



UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA
RICERCHE

PROGETTO MEISAR MATERIALI PER L'EDILIZIA E LE INFRASTRUTTURE SOSTENIBILI – GLI AGGREGATI RICICLATI

Responsabile Scientifico LUISA PANI

REPORT

CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE DI PLINTI PREFABBRICATI PRODOTTI CON CALCESTRUZZI RICICLATI

GRUPPO DI RICERCA:

Personale Strutturato: Ginevra Balletto, Antonio Cazzani, Roberto Fanutza, Stefano Naitza, Luisa Pani, Mauro Sassu, Monica Valdes, Corrado Zoppi

Collaboratori: Sebastiano Bandino, Lorena Francesconi, Giovanni Mei, Anania Mereu, Marta Salis, James Rombi

CLUSTER IMPRESE:

Aziende di Prefabbricazione: Componenti Vibrocemento Sardegna s.r.l., Fornaci Scanu s.p.a, Manufatti in Cemento di Roberto Farris.

Impianti di riciclaggio: Rifiuti Edili Recycle, Ecoinerti, S.M.T. di Angelo Massa, Eco Frantumazioni di Saba Roberto & C. s.n.c.

Produttori di calcestruzzo: Calcestruzzi s.p.a Italcementi, Calcestruzzi Sarda Torpé s.r.l.

Consulenze ambientali: Studio Professionale Ing. LUCA TUVERI.

Indagini strutturali: Secured Solutions s.r.l. Spin-Off UNICA.

Progetto finanziato con fondi POR FESR 2014/2020 - ASSE PRIORITARIO I "RICERCA SCIENTIFICA, SVILUPPO TECNOLOGICO E INNOVAZIONE.

Caratterizzazione sperimentale di plinti prefabbricati prodotti con calcestruzzi riciclati

Premesse

Il progetto MEISAR ha esaminato la fattibilità di utilizzare aggregati grossi riciclati, derivanti dalla frantumazione e lavorazione degli sfridi di calcestruzzo delle aziende di prefabbricazione, in parziale sostituzione degli aggregati grossi naturali, per la produzione di elementi prefabbricati in calcestruzzo riciclato armato e non. Le aziende di prefabbricazione potrebbero attivare una filiera di produzione di calcestruzzo riciclato idoneo per essere impiegato nella realizzazione di manufatti, con caratteristiche prestazionali del tutto identiche a quella di elementi prodotti con calcestruzzo ordinario, in presenza di aggregati naturali.

In tal modo i materiali di scarto delle aziende di prefabbricazione, attualmente conferiti in discarica, potrebbero avere una immediata utilizzazione, riducendo drasticamente i materiali di sfrido da conferire in discarica. La possibilità di utilizzare aggregati riciclati per confezionare elementi prefabbricati in calcestruzzo è una grande opportunità per la salvaguardia dell'ambiente e consentirebbe, inoltre, la riduzione dei costi di produzione, a causa del costo minore degli aggregati riciclati rispetto ai naturali, oltre che ridurre i costi relativi al conferimento in discarica.

Sulla base di queste considerazioni è stata avviata una importante campagna sperimentale con l'Azienda di prefabbricazione Componenti Vibrocemento Sardegna Monastir Cagliari, aderente al Cluster, per la produzione di plinti prefabbricati, realizzati con calcestruzzo riciclato, nel quale gli aggregati grossi, in parziale sostituzione degli aggregati naturali, sono stati ottenuti dalla lavorazione dei loro sfridi di calcestruzzo.

La lavorazione degli sfridi per la produzione di aggregati grossi riciclati è avvenuta nell'Impianto di riciclaggio Rifiuti Edili Recycle di Quartucciu, Cagliari, azienda aderente al Cluster.

Plinti prefabbricati in calcestruzzo armato riciclato

Due plinti prefabbricati in calcestruzzo armato, confezionato con aggregati fini naturali e aggregati grossi riciclati in parziale sostituzione di quelli naturali, sono stati realizzati e sottoposti a prova di carico per valutare la portanza ed il meccanismo di collasso. Per confronto è stato realizzato e testato un analogo plinto realizzato con calcestruzzo ordinario armato, in presenza di aggregati naturali.

La prova di carico su ciascun plinto è stata condotta su un elemento composto dal plinto prefabbricato a bicchiere sul quale è stato alloggiato e reso solidale, con un getto di calcestruzzo, un pilastro. Il carico orizzontale è applicato alla sommità del pilastro.

I plinti e i pilastri sono stati realizzati presso l'Azienda di prefabbricazione Componenti Vibrocemento Sardegna Monastir Cagliari (Fig. 1). Il getto di calcestruzzo per collegare il pilastro al plinto è stato eseguito presso il Laboratorio Prove Materiali del Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale e Architettura (DICAAR) dell'Università di Cagliari (Fig. 2), dove sono state eseguite le prove di carico.



Fig. 1. *Realizzazione di un plinto prefabbricato, presso l'Azienda Componenti Vibrocemento Sardegna*



Fig. 2. *Getto di calcestruzzo per collegare il pilastro al plinto, presso il Laboratorio Prove Materiali del DICAAR*

In Figura 3 è riportato il sistema plinto – pilastro, sottoposto a prova.



Fig. 3. *Sistema plinto – pilastro*

In Figura 4 sono riportati i disegni esecutivi del plinto. Il pilastro in calcestruzzo armato ordinario ha dimensione 400 x 400 x 2000 mm, è armato con 8 Ø 12 mm e staffe Ø 8 passo 200 mm.

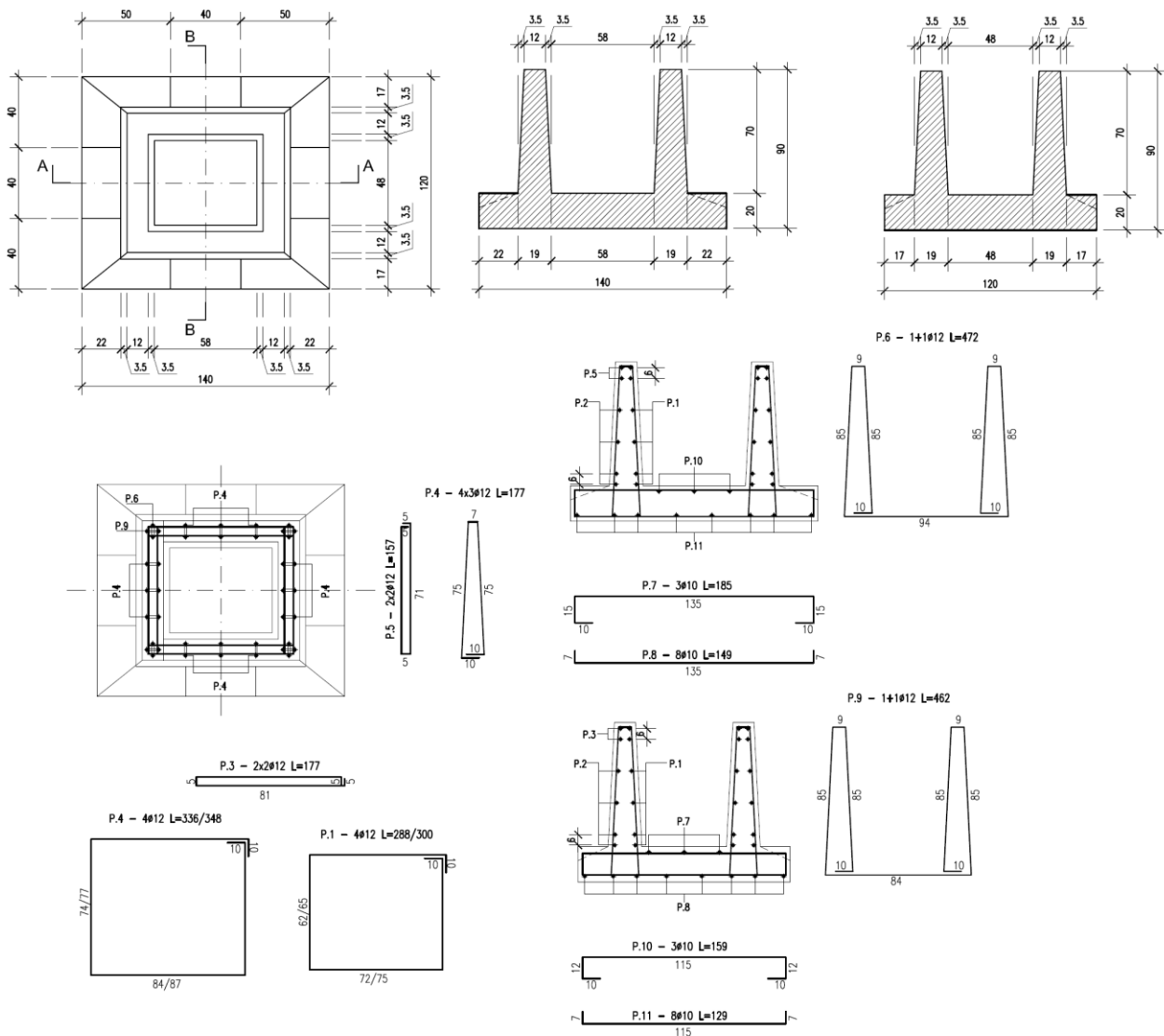


Fig. 4. Disegni esecutivi del plinto

Materiali

Per la realizzazione dei tre plinti sono state prodotte tre miscele di calcestruzzo:

- RC0% contenente solo aggregati naturali,
- RC30% con aggregati fini naturali e aggregati grossi naturali e riciclati: 70% in peso di aggregati naturali e 30% in peso di aggregati riciclati,
- RC50% con aggregati fini naturali e aggregati grossi naturali e riciclati: 50% in peso di aggregati naturali e 50% in peso di aggregati riciclati.

I tre pilastri sono realizzati con RC0%. Le miscele di calcestruzzo sono riportate nella Tabella 1.

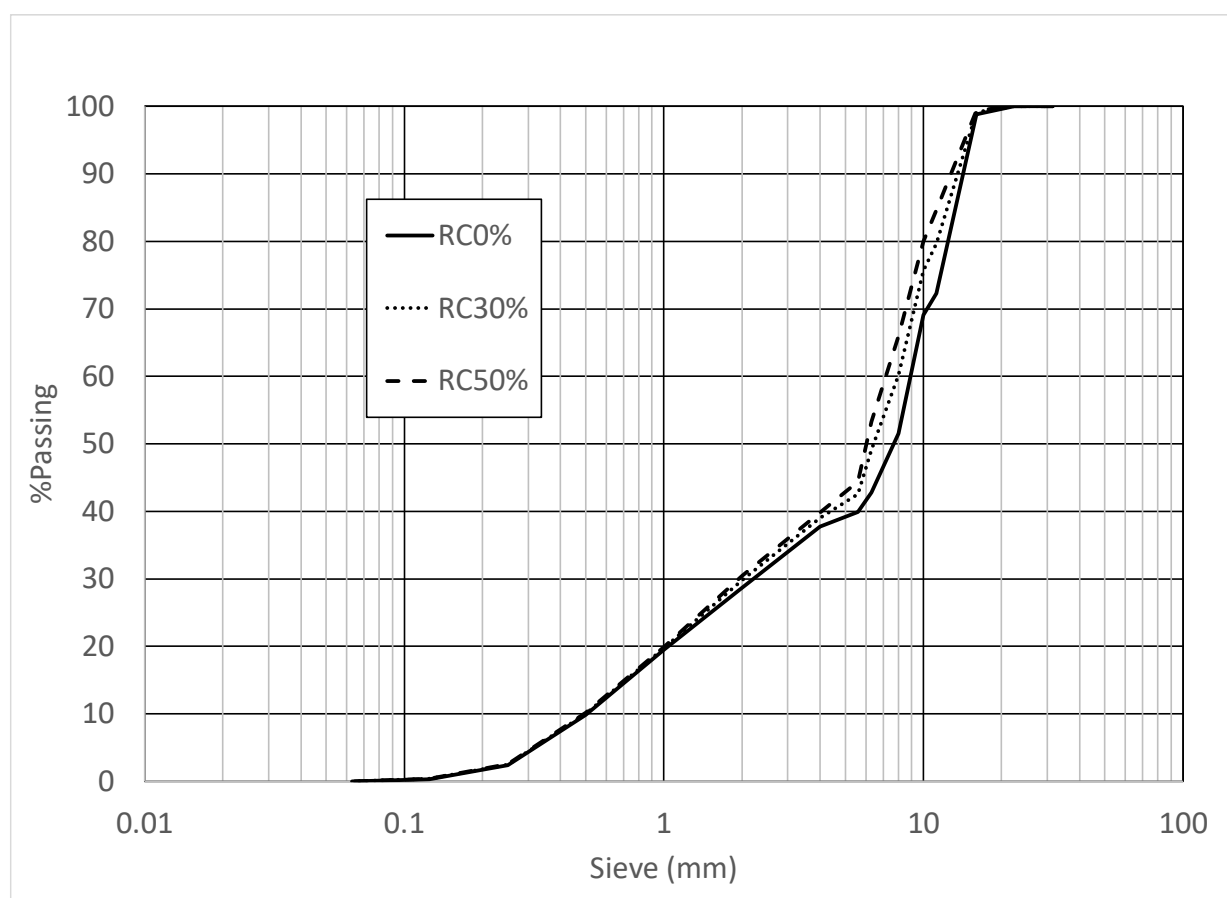
Tabella 1. *Miscele di calcestruzzo (1 m³)*

Calcestruzzo		RC0%	RC30%	RC50%	
Cemento CEM 525 RI (kg)		350	356	352	
Acqua (kg)		160	186	215	
Aggregati fini naturali (kg)	0-2 mm	120	130	120	
	0-6 mm	600	595	600	
Aggregati grossi naturali (kg)	4-10 mm	520	365	255	
	8-16 mm	600	415	300	
Aggregati grossi riciclati (kg)		4-16 mm	0	340	560

In Figura 5 sono riportate le distribuzioni granulometriche degli aggregati relative ai calcestruzzi RC0%, RC30% e RC50% impiegati nella realizzazione dei plinti e pilastri prefabbricati. In Tabella 2 sono riportati i risultati relativi alla caratterizzazione degli aggregati naturali e riciclati nel rispetto nelle norme UNI EN 933-1 e UNI EN 12620.

Tabella 2. *Parametri per la caratterizzazione degli aggregati naturali e riciclati*

Granulometria (mm)	Assorbimento (%)	Massa Volumica (kg/m ³)	Contenuto di fini
0-2 (aggregati naturali)	0.80	2562	f3
0-6 (aggregati naturali)	1.31	2600	f3
4-10 (aggregati naturali)	1.54	2673	f1.5
8-16 (aggregati naturali)	1.06	2673	f1.5
4-16 (aggregati riciclati)	4.48	2498	f4

**Fig. 5.** *Distribuzione granulometrica degli aggregati nelle miscele di calcestruzzo RC0%, RC 30% e RC50%*

Nella Tabella 3 è riportata la composizione della miscela di calcestruzzo impiegata per realizzarla la connessione tra il plinto e il pilastro.

Tabella 3. *Miscela di calcestruzzo impiegata per la connessione plinto pilastro (1 m³)*

Cemento CEM 425 (kg)	Acqua (kg)	Aggregati Naturali				Additivo superplasticizzante
		0-2 mm	0-6 mm	4-10 mm	8-16 mm	
380	160	120	600	520	650	1.1%

Per ciascuna miscela di calcestruzzo, impiegata nella realizzazione dei plinti, sono stati confezionati 6 cubi (150 mm) e 1 prisma (lato 160 mm, altezza 330 mm).

La resistenza a compressione e a trazione indiretta è stata valutata rispettivamente su 3 cubi e il modulo elastico su un singolo prisma. I risultati sono riportati in Tabella 4.

Per ciascuna miscela di calcestruzzo, impiegata per realizzazione del collegamento plinto colonna, sono stati confezionati 2 cubi (150 mm) e su questi è stata valutata la resistenza a compressione a 28 gg. I risultati sono riportati in Tabella 5.

Tabella 4. *Proprietà meccaniche del calcestruzzo*

Calcestruzzo	R _{c,i} (MPa)	R _{c, media} (MPa)	f _{ct,i} (MPa)	f _{ct, media} (MPa)	E _c (MPa)
RC0%	37.5	37.87	3.55	3.44	28640
	38.2		3.41		
	37.9		3.35		
RC30%	37.1	38.10	3.53	3.48	28814
	39.1		3.49		
	38.1		3.43		
RC50%	37.8	34.97	3.30	3.13	24678
	33.7		2.96		
	33.4		3.13		

Tabella 5. *Resistenza a compressione del calcestruzzo impiegato per connettere il pilastro al plinto*

Calcestruzzo	R _{c,i} (MPa)	R _{c, media} (MPa)
Calcestruzzo per la connessione pilastro RC0%-Plinto RC0%	24.4	23.85
	23.3	
Calcestruzzo per la connessione pilastro RC0%-Plinto RC30%	30.0	29.70
	29.4	
Calcestruzzo per la connessione pilastro RC0%-Plinto RC50%	36.3	36.40
	36.5	

Le armature dei plinti e dei pilastri sono state realizzate con acciaio B450C.

Setup di prova

La prova su ciascun plinto è stata condotta applicando un carico orizzontale alla sommità del pilastro in calcestruzzo armato collegato al plinto con un getto di calcestruzzo. Il carico orizzontale è applicato staticamente ed è crescente fino al collasso del sistema plinto – pilastro, con velocità di applicazione del carico costante pari a 0.10 mm/sec. Il collasso si è considerato raggiunto quando la struttura non stata più in grado di sopportare incrementi di carico con evidenti lesioni, con spessori superiori a 5 mm.

Il sistema di carico è capace di applicare una forza orizzontale fino a 500 kN, con spostamento massimo alla sommità del pilastro fino a 200 mm.

Il carico orizzontale è applicato tramite un attuatore idraulico orizzontale di portata 500 kN, comandato un sistema di carico computerizzato Controls, e connesso rigidamente al telaio di contrasto.

Il sistema plinto pilastro è vincolato alla base con un sistema di travi scatolari in acciaio di dimensione 150 · 300 mm spessore 4 mm (Figura 6), rigidamente connesse al piano di appoggio. Il piano di appoggio del Laboratorio è un solaio in calcestruzzo armato di spessore 800 mm, munito di fori equidistanti di diametro 70 mm, che consente di bloccare le travi scatolari in acciaio tramite tirafondi di diametro 40 mm. Nella Figura 7 è riportato il particolare della condizione di vincolo del plinto realizzata dalla trave scatolare in acciaio.

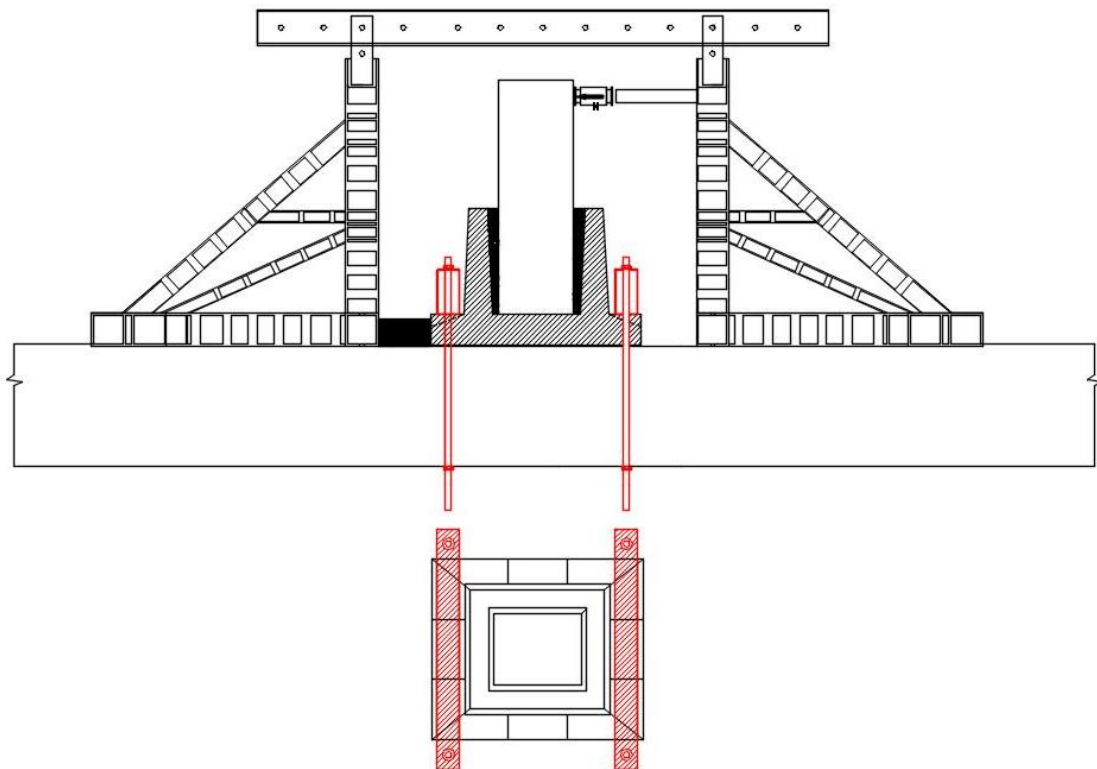


Fig. 6. *Setup di prova: sistema di carico e condizione vincolare*

Per misurare gli spostamenti verticali e orizzontali del campione di prova plinto-pilastro sono stati installati degli estensimetri LVDT, estensimetri elettrici con campo di misura 50 mm e sensibilità 2mV/V.

Il carico applicato e gli spostamenti rilevati dagli estensimetri sono acquisiti in tempo reale da una centralina multicanale National Instruments, modello CDaQ.

La posizione degli estensimetri LVDT è riportata nella Figura 8.



Fig. 7. Particolare della condizione vincolare del plinto

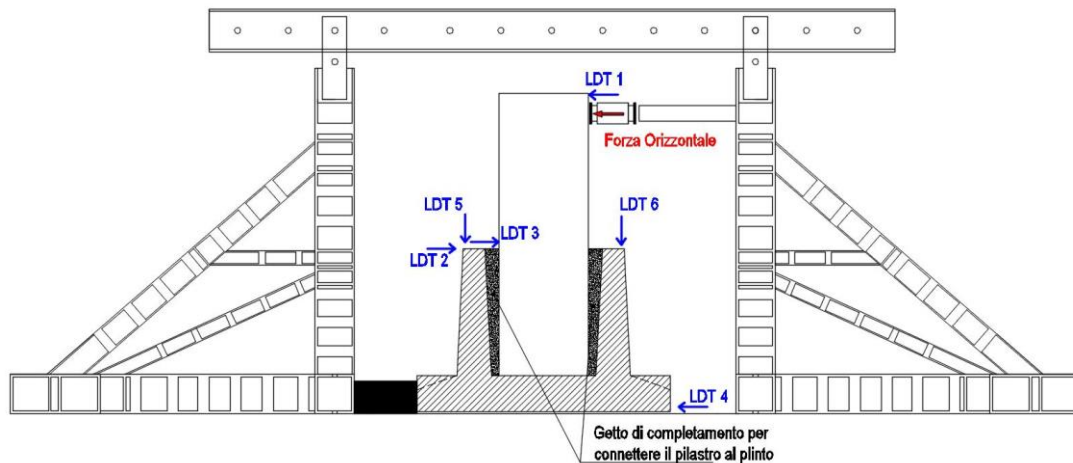


Fig. 8. Posizione degli estensimetri

Risultati

Sono stati analizzati e confrontati gli spostamenti orizzontali rilevati dagli estensimetri 2 e 4 e quelli verticali degli estensimetri 5 e 6. Lo spostamento orizzontale in 4 evidenzia il rispetto della condizione vincolare. Lo spostamento orizzontale 2 evidenzia la flessibilità del bicchiere del plinto nel quale è alloggiato il pilastro. Dagli spostamenti verticali rilevati dagli estensimetri 5 e 6 è possibile valutare la rotazione rigida del plinto.

In tutti i campioni testati, la 1° fessura si è formata nel pilastro ad una quota pari a circa 1600 mm rispetto alla sommità del pilastro. Si è trattato di una fessura capillare che non ha manifestato particolari incrementi all'aumentare della forza orizzontale.

Il collasso nel sistema plinto pilastro è avvenuto per la formazione di una unica lesione che si è formata, in tutti i plinti sottoposti a prova, alla base del plinto, come risulta dalla Figura 9. Questa lesione inizialmente capillare è andata crescendo con l'aumentare del carico. Si tratta di una lesione che ha interessato l'intero spessore della suola del plinto. La presenza dell'armatura (vedi Fig. 4) non ha consentito il distacco completo della porzione di suola.

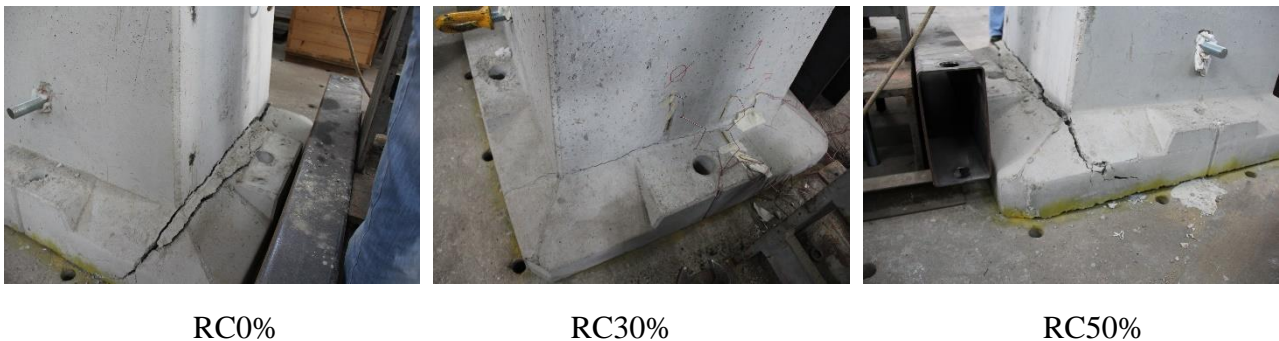


Fig. 9. Lesione alla base dei plinti

In Figura 10 sono riportate le forze orizzontali di 1° fessurazione del pilastro e del plinto e la forza orizzontale massima raggiunta.

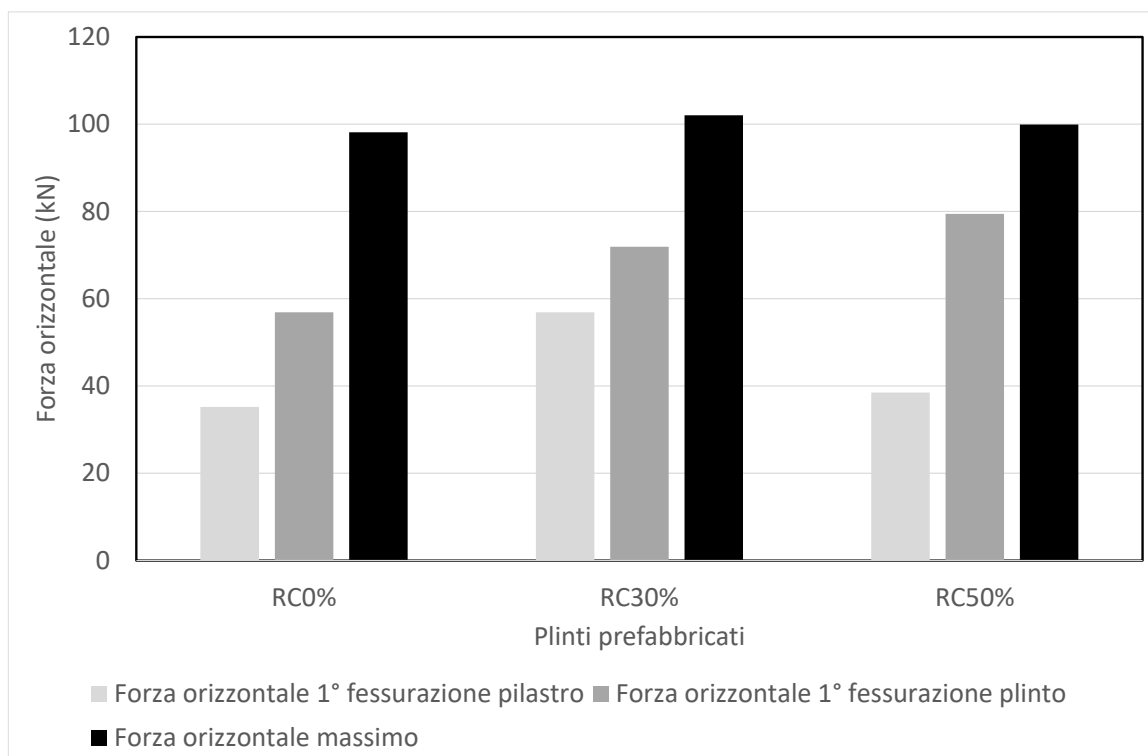


Fig. 10. Forze orizzontali che hanno prodotto la prima fessura nel pilastro, nel plinto e quella massima raggiunta

In Figura 11 sono riportati gli spostamenti orizzontali alla base del plinto in corrispondenza della 1° fessurazione del pilastro, del plinto e della forza orizzontale massima raggiunta.

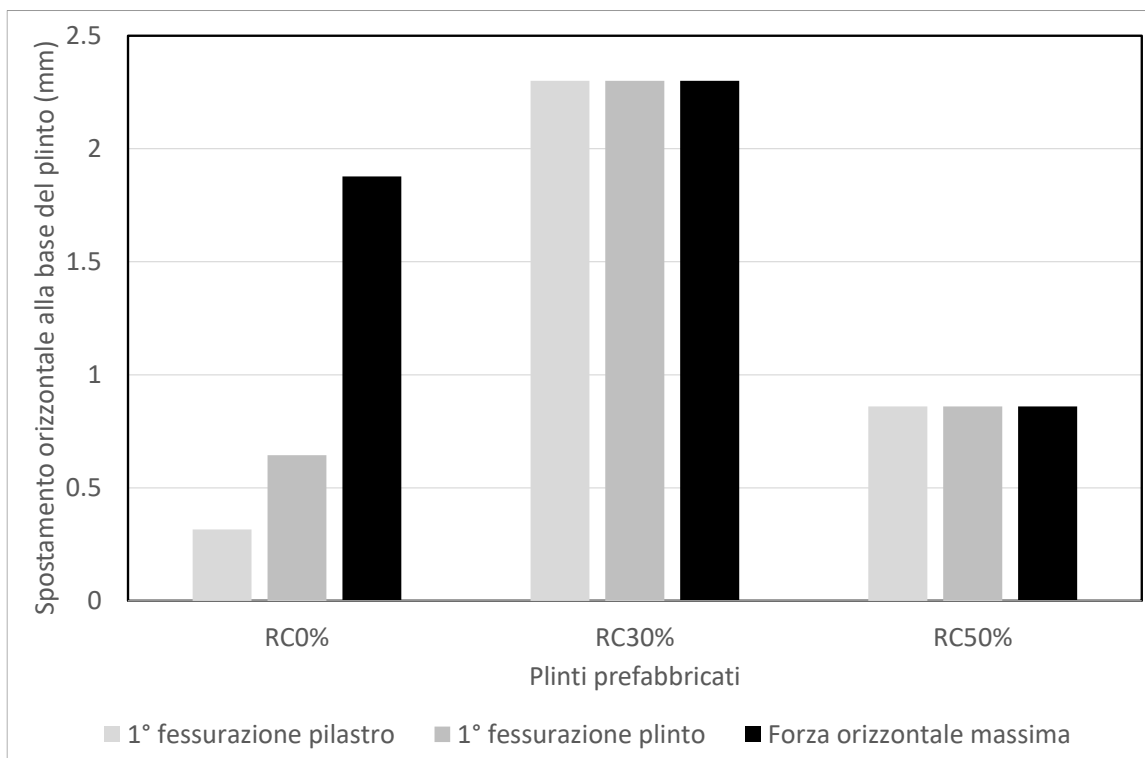


Fig. 11. *Spostamenti alla base del plinto in corrispondenza della 1° fessurazione del pilastro, del plinto e della forza massima raggiunta*

In Figura 12 sono riportati gli spostamenti orizzontali alla sommità del plinto in corrispondenza della 1° fessurazione del pilastro, del plinto e della forza orizzontale massima raggiunta.

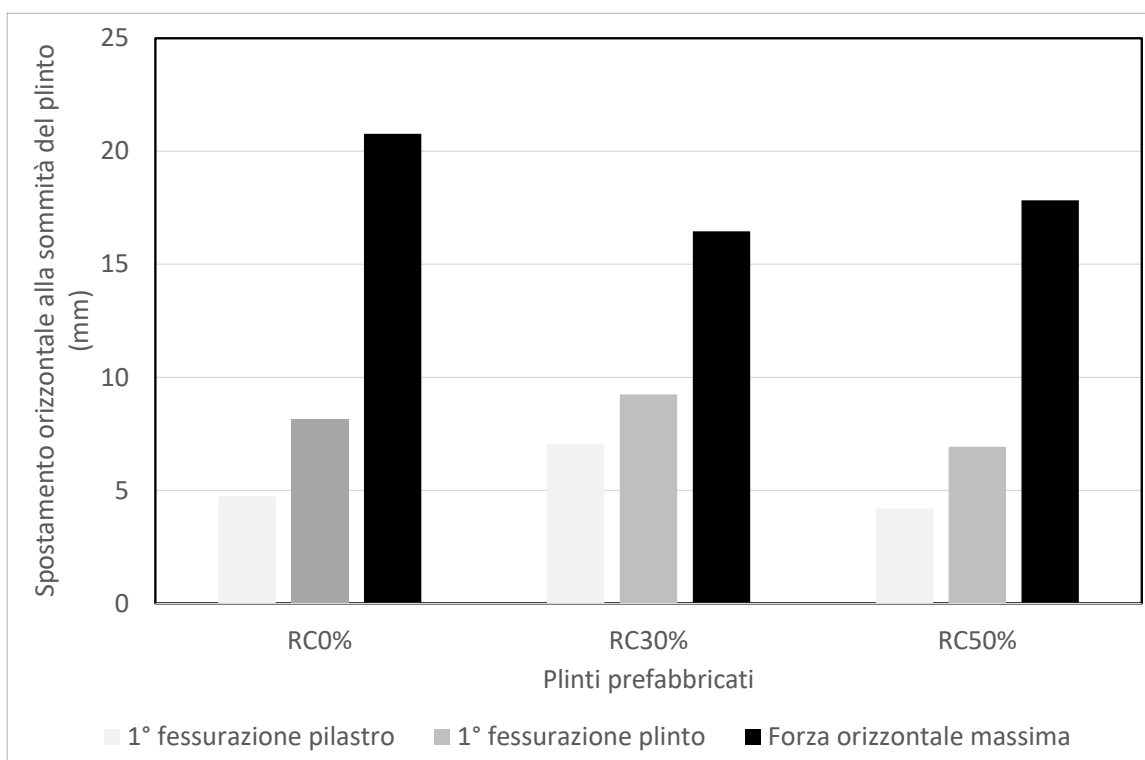


Fig. 12. *Spostamenti alla sommità del plinto in corrispondenza della 1° fessurazione del pilastro, del plinto e della forza massima raggiunta*

In Figura 13 sono riportate le rotazioni rigide del plinto in corrispondenza della 1° fessurazione del pilastro, del plinto e della forza orizzontale massima raggiunta.

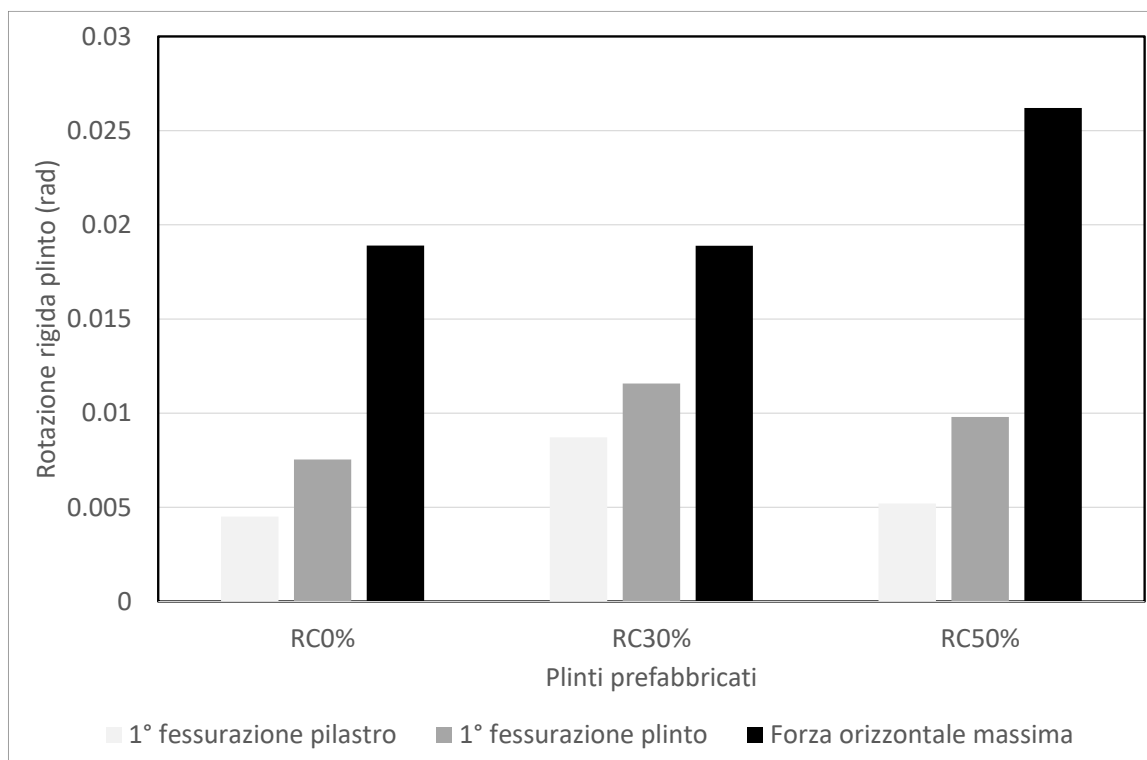


Fig. 13. Rotazioni rigide del plinto in corrispondenza della 1° fessurazione del pilastro, del plinto e della forza massima raggiunta

Analisi dei risultati

La condizione vincolare, che prevedeva il blocco della fondazione alla base, ha funzionato in maniera adeguata in tutte le prove come si evince dal diagramma di Fig. 11. Gli spostamenti oltre che essere risultati esigui sono rimasti pressoché costanti durante tutte le prove, solo nel plinto RC0% sono cresciuti all'aumentare della forza orizzontale, ma comunque in presenza della forza orizzontale massima inferiori a 2 mm.

La forza orizzontale che ha prodotto la 1° fessurazione del pilastro è variata in un range compreso fra 35 e 57 kN. La causa di questa variazione potrebbe essere dovuta al getto complementare di calcestruzzo impiegato per collegare il pilastro al plinto, sia in termini di resistenza che di grado di compattazione. Il calcestruzzo per ciascun dei 3 campioni plinto pilastro è stato confezionato separatamente, seppure la miscela fosse identica (vedi Tabella 3). Le resistenze a compressione ottenute per questo calcestruzzo sono differenti (vedi Tabella 4) e la compattazione è avvenuta manualmente, con conseguente probabile disuniformità della matrice cementizia.

Il collasso del sistema plinto pilastro è avvenuto in tutti e tre i plinti a causa di una unica lesione che si è generata alla base del plinto fra la suola e il bicchiere. La forza orizzontale che ha prodotto la 1° fessura alla base del plinto è risultata compresa fra 57 e 80 kN, con valori crescenti all'aumentare della percentuale di sostituzione dell'aggregato grosso naturale con quello riciclato (vedi Fig. 10). La forza orizzontale massima raggiunta è rimasta pressoché costante in tutti e tre i plinti.

I risultati evidenziano quindi che la presenza di aggregati grossi riciclati non determina riduzione nelle prestazioni meccaniche nel plinto prefabbricato.

L'analisi dei risultati delle deformate non evidenziano particolari criticità in presenza di aggregati grossi riciclati anche quando la percentuale di sostituzione degli aggregati grossi naturali raggiunge il 50%.