



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BERGAMO**

Centro di Servizio di Ateneo Laboratori di Ingegneria

Laboratorio Prove Materiali

via Galvani 2, 24044 Dalmine (Bg)
Tel. 035.2052347/383/339 - Fax 035.2052090
P.IVA 01612800167 C.F.80004350163

Prove per la valutazione della risposta deformativa di una pavimentazione soggetta a carichi concentrati

Laterlite S.p.A. & James Hardie Italy
(offerta prot. 164399/III/19)

Rapporto n. 685

Dalmine, 20 agosto 2020



Il direttore del Laboratorio

Prof. Ing. Paolo Riva

Il collaboratore

PhD Davide Sirtoli

Il Tecnico di Laboratorio

Daniele Di Marco





INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. Campioni di prova.....	5
3. Descrizione del set-up di prova	7
4. Strumentazione utilizzata e procedura di prova	7
5. Espressione dei risultati.....	9
6. Risultati	9
6.1.1. Punti singoli.....	10
6.1.2. Confronti per tipologia di punti	17
6.1.3. Confronto globale.....	19
6.1.4. Test a rottura per il punto "M4"	21
7. Considerazioni finali	21





1. INTRODUZIONE

Il presente rapporto riporta i risultati di 14 prove di carico puntuali su di un sottofondo realizzato per la sola parte non strutturale sovrapposto ad un solaio infinitamente rigido rispetto al campione. La finalità di tale prova è quella di ottenere la risposta deformativa del pacchetto non strutturale in funzione del manto superficiale utilizzato e della posizione del carico applicato.

2. CAMPIONI DI PROVA

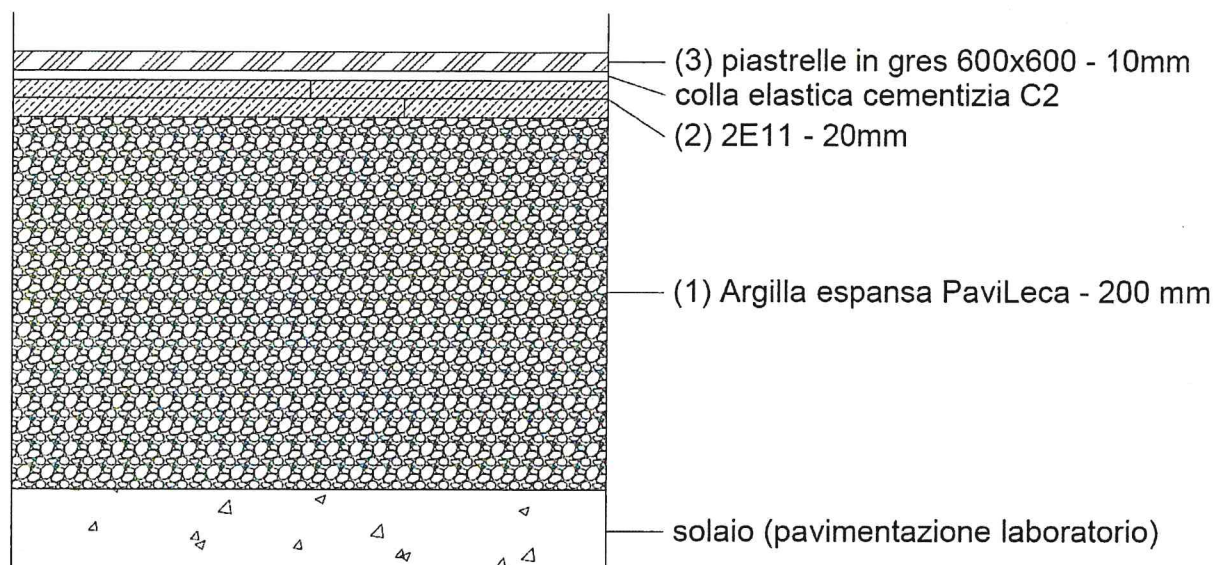


Figura 1 – Stratigrafia della pavimentazione studiata

La pavimentazione testata ha forma quadrata di lato 2m, altezza 23.5 cm ed è composta da tre strati differenti (Figura 1). Il primo è rappresentato da un sottofondo a secco Pavileca, a base di speciale miscela di argilla espansa, tonda e frantumata, steso, spianato e lisciato mediante staggia per uno spessore complessivo di 200 mm (1) (Figura 2). Successivamente sono state adagiate delle lastre per sottofondo Fermacell "2 E 11" (spessore 20 mm) costituite da due pannelli in gessofibra da 1500×500×10 mm preaccoppiati in produzione, con battentatura di 50 mm, atte alla posa rapida (2). Tali lastre sono composte da: 80% gesso e 20% cellulosa senza altri additivi leganti. La loro posa è avvenuta in modo flottante "a correre" con giunti sfalsati. La battentatura delle lastre nelle zone adiacenti il perimetro del simulacro è stata rimossa. Gli elementi sono stati solidarizzati mediante l'adesivo per sottofondi Fermacell a doppio filo continuo sulla battentatura delle lastre. Lungo i battenti sono state poi applicate viti per sottofondo Fermacell 3,9×19 mm, poste a distanze non superiori a 200 mm. L'ultimo strato è suddiviso in due regioni, come mostrato in Figura 2: la prima è composta da lastre in grès di dimensioni 600×600 mm, applicate mediante colla elastica cementizia tipo C2E secondo EN 12004, mentre la seconda regione è realizzata con un parquet flottante (non incollato alle lastre) con lastre di dimensioni 19.3×138 mm. In quest'ultima regione, a livello operativo, è prevista l'interposizione di un materassino tra lastre e parquet. Questo non è stato inserito nel campione analizzato in quanto si è ritenuto infinitamente meno rigido rispetto agli altri strati componenti il sottofondo, andando a partecipare alla risposta dell'elemento solo in termini di abbassamento e non di forza resistente.

Le fughe di 3 mm tra le piastrelle in grès sono state successivamente riempite con uno stucco minerale specifico.

Prima della realizzazione dei vari strati è stato predisposto un cassero per il contenimento della pavimentazione; questo è formato da quattro assi di legno avvitate tra loro per la realizzazione delle sponde, le quali sono state appoggiate su di un telone in plastica.

Per quanto riguarda le tempistiche rispettate per la realizzazione del campione, inizialmente è stato gettato il sottofondo a secco e livellato mediante staggia. Una volta completato questo primo strato sono state predisposte le lastre in gessofibra. Queste sono state adeguatamente accoppiate e unite tra loro grazie all'utilizzo di un adesivo per sottofondi Fermacell a doppio filo continuo sulle battentature di collegamento. Dopo un'attesa di circa una giornata per l'asciugatura dell'adesivo, è stato realizzato l'ultimo strato delle piastrelle e parquet. Una volta posizionate, trascorsi quattro giorni, è stato predisposto lo stucco per riempire le fughe e completare il campione di prova.

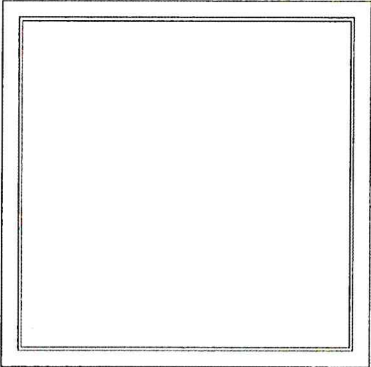
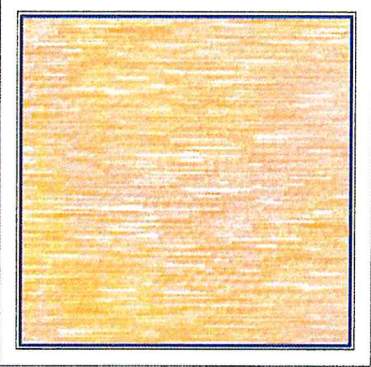
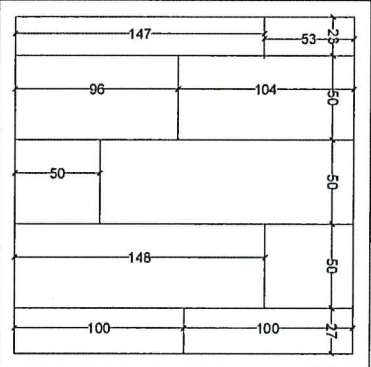
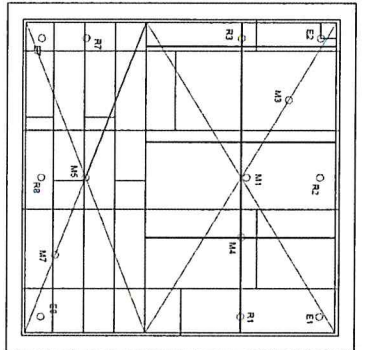
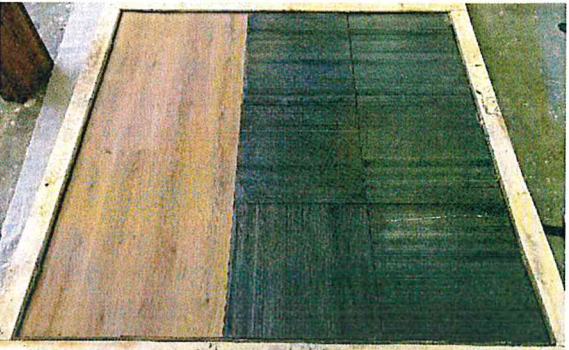
0		
1		
2		
3		

Figura 2 – Fasi di realizzazione del campione

3. DESCRIZIONE DEL SET-UP DI PROVA

Per l'applicazione del carico è stato utilizzato un martinetto idraulico agente su un cilindro metallico di 5cm di diametro, utilizzato come elemento di trasmissione della forza alla pavimentazione. Per distribuire equamente il carico all'area di appoggio del cilindro, un piccolo disco di neoprene è stato interposto tra cilindro metallico e pavimentazione. Il sistema di contrasto del martinetto è stato realizzato mediante profili metallici ancorati alla soletta del laboratorio. Esternamente al provino sono stati semplicemente appoggiati due profili metallici sovrapposti, una coppia per lato, i quali sono stati utilizzati come appoggi della trave di 4.5m utilizzata per contrastare la forza del martinetto (Figura 3a). La trave è stata vincolata alla soletta del laboratorio, esternamente ai due appoggi metallici, tramite barre di acciaio idoneamente pretensionate. Ciò ha permesso di realizzare una struttura stabile e sufficientemente rigida per le finalità della presente prova. Dato che la trave deve essere ancorata per fornire il giusto contrasto, un profilo metallico di dimensioni minori è stato imbullonato sotto la trave principale, così da aumentare l'area utile per effettuare le prove di carico (Figura 3b).



(a)



(b)

Figura 3 – Sistema di contrasto (a) e profilo metallico di estensione area utile (b)

4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E PROCEDURA DI PROVA

Per il monitoraggio della deformazione della pavimentazione nel punto adiacente alla zona di applicazione del carico è stato utilizzato uno strumento LVDT sorretto da una base magnetica poggiata ad un sistema indipendente da quello della pavimentazione e della struttura di contrasto (Figura 4a). Per quanto riguarda la forza, è stata applicata tramite martinetto idraulico azionato mediante pompa a mano e monitorata con una cella di carico da 200kN interposta tra il martinetto e il sistema di contrasto. Un cilindro metallico di diametro 35 mm è stato utilizzato come base di applicazione della forza alla pavimentazione. Il sistema completo di prova è mostrato in Figura 4b.



(a)



(b)

Figura 4 – Strumentazione utilizzata per monitorare la deformazione (a) e sistema globale (b)

Il carico è stato applicato per step incrementali di 0.2kN fino ad arrivare a 1kN; successivamente si sono ingranditi gli step a 0.5kN fino a raggiungere 4kN totali. Al raggiungimento di ogni step, il carico è stato mantenuto costante per 30 secondi per poi passare al carico successivo. L'acquisizione della deformazione è stata avviata ancora prima di predisporre i vari elementi per l'applicazione del carico, così da registrare ogni variazione legata al peso proprio degli elementi posizionati. La cella di carico è stata posizionata al di sotto degli elementi utilizzati per la trasmissione e applicazione del carico in modo da monitorarne anche il peso proprio. In alcuni casi è stato raggiunto un carico massimo di 5kN (punti E2 e M5L). Durante tale campagna prove non si sono registrate alterazioni o fessurazioni sulla superficie delle piastrelle e tra le fughe di elementi contigui.

Una volta investigato il comportamento deformativo di ciascun punto oggetto di indagine, è stata effettuata una prova a rottura per il punto M4, applicando il carico in modo graduale e monotono fino al raggiungimento di un danno esteso all'intera area circostante il punto di appoggio della prova. Le prime cavillature sulla superficie della piastrella si sono manifestate in corrispondenza di un carico compreso fra 6 e 7 kN.

In Figura 5 vengono individuati i punti della pavimentazione sottoposti alla prova di carico. Questi sono suddivisi in cinque punti di bordo (R), quattro di estremità (E) e cinque centrali (M).

Per distinguere i punti testati sul pavimento piastrellato e quello rivestito con parquet, si è deciso di porre al termine del nome del punto una "L" per i sei posizionati sul pavimento in legno.

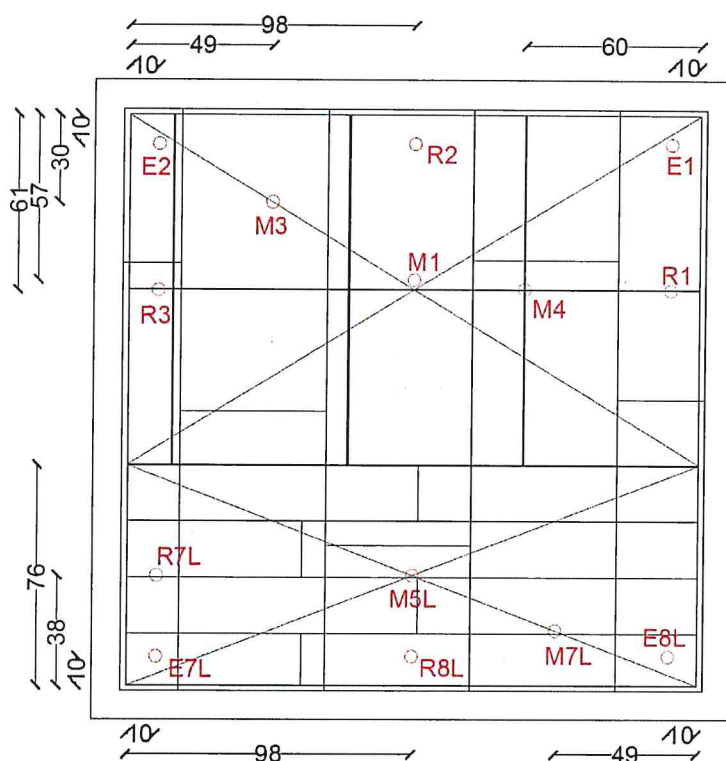


Figura 5 – Posizione dei punti di indagine della pavimentazione

5. ESPRESSIONE DEI RISULTATI

Nei certificati verranno forniti i valori delle seguenti grandezze:

- F [kN] Forza applicata al provino
- s_{eff} [mm] Spostamento effettivo in prossimità dell'impronta del carico
- s_{dep} [mm] Spostamento depurato dei giochi dovuti al pavimento in legno non incollato

Per spostamento effettivo si intende quello registrato dopo il mantenimento del carico per circa 30 secondi. La forza riportata, invece, rappresenta il valore stabilito in fase di programmazione.

6. RISULTATI

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti nella campagna prove sopra descritta. Questi sono presentati inizialmente come comportamento forza-spostamento del singolo punto investigato, come confronto del comportamento dei punti della stessa categoria e, infine, come situazione globale di tutti i punti studiati. Nei grafici sono riportate le curve forza-spostamento come registrate durante la prova (linea continua azzurra) a cui sono state sovrapposte le curve elaborate in seguito (linea spezzata rossa). Queste possono aver subito due tipi di post-elaborazione: la prima consiste nel considerare lo spostamento registrato dopo i trenta secondi di stabilizzazione al target di forza desiderato, mentre la seconda riguarda l'eliminazione dei giochi dovuti al campione. Quest'ultima elaborazione è richiesta per una miglior interpretazione del reale comportamento dei vari strati della pavimentazione a carico applicato. Più precisamente, dato che lo strato finale di parquet è applicato senza incollaggio, avremo delle deformazioni iniziali elevate per carichi irrisori dovute alla sospensione di questo strato rispetto al sottostante. Per questo motivo le curve derivanti dai punti sul parquet sono state linearizzate nei primi due-tre punti di carico (0.2, 0.4 e 0.6 kN) in funzione della pendenza dei successivi due (0.6, 0.8 e 1 kN) e successivamente depurate globalmente di questi spostamenti iniziali. Un esempio dell'elaborazione è proposto in Figura 6.

Ai grafici sono accompagnate delle tabelle riassuntive di forza e spostamento effettivi ai vari step.

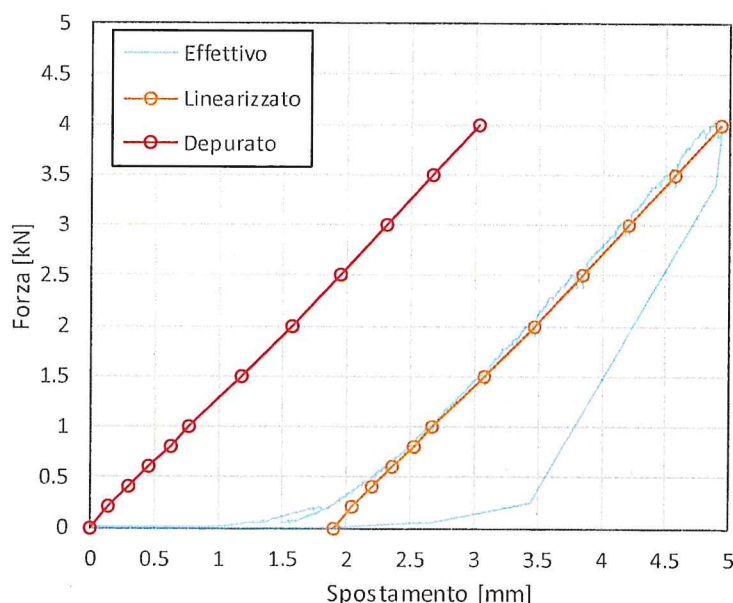
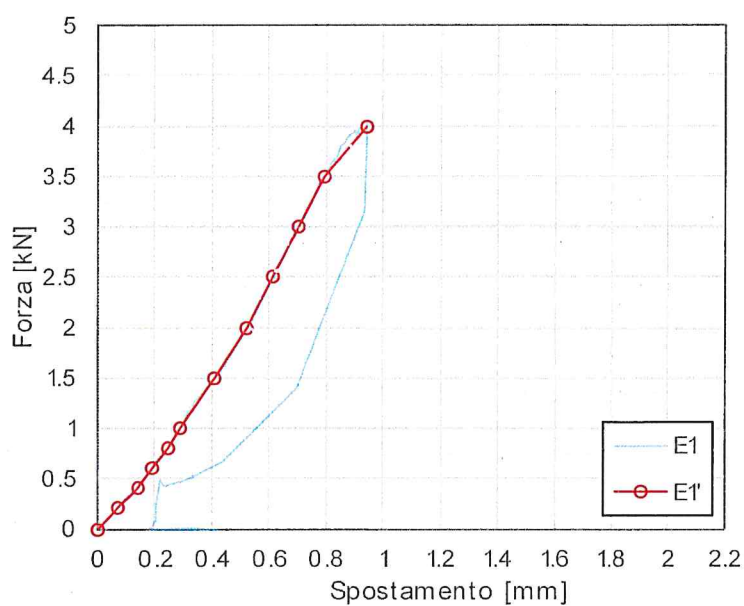


Figura 6 – Esempio di post-elaborazione delle curve registrate durante la prova

6.1.1. Punti singoli

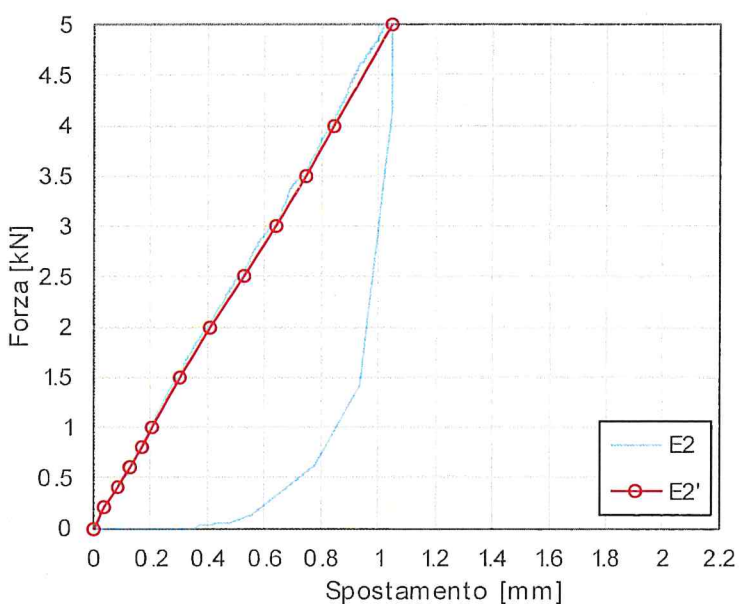
E1



Carico F	Spst. effettivo S _{eff}	Spst. depurato S _{dep}
[kN]	[mm]	[mm]
0	0.00	
0.2	0.07	
0.4	0.14	
0.6	0.19	
0.8	0.24	
1.0	0.29	
1.5	0.41	
2.0	0.52	
2.5	0.61	
3.0	0.70	
3.5	0.79	
4.0	0.95	

Figura 7 – Diagramma forza-spostamento del punto E1 con rispettivi valori effettivi tabellati

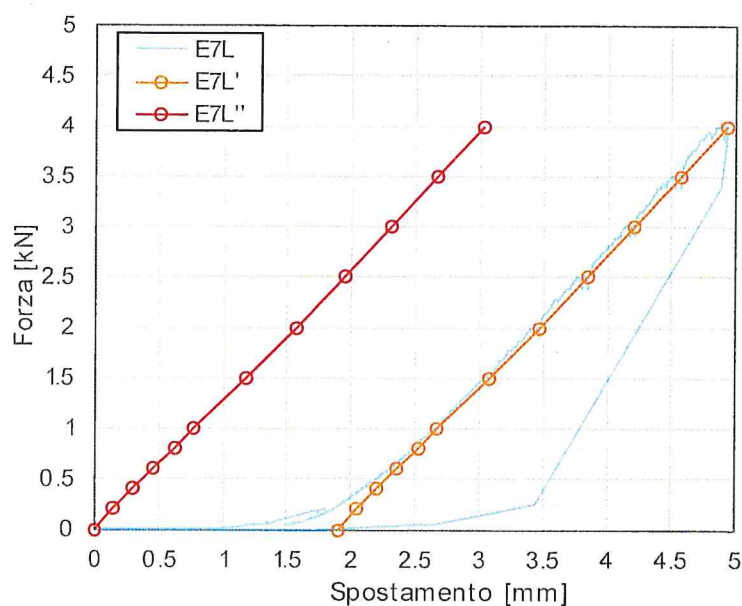
E2



Carico	Spst. effettivo	Spst. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	0.00	
0.2	0.03	
0.4	0.08	
0.6	0.13	
0.8	0.17	
1.0	0.21	
1.5	0.30	
2.0	0.41	
2.5	0.53	
3.0	0.64	
3.5	0.74	
4.0	0.85	
5.0	1.05	

Figura 8 – Diagramma forza-spostamento del punto E2 con rispettivi valori effettivi tabellati

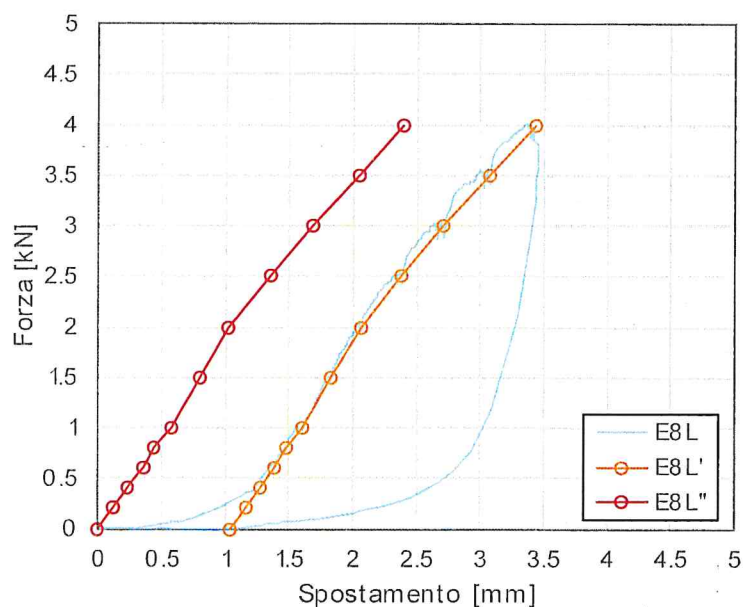
E7L



Carico	Spost. effettivo	Spost. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	1.90	0.00
0.2	2.05	0.15
0.4	2.20	0.30
0.6	2.36	0.46
0.8	2.52	0.62
1.0	2.68	0.78
1.5	3.09	1.19
2.0	3.47	1.57
2.5	3.85	1.95
3.0	4.21	2.31
3.5	4.57	2.67
4.0	4.94	3.04

Figura 9 – Diagramma forza-spostamento del punto E7L con rispettivi valori effettivi tabellati

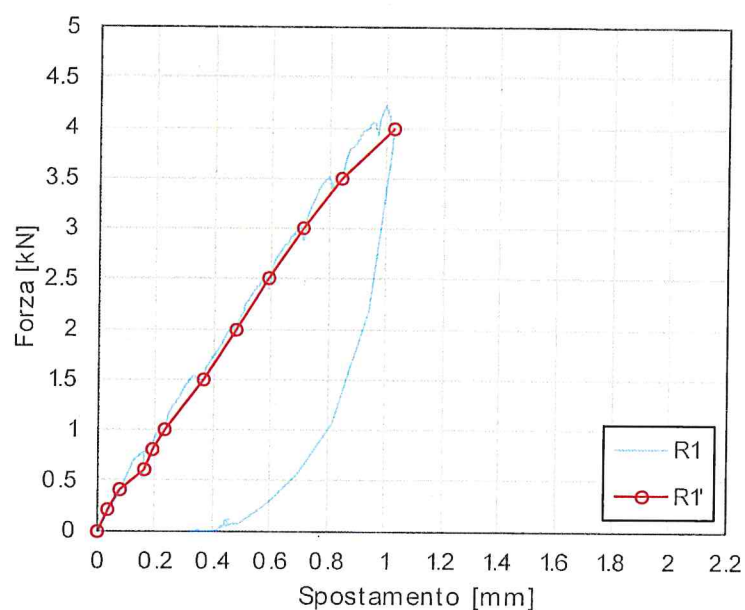
E8L



Carico	Spost. effettivo	Spost. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	1.03	0.00
0.2	1.16	0.13
0.4	1.27	0.24
0.6	1.39	0.36
0.8	1.47	0.44
1.0	1.61	0.58
1.5	1.83	0.80
2.0	2.06	1.03
2.5	2.38	1.35
3.0	2.72	1.69
3.5	3.08	2.05
4.0	3.43	2.40

Figura 10 – Diagramma forza-spostamento del punto E8L con rispettivi valori effettivi tabellati

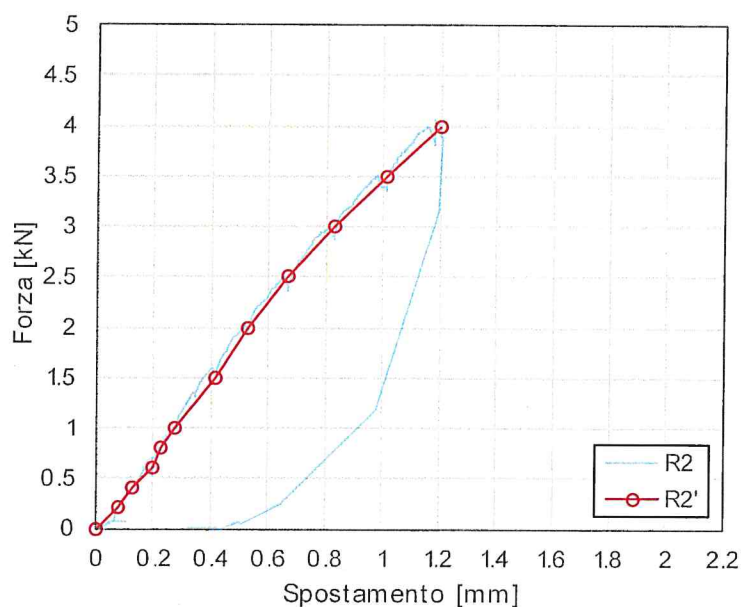
R1



Carico	Spst. effettivo	Spst. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	0.00	
0.2	0.04	
0.4	0.08	
0.6	0.16	
0.8	0.19	
1.0	0.23	
1.5	0.36	
2.0	0.48	
2.5	0.59	
3.0	0.71	
3.5	0.84	
4.0	1.02	

Figura 11 – Diagramma forza-spostamento del punto R1 con rispettivi valori effettivi tabellati

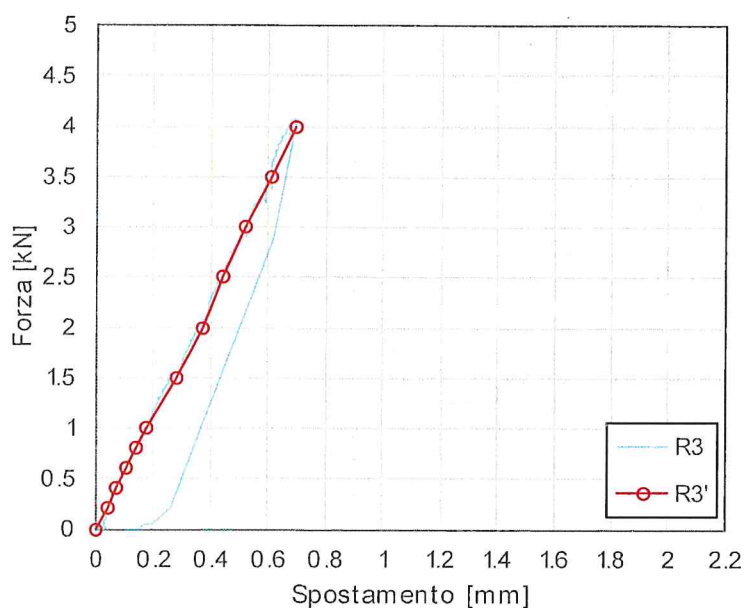
R2



Carico	Spst. effettivo	Spst. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	0.00	
0.2	0.08	
0.4	0.13	
0.6	0.20	
0.8	0.23	
1.0	0.28	
1.5	0.41	
2.0	0.53	
2.5	0.67	
3.0	0.83	
3.5	1.01	
4.0	1.21	

Figura 12 – Diagramma forza-spostamento del punto R2 con rispettivi valori effettivi tabellati

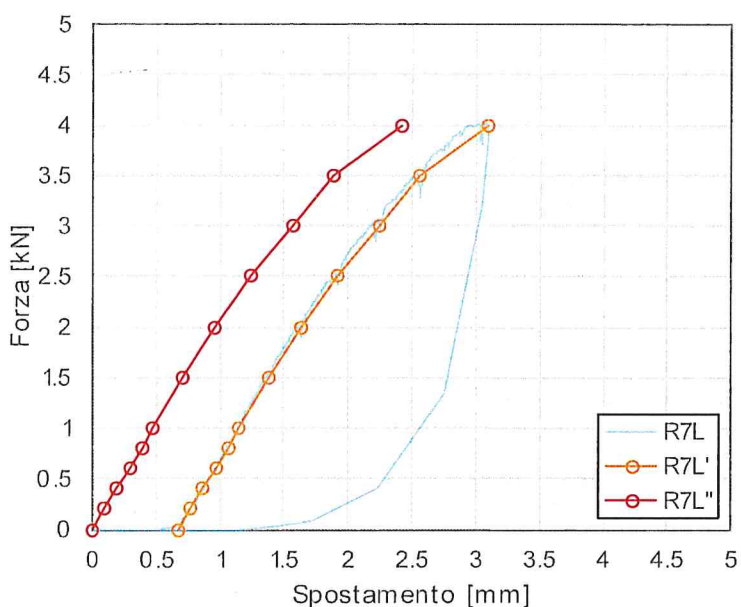
R3



Carico	Spost. effettivo	Spost. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	0.00	
0.2	0.04	
0.4	0.07	
0.6	0.11	
0.8	0.14	
1.0	0.18	
1.5	0.28	
2.0	0.37	
2.5	0.44	
3.0	0.52	
3.5	0.61	
4.0	0.70	

Figura 13 – Diagramma forza-spostamento del punto R3 con rispettivi valori effettivi tabellati

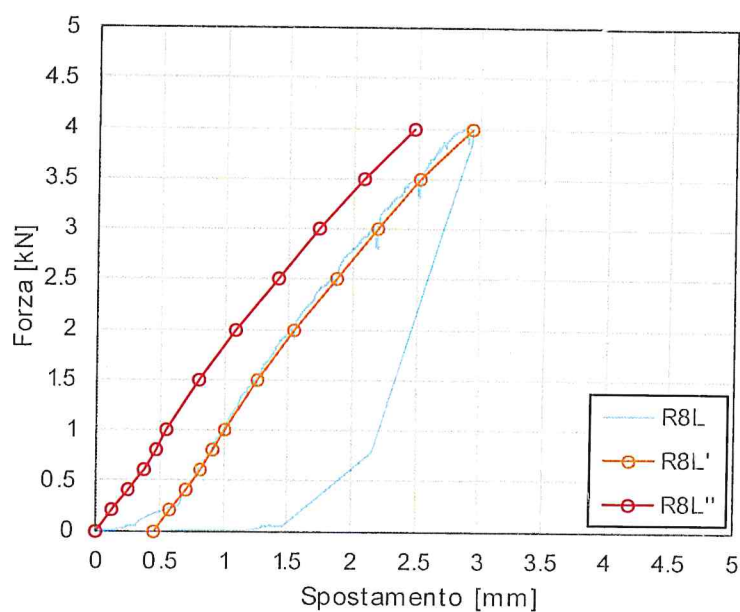
R7L



Carico	Spost. effettivo	Spost. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	0.68	0.00
0.2	0.77	0.10
0.4	0.87	0.20
0.6	0.98	0.30
0.8	1.07	0.39
1.0	1.15	0.47
1.5	1.39	0.71
2.0	1.64	0.96
2.5	1.92	1.24
3.0	2.25	1.58
3.5	2.56	1.89
4.0	3.10	2.43

Figura 14 – Diagramma forza-spostamento del punto R7L con rispettivi valori effettivi tabellati

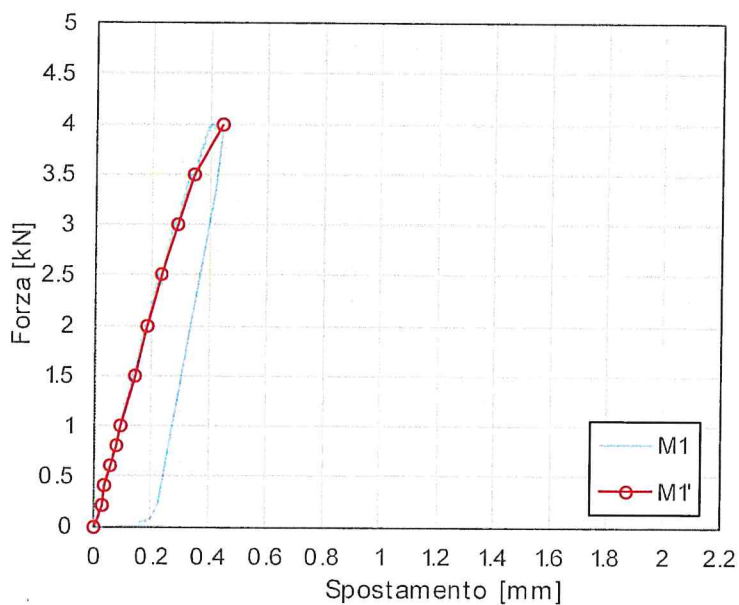
R8L



Carico	Spst. effettivo	Spst. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	0.45	0.00
0.2	0.58	0.13
0.4	0.71	0.26
0.6	0.82	0.37
0.8	0.91	0.46
1.0	1.00	0.55
1.5	1.26	0.81
2.0	1.54	1.09
2.5	1.87	1.42
3.0	2.19	1.74
3.5	2.52	2.07
4.0	2.93	2.48

Figura 15 – Diagramma forza-spostamento del punto M1 con rispettivi valori effettivi tabellati

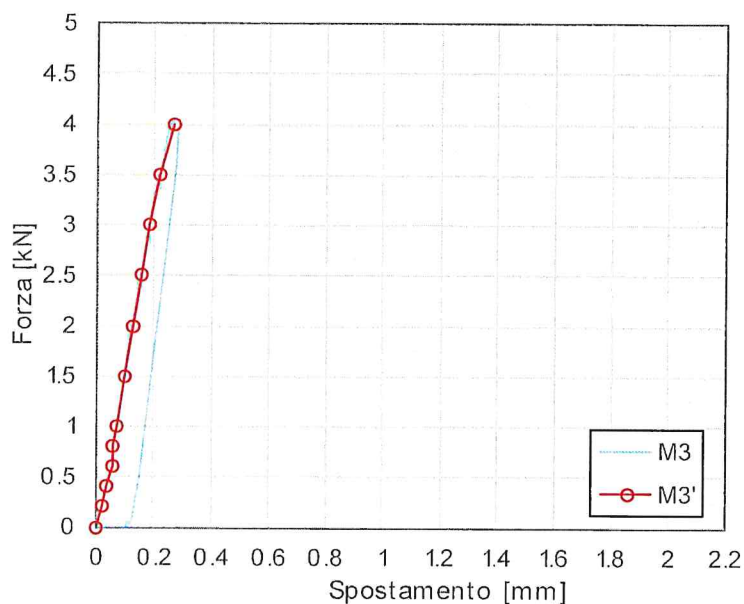
M1



Carico	Spst. effettivo	Spst. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	0.00	
0.2	0.03	
0.4	0.04	
0.6	0.06	
0.8	0.08	
1.0	0.10	
1.5	0.14	
2.0	0.19	
2.5	0.24	
3.0	0.29	
3.5	0.35	
4.0	0.44	

Figura 16 – Diagramma forza-spostamento del punto M1 con rispettivi valori effettivi tabellati

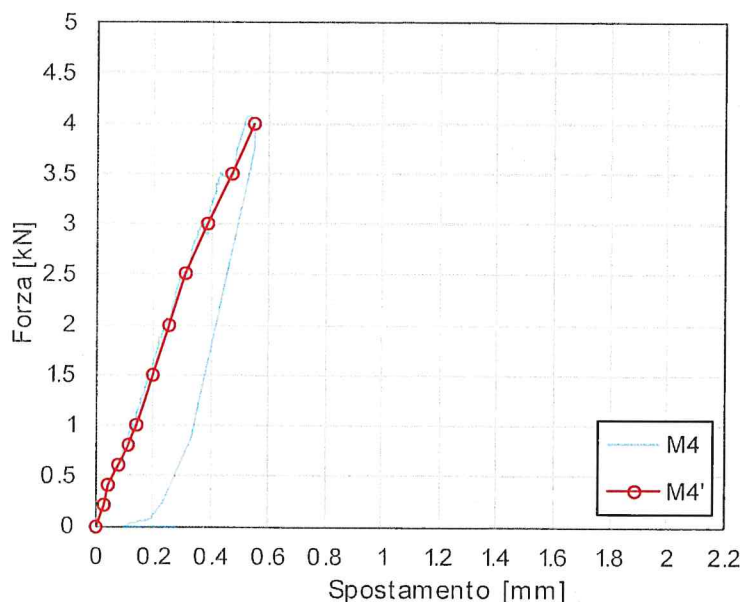
M3



Carico	Spост. effettivo	Spост. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	0.00	
0.2	0.02	
0.4	0.04	
0.6	0.06	
0.8	0.06	
1.0	0.07	
1.5	0.10	
2.0	0.12	
2.5	0.15	
3.0	0.18	
3.5	0.22	
4.0	0.27	

Figura 17 – Diagramma forza-spostamento del punto M3 con rispettivi valori effettivi tabellati

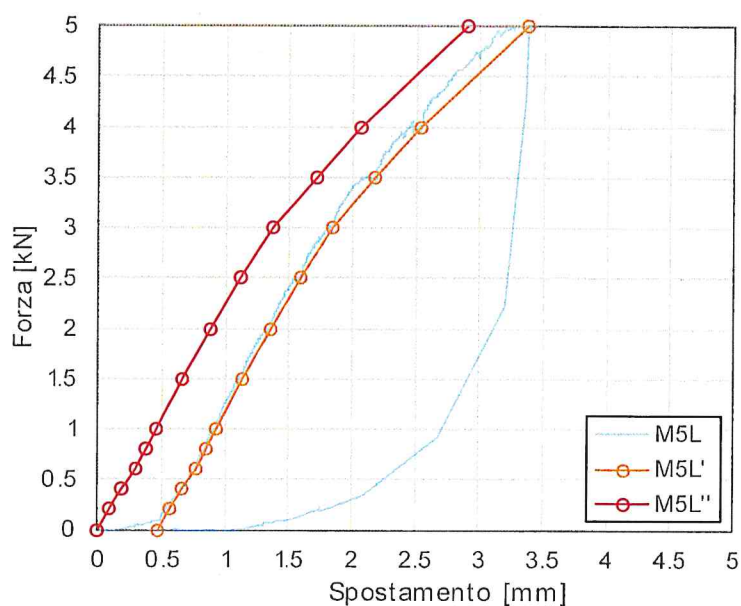
M4



Carico	Spост. effettivo	Spост. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	0.00	
0.2	0.02	
0.4	0.04	
0.6	0.08	
0.8	0.11	
1.0	0.14	
1.5	0.20	
2.0	0.25	
2.5	0.31	
3.0	0.39	
3.5	0.47	
4.0	0.55	

Figura 18 – Diagramma forza-spostamento del punto M4 con rispettivi valori effettivi tabellati

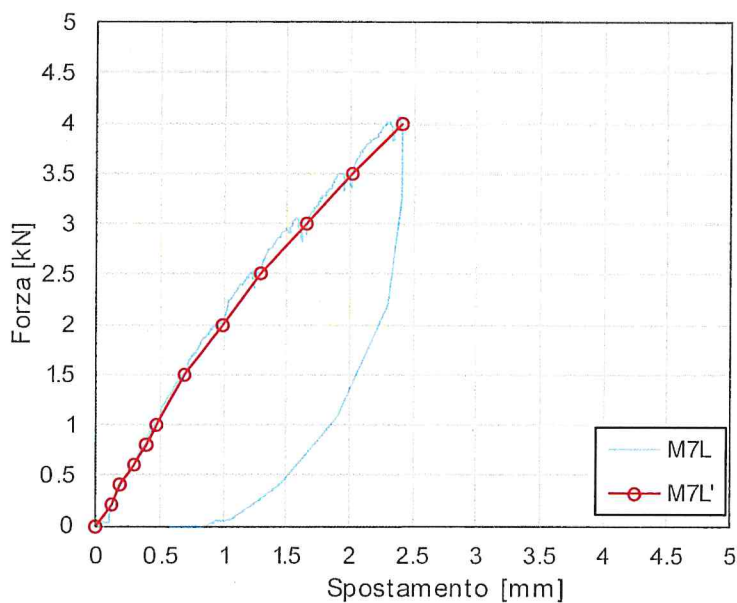
M5L



Carico	Spost. effettivo	Spost. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	0.47	0.00
0.2	0.56	0.09
0.4	0.66	0.19
0.6	0.77	0.30
0.8	0.84	0.37
1.0	0.93	0.46
1.5	1.13	0.66
2.0	1.35	0.88
2.5	1.59	1.12
3.0	1.85	1.38
3.5	2.18	1.71
4.0	2.54	2.07
5.0	3.38	2.91

Figura 19 – Diagramma forza-spostamento del punto M5L con rispettivi valori effettivi tabellati

M7L



Carico	Spost. effettivo	Spost. depurato
[kN]	[mm]	[mm]
0	0.00	
0.2	0.12	
0.4	0.19	
0.6	0.30	
0.8	0.39	
1.0	0.47	
1.5	0.70	
2.0	0.99	
2.5	1.29	
3.0	1.65	
3.5	2.01	
4.0	2.41	

Figura 20 – Diagramma forza-spostamento del punto M7L con rispettivi valori effettivi tabellati

6.1.2. Confronti per tipologia di punti

Angoli "E"

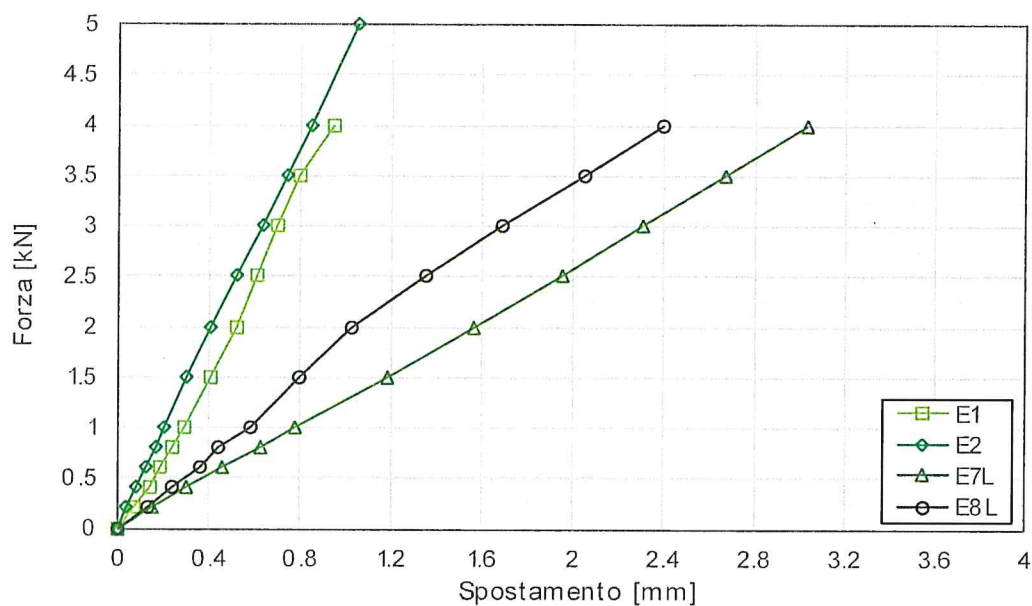


Figura 21 – Diagramma forza-spostamento di confronto tra punti "E"

Lati esterni "R"

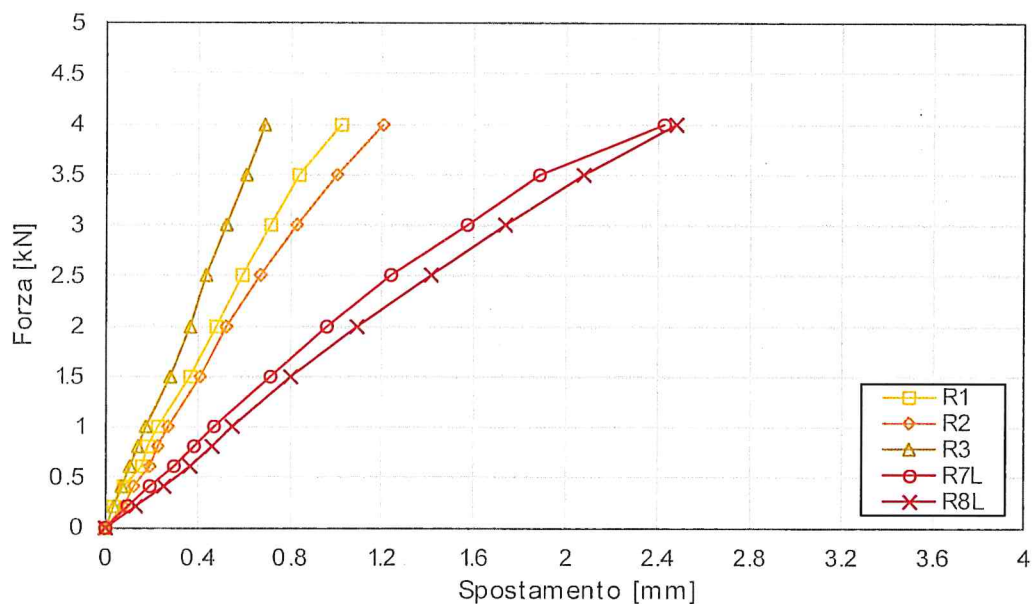


Figura 22 – Diagramma forza-spostamento di confronto tra punti "R"

Centrali "M"

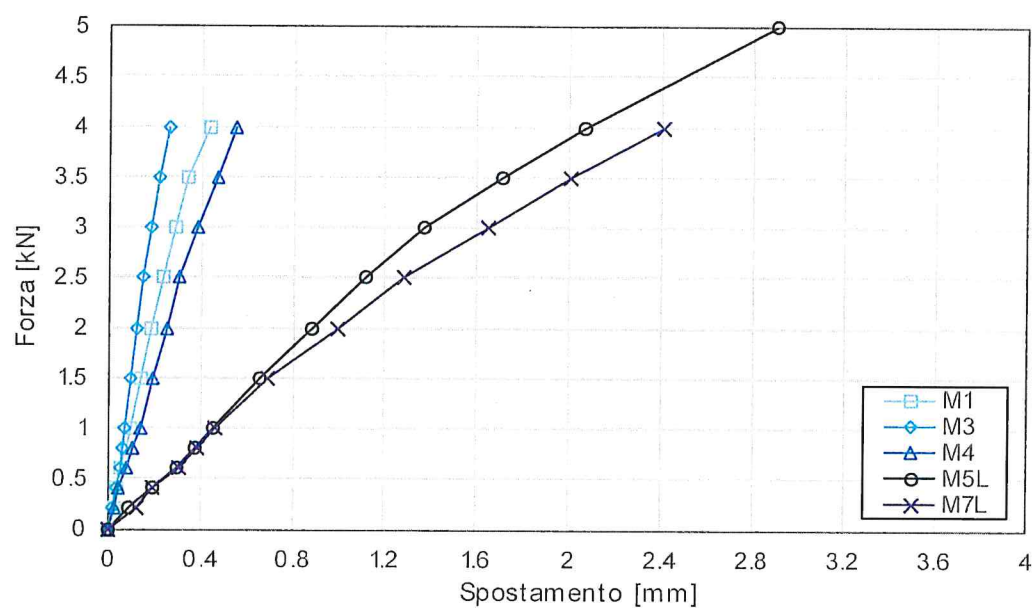


Figura 23 – Diagramma forza-spostamento di confronto tra punti "M"

6.1.3. Confronto globale

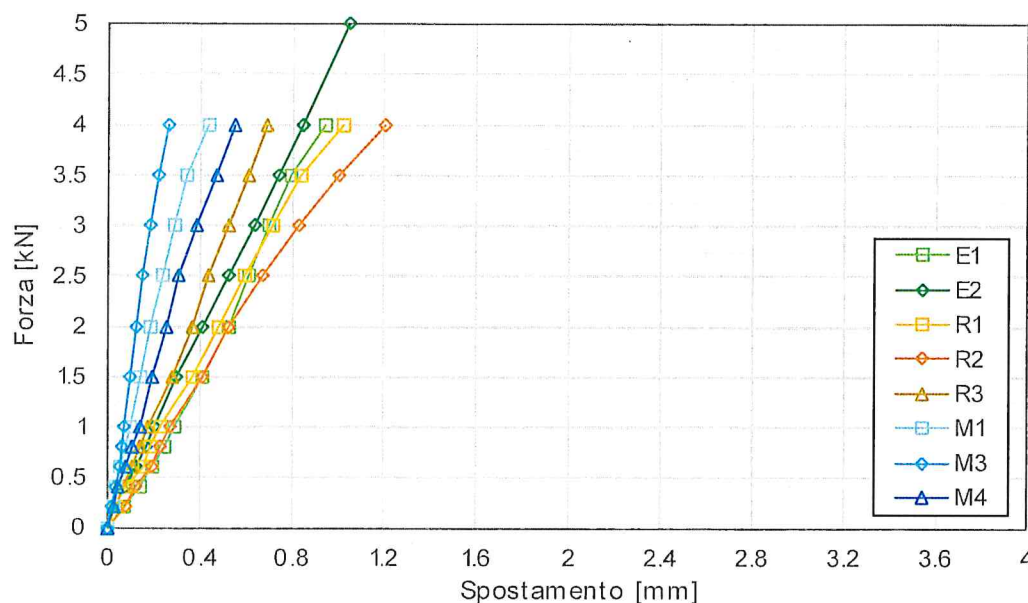


Figura 24 – Diagramma forza-spostamento riassuntivo dei punti di carico del pavimento piastrellato

Tabella 1 - Resoconto degli abbassamenti [mm] del pavimento piastrellato

Carico [kg]	E1	E2	R1	R2	R3	M1	M3	M4
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.07	0.03	0.04	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02
40	0.14	0.08	0.08	0.13	0.07	0.04	0.04	0.04
60	0.19	0.13	0.16	0.20	0.11	0.06	0.06	0.08
80	0.24	0.17	0.19	0.23	0.14	0.08	0.06	0.11
100	0.29	0.21	0.23	0.28	0.18	0.10	0.07	0.14
150	0.41	0.30	0.36	0.41	0.28	0.14	0.10	0.20
200	0.52	0.41	0.48	0.53	0.37	0.19	0.12	0.25
250	0.61	0.53	0.59	0.67	0.44	0.24	0.15	0.31
300	0.70	0.64	0.71	0.83	0.52	0.29	0.18	0.39
350	0.79	0.74	0.84	1.01	0.61	0.35	0.22	0.47
400	0.95	0.85	1.02	1.21	0.70	0.44	0.27	0.55
500		1.05	-	-	-	-	-	-

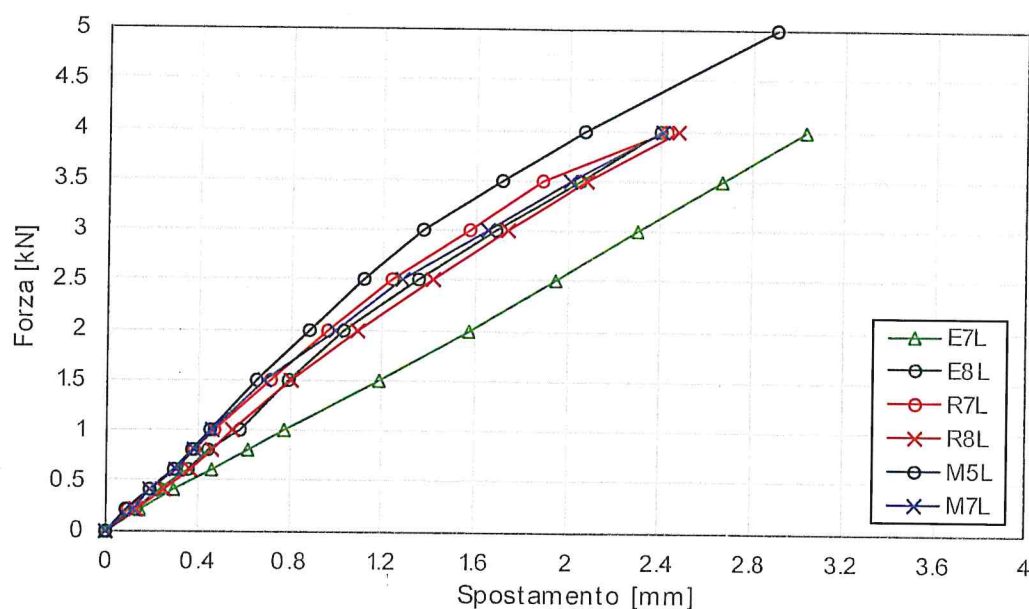


Figura 25 – Diagramma forza-spostamento riassuntivo dei punti di carico del parquet

Tabella 2 - Resoconto degli abbassamenti depurati [mm] del parquet

Carico [kg]	E7L		E8L		R7L		R8L		M5L		M7L	
	eff	dep	eff	dep	eff	dep	eff	dep	eff	dep	eff	dep
0	1.90	0.00	1.03	0.00	0.68	0.00	0.45	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00
20	2.05	0.15	1.16	0.13	0.77	0.10	0.58	0.13	0.56	0.09	0.12	0.12
40	2.20	0.30	1.27	0.24	0.87	0.20	0.71	0.26	0.66	0.19	0.19	0.19
60	2.36	0.46	1.39	0.36	0.98	0.30	0.82	0.37	0.77	0.30	0.30	0.30
80	2.52	0.62	1.47	0.44	1.07	0.39	0.91	0.46	0.84	0.37	0.39	0.39
100	2.68	0.78	1.61	0.58	1.15	0.47	1.00	0.55	0.93	0.46	0.47	0.47
150	3.09	1.19	1.83	0.80	1.39	0.71	1.26	0.81	1.13	0.66	0.70	0.70
200	3.47	1.57	2.06	1.03	1.64	0.96	1.54	1.09	1.35	0.88	0.99	0.99
250	3.85	1.95	2.38	1.35	1.92	1.24	1.87	1.42	1.59	1.12	1.29	1.29
300	4.21	2.31	2.72	1.69	2.25	1.58	2.19	1.74	1.85	1.38	1.65	1.65
350	4.57	2.67	3.08	2.05	2.56	1.89	2.52	2.07	2.18	1.71	2.01	2.01
400	4.94	3.04	3.43	2.40	3.10	2.43	2.93	2.48	2.54	2.07	2.41	2.41
500	-	-	-	-	-	-	-	-	3.38	2.91	-	-

6.1.4. Test a rottura per il punto "M4"

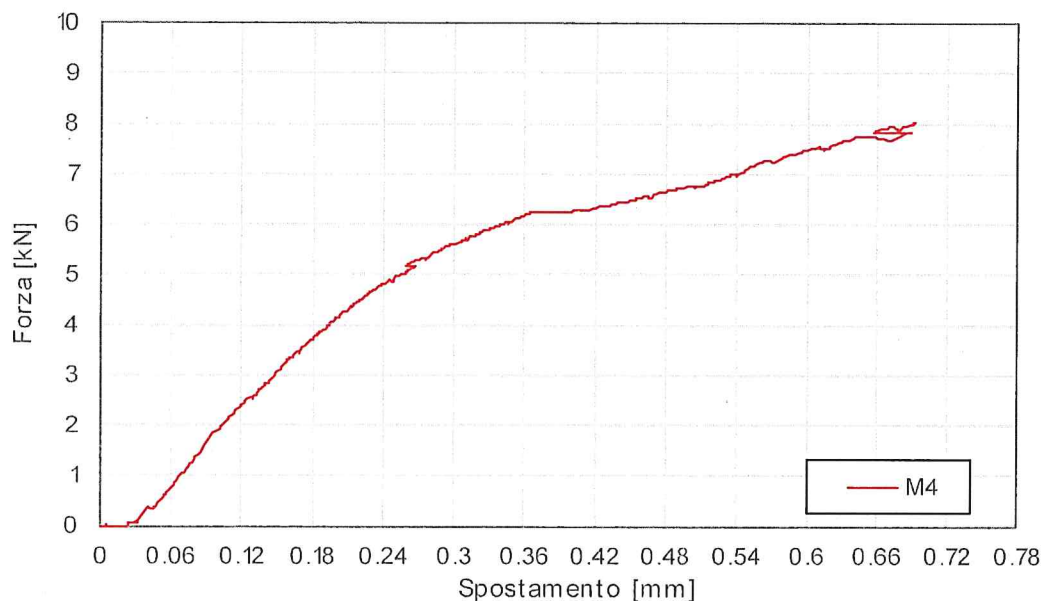


Figura 26 – Diagramma forza-spostamento per il punto "M4" portato fino a rottura

7. CONSIDERAZIONI FINALI

Il modello sperimentale adottato evidenzia un regime deformativo del sottofondo analizzato coerente con il tipo di pavimentazione realizzata.

Piastrelle in gres

Sono stati registrati abbassamenti limitati, con i punti centrali "M" più rigidi dei punti laterali "R" e di quelli angolari "E". Non è stata mostrata una marcata differenza tra gli abbassamenti laterali "R" ed angolari "E". L'abbassamento medio registrato a 2 kN di carico è di 0.36 mm, con un massimo in corrispondenza del punto R2 (di bordo) pari a 0.53 mm. Considerando il carico di 4 kN, invece, l'abbassamento medio registrato è di 0.75 mm con un massimo raggiunto nel punto R2 pari a 1.21 mm.

Parquet

Nel caso di parquet flottante, la depurazione della risposta deformativa degli assestamenti iniziali del solo rivestimento ha prodotto risposte molto simili tra loro, indipendentemente dal gruppo di punti considerato. Al carico di 2 kN l'abbassamento medio è risultato essere di 1.09 mm, con un massimo pari a 1.57 mm raggiunto nel punto E7L, situato nell'angolo della pavimentazione. Al carico di 4 kN l'abbassamento medio registrato è di 2.47 mm, con un massimo di 3.04 mm (depurato di un abbassamento iniziale imputabile al solo parquet e pari a 1.9 mm), registrato nel punto E7L, unico a discostarsi dal comportamento ottenuto negli altri punti analizzati.

Il maggior abbassamento registrato nel parquet rispetto alle piastrelle in grès non è ascrivibile al sottofondo utilizzato o all'interazione dello stesso con la pavimentazione, quanto più alla diversa rigidità dello strato superficiale della pavimentazione stessa. Nello specifico, le piastrelle in grès si dimostrano molto più rigide rispetto al parquet, diffondendo maggiormente il carico con conseguente diminuzione dei cedimenti nelle zone limitrofe.

Non sono state riscontrate alterazioni o danneggiamenti né a livello della superficie caricata né alle zone adiacenti, sia nel caso del pavimento in grès che in parquet. Nel test a rottura effettuato a conclusione della campagna per la valutazione del regime deformativo del campione, in corrispondenza del punto M4, il primo segno di danneggiamento si è riscontrato al raggiungimento di un carico di circa 7 kN.

Si ricorda che i risultati ottenuti nella campagna sperimentale sono validi solo ed esclusivamente impiegando gli stessi prodotti descritti nel Capitolo 2 del presente rapporto di prova.

