza a flessione Miscele 40°C
Rflm [MPa]
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
20
40
60
80
100
Tempo (Giorni)
50%C 50%LC2
40%C 60%LC2
30%C 70%LC2
20%C 80%LC2
10%C 90%LC2

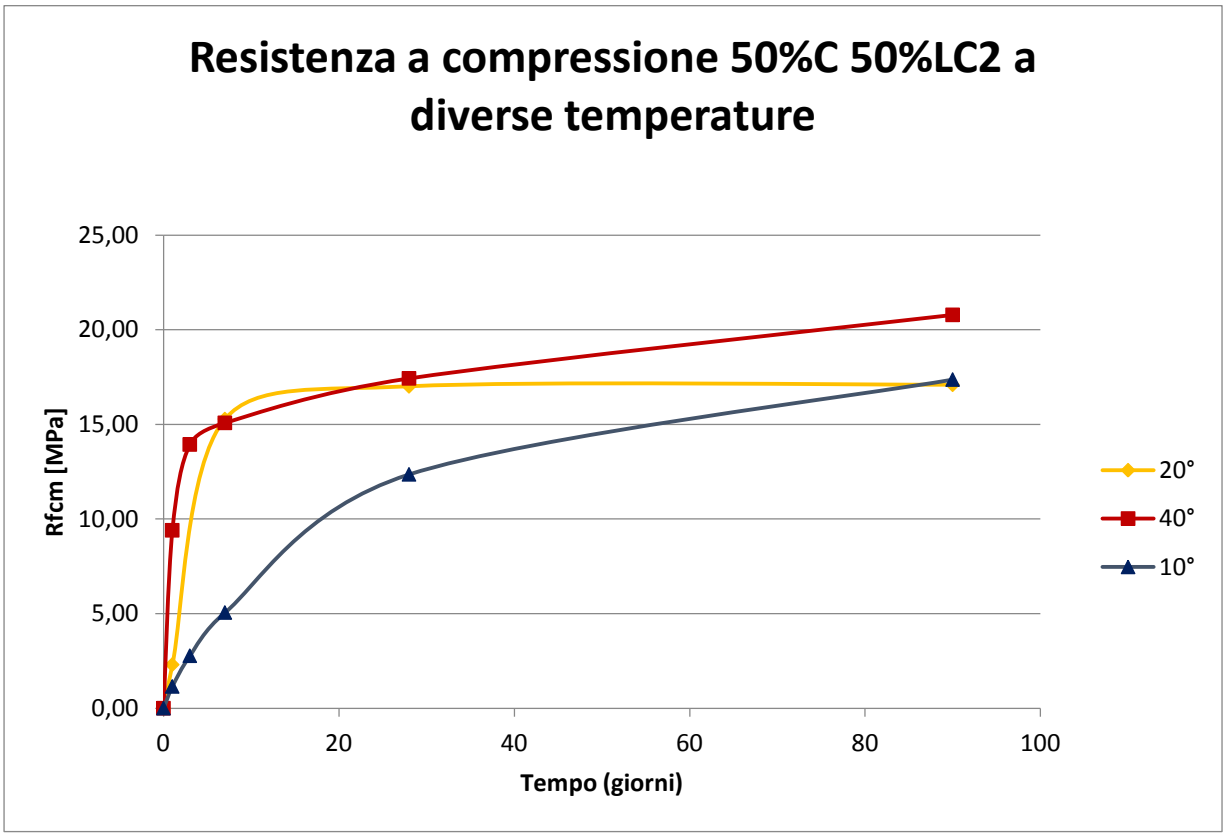

Resistenza a flessione Miscele 10°C
Rflm [Mpa]
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
20
40
60
80
100
Tempo (Giorni)
50%C 50%LC2
40%C 60%LC2
30%C 70%LC2
20%C 80%LC2
10%C 90%LC2

8.4.2 RISULTATI PROVA MECCANICA A COMPRESSIONE

Come per la prova a flessione, qui di seguito si possono vedere i seguenti risultati:

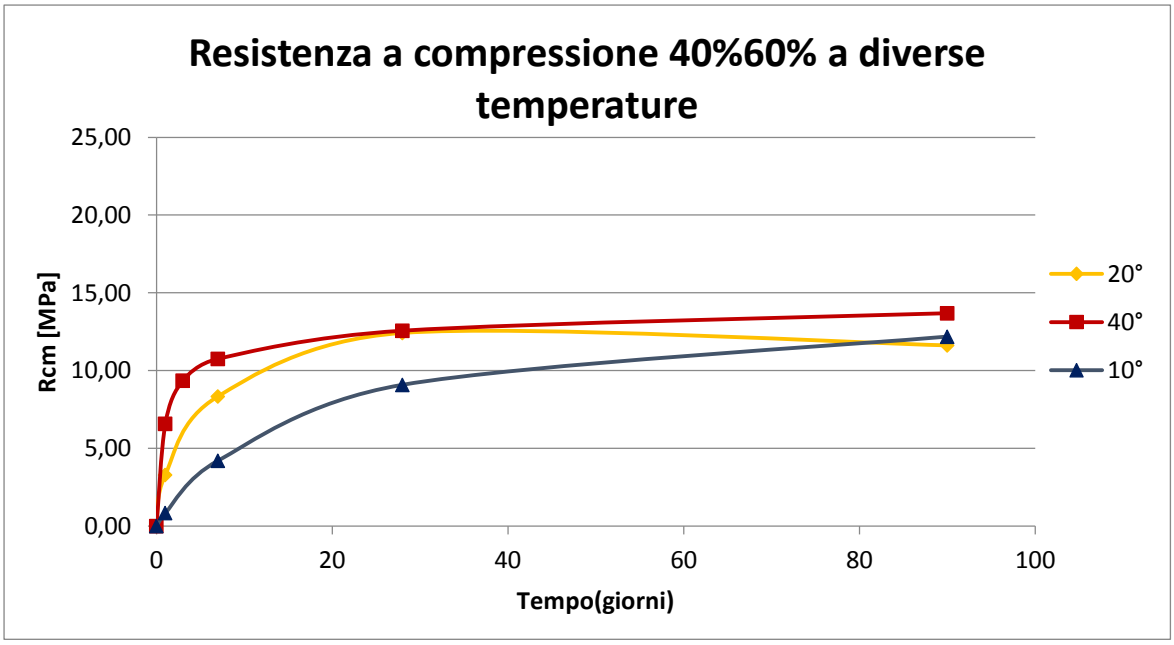
RIF 50%C 50%LC2

Anche la resistenza meccanica a compressione dei provini a 40°C raggiunge nel breve tempo valori più elevati rispetto a quelli conservati alle altre temperature, per poi decadere dopo 7 giorni ed assestarsi a valori molto più bassi rispetto ad essi. I provini a 10° invece, nonostante raggiungano valori di resistenza a compressione più alti in tempi maggiori, dopo i 30 giorni assumono valori che raggiungono quasi quelli a 20°C e 40°C:



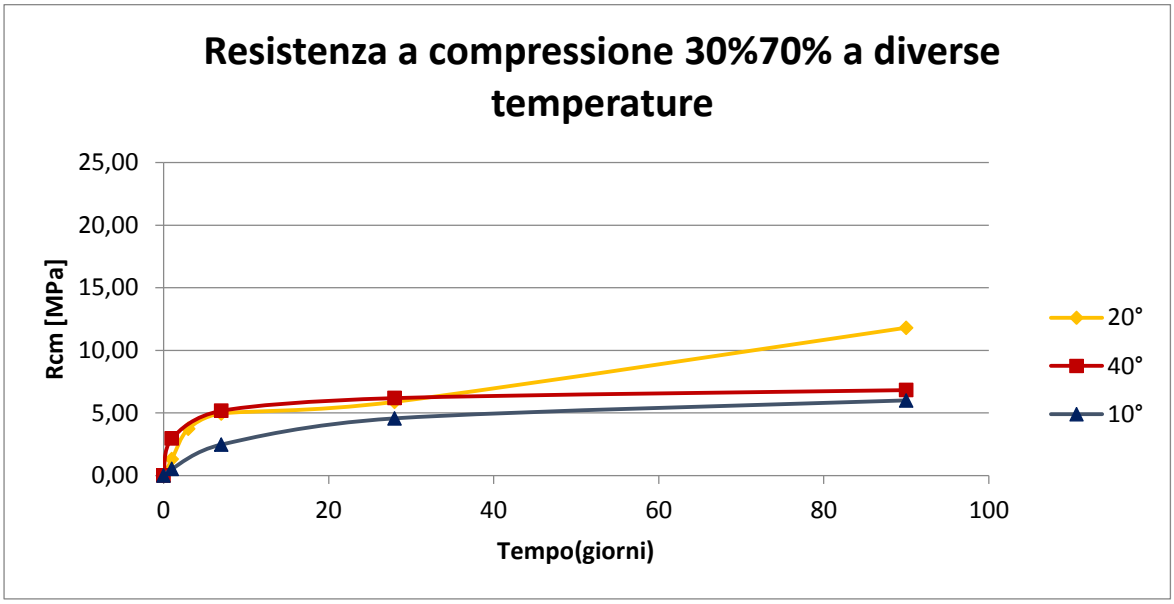
40%C 60%LC2

La resistenza meccanica a flessione della miscela 40%C 60%LC2 si comporta in maniera simile a quelle di RIF, con la differenza che quella dei provini a 40°C ha un aumento molto maggiore rispetto alla miscela di riferimento, fino a superare il valore del provino a 20°C. I provini a 10°C e 20°C seguono invece una curva pressoché simile, leggermente più traslata verso il basso.



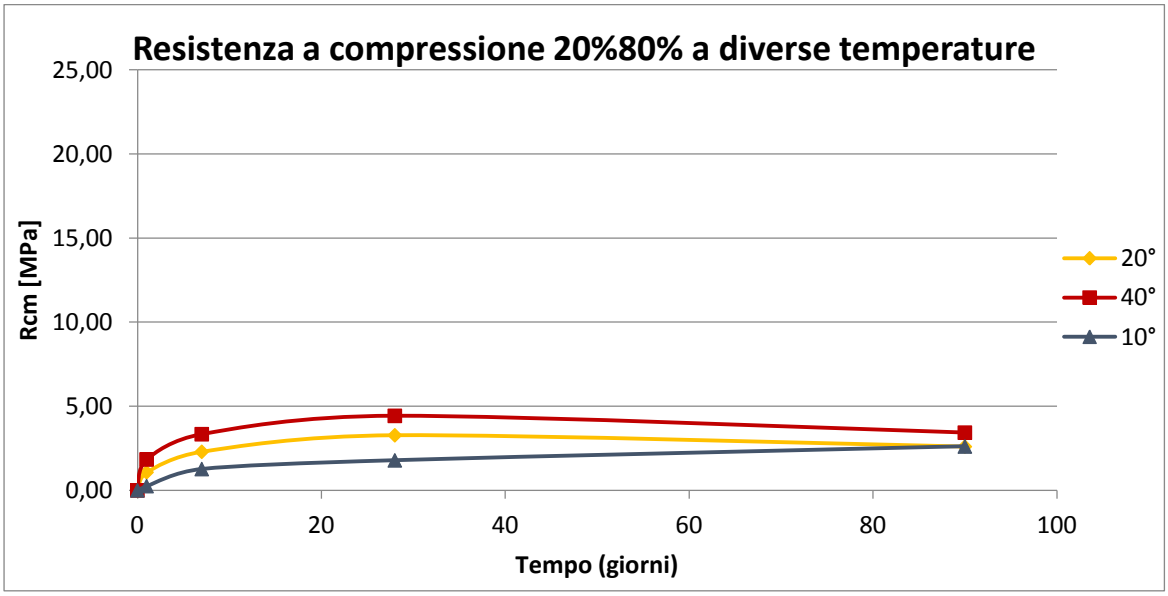
30%C 70%LC2

l grafico ottenuto per le miscele 30%C 70%LC2 è molto simile a quello della miscela di riferimento, con la differenza che la miscela a 20°C raggiunge valori molto elevati rispetto le altre miscele, superati i 30gg di stagionatura, naturalmente con valori di resistenza a compressione minori, come vediamo dai grafici sottostanti:



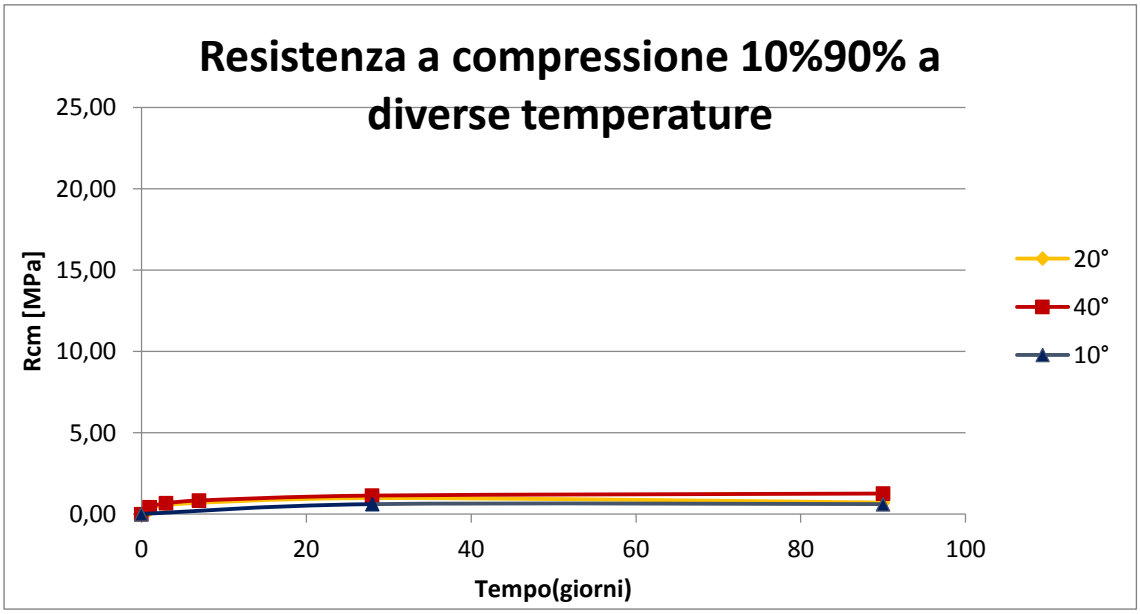
20%C 80%LC2

Per la miscela 20%C 80%LC2, abbiamo un comportamento analogo per tutte le miscele rispetto alla miscela di riferimento, con l'unica differenza che i valori sono molto più alti a 40° a 28gg di stagionatura rispetto agli altri ambienti di stagionatura.

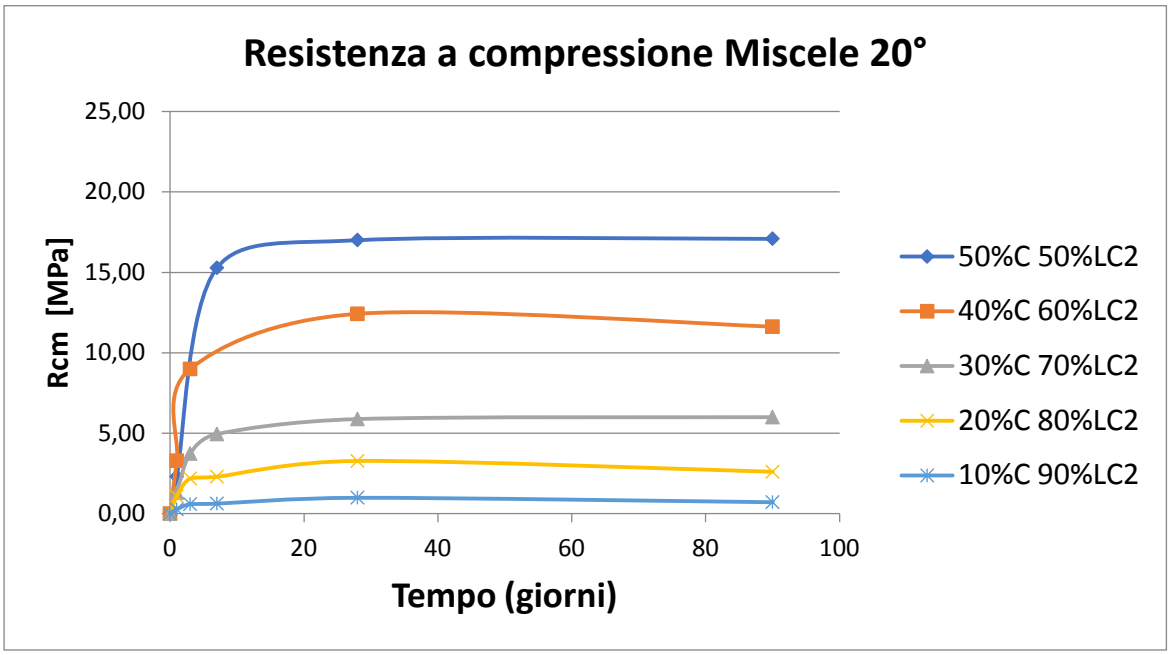


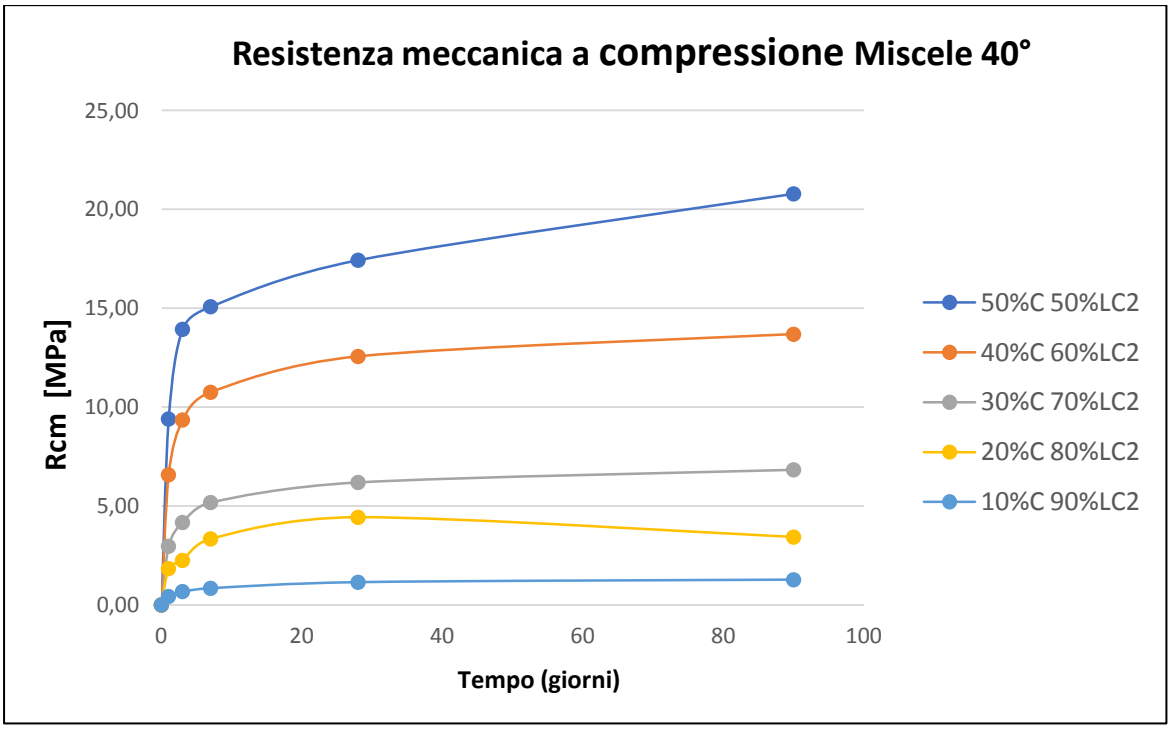
10%C 90%LC2

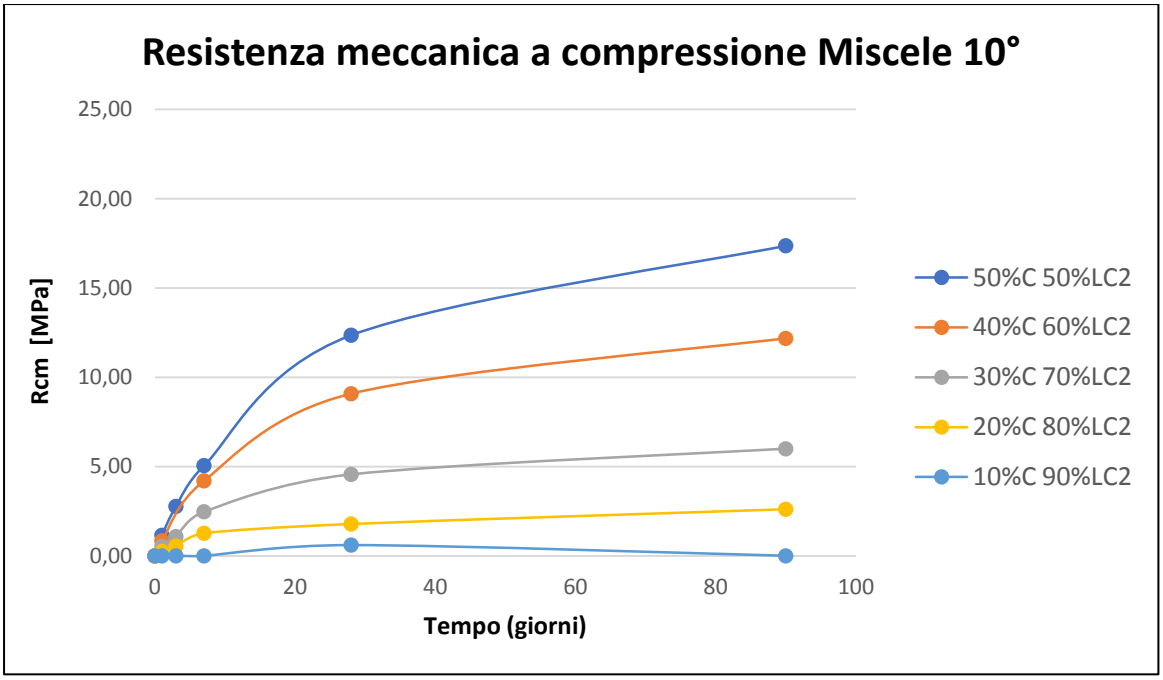
Per quest'ultima miscela, abbiamo avuto lo stesso problema descritto per la resistenza meccanica a flessione: andamento simile alla miscela di riferimento ma con valori molto bassi nei primi giorni di stagionatura con solo un minimo incremento delle prestazioni meccaniche con la stagionatura.



Di seguito, abbiamo confrontato i vari provini tenendo costante la temperatura (ambiente di climatizzazione) variando le miscele:







RESISTENZA MECCANICA COMPRESSIONE (MPa)					
20°	1 gg	3 gg	7gg	28gg	90 gg
50%C 50%LC2	2,3	2,77	15,28	18,42	17,09
40%C 60%LC2	3,29	8,99	8,34	12,42	11,62
30%C 70%LC2	1,31	3,73	4,95	5,88	11,80
20%C 80%LC2	1,07	2,18	2,29	3,28	2,60
10%C 90%LC2	0,27	0,59	0,63	0,99	0,71

Come mostra la tabella, nel lungo periodo, la resistenza meccanica a compressione diminuisce con la diminuizione del cemento nella miscela.

Calcolando le percentuali di riduzione della resistenza meccanica delle varie miscele a 28gg rispetto alla miscela di riferimento RIF 50%C 50%LC2, osserviamo che:

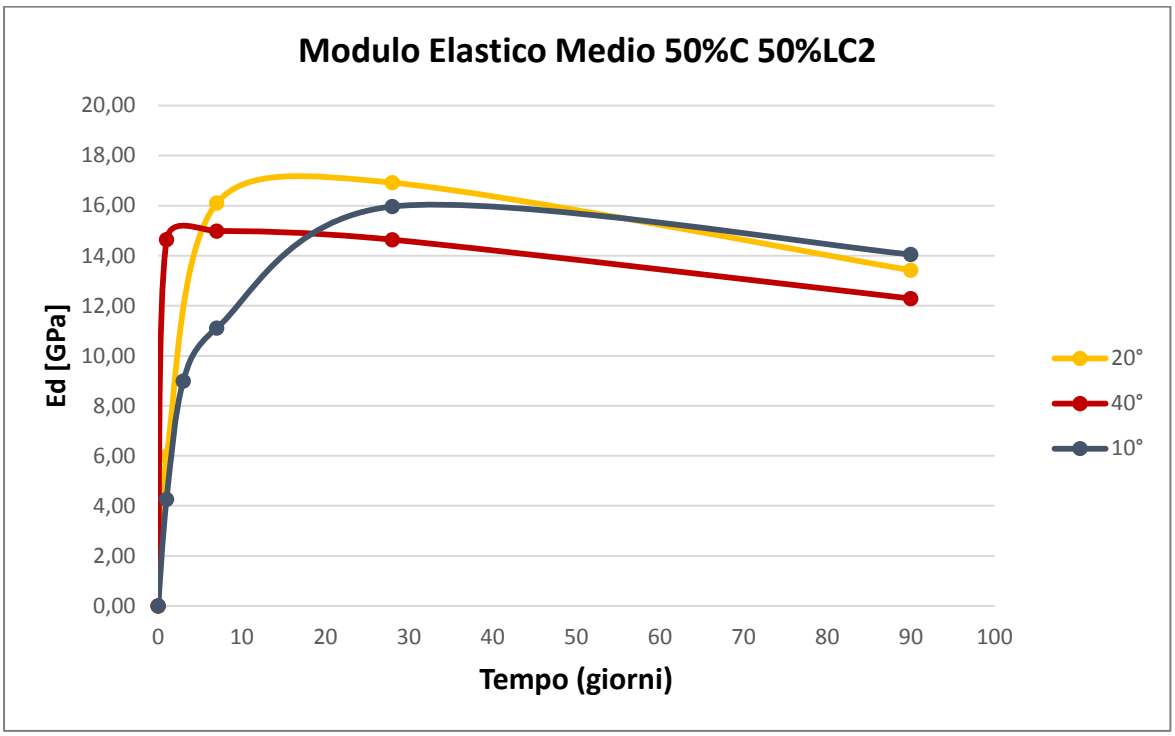
- La miscela 40%C 60%LC2 si riduce del 19% rispetto al RIF
- La miscela 30%C 70%LC2 si riduce del 59% rispetto al RIF
- La miscela 20%C 80%LC2 si riduce del 76% rispetto al RIF
- La miscela 10%C 90%LC2 si riduce del 93% rispetto al RIF

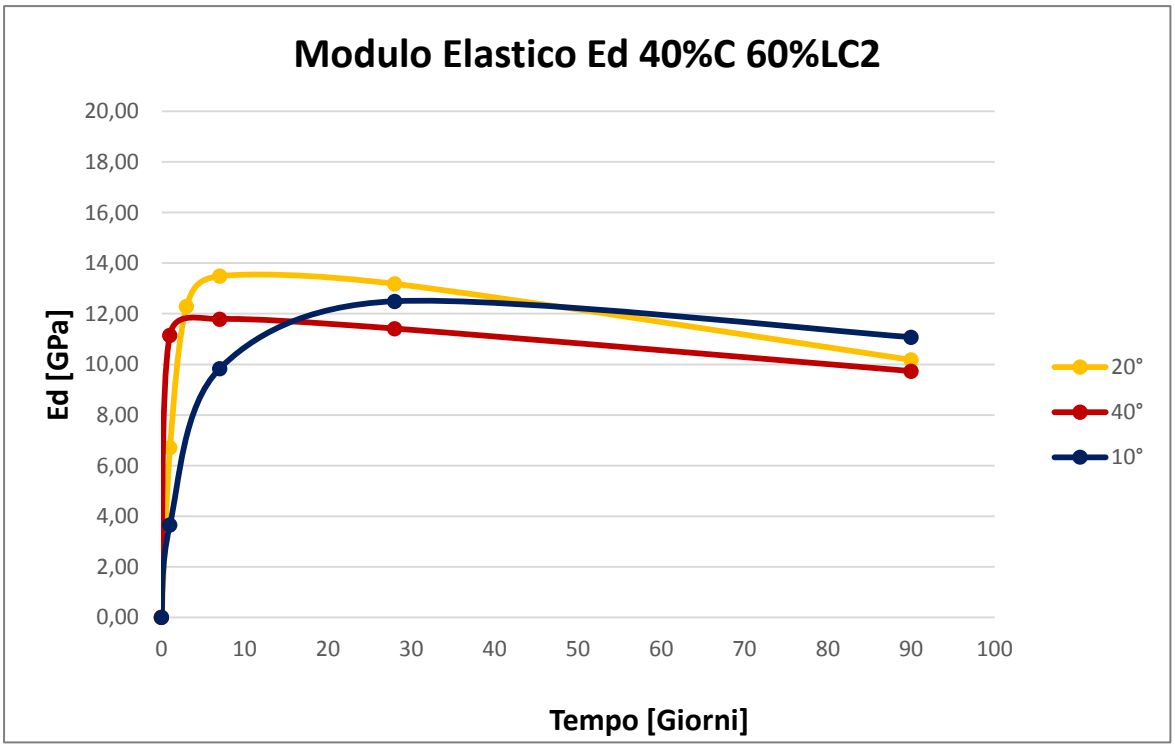
BLENDS	VARIAZIONE % MODULO ELASTICO	VARIAZIONE % RESISTENZA A FLESSIONE	VARIAZIONE % RESISTENZA A COMPRESSIONE
50%CEM 50%LC2	-	-	-
40%CEM 60%LC2	-23	-19	-32
30%CEM 70%LC2	-62	-59	-66
20%CEM 80%LC2	-76	-76	-76
10%CEM 90%LC2	-91	-93	-94

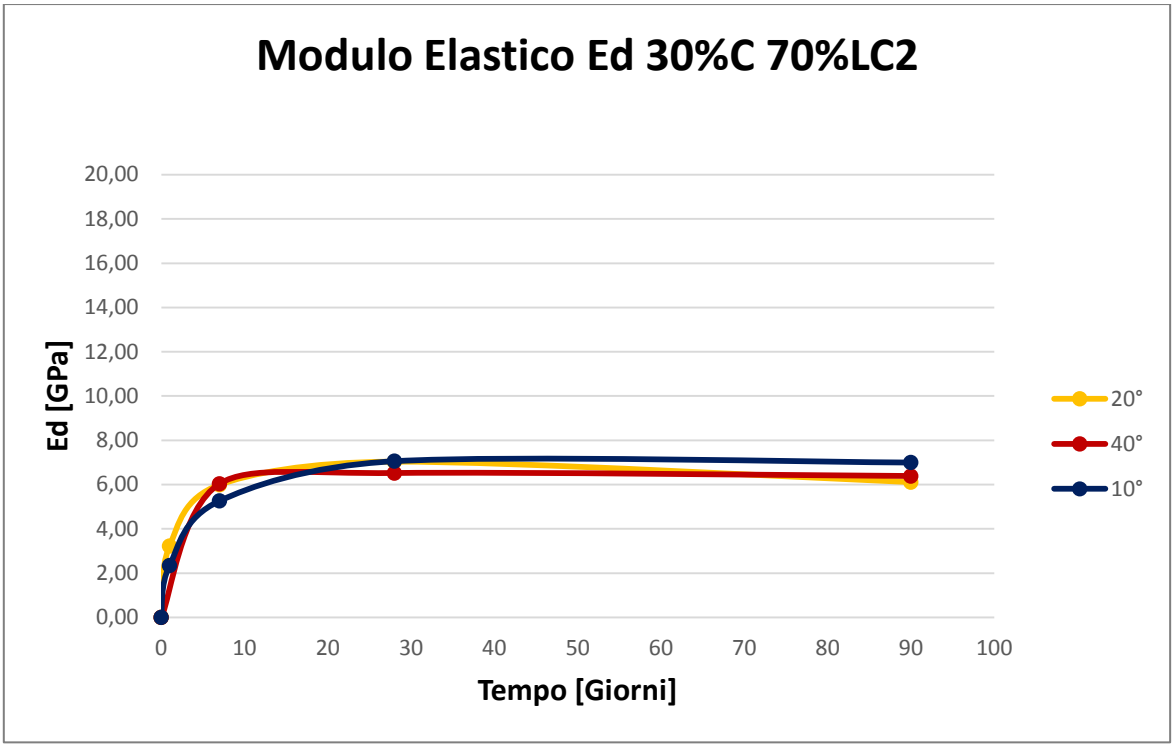
Figure 6 Variazioni percentuali delle miscele rispetto alla miscela di riferimento a 28gg

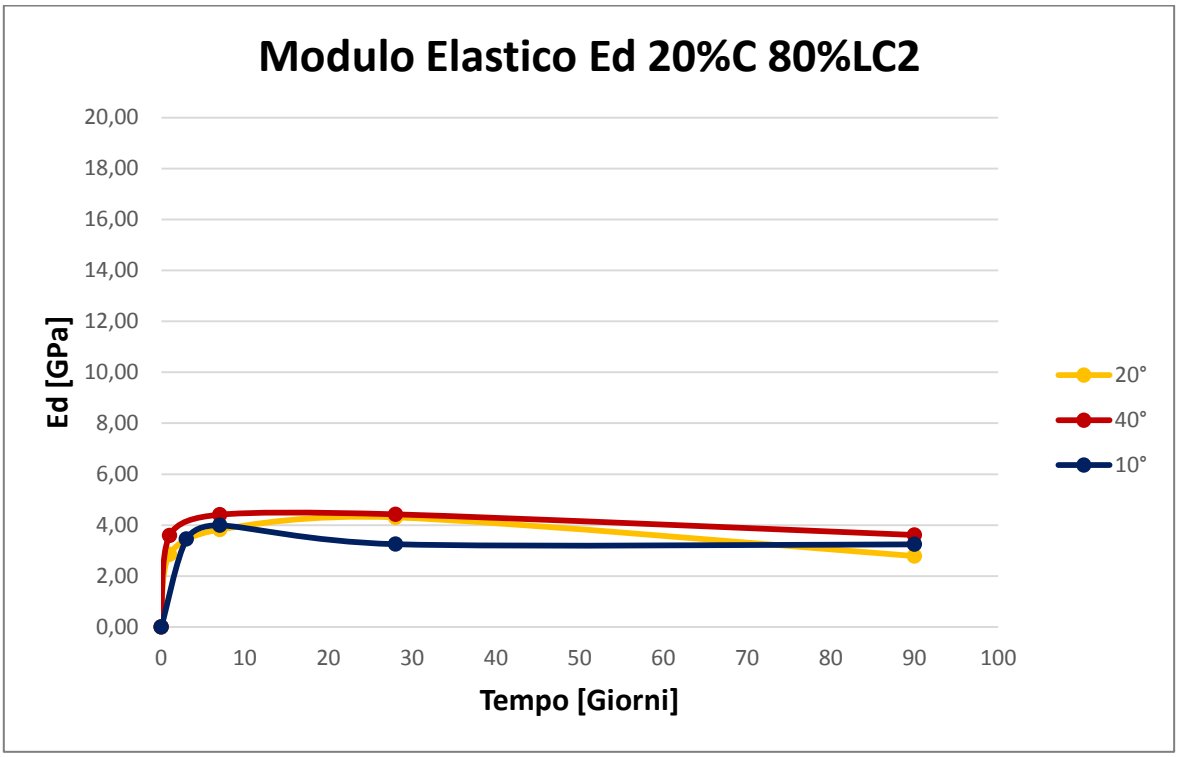
8.4.3 RISULTATI MODULO ELASTICO DINAMICO

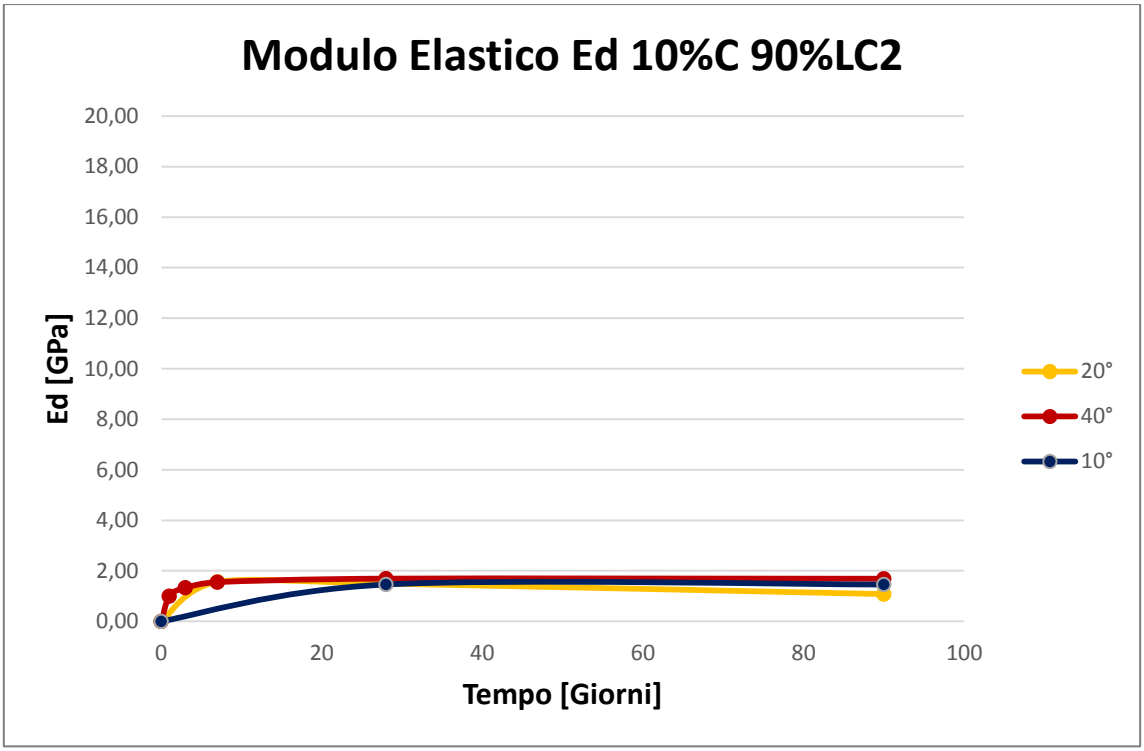
Di seguito, sono riportati i risultati ottenuti attraverso dei grafici Excel per una migliore visualizzazione e interpretazione:






Modulo Elastico Ed 30%C 70%LC2
Ed [GPa]
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Tempo [Giorni]
20°
40°
10°


Modulo Elastico Ed 20%C 80%LC2
Ed [GPa]
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Tempo [Giorni]
20°
40°
10°



Di seguito possiamo vedere i valori nel dettaglio:

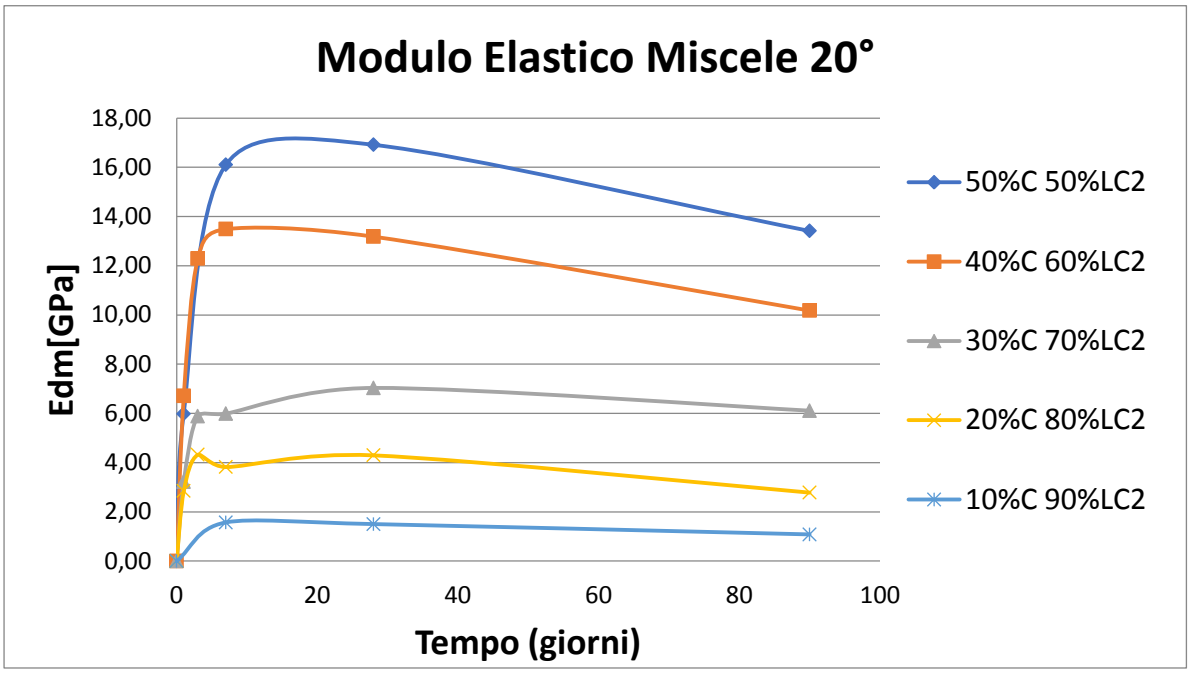
MODULO ELASTICO DINAMICO [Gpa]					
20°	1 gg	3 gg	7gg	28gg	90 gg
50%C 50%LC2	5,98	18,34	16,11	17,26	13,42
40%C 60%LC2	6,71	12,29	13,19	13,49	10,49
30%C 70%LC2	3,22	5,89	5,99	7,03	6,11
20%C 80%LC2	2,85	4,03	4,12	4,84	2,70
10%C 90%LC2	1,31	1,50	1,59	2,31	1,20

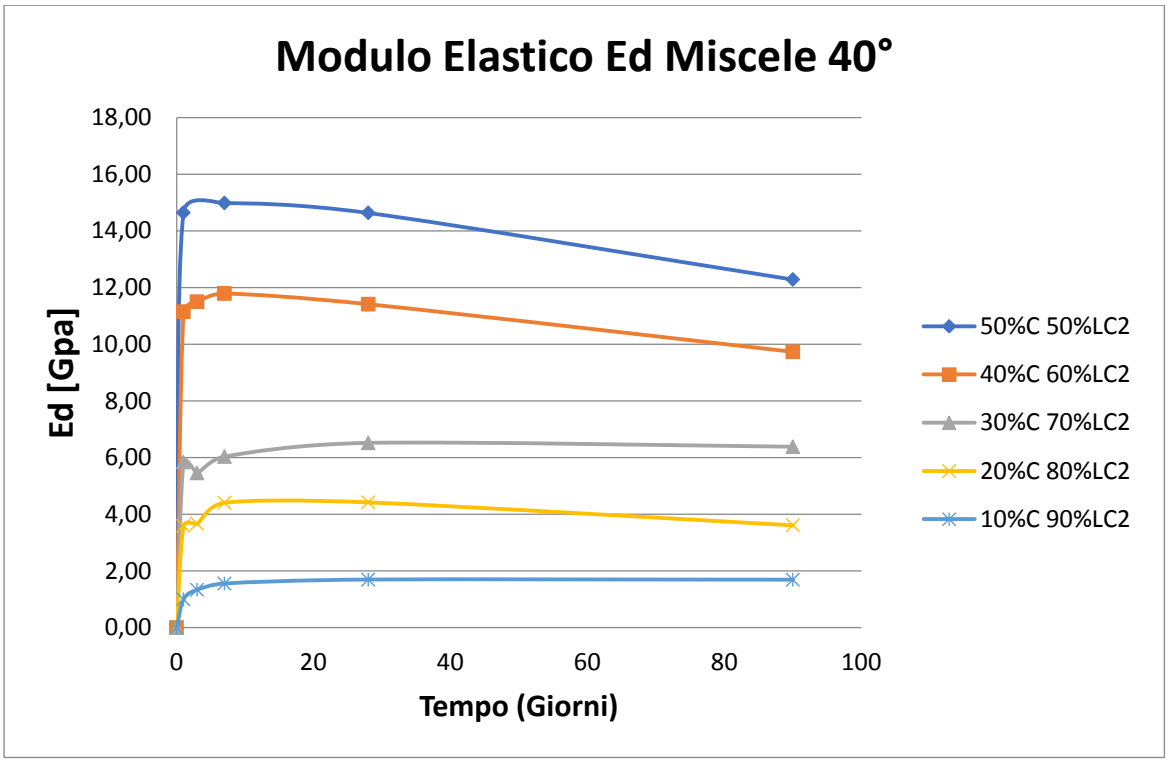
Si è notato un sostanziale aumento del modulo elastico dinamico nel tempo nei primi giorni di stagionatura, con assestamento a 28 giorni per ogni miscela. Come vediamo, in ogni miscela, il modulo elastico tende ad assumere valori simili a seconda dell'ambiente di stagionatura, 10°,20° e 40°, aumentando il tempo di stagionatura. Nei primi giorni di stagionatura, invece, il comportamento è diverso: il modulo elastico maggiore in quasi ogni miscela lo abbiamo nell'ambiente a 40°. Quindi, aumentando il tempo di stagionatura delle miscele riusciamo a ottenere valori molto simili tra di loro.

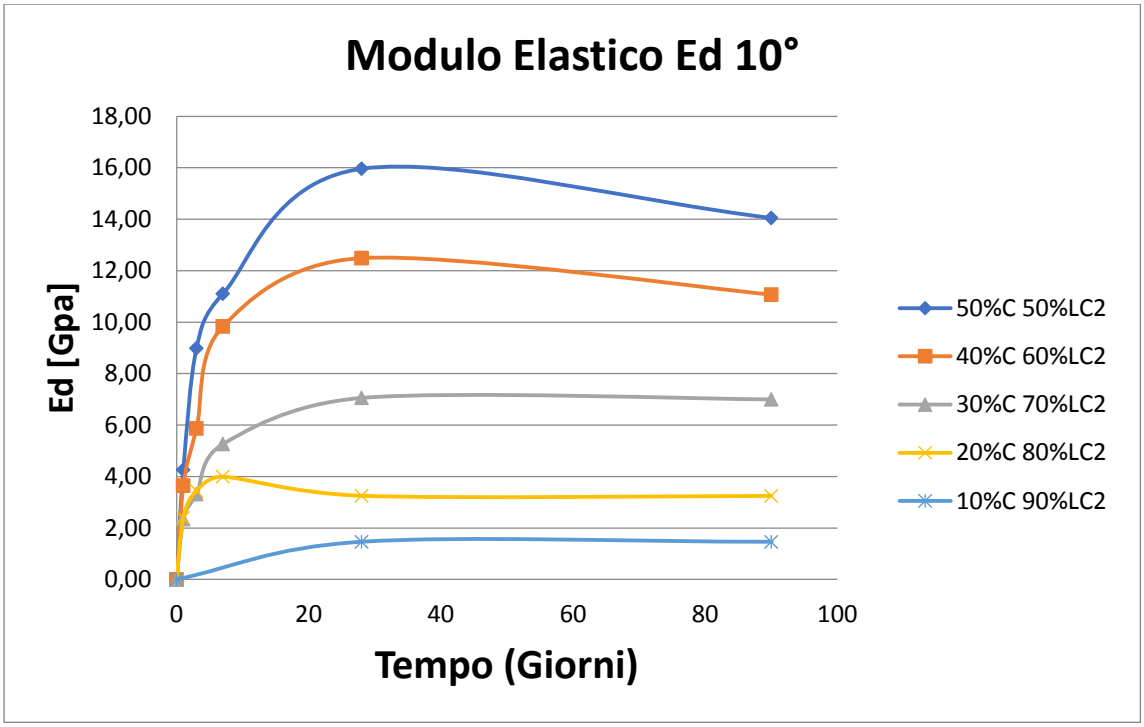
Questo comportamento è associabile al fatto che i provini, a 40°, subiscono una reazione di idratazione molto rapida

Per quanto riguarda i valori, abbiamo una diminuzione costante del modulo elastico al diminuire del quantitativo di cemento nella miscela di preparazione. Da sottolineare, pero', che nella miscela di riferimento e nella miscela 40%60% a 90gg di stagionatura, il provino sottoposto all'ambiente a 10' raggiunge un valore superiore dei provini a 40° e 20°. Cosa diversa per le altre miscele, dove tende a

diminuire (Miscela 10%90% e 30%70%), oppure tende a rimanere per lo piu' costante (Miscela 20%80%)

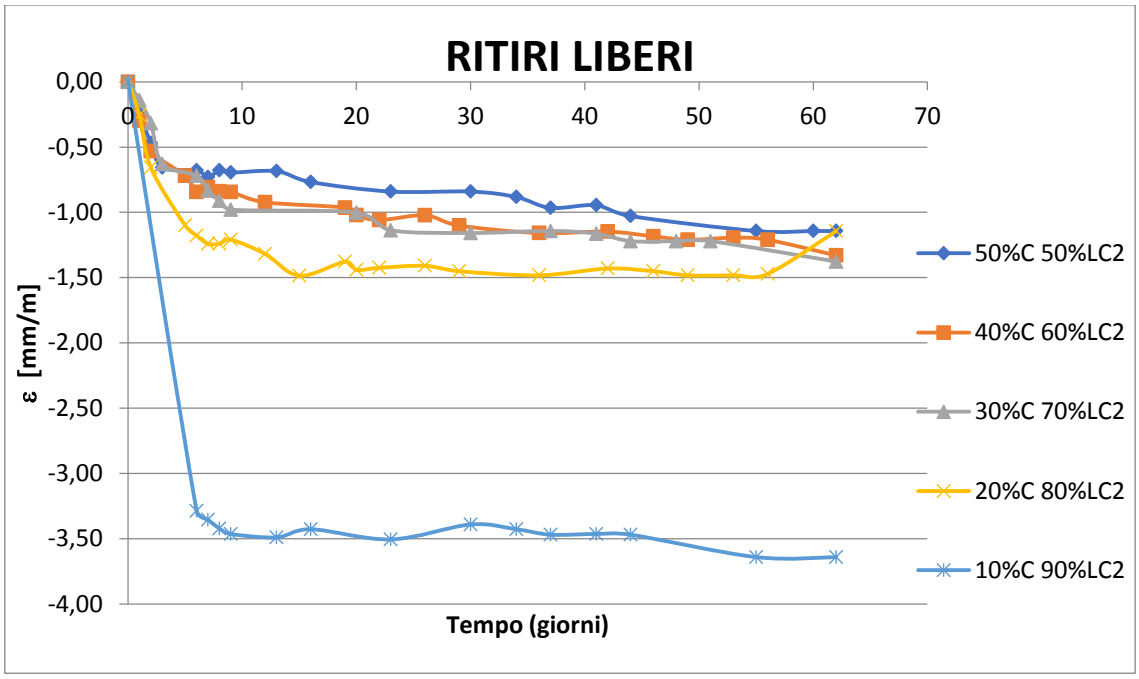




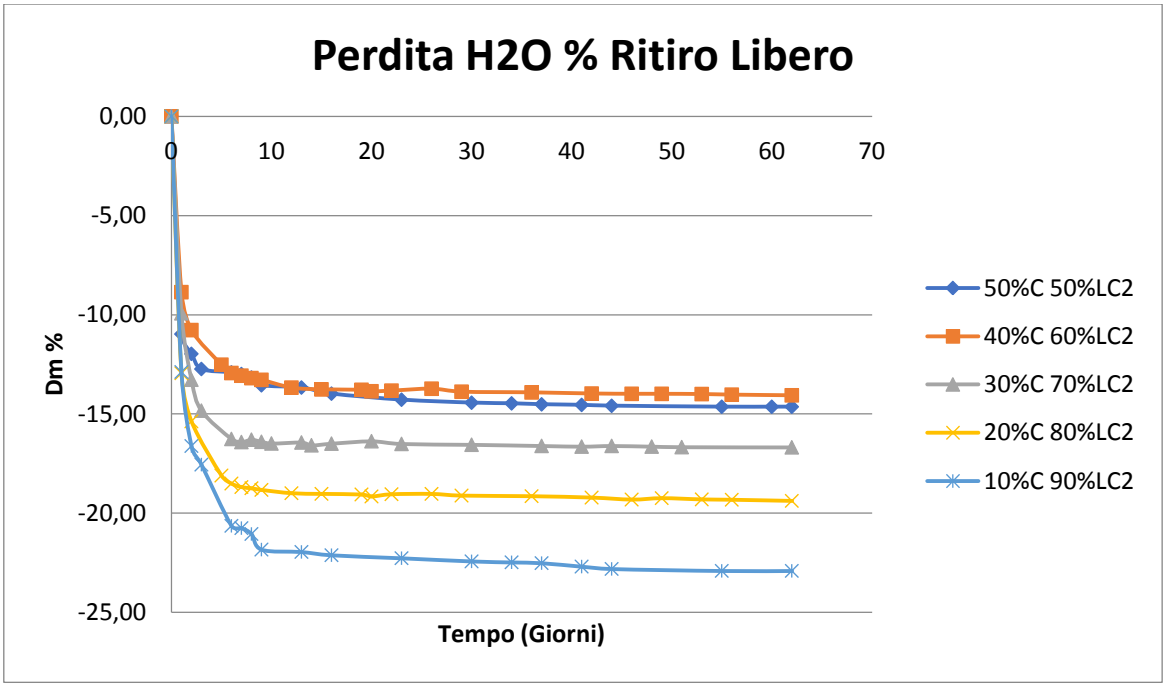

Modulo Elastico Ed 10°
Ed [Gpa]
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
0
20
40
60
80
100
Tempo (Giorni)
50%C 50%LC2
40%C 60%LC2
30%C 70%LC2
20%C 80%LC2
10%C 90%LC2

8.4.4 RISULTATI RITIRO LIBERO

Una volta terminata la misurazione, inseriamo i dati ottenuti in un file Excel ed estrapoliamo I seguenti risultati con grafici annessi:



Come vediamo, il fenomeno, in tutte le miscele, è molto intenso nei primi giorni di stagionatura per poi stabilizzarsi nel tempo. Sono presenti, inoltre, delle oscillazioni causate dall'ambiente climatizzato che, a volte, non è riuscito a mantenere una temperatura di 20°C costante per 60 giorni di stagionatura.



Comportamento analogo lo abbiamo con la percentuale di Perdita d'acqua. Nei primi 10 giorni abbiamo la perdita maggiore che poi si arresta con il tempo. La miscela che ha perso il minor quantitativo di acqua è 40% cemento e 60% LC2.

8.4.5 RISULTATI RITIRO VINCOLATO

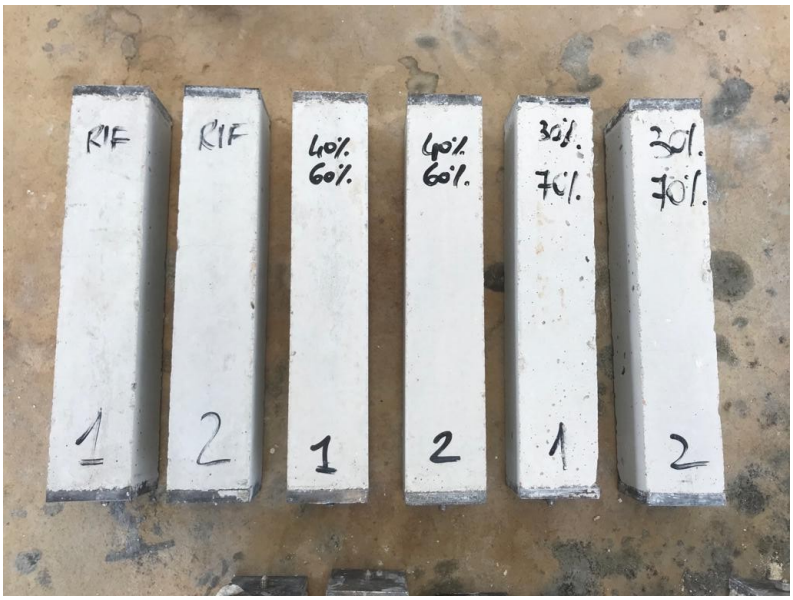
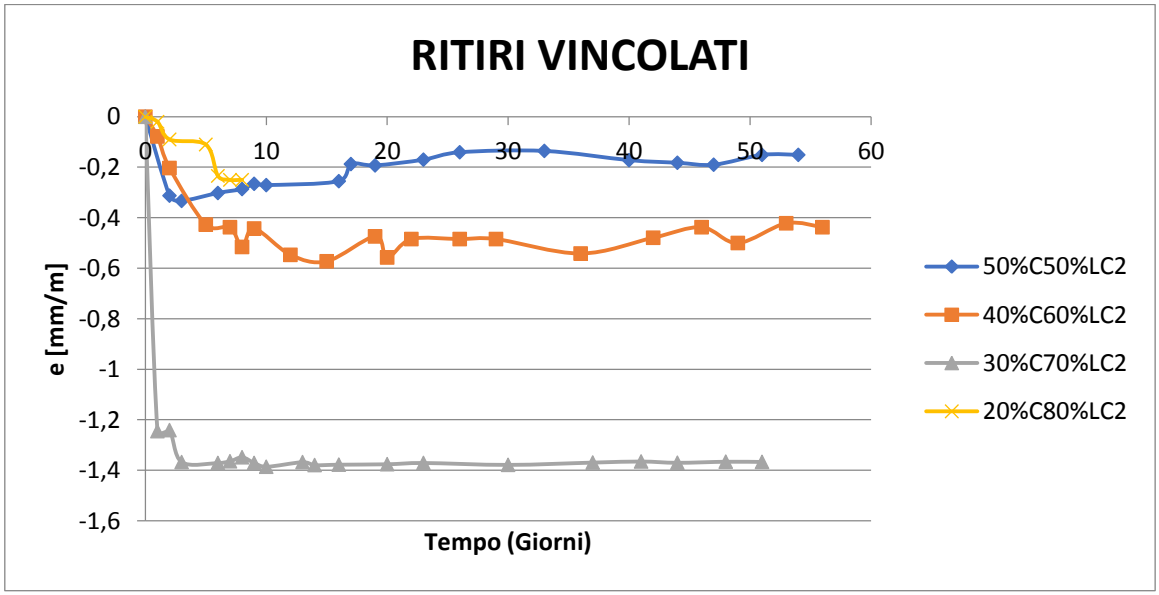
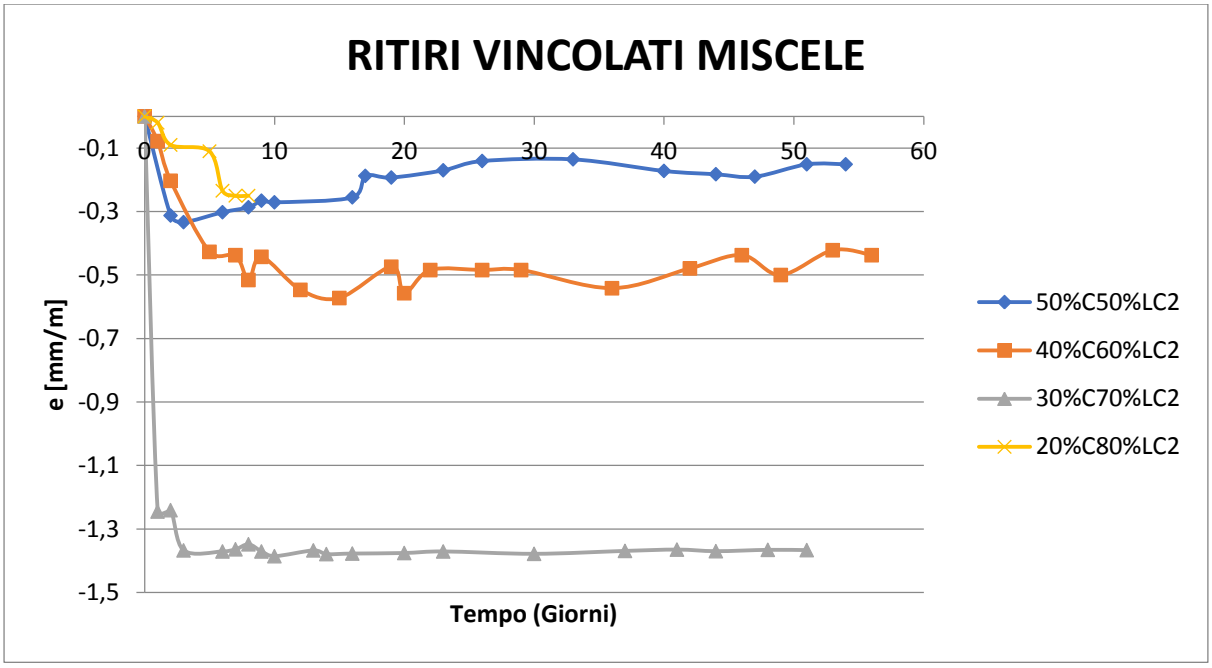


Figura 50 Foto provini per il ritiro vincolato dopo 28gg di stagionatura

Con lo stesso identico procedimento del ritiro libero, spiegato precedentemente, analizziamo I risultati ottenuti attraverso dei grafici esplicativi:





I risultati ottenuti sono molto simili a quelli del ritiro libero. Anche in questo caso la miscela con il ritiro e la Perdita percentuale di acqua maggiore è quella con il minor quantitativo di cemento.

I grafici mostrano, inoltre, che per alcuni provini le misurazioni si sono interrotte prima di 10 gg di stagionatura a causa della presenza di crepe e efflorescenze.

9 ANALISI SPERIMENTALE: AAMs

L'analisi sperimentale di malte AAMs (Admixture Alkali-Activated Material) è uno studio che esplora le proprietà fisiche e meccaniche di una malta AAM attraverso prove e misurazioni sperimentali. Questo tipo di analisi è importante per comprendere le prestazioni delle malti AAM in ambienti specifici e per sviluppare nuove formulazioni per migliorare le loro proprietà. In generale, un'analisi sperimentale di malta AAMs include, come abbiamo visto per la sperimentazione degli LC3, prove di resistenza alla compressione, resistenza alla flessione ed il modulo elastico.

9.1 MIX DESIGN

Abbiamo realizzato quindi due tipi di miscele:

- NaOH
- SS

Qui di seguito possiamo vedere come sono stati realizzati i due impasti con le relative quantità utilizzando il Mix Design (Figura 19):

SS	Cement	Water mix	Sabbia Esincalce 0/8		Metakaolin	Limestone	SS	LC2 wt.%	w/s	i/s
Materials (g/L)	0	1,80	60		13,33	6,67	20,73	100%	0,46	3
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65		2,50	2,70	1,54	Total Vol (ml)		
Volume materials (ml)	0,00	1,80	22,64		5,33	2,47	13,46	46		
Volume materials (ml/L)	0,00	39,38	495,38		116,69	54,02	294,52	1000		
Materials for 1L (g/L)	0	39	1313		292	146	454	1000		
Materials for 1L (g/L) Dry Sand	0	39	68	1244	292	146	454	1000		
NaOH	Cement	Water mix	Sabbia Esincalce 0/8		Metakaolin	Limestone	NaOH	LC2 wt.%	w/s	i/s
Materials (g/L)	0	15,40	60		13,33	6,67	3,91	100%	0,64	3
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65		2,50	2,70	1,34	Total Vol (ml)		
Volume materials (ml)	0,00	15,40	22,64		5,33	2,47	2,92	49		
Volume materials (ml/L)	0,00	315,81	464,31		109,37	50,64	59,87	1000		
Materials for 1L (g/L)	0	316	1230		273	137	80	1000		
Materials for 1L (g/L) Dry Sand	0	316	64	1166	273	137	80	1000		

Figure 7 Mix Design miscele con attivatori

9.2 PREPARAZIONE DEI PROVINI

9.2.1 IMPASTI

Come già detto, per la presente sperimentazione sono stati creati 2 impasti diversi per studiare ed evidenziare il comportamento degli AAMs con diverse percentuali di calcare e metacaolino a diverse temperature di stagionatura. Anche in questo caso siamo partiti da un rapporto acqua-cemento a/c = 0,46 e da un rapporto inerte-cemento i/c = 3, considerando l'utilizzo di un cemento di tipo I, 52,5 N (normale), una sabbia Esincalce 0-8 mm. Per quanto riguarda questi due impasti abbiamo variato in maniera netta soltanto l'attivatore, mantenendo valori abbastanza simili per gli altri materiali, come vediamo dalla figura del Mix Design precedente.

9.2.2 LAVORABILITA' E CONSISTENZA DELLE MALTE

Le miscele così impastate, aggiungendo acqua per gradi, risultano di consistenza plastica e molto difficile da lavorare a causa della presenza di una notevole quantità di metacaolino. In questo caso abbiamo utilizzato un miscelatore automatico per rendere più semplice la miscelazione dell'impasto. Al fine di ottenere questi aspetti qualitativi, nella fase precedente al getto, è stato definito il grado di lavorabilità sempre col metodo dello Slump test, precedentemente descritto.

Figure 8 Miscele con NaOH

Figure 9 Miscele con SS

Il procedimento è lo stesso esposto nel capitolo precedente, mediante l'uso della medesima tavola a scosse.

Anche in questo caso abbiamo ottenuto un diametro compreso tra 16 e 17 cm in entrambe le miscele, quindi un' ottima lavorabilità.

9.2.3 CONFEZIONAMENTO PROVINI E STAGIONATURA

A questo punto, con lo stesso procedimento adottato per gli LC3, le miscele vengono gettate nei casseri (sia da 4x4x16 cm che da 5x5x25 cm per i provini per ritiri vincolati), vibrati attraverso la piastra vibrante e, successivamente, avvolti nella pellicola trasparente e conservati nei 3 diversi tipi di ambienti

• Camera di essiccazione (temperatura 20°);

• Forno (temperatura 40°):

• Frigorifero (temperatura 10°).

Dopo 24h di maturazione i provini sono stati tutti scasserati e sono stati suddivisi e denominati per giorni di maturazione in funzione dello studio del comportamento meccanico dei campioni (1, 3, 7, 28, 90 giorni). Avvolti poi nella pellicola, in modo da mantenere una umidità del 95% per 28 giorni, hanno continuato poi il processo di maturazione nei rispettivi ambienti a diverse temperature. Come già detto, la stagionatura ha lo scopo di garantire la resistenza meccanica che andremo a valutare di volta in volta.

9.2.4 DENSITA'

Con il peso dei provini di malta sottoposti a caratterizzazione meccanica a 28 giorni di maturazione e stagionati a 20°, sono state rilevate le densità allo stato indurito (kg/m) dei composti conoscendo il loro volume (di circa 256 cm3 per provini di dimensioni 40x40x160 cm). La relazione utilizzata è la stessa già vista in precedenza (Cap.5.4). Nella figura sottostante possiamo vedere, quindi, la densità dei due diversi impasti:

20°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]
PROVINO 1	03/Oct	0	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00
PROVINO 1	04/Oct	1	502,16	1,96
PROVINO 2			543,22	2,12
PROVINO 1	06/Oct	3	494,34	1,93
PROVINO 1	10/Oct	7	538,99	2,11
PROVINO 2			520,75	2,03
PROVINO 1	02/Nov	28	526,47	2,06
PROVINO 2			485,09	1,89

40°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]
PROVINO 1	03/Oct	0	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00
PROVINO 1	04/Oct	1	533,03	2,08
PROVINO 2			542,48	2,12
PROVINO 1	06/Oct	3	532,80	2,08
PROVINO 1	10/Oct	7	524,14	2,05
PROVINO 2			521,80	2,04
PROVINO 1	02/Nov	28	466,78	1,82
PROVINO 2			469,22	1,83

Figure 10 Densità miscele con NaOH

20°C				
	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]
PROVINO 1	04/Oct	0	0,00	0,00
PROVINO 2				
PROVINO 1	05/Oct	1	544,31	2,13
PROVINO 2			555,91	2,17
PROVINO 1	07/Oct	3	558,09	2,18
PROVINO 1	11/Oct	7	554,66	2,17
PROVINO 2			538,45	2,10
PROVINO 1	02/Nov	28	539,75	2,11
PROVINO 2			537,03	2,10
40°C				
	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]
PROVINO 1	04/Oct	0	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00
PROVINO 1	05/Oct	1	564,91	2,21
PROVINO 2			562,68	2,20
PROVINO 1	07/Oct	3	567,01	2,21
PROVINO 1	11/Oct	7	545,09	2,13
PROVINO 2			544,45	2,13
PROVINO 1	02/Nov	28	500,69	1,96
PROVINO 2			511,06	2,00

Figure 11 Densità miscele con SS

9.3 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA

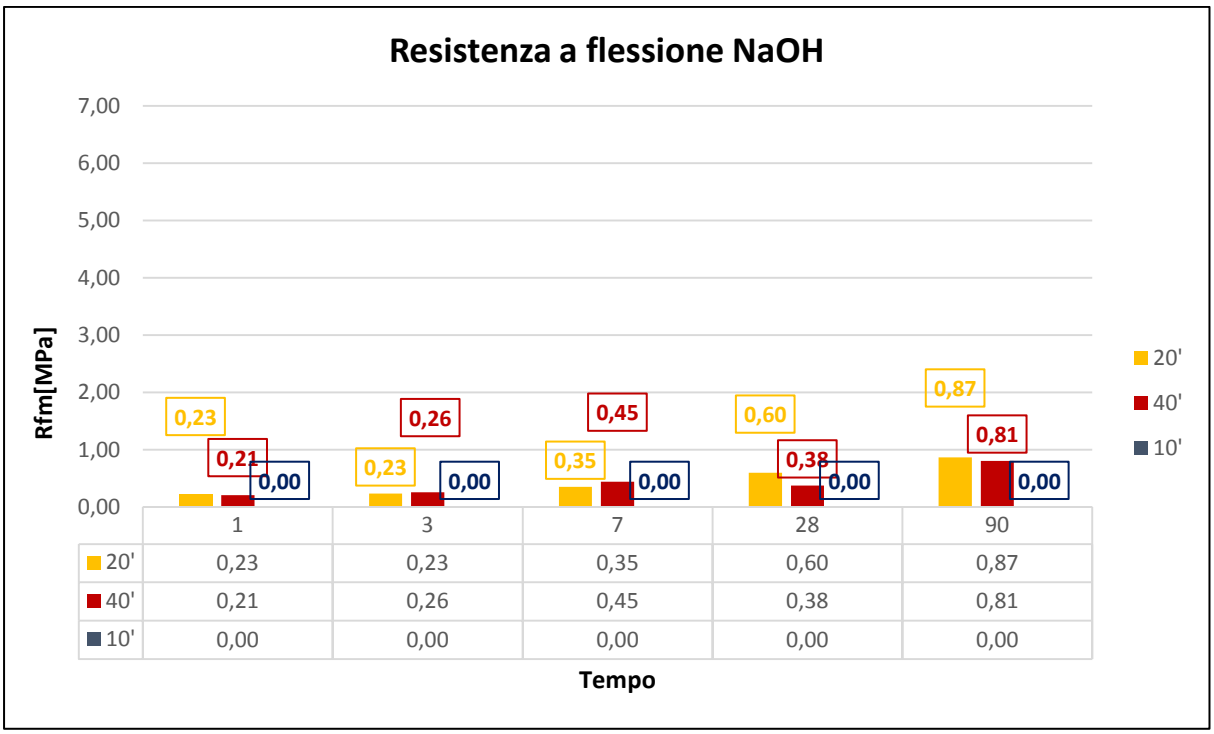
Le prove sono state nuovamente svolte in accordo alle normative UNI EN 1015- 11:2007 e UNI EN 196-1:2005 sui provini per le due miscele, esattamente a 1, 3, 7, 28 e 90 giorni di stagionatura, di cui 1-2 provini per ogni tipologia di ambiente precedentemente visti: in camera climatica a temperatura di 20 °C, in frigo a temperatura di 10°C e in forno a temperatura di 40°C. Le prove a flessione e a compressione vengono effettuate mediante la pressa idraulica automatica già vista. Anche in questo caso abbiamo eseguito prima la prova a flessione e poi quella a compressione. Infine, la pressa idraulica collegata al computer con il software ha registrato i dati e li abbiamo trascritti in un foglio Excel.

9.3.1 RISULATI PROVA A FLESSIONE

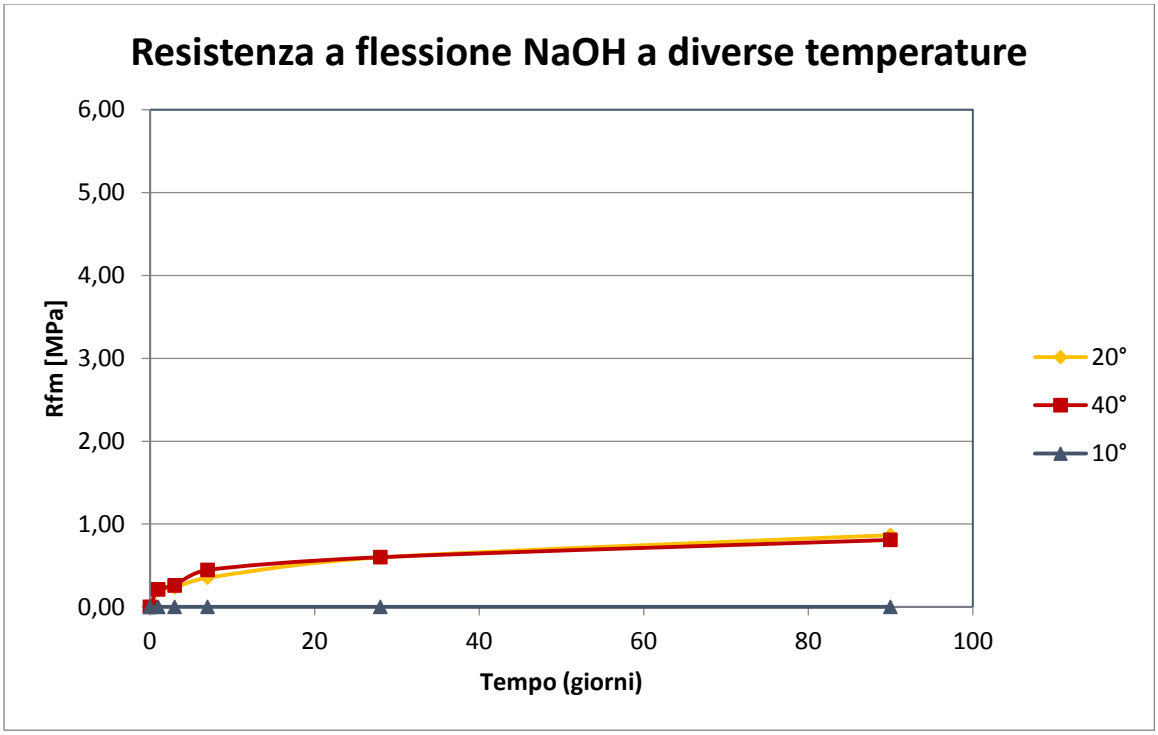
In seguito alla prova di flessione abbiamo rilevato i seguenti risultati dei due impasti:

NaOH

La resistenza a flessione per i provini a 20°C è crescente con un valore quasi sempre maggiore dei provini con stagionatura in ambiente di climatizzazione a 40°C. i provini a 10°C, come già detto precedentemente, hanno mostrato una resistenza a flessione troppo bassa pe essere misurata

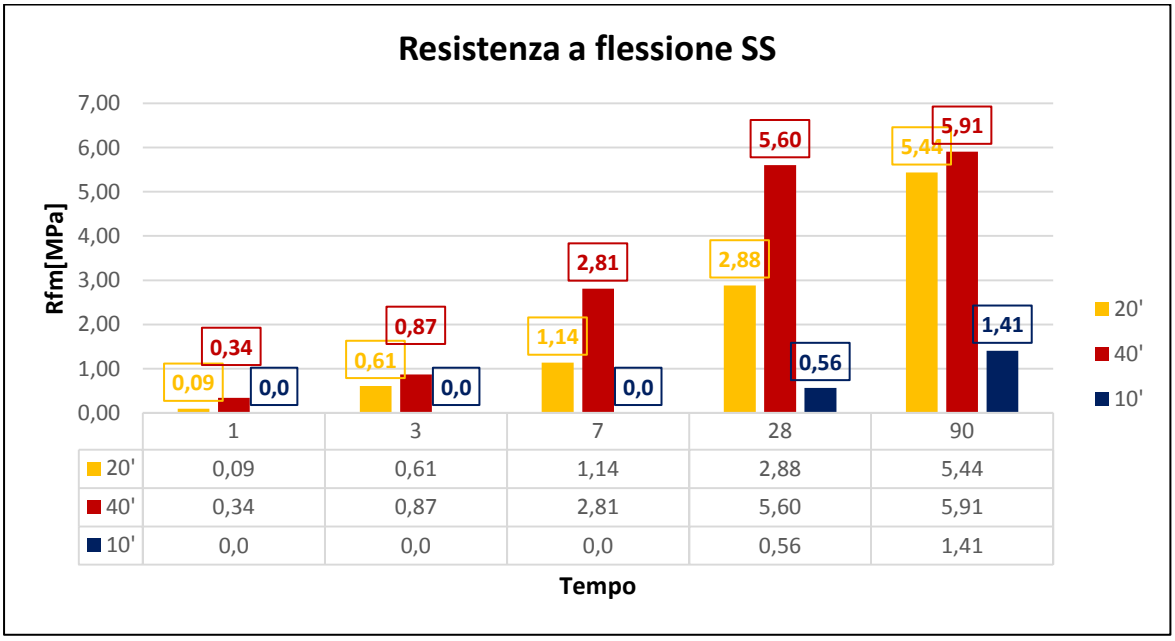


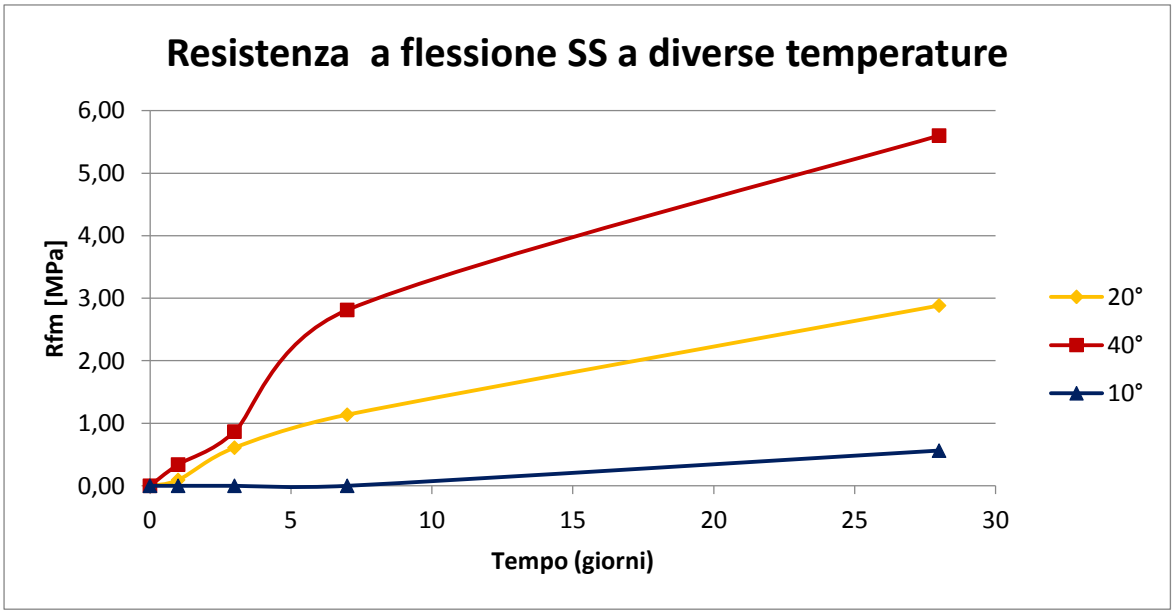
	1	3	7	28	90
20'	0,23	0,23	0,35	0,60	0,87
40'	0,21	0,26	0,45	0,38	0,81
10'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



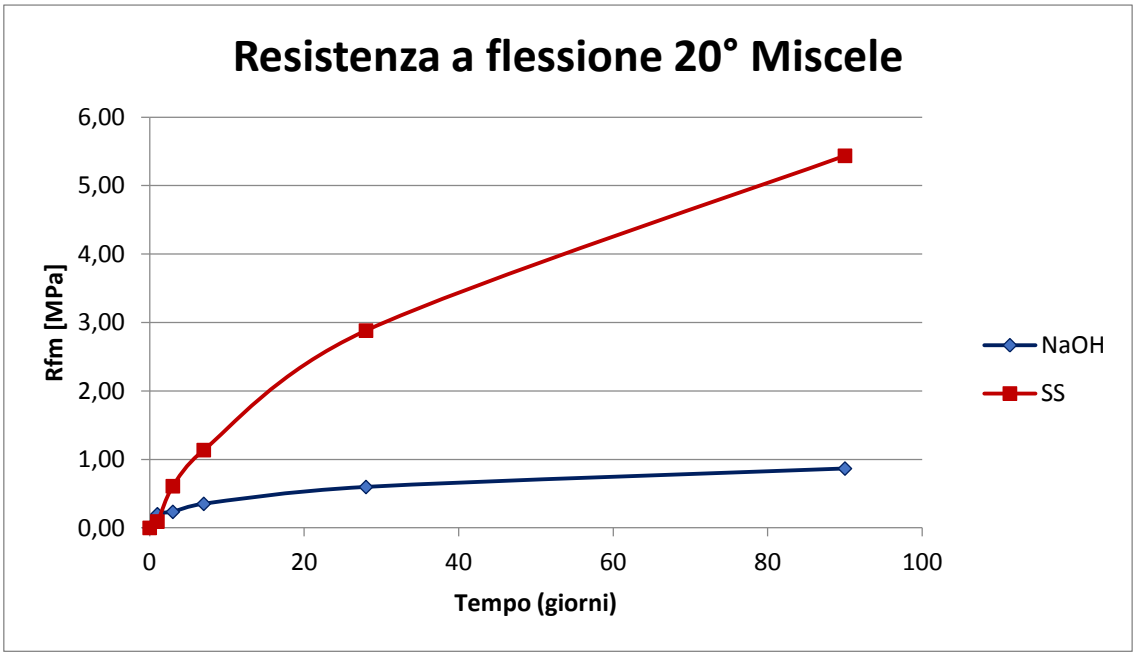
- <u>SS</u>

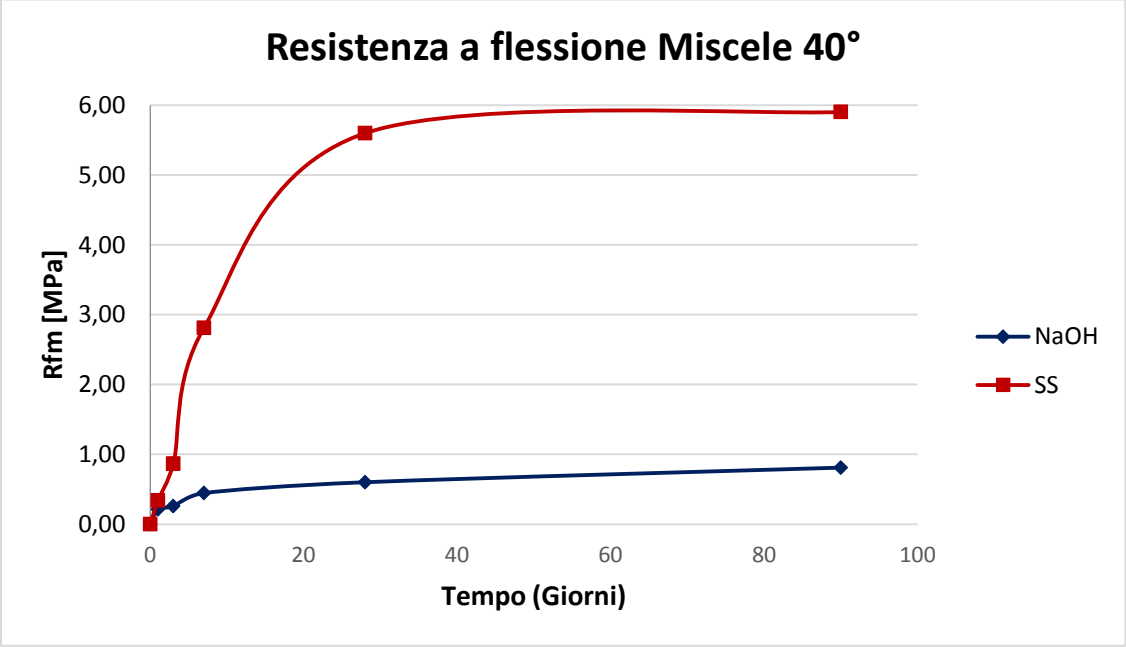
  L'andamento delle curve della resistenza meccanica a flessione del provino SS ha un comportamento completamente diverso rispetto ai provini NaOH. In questo caso avremo curve sempre crescenti per ciascun provino a 10°C,20°C,40°C. I valori maggiori li raggiungiamo con un ambiente di climatizzazione a 40°C per ogni tempo di stagionatura: 1,3,7,28,90 giorni.





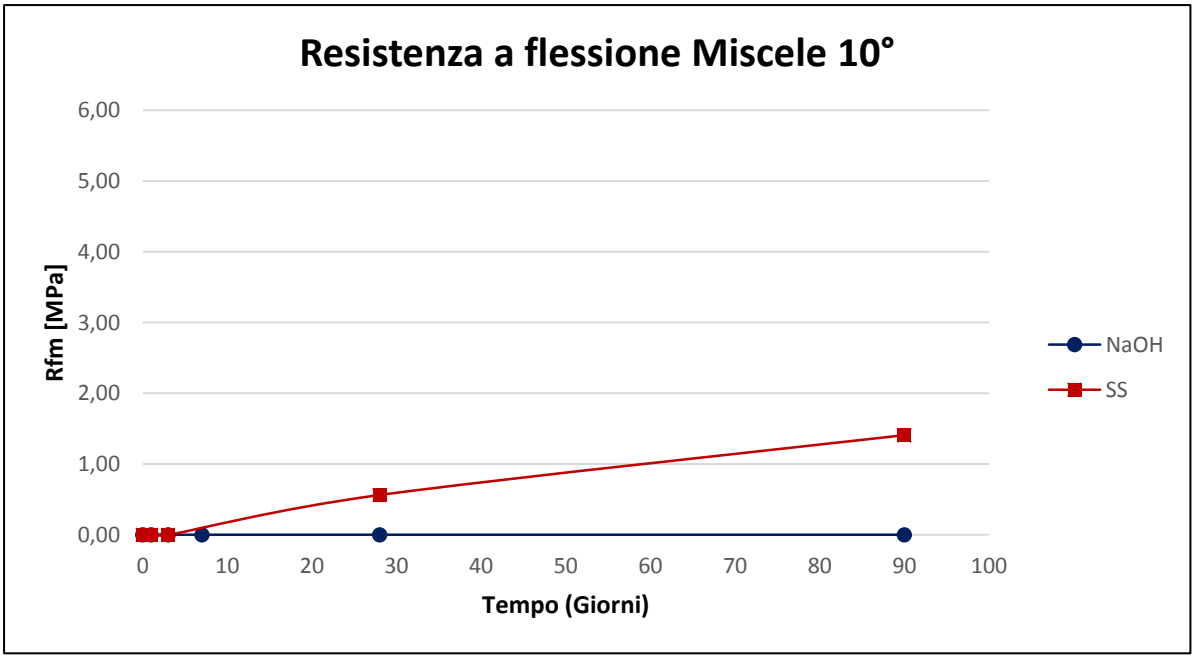
Di seguito possiamo confrontare le varie miscele mantenendo costante la temperatura e variare le due miscele con gli attivatori per la resistenza a flessione:





Per quanto riguarda i provini sottoposti ad un ambiente di climatizzazione di 10°, non abbiamo raccolto nessun valore a causa della consistenza della malta: troppo morbida e troppo fragile per effettuare prove per la resistenza a flessione

In questa seconda parte di sperimentazione è stato riscontrato che sia la resistenza meccanica a flessione e sia la resistenza meccanica a compressione è maggiore nella miscela SS rispetto ad NaOH. Quindi abbiamo proprietà meccaniche maggiori nell'impasto SS con un andamento sempre crescente all'aumentare del tempo di stagionatura

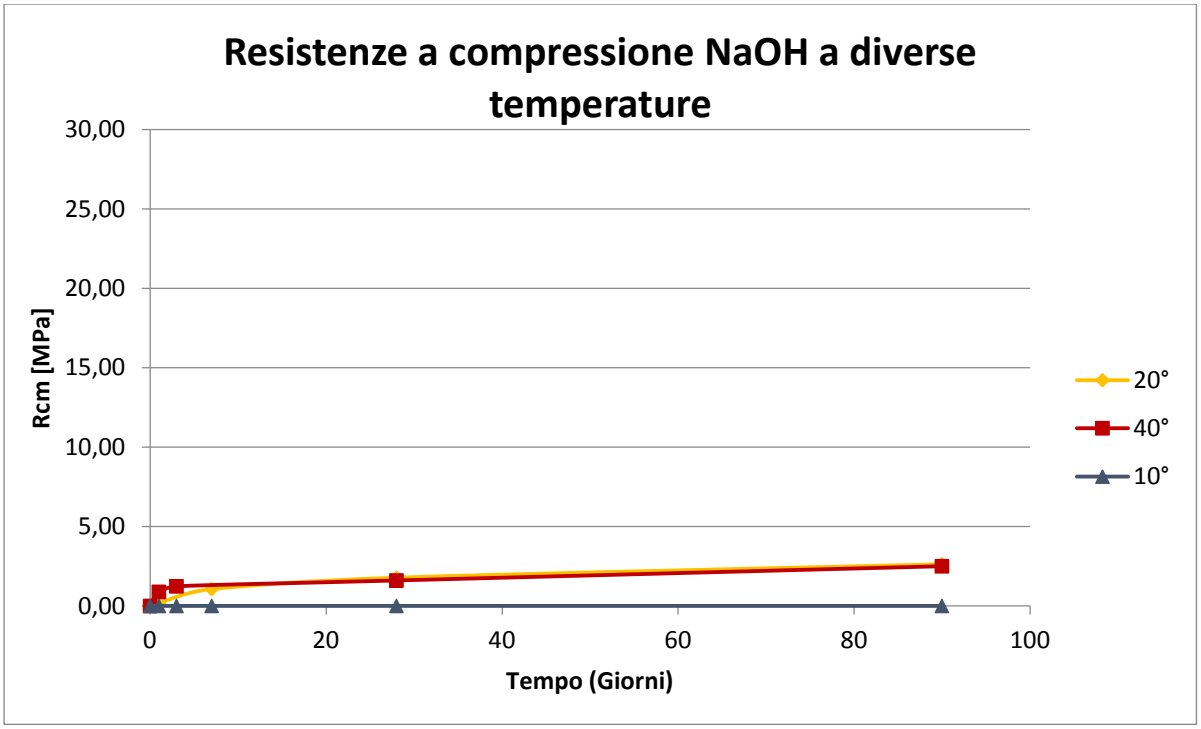


9.3.2 RISULTATI PROVA A COMPRESSIONE

In seguito alle prove svolte abbiamo rilevato i seguenti risultati dei due impasti:

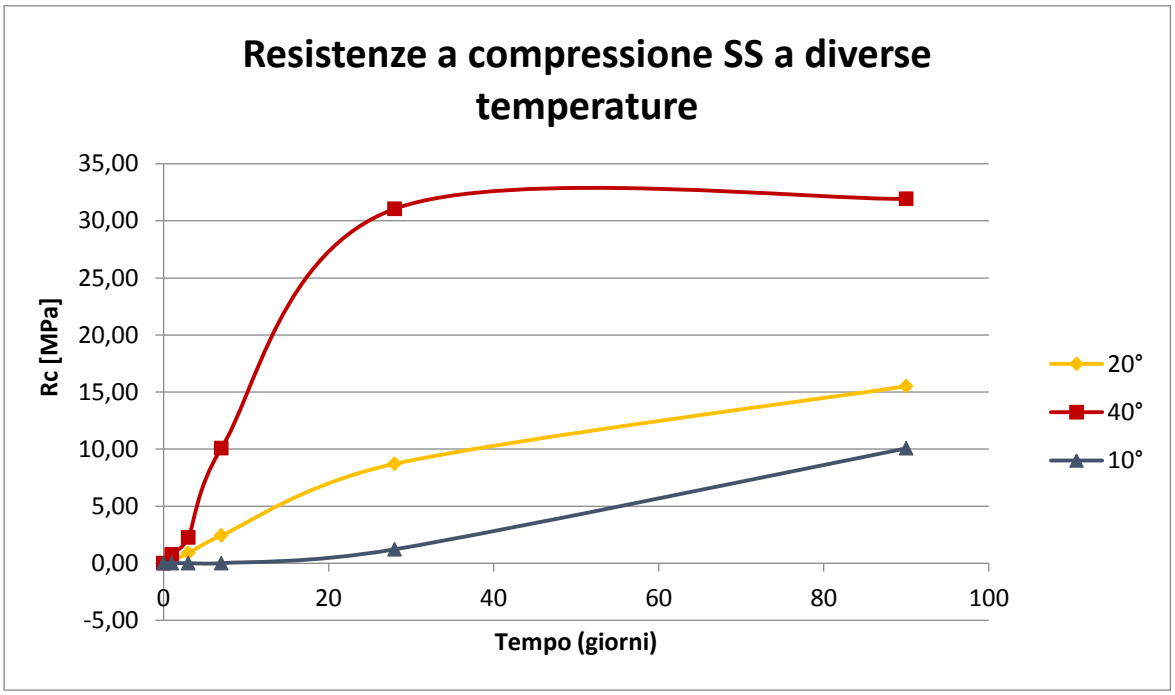
- <u>NaOH</u>

  Come aspettato nei provini NaOH a 40°C lo sviluppo delle prestazioni meccaniche avviene più velocemente nei primissimi giorni di stagionatura rispetto a quelli a 20°C per stabilizzarsi.. A 10°C come già detto le prestazioni meccaniche raggiunte non sono rilevabili

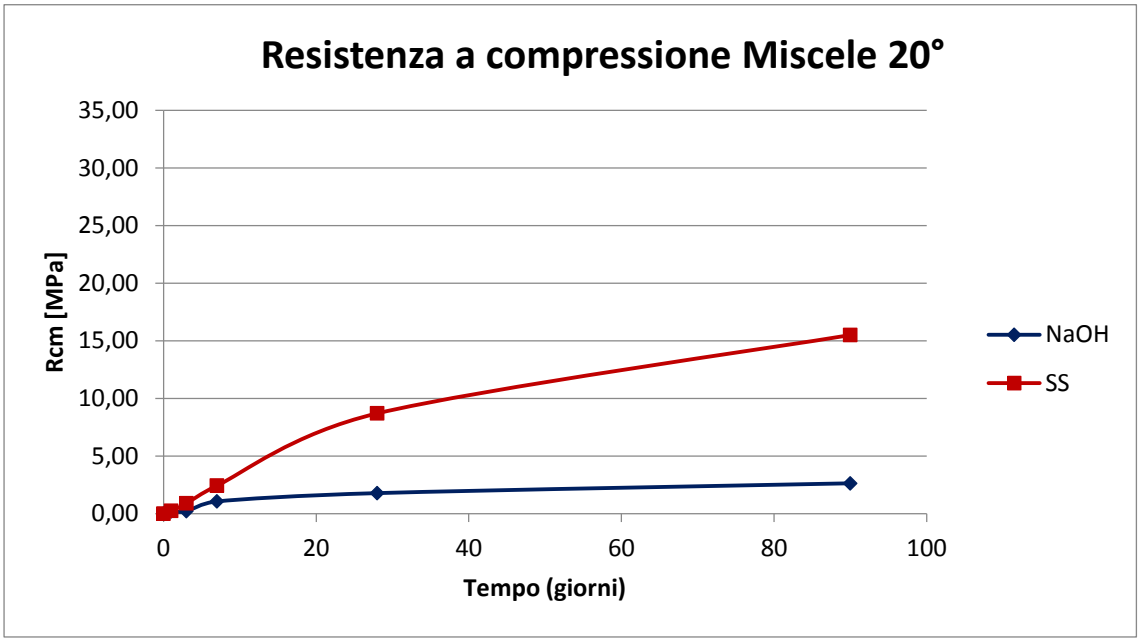


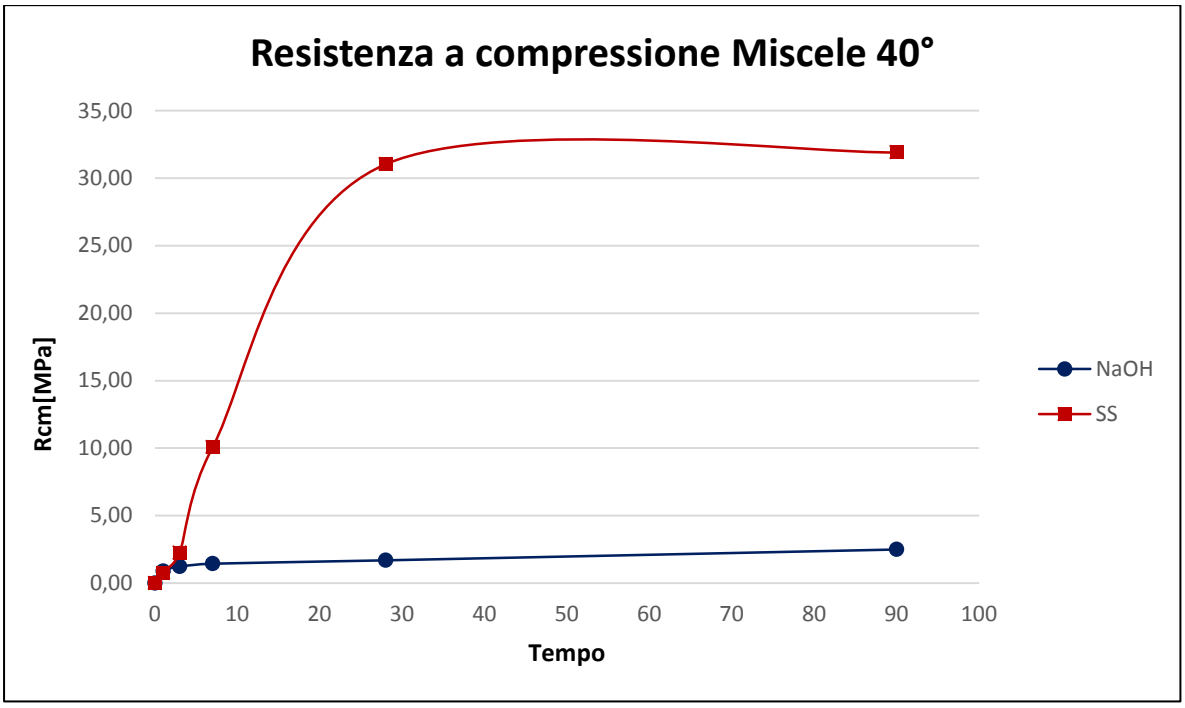
- <u>SS</u>

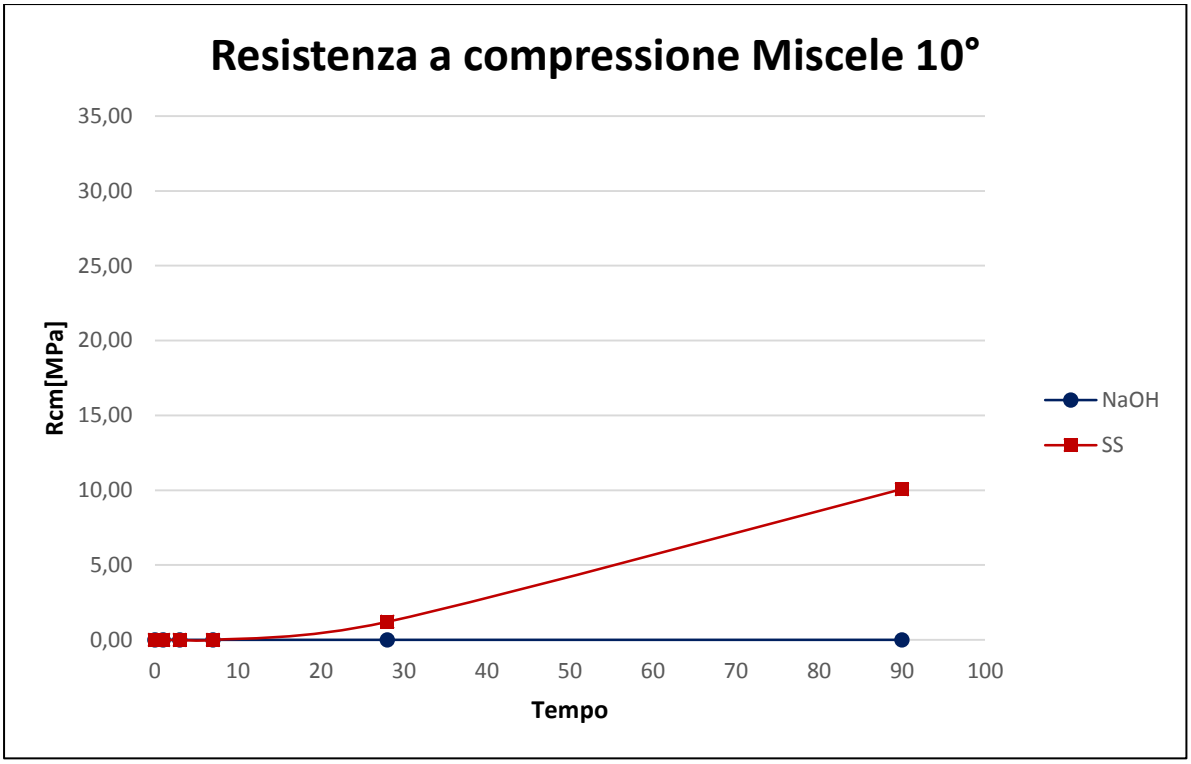
  In questo caso ho un andamento sempre crescente in tutti i provini con il diverso ambiente di climatizzazione: 20°C,40°C,10°C ottenendo la resistenza meccanica a compressione maggiore con provini a 40° per ogni tempo di stagionatura.



Qui di seguito, con i grafici sottostanti mettiamo a confronto le due miscele con stesso ambiente di climatizzazione:

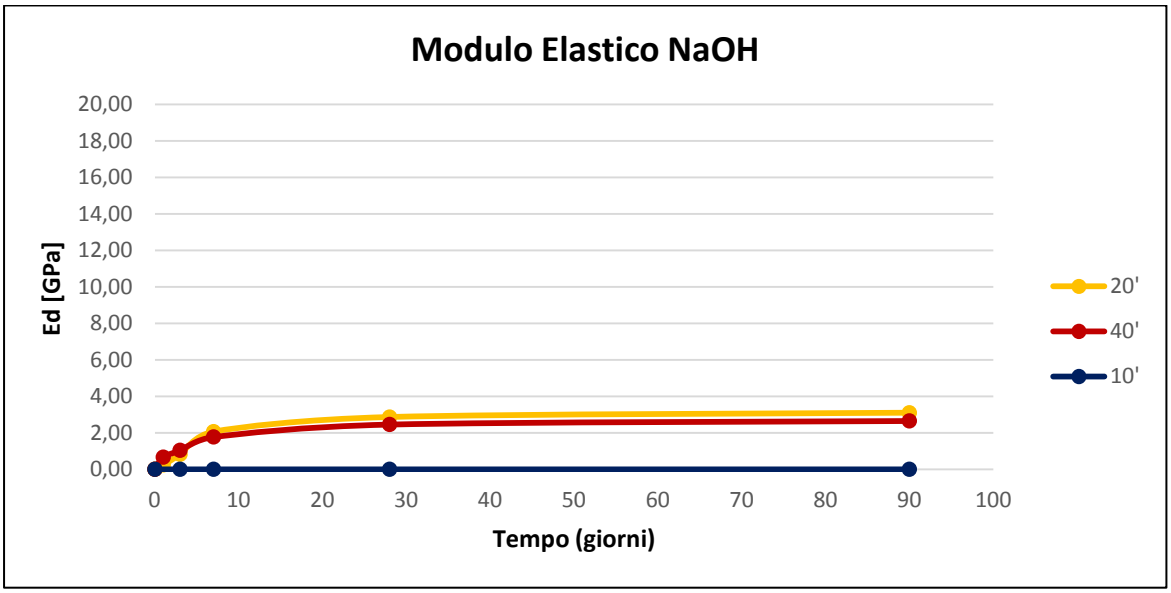


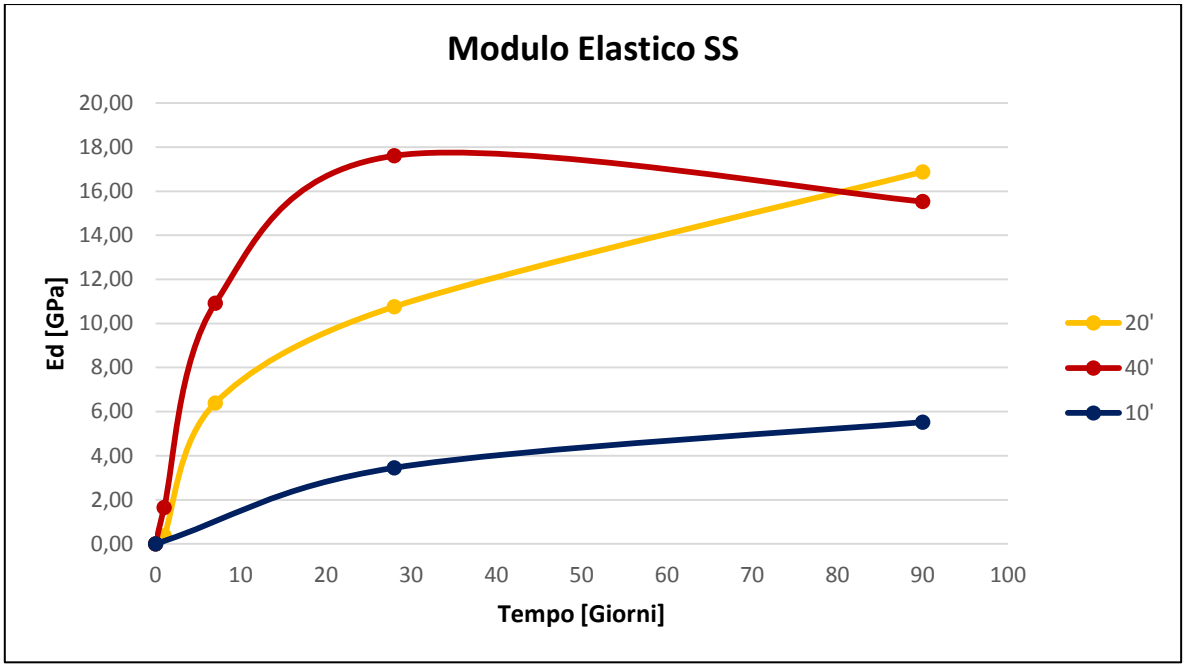




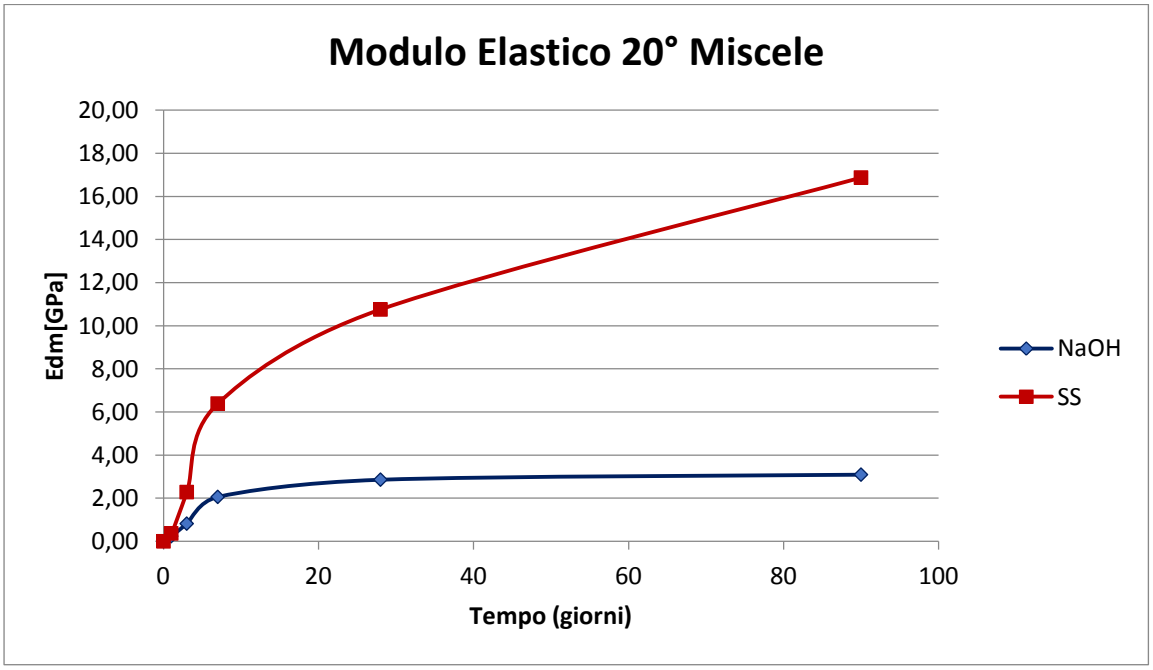
9.3.3 RISULTATI MODULO ELASTICO DINAMICO

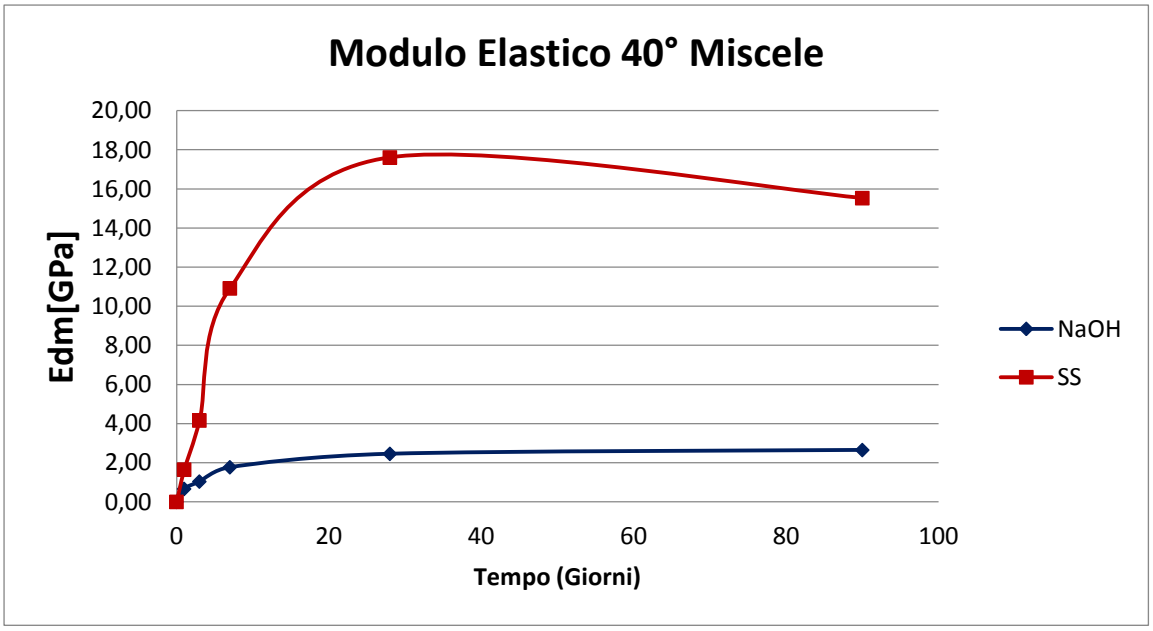
In seguito alle prove svolte abbiamo rilevato i seguenti risultati caratteristici delle due miscele analizzate.





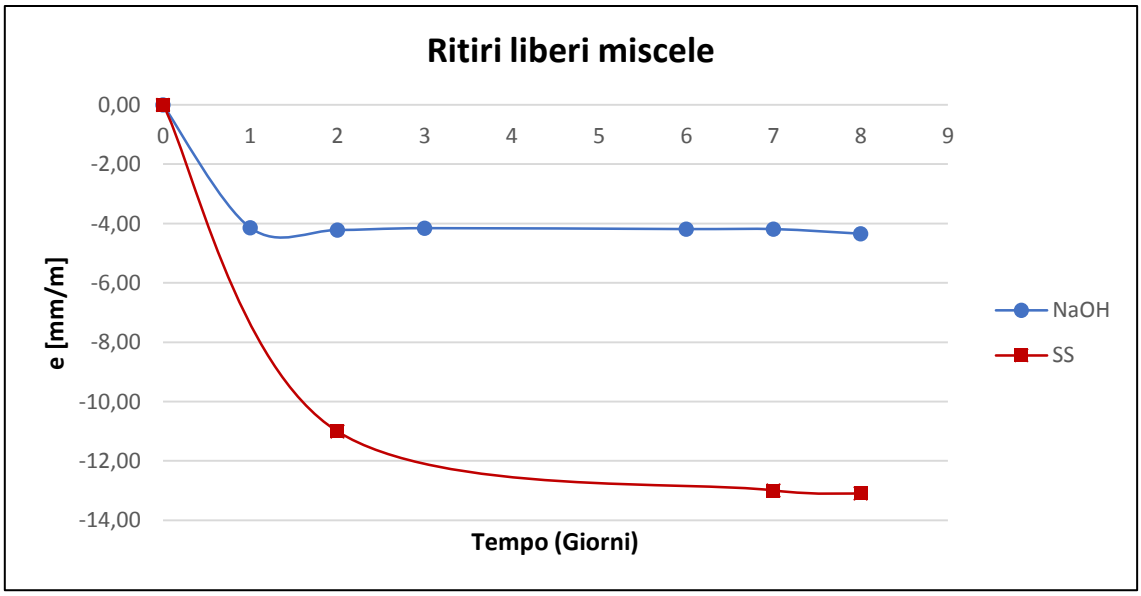
Come possiamo vedere dai risultati il modulo elastico per quanto riguarda NaOH a 20°C, ha un risultato maggiore rispetto a quello di 40°C, sia nel breve che lungo periodo. Caso differente per la miscela SS, che ha un modulo elastico maggiore con la stagionatura a 40°C, fino a 30gg , ma poi tende a diminuire. Nel caso del provino a 20°, avremo una crescita costante all'aumentare del tempo di stagionatura, fino a raggiungere il massimo a 90gg. In entrambi I casi, possiamo vedere che i provini a 10°C non hanno valori di modulo elastiico dinamico misurabili perché nel momento della scasseratura i provini si sono rotti a causa della loro resistenza meccanica troppo bassa

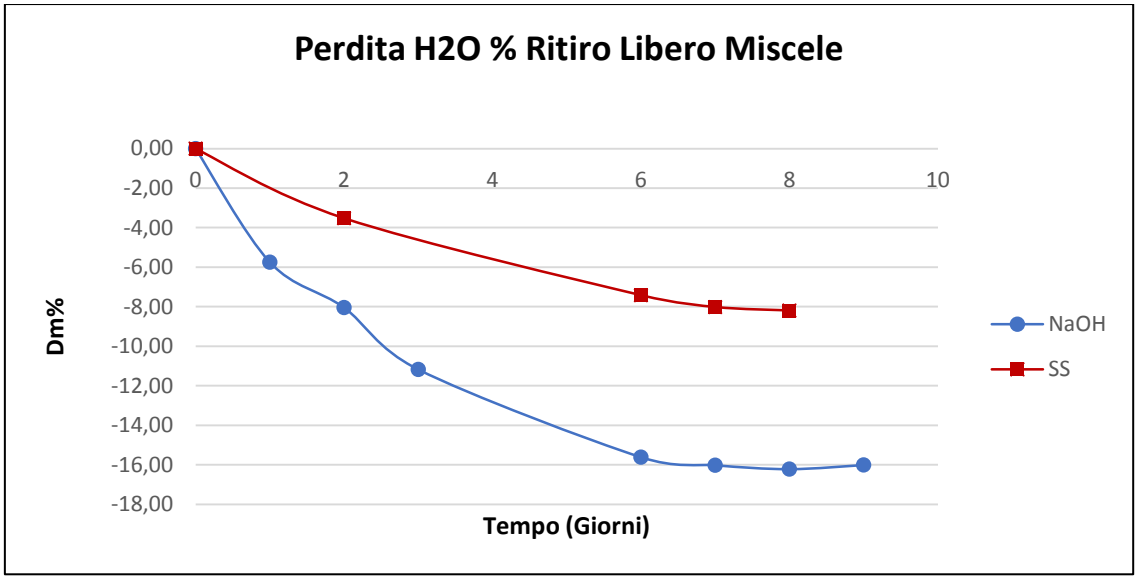




9.3.4 RISULTATI RITIRO LIBERO

Qui di seguito, possiamo vedere i risultati ottenuti:

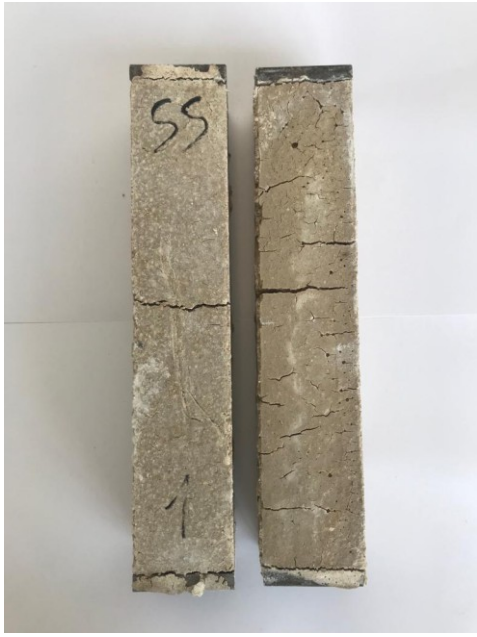




Il provino NaOH ha un ritiro decrescente per il primo giorno di stagionatura, poi diventa costante aumentando il tempo di stagionatura. Però, esso ha una Perdita di acqua maggiore rispetto all'altra miscela. Il provino SS ha un ritiro maggiore ma una Perdita di acqua minore

9.3.5 RISULTATI RITIRO VINCOLATO

Per quanto riguarda il ritiro vincolato delle miscele con attivatore, non abbiamo potuto registrare nessun valore a causa della presenza di fessure e spaccature nei provini dopo 3 gg di stagionatura



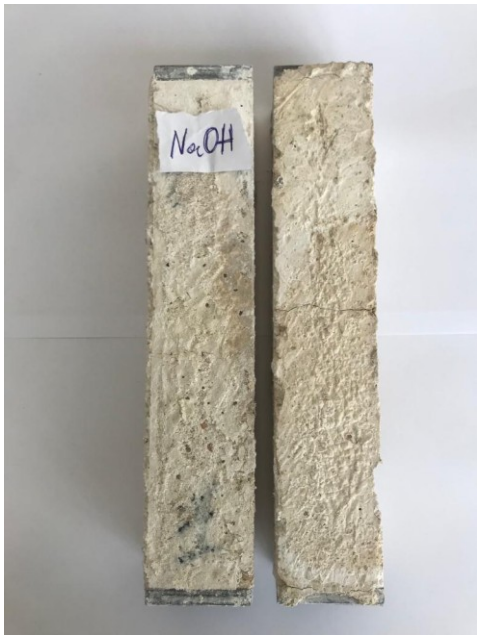
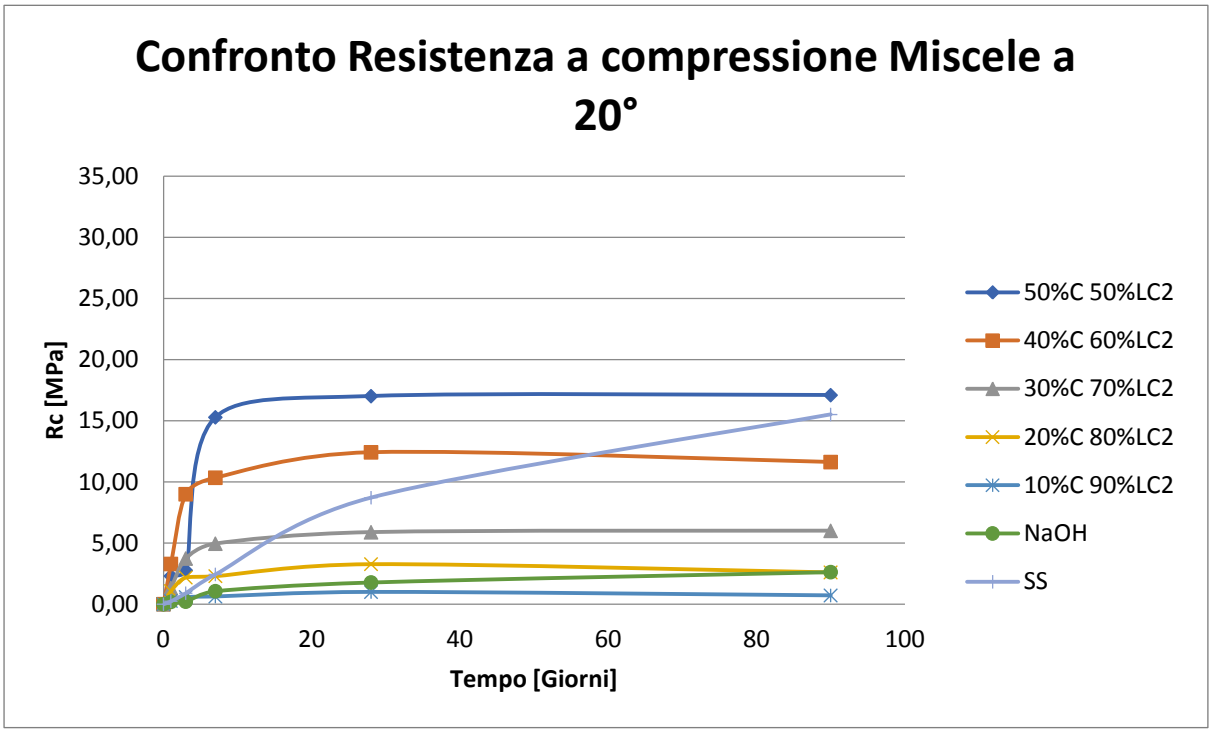
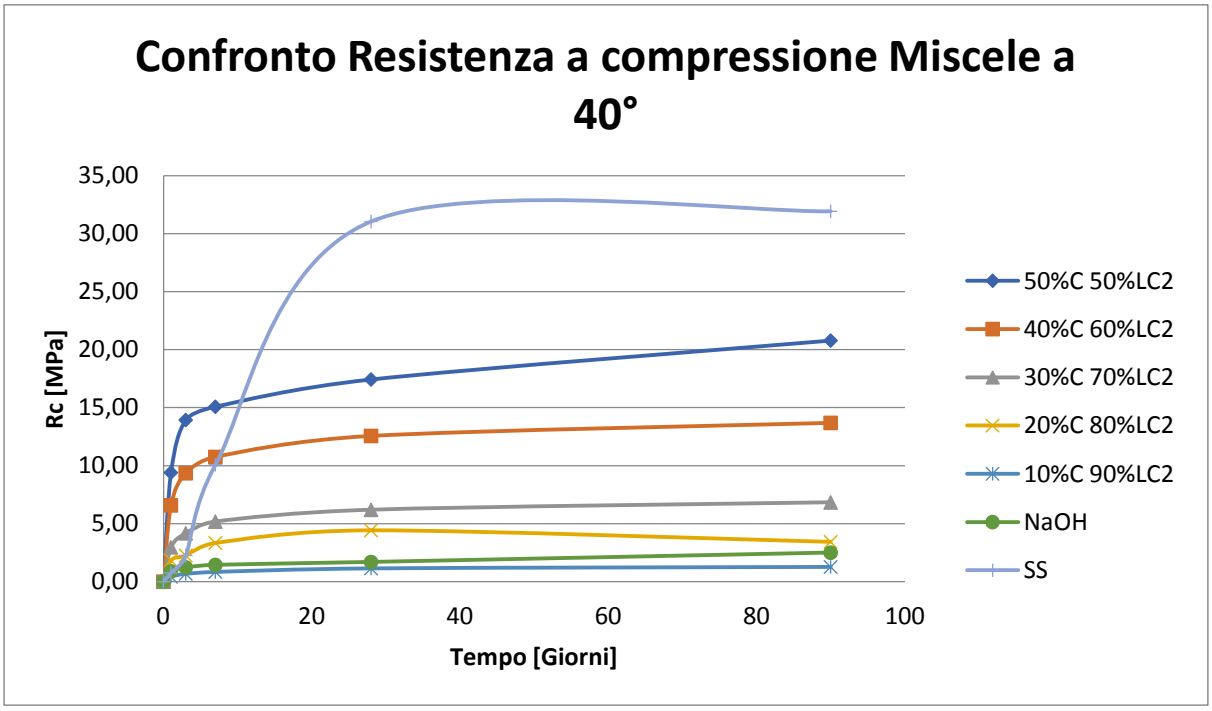
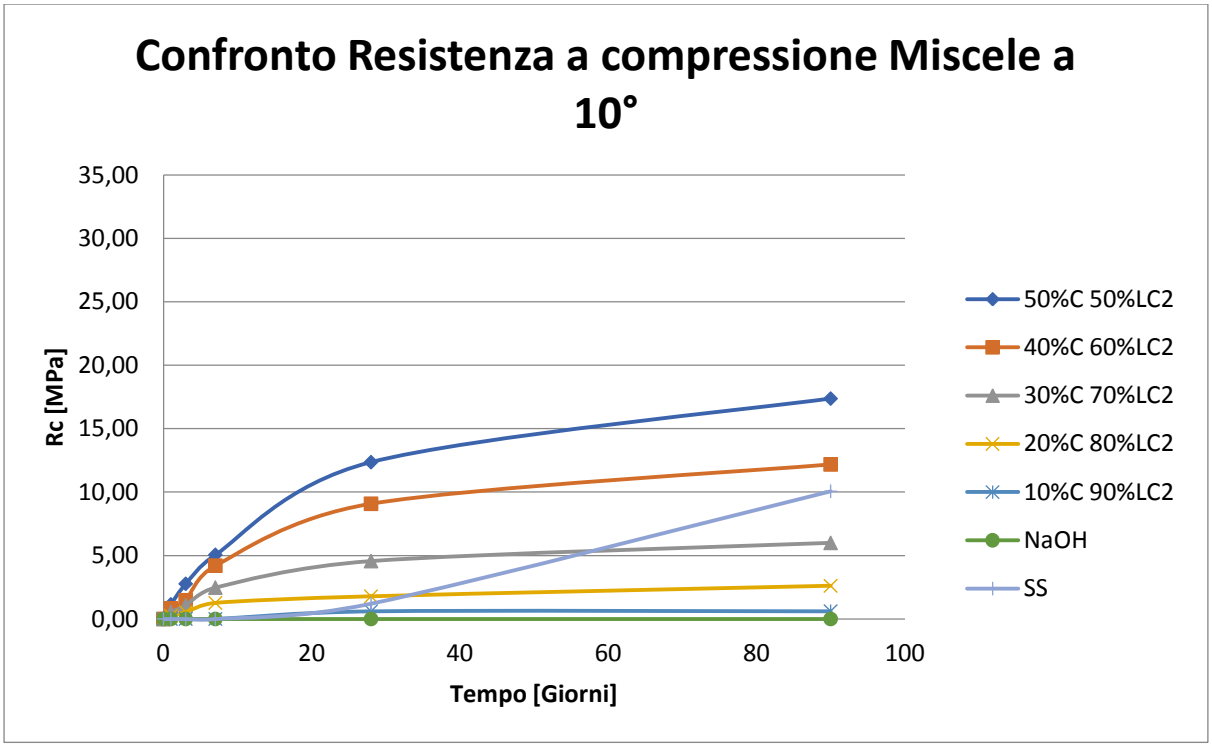


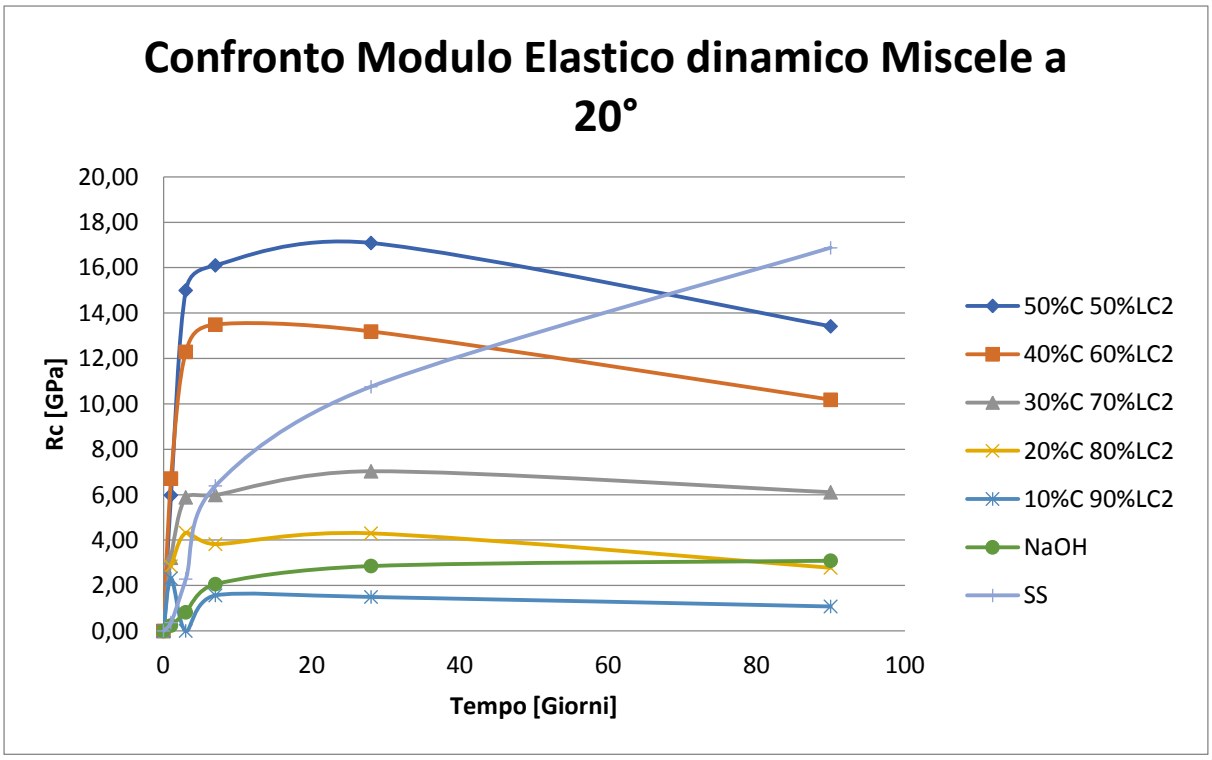
Figura 26 Foto provini per il ritiro vincolato

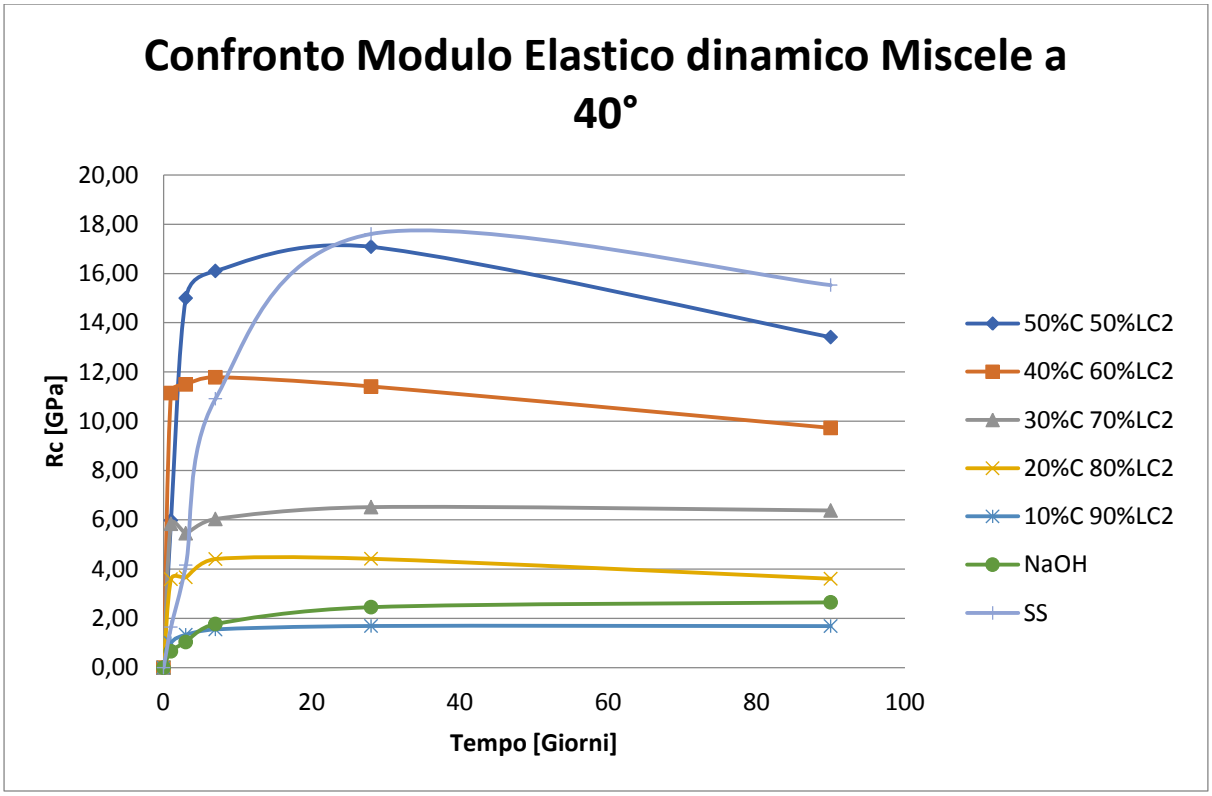
9.4 CONFRONTO MISCELE: RC, MODULO ELASTICO, RITIRO LIBERO E VINCOLATO

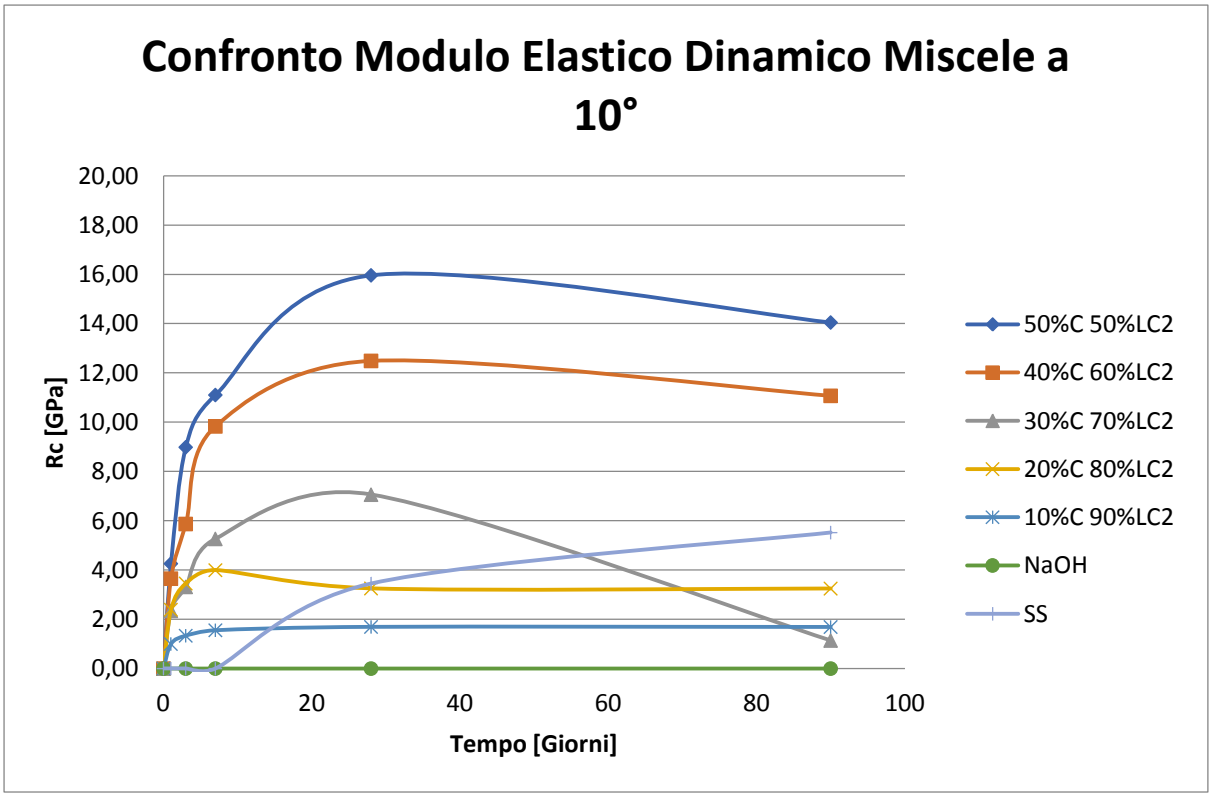


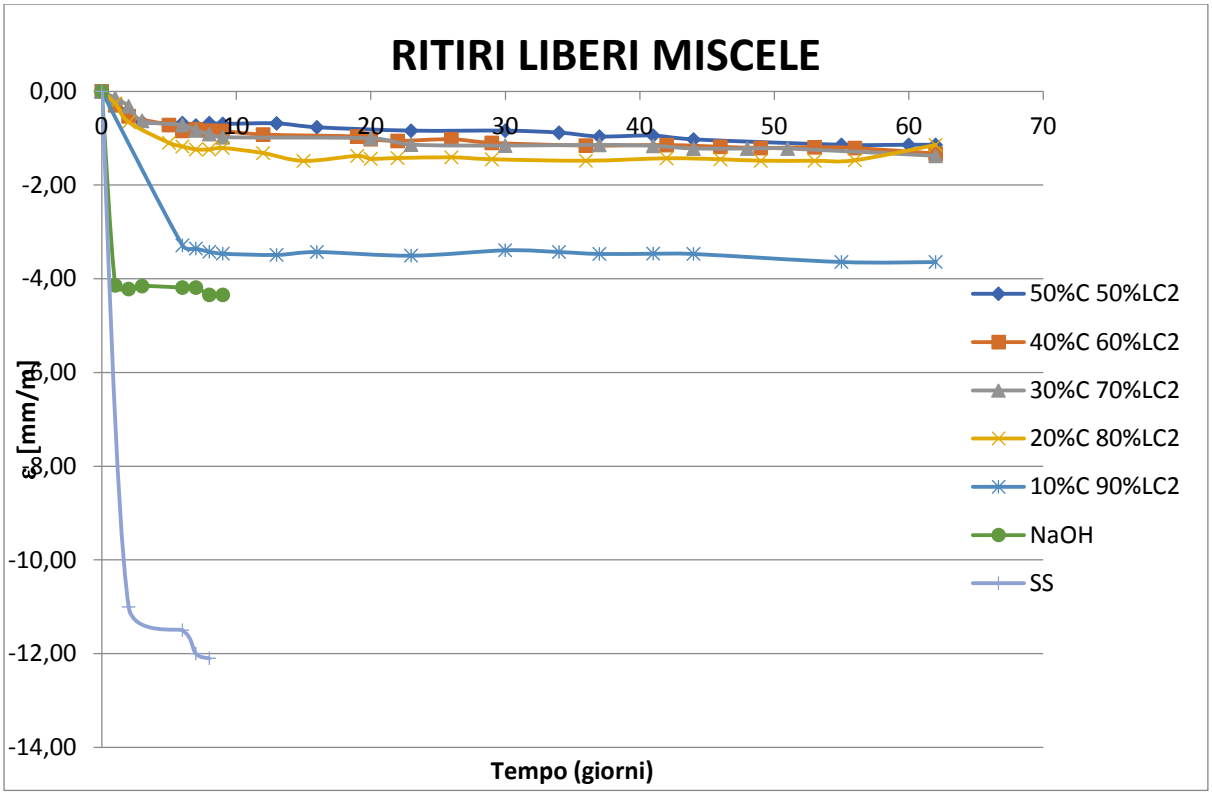



Confronto Resistenza a compressione Miscele a 10°
Rc [MPa]
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
0
20
40
60
80
100
Tempo [Giorni]
50%C 50%LC2
40%C 60%LC2
30%C 70%LC2
20%C 80%LC2
10%C 90%LC2
NaOH
SS


Confronto Modulo Elastico dinamico Miscele a 20°
Rc [GPa]
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
0
20
40
60
80
100
Tempo [Giorni]
50%C 50%LC2
40%C 60%LC2
30%C 70%LC2
20%C 80%LC2
10%C 90%LC2
NaOH
SS


Confronto Modulo Elastico dinamico Miscele a 40°
Rc [GPa]
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
0
20
40
60
80
100
Tempo [Giorni]
50%C 50%LC2
40%C 60%LC2
30%C 70%LC2
20%C 80%LC2
10%C 90%LC2
NaOH
SS


Confronto Modulo Elastico Dinamico Miscele a 10°
Rc [GPa]
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
0
20
40
60
80
100
Tempo [Giorni]
50%C 50%LC2
40%C 60%LC2
30%C 70%LC2
20%C 80%LC2
10%C 90%LC2
NaOH
SS



Come detto in precedenza, non abbiamo potuto ricavare i dati del ritiro vincolato delle miscele con gli attivatori a causa della loro consistenza e della presenza di fessure.

La miscela SS (silicato di sodio) è nota per avere una maggiore resistenza meccanica rispetto alla miscela di riferimento, composta da una proporzione del 50% C50%LC2(RIF). Tuttavia, questa miscela deve essere utilizzata solo in ambienti climatizzati a temperature comprese tra 20° e 40°. In condizioni ambientali diverse, la resistenza meccanica della miscela SS potrebbe non essere sufficientemente affidabile e compromettere le prestazioni. Per garantire la qualità e la sicurezza delle applicazioni che utilizzano questa miscela, è importante tener conto di questi fattori.
Caso opposto per la miscela NaOH, che invece ha raggiunto caratteristiche meccaniche molto basse rispetto alle altre miscele

10. ANALISI LCA: Life Cycle Assessment

10.1 INTRODUZIONE LCA

A partire dagli anni Novanta è stato sviluppato il processo dell' "analisi del ciclo di vita" volto al conseguimento di una valutazione degli impatti energetici e ambientali di un prodotto durante tutta la sua vita. È bene precisare che nell'Analisi del Ciclo di Vita sono incluse tutte le entità/attività che il prodotto compie dal momento della sua nascita al momento della sua morte ("dalla culla alla tomba"). Per cui sono considerate tutte le attività di estrazione delle materie prime, di produzione, di utilizzo, di trasporto, di distribuzione, di riuso, di riciclo e di smaltimento che il prodotto compie durante la sua vita.

Figure 38 Fasi del ciclo vita di un prodotto
https://www.reteclima.it/lca-life-cycle-assessment-analisi-del-ciclo-di-vita/

La definizione della metodologia LCA, formalizzata nella ISO 14040 (UNI EN ISO 14040, 1998) e proposta dalla SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) è la seguente: "è un procedimento oggettivo di valutazione di carichi energetici e ambientali relativi a un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale."

In questa definizione sono contenuti alcuni aspetti fondamentali come:

- ciclo di vita: deve essere preso in considerazione l'intero ciclo di vita del processo o attività, ovvero gli stadi consecutivi e collegati del sistema produttivo, dall'acquisizione della materia prima, al ciclo produttivo, all'uso, al riuso e allo smaltimento finale.

- carichi energetici e ambientali: l'oggetto della valutazione sono i carichi energetici ed ambientali imputabili ai processi o attività che portano alla produzione di un prodotto o di un servizio;

- l'oggettività: LCA è una metodologia che si basa su diversi step ed è assolutamente volontaria. È importante che siano seguiti accuratamente tutti le singole fasi del ciclo di vita e che la valutazione derivi dall'analisi di dati scientificamente verificabili e confrontabili;

Quindi la vita del prodotto è intesa come un insieme di attività e di processi che assorbono una certa quantità di materia ed energia, operano una serie di trasformazioni e rilasciano emissioni di varia tipologia. Tale metodologia si presenta come uno strumento di supporto per:

- quantificare, interpretare e valutare gli impatti ambientali di un prodotto o un servizio;

- identificare le fasi del ciclo di vita del prodotto che hanno maggiori impatti energetici e ambientali;
- assistere il processo decisionale (pianificazione strategica);

- comunicare dati e informazioni ambientali (esempio: dichiarazione ambientale);

- identificare quali aspetti del prodotto sono migliorabili in termini di efficienza ambientale.

Attualmente la metodologia LCA è usata in vari ambiti come la progettazione ecosostenibile, l'etichettatura ecologia (eco-label) e la scelta del flusso dei rifiuti, consentendo alle aziende che la utilizzano di raggiungere un vantaggio competitivo derivante da un mercato sempre crescente di consumatori attenti e sensibili ad aspetti di ecosostenibilità.

La conoscenza dei dati di impatto associabili all'intero ciclo di vita dei materiali è una grande opportunità per comprendere l'incidenza delle singole fasi del processo sui differenti fattori ambientali. In particolare, lo studio LCA assume una grande rilevanza per garantire un adeguato confronto in termini di eco-sostenibilità tra sistemi che possono essere caratterizzati anche da notevoli differenze in termini di costi.

Le metodologie di LCA rappresentano degli strumenti affidabili e oggettivi per la valutazione degli impatti sull'ambiente di materiali e processi.

10.2 CARBON FOOTPRINT

Il *carbon footprint*, conosciuta anche come impronta di carbonio o impronta climatica, è un indicatore ambientale. Misura la quantità di emissioni di gas serra generate da un prodotto, da un servizio, un'attività o un'organizzazione, la cui riduzione determina un miglioramento dell'efficienza energetica, delle risorse ed un notevole risparmio economico.

Durante il suo ciclo di vita, un prodotto rilascia in atmosfera diverse quantità di gas serra (CO_2). Dalla fase di estrazione delle materie prime a quella di trasformazione; dalla produzione alle fasi di imballaggio, trasporto e dalla fase di utilizzo a quella dello smaltimento finale. Lo svolgimento di un'attività richiede un insieme complesso di operazioni che comportano il rilascio in atmosfera di precise quantità di emissioni di gas serra. Con il carbon footprint un'azienda, un'impresa, ma anche un cantiere o una società, può calcolare la propria impronta di carbonio, impegnarsi per ridurla, comunicare al pubblico e ai competitor l'entità delle proprie emissioni di CO2.

Il calcestruzzo è un materiale la cui sostenibilità può essere decisamente migliorata, basta agire sul processo produttivo di alcune sue componenti per ridurre drasticamente le emissioni di anidride carbonica rilasciate. Si potrebbe optare per la sostituzione di parte delle materie prime usate e magari per la sostituzione del clinker con costituenti sostenibili. Le imprese dedite alla produzione di materiale da costruzione, che sia calcestruzzo, cemento o prodotti di altro tipo, possono innanzitutto intervenire calcolando la carbon footprint di prodotto. Partire, dunque, dal calcolo delle emissioni totali di anidride carbonica del prodotto rilasciate durante tutto il suo ciclo di vita per giungere alla loro riduzione o compensazione.

Grazie alla carbon footprint, l'impresa riesce a identificare le attività, le sorgenti massive e l'intensità delle emissioni di gas serra; può capire dunque se e dove intervenire per ridurre le emissioni di CO2 partecipando attivamente al cambiamento necessario per l'ambiente. Chi decide di intraprendere questo percorso virtuoso acquisisce dati e strumenti utili per monitorare il miglioramento delle performance ambientali dell'azienda, distinguendosi dalla concorrenza

Quantificare la totalità delle emissioni di gas serra (GHG) di un prodotto significa analizzare l'intero ciclo di vita del bene, secondo i canoni della metodologia LCA (Life Cycle Assessment) e nel rispetto di principi, requisiti e linee guida della norma ISO 14067.

Figure 39 Carbon Footprint
https://www.ecomatcher.com/the-basics-of-a-carbon-footprint/

10.3 FASI DI UNO STUDIO LCA

Seguendo le norme ISO 14040 e 14044, un'analisi LCA si svolge attraverso 4 macrofasi distinte:

1. Obiettivo e campo di applicazione (Goal and Scope);
2. Analisi d'Inventario (Life Cycle Inventory – LCI);
3. Valutazione dell'impatto sul ciclo di vita (Life Cycle Impact Assessment – LCIA);
4. Interpretazione dei risultati (Life Cycle Interpretation).

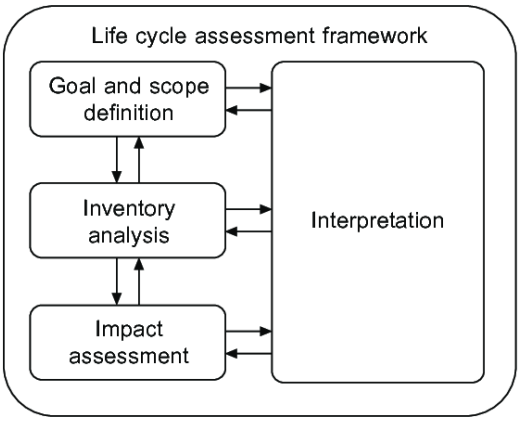


Figure 12 Fasi di valutazione del ciclo vita di un prodotto

10.3.1. DEFINIZIONE DELLO SCOPO E DEL CAMPO DI APPLICAZIONE

Durante la prima fase dell'analisi del ciclo di vita del prodotto, in funzione dell'obiettivo dello studio, vengono definiti:

i. Funzioni del Sistema prodotto

Il sistema prodotto è definito come: "Insieme elementare di unità di processo, connesse tra loro per quanto riguarda materia ed energia, che perseguono una o più funzioni definite"

Il Sistema Prodotto è quindi scomponibile in unità di processo, ciascuna delle quali include tutte le attività e le operazioni attribuibili ad essa stessa.

Figure 13 Esempio delle funzioni del sistema prodotto
https://www.mygreenbuildings.org/2010/12/20/lca-analisi-ciclo-di-vita-prodotti-processi.html

ii. l'Unità funzionale rispetto alla quale rapportare i risultati

Viene così definita dalla ISO 14040: "Misura della prestazione del flusso in uscita funzionale del sistema prodotto". Lo scopo principale dell'unità funzionale è di fornire un riferimento a cui legare i flussi in uscita ed in entrata. Questo riferimento è necessario per consentire la comparabilità dei risultati della LCA, che risulta essere critica quando si valutano sistemi differenti, perché ci si deve assicurare che il confronto venga fatto su base comune."

Si tratta della quantità di prodotto in funzione della quale impostare l'analisi/studio, rappresentando l'unità di misura di riferimento a cui andranno normalizzati tutti i dati di Input e Output. La scelta di tale Unità Funzionale è totalmente arbitraria e verrà decisa in funzione dello scopo dello studio, del tipo di analisi che si vuole fare e dal tipo di confronto che si vuole rendere disponibile.

iii. Confini iniziali del Sistema-prodotto (spaziali e temporali)

I confini iniziali del sistema prodotto rappresentano le unità di processo che devono essere incluse nella LCA. Per stabilire i confini del sistema, normalmente si prendono in considerazione le seguenti fasi:

- Acquisizione materie prime;
- Flussi in ingresso ed in uscita;
- Processo di fabbricazione;
- Produzione ed utilizzazione di combustibili, elettricità, e di calore;
- Uso e manutenzione del prodotto;
- Riciclo / Gestione dei rifiuti.

iv. Requisiti di qualità dei dati

La descrizione della qualità dei dati viene svolta al fine di valutare i dati effettivamente raccolti, in modo tale da avere uno strumento aggiuntivo in fase di interpretazione dei risultati. Secondo la norma ISO i requisiti che i dati devono soddisfare sono:

a) Copertura temporale: età dei dati e periodo minimo di tempo durante il quale devono essere raccolti i dati;

b) Copertura geografica: area geografica da cui raccogliere i dati per i processi unitari al fine di soddisfare l'obiettivo dello studio;

c) Copertura tecnologica: tecnologia specifica o mix tecnologico coerente con lo studio;

d) Precisione: misura della variabilità dei valori dei dati per ogni dato espresso (ad es. varianza);

e) Completezza: percentuale di flusso misurata o stimata;

f) Rappresentatività: la valutazione qualitativa del grado in cui il set di dati riflette la vera popolazione di interesse (compresa la copertura geografica, il periodo di tempo e la copertura tecnologica);

g) Coerenza: valutazione qualitativa dell'applicazione della metodologia di studio ai vari componenti dell'analisi;

h) Riproducibilità: valutazione qualitativa della misura in cui le informazioni sulla metodologia e sui dati raccolti consentirebbero a un professionista indipendente di riprodurre i risultati riportati nello studio;

i) Fonti dei dati;

j) Incertezza delle informazioni (ad es. dati, modelli e presupposti).

10.3.2. ANALISI DI INVENTARIO CICLO VITA (LCI)

Questa fase comprende tutte le attività volte alla raccolta ed elaborazione dei dati relativi a tutti gli input e output (sia in termini di massa che di energia) del sistema produttivo considerato.

L'Analisi d'inventario è la fase in cui avviene la raccolta dati e si scelgono i procedimenti di calcolo, che a loro volta consentono di quantificare i flussi di Input e Output del sistema prodotto.

Questa fase è divisa in quattro moduli:

1- Procedimento per la raccolta dati: va specificato in che modo vengono raccolti i dati;
2- Raccolta dati: essa avviene per quantificare i flussi dei materiali e dell'energia. Se possibile, i dati devono essere raccolti direttamente sul "campo" o nell'azienda che ha commissionato il lavoro. Se ciò non è possibile si può far riferimento a database già presenti in varie piattaforme o attraverso indici in letteratura. Va specificata ogni natura del dato così da non creare incomprensioni fra i vari lettori dello studio.
3- Calcolo dei dati: si indicano le procedure di calcolo attuate nello studio e tali devono rimanere per tutta la sua durata.
4- Allocazione: si sceglie e si specifica i criteri di allocazione di alcuni materiali/energia che vengono condivise fra più unità di processo.

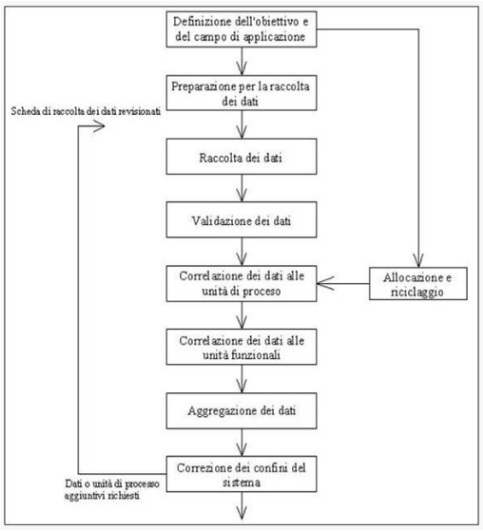


Figure 14 Fasi analisi di inventario

10.3.3 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI AMBIENTALI SUL CICLO VITA

Gli input e gli output del sistema produttivo individuati nella fase precedente vengono convertiti in potenziali impatti ambientali applicando ai dati di inventario i relativi fattori di caratterizzazione. Si ottiene in questo modo un profilo dei potenziali impatti ambientali, costituito dai risultati delle diverse categorie d'impatto considerate.

Le norme di riferimento contemplano anche una successiva elaborazione dei risultati ottenuti, mediante le operazioni di: normalizzazione, raggruppamento (smistamento e classificazione delle categorie di impatto), pesatura (conversione e aggregazione degli indicatori applicando fattori di pesatura).

Lo scopo di tale fase è quello di indentificare e quantificare i temi ambientali (impatti globali, impatti regionali e locali) considerati rilevanti per lo studio per poi trasformare ciascun flusso di sostanze creato, nella fase di inventario, in un contributo ai temi ambientali precedentemente scelti. La procedura della Valutazione di impatto fa riferimento alla UNI EN ISO 14044 che la suddivide nelle seguenti fasi:

a) Scelta e definizione delle categorie di impatto: vengono scelte tenendo conto del criterio di completezza (considerare tutte le categorie a breve e a lungo termine su cui il sistema potrebbe agire), indipendenza (evitare conteggi multipli), praticità (non deve contenere un numero eccessivo di categorie)
b) Classificazione: fase di assegnazione delle categorie ai dati raccolti in fase di inventario.
c) Caratterizzazione: si quantifica l'impatto attraverso dei fattori di caratterizzazione (EF) e si aggregano gli effetti ambientali all'interno delle categorie prescelte. La fase finale della caratterizzazione è il "Profilo Ambientale" che è costituita dalla creazione di una serie di punteggi d'impatto per ogni categoria.
d) Normalizzazione: si elaborano i dati ottenuti in fase di caratterizzazione in modo tale da ottenere degli indici omogenei con cui valutare il sistema;

e) Valutazione: assegnazione di un peso relativo alle varie categorie d'impatto e alla stima finale dei risultati. Questi fattori di peso infine vanno moltiplicati per i punteggi ottenuti e vengono poi sommati per avere un indice ambientale finale. Queste ultime due fasi, secondo la norma ISO non sono obbligatorie per la stesura di una LCA.

10.3.4. INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

L'ultimo passo ha l'obiettivo di interpretare i risultati che provengono dalle precedenti fasi, verificare l'ottenimento degli obiettivi e la qualità dei dati nonché i limiti del sistema, formulando possibili opzioni future di miglioramento e riprogettazione. Uno studio LCA non produce obbligatoriamente, con certezza, un dato che può essere considerato oggettivo in quanto esso risente del metodo con cui si è condotto lo studio. Perciò questa fase è di vitale importanza al fine di trarre considerazioni il più vicino possibile alla realtà, così da riuscire a prendere decisioni in merito che siano considerate valide e affidabili.

La fase di interpretazione dei risultati permette di derivare conclusioni e raccomandazioni robuste, sulle quali, ad esempio, basare una strategia comunicativa e/o un processo di eco-design.

I principali elementi dell'interpretazione dei risultati sono:

i. identificazione degli hot-spot (vengono individuati i materiali/processi che contribuiscono maggiormente agli impatti complessivi),
ii. valutazioni sulla completezza e robustezza del modello (come analisi di sensitività e incertezza),
iii. definizione delle conclusioni dello studio, anche alla luce delle limitazioni presenti.

Lo strumento del Life Cycle Assessment permette quindi l'ottenimento di una comprensione chiara, trasparente e scientifica delle problematiche ambientali legate ai prodotti e servizi erogati al mercato in un'ottica di ciclo di vita così da permettere la programmazione di azioni per il miglioramento (eco-design).

10.4 PUNTI DI FORZA E LIMITI DELLA METODOLOGIA LCA

Premesso quanto sopra, relativo alla fase di "messa in opera" del metodo LCA, veniamo ai vantaggi che potrebbero conseguire all'utilizzo di tale strumento. Andare ad analizzare le varie fasi del ciclo di vita del prodotto o del servizio oggetto della propria attività significa anche valutare una possibile riduzione dei costi. Ecco alcuni esempi di tipo pratico: ridurre le emissioni di CO2 generate dalla propria attività produttiva potrebbe, in termini economici, essere molto dispendioso. Grazie invece ad una analisi che si estende al di fuori dalle fasi dello specifico settore produttivo in cui si opera, è possibile valutare la possibilità di intervenire in maniera differente e meno costosa, ad esempio scegliendo altri fornitori il cui prodotto di per sé permetta già di emettere quantitativi di CO2 minori. Quello che viene fatto, in poche parole, è scegliere di concentrarsi non solo su quello che si produce e quindi cercare di ridurre l'impatto ambientale legato solamente alla mera fase produttiva di proprio interesse, ma analizzare l'intero ciclo di vita del prodotto o del servizio per considerare se vi sono delle fasi ove poter operare al fine di ridurre l'impatto ambientale e i costi che ne conseguono.

Un altro esempio potrebbe riguardare gli imballaggi: grazie ad una analisi LCA si potrebbe rilevare che il maggior impatto ambientale derivi non tanto dal proprio prodotto quanto dall'imballaggio che lo riveste. Questo risultato consente, pertanto, di fare scelte di politica aziendale ambientale orientate alla riduzione dell'impatto registrato in un'ottica di contenimento dei costi, come, ad esempio, rivolgendosi ad imprese di imballaggi che utilizzino materiali "più eco".

La parte maggiormente "critica" di tale sistema riguarda la disponibilità delle imprese ad incaricare personale specializzato per svolgere tale analisi scientifica, nonché la complessità della fase di reperimento dei dati ambientali da valutare che non sono "dati assoluti" ma sono rapportati alla funzione e all'oggetto dell'analisi. Risulta pertanto necessario l'utilizzo di specifiche banche dati, tant'è che sono disponibili sul mercato software utilizzabili per effettuare l'inventario e la valutazione LCA di prodotti e servizi.

In definitiva, nonostante qualche "criticità", LCA è sicuramente utilizzato come strumento consolidato per analizzare l'eco-efficienza dei processi e dei prodotti, come metodo comune per misurare e comunicare l'impatto ambientale dei prodotti e come opportunità di miglioramento delle performance ambientali in azienda.

10.5 SOFTWARE LCA: GLOBAL CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION

Global Cement and Concrete Association

Figure 15 Logo software GCCA

La Global Cement and Concrete Association (GCCA) è un'iniziativa del settore guidata da dei CEO (Chief Executive Officer). I suoi membri: Il consiglio di amministrazione e il team esecutivo si impegnano per la sostenibilità, riducendo gli impatti di produzione di cemento e promuovere le proprietà uniche del calcestruzzo come materiale sostenibile, durevole e un materiale da costruzione resiliente, ovvero un materiale che risponderà alle esigenze di una città sempre più in crescita e sempre più urbana. Si stima che nel 2050 si potrebbe arrivare ad una popolazione di circa 9 miliardi di persone.

Industry EPD Tool for Cement and Concrete di GCCA è uno strumento di calcolo basato sul Web per le autocertificazioni ambientali di clinker, cemento, calcestruzzo e elementi prefabbricati, disponibile sia in versioni internazionali e nordamericane

Lo strumento produce due risultati principali:

+ Un'autodichiarazione in formato GCCA che può essere utilizzata per scopi di comunicazione e/o vendita. L'autodichiarazione non è una EPD ufficiale convalidata, ma può fungere da documento di facile utilizzo che contiene le principali informazioni generali/di contesto e le prestazioni ambientali (risultati LCA) del prodotto specifico per tutti gli indicatori.

+ Un rapporto di background con il set completo di dati di input e risultati del prodotto specifico. Questo documento è sotto forma di un file Excel che contiene tutte le informazioni necessarie per produrre un EPD

Global Cement and Concrete Association

Environmental Data Sheet | Self-declaration

Self-declaration based on Environdec c-PCR-003 Concrete and concrete elements (EN 16757)

50%C 50%LC2

Manufacturer:	(IT)
Declared unit:	m³
Product identification:	50%C 50%LC2 ,
Production site(s):	
Compressive strength:	18.42
Density:	2,020 kg/m³
Reference service life:	50 years
Recycling rate at EoL:	0%
Scope:	A1-A3 + A4-A5 + B1-B7 + C1-C4 + D, cradle-to-grave
Methodology:	GCCA's Industry EPD Tool for Cement and Concrete (V3.1), International version
Date of issue:	2022-11-01 10:53
Comment:	This document is NOT a verified EPD but a self-declaration in EPD format. All information about goal and scope necessary for results interpretation by the EPD verifier are present in the latest version of the "LCA Model" report, available in GCCA's Industry EPD Tool. The tool does not include the input or calculation of the biogenic carbon content of the product or packaging. Yet, the PCR requires that the latter should be reported in an EPD. It is mandatory when the biogenic carbon content exceeds 5% wt. (product or packaging). The latter are calculated as the quantity of biogenic carbon in the product (resp. in the packaging) per declared unit multiplied by 44/12, reported in kg CO2 per declared unit. The removals and emissions associated with biogenic carbon content of i) the product and ii) the packaging are not calculated and therefore not reported in the tool. The latter are not significant or even not relevant in the sector. The only limitation is the uptake of CO2 in A1-A3 (e.g. bio-based insulation materials in precast elements or bio-based packaging materials) and reemission in A5 (packaging end-of-life) or C3-C4 (product end-of-life). This does not affect the GWP-tot indicator. The GWP-GHG indicator is not calculated and therefore not reported in the present self-declaration. Given the statement above, the GWP-GHG indicator can be assimilated to the GWP-tot indicator. The tool does not calculate the 'Radioactive waste disposed' indicator, it is considered not to be significant for the sector.
Core environmental impact indicators	**GWP-tot** (Global Warming Potential total) • **GWP-fos** (Global Warming Potential fossil fuels) • **GWP-bio** (Global Warming Potential biogenic) • **GWP-luc** (Global Warming Potential land use and land use change) • **ODP** (Depletion potential of the stratospheric ozone layer) • **AP** (Acidification potential, Accumulated Exceedance) • **EP-fw** (Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching freshwater end compartment) • **EP-fw*** (Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching freshwater end compartment*) • **EP-mar** (Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching marine end compartment) • **EP-ter** (Eutrophication potential, Accumulated Exceedance) • **POCP** (Formation potential of tropospheric ozone) • **ADPE** (Abiotic depletion potential for non- fossil resources) • **ADPF** (Abiotic depletion for fossil resources potential) • **WDP** (Water (user) deprivation potential, deprivation-weighted water consumption)
Additional environmental impact indicators	**PM** (Potential incidence of disease due to PM emissions) • **IRP** (Potential Human exposure efficiency relative to U235) • **ETP** (Potential Comparative Toxic Unit for ecosystems) • **HTPC** (Potential Comparative Toxic Unit for humans - cancer) • **HTPNC** (Potential Comparative Toxic Unit for humans - non-cancer) • **SQP** (Potential soil quality index)
Parameters describing resource use	**PERE** (Use of renewable primary energy excluding renewable primary energy resources used as raw materials) • **PERM** (Use of renewable primary energy resources used as raw materials) • **PERT** (Total use of renewable primary energy resources) • **PENRE** (Use of non-renewable primary energy excluding non-renewable primary energy resources used as raw materials) • **PENRM** (Use of non-renewable primary energy resources used as raw materials) • **PENRT** (Total use of non-renewable primary energy resources) • **SM** (Use of secondary materials) • **RSF** (Use of renewable secondary fuels) • **NRSF** (Use of non-renewable secondary fuels) • **NFW** (Net use of fresh water)
Waste categories	**HWD** (Hazardous waste disposed) • **NHWD** (Non-hazardous waste disposed) • **RWD** (Radioactive waste disposed)
Output flows	**CRU** (Components for re-use) • **MFR** (Materials for recycling) • **MER** (Materials for energy recovery) • **EE** (Exported energy)
Extra indicators	**CC** (Emissions from calcination and removals from carbonation) • **CWRS** (Emissions from combustion of waste from renewable sources used in production processes) • **CWNRS** (Emissions from combustion of waste from non-renewable sources used in production processes)

RESULTS

LCIA methodology	Core environmental impact indicators	101	102	103	104	105	106
		GWP-tot (global warming potential, total) • GWP-fos (global warming potential, fossil fuels) • GWP-bio (g (acidification potential) • EP-fw (eutrophication potential, freshwater) • EP-mar (eutrophication potential, ma potential for non-fossil resources) • ADPF (a					
		GWP-tot	GWP-fos	GWP-bio	GWP-luc	ODP	AP
		kg $CO_{2\,eq}$	kg $CO_{2\,eq}$	kg $CO_{2\,eq}$	kg $CO_{2\,eq}$	kg $CFC_{11\,eq}$	mol H+ eq.
A1-A3 | Materials		2,295810519	2,293460352	0,001502247	0,00084792	8,86988E-08	0,009181446
Raw materials		2,293827269	2,291489157	0,001494082	0,00084403	8,83077E-08	0,009169574
Primary raw materials		2,293827269	2,291489157	0,001494082	0,00084403	8,83077E-08	0,009169574
Secondary materials		0	0	0	0	0	0
Additives, admixtures		0	0	0	0	0	0
Reinforcement		0	0	0	0	0	0
Others		0,001983249	0,001971194	8,16508E-06	3,88966E-06	3,91088E-10	1,18722E-05
A1-A3 | Manufacturing		22,09064237	22,04806558	0,027411962	0,015164823	3,57048E-06	0,127447782
Electricity, purchased from the grid		1,962539726	1,959157418	0,00131479	0,002067518	2,38893E-07	0,014497581
Electricity, produced on-site		0	0	0	0	0	0
Fuels		1,798744572	1,79657561	0,001194513	0,000974449	2,15696E-06	0,020940266
Primary fuels		1,798744572	1,79657561	0,001194513	0,000974449	2,15696E-06	0,020940266
Secondary fuels		0	0	0	0	0	0
Combustion		12,42155587	12,42043964	0,000580097	0,000536129	9,63847E-09	0,056644457
Primary fuels		12,42155587	12,42043964	0,000580097	0,000536129	9,63847E-09	0,056644457
Secondary fuels		0	0	0	0	0	0
Process emissions		0	0	0	0	0	0
Water		5,907802202	5,871892913	0,024322562	0,011586726	1,16499E-06	0,035365478
A1-A3 | Transport		0,138332648	0,138203082	7,04037E-05	5,91616E-05	2,62172E-08	0,000516047
Transport of materials/fuels to factory		0,115998061	0,115885353	6,13583E-05	5,13491E-05	2,18088E-08	0,000442433

Figure 16 Esempi file dei risultati generati dal software

10.5.1 EPD DASHBOARD

Il pannello EPD corrisponde alla pagina di gestione centrale dello strumento. Permette all'utente di visualizzare la sua lista di EPD e gestire le sue EPD. La pagina è composta da una serie di elementi chiave:

+ L'elenco delle EPD

+ I pulsanti di gestione EPD

+ I metadati dell'EPD selezionato

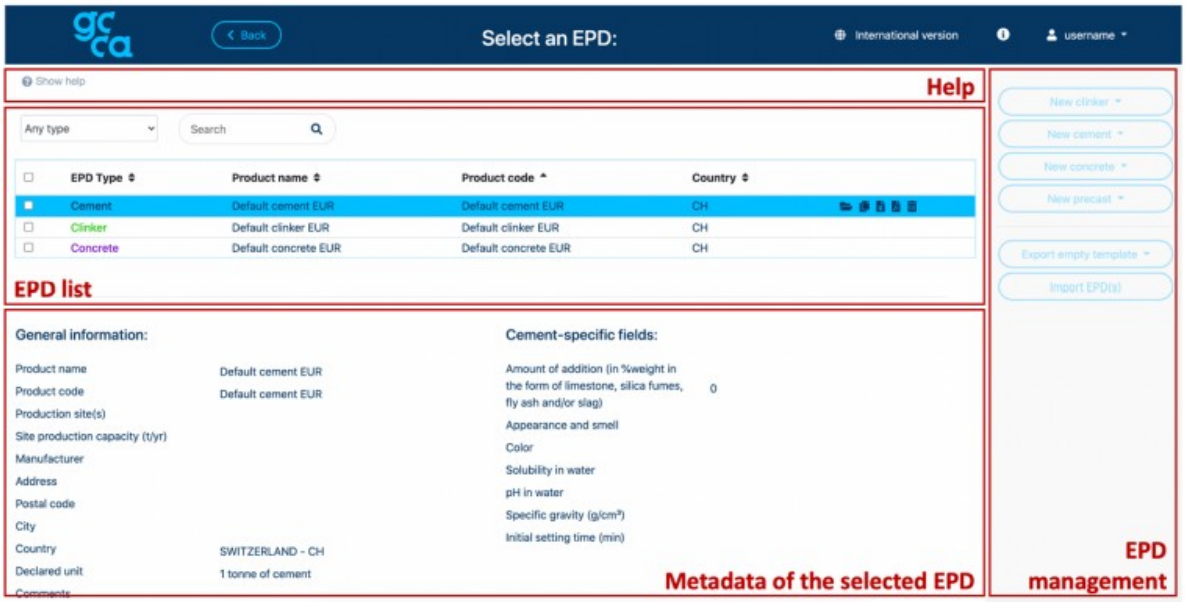


Figure 17 EPD DASHBOARD

10.5.2 EPD EDITION

L'EDITION EPD corrisponde all'ambiente di raccolta dati dello strumento. È qui che l'utente digita i dati effettivi di una data EPD. La pagina è composta da quattro elementi:

1. WORKING EPD: Nome del Progetto a cui si sta lavorando
2. WORKFLOW: Il flusso di lavoro fornisce una struttura e un flusso alla raccolta dei dati, ai risultati e alle funzionalità di esportazione.
3. HELP: La casella della guida fornisce all'utente informazioni chiave sulla schermata o sezione specifica dello strumento.
4. WORKSPACE: è l'area di lavoro per l'immissione dei dati, la presentazione dei risultati e le funzionalità di esportazione.

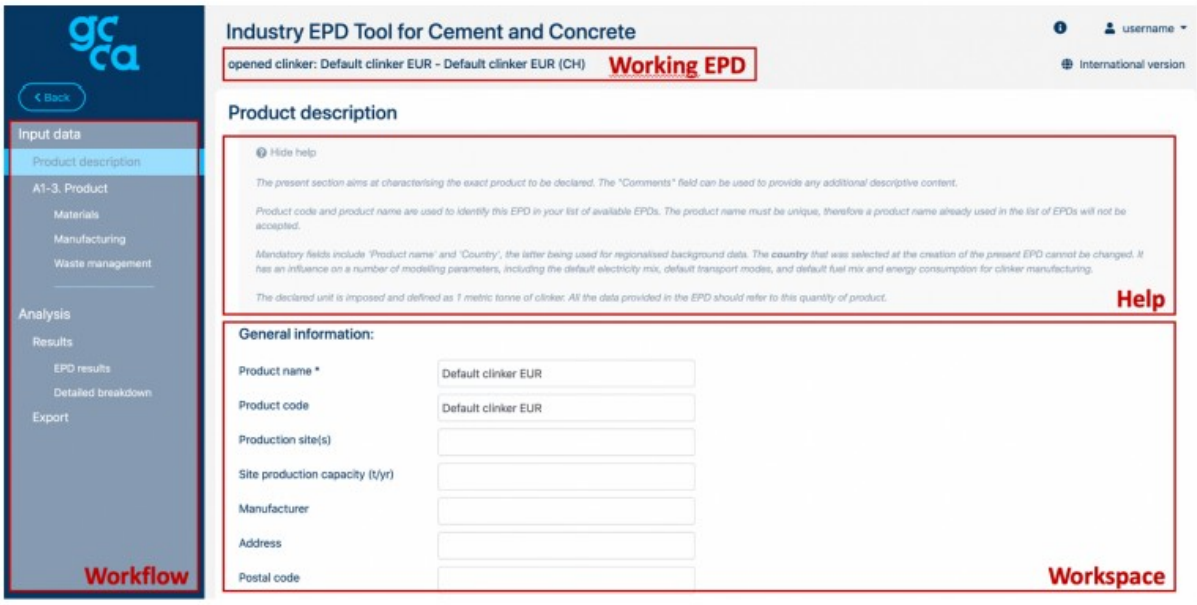


Figure 18 Esempio di schermata GCCA

Questo software è molto semplice ed intuitivo. Si procede come da ordine del Workflow, inserendo I dati dai noi ottenuti e raccolti nel Mix Design: Materiali, Manifattura, Scarto, Uso …

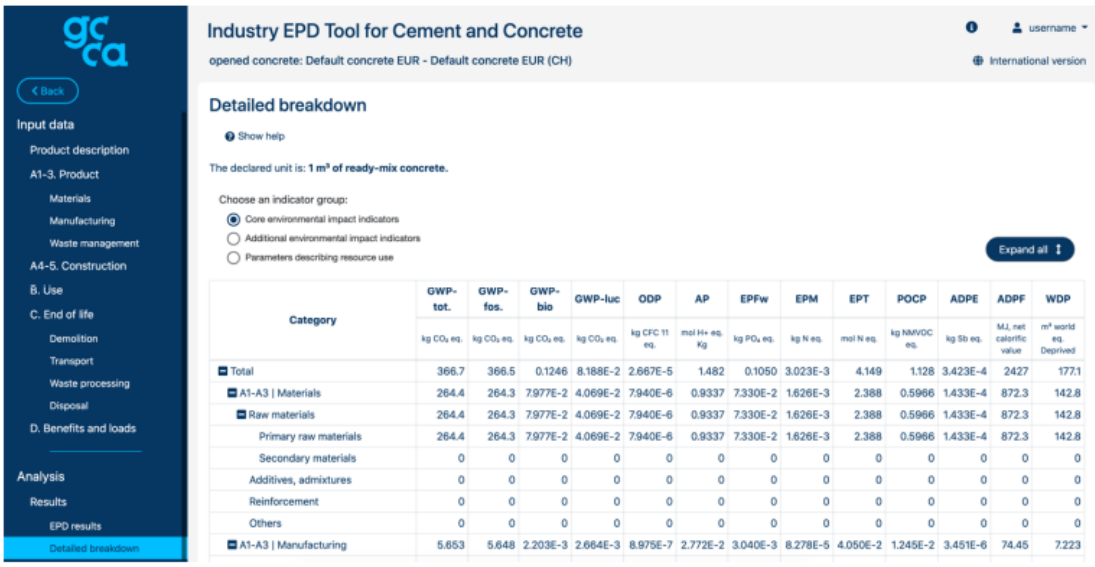
Una volta inseriti tutti i dati, si procede alla visualizzazione e all'analisi dei risultati.

10.5.3 EDP RESULT

I risultati possono essere visualizzati in più modi, come si può vedere dalle figure sottostanti:

Indicator	A1-A3	A4-A5	B1-B7	C1-C4	Total	D	Unit
Global Warming Potential total	292.5	37.44	0	36.80	366.7	0	kg CO_2 eq.
Global Warming Potential fossil fuels	292.3	37.41	0	36.77	366.5	0	kg CO_2 eq.
Global Warming Potential biogenic	9.207E-2	1.411E-2	0	1.845E-2	0.1246	0	kg CO_2 eq.
Global Warming Potential land use and land use change	5.331E-2	1.271E-2	0	1.585E-2	8.188E-2	0	kg CO_2 eq.
Depletion potential of the stratospheric ozone layer	1.277E-5	5.530E-6	0	8.371E-6	2.667E-5	0	kg CFC 11 eq.
Acidification potential, Accumulated Exceedance	1.037	0.1686	0	0.2762	1.482	0	mol H+ eq. Kg
Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching freshwater end compartment	8.289E-2	1.099E-2	0	1.111E-2	0.1050	0	kg PO_4 eq.
Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching marine end compartment	1.889E-3	8.276E-4	0	3.058E-4	3.023E-3	0	kg N eq.

Figure 19 EPD Result



Category	GWP-tot.	GWP-fos.	GWP-bio	GWP-luc	ODP	AP	EPFw	EPM	EPT	POCP	ADPE	ADPF	WDP
	kg CO_2 eq.	kg CO_2 eq.	kg CO_2 eq.	kg CO_2 eq.	kg CFC 11 eq.	mol H+ eq. Kg	kg PO_4 eq.	kg N eq.	mol N eq.	kg NMVOC eq.	kg Sb eq.	MJ, net calorific value	m³ world eq. Deprived
Total	366.7	366.5	0.1246	8.188E-2	2.667E-5	1.482	0.1050	3.023E-3	4.149	1.128	3.423E-4	2427	177.1
A1-A3 | Materials	264.4	264.3	7.977E-2	4.069E-2	7.940E-6	0.9337	7.330E-2	1.626E-3	2.388	0.5966	1.433E-4	872.3	142.8
Raw materials	264.4	264.3	7.977E-2	4.069E-2	7.940E-6	0.9337	7.330E-2	1.626E-3	2.388	0.5966	1.433E-4	872.3	142.8
Primary raw materials	264.4	264.3	7.977E-2	4.069E-2	7.940E-6	0.9337	7.330E-2	1.626E-3	2.388	0.5966	1.433E-4	872.3	142.8
Secondary materials	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Additives, admixtures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reinforcement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Others	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A1-A3 | Manufacturing	5.653	5.648	2.203E-3	2.664E-3	8.975E-7	2.772E-2	3.040E-3	8.278E-5	4.050E-2	1.245E-2	3.451E-6	74.45	7.223

Figure 20 EPD Detailed breakdown

10.6 ANALISI SPERIMENTALE LCA

Il processo base di funzionamento tipico per i software LCA per l'edilizia è costituito dall'immissione da parte dell'utente di dati di input, tra cui i materiali da costruzione (espressi in volume o in peso) presenti nel progetto. A ognuno di essi vengono attribuite le prestazioni ambientali desunte dalle banche dati disponibili, che vengono poi sommate, pesate e normalizzate secondo la metodologia LCA interna al software stesso.

I risultati prodotti dai diversi strumenti risultano quindi fortemente influenzati dal database LCI e dal metodo LCIA, elementi che in alcuni casi possono essere scelti e/o importati manualmente all'interno del software stesso. È noto che analisi LCA, prodotte con i medesimi dati in input e le medesime ipotesi, ma utilizzando software diversi, possono portare a discrepanze nei risultati e, di conseguenza, a conclusioni divergenti. Attualmente, però, ci sono scarse informazioni disponibili per capire quanto la scelta del programma utilizzato possa influire sui risultati LCA. Nell'ottica di un crescente utilizzo e diffusione della valutazione LCA all'interno della pratica professionale, sarebbe opportuno affrontare, comprendere e risolvere tale problema, al fine di giungere a valori comparabili e a interpretazioni univoche

10.6.1 LC3 e AAMs

Per questa analisi LCA si è preso in considerazione due categorie d'impatto fra quelle oggi maggiormente indagate: il consumo di energia primaria, che include tutta la catena energetica, dalla fase di estrazione della fonte al suo utilizzo finale, e le emissioni di CO2 equivalente, derivanti dai processi energetici e da quelli produttivi del calcestruzzo.

La metodologia LCA concepisce l'oggetto di analisi come un sistema che, nel corso del suo ciclo di vita, viene attraversato da flussi di materia ed energia in entrata (input) e flussi di emissioni e rifiuti in uscita (output). A partire dalla quantificazione degli input e degli output è possibile determinare gli impatti ambientali, in tal caso espressi appunto secondo energia primaria ed emissioni di CO2.

Durante la fase di inventario, la quantificazione dei materiali da costruzione necessari alla realizzazione delle varie miscele si è basata sugli elaborati di progetto, ovvero dal MIX DESIGN, degli LC3 e degli AAM utilizzato precedentemente e dei CEM II e CEM IV (Fig48). A partire dalle quantità dei materiali, è stato possibile valutare le risorse in gioco, e quindi il consumo energetico e le emissioni inquinanti

Nella fase di produzione, l'analisi ha fatto ricorso alla banca dati del software utilizzato, che fornisce dati medi del contesto europeo di produzione, in termini di energia cumulativa e impronta di carbonio dei materiali costruttivi.

Per la fase di trasporto abbiamo lasciato i valori di default della banca dati del GCCA che corrispondono ad una media dei valori di impatto ambientale, registrati da varie aziende.

Invece, per la fase di costruzione abbiamo considerato il contributo energetico approssimativo dato dall'uso di vari macchinari e dagli ambienti di climatizzazione utilizzati, che ci sono serviti per la realizzazione delle miscele e quindi dei provini.

Nella fase di fine vita abbiamo considerato l'attività più impattante, ovvero quella legata alla dismissione dei rifiuti da costruzione e da demolizione prodotti nel corso del ciclo di vita dei provini, in particolare: le attività di demolizione in sito, non considerando il riciclaggio del materiale.

La tua prima analisi LCA ha esaminato solo il legante in polvere, ovvero solo uno dei componenti del sistema considerato. Questo tipo di analisi fornisce una visione parziale dell'impatto ambientale e può non fornire una valutazione completa ed accurata.

D'altra parte, la seconda analisi LCA che hai effettuato ha considerato tutti i componenti, incluso l'acqua e la sabbia, fornendo una visione più completa e precisa dell'impatto ambientale del sistema. Questo tipo di analisi offre una valutazione più accurata e completa, poiché considera tutti i fattori che contribuiscono all'impatto ambientale del sistema.

In sintesi, la seconda analisi LCA che hai effettuato è più completa e precisa rispetto alla prima, poiché considera tutti i componenti del sistema e non solo uno di essi.

Però, prima di inserire I dati dal MIX DESIGN dobbiamo considerare l'unità di misura adeguata, ovvero la DECLEARED UNIT. Quindi, andiamo a calcolarci dai dati relativi dei pesi dei materiali utilizzati, l'equivalente del peso di un metro cubo di calcestruzzo, dato che la declared unit è: "1 m^3 concrete"

		kg	kg	kg	kg	kg
	Somma dei componenti in grammi	***cement***	***metak***	***limestone***	***acqua***	***sabbia***
50%CEM 50%LC2	2081	103,41	69	34	173	620,4757
40%CEM 60%LC2	2057	82,05	82	41	179	615,3846
30%CEM 70%LC2	2021	60,67	94	47	191	606,6734
20%CEM 80%LC2	1999	40,12	107	53	198	601,8054
10%CEM 90%LC2	1950	19,61	118	59	216	588,2353

		kg	kg	kg	kg	kg
	Somma dei componenti in grammi	***SS powder***	***metak***	***limestone***	***acqua***	***sabbia***
SS	2243	88,96	130	65	131	585,1946
NaOH	2037	39,39	134	67	155	604,1566

Figure 21 Conversione dei pesi dei materiali per LCA per 1 metro cubo di calcestruzzo

In questo modo ho tutti i componenti in kg, dove la loro somma equivale a 1000kg, dato che l'unità di misura del software è 1 metro cubo di calcestruzzo

Per quanto riguarda invece, la seconda analisi, utilizzando lo stesso procedimento, andiamo a determinare l'impatto ambientale rispetto 1 tonnellata di cemento, considerando solamente le polveri: cemento,calcare e meta caolino.

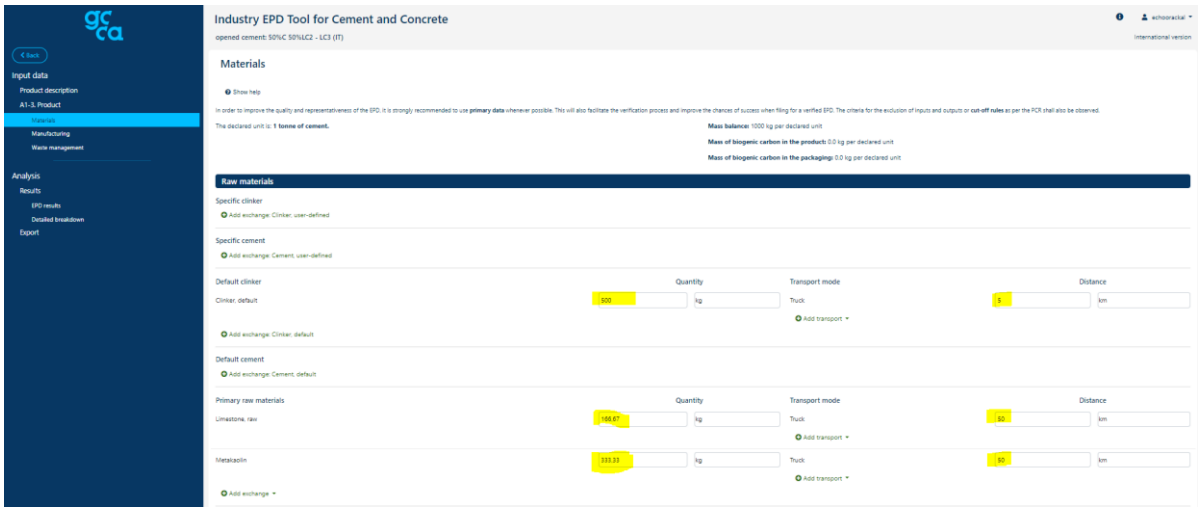
Quindi, andiamo a calcolarci dai dati relativi dei pesi dei materiali utilizzati, l'equivalente del peso di un metro cubo di calcestruzzo, dato che la declared unit è: "1 tonne of cement"

	g	kg	kg	kg
	Somma in grammi (CEMENT+METAK+LIMEST)	***clinker***	***metak***	***limestone***
50%CEM 50%LC2	430	500	333	167
40%CEM 60%LC2	422	400	400	200
30%CEM 70%LC2	409	300	467	234
20%CEM 80%LC2	401	200	534	267
10%CEM 90%LC2	382	100	600	300

		1000	kg			
		Somma in grammi (CEMENT+METAK+LIMEST)	***clinker***	***metak***	***limestone***	***AApowder***
SS		891	0	327	164	509
NaOH		490	0	558	279	164

Figure 50 Conversione dei pesi dei materiali per LCA per 1 tonnelata di cemento

Una volta fatto ciò, possiamo inserire tutti I valori nel software con le relative informazioni, come vediamo dalle figure sottostanti:



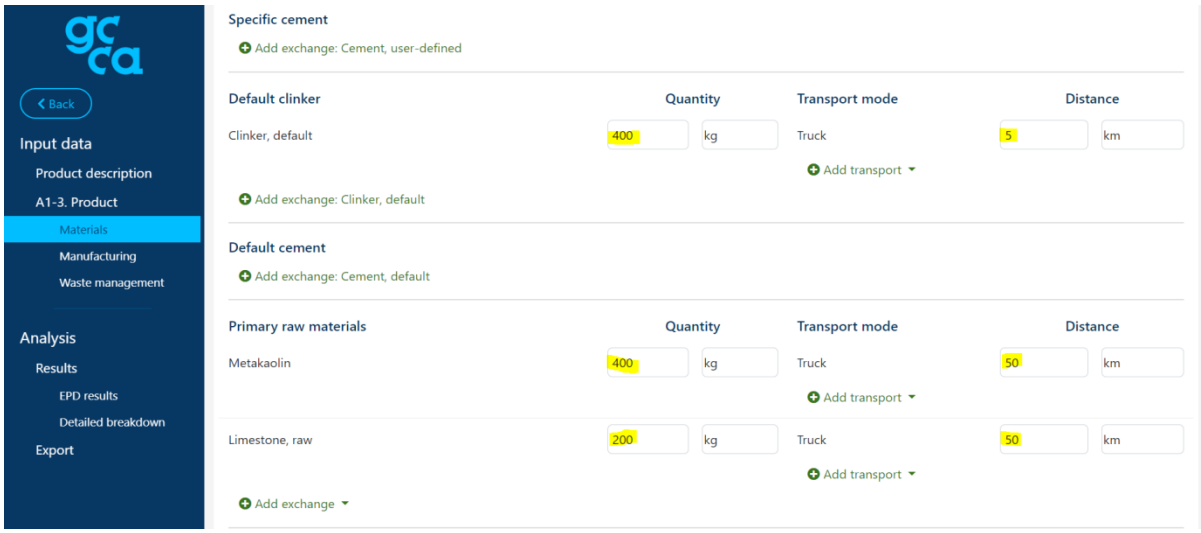
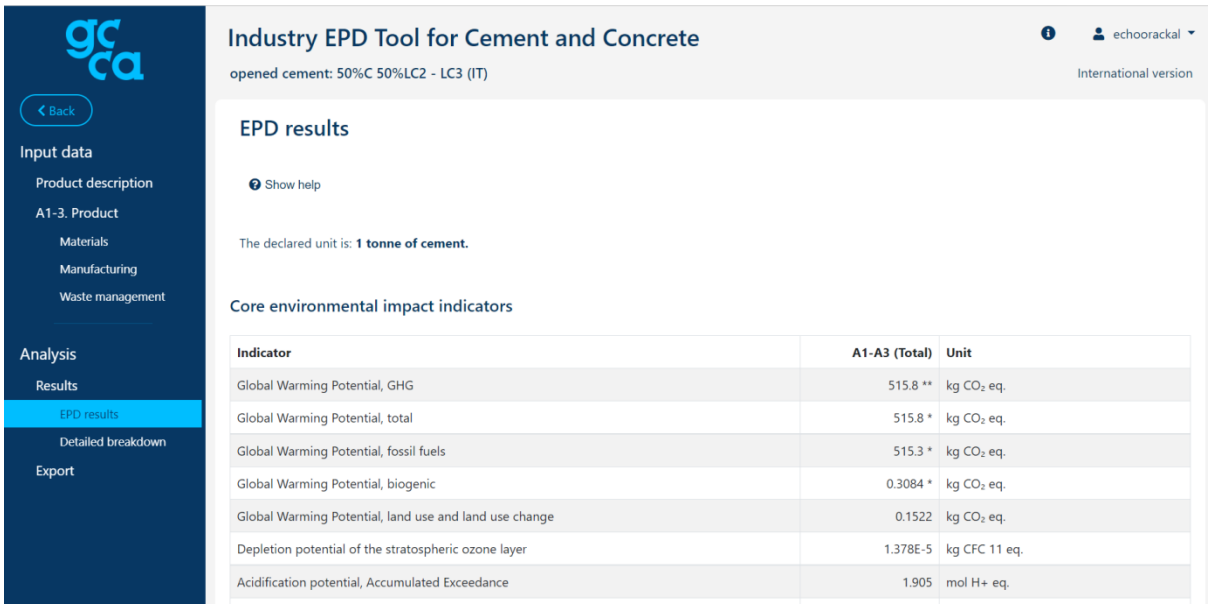


Figure 22 Schermata software "Materials"

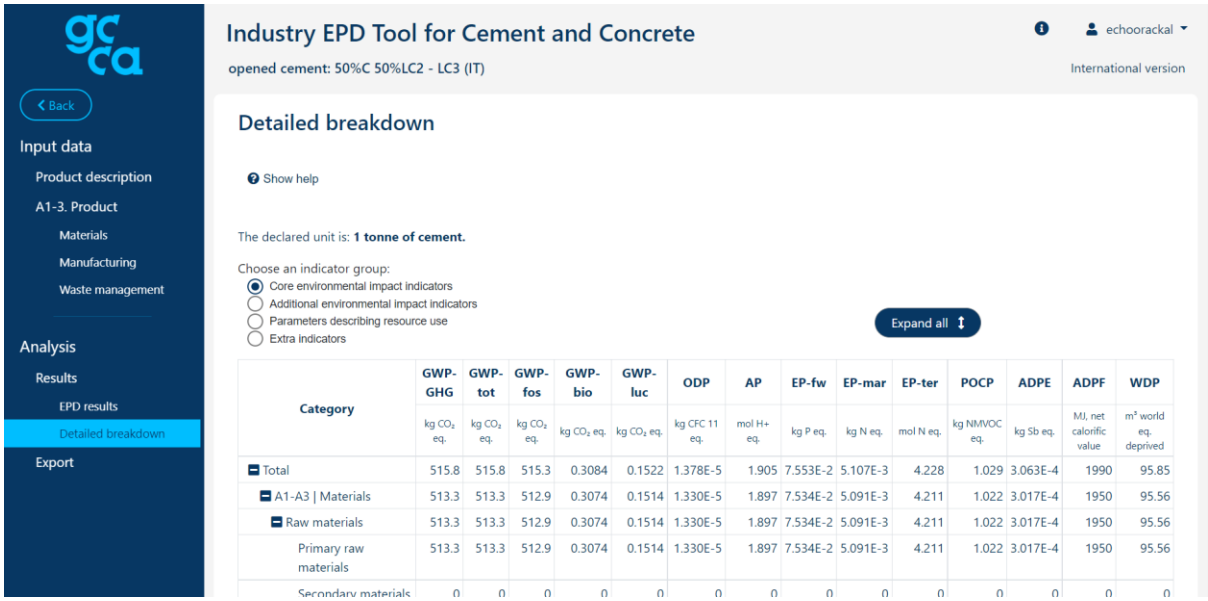
10.6.2 RISULTATI LCA: LC3 e AAMs

Una volta inseriti tutti i dati e le informazioni necessarie al corretto calcolo dell'impronta ambientale della CO2 in ambiente, possiamo andare a vedere i risultati di ogni miscela direttamente su "EPD results", e in modo più dettagliato su "Detailed breakdown".



Indicator	A1-A3 (Total)	Unit
Global Warming Potential, GHG	515.8 **	kg CO_2 eq.
Global Warming Potential, total	515.8 *	kg CO_2 eq.
Global Warming Potential, fossil fuels	515.3 *	kg CO_2 eq.
Global Warming Potential, biogenic	0.3084 *	kg CO_2 eq.
Global Warming Potential, land use and land use change	0.1522	kg CO_2 eq.
Depletion potential of the stratospheric ozone layer	1.378E-5	kg CFC 11 eq.
Acidification potential, Accumulated Exceedance	1.905	mol H+ eq.

Figure 23 Risultati GCCA in forma contratta



Category	GWP-GHG	GWP-tot	GWP-fos	GWP-bio	GWP-luc	ODP	AP	EP-fw	EP-mar	EP-ter	POCP	ADPE	ADPF	WDP
	kg CO_2 eq.	kg CO_2 eq.	kg CO_2 eq.	kg CO_2 eq.	kg CO_2 eq.	kg CFC 11 eq.	mol H+ eq.	kg P eq.	kg N eq.	mol N eq.	kg NMVOC eq.	kg Sb eq.	MJ, net calorific value	m^3 world eq. deprived
Total	515.8	515.8	515.3	0.3084	0.1522	1.378E-5	1.905	7.553E-2	5.107E-3	4.228	1.029	3.063E-4	1990	95.85
A1-A3 | Materials	513.3	513.3	512.9	0.3074	0.1514	1.330E-5	1.897	7.534E-2	5.091E-3	4.211	1.022	3.017E-4	1950	95.56
Raw materials	513.3	513.3	512.9	0.3074	0.1514	1.330E-5	1.897	7.534E-2	5.091E-3	4.211	1.022	3.017E-4	1950	95.56
Primary raw materials	513.3	513.3	512.9	0.3074	0.1514	1.330E-5	1.897	7.534E-2	5.091E-3	4.211	1.022	3.017E-4	1950	95.56
Secondary materials	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 24 Risultati GCCA in forma dettagliata

Infine, i risultati ottenuti dal software sono stati inseriti in un foglio Excel per migliorarne la visualizzione. Inoltre, abbiamo costruito un grafico a colonne per renderne più semplice la comprensione.

Il GWP è collegato alle emissioni di gas che generano effetto serra assorbendo la radiazione riflessa dalla terra. L'indice GWP è espresso in riferimento a quello equivalente attribuito alla CO2. Ad esempio il metano ha un GWP pari a 23. Ciò sta a significare che una molecola di metano contribuisce al riscaldamento globale come 23 molecole di CO2 a cui è attribuito un GWP pari a 1.

BLENDS	GWP-tot	
LC3	RESULTS	
50%CEM 50%LC2	**523,20**	kg CO2 eq.
40%CEM 60%LC2	**449,60**	kg CO2 eq.
30%CEM 70%LC2	**376,00**	kg CO2 eq.
20%CEM 80%LC2	**302,60**	kg CO2 eq.
10%CEM 90%LC2	**229,00**	kg CO2 eq.
SS	**155,40**	kg CO2 eq.
NaOH	**155,40**	kg CO2 eq.

Figure 25 Risultati kg COeq per ogni miscela LC3- AAM rispetto ad 1 tonnellata di cemento considerando solo le polveri

BLENDS	GWP-tot	
LC3	RESULTS	
50%CEM 50%LC2	149	kg CO2 eq.
40%CEM 60%LC2	134	kg CO2 eq.
30%CEM 70%LC2	118	kg CO2 eq.
20%CEM 80%LC2	103	kg CO2 eq.
10%CEM 90%LC2	88	kg CO2 eq.
SS	214	kg CO2 eq.
NaOH	76	kg CO2 eq.

Figure 54 Risultati kg COeq per ogni miscela LC3-AAM
rispetto ad 1 metro cubo di calcestruzzo considerando tutti i componenti

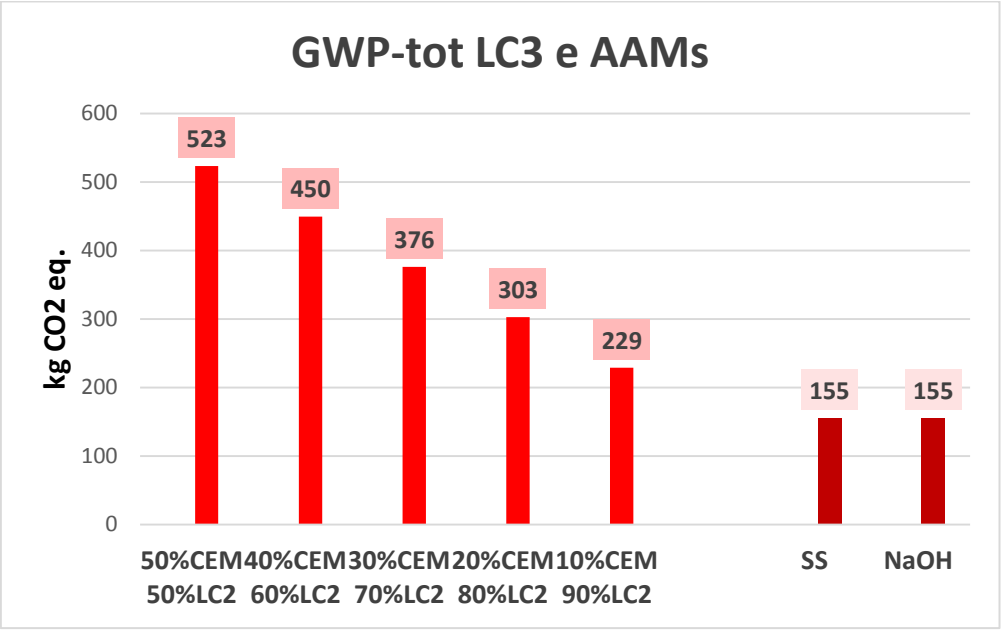


Figure 26 Grafico a colonne GWPtot LCA
per ogni miscela LC3- AAM
rispetto ad 1 tonnellata di cemento considerando solo le polveri

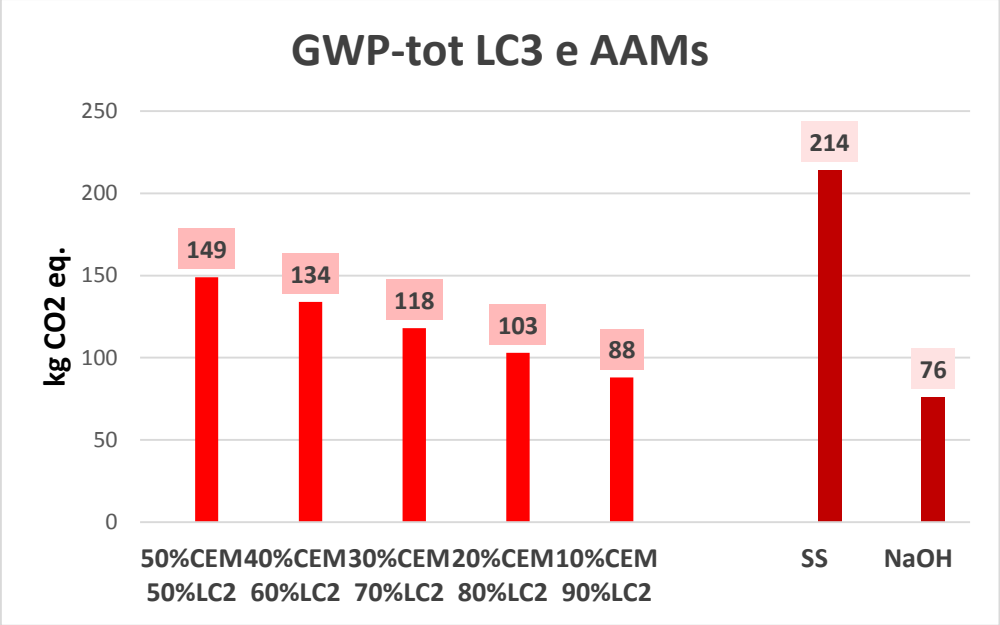


Figure 55 Grafico a colonne GWPtot LCA
per ogni miscela LC3- AAM
rispetto ad 1 metro cubo di calcestruzzo considerando tutti i componenti

Dall'analisi dei risultati ottenuti, possiamo confermare che diminuendo il quantitativo di cemento della miscela, riduciamo i kg di CO2 equivalente, ovvero l'impatto ambientale, in maniera considerevole, anche sostituendolo completamente con metacaolino, calcare e l'attivatore. Però, come abbiamo visto dai capitoli precedenti, questo comporta una diminuzione notevole delle caratteristiche meccaniche del provino.

10.6.3 CEM II

Come già detto nel Cap.2 la sigla di questi cementi è CEM II, seguito dalla lettera A oppure B a seconda della quantità di costituente minerale, ed infine da una lettera che individua lo specifico costituente minerale: (S per loppa, P per pozzolana naturale, Q per pozzolana industriale, L per calcare, T per scisto calcinato. Per esempio, la sigla II/A-S sta ad indicare un cemento Portland di miscela (II), contenente loppa (S) in una proporzione variabile dal 6 al 20% (A), e prenderà il nome di "cemento Portland alla loppa". Se, invece accanto al prevalente clinker di cemento Portland sono presenti più di un costituente minerale (loppa, pozzolana, cenere, ecc.)il legante risultante sarà chiamato "cemento Portland composito" individuato dalla sigla II/A-M oppure II/B-M a seconda del contenuto di clinker.

In un precedente lavoro di tesi sono state studiate diverse miscele contenenti diverse percentuali di filler calcareo in sostituzione del cemento

- CEM II/B-LL: con sostituzioni crescenti di clinker con il filler calcareo (0%, 15%, 25% e 35%).

utilizzando il seguente MIX DESIGN:

REF	Cement	Water	Sabbia Esincalce 0/8	Limestone
Materials (g/L)	500	250	1500	0
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,70
Volume materials (ml)	161,29	250,00	566,04	0,00
Volume materials (ml/L)	165,09	255,89	579,36	0,00
Materials for 1L (g/L)	512	256	1535	0
aterials for 1L (g/L) Humid Sar	512	216	1575	0

15%LS	Cement	Water	Sabbia Esincalce 0/8	Limestone
Materials (g/L)	425	250	1500	75
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,70
Volume materials (ml)	137,10	250,00	566,04	27,78
Volume materials (ml/L)	139,75	254,84	577,00	28,32
Materials for 1L (g/L)	433	255	1529	76
aterials for 1L (g/L) Humid Sar	433	205	1578	76

25%LS	Cement	Water	Sabbia Esincalce 0/8	Limestone
Materials (g/L)	375	250	1500	125
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,70
Volume materials (ml)	120,97	250,00	566,04	46,30
Volume materials (ml/L)	123,06	254,32	575,83	47,10
Materials for 1L (g/L)	381	254	1526	127
aterials for 1L (g/L) Humid Sar	381	179	1601	127

35%LS	Cement	Water	Sabbia Esincalce 0/8	Limestone
Materials (g/L)	325	250	1500	175
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,70
Volume materials (ml)	104,84	250,00	566,04	64,81
Volume materials (ml/L)	106,33	253,55	574,07	65,74
Materials for 1L (g/L)	330	254	1521	177
aterials for 1L (g/L) Humid Sar	330	227	1548	177

Figure 27 MIX DESIGN CEM II

Quindi, utilizzando il Mix Design posso andarmi a calcolare l'equivalente di una tonnelata di cemento ed rispetto ad un metro cubo di calcestruzzo, come nell'analisi precedentemente descritta nel capitolo precedente degli LC3 e AAMs.

10.6.4 RISULTATI LCA : CEM II

Replicando lo stesso metodo utilizzato per l'analisi degli LC3 e AAMs, andiamo a visualizzare I risultati ottenuti.

CEM II	RESULTS	
REF	**891,00**	kg CO2 eq.
15%LS	**758,90**	kg CO2 eq.
25%LS	**669,90**	kg CO2 eq.
35%LS	**582,20**	kg CO2 eq.

Figure 28 Risultati kgCO2eq CEM II rispetto ad 1 tonnellata di cemento considerando solo le polveri

CEM II	RESULTS	
REF	**234**	kg CO2 eq.
15%LS	**205**	kg CO2 eq.
25%LS	**187**	kg CO2 eq.
35%LS	**177**	kg CO2 eq.

Figure 29 Risultati kgCO2eq CEM II rispetto ad 1 m^3 di calcestruzzo considerando tutti i componenti

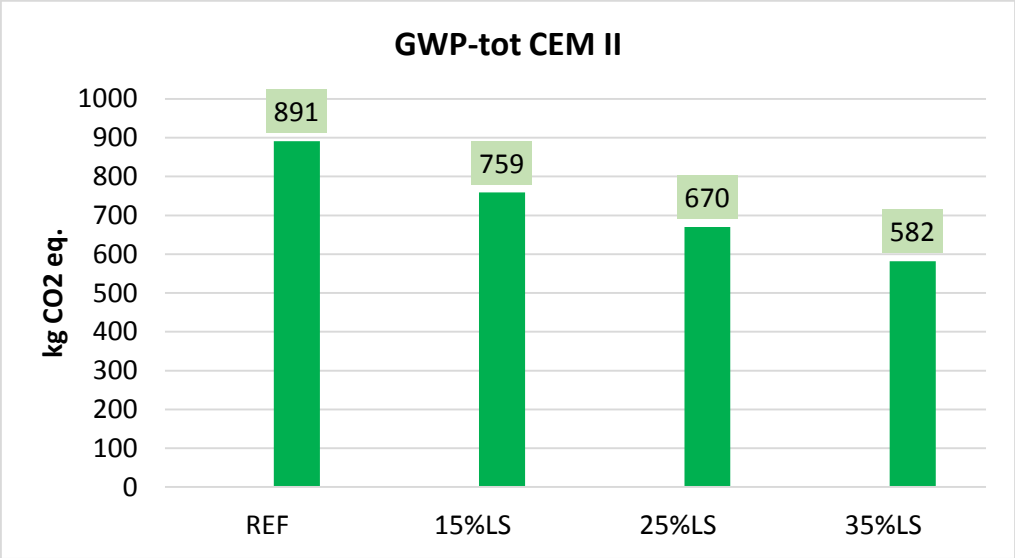


Figure 30 Grafico a colonna CEM II rispetto ad 1 tonnellata di cemento considerando solo le polveri

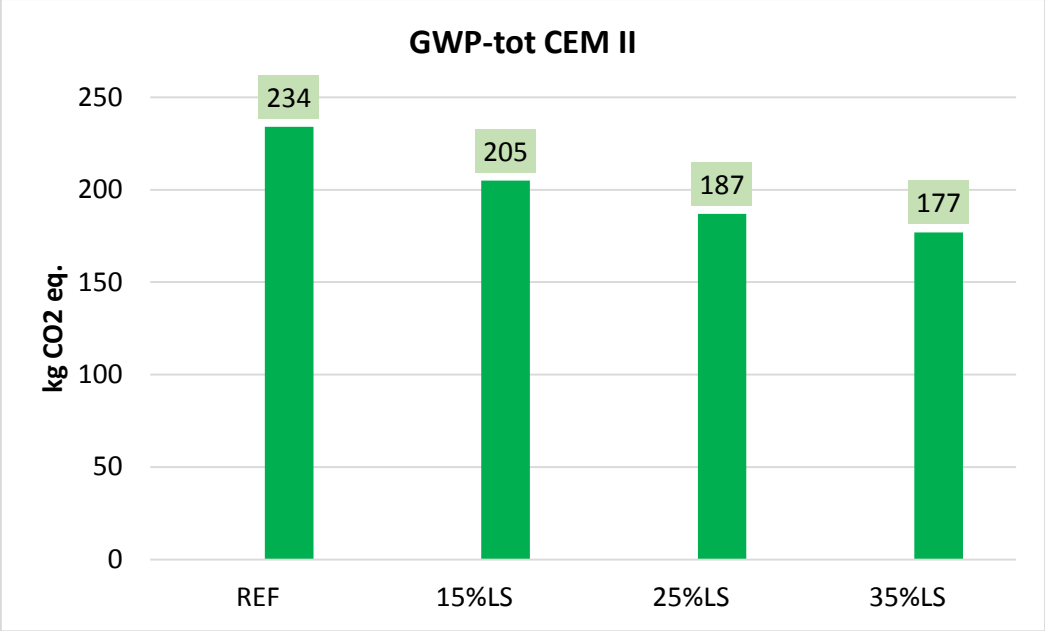


Figure 59 Grafico a colonna CEM II rispetto ad 1 m^3 di calcestruzzo considerando tutti i componenti

Anche in questo caso, come possiamo vedere dal grafico (Fig.58) otteniamo lo stesso risultato: riducendo il cemento Portland dalle miscele diminuiamo l'impatto ambientale in maniera progressiva.

10.6.5 CEM IV

Anche per i CEM IV, cementi pozzolanici: costituiti da clinker tra il 45 e 89%, e materiale pozzolanico naturale o artificiale, abbiamo utilizzato sempre lo stesso metodo.

Per questi tipi di cemento, si era partiti da una miscela di riferimento costituita dal 35% di CEM I (minimo contenuto di cemento) e 65% loppa d'altoforno (CEM III/A), con l'obiettivo di andare però a ridurre quest'ultima, poiché sempre meno disponibile, sostituendola con il calcare in percentuali via via maggiori (5%, 10%, 15%, 20%), visto che la quantità massima ammissibile per il filler calcareo è il 20%.

Dal Mix Design abbiamo I seguenti pesi dei materiali e quindi la composizione della miscela in maniera dettagliata:

REF (65%SLAG)	Cement	Water	Sabbia Esincalce	Blast fournace	Limestone
Materials (g/L)	175	250	1500	325	0
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,90	2,70
Volume materials (ml)	56,45	250,00	566,04	112,07	0,00
Volume materials (ml/L)	57,34	253,92	574,92	113,83	0,00
Materials for 1L (g/L)	178	254	1524	330	0
aterials for 1L (g/L) Humid Sar	178	229	1549	330	0

20%LS 45%SLAG	Cement	Water	Sabbia Esincalce	Blast fournace	Limestone
Materials (g/L)	175	250	1500	225	100
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,90	2,70
Volume materials (ml)	56,45	250,00	566,04	77,59	37,04
Volume materials (ml/L)	57,19	253,26	573,43	78,60	37,52
Materials for 1L (g/L)	177	253	1520	228	101
aterials for 1L (g/L) Humid Sar	177	231	1542	228	101

15%LS 50%SLAG	Cement	Water	Sabbia Esincalce	Blast fournace	Limestone
Materials (g/L)	175	250	1500	250	75
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,90	2,70
Volume materials (ml)	56,45	250,00	566,04	86,21	27,78
Volume materials (ml/L)	57,23	253,43	573,80	87,39	28,16
Materials for 1L (g/L)	177	253	1521	253	76
aterials for 1L (g/L) Humid Sar	177	232	1542	253	76

10%LS 55%SLAG	Cement	Water	Sabbia Esincalce	Blast fournace	Limestone
Materials (g/L)	175	250	1500	275	50
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,90	2,70
Volume materials (ml)	56,45	250,00	566,04	94,83	18,52
Volume materials (ml/L)	57,26	253,59	574,17	96,19	18,78
Materials for 1L (g/L)	178	254	1522	279	51
aterials for 1L (g/L) Humid Sar	178	214	1561	279	51

5%LS 60%SLAG	Cement	Water	Sabbia Esincalce	Blast fournace	Limestone
Materials (g/L)	175	250	1500	300	25
Dry density (g/L)	3,10	1,00	2,65	2,90	2,70
Volume materials (ml)	56,45	250,00	566,04	103,45	9,26
Volume materials (ml/L)	57,30	253,76	574,54	105,00	9,40
Materials for 1L (g/L)	178	254	1523	305	25
aterials for 1L (g/L) Humid Sar	178	250	1526	305	25

Figure 31 MIX DESIGN miscele CEM IV

Da qui possiamo andare a calcolarci l'equivalenza, come nelle analisi precedenti, in una tonnellata di cemento (1 tonne of cement) ed 1 metro cubo di calcestruzzo:

10.6.6 RISULTATI LCA: CEM IV

Una volta fatto ciò, possiamo andare a visualizzare I risultati, ottenendo lo stesso risultato delle analisi precedenti: al diminuire del cemento si diminuisce anche I kg di CO2 equivalente.

CEM IV	RESULTS	
REF (65%SLAG)	**358,00**	kg CO2 eq.
5%LS 60%SLAG	**354,70**	kg CO2 eq.
10%LS 55%SLAG	**351,50**	kg CO2 eq.
15%LS 50%SLAG	**348,30**	kg CO2 eq.
20%LS 45%SLAG	**345,10**	kg CO2 eq.

Figure 32 Risultati kgCO2eq CEM IV rispetto ad 1 tonnellata di cemento considerando solo le polveri

CEM IV	RESULTS	
REF (65%SLAG)	**121**	kg CO2 eq.
5%LS 60%SLAG	**119**	kg CO2 eq.
10%LS 55%SLAG	**117**	kg CO2 eq.
15%LS 50%SLAG	**116**	kg CO2 eq.
20%LS 45%SLAG	**115**	kg CO2 eq.

Figure 62 Risultati kgCO2eq CEM IV rispetto ad 1 metro cubo di calcestruzzo considerando tutti i componenti

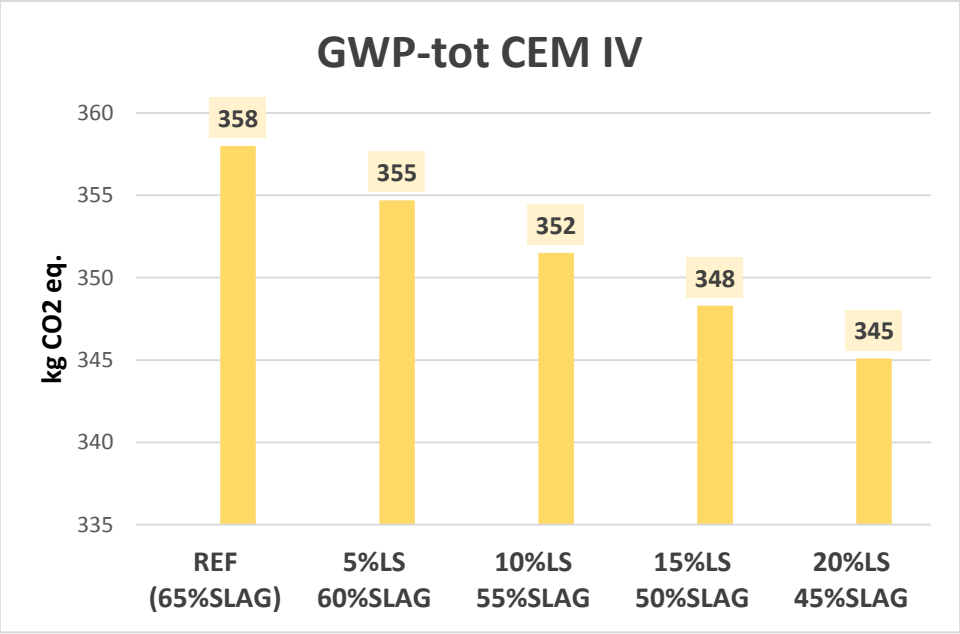


Figure 62 Grafico a colonna CEM IV rispetto ad 1 tonnellata di cemento considerando solo le polveri

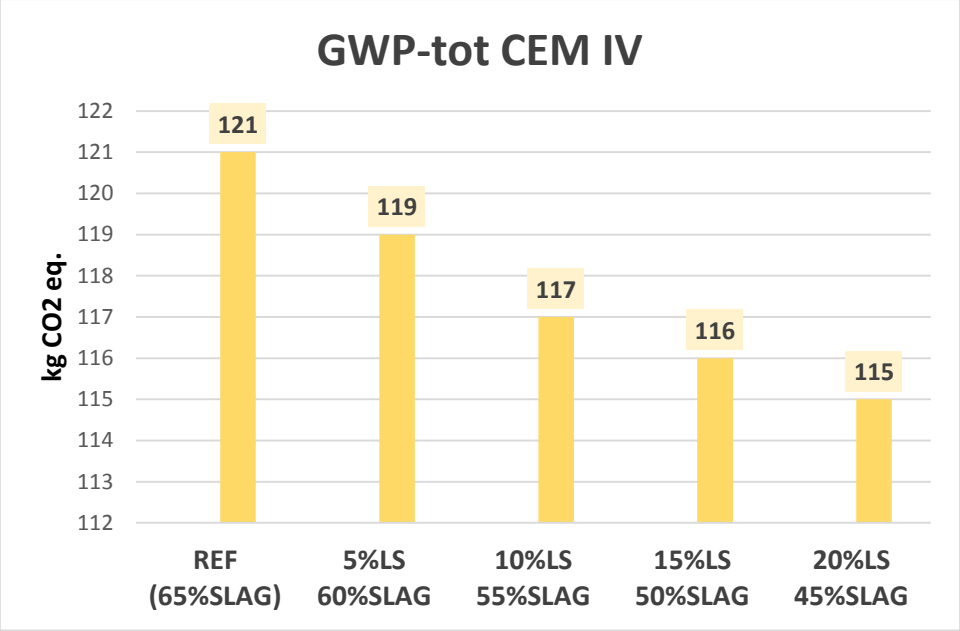


Figure 62 Grafico a colonna CEM IV rispetto ad 1 m^3 di calcestruzzo considerando tutti i componenti

10.6.7 CONFRONTO IMPATTO AMBIENTALE DELLE VARIE MISCELE

Dopo aver calcolato l'impatto di ogni singola miscela, possiamo metterle a confronto in un grafico a colonna, per analizzarne I risultati.

Il parametro utilizzato per la valutazione di confronto è il GWP. L'analisi dei dati rende possibile un immediato confronto tra le diverse miscele, consentendo di trarre le seguenti importanti informazioni:

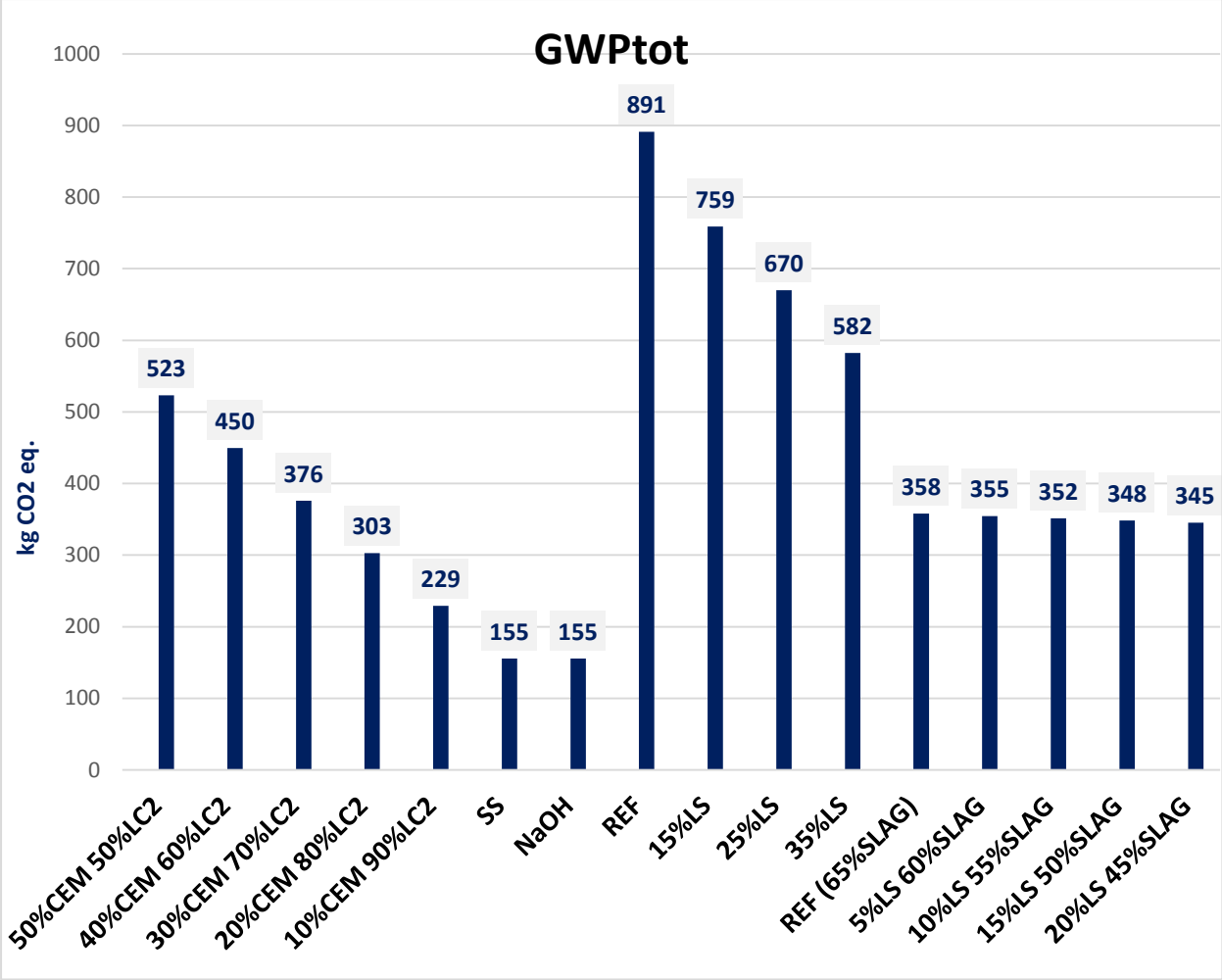


Figure 33 Grafico comparativo degli impatti ambientali delle varie miscele rispetto 1 tonnelata di cemento considerando solo le polveri

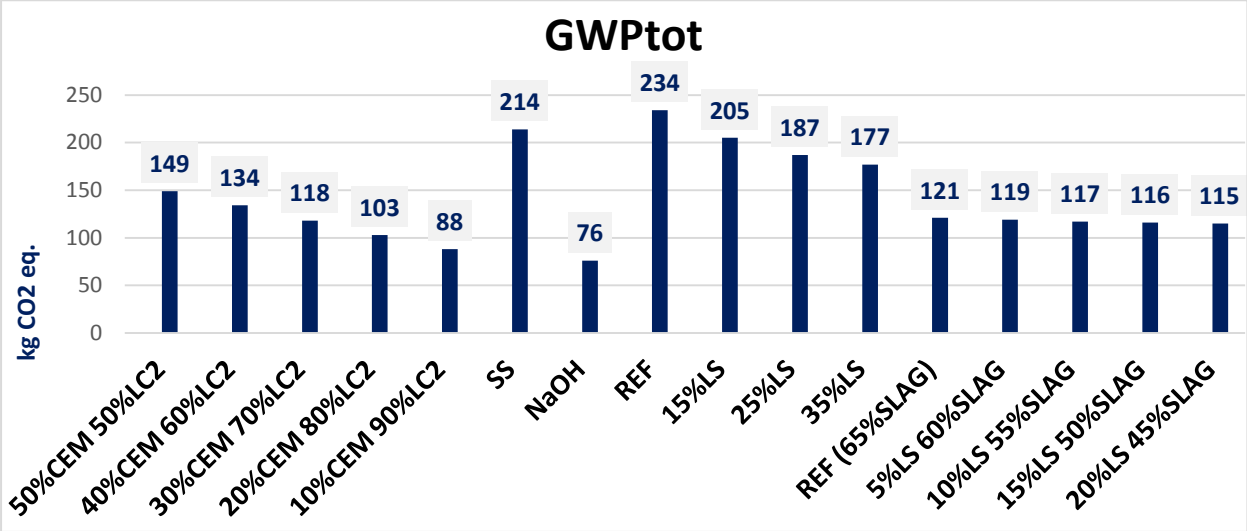


Figure 34 Grafico comparativo degli impatti ambientali delle varie miscele rispetto 1 m^3 di calcestruzzo considerando tutti i componenti

- Le miscele che hanno un impatto maggiore sono relative ai CEM II. Analizzando il Mix Design, possiamo notare che nella realizzazione di questi provini, c'è il quantitativo maggiore di cemento Portland. D'altronde però, hanno anche proprietà meccaniche, sia a flessione che a compressione, maggiori rispetto agli altri impasti.
- Per gli LC3, abbiamo una diminuzione progressiva di kg di CO2 equivalente mano a mano che diminuiamo il cemento, fino ad arrivare agli AAMs, che hanno un impatto minore.
  Ma come abbiamo visto nell'analisi sperimentale nel Cap.6, sono I provini che hanno caratteristiche Meccaniche davvero basse, difficili da renderlo un materiale utilizzabile
- Per quanto riguarda, invece, I CEM IV, possiamo notare un impatto abbastanza simile su tutte le miscele, dato che si è variato di poco il quantitativo di cemento durante la loro realizzazione

BLENDS	GWP-tot
LC3	**RESULTS**
50%CEM 50%LC2	**523** kg CO2 eq.
40%CEM 60%LC2	**450** kg CO2 eq.
30%CEM 70%LC2	**376** kg CO2 eq.
20%CEM 80%LC2	**303** kg CO2 eq.
10%CEM 90%LC2	**229** kg CO2 eq.

SS	**155** kg CO2 eq.
NaOH	**155** kg CO2 eq.

CEM II	**RESULTS**
REF	**891** kg CO2 eq.
15%LS	**759** kg CO2 eq.
25%LS	**670** kg CO2 eq.
35%LS	**582** kg CO2 eq.

CEM IV	**RESULTS**
REF (65%SLAG)	**358** kg CO2 eq.
5%LS 60%SLAG	**355** kg CO2 eq.
10%LS 55%SLAG	**352** kg CO2 eq.
15%LS 50%SLAG	**348** kg CO2 eq.
20%LS 45%SLAG	**345** kg CO2 eq.

Figure 35 Tabella Variazione percentuale della CO2 emessa dalle differenti miscele a 90gg di stagionatura rispetto alla propria miscela di riferimento
1 tonnelata di cemento considerando solo le polveri: cemento,calcare e metacaolino

Inoltre è possibile determinare l'impatto ambientale delle diverse miscele di cemento e LC2 in relazione alla loro resistenza alla compressione utilizzando i risultati ottenuti.

Ad esempio, si potrebbe calcolare la quantità di emissioni di CO_2 equivalenti (kg CO_2 eq.) per unità di resistenza alla compressione (MPa) per ogni miscela a 28gg di stagionatura, ottenendo una misura del loro impatto ambientale rispetto alla loro prestazione.

50%CEM 50%LC2:

Impatto ambientale = 523,20 kg CO_2 eq.

Resistenza alla compressione = 19,09 MPa

Impatto ambientale per unità di resistenza = 523,20 kg CO_2 eq. / 19,09 MPa = 27,55 kg CO_2 eq./MPa

40%CEM 60%LC2:

Impatto ambientale = 449,60 kg CO_2 eq.

Resistenza alla compressione = 12,62 MPa

Impatto ambientale per unità di resistenza = 449,60 kg CO_2 eq. / 12,62 MPa = 36,06 kg CO_2 eq./MPa

30%CEM 70%LC2:

Impatto ambientale = 376,00 kg CO_2 eq.

Resistenza alla compressione = 8,80 MPa

Impatto ambientale per unità di resistenza = 376,00 kg CO_2 eq. / 8,80 MPa = 64,72 kg CO_2 eq./MPa

20%CEM 80%LC2:

Impatto ambientale = 302,60 kg CO_2 eq.

Resistenza alla compressione = 3,20 MPa

Impatto ambientale per unità di resistenza = 302,60 kg CO_2 eq. / 3,20 MPa = 92,89 kg CO_2 eq./MPa

10%CEM 90%LC2:

Impatto ambientale = 229,00 kg CO_2 eq.

Resistenza alla compressione = 1,01 MPa

Impatto ambientale per unità di resistenza = 229,00 kg CO_2 eq. / 0,71 MPa = 229,66 kg CO_2 eq./MPa

NaOH:

Impatto ambientale per unità di resistenza = 155,4 kg CO_2 eq. / 1,82 MPa = 86,17 kg CO_2 eq./MPa

SS:

Impatto ambientale per unità di resistenza = 155,4 kg CO_2 eq. / 8,93 MPa = 18,86 kg CO_2 eq./MPa

BLENDS	GWP-tot/MPa
LC3	RESULTS
50%CEM 50%LC2	**28** kg CO2 eq./Mpa
40%CEM 60%LC2	**36** kg CO2 eq./Mpa
30%CEM 70%LC2	**64** kg CO2 eq./Mpa
20%CEM 80%LC2	**92** kg CO2 eq./Mpa
10%CEM 90%LC2	**229** kg CO2 eq./Mpa

SS	**18** kg CO2 eq./Mpa
NaOH	**86** kg CO2 eq./Mpa

Tabella 7 Tabella impatto ambientale miscele a 28gg di stagionatura rispetto alla loro resistenza meccanica a compressione

In base ai risultati delle miscele, possiamo osservare che l'impatto ambientale delle miscele varia in base alla composizione della miscela stessa.

In generale, la quantità di emissioni di CO2 eq. è direttamente correlata alla quantità di cemento utilizzata nella miscela. Quando la percentuale di cemento aumenta, l'impatto ambientale complessivo aumenta anche. Questo è dovuto al fatto che la produzione di cemento è una delle principali fonti di emissioni di gas serra e, pertanto, la quantità di cemento utilizzata influenza direttamente l'impatto ambientale delle miscele.

D'altra parte, le miscele che utilizzano una maggiore percentuale di leganti alternativi come LC2 hanno un impatto ambientale inferiore rispetto alle miscele che utilizzano una maggiore percentuale di cemento. Questo è dovuto al fatto che i leganti alternativi producono meno emissioni rispetto al cemento e sono una valida alternativa per ridurre l'impatto ambientale delle miscele.

Inoltre, i risultati delle miscele NaOH e SS mostrano che anche il tipo di legante alternativo utilizzato influisce sull'impatto ambientale delle miscele. La miscela SS ha un impatto ambientale inferiore rispetto alla miscela NaOH, anche se entrambe utilizzano la stessa quantità di emissioni di CO2 eq. Questo è dovuto al fatto che la resistenza alla compressione della miscela SS è significativamente maggiore rispetto alla miscela NaOH, il che significa che per ottenere la stessa resistenza alla compressione, la miscela SS produrrà un impatto ambientale inferiore rispetto alla miscela NaOH.

In conclusione, per determinare l'impatto ambientale delle miscele, è importante considerare sia la composizione della miscela sia il tipo di legante alternativo utilizzato. La scelta della miscela con il minor impatto ambientale può essere influenzata da molte variabili e potrebbe essere necessario considerare ulteriori fattori per una valutazione completa.

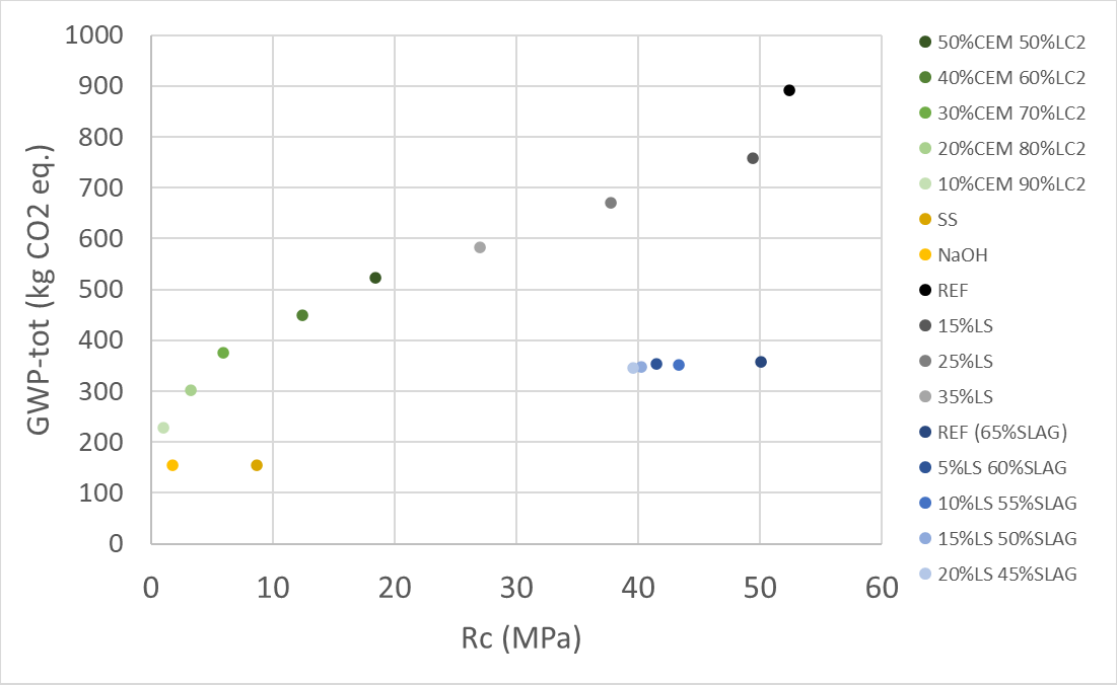


Figura 8 Grafico comparativo dell'impatto ambientale di tutte le miscele a 28gg di stagionatura rispetto alla rispettiva resistenza a compressione

11. CONCLUSIONI

A questo punto, alla luce dei risultati ottenuti considerando i differenti mix-design delle miscele, è possibile concludere che:

- I CEM II sono le miscele che impattano maggiormente, dato che nella loro miscela c'è il quantitativo maggiore di cemento, considerando i kg di CO2 equi.
- I CEM IV sono gli impasti che producono in generale il minor quantitativo di kg di CO2 equivalente con caratteristiche meccaniche comparabili alla miscela di riferimento con 50%C di cemento, diventando, quindi le migliori miscele
- Gli LC3 mostrano una significativa diminuzione dell' impatto ambientale in kg di CO2 equi al diminuire del contenuto di cemento accompagnata però da una progressiva diminuzione delle caratteristiche meccaniche
- Gli AAMs mostrano il minor impatto ambientale (NaOH) ma anche le minori prestazioni meccaniche (NaOH) che li rendono inutilizzabili sicuramente in applicazioni strutturali
- Per I ritiri ed assorbimento acqua abbiamo che le miscele con il quantitativo di cemento minore sono quelle che hanno un ritiro libero maggiore.

I principali risultati riscontrati mostrano che una attenta scelta delle materie prime dovrebbe essere focalizzata sia sui componenti solidi delle miscele che su quelli liquidi. Infatti, per migliorare il profilo ambientale dei geopolimeri è necessario ridurre al minimo l'impiego di soluzioni di silicati e di idrossido di sodio e favorire l'impiego di materie prime solide di scarto.

Una valutazione comparativa eseguita nel caso della produzione di componenti in calcestruzzo mostra chiaramente la competitività dei sistemi geopolimerici da un punto di vista ambientale rispetto ai sistemi basati sull'impiego di cemento Portland.

Lo studio LCA si è concentrato su una categoria di impatto "cambiamenti climatici", in quanto analizza e calcola la produzione di CO2 equivalente emessa in aria. Tra le materie prime incluse nell'inventario delle malte geopolimeriche, secondo il limite "cradle to gate" e secondo il modello proposto, il silicato di sodio e l'idrossido di sodio utilizzato come attivatore alcalino è stato identificato come il minor responsabile in termini di emissione ma con caratteristiche meccaniche molto inferiori rispetto alla miscela di riferimento, a differenza della miscela SS che ha raggiunto addirittura resistenze a compressione maggiori, ma soltanto dopo 28gg e 90gg di stagionatura con ambiente di climatizzazione a 40°.

Una parte delle emissioni di CO2 è anche attribuibile al metacaolino. Il motivo è legato alla produzione di metacaolino, che prevede un processo di calcinazione della materia prima, il caolino, ad alte temperature e comprese tra 600 e 900 °C. Pertanto, le emissioni di CO2 sono principalmente legate alle alte temperature che si raggiungono durante il processo di calcinazione.

In conclusione, i vantaggi delle malte geopolimeriche rispetto al calcestruzzo ordinario sono numerosi in termini di resistenza alle sollecitazioni meccaniche di flessione e compressione, e dal punto di vista ambientale; questo le rende una valida alternativa al cemento tradizionale (Portland).

L'obiettivo è diffondere l'utilizzo di materiali da costruzione ecosostenibili e allo stesso tempo altamente durevoli, adatti al raggiungimento di elevate prestazioni.

BIBLIOGRAFIA

1. *Tesi di laurea di Silvia Pizzabiocca, Prof. Francesca Tittarelli; "VALORIZZAZIONE DEL FILLER CALCAREO PER LO SVILUPPO DI NUOVI LEGANTI SOSTENIBILI", Anno accademico 2021-2022*
2. *Perchè il Calcestruzzo è Sostenibile: ecco le indicazioni del Global Cement & Concrete Association | Articoli | Ingenio (ingenio-web.it)*
3. *Sustainability Benefits of Concrete : GCCA (gccassociation.org)*
4. *Spunti di riflessione sulla sostenibilità del ciclo di vita delle infrastrutture in calcestruzzo (epdservice.it)*
5. *Classificazione dei cementi (aitecweb.com)*
6. *La nuova norma UNI EN 197/1: composizione, caratteristiche e criteri di conformità per i cementi comuni | Articoli | Ingenio (ingenio-web.it)*
7. *Cambiamenti climatici: la sfida della CO2 per il settore delle costruzioni | Italcementi Blog*
8. *NORMA UNI EN 197-1 - w&p cementi (wup-cementi.it)*
9. *Cemento a base di argilla calcinata e calcare: opportunità e criticità | Articoli | Ingenio (ingenio-web.it)*
10. *Resistenza delle malte a base di loppa attivata alcalinamente in ambienti aggressivi | Articoli | Ingenio (ingenio-web.it)*
11. *it_02_2021_12_17.pdf (cpi-worldwide.com)*
12. *La malta: tipologie, caratteristiche e impieghi - Edilportale*
13. *Filler Calcareo | Nicem srl | Carbonato di Calcio | Casazza BG*
14. *L'importanza del rapporto acqua/cemento del calcestruzzo | Articoli | Ingenio (ingenio-web.it)*
15. *Cemento Portland: materiale principe nel settore edile (edilizialavoro.com)*
16. *Acquista idrossido di sodio - Idrossido di sodio della migliore qualità per un prezzo amichevole su Laboratoriumdiscounter*
17. *Indagini ultrasoniche - Ultrasuoni calcestruzzo cls - Bagheria (Palermo) (diagnosticastrutturale.it)*
18. *Pressa - compressione e flessione per malte e cementi (hackthemat.com)*
19. *Prova di compressione - Amse*
20. *UNI EN 12390 o UNI 11307:2008: Quale norma utilizzare per misurare il ritiro del Calcestruzzo ? | Articoli | Ingenio (ingenio-web.it)*
21. *PUNDIT LAB STRUMENTO AD ULTRASUONI | Pndshop*

22. *Tesi di laurea di Gregori Andrea, Prof. Prof.ssa Cristina Mora, Claudia Cavicchi Sofia Venturioli Alfonso Fabbri Prof. Emilio Ferrari; "Valutazione degli impatti ambientali mediante Life Cycle Assessment e Sustainable Value Stream Mapping in un centro distributivo: il caso Arcese S.p.a", Anno accademico 2018/2019*
23. *Analisi del ciclo di vita (LCA): cos'è e da quali fasi è composta - Passaporto Ambientale*
24. *LIFE CYCLE ASSESSMENT (libero.it)*
25. *LCA: punti di forza e criticità – TuttoAmbiente.it*
26. *80336697.pdf (core.ac.uk)*
27. *Migliorare l'impatto ambientale dei materiali da costruzione (productcarbonfootprint.it)*
28. *Carbon Footprint: meno CO2, più sostenibilità! Affidati a Tecno (productcarbonfootprint.it)*
29. *LCA comparativa di strutture multipiano a partire da un caso studio con sistema NPS® | Articoli |Ingenio (ingenio-web.it)*
30. *Concrete EPD Tool (concrete-epd-tool.org)*
31. *Dizionario enciclopedico del calcestruzzo - Sezione 1 | Enco Srl*
32. *Classificazione dei cementi (aitecweb.com)*
33. *(PDF) Life Cycle Analysis (LCA) per la valutazione della sostenibilità ambientale dei geopolimeri. (researchgate.net)*
34. *Valutazione del ciclo di vita di manufatti innovativi ecocompatibili per l'ingegneria idraulica | Articoli | Ingenio (ingenio-web.it)*
35. *Come scegliere il miglior silicato | Ecobeton*
36. *https://www.azichem.com/news/caratteristiche-del-calcestruzzo-lavorabilita-e-consistenza*

RINGRAZIAMENTI

Questo spazio lo voglio dedicare alle persone che, con il loro supporto, mi hanno aiutato in questo meraviglioso percorso durato cinque anni.

Un ringraziamento particolare va alla mia Prof.ssa Francesca Tittarelli, che mi ha seguito, con la sua disponibilità, nella realizzazione dell'elaborato, fin dalla scelta dell'argomento.

Un grazie di cuore ad Elisa Blasi, la dottoranda che mi ha seguito dall'inizio alla fine della sperimentazione (anche a distanza), per il supporto costante, le dritte indispensabili e la sua complicità nella realizzazione di ogni capitolo della mia tesi.

Ringrazio mio padre e mia nonna che mi hanno sostenuto, appoggiandomi , fin dalla scelta del mio percorso di studi, ed al mio angelo custode: mia mamma. Anche se non sei più qui, ti sento vicina. Spero di averti resa orgogliosa in questi anni, dove sono cresciuto un po' più in fretta del dovuto.

Voglio ringraziare, inoltre,i miei amici, i miei compagni di università e tutti quelli che hanno incrociato la loro vita con la mia lasciandomi qualcosa di buono. Grazie per essere stati miei complici, ognuno a suo modo, in questo percorso intenso ed entusiasmante, nel bene e nel male.

Infine, dedico questa tesi a me stesso, ai miei sacrifici e alla mia tenacia che mi hanno permesso di arrivare fin qui.

APPENDICE

CARATTERISTICHE MISCELE

- RIF 50%C 50%LC2

20°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [MPa]	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	26/Sep	0	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,000	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	
PROVINO 1	27/Sep	1	530,84	2,07	89,40	1,79	5,98	2,14	5,98	0,30	0,70	0,75	3,48	3,60	2,18	2,25	2,30
PROVINO 2			566,46	2,21	-	-	-			0,34	0,80		3,85	3,80	2,41	2,38	
PROVINO 1	29/Sep	3	553,19	2,16	52,10	3,07	18,34	2,16	18,34	0,40	0,94	0,94	4,39	4,48	2,74	2,80	2,77
PROVINO 1	03/Oct	7	529,57	2,07	54,40	2,94	16,11	2,07	16,11	1,40	3,28	3,28	25,00	23,90	15,63	14,94	15,28
PROVINO 1	24/Oct	28	520,48	2,03	52,10	3,07	17,26	2,02	17,09	1,60	3,75	3,73	30,30	25,42	18,94	15,89	17,01
PROVINO 2			512,24	2,00	52,20	3,07	16,92			1,58	3,70		23,14	30,00	14,46	18,75	
PROVINO 1	26/Dec	90	489,12	1,91	55,70	2,87	14,19	1,88	13,42	1,20	2,81	2,45	30,34	32,03	18,96	20,02	17,09
PROVINO 2			474,27	1,85	58,10	2,75	12,64			0,89	2,09		23,65	23,37	14,78	14,61	

40°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [MPa]	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	26/Sep	0	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,00				0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PROVINO 1	27/Sep	1	511,97	2,00	56,10	2,85	14,64	2,04	14,64	1,10	2,58	2,46	15,23	14,92	9,52	9,33	9,40
PROVINO 2			533,49	2,08	0,00		0,00			1,00	2,34		15,08	14,95	9,43	9,34	
PROVINO 1	29/Sep	3	538,43	2,10	54,60	2,93	16,25	2,10	16,25	1,15	2,70	2,70	22,13	22,47	13,83	14,04	13,94
PROVINO 1	03/Oct	7	512,89	2,00	55,30	2,89	15,09	2,03	14,98	1,41	3,30	3,00	24,94	24,69	15,59	15,43	15,08
PROVINO 2			525,53	2,05	56,40	2,84	14,87			1,15	2,70		22,00	24,89	13,75	15,56	
PROVINO 1	24/Oct	28	494,13	1,93	54,80	2,92	14,81	1,94	14,64	1,20	2,81	3,02	27,68	28,04	17,30	17,53	17,43
PROVINO 2			496,74	1,94	55,60	2,88	14,46			1,38	3,23		27,00	28,85	16,88	18,03	
PROVINO 1	26/Dec	90	437,24	1,71	56,60	2,83	12,28	1,71	12,28	1,50	3,52	3,52	33,32	33,20	20,83	20,75	20,79
PROVINO 2			-	-	-	-	-			-	-		-	-	-	-	

10°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [MPa]	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	26/Sep	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PROVINO 1	27/Sep	1	527,79	2,06	105,60	1,52	4,26	2,04	4,26	0,20	0,47	0,43	1,97	1,90	1,23	1,19	1,15
PROVINO 2			517,97	2,02	0,00		0,00			0,17	0,40		1,68	1,82	1,05	1,14	
PROVINO 1	29/Sep	3	559,67	2,19	76,60	2,09	8,58	2,19	8,98	0,35	0,82	0,82	4,48	4,39	2,80	2,74	2,77
PROVINO 1	03/Oct	7	552,17	2,16	67,60	2,37	10,87	2,14	11,11	0,70	1,64	1,61	8,98	8,38	5,61	5,24	5,06
PROVINO 2			542,05	2,12	65,60	2,44	11,34			0,67	1,57		6,51	8,50	4,07	5,31	
PROVINO 1	24/Oct	28	523,85	2,05	55,60	2,88	15,25	2,08	15,96	1,33	3,12	3,04	19,83	20,38	12,39	12,74	12,36
PROVINO 2			540,35	2,11	54,00	2,96	16,68			1,26	2,95		17,95	20,94	11,22	13,09	
PROVINO 1	26/Dec	90	463,99	1,81	55,20	2,90	13,70	1,83	14,05	1,30	3,05	3,28	26,52	26,46	16,58	16,54	17,37
PROVINO 2			475,04	1,86	54,50	2,94	14,39			1,50	3,52		29,02	29,17	18,14	18,23	

- 40%C 60%LC2

20°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [MPa]	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	27/Sep	0	0,00	0,00	0,00	0,0		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,0				0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PROVINO 1	28/Sep	1	531,31	2,08	84,8	1,89	6,65	2,10	6,71	0,30	0,70	0,80	5,60	5,07	3,50	3,17	3,29
PROVINO 2			546,31	2,13	85,2	1,88	6,77			0,38	0,89		5,18	5,20	3,24	3,25	
PROVINO 1	30/Sep	3	533,56	2,08	62,5	2,56	12,29	2,08	12,29	0,98	2,30	2,30	14,48	14,30	9,05	8,94	8,99
PROVINO 1	04/Oct	7	545,08	2,13	60,3	2,65	13,49	2,12	13,49	0,88	2,06	1,97	16,73	12,83	10,46	8,02	8,34
PROVINO 2	17/Oct		541,59	2,12	0,0		0,00			0,80	1,88		10,46	0,00	6,54	0,00	
PROVINO 1	25/Oct	28	509,54	1,99	58,9	2,72	13,22	2,03	13,19	1,26	2,95	3,02	19,15	17,27	11,97	10,79	12,42
PROVINO 2			531,39	2,08	60,3	2,65	13,15			1,32	3,09		22,35	20,72	13,97	12,95	
PROVINO 1	27/Dec	90	470,81	1,84	63,40	2,52	10,54	1,83	10,18	0,80	1,88	1,85	21,13	21,06	13,21	13,16	11,62
PROVINO 2			465,3	1,82	65,30	2,45	9,82			0,78	1,83		16,37	15,82	10,23	9,89	

40°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [MPa]	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	27/Sep	0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,0	0,0			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PROVINO 1	28/Sep	1	579,60	2,26	66,9	2,39	11,66	2,20	11,15	0,96	2,25	2,06	11,77	11,56	7,36	7,23	6,58
PROVINO 2			546,50	2,13	68,0	2,35	10,64			0,80	1,88		9,37	9,41	5,86	5,88	
PROVINO 1	30/Sep	3	518,41	2,03	63,7	2,51	11,50	2,03	11,50	1,00	2,34	2,34	15,32	14,61	9,58	9,13	9,35
PROVINO 1	04/Oct	7	533,09	2,08	63,7	2,51	11,82	2,07	11,79	0,96	2,25	2,27	17,66	17,70	11,04	11,06	10,75
PROVINO 2			528,08	2,06	63,6	2,52	11,75			0,98	2,30		17,15	16,32	10,72	10,20	
PROVINO 1	25/Oct	28	514,46	2,01	62,2	2,57	11,97	1,91	11,41	0,97	2,27	2,38	20,01	19,46	12,51	12,16	12,56
PROVINO 2			465,12	1,82	62,1	2,58	10,85			1,06	2,48		21,88	19,06	13,68	11,91	
PROVINO 1	27/Dec	90	447	1,75	64,30	2,49	9,73	1,75	9,73	1,10	2,58	2,58	22,40	21,40	14,00	13,38	13,69
PROVINO 2			-	-	-	-	-			-	-		-	-	-	-	

10°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [MPa]	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	27/Sep	0	0,000	0,00	0,00	0,0		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,000	0,00	0,00	0,0				0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PROVINO 1	28/Sep	1	536,27	2,09	118,4	1,35	3,44	2,08	3,65	0,09	0,21	0,25	1,43	1,44	0,89	0,90	0,84
PROVINO 2			529,97	2,07	111,2	1,44	3,86			0,12	0,28		1,31	1,20	0,82	0,75	
PROVINO 1	30/Sep	3	523,55	2,05	89,6	1,79	5,87	2,05	5,87	0,20	0,47	0,47	2,04	2,68	1,28	1,68	1,48
PROVINO 1	04/Oct	7	524,77	2,05	71,4	2,24	9,26	2,08	9,83	0,52	1,22	1,25	6,53	6,59	4,08	4,12	4,20
PROVINO 2			539,11	2,11	68,3	2,34	10,40			0,55	1,29		6,65	7,13	4,16	4,46	
PROVINO 1	25/Oct	28	531,76	2,08	61,4	2,61	12,69	2,07	12,49	1,01	2,37	2,31	15,11	14,15	9,44	8,84	9,08
PROVINO 2			528,13	2,06	62,2	2,57	12,29			0,96	2,25		13,88	14,98	8,68	9,36	
PROVINO 1	27/Dec	90	466,63	1,82	62,30	2,57	10,82	1,82	11,07	0,90	2,11	2,11	21,20	20,05	13,25	12,53	12,18
PROVINO 2			463,61	1,81	60,70	2,64	11,32			0,90	2,11		18,68	18,02	11,68	11,26	

- 30%C 70%LC2

20°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [MPa	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	03/Oct	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	04/Oct	1	526,77	2,06	0,00	0,00	0,00	2,05	3,22	0,22	0,52	0,55	2,10	2,12	1,31	1,33	1,31
PROVINO 2			521,66	2,04	120,70	1,33	3,22			0,25	0,59		2,10	2,07	1,31	1,29	
PROVINO 1	06/Oct	3	504,14	1,97	87,80	1,82	5,89	1,97	5,89	0,43	1,01	1,01	5,93	6,02	3,71	3,76	3,73
PROVINO 1	10/Oct	7	501,44	1,96	86,80	1,84	5,99	1,97	5,99	0,60	1,41	1,37	8,02	7,77	5,01	4,86	4,95
PROVINO 2			506,13	1,98	-	-	-			0,57	1,34		7,58	8,30	4,74	5,19	
PROVINO 1	02/Nov	28	491,40	1,92	79,30	2,02	7,03	1,91	7,03	0,67	1,57	1,54	10,15	8,83	6,34	5,52	5,88
PROVINO 2			487,71	1,91	81,40	1,97	6,62			0,64	1,50		9,04	9,63	5,65	6,02	
PROVINO 1	03/Jan	90	438,73	1,71	80,40	1,99	6,11	1,68	6,11	0,40	0,94	1,05	19,78	19,69	12,36	12,31	11,80
PROVINO 2			423,53	1,65	82,50	1,94	5,60			0,50	1,17		18,00	18,02	11,25	11,26	
40°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [MPa	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	03/Oct	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	04/Oct	1	521,96	2,04	91,30	1,75	5,64	2,06	5,84	0,35	0,82	0,88	5,47	5,08	3,42	3,18	2,97
PROVINO 2			534,49	2,09	89,20	1,79	6,05			0,40	0,94		4,54	3,90	2,84	2,44	
PROVINO 1	06/Oct	3	495,35	1,93	90,40	1,77	5,46	1,93	5,46	0,56	1,31	1,31	6,88	6,46	4,30	4,04	4,17
PROVINO 1	10/Oct	7	505,33	1,97	86,80	1,84	6,04	1,98	6,03	0,60	1,41	1,24	9,14	8,30	5,71	5,19	5,18
PROVINO 2			510,92	2,00	87,30	1,83	6,03			0,46	1,08		8,27	7,44	5,17	4,65	
PROVINO 1	02/Nov	28	451,15	1,76	78,80	2,03	6,54	1,75	6,52	0,53	1,24	1,28	10,43	10,18	6,52	6,36	6,20
PROVINO 2			444,69	1,74	78,50	2,04	6,49			0,56	1,31		9,93	9,11	6,21	5,69	
PROVINO 1	03/Jan	90	433,58	1,69	78,60	2,04	6,32	1,67	6,38	0,50	1,17	1,14	9,87	9,77	6,17	6,11	6,83
PROVINO 2			420,25	1,64	76,60	2,09	6,45			0,47	1,10		11,62	12,47	7,26	7,79	
10°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [MPa	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	03/Oct	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	04/Oct	1	512,58	2,00	139,80	1,14	2,36	2,01	2,34	0,09	0,21	0,22	0,90	0,79	0,56	0,49	0,53
PROVINO 2			518,87	2,03	141,70	1,13	2,33			0,10	0,23		0,89	0,84	0,56	0,53	
PROVINO 1	06/Oct	3	516,54	2,02	118,40	1,35	3,32	2,02	3,32	0,19	0,45	0,45	1,81	1,64	1,13	1,03	1,08
PROVINO 1	10/Oct	7	524,24	2,05	94,70	1,69	5,26	2,03	5,26	0,28	0,66	0,66	4,06	3,82	2,54	2,39	2,47
PROVINO 2			512,68	2,00	93,60	1,71	5,27			0,28	0,66		3,89	4,05	2,43	2,53	
PROVINO 1	02/Nov	28	513,27	2,00	79,30	2,02	7,35	2,01	7,06	0,69	1,62	1,48	7,63	7,81	4,77	4,88	4,56
PROVINO 2			514,74	2,01	82,70	1,93	6,77			0,57	1,34		6,73	7,03	4,21	4,39	
PROVINO 1	03/Jan	90	78,4	0,31	78,40	2,04	1,15	0,31	1,14	0,65	1,52	1,46	9,23	10,01	5,77	6,26	6,00
PROVINO 2			79,5	0,31	79,50	2,01	1,13			0,60	1,41		9,54	9,59	5,96	5,99	

- 20%C 80%LC2

20°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [M	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	27/Sep	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	28/Sep	1	509,7	1,99	0,0	0,00	0,00	1,99	2,85	0,10	0,23	0,23	1,73	1,75	1,08	1,09	1,07
PROVINO 2			506,91	1,98	126,5	1,26	2,85			0,10	0,23		1,69	1,70	1,06	1,06	
PROVINO 1	30/Sep	3	517,46	2,02	103,8	1,54	4,32	2,02	4,32	0,30	0,70	0,70	3,44	3,54	2,15	2,21	2,18
PROVINO 1	04/Oct	7	500,97	1,96	108,6	1,47	3,82	1,99	3,82	0,30	0,70	0,63	3,88	4,20	2,43	2,63	2,29
PROVINO 2	17/Oct		517,98	2,02	0,00		0,00			0,24	0,56		2,93	0,00	1,83	0,00	
PROVINO 1	25/Oct	28	500,26	1,95	102,1	1,57	4,32	1,94	4,30	0,40	0,94	0,87	5,29	5,42	3,31	3,39	3,28
PROVINO 2			491,88	1,92	101,7	1,57	4,28			0,34	0,80		4,96	5,29	3,10	3,31	
PROVINO 1	27/Dec	90	412,6	1,61	115,80	1,38	2,77	1,66	2,78	0,27	0,63	0,64	4,74	4,22	2,96	2,64	2,60
PROVINO 2			435,97	1,70	118,50	1,35	2,79			0,28	0,66		4,01	3,68	2,51	2,30	
40°C																	
	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [M	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	27/Sep	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	28/Sep	1	503,31	1,97	0,00	0,00	0,00	1,98	3,59	0,17	0,40	0,52	2,81	2,74	1,76	1,71	1,84
PROVINO 2			512,16	2,00	113,30	1,41	3,59			0,27	0,63		3,07	3,13	1,92	1,96	
PROVINO 1	30/Sep	3	500,34	1,95	110,80	1,44	3,67	1,95	3,67	0,28	0,66	0,66	3,53	3,68	2,21	2,30	2,25
PROVINO 1	04/Oct	7	505,75	1,98	100,40	1,59	4,52	1,97	4,41	0,37	0,87	0,86	5,36	5,46	3,35	3,41	3,34
PROVINO 2	17/Oct		504,75	1,97	102,80	1,56	4,30			0,36	0,84		5,31	5,24	3,32	3,28	
PROVINO 1	25/Oct	28	435,16	1,70	93,50	1,71	4,48	1,68	4,42	0,41	0,96	0,89	7,07	6,79	4,42	4,24	4,43
PROVINO 2			426,30	1,67	93,80	1,71	4,36			0,35	0,82		7,27	7,22	4,54	4,51	
PROVINO 1	27/Dec	90	404,3	1,58	100,40	1,59	3,61	1,58	3,61	0,35	0,82	0,82	6,15	4,83	3,84	3,02	3,43
PROVINO 2			-	-	-	-	-			-	-		-	-	-	-	
10°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [M	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	27/Sep	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	28/Sep	1	518,60	2,03	139,70	1,15	2,39	1,97	2,39	0,05	0,12	0,12	0,40	0,43	0,25	0,27	0,25
PROVINO 2			489,87	1,91	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00		0,36	0,43	0,23	0,27	
PROVINO 1	30/Sep	3	510,10	1,99	115,30	1,39	3,45	1,99	3,45	0,09	0,21	0,21	0,84	0,91	0,53	0,57	0,55
PROVINO 1	04/Oct	7	510,51	1,99	106,70	1,50	4,04	2,01	3,99	0,20	0,47	0,45	2,06	2,05	1,29	1,28	1,27
PROVINO 2	17/Oct		517,00	2,02	108,50	1,47	3,95			0,18	0,42		2,00	2,00	1,25	1,25	
PROVINO 1	25/Oct	28	503,68	1,97	117,80	1,36	3,27	1,97	3,25	0,22	0,52	0,50	2,95	2,86	1,84	1,79	1,78
PROVINO 2			504,48	1,97	118,40	1,35	3,24			0,21	0,49		2,74	2,87	1,71	1,79	
PROVINO 1	27/Dec	90	424,67	1,66	108,50	1,47	3,25	1,66	3,25	0,30	0,70	0,70	4,22	4,13	2,64	2,58	2,61
PROVINO 2			-	-	-	-	-			-	-		-	-	-	-	

- 10%C 90%LC2

20°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [M	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	26/Sep	0	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,00				0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	27/Sep	1	502,20	1,96	0,00	0,00	0,00	1,93	2,31	0,00	0,00	0,19	0,43	0,45	0,27	0,28	0,27
PROVINO 2			485,27	1,90	137,40	1,16	2,31			0,08	0,19		0,41	0,41	0,26	0,26	
PROVINO 1	29/Sep	3	475,21	1,86	0,00		0,00	1,86	-	0,00	0,00	0,00	0,95	0,93	0,59	0,58	0,59
PROVINO 1	03/Oct	7	488,52	1,91	167,60	0,95	1,57	1,90	1,57	0,08	0,19	0,20	1,14	1,16	0,71	0,73	0,63
PROVINO 2	17/Oct		486,45	1,90	0,00		0,00			0,09	0,21		0,70	0,00	0,44	0,00	
PROVINO 1	24/Oct	28	472,17	1,84	178,30	0,90	1,34	1,87	1,50	0,12	0,28	0,26	1,44	1,45	0,90	0,91	0,99
PROVINO 2			485,25	1,90	162,40	0,99	1,66			0,10	0,23		1,71	1,75	1,07	1,09	
PROVINO 1	28/Dec	90	396,93	1,55	162,30	0,99	1,36	1,55	1,08	0,20	0,47	0,41	1,44	1,48	0,90	0,93	0,71
PROVINO 2			394,98	1,54	210,80	0,76	0,80			0,15	0,35		0,82	0,83	0,51	0,52	

40°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [M	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	26/Sep	0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,0	0,0			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PROVINO 1	27/Sep	1	489,66	1,91	210,1	0,76	1,00	1,93	1,00	0,11	0,26	0,22	0,69	0,66	0,43	0,41	0,43
PROVINO 2			498,59	1,95	0,0		0,00			0,08	0,19		0,69	0,70	0,43	0,44	
PROVINO 1	29/Sep	3	487,16	1,90	181,3	0,88	1,33	1,90	1,33	0,03	0,07	0,07	1,06	1,11	0,66	0,69	0,68
PROVINO 1	03/Oct	7	475,94	1,86	164,1	0,98	1,59	1,89	1,55	0,10	0,23	0,23	1,39	1,41	0,87	0,88	0,84
PROVINO 2			490,37	1,92	170,6	0,94	1,52			0,10	0,23		1,31	1,27	0,82	0,79	
PROVINO 1	24/Oct	28	403,05	1,57	144,3	1,11	1,74	1,55	1,69	0,11	0,26	0,27	1,85	1,85	1,16	1,16	1,15
PROVINO 2			389,66	1,52	146,2	1,09	1,64			0,12	0,28		1,76	1,87	1,10	1,17	
PROVINO 1	28/Dec	90	381,09	1,49	142,60	1,12	1,69	1,49	1,69	0,17	0,40	0,40	2,07	2,00	1,29	1,25	1,27
PROVINO 2			-	-	-	-	-			-	-		-	-	-	-	

10°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [M	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	26/Sep	0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,0	0,0			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	27/Sep	1	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,0	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	29/Sep	3	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	03/Oct	7	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2	24/Oct	28	522,71	2,04	179,4	0,89	1,46	2,04	1,46	0,12	0,28	0,28	1,05	0,89	0,66	0,56	0,61
PROVINO 1	28/Dec	90	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,0	0,0			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- NaOH

20°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [M	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	03/Oct	0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,0	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	04/Oct	1	502,16	1,96	435,8	0,37	0,24	2,04	0,24	0,03	0,07	0,63	0,14	0,09	0,09	0,06	0,19
PROVINO 2			543,22	2,12	0,0		0,00			0,51	1,20		0,51	0,48	0,32	0,30	
PROVINO 1	06/Oct	3	494,34	1,93	232,8	0,69	0,82	1,93	0,82	0,10	0,23	0,23	0,42	0,25	0,26	0,16	0,21
PROVINO 1	10/Oct	7	538,99	2,11	153,4	1,04	2,06	2,07	2,06	0,15	0,35	0,35	2,21	2,15	1,38	1,34	1,06
PROVINO 2			520,75	2,03	0,0					0,15	0,35		1,22	1,22	0,76	0,76	
PROVINO 1	02/Nov	28	526,47	2,06	128,7	1,24	2,86	1,98	2,86	0,27	0,63	0,60	2,52	3,22	1,58	2,01	1,78
PROVINO 2			485,09	1,89	138,4	1,16	2,28			0,24	0,56		3,01	2,62	1,88	1,64	
PROVINO 1	03/Jan	90	429,02	1,68	111,7	1,43	3,09	1,67	3,09	0,38	0,89	0,87	4,08	4,60	2,55	2,88	2,62
PROVINO 2			423,53	1,65	123,5	1,30	2,50			0,36	0,84		4,07	4,03	2,54	2,52	

40°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [M	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	03/Oct	0	0,00	0,00		0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00		0,0	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	04/Oct	1	533,03	2,08	261,8	0,61	0,70	2,10	0,66	0,10	0,23	0,21	1,42	1,46	0,89	0,91	0,89
PROVINO 2			542,48	2,12	278,9	0,57	0,63			0,08	0,19		1,44	1,36	0,90	0,85	
PROVINO 1	06/Oct	3	532,80	2,08	214,8	0,74	1,04	2,08	1,04	0,11	0,26	0,26	1,93	2,02	1,21	1,26	1,23
PROVINO 1	10/Oct	7	524,14	2,05	166,8	0,96	1,70	2,04	1,77	0,15	0,35	0,45	2,50	2,40	1,56	1,50	1,45
PROVINO 2			521,80	2,04	159,4	1,00	1,85			0,23	0,54		2,25	2,10	1,41	1,31	
PROVINO 1	02/Nov	28	466,78	1,82	130,4	1,23	2,47	1,83	2,46	0,15	0,35	0,38	2,51	2,60	1,57	1,63	1,69
PROVINO 2			469,22	1,83	131,5	1,22	2,44			0,17	0,40		2,98	2,75	1,86	1,72	
PROVINO 1	03/Jan	90	488,17	1,91	134,8	1,19	2,42	1,85	2,65	0,30	0,70	0,81	3,12	3,24	1,95	2,03	2,50
PROVINO 2			459,92	1,80	119,8	1,34	2,88			0,39	0,91		4,68	4,96	2,93	3,10	

10°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [M	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	03/Oct	0	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00		0,00	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	04/Oct	1	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00		0,00	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	06/Oct	3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	10/Oct	7	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	02/Nov	28	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	03/Jan	90	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00		0,00	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- SS

20°C																	
	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [MPa]	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	04/Oct	0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 2																	
PROVINO 1	05/Oct	1	544,31	2,13	0,0		0,00	2,15	0,37	0,04	0,09	0,09	0,38	0,39	0,24	0,24	0,24
PROVINO 2			555,91	2,17	369,2	0,43	0,37			0,04	0,09		0,39	0,40	0,24	0,25	
PROVINO 1	07/Oct	3	558,09	2,18	148,3	1,08	2,28	2,18	2,28	0,26	0,61	0,61	1,40	1,47	0,88	0,92	0,90
PROVINO 1	11/Oct	7	554,66	2,17	88,4	1,81	6,39	2,13	6,39	0,52	1,22	1,14	4,06	3,80	2,54	2,38	2,44
PROVINO 2			538,45	2,10	0,0		0,00			0,45	1,05		-	3,83	-	2,39	
PROVINO 1	02/Nov	28	539,75	2,11	67,2	2,38	10,76	2,10	10,76	1,06	2,48	2,88	13,61	14,20	8,51	8,88	8,71
PROVINO 2			537,03	2,10	67,6	2,37	10,58			1,40	3,28		13,54	14,40	8,46	9,00	
PROVINO 1	04/Jan	90	493,39	1,93	51,3	3,12	16,87	1,91	16,87	2,12	4,97	5,44	23,33	23,69	14,58	14,81	15,51
PROVINO 2			486,18	1,90	52,0	3,08	16,18			2,52	5,91		25,30	26,93	15,81	16,83	
40°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [MPa]	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	04/Oct	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
PROVINO 2			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROVINO 1	05/Oct	1	564,91	2,21	179,8	0,89	1,57	2,20	1,65	0,17	0,40	0,34	1,17	1,21	0,73	0,76	0,76
PROVINO 2			562,68	2,20	171,4	0,93	1,72			0,12	0,28		1,24	1,23	0,78	0,77	
PROVINO 1	07/Oct	3	567,01	2,21	110,7	1,45	4,16	2,21	4,16	0,37	0,87	0,87	3,93	3,29	2,46	2,06	2,26
PROVINO 1	11/Oct	7	545,09	2,13	65,8	2,43	11,33	2,13	10,92	1,4	3,30	2,81	16,38	17,09	10,24	10,68	10,08
PROVINO 2			544,45	2,13	68,3	2,34	10,50			1,0	2,32		14,53	16,51	9,08	10,32	
PROVINO 1	02/Nov	28	500,69	1,96	50,4	3,17	17,74	1,98	17,61	2,65	6,21	5,60	51,05	50,46	31,91	31,54	31,05
PROVINO 2			511,06	2,00	51,3	3,12	17,48			2,13	4,99		47,85	49,35	29,91	30,84	
PROVINO 1	04/Jan	90	491,03	1,92	52,8	3,03	15,85	1,91	15,53	2,20	5,16	5,91	55,50	52,49	34,69	32,81	31,93
PROVINO 2			487,43	1,90	53,7	2,98	15,21			2,84	6,66		51,16	45,18	31,98	28,24	
10°C	DATA	GIORNO	PESO[g]	DENSITA'[g/cm^3]	t [µs]	V [mm/µs]	Ed [GPa]	ρm	Edm[GPa]	Ffl [KN]	Rfl [MPa]	Rflm [MPa]	Fc [KN]		Rc [Mpa]		Rcm [Mpa]
PROVINO 1	04/Oct	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
PROVINO 2			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PROVINO 1	05/Oct	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
PROVINO 2			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PROVINO 1	07/Oct	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PROVINO 1	11/Oct	7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
PROVINO 2			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PROVINO 1	02/Nov	28	589,7	2,30	128,4	1,25	3,22	2,24	3,45	0,20	0,47	0,56	1,79	1,64	1,12	1,03	1,21
PROVINO 2			556,6	2,17	116,7	1,37	3,68			0,28	0,66		2,18	2,15	1,36	1,34	
PROVINO 1	04/Jan	90	518,47	2,03	90,4	1,77	5,71	2,04	5,52	0,60	1,41	1,41	15,82	15,98	9,89	9,99	10,07
PROVINO 2			526,63	2,06	94,3	1,70	5,33			0,60	1,41		16,00	16,64	10,00	10,40	

RITIRI LIBERI MISCELE

- 50%C 50%LC2

	RITIRI LIBERI								
	DATA	GIORNO	RIF.BARRA	PROVINO	RITIRO	MEDIA	Δ	Δm	ε[mm/m]
PROVINO 1	11/Oct	0	3,94	2,57	-1,37	-1,37	0,00	0,00	0,00
			3,94	2,565	-1,375				
			3,94	2,57	-1,37				
PROVINO 2			3,94	2,29	-1,65	-1,65	0,00		
			3,94	2,29	-1,65				
			3,94	2,29	-1,65				
PROVINO 1	12/Oct	1	3,96	2,55	-1,41	-1,41	-0,04	-0,04	-0,24
			3,96	2,55	-1,41				
			3,96	2,55	-1,41				
PROVINO 2			3,975	2,285	-1,69	-1,69	-0,04		
			3,975	2,285	-1,69				
			3,975	2,285	-1,69				
PROVINO 1	13/Oct	2	3,95	2,495	-1,455	-1,45	-0,08	-0,08	-0,47
			3,95	2,5	-1,45				
			3,95	2,5	-1,45				
PROVINO 2			3,95	2,23	-1,72	-1,72	-0,07		
			3,95	2,23	-1,72				
			3,95	2,23	-1,72				
PROVINO 1	14/Oct	3	3,95	2,48	-1,47	-1,47	-0,10	-0,11	-0,66
			3,95	2,475	-1,475				
			3,95	2,475	-1,475				
PROVINO 2			3,95	2,19	-1,76	-1,76	-0,11		
			3,95	2,19	-1,76				
			3,95	2,195	-1,755				
PROVINO 1	17/Oct	6	6,65	5,17	-1,48	-1,48	-0,11	-0,12	-0,68
			6,65	5,17	-1,48				
			6,65	5,17	-1,48				
PROVINO 2			6,65	4,87	-1,78	-1,78	-0,13		
			6,65	4,87	-1,78				
			6,65	4,87	-1,78				
PROVINO 1	18/Oct	7	6,65	5,16	-1,49	-1,49	-0,12	-0,13	-0,73
			6,65	5,165	-1,485				
			6,655	5,165	-1,49				
PROVINO 2			6,655	4,86	-1,795	-1,79	-0,14		
			6,655	4,86	-1,795				
			6,655	4,865	-1,79				

PROVINO 1	19/Oct	8	6,56	5,08	-1,48	-1,48	-0,11	-0,12	-0,68
			6,56	5,08	-1,48				
			6,56	5,08	-1,48				
PROVINO 2			6,56	4,78	-1,78	-1,78	-0,13		
			6,56	4,775	-1,785				
			6,56	4,775	-1,785				
PROVINO 1	20/Oct	9	6,57	5,14	-1,43	-1,43	-0,06	-0,07	-0,69
			6,57	5,145	-1,425				
			6,57	5,145	-1,425				
PROVINO 2			6,565	4,84	-1,725	-1,73	-0,08		
			6,565	4,84	-1,725				
			6,565	4,84	-1,725				
PROVINO 1	24/Oct	13	6,575	5,15	-1,425	-1,43	-0,05	-0,06	-0,68
			6,575	5,15	-1,425				
			6,575	5,15	-1,425				
PROVINO 2			6,57	4,85	-1,72	-1,72	-0,07		
			6,57	4,85	-1,72				
			6,57	4,85	-1,72				
PROVINO 1	27/Oct	16	6,57	5,13	-1,44	-1,44	-0,07	-0,08	-0,77
			6,565	5,13	-1,435				
			6,57	5,13	-1,44				
PROVINO 2			6,56	4,825	-1,735	-1,74	-0,09		
			6,56	4,825	-1,735				
			6,565	4,825	-1,74				
PROVINO 1	03/Nov	23	6,44	4,99	-1,45	-1,45	-0,08	-0,09	-0,84
			6,44	4,99	-1,45				
			6,44	4,99	-1,45				
PROVINO 2			6,44	4,685	-1,755	-1,76	-0,11		
			6,44	4,685	-1,755				
			6,44	4,685	-1,755				
PROVINO 1	10/Nov	30	5,66	4,21	-1,45	-1,45	-0,08	-0,10	-0,84
			5,66	4,21	-1,45				
			5,66	4,21	-1,45				
PROVINO 2			5,66	3,9	-1,76	-1,76	-0,11		
			5,66	3,9	-1,76				
			5,66	3,895	-1,765				
PROVINO 1	14/Nov	34	5,66	4,205	-1,455	-1,46	-0,09	-0,10	-0,88
			5,665	4,205	-1,46				
			5,665	4,21	-1,455				
PROVINO 2			5,665	3,9	-1,765	-1,77	-0,12		
			5,665	3,9	-1,765				
			5,665	3,9	-1,765				
PROVINO 1	17/Nov	37	6,49	5,02	-1,47	-1,47	-0,10	-0,11	-0,96
			6,49	5,02	-1,47				
			6,49	5,02	-1,47				
PROVINO 2			6,49	4,71	-1,78	-1,78	-0,13		
			6,49	4,71	-1,78				
			6,49	4,71	-1,78				

PROVINO 1	21/Nov	41	6,55	5,08	-1,47	-1,47	-0,09	-0,11	-0,94
			6,55	5,085	-1,465				
			6,55	5,085	-1,465				
PROVINO 2			6,55	4,77	-1,78	-1,78	-0,13		
			6,55	4,77	-1,78				
			6,55	4,77	-1,78				
PROVINO 1	24/Nov	44	6,55	5,07	-1,48	-1,48	-0,11	-0,12	-1,03
			6,55	5,07	-1,48				
			6,55	5,07	-1,48				
PROVINO 2			6,55	4,765	-1,785	-1,79	-0,14		
			6,55	4,765	-1,785				
			6,55	4,765	-1,785				
PROVINO 1	05/Dec	55	6,6	5,12	-1,48	-1,48	-0,11	-0,13	-1,14
			6,6	5,12	-1,48				
			6,6	5,12	-1,48				
PROVINO 2			6,6	4,81	-1,79	-1,80	-0,15		
			6,605	4,81	-1,795				
			6,61	4,81	-1,8				
PROVINO 1	10/Dec	60	6,6	5,12	-1,48	-1,48	-0,11	-0,13	-1,14
			6,6	5,12	-1,48				
			6,6	5,12	-1,48				
PROVINO 2			6,6	4,81	-1,79	-1,80	-0,15		
			6,605	4,81	-1,795				
			6,61	4,81	-1,8				
PROVINO 1	12/Dec	62	6,6	5,12	-1,48	-1,48	-0,11	-0,13	-1,14
			6,6	5,12	-1,48				
			6,6	5,12	-1,48				
PROVINO 2			6,6	4,81	-1,79	-1,80	-0,15		
			6,605	4,81	-1,795				
			6,61	4,81	-1,8				

- 40%C 60%LC2

	RITIRI LIBERI								
	DATA	GIORNO	RIF.BARRA	PROVINO	RITIRO	MEDIA	Δ	Δm	ε[mm/m]
PROVINO 1	28/Sep	0	3,86	1,81	-2,05	-2,05	0,00	0,00	0,00
			3,86	1,81	-2,05				
			3,86	1,81	-2,05				
PROVINO 2			3,86	2,06	-1,8	-1,80	0,00		
			3,86	2,06	-1,8				
			3,86	2,06	-1,8				
PROVINO 1	29/Sep	1	3,87	1,775	-2,095	-2,10	-0,05	-0,05	-0,30
			3,87	1,775	-2,095				
			3,87	1,775	-2,095				
PROVINO 2			3,87	2,02	-1,85	-1,85	-0,05		
			3,87	2,02	-1,85				
			3,87	2,02	-1,85				
PROVINO 1	30/Sep	2	3,88	1,75	-2,13	-2,13	-0,08	-0,09	-0,53
			3,88	1,75	-2,13				
			3,88	1,75	-2,13				
PROVINO 2			3,88	1,99	-1,89	-1,89	-0,09		
			3,88	1,99	-1,89				
			3,88	1,99	-1,89				
PROVINO 1	03/Oct	5	3,89	1,72	-2,17	-2,17	-0,12	-0,12	-0,72
			3,88	1,72	-2,16				
			3,88	1,715	-2,165				
PROVINO 2			3,875	1,96	-1,915	-1,92	-0,12		
			3,88	1,965	-1,915				
			3,88	1,965	-1,915				
PROVINO 1	04/Oct	6	3,99	1,81	-2,18	-2,18	-0,13	-0,14	-0,84
			3,99	1,81	-2,18				
			3,99	1,815	-2,175				
PROVINO 2			4	2,06	-1,94	-1,94	-0,14		
			4	2,055	-1,945				
			4	2,06	-1,94				
PROVINO 1	05/Oct	7	3,97	1,8	-2,17	-2,17	-0,12	-0,13	-0,81
			3,97	1,805	-2,165				
			3,97	1,805	-2,165				
PROVINO 2			3,97	2,03	-1,94	-1,94	-0,14		
			3,975	2,03	-1,945				
			3,975	2,035	-1,94				
PROVINO 1	06/Oct	8	3,985	1,8	-2,185	-2,18	-0,13	-0,13	-0,84
			3,985	1,805	-2,18				
			3,985	1,805	-2,18				
PROVINO 2			3,99	2,05	-1,94	-1,94	-0,14		
			3,99	2,055	-1,935				
			3,99	2,055	-1,935				
PROVINO 1	07/Oct	9	2,48	0,3	-2,18	-2,18	-0,13	-0,14	-0,84
			2,48	0,3	-2,18				
			2,48	0,3	-2,18				
PROVINO 2			2,48	0,54	-1,94	-1,94	-0,14		
			2,48	0,54	-1,94				
			2,48	0,54	-1,94				
PROVINO 1	10/Oct	12	3,98	1,77	-2,21	-2,21	-0,16	-0,15	-0,92
			3,98	1,775	-2,205				
			3,98	1,78	-2,2				
PROVINO 2			3,98	2,04	-1,94	-1,94	-0,14		
			3,98	2,04	-1,94				
			3,98	2,04	-1,94				
PROVINO 1	13/Oct	15	3,97	1,72	-2,25	-2,25	-0,20	-0,20	-1,26
			3,97	1,72	-2,25				
			3,97	1,72	-2,25				
PROVINO 2			3,97	1,97	-2	-2,00	-0,20		
			3,97	1,965	-2,005				
			3,97	1,965	-2,005				
PROVINO 1	17/Oct	19	6,65	4,4	-2,25	-2,25	-0,20	-0,15	-0,96
			6,65	4,4	-2,25				
			6,65	4,4	-2,25				
PROVINO 2			6,57	4,66	-1,91	-1,91	-0,11		
			6,56	4,65	-1,91				
			6,565	4,66	-1,905				
PROVINO 1	18/Oct	20	6,655	4,4	-2,255	-2,26	-0,21	-0,16	-1,02
			6,655	4,395	-2,26				
			6,655	4,395	-2,26				
PROVINO 2			6,655	4,74	-1,915	-1,92	-0,12		
			6,655	4,735	-1,92				
			6,655	4,735	-1,92				
PROVINO 1	20/Oct	22	6,565	4,4	-2,165	-2,16	-0,11	-0,11	-1,06
			6,565	4,405	-2,16				
			6,565	4,405	-2,16				
PROVINO 2			6,565	4,65	-1,915	-1,92	-0,12		
			6,565	4,65	-1,915				
			6,565	4,65	-1,915				

PROVINO 1	24/Oct	26	6,575	4,415	-2,16	-2,16	-0,11	-0,11	-1,02
			6,575	4,415	-2,16				
			6,575	4,415	-2,16				
PROVINO 2			6,575	4,67	-1,905	-1,91	-0,11		
			6,575	4,67	-1,905				
			6,575	4,67	-1,905				
PROVINO 1	27/Oct	29	6,565	4,4	-2,165	-2,17	-0,12	-0,12	-1,10
			6,565	4,4	-2,165				
			6,565	4,4	-2,165				
PROVINO 2			6,565	4,64	-1,925	-1,93	-0,13		
			6,565	4,64	-1,925				
			6,565	4,64	-1,925				
PROVINO 1	03/Nov	36	6,445	4,27	-2,175	-2,18	-0,13	-0,13	-1,16
			6,445	4,27	-2,175				
			6,45	4,27	-2,18				
PROVINO 2			6,445	4,515	-1,93	-1,93	-0,13		
			6,45	4,515	-1,935				
			6,445	4,515	-1,93				
PROVINO 1	10/Nov	42	5,66	3,485	-2,175	-2,18	-0,13	-0,13	-1,15
			5,66	3,485	-2,175				
			5,66	3,485	-2,175				
PROVINO 2			5,66	3,73	-1,93	-1,93	-0,13		
			5,66	3,73	-1,93				
			5,66	3,73	-1,93				
PROVINO 1	14/Nov	46	5,665	3,49	-2,175	-2,18	-0,13	-0,13	-1,18
			5,665	3,49	-2,175				
			5,67	3,49	-2,18				
PROVINO 2			5,67	3,73	-1,94	-1,94	-0,14		
			5,67	3,73	-1,94				
			5,67	3,73	-1,94				
PROVINO 1	17/Nov	49	6,49	4,305	-2,185	-2,19	-0,14	-0,14	-1,21
			6,49	4,305	-2,185				
			6,49	4,305	-2,185				
PROVINO 2			6,49	4,55	-1,94	-1,94	-0,14		
			6,49	4,55	-1,94				
			6,49	4,55	-1,94				
PROVINO 1	21/Nov	53	6,55	4,37	-2,18	-2,18	-0,13	-0,14	-1,19
			6,55	4,37	-2,18				
			6,55	4,37	-2,18				
PROVINO 2			6,55	4,61	-1,94	-1,94	-0,14		
			6,55	4,61	-1,94				
			6,55	4,61	-1,94				

PROVINO 1	24/Nov	56	6,55	4,37	-2,18	-2,18	-0,13	-0,14	-1,21
			6,55	4,37	-2,18				
			6,55	4,37	-2,18				
PROVINO 2			6,55	4,605	-1,945	-1,95	-0,15		
			6,55	4,605	-1,945				
			6,55	4,605	-1,945				
PROVINO 1	30/Nov	62	6,61	4,41	-2,2	-2,20	-0,15	-0,16	-1,33
			6,61	4,41	-2,2				
			6,61	4,41	-2,2				
PROVINO 2			6,61	4,65	-1,96	-1,96	-0,16		
			6,615	4,65	-1,965				
			6,615	4,65	-1,965				

- 30%C 70%LC2

	RITIRI LIBERI								
	DATA	GIORNO	RIF.BARRA	PROVINO	RITIRO	MEDIA	D	Dm	e[mm/m]
PROVINO 1	04/Oct	0	3,99	2,255	-1,735	-1,75	0,00	0,00	0,00
			4	2,25	-1,75				
			4	2,25	-1,75				
PROVINO 2			3,99	2,54	-1,45	-1,45	0,00		
			3,99	2,54	-1,45				
			3,99	2,545	-1,445				
PROVINO 1	05/Oct	1	3,975	2,2	-1,775	-1,77	-0,03	-0,02	-0,14
			3,975	2,2	-1,775				
			3,975	2,205	-1,77				
PROVINO 2			3,975	2,51	-1,465	-1,47	-0,02		
			3,975	2,51	-1,465				
			3,975	2,51	-1,465				
PROVINO 1	06/Oct	2	3,99	2,17	-1,82	-1,82	-0,08	-0,05	-0,32
			3,99	2,17	-1,82				
			3,99	2,17	-1,82				
PROVINO 2			3,99	2,515	-1,475	-1,48	-0,03		
			3,99	2,515	-1,475				
			3,99	2,515	-1,475				
PROVINO 1	07/Oct	3	2,48	0,635	-1,845	-1,85	-0,10	-0,10	-0,63
			2,48	0,63	-1,85				
			2,48	0,63	-1,85				
PROVINO 2			2,48	0,935	-1,545	-1,55	-0,10		
			2,48	0,93	-1,55				
			2,48	0,935	-1,545				
PROVINO 1	10/Oct	6	3,985	2,14	-1,845	-1,84	-0,10	-0,12	-0,72
			3,98	2,14	-1,84				
			3,98	2,135	-1,845				
PROVINO 2			3,98	2,4	-1,58	-1,58	-0,13		
			3,98	2,4	-1,58				
			3,98	2,4	-1,58				
PROVINO 1	11/Oct	7	3,94	2,06	-1,88	-1,88	-0,14	-0,13	-0,83
			3,94	2,06	-1,88				
			3,94	2,06	-1,88				
PROVINO 2			3,94	2,36	-1,58	-1,58	-0,13		
			3,94	2,36	-1,58				
			3,94	2,36	-1,58				
PROVINO 1	12/Oct	8	3,98	2,085	-1,895	-1,90	-0,15	-0,15	-0,91
			3,98	2,085	-1,895				
			3,98	2,085	-1,895				
PROVINO 2			3,98	2,39	-1,59	-1,59	-0,14		
			3,98	2,39	-1,59				
			3,98	2,39	-1,59				
PROVINO 1	13/Oct	9	3,96	2,06	-1,9	-1,90	-0,16	-0,16	-0,98
			3,96	2,06	-1,9				
			3,96	2,06	-1,9				
PROVINO 2			3,96	2,35	-1,61	-1,61	-0,16		
			3,96	2,355	-1,605				
			3,96	2,355	-1,605				
PROVINO 1	14/Oct	10	3,955	1,98	-1,975	-1,97	-0,23	-0,22	-1,36
			3,955	1,985	-1,97				
			3,955	1,985	-1,97				
PROVINO 2			3,96	2,3	-1,66	-1,66	-0,21		
			3,96	2,305	-1,655				
			3,96	2,305	-1,655				
PROVINO 1	17/Oct	13	6,565	4,73	-1,835	-1,83	-0,09	-0,08	-0,98
			6,565	4,73	-1,835				
			6,56	4,73	-1,83				
PROVINO 2			6,56	5,03	-1,53	-1,53	-0,08		
			6,56	5,03	-1,53				
			6,56	5,03	-1,53				
PROVINO 1	18/Oct	14	6,65	4,79	-1,86	-1,86	-0,12	-0,11	-1,16
			6,65	4,79	-1,86				
			6,65	4,79	-1,86				
PROVINO 2			6,65	5,09	-1,56	-1,56	-0,11		
			6,65	5,09	-1,56				
			6,65	5,085	-1,565				
PROVINO 1	20/Oct	16	6,565	4,73	-1,835	-1,84	-0,09	-0,10	-1,05
			6,565	4,73	-1,835				
			6,565	4,73	-1,835				
PROVINO 2			6,57	5,02	-1,55	-1,55	-0,10		
			6,57	5,02	-1,55				
			6,57	5,02	-1,55				
PROVINO 1	24/Oct	20	6,57	4,74	-1,83	-1,83	-0,09	-0,09	-1,00
			6,57	4,74	-1,83				
			6,57	4,74	-1,83				
PROVINO 2			6,57	5,03	-1,54	-1,54	-0,09		
			6,57	5,03	-1,54				
			6,57	5,03	-1,54				

PROVINO 1	27/Oct	23	6,57	4,715	-1,855	-1,86	-0,11	-0,11	-1,14
			6,57	4,715	-1,855				
			6,57	4,715	-1,855				
PROVINO 2			6,57	5,01	-1,56	-1,56	-0,11		
			6,57	5,01	-1,56				
			6,565	5,01	-1,555				
PROVINO 1	03/Nov	30	6,445	4,59	-1,855	-1,86	-0,11	-0,11	-1,16
			6,45	4,59	-1,86				
			6,445	4,59	-1,855				
PROVINO 2			6,445	4,885	-1,56	-1,56	-0,12		
			6,45	4,88	-1,57				
			6,445	4,885	-1,56				
PROVINO 1	10/Nov	37	5,66	3,805	-1,855	-1,86	-0,11	-0,11	-1,14
			5,66	3,805	-1,855				
			5,66	3,8	-1,86				
PROVINO 2			5,66	4,1	-1,56	-1,56	-0,11		
			5,66	4,1	-1,56				
			5,66	4,105	-1,555				
PROVINO 1	14/Nov	41	5,665	3,81	-1,855	-1,86	-0,12	-0,11	-1,16
			5,67	3,81	-1,86				
			5,67	3,805	-1,865				
PROVINO 2			5,67	4,105	-1,565	-1,56	-0,11		
			5,665	4,105	-1,56				
			5,67	4,11	-1,56				
PROVINO 1	17/Nov	44	6,49	4,62	-1,87	-1,87	-0,13	-0,12	-1,22
			6,49	4,62	-1,87				
			6,49	4,62	-1,87				
PROVINO 2			6,49	4,92	-1,57	-1,57	-0,12		
			6,49	4,92	-1,57				
			6,49	4,92	-1,57				
PROVINO 1	21/Nov	48	6,55	4,68	-1,87	-1,87	-0,13	-0,12	-1,22
			6,55	4,68	-1,87				
			6,55	4,68	-1,87				
PROVINO 2			6,55	4,98	-1,57	-1,57	-0,12		
			6,55	4,98	-1,57				
			6,55	4,98	-1,57				
PROVINO 1	24/Nov	51	6,55	4,68	-1,87	-1,87	-0,13	-0,12	-1,22
			6,55	4,68	-1,87				
			6,55	4,68	-1,87				
PROVINO 2			6,55	4,98	-1,57	-1,57	-0,12		
			6,55	4,98	-1,57				
			6,55	4,98	-1,57				

PROVINO 1	05/Dec	62	6,615	4,725	-1,89	-1,89	-0,15	-0,15	-1,38
			6,615	4,73	-1,885				
			6,62	4,725	-1,895				
PROVINO 2			6,62	5,02	-1,6	-1,60	-0,15		
			6,62	5,02	-1,6				
			6,62	5,02	-1,6				

- 20%C 80%LC2

	RITIRI LIBERI								
	DATA	GIORNO	RIF.BARRA	PROVINO	RITIRO	MEDIA	D	Dm	ε[mm/m]
PROVINO 1	28/Sep	0	3,85	2,075	-1,775	-1,78	0,00	0,00	0,00
			3,86	2,075	-1,785				
			3,86	2,075	-1,785				
PROVINO 2			3,855	2,42	-1,435	-1,44	0,00		
			3,855	2,415	-1,44				
			3,86	2,41	-1,45				
PROVINO 1	29/Sep	1	3,865	2,03	-1,835	-1,83	-0,05	-0,04	-0,26
			3,865	2,035	-1,83				
			3,865	2,035	-1,83				
PROVINO 2			3,865	2,395	-1,47	-1,47	-0,03		
			3,87	2,395	-1,475				
			3,87	2,395	-1,475				
PROVINO 1	30/Sep	2	3,88	1,98	-1,9	-1,90	-0,12	-0,11	-0,66
			3,88	1,985	-1,895				
			3,88	1,985	-1,895				
PROVINO 2			3,88	2,34	-1,54	-1,54	-0,10		
			3,88	2,345	-1,535				
			3,88	2,345	-1,535				
PROVINO 1	03/Oct	5	3,875	1,92	-1,955	-1,96	-0,17	-0,18	-1,10
			3,875	1,92	-1,955				
			3,875	1,92	-1,955				
PROVINO 2			3,88	2,26	-1,62	-1,62	-0,18		
			3,88	2,26	-1,62				
			3,88	2,26	-1,62				
PROVINO 1	04/Oct	6	3,99	2,02	-1,97	-1,97	-0,19	-0,19	-1,18
			3,99	2,02	-1,97				
			3,99	2,02	-1,97				
PROVINO 2			3,99	2,36	-1,63	-1,63	-0,19		
			3,99	2,36	-1,63				
			3,99	2,36	-1,63				
PROVINO 1	05/Oct	7	3,97	1,99	-1,98	-1,98	-0,20	-0,20	-1,24
			3,97	1,99	-1,98				
			3,97	1,99	-1,98				
PROVINO 2			3,97	2,33	-1,64	-1,64	-0,20		
			3,97	2,33	-1,64				
			3,97	2,33	-1,64				
PROVINO 1	06/Oct	8	3,985	2	-1,985	-1,99	-0,20	-0,20	-1,24
			3,985	2	-1,985				
			3,985	2	-1,985				
PROVINO 2			3,985	2,35	-1,635	-1,64	-0,19		
			3,985	2,35	-1,635				
			3,985	2,35	-1,635				
PROVINO 1	07/Oct	9	2,48	0,51	-1,97	-1,97	-0,19	-0,19	-1,21
			2,48	0,51	-1,97				
			2,48	0,51	-1,97				
PROVINO 2			2,48	0,84	-1,64	-1,64	-0,20		
			2,48	0,84	-1,64				
			2,48	0,84	-1,64				
PROVINO 1	10/Oct	12	3,98	1,985	-1,995	-2,00	-0,21	-0,21	-1,32
			3,98	1,985	-1,995				
			3,98	1,985	-1,995				
PROVINO 2			3,975	2,33	-1,645	-1,65	-0,21		
			3,98	2,33	-1,65				
			3,98	2,325	-1,655				
PROVINO 1	13/Oct	15	3,965	1,95	-2,015	-2,02	-0,24	-0,24	-1,48
			3,97	1,95	-2,02				
			3,97	1,95	-2,02				
PROVINO 2			3,97	2,29	-1,68	-1,68	-0,24		
			3,97	2,29	-1,68				
			3,97	2,29	-1,68				
PROVINO 1	17/Oct	19	6,56	4,63	-1,93	-1,93	-0,15	-0,15	-1,38
			6,56	4,63	-1,93				
			6,56	4,63	-1,93				
PROVINO 2			6,56	4,97	-1,59	-1,59	-0,15		
			6,56	4,97	-1,59				
			6,56	4,97	-1,59				
PROVINO 1	18/Oct	20	6,56	4,62	-1,94	-1,94	-0,16	-0,16	-1,44
			6,56	4,625	-1,935				
			6,56	4,62	-1,94				
PROVINO 2			6,56	4,955	-1,605	-1,60	-0,16		
			6,56	4,96	-1,6				
			6,56	4,96	-1,6				
PROVINO 1	20/Oct	22	6,57	4,635	-1,935	-1,94	-0,15	-0,16	-1,42
			6,57	4,635	-1,935				
			6,57	4,635	-1,935				
PROVINO 2			6,57	4,97	-1,6	-1,60	-0,16		
			6,57	4,97	-1,6				
			6,57	4,97	-1,6				
PROVINO 1	24/Oct	26	6,57	4,64	-1,93	-1,93	-0,15	-0,15	-1,41
			6,57	4,64	-1,93				
			6,57	4,64	-1,93				
PROVINO 2			6,57	4,97	-1,6	-1,60	-0,16		
			6,57	4,97	-1,6				
			6,57	4,97	-1,6				
PROVINO 1	27/Oct	29	6,565	6,62	-0,055	-0,06	-0,16	-0,16	-1,45
			6,565	6,625	-0,06				
			6,565	6,625	-0,06				
PROVINO 2			6,565	4,96	-1,605	-1,61	-0,16		
			6,565	4,96	-1,605				
			6,565	4,96	-1,605				

PROVINO 1	03/Nov	36	6,445	4,505	-1,94	-1,94	-0,16	-0,17	-1,48
			6,445	4,505	-1,94				
			6,445	4,505	-1,94				
PROVINO 2			6,445	4,835	-1,61	-1,61	-0,17		
			6,45	4,835	-1,615				
			6,45	4,835	-1,615				
PROVINO 1	10/Nov	42	5,66	3,72	-1,94	-1,94	-0,16	-0,16	-1,43
			5,66	3,72	-1,94				
			5,66	3,72	-1,94				
PROVINO 2			5,66	4,065	-1,595	-1,60	-0,16		
			5,66	4,065	-1,595				
			5,66	4,06	-1,6				
PROVINO 1	14/Nov	46	5,67	3,725	-1,945	-1,94	-0,16	-0,16	-1,45
			5,67	3,725	-1,945				
			5,67	3,73	-1,94				
PROVINO 2			5,67	4,07	-1,6	-1,60	-0,16		
			5,67	4,07	-1,6				
			5,67	4,07	-1,6				
PROVINO 1	17/Nov	49	6,49	4,55	-1,94	-1,94	-0,16	-0,17	-1,48
			6,49	4,545	-1,945				
			6,49	4,545	-1,945				
PROVINO 2			6,49	4,88	-1,61	-1,61	-0,17		
			6,49	4,88	-1,61				
			6,49	4,88	-1,61				
PROVINO 1	21/Nov	53	6,55	4,61	-1,94	-1,94	-0,16	-0,17	-1,48
			6,55	4,61	-1,94				
			6,55	4,605	-1,945				
PROVINO 2			6,55	5,095	-1,455	-1,46	-0,17		
			6,55	5,095	-1,455				
			6,55	5,095	-1,455				
PROVINO 1	24/Nov	56	6,55	4,605	-1,945	-1,95	-0,16	-0,16	-1,47
			6,55	4,605	-1,945				
			6,55	4,605	-1,945				
PROVINO 2			6,55	4,945	-1,605	-1,61	-0,16		
			6,55	4,945	-1,605				
			6,55	4,945	-1,605				
PROVINO 1	30/Nov	62	6,62	4,65	-1,97	-1,97	-0,19	-0,11	-1,14
			6,62	4,65	-1,97				
			6,625	4,655	-1,97				
PROVINO 2			6,625	5,15	-1,475	-1,48	-0,03		
			6,625	5,15	-1,475				
			6,625	5,15	-1,475				

- 10%C 90%LC2

	RITIRI LIBERI								
	DATA	GIORNO	RIF.BARRA	PROVINO	RITIRO	MEDIA	D	Dm	ε[mm/m]
PROVINO 1	11/Oct	0	3,94	1,88	-2,06	-2,07	0,00	0,00	0,00
			3,94	1,875	-2,065				
			3,94	1,87	-2,07				
PROVINO 2			3,94	2,04	-1,9	-1,90	0,00		
			3,94	2,04	-1,9				
			3,94	2,04	-1,9				
PROVINO 1	12/Oct	1	3,975	1,36	-2,615	-2,62	-0,55	-0,52	-3,26
			3,98	1,36	-2,62				
			3,98	1,36	-2,62				
PROVINO 2			3,98	1,59	-2,39	-2,39	-0,49		
			3,98	1,59	-2,39				
			3,98	1,59	-2,39				
PROVINO 1	13/Oct	2	3,95	1,32	-2,63	-2,63	-0,57	-0,53	-3,34
			3,95	1,32	-2,63				
			3,95	1,32	-2,63				
PROVINO 2			3,95	1,55	-2,4	-2,40	-0,50		
			3,955	1,55	-2,405				
			3,955	1,55	-2,405				
PROVINO 1	14/Oct	3	3,95	1,29	-2,66	-2,66	-0,59	-0,57	-3,56
			3,95	1,295	-2,655				
			3,95	1,295	-2,655				
PROVINO 2			3,95	1,5	-2,45	-2,45	-0,55		
			3,95	1,505	-2,445				
			3,95	1,505	-2,445				
PROVINO 1	17/Oct	6	6,56	3,93	-2,63	-2,63	-0,56	-0,53	-3,29
			6,56	3,935	-2,625				
			6,56	3,935	-2,625				
PROVINO 2			6,56	4,17	-2,39	-2,39	-0,49		
			6,56	4,17	-2,39				
			6,56	4,17	-2,39				
PROVINO 1	18/Oct	7	6,56	3,92	-2,64	-2,64	-0,58	-0,54	-3,35
			6,56	3,92	-2,64				
			6,56	3,92	-2,64				
PROVINO 2			6,56	4,16	-2,4	-2,40	-0,50		
			6,56	4,165	-2,395				
			6,56	4,16	-2,4				
PROVINO 1	19/Oct	8	6,56	3,905	-2,655	-2,65	-0,59	-0,55	-3,42
			6,56	3,91	-2,65				
			6,56	3,91	-2,65				
PROVINO 2			6,56	4,155	-2,405	-2,41	-0,51		
			6,56	4,15	-2,41				
			6,56	4,15	-2,41				

PROVINO 1	20/Oct	9	6,57	3,925	-2,645	-2,65	-0,58	-0,55	-3,46
			6,57	3,92	-2,65				
			6,57	3,92	-2,65				
PROVINO 2			6,57	4,145	-2,425	-2,43	-0,53		
			6,57	4,145	-2,425				
			6,57	4,145	-2,425				
PROVINO 1	24/Oct	13	6,575	3,92	-2,655	-2,66	-0,59	-0,56	-3,49
			6,575	3,92	-2,655				
			6,575	3,92	-2,655				
PROVINO 2			6,575	4,15	-2,425	-2,43	-0,53		
			6,575	4,15	-2,425				
			6,58	4,15	-2,43				
PROVINO 1	27/Oct	16	6,565	3,92	-2,645	-2,64	-0,58	-0,55	-3,43
			6,56	3,92	-2,64				
			6,56	3,92	-2,64				
PROVINO 2			6,565	4,145	-2,42	-2,42	-0,52		
			6,565	4,145	-2,42				
			6,565	4,145	-2,42				
PROVINO 1	03/Nov	23	6,445	3,79	-2,655	-2,66	-0,59	-0,56	-3,51
			6,45	3,79	-2,66				
			6,45	3,79	-2,66				
PROVINO 2			6,45	4,02	-2,43	-2,43	-0,53		
			6,445	4,02	-2,425				
			6,45	4,02	-2,43				
PROVINO 1	10/Nov	30	5,66	3,025	-2,635	-2,64	-0,57	-0,54	-3,39
			5,66	3,025	-2,635				
			5,66	3,025	-2,635				
PROVINO 2			5,66	3,245	-2,415	-2,42	-0,52		
			5,66	3,245	-2,415				
			5,66	3,245	-2,415				
PROVINO 1	14/Nov	34	5,66	3,02	-2,64	-2,64	-0,58	-0,55	-3,43
			5,665	3,025	-2,64				
			5,66	3,02	-2,64				
PROVINO 2			5,66	3,245	-2,415	-2,42	-0,52		
			5,665	3,24	-2,425				
			5,665	3,24	-2,425				
PROVINO 1	17/Nov	37	6,49	3,84	-2,65	-2,65	-0,59	-0,56	-3,47
			6,49	3,84	-2,65				
			6,49	3,84	-2,65				
PROVINO 2			6,49	4,065	-2,425	-2,43	-0,53		
			6,49	4,065	-2,425				
			6,49	4,065	-2,425				
PROVINO 1	21/Nov	41	6,55	3,9	-2,65	-2,65	-0,59	-0,55	-3,46
			6,55	3,9	-2,65				
			6,55	3,9	-2,65				
PROVINO 2			6,55	4,13	-2,42	-2,42	-0,52		
			6,55	4,125	-2,425				
			6,55	4,125	-2,425				
PROVINO 1	24/Nov	44	6,55	3,9	-2,65	-2,65	-0,59	-0,56	-3,47
			6,55	3,9	-2,65				
			6,55	3,9	-2,65				
PROVINO 2			6,55	4,125	-2,425	-2,43	-0,53		
			6,55	4,125	-2,425				
			6,55	4,125	-2,425				
PROVINO 1	05/Dec	55	6,625	3,95	-2,675	-2,68	-0,61	-0,58	-3,64
			6,625	3,95	-2,675				
			6,625	3,95	-2,675				
PROVINO 2			6,63	4,18	-2,45	-2,46	-0,56		
			6,63	4,175	-2,455				
			6,64	4,18	-2,46				
PROVINO 1	12/Dec	62	6,625	3,95	-2,675	-2,68	-0,61	-0,58	-3,64
			6,625	3,95	-2,675				
			6,625	3,95	-2,675				
PROVINO 2			6,63	4,18	-2,45	-2,46	-0,56		
			6,63	4,175	-2,455				
			6,64	4,18	-2,46				

RITIRI VINCOLATI

- 50%C 50%LC2

	RITIRI VINCOLATI								
	DATA	GIORNO	RIF.BARRA	PROVINO	RITIRO	MEDIA	D	Dm	ε[mm/m]
PROVINO 1	27/Sep	0	6,6	7,725	-1,125	-1,13	0,00	0,00	0
			6,6	7,725	-1,125				
			6,6	7,725	-1,125				
PROVINO 2			6,6	5,21	1,39	1,39	0,00		
			6,6	5,21	1,39				
			6,6	5,21	1,39				
PROVINO 1	28/Sep	1	5,605	6,69	-1,085	-1,09	0,04	-0,07	-0,46
			5,605	6,69	-1,085				
			5,605	6,69	-1,085				
PROVINO 2			5,605	4,405	1,2	1,20	-0,19		
			5,605	4,4	1,205				
			5,605	4,4	1,205				
PROVINO 1	29/Sep	2	5,61	6,68	-1,07	-1,07	0,06	-0,05	-0,31
			5,61	6,68	-1,07				
			5,61	6,68	-1,07				
PROVINO 2			5,61	4,375	1,235	1,24	-0,15		
			5,61	4,375	1,235				
			5,61	4,375	1,235				
PROVINO 1	30/Sep	3	5,6	6,69	-1,09	-1,09	0,03	-0,05	-0,33
			5,6	6,695	-1,095				
			5,6	6,69	-1,09				
PROVINO 2			5,6	4,35	1,25	1,25	-0,14		
			5,6	4,35	1,25				
			5,6	4,35	1,25				
PROVINO 1	03/Oct	6	5,55	6,63	-1,08	-1,08	0,04	-0,05	-0,30
			5,55	6,63	-1,08				
			5,55	6,63	-1,08				
PROVINO 2			5,56	4,31	1,25	1,25	-0,14		
			5,56	4,31	1,25				
			5,56	4,315	1,245				
PROVINO 1	04/Oct	7	5,55	6,61	-1,06	-1,06	0,06	-0,03	-0,20
			5,55	6,61	-1,06				
			5,55	6,61	-1,06				
PROVINO 2			5,55	4,29	1,26	1,26	-0,13		
			5,55	4,29	1,26				
			5,55	4,29	1,26				
PROVINO 1	05/Oct	8	5,6	6,68	-1,08	-1,08	0,05	-0,05	-0,29
			5,6	6,675	-1,075				
			5,6	6,675	-1,075				
PROVINO 2			5,6	4,35	1,25	1,25	-0,14		
			5,6	4,35	1,25				
			5,6	4,35	1,25				

PROVINO 1	06/Oct	9	5,605	6,675	-1,07	-1,07	0,06	-0,04	-0,27
			5,605	6,675	-1,07				
			5,605	6,675	-1,07				
PROVINO 2			5,605	4,355	1,25	1,25	-0,14		
			5,605	4,355	1,25				
			5,605	4,355	1,25				
PROVINO 1	07/Oct	10	5,61	6,68	-1,07	-1,07	0,06	-0,04	-0,27
			5,61	6,68	-1,07				
			5,61	6,68	-1,07				
PROVINO 2			5,61	4,36	1,25	1,25	-0,14		
			5,605	4,36	1,245				
			5,61	4,36	1,25				
PROVINO 1	13/Oct	16	5,6	6,67	-1,07	-1,07	0,06	-0,04	-0,26
			5,6	6,665	-1,065				
			5,6	6,665	-1,065				
PROVINO 2			5,6	4,35	1,25	1,25	-0,14		
			5,6	4,35	1,25				
			5,6	4,35	1,25				
PROVINO 1	17/Oct	17	5,61	6,67	-1,06	-1,06	0,07	-0,03	-0,19
			5,61	6,67	-1,06				
			5,61	6,67	-1,06				
PROVINO 2			5,61	4,34	1,27	1,27	-0,12		
			5,61	4,35	1,26				
			5,61	4,345	1,265				
PROVINO 1	18/Oct	18	5,61	6,66	-1,05	-1,05	0,08	-0,02	-0,10
			5,61	6,655	-1,045				
			5,61	6,655	-1,045				
PROVINO 2			5,61	4,33	1,28	1,28	-0,11		
			5,61	4,33	1,28				
			5,61	4,33	1,28				
PROVINO 1	20/Oct	19	5,58	6,65	-1,07	-1,07	0,06	-0,03	-0,19
			5,58	6,645	-1,065				
			5,58	6,645	-1,065				
PROVINO 2			5,58	4,31	1,27	1,27	-0,12		
			5,58	4,31	1,27				
			5,58	4,31	1,27				
PROVINO 1	24/Oct	23	5,58	6,45	-0,87	-1,00	0,13	0,00	-0,17
			5,58	6,64	-1,06				
			5,58	6,645	-1,065				
PROVINO 2			5,58	4,31	1,27	1,27	-0,12		
			5,58	4,31	1,27				
			5,58	4,31	1,27				
PROVINO 1	27/Oct	26	5,58	6,64	-1,06	-1,06	0,07	-0,02	-0,14
			5,58	6,64	-1,06				
			5,58	6,64	-1,06				
PROVINO 2			5,58	4,3	1,28	1,28	-0,11		
			5,58	4,3	1,28				
			5,58	4,3	1,28				

PROVINO 1	03/Nov	33	5,575	6,64	-1,065	-1,06	0,06	-0,02	-0,14
			5,575	6,635	-1,06				
			5,58	6,64	-1,06				
PROVINO 2			5,58	4,295	1,285	1,28	-0,11		
			5,58	4,295	1,285				
			5,58	4,3	1,28				
PROVINO 1	10/Nov	40	5,58	6,64	-1,06	-1,06	0,07	-0,03	-0,17
			5,58	6,64	-1,06				
			5,58	6,64	-1,06				
PROVINO 2			5,58	4,31	1,27	1,27	-0,12		
			5,58	4,31	1,27				
			5,58	4,31	1,27				
PROVINO 1	14/Nov	44	5,58	6,645	-1,065	-1,07	0,06	-0,03	-0,18
			5,58	6,645	-1,065				
			5,58	6,645	-1,065				
PROVINO 2			5,58	4,31	1,27	1,27	-0,12		
			5,58	4,31	1,27				
			5,58	4,305	1,275				
PROVINO 1	17/Nov	47	5,58	6,63	-1,05	-1,05	0,07	-0,01	-0,19
			5,58	6,635	-1,055				
			5,58	6,63	-1,05				
PROVINO 2			5,58	4,29	1,29	1,29	-0,10		
			5,58	4,29	1,29				
			5,58	4,295	1,285				
PROVINO 1	21/Nov	51	5,6	6,66	-1,06	-1,06	0,06	-0,02	-0,15
			5,6	6,66	-1,06				
			5,6	6,66	-1,06				
PROVINO 2			5,6	4,32	1,28	1,28	-0,11		
			5,6	4,325	1,275				
			5,6	4,325	1,275				
PROVINO 1	24/Nov	54	5,6	6,665	-1,065	-1,06	0,06	-0,02	-0,15
			5,6	6,66	-1,06				
			5,6	6,665	-1,065				
PROVINO 2			5,6	4,32	1,28	1,28	-0,11		
			5,6	4,32	1,28				
			5,6	4,32	1,28				
PROVINO 1	02/Dec	62	5,56	6,62	-1,06	-1,06	0,06	-0,02	-0,11
			5,56	6,62	-1,06				
			5,56	6,62	-1,06				
PROVINO 2			5,56	4,27	1,29	1,29	-0,10		
			5,56	4,27	1,29				
			5,56	4,27	1,29				

- 40%C 60%LC2

	RITIRI VINCOLATI								
	DATA	GIORNO	RIF.BARRA	PROVINO	RITIRO	MEDIA	D	Dm	ε[mm/m]
PROVINO 1	28/Sep	0	5,605	5,39	-0,22	-0,22	0,00	0,00	0,00
			5,605	5,39	-0,22				
			5,605	5,39	-0,22				
PROVINO 2			5,605	8,095	2,49	2,49	0,00		
			5,605	8,095	2,49				
			5,605	8,095	2,49				
PROVINO 1	29/Sep	1	5,61	5,38	-0,23	-0,23	-0,01	-0,01	-0,08
			5,61	5,38	-0,23				
			5,61	5,38	-0,23				
PROVINO 2			5,61	8,09	2,48	2,48	-0,01		
			5,61	8,09	2,48				
			5,61	8,09	2,48				
PROVINO 1	30/Sep	2	5,6	5,355	-0,24	-0,24	-0,03	-0,03	-0,20
			5,6	5,355	-0,24				
			5,6	5,355	-0,24				
PROVINO 2			5,605	8,06	2,46	2,46	-0,04		
			5,605	8,06	2,46				
			5,605	8,06	2,46				
PROVINO 1	03/Oct	5	5,56	5,27	-0,29	-0,29	-0,07	-0,07	-0,43
			5,56	5,27	-0,29				
			5,56	5,275	-0,28				
PROVINO 2			5,56	7,985	2,43	2,43	-0,06		
			5,56	7,985	2,43				
			5,56	7,99	2,43				
PROVINO 1	04/Oct	6	5,6	5,21	-0,39	-0,39	-0,17	-0,17	-1,09
			5,6	5,21	-0,39				
			5,6	5,21	-0,39				
PROVINO 2			5,6	7,92	2,32	2,32	-0,17		
			5,6	7,915	2,32				
			5,6	7,915	2,32				
PROVINO 1	05/Oct	7	5,6	5,315	-0,28	-0,28	-0,07	-0,07	-0,44
			5,6	5,315	-0,28				
			5,6	5,315	-0,28				
PROVINO 2			5,6	8,02	2,42	2,42	-0,07		
			5,6	8,02	2,42				
			5,6	8,02	2,42				
PROVINO 1	06/Oct	8	5,61	5,31	-0,30	-0,30	-0,09	-0,08	-0,52
			5,61	5,31	-0,30				
			5,61	5,31	-0,30				
PROVINO 2			5,61	8,02	2,41	2,41	-0,08		
			5,61	8,02	2,41				
			5,61	8,02	2,41				

PROVINO 1	07/Oct	9	5,61	5,32	-0,29	-0,29	-0,07	-0,07	-0,44
			5,605	5,32	-0,29				
			5,605	5,32	-0,29				
PROVINO 2			5,605	8,025	2,42	2,42	-0,07		
			5,605	8,025	2,42				
			5,605	8,025	2,42				
PROVINO 1	10/Oct	12	5,61	5,31	-0,30	-0,30	-0,09	-0,09	-0,55
			5,61	5,31	-0,30				
			5,61	5,31	-0,30				
PROVINO 2			5,61	8,01	2,40	2,40	-0,09		
			5,61	8,01	2,40				
			5,61	8,01	2,40				
PROVINO 1	13/Oct	15	5,6	5,31	-0,29	-0,29	-0,07	-0,57	-0,57
			5,6	5,31	-0,29				
			5,6	5,31	-0,29				
PROVINO 2			5,6	7,02	1,42	1,42	-1,07		
			5,6	7,02	1,42				
			5,6	7,02	1,42				
PROVINO 1	17/Oct	19	5,61	5,32	-0,29	-0,29	-0,07	-0,08	-0,47
			5,61	5,32	-0,29				
			5,61	5,32	-0,29				
PROVINO 2			5,61	8,025	2,42	2,41	-0,08		
			5,61	8,025	2,42				
			5,61	8,02	2,41				
PROVINO 1	18/Oct	20	5,61	5,31	-0,30	-0,30	-0,09	-0,09	-0,56
			5,61	5,305	-0,31				
			5,61	5,305	-0,31				
PROVINO 2			5,61	8,01	2,40	2,40	-0,09		
			5,61	8,01	2,40				
			5,61	8,01	2,40				
PROVINO 1	20/Oct	22	5,58	5,29	-0,29	-0,29	-0,07	-0,08	-0,48
			5,58	5,29	-0,29				
			5,58	5,29	-0,29				
PROVINO 2			5,58	7,99	2,41	2,41	-0,08		
			5,58	7,99	2,41				
			5,58	7,99	2,41				
PROVINO 1	24/Oct	26	5,58	5,29	-0,29	-0,29	-0,07	-0,08	-0,48
			5,58	5,29	-0,29				
			5,58	5,29	-0,29				
PROVINO 2			5,58	7,99	2,41	2,41	-0,08		
			5,58	7,99	2,41				
			5,58	7,99	2,41				
PROVINO 1	27/Oct	29	5,58	5,29	-0,29	-0,29	-0,07	-0,08	-0,48
			5,58	5,29	-0,29				
			5,58	5,29	-0,29				
PROVINO 2			5,58	7,99	2,41	2,41	-0,08		
			5,58	7,99	2,41				
			5,58	7,99	2,41				
PROVINO 1	03/Nov	36	5,58	5,28	-0,30	-0,30	-0,08	-0,09	-0,54
			5,58	5,28	-0,30				
			5,58	5,28	-0,30				
PROVINO 2			5,58	7,98	2,40	2,40	-0,09		
			5,58	7,98	2,40				
			5,58	7,985	2,41				
PROVINO 1	10/Nov	42	5,58	5,29	-0,29	-0,29	-0,07	-0,08	-0,48
			5,58	5,29	-0,29				
			5,58	5,295	-0,29				
PROVINO 2			5,58	7,99	2,41	2,41	-0,08		
			5,58	7,99	2,41				
			5,58	7,99	2,41				
PROVINO 1	14/Nov	46	5,58	5,3	-0,28	-0,28	-0,06	-0,07	-0,44
			5,58	5,3	-0,28				
			5,58	5,3	-0,28				
PROVINO 2			5,58	7,995	2,42	2,42	-0,08		
			5,58	7,995	2,42				
			5,58	7,995	2,42				
PROVINO 1	17/Nov	49	5,58	5,285	-0,30	-0,30	-0,08	-0,08	-0,50
			5,58	5,285	-0,30				
			5,58	5,285	-0,30				
PROVINO 2			5,58	7,99	2,41	2,41	-0,08		
			5,58	7,99	2,41				
			5,58	7,99	2,41				
PROVINO 1	21/Nov	53	5,6	5,32	-0,28	-0,28	-0,06	-0,07	-0,42
			5,6	5,32	-0,28				
			5,6	5,32	-0,28				
PROVINO 2			5,6	8,02	2,42	2,42	-0,07		
			5,6	8,02	2,42				
			5,6	8,02	2,42				
PROVINO 1	24/Nov	56	5,6	5,315	-0,28	-0,28	-0,07	-0,07	-0,44
			5,6	5,315	-0,28				
			5,6	5,315	-0,28				
PROVINO 2			5,6	8,02	2,42	2,42	-0,07		
			5,6	8,02	2,42				
			5,6	8,02	2,42				
PROVINO 1	30/Nov	62	5,56	5,265	-0,30	-0,30	-0,08	-0,08	-0,49
			5,56	5,265	-0,30				
			5,56	5,265	-0,30				
PROVINO 2			5,56	7,975	2,42	2,41	-0,08		
			5,56	7,97	2,41				
			5,56	7,97	2,41				

- 30%C 70%LC2

	RITIRI VINCOLATI								
	DATA	GIORNO	RIF.BARRA	PROVINO	RITIRO	MEDIA	D	Dm	ε[mm/m]
PROVINO 1	04/Oct	0	5,6	4,34	-1,26	-1,26	0,00	0,00	0,00
			5,6	4,34	-1,26				
			5,6	4,34	-1,26				
PROVINO 2			5,6	5,59	0,01	0,01	0,00		
			5,6	5,59	0,01				
			5,6	5,595	0,005				
PROVINO 1	05/Oct	1	5,605	4,4	-1,205	-1,21	-2,47	-1,25	-1,25
			5,605	4,4	-1,205				
			5,605	4,4	-1,205				
PROVINO 2			5,61	5,64	-0,03	-0,03	-0,02		
			5,61	5,645	-0,035				
			5,61	5,645	-0,035				
PROVINO 1	06/Oct	2	5,61	4,39	-1,22	-1,22	-2,48	-1,24	-1,24
			5,61	4,39	-1,22				
			5,61	4,39	-1,22				
PROVINO 2			5,61	5,62	-0,01	-0,01	0,00		
			5,61	5,62	-0,01				
			5,61	5,62	-0,01				
PROVINO 1	07/Oct	3	5,61	4,38	-1,23	-1,23	-2,49	-1,37	-1,37
			5,605	4,38	-1,225				
			5,605	4,38	-1,225				
PROVINO 2			5,605	5,35	-0,255	-0,26	-0,25		
			5,61	5,35	-0,26				
			5,605	5,35	-0,255				
PROVINO 1	10/Oct	6	5,61	4,38	-1,23	-1,23	-2,49	-1,37	-1,37
			5,61	4,38	-1,23				
			5,61	4,38	-1,23				
PROVINO 2			5,61	5,35	-0,26	-0,26	-0,25		
			5,61	5,35	-0,26				
			5,61	5,35	-0,26				
PROVINO 1	11/Oct	7	5,61	4,39	-1,22	-1,22	-2,48	-1,36	-1,36
			5,61	4,39	-1,22				
			5,61	4,39	-1,22				
PROVINO 2			5,61	5,35	-0,26	-0,26	-0,25		
			5,61	5,355	-0,255				
			5,61	5,355	-0,255				
PROVINO 1	12/Oct	8	5,595	4,395	-1,2	-1,20	-2,46	-1,35	-1,35
			5,595	4,395	-1,2				
			5,595	4,395	-1,2				
PROVINO 2			5,595	5,35	-0,245	-0,25	-0,24		
			5,595	5,35	-0,245				
			5,595	5,35	-0,245				

PROVINO 1	13/Oct	9	5,6	4,38	-1,22	-1,22	-2,48	-1,37	-1,37
			5,6	4,38	-1,22				
			5,6	4,38	-1,22				
PROVINO 2			5,6	5,33	-0,27	-0,27	-0,26		
			5,6	5,33	-0,27				
			5,6	5,33	-0,27				
PROVINO 1	14/Oct	10	5,6	4,37	-1,23	-1,23	-2,49	-1,39	-1,39
			5,6	4,37	-1,23				
			5,6	4,37	-1,23				
PROVINO 2			5,6	5,31	-0,29	-0,29	-0,28		
			5,6	5,31	-0,29				
			5,6	5,31	-0,29				
PROVINO 1	17/Oct	13	5,61	4,39	-1,22	-1,22	-2,48	-1,37	-1,37
			5,61	4,39	-1,22				
			5,61	4,39	-1,22				
PROVINO 2			5,61	5,345	-0,265	-0,26	-0,26		
			5,61	5,345	-0,265				
			5,61	5,35	-0,26				
PROVINO 1	18/Oct	14	5,61	4,375	-1,235	-1,24	-2,50	-1,38	-1,38
			5,61	4,375	-1,235				
			5,61	4,375	-1,235				
PROVINO 2			5,61	5,34	-0,27	-0,27	-0,26		
			5,61	5,34	-0,27				
			5,61	5,335	-0,275				
PROVINO 1	20/Oct	16	5,58	4,35	-1,23	-1,23	-2,49	-1,38	-1,38
			5,58	4,35	-1,23				
			5,58	4,35	-1,23				
PROVINO 2			5,58	5,31	-0,27	-0,27	-0,27		
			5,58	5,305	-0,275				
			5,58	5,305	-0,275				
PROVINO 1	24/Oct	20	5,58	4,35	-1,23	-1,23	-2,49	-1,38	-1,38
			5,58	4,35	-1,23				
			5,58	4,35	-1,23				
PROVINO 2			5,58	5,31	-0,27	-0,27	-0,26		
			5,58	5,31	-0,27				
			5,58	5,31	-0,27				
PROVINO 1	27/Oct	23	5,58	4,35	-1,23	-1,23	-2,49	-1,37	-1,37
			5,58	4,35	-1,23				
			5,58	4,35	-1,23				
PROVINO 2			5,58	5,32	-0,26	-0,26	-0,25		
			5,58	5,32	-0,26				
			5,58	5,32	-0,26				
PROVINO 1	03/Nov	30	5,575	4,35	-1,225	-1,23	-2,49	-1,38	-1,38
			5,58	4,35	-1,23				
			5,58	4,35	-1,23				
PROVINO 2			5,58	5,3	-0,28	-0,28	-0,27		
			5,58	5,305	-0,275				
			5,58	5,305	-0,275				
PROVINO 1	10/Nov	37	5,575	4,35	-1,225	-1,22	-2,48	-1,37	-1,37
			5,575	4,35	-1,225				
			5,575	4,355	-1,22				
PROVINO 2			5,575	5,31	-0,265	-0,26	-0,26		
			5,575	5,315	-0,26				
			5,575	5,31	-0,265				
PROVINO 1	14/Nov	41	5,58	4,36	-1,22	-1,22	-2,48	-1,37	-1,37
			5,58	4,36	-1,22				
			5,58	4,36	-1,22				
PROVINO 2			5,58	5,32	-0,26	-0,26	-0,25		
			5,58	5,325	-0,255				
			5,58	5,32	-0,26				
PROVINO 1	17/Nov	44	5,58	4,35	-1,23	-1,23	-2,49	-1,37	-1,37
			5,58	4,355	-1,225				
			5,58	4,355	-1,225				
PROVINO 2			5,58	5,32	-0,26	-0,26	-0,25		
			5,58	5,315	-0,265				
			5,58	5,32	-0,26				
PROVINO 1	21/Nov	48	5,6	4,38	-1,22	-1,22	-2,48	-1,37	-1,37
			5,6	4,38	-1,22				
			5,6	4,38	-1,22				
PROVINO 2			5,6	5,34	-0,26	-0,26	-0,25		
			5,6	5,34	-0,26				
			5,6	5,34	-0,26				
PROVINO 1	24/Nov	51	5,6	4,38	-1,22	-1,22	-2,48	-1,37	-1,37
			5,6	4,38	-1,22				
			5,6	4,38	-1,22				
PROVINO 2			5,6	5,34	-0,26	-0,26	-0,25		
			5,6	5,34	-0,26				
			5,6	5,335	-0,265				
PROVINO 1	05/Dec	62	5,56	4,33	-1,23	-1,23	-2,49	-1,38	-1,38
			5,56	4,33	-1,23				
			5,56	4,33	-1,23				
PROVINO 2			5,56	5,285	-0,275	-0,28	-0,27		
			5,56	5,28	-0,28				
			5,56	5,28	-0,28				

- 20%C 80%LC2

	RITIRI VINCOLATI								
	DATA	GIORNO	RIF.BARRA	PROVINO	RITIRO	MEDIA	D	Dm	ε[mm/m]
PROVINO 1	28/Sep	0	5,605	2,95	-2,655	-2,66	0,00	0,00	0,00
			5,605	2,94	-2,665				
			5,605	2,935	-2,67				
PROVINO 2			5,605	3,2	-2,405	-2,41	0,00		
			5,605	3,2	-2,405				
			5,605	3,2	-2,405				
PROVINO 1	29/Sep	1	5,61	2,95	-2,66	-2,66	0,00	0,00	-0,02
			5,61	2,95	-2,66				
			5,61	2,95	-2,66				
PROVINO 2			5,61	3,21	-2,4	-2,40	0,00		
			5,61	3,205	-2,405				
			5,61	3,205	-2,405				
PROVINO 1	30/Sep	2	5,6	2,95	-2,65	-2,65	0,01	0,02	-0,09
			5,6	2,95	-2,65				
			5,6	2,95	-2,65				
PROVINO 2			5,6	3,21	-2,39	-2,39	0,02		
			5,6	3,215	-2,385				
			5,6	3,21	-2,39				
PROVINO 1	03/Oct	5	5,56	2,91	-2,65	-2,65	0,01	0,01	-0,11
			5,56	2,905	-2,655				
			5,56	2,905	-2,655				
PROVINO 2			5,56	3,165	-2,395	-2,40	0,01		
			5,56	3,16	-2,4				
			5,56	3,16	-2,4				
PROVINO 1	04/Oct	6	5,55	2,89	-2,66	-2,69	-0,03	-0,04	-0,23
			5,6	2,89	-2,71				
			5,6	2,89	-2,71				
PROVINO 2			5,6	3,15	-2,45	-2,45	-0,04		
			5,6	3,15	-2,45				
			5,6	3,15	-2,45				
PROVINO 1	05/Oct	7	5,605	2,95	-2,655	-2,66	0,01	0,01	-0,25
			5,6	2,945	-2,655				
			5,6	2,945	-2,655				
PROVINO 2			5,6	3,2	-2,4	-2,40	0,01		
			5,6	3,2	-2,4				
			5,6	3,2	-2,4				
PROVINO 1	06/Oct	8	5,605	2,95	-2,655	-2,66	0,01	0,00	-0,25
			5,605	2,95	-2,655				
			5,605	2,95	-2,655				
PROVINO 2			5,605	3,2	-2,405	-2,41	0,00		
			5,605	3,2	-2,405				
			5,605	3,2	-2,405				

- NaOH

PROVINO 1	04/Oct	0	5,6	4,76	-0,84	-0,84	0,00	0,00	0
			5,6	4,765	-0,835				
			5,6	4,765	-0,835				
PROVINO 2			5,65	5,31	-0,34	-0,34	0,00		
			5,65	5,31	-0,34				
			5,65	5,31	-0,34				

- SS

PROVINO 1	05/Oct	0	5,605	3,3	-2,305	-2,31	0,00	0,00	0
			5,605	3,3	-2,305				
			5,605	3,3	-2,305				
PROVINO 2			5,61	2,16	-3,45	-3,45	0,00		
			5,61	2,155	-3,455				
			5,61	2,155	-3,455				

% PERDITA ACQUA RITIRO LIBERO

- 50%C 50%LC2

	PERDITA ACQUA			
	GIORNO	PESO	MEDIA	Δm%
PROVINO 1				
PROVINO 2				
PROVINO 1	0	548,13	545,18	0,00
PROVINO 2		542,23		
PROVINO 1	1	484,75	485,37	-10,97
PROVINO 2		485,99		
PROVINO 1	2	479,49	479,925	-11,97
PROVINO 2		480,36		
PROVINO 1	3	475,32	475,765	-12,73
PROVINO 2		476,21		
PROVINO 1	6	477,11	474,835	-12,90
PROVINO 2		472,56		
PROVINO 1	7	476,89	474,38	-12,99
PROVINO 2		471,87		
PROVINO 1	8	475,97	473,425	-13,16
PROVINO 2		470,88		
PROVINO 1	9	473,04	471,29	-13,55
PROVINO 2		469,54		
PROVINO 1	13	472,64	470,67	-13,67
PROVINO 2		468,7		
PROVINO 1	16	471,01	468,99	-13,98
PROVINO 2		466,97		
PROVINO 1	23	469,39	467,32	-14,28
PROVINO 2		465,25		
PROVINO 1	30	468,61	466,5	-14,43
PROVINO 2		464,39		
PROVINO 1	34	468,54	466,315	-14,47
PROVINO 2		464,09		
PROVINO 1	37	468,26	466,055	-14,51
PROVINO 2		463,85		
PROVINO 1	41	468,12	465,895	-14,54
PROVINO 2		463,67		
PROVINO 1	44	467,73	465,655	-14,59
PROVINO 2		463,58		
PROVINO 1	55	467,52	465,385	-14,64
PROVINO 2		463,25		
PROVINO 1	60	467,52	465,385	-14,64
PROVINO 2		463,25		
PROVINO 1	62	467,52	465,385	-14,64
PROVINO 2		463,25		

- 40%C 60%LC2

	PERDITA ACQUA			
	GIORNO	PESO	MEDIA	Dm%
PROVINO 1	0	536,61	536,1	0,00
PROVINO 2		535,59		
PROVINO 1	1	488,96	488,6	-8,86
PROVINO 2		488,24		
PROVINO 1	2	478,95	478,35	-10,77
PROVINO 2		477,75		
PROVINO 1	5	469,38	468,995	-12,52
PROVINO 2		468,61		
PROVINO 1	6	467,06	466,75	-12,94
PROVINO 2		466,44		
PROVINO 1	7	466,06	466,035	-13,07
PROVINO 2		466,01		
PROVINO 1	8	465,43	465,375	-13,19
PROVINO 2		465,32		
PROVINO 1	9	465,14	464,91	-13,28
PROVINO 2		464,68		
PROVINO 1	12	463	462,805	-13,67
PROVINO 2		462,61		
PROVINO 1	15	462,34	462,33	-13,76
PROVINO 2		462,32		
PROVINO 1	19	462,18	462,215	-13,78
PROVINO 2		462,25		
PROVINO 1	20	461,84	461,815	-13,86
PROVINO 2		461,79		
PROVINO 1	22	462,05	461,99	-13,82
PROVINO 2		461,93		
PROVINO 1	26	462,54	462,515	-13,73
PROVINO 2		462,49		
PROVINO 1	29	461,64	461,7	-13,88
PROVINO 2		461,76		
PROVINO 1	36	461,55	461,515	-13,91
PROVINO 2		461,48		
PROVINO 1	42	461,25	461,205	-13,97
PROVINO 2		461,16		
PROVINO 1	46	461,15	461,13	-13,98
PROVINO 2		461,11		
PROVINO 1	49	461,12	461,125	-13,99
PROVINO 2		461,13		
PROVINO 1	53	461,11	461,065	-14,00
PROVINO 2		461,02		
PROVINO 1	56	460,93	460,9	-14,03
PROVINO 2		460,87		
PROVINO 1	62	460,77	460,725	-14,06
PROVINO 2		460,68		

- 30%C 70%LC2

	PERDITA ACQUA			
	GIORNO	PESO	MEDIA	Dm%
PROVINO 1	0	515,68	509,77	0,00
PROVINO 2		503,86		
PROVINO 1	1	460,71	459,17	-9,93
PROVINO 2		457,63		
PROVINO 1	2	445,74	442,115	-13,27
PROVINO 2		438,49		
PROVINO 1	3	438,28	434,175	-14,83
PROVINO 2		430,07		
PROVINO 1	6	431,54	426,895	-16,26
PROVINO 2		422,25		
PROVINO 1	7	430,79	426,1	-16,41
PROVINO 2		421,41		
PROVINO 1	8	430,97	426,71	-16,29
PROVINO 2		422,45		
PROVINO 1	9	430,71	426,17	-16,40
PROVINO 2		421,63		
PROVINO 1	10	430,57	425,735	-16,48
PROVINO 2		420,9		
PROVINO 1	13	430,7	425,99	-16,43
PROVINO 2		421,28		
PROVINO 1	14	429,55	425,265	-16,58
PROVINO 2		420,98		
PROVINO 1	16	430,38	425,695	-16,49
PROVINO 2		421,01		
PROVINO 1	20	430,97	426,31	-16,37
PROVINO 2		421,65		
PROVINO 1	23	430,25	425,62	-16,51
PROVINO 2		420,99		
PROVINO 1	30	430,04	425,41	-16,55
PROVINO 2		420,78		
PROVINO 1	37	429,72	425,11	-16,61
PROVINO 2		420,5		
PROVINO 1	41	429,65	424,935	-16,64
PROVINO 2		420,22		
PROVINO 1	44	429,73	425,11	-16,61
PROVINO 2		420,49		
PROVINO 1	48	429,5	424,935	-16,64
PROVINO 2		420,37		
PROVINO 1	51	429,44	424,8	-16,67
PROVINO 2		420,16		
PROVINO 1	62	429,46	424,745	-16,68
PROVINO 2		420,03		

- 20%C 80%LC2

	PERDITA ACQUA			
	GIORNO	PESO	MEDIA	Dm%
PROVINO 1	0	508,3	508,315	0,00
PROVINO 2		508,33		
PROVINO 1	1	440,53	442,495	-12,95
PROVINO 2		444,46		
PROVINO 1	2	429,55	430,19	-15,37
PROVINO 2		430,83		
PROVINO 1	5	416,5	416,305	-18,10
PROVINO 2		416,11		
PROVINO 1	6	414,54	414,25	-18,51
PROVINO 2		413,96		
PROVINO 1	7	413,63	413,35	-18,68
PROVINO 2		413,07		
PROVINO 1	8	413,42	413,05	-18,74
PROVINO 2		412,68		
PROVINO 1	9	412,88	412,63	-18,82
PROVINO 2		412,38		
PROVINO 1	12	411,64	411,78	-18,99
PROVINO 2		411,92		
PROVINO 1	15	411,51	411,615	-19,02
PROVINO 2		411,72		
PROVINO 1	19	411,45	411,455	-19,06
PROVINO 2		411,46		
PROVINO 1	20	410,94	410,96	-19,15
PROVINO 2		410,98		
PROVINO 1	22	411,43	411,515	-19,04
PROVINO 2		411,6		
PROVINO 1	26	411,44	411,605	-19,03
PROVINO 2		411,77		
PROVINO 1	29	411,04	411,17	-19,11
PROVINO 2		411,3		
PROVINO 1	36	410,88	411,02	-19,14
PROVINO 2		411,16		
PROVINO 1	42	410,28	410,66	-19,21
PROVINO 2		411,04		
PROVINO 1	46	410,3	410,155	-19,31
PROVINO 2		410,01		
PROVINO 1	49	410,08	410,515	-19,24
PROVINO 2		410,95		
PROVINO 1	53	410,02	410,2	-19,30
PROVINO 2		410,38		
PROVINO 1	56	409,97	410,11	-19,32
PROVINO 2		410,25		
PROVINO 1	62	409,55	409,815	-19,38
PROVINO 2		410,08		

- 10%C 90%LC2

	PERDITA ACQUA			
	GIORNO	PESO	MEDIA	Dm%
PROVINO 1	0	499,68	504,585	0,00
PROVINO 2		509,49		
PROVINO 1	1	427,97	439,58	-12,88
PROVINO 2		451,19		
PROVINO 1	2	413,26	420,755	-16,61
PROVINO 2		428,25		
PROVINO 1	3	409,11	416,025	-17,55
PROVINO 2		422,94		
PROVINO 1	6	395,13	400,47	-20,63
PROVINO 2		405,81		
PROVINO 1	7	394,84	399,875	-20,75
PROVINO 2		404,91		
PROVINO 1	8	393,58	398,39	-21,05
PROVINO 2		403,2		
PROVINO 1	9	390,69	394,425	-21,83
PROVINO 2		398,16		
PROVINO 1	13	390,01	393,825	-21,95
PROVINO 2		397,64		
PROVINO 1	16	389,18	392,995	-22,12
PROVINO 2		396,81		
PROVINO 1	23	388,27	392,235	-22,27
PROVINO 2		396,2		
PROVINO 1	30	387,32	391,435	-22,42
PROVINO 2		395,55		
PROVINO 1	34	386,92	391,18	-22,47
PROVINO 2		395,44		
PROVINO 1	37	386,82	390,98	-22,51
PROVINO 2		395,14		
PROVINO 1	41	385,27	390,1	-22,69
PROVINO 2		394,93		
PROVINO 1	44	385,02	389,505	-22,81
PROVINO 2		393,99		
PROVINO 1	55	384,75	389,01	-22,90
PROVINO 2		393,27		
PROVINO 1	62	384,75	389,01	-22,90
PROVINO 2		393,27		

% PERDITA ACQUA RITIRO VINCOLATO

- 50%C 50%LC2

	PERDITA ACQUA			
	GIORNO	PESO	MEDIA	Dm%
PROVINO 1	0	1626,5	1634,39	0
PROVINO 2		1642,28		
PROVINO 1	1	1497,85	1503,59	-8,00
PROVINO 2		1509,33		
PROVINO 1	2	1478,59	1485,68	-9,10
PROVINO 2		1492,76		
PROVINO 1	3	1472,87	1480,56	-9,41
PROVINO 2		1488,24		
PROVINO 1	6	1461,47	1468,06	-10,18
PROVINO 2		1474,64		
PROVINO 1	7	1459,33	1465,74	-10,32
PROVINO 2		1472,15		
PROVINO 1	8	1456,64	1464,06	-10,42
PROVINO 2		1471,48		
PROVINO 1	9	1456,12	1463,11	-10,48
PROVINO 2		1470,1		
PROVINO 1	10	1454,54	1461,6	-10,57
PROVINO 2		1468,66		
PROVINO 1	16	1448,42	1455,21	-10,96
PROVINO 2		1461,99		
PROVINO 1	17	1447,99	1454,46	-11,01
PROVINO 2		1460,93		
PROVINO 1	18	1446,88	1453,43	-11,07
PROVINO 2		1459,97		
PROVINO 1	19	1447,65	1454,1	-11,03
PROVINO 2		1460,54		
PROVINO 1	23	1449,31	1455,77	-10,93
PROVINO 2		1462,22		
PROVINO 1	26	1447,08	1453,56	-11,06
PROVINO 2		1460,03		
PROVINO 1	33	1447,04	1453,41	-11,07
PROVINO 2		1459,78		
PROVINO 1	40	1446,46	1452,83	-11,11
PROVINO 2		1459,19		
PROVINO 1	44	1446,24	1452,62	-11,12
PROVINO 2		1459		
PROVINO 1	47	1446,21	1452,55	-11,13
PROVINO 2		1458,88		
PROVINO 1	51	1445,97	1452,18	-11,15
PROVINO 2		1458,39		
PROVINO 1	54	1445,82	1452,13	-11,15
PROVINO 2		1458,43		
PROVINO 1	62	1444,93	1451,48	-11,19
PROVINO 2		1458,03		

- 40%C 60%LC2

	PERDITA ACQUA			
	GIORNO	PESO	MEDIA	Dm%
PROVINO 1	0	1583,36	1594,33	0,00
PROVINO 2		1605,29		
PROVINO 1	1	1510,27	1519,81	-4,67
PROVINO 2		1529,35		
PROVINO 1	2	1484,39	1493,79	-6,31
PROVINO 2		1503,18		
PROVINO 1	5	1448,04	1461,47	-8,33
PROVINO 2		1474,9		
PROVINO 1	6	1447,68	1457,51	-8,58
PROVINO 2		1467,34		
PROVINO 1	7	1439,11	1451,37	-8,97
PROVINO 2		1463,62		
PROVINO 1	8	1436,51	1448,54	-9,14
PROVINO 2		1460,57		
PROVINO 1	9	1434,08	1445,56	-9,33
PROVINO 2		1457,03		
PROVINO 1	12	1427,39	1438,52	-9,77
PROVINO 2		1449,64		
PROVINO 1	15	1423,21	1434,03	-10,05
PROVINO 2		1444,85		
PROVINO 1	19	1421,13	1431,82	-10,19
PROVINO 2		1442,51		
PROVINO 1	20	1420,74	1431,21	-10,23
PROVINO 2		1441,68		
PROVINO 1	22	1419,99	1430,52	-10,27
PROVINO 2		1441,04		
PROVINO 1	26	1420,71	1431,17	-10,23
PROVINO 2		1441,63		
PROVINO 1	29	1417,39	1427,91	-10,44
PROVINO 2		1438,43		
PROVINO 1	36	1417,03	1427,4	-10,47
PROVINO 2		1437,77		
PROVINO 1	42	1415,78	1426,09	-10,55
PROVINO 2		1436,4		
PROVINO 1	46	1415,29	1425,61	-10,58
PROVINO 2		1435,92		
PROVINO 1	49	1415,15	1425,42	-10,59
PROVINO 2		1435,69		
PROVINO 1	53	1414,67	1424,9	-10,63
PROVINO 2		1435,13		
PROVINO 1	56	1414,27	1424,6	-10,65
PROVINO 2		1434,92		
PROVINO 1	62	1413,54	1423,93	-10,69
PROVINO 2		1434,31		

- 30%C 70%LC2

	PERDITA ACQUA			
	GIORNO	PESO	MEDIA	Dm%
PROVINO 1	0	1563,9	1568,2	0,00
PROVINO 2		1572,49		
PROVINO 1	1	1462,27	1468,04	-6,39
PROVINO 2		1473,81		
PROVINO 1	2	1423,77	1429,2	-8,86
PROVINO 2		1434,63		
PROVINO 1	3	1430,23	1421,68	-9,34
PROVINO 2		1413,12		
PROVINO 1	6	1373,79	1376,76	-12,21
PROVINO 2		1379,72		
PROVINO 1	7	1370,75	1373,62	-12,41
PROVINO 2		1376,49		
PROVINO 1	8	1366,08	1368,94	-12,71
PROVINO 2		1371,8		
PROVINO 1	9	1365,47	1368,23	-12,75
PROVINO 2		1370,98		
PROVINO 1	10	1364,6	1366,75	-12,85
PROVINO 2		1368,9		
PROVINO 1	13	1363,19	1365,8	-12,91
PROVINO 2		1368,41		
PROVINO 1	14	1362,74	1365,2	-12,94
PROVINO 2		1367,66		
PROVINO 1	16	1362,22	1364,93	-12,96
PROVINO 2		1367,64		
PROVINO 1	20	1363,4	1365,97	-12,90
PROVINO 2		1368,53		
PROVINO 1	23	1360,38	1362,83	-13,10
PROVINO 2		1365,28		
PROVINO 1	30	1361,07	1363,73	-13,04
PROVINO 2		1366,38		
PROVINO 1	37	1360,52	1363,05	-13,08
PROVINO 2		1365,57		
PROVINO 1	41	1360,3	1362,85	-13,09
PROVINO 2		1365,4		
PROVINO 1	44	1360,27	1362,85	-13,09
PROVINO 2		1365,43		
PROVINO 1	48	1360,05	1362,63	-13,11
PROVINO 2		1365,21		
PROVINO 1	51	1359,9	1362,47	-13,12
PROVINO 2		1365,03		
PROVINO 1	62	1359,61	1362,22	-13,13
PROVINO 2		1364,82		

- 20%C 80%LC2

	PERDITA ACQUA			
	GIORNO	PESO	MEDIA	Dm%
PROVINO 1	0	1580,45	1583,46	0,00
PROVINO 2		1586,46		
PROVINO 1	1	1451,29	1461,06	-7,73
PROVINO 2		1470,83		
PROVINO 1	2	1414,35	1420,03	-10,32
PROVINO 2		1425,71		
PROVINO 1	5	1376,11	1376,32	-13,08
PROVINO 2		1376,52		
PROVINO 1	6	1365,98	1367,48	-13,64
PROVINO 2		1368,98		
PROVINO 1	7	1359,63	1361,06	-14,05
PROVINO 2		1362,48		
PROVINO 1	8	1357,46	1358,85	-14,18
PROVINO 2		1360,23		