



## **“PET- LAT” E' IL SOLAIO LEGGERO E SOSTENIBILE**

**SALVATORE LO PRESTI**

*Facoltà Ingegneria - Università di Palermo*

*Presidente ASCI*

[Info@sciweb.it](mailto:Info@sciweb.it)

### **1. INTRODUZIONE**

**“PET-LAT”** è l'acronimo di ***solaio ecologico misto in calcestruzzo alleggerito con aggregato di polietilentereftalato (PET) e pignatte realizzate con lattine (LAT) di alluminio.***

Il nuovo solaio nasce da due distinte ricerche sperimentali condotte dallo scrivente e finalizzate all'impiego nell'edilizia di risorse provenienti dal riciclaggio di rifiuti solidi urbani; le ricerche hanno prodotto tre distinti brevetti: la prima ha condotto alla creazione dell'aggregato strutturale leggero di PET<sup>1</sup> e la seconda alla pignatta in lattine di alluminio<sup>2</sup> posta in opera tramite il cestello porta-pignatte<sup>3</sup>.

Malgrado sia ormai diffusa la conoscenza dei problemi legati alla conservazione dell'ambiente non è tuttavia ancora decollata una vera cultura dell'industria che promuova azioni mirate al risparmio delle risorse naturali attraverso la creazione di nuovi prodotti ottenuti dalla trasformazione degli scarti riciclati. In quest'ottica, assume sempre maggiore rilievo il concetto di **“sviluppo sostenibile”**, cioè sviluppo economico che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere il diritto delle generazioni future di soddisfare i propri. Ciò si traduce nella necessità, ormai inderogabile, di educare i comportamenti dei consumatori, tenendo presente la capacità d'assimilazione del pianeta, tramite un' oculata gestione delle risorse naturali, in special modo quelle esauribili, al fine di limitarne lo spreco.

In futuro dunque, per evitare il collasso ambientale, sarà necessario promuovere processi industriali che mirino alla produzione di manufatti derivati dal riciclaggio in armonia con lo sviluppo economico che segue le automatiche regole del mercato e che richiede sempre maggiori quantità di prodotti. E' necessario, quindi, risvoltare il concetto di riciclaggio, trasformandolo da quello ancora presente, d'eliminazione di materiale inutile ed ingombrante, a quello auspicabile di utilizzazione di risorse preziose, materie prime seconde, cioè, che discendono da altri materiali scartati in altri settori sia del consumo che della produzione e che, potendo essere acquisiti con bassi costi, risultino economicamente convenienti; potrà dunque conciliarsi il ritorno economico, vero motore di gran parte dell'attività dell'uomo, con il benessere ambientale.

E' in quest'ottica che si può inquadrare lo studio di cui si dà notizia; si vede nel riuso delle **bottiglie di plastica** e delle **lattine d'alluminio**, provenienti dalla raccolta differenziata originariamente impiegate per contenere bibite, un'occasione davvero ghiotta per rendere utili, con opportuna trasformazione le prime e senza alcuna trasformazione le seconde, quindi economicamente ancora più convenienti, questi materiali di rifiuto che altrimenti sarebbero destinati, per la gran parte, all'abbandono o a processi di lavorazione molto onerosi per reimpiegarli (Fig. 01).

Il polietilentereftalato è un polimero altamente inquinante poiché all'ambiente occorre un migliaio di anni per poterlo digerire, proprio per queste sue caratteristiche di ottima stabilità viene impiegato per costruire bottiglie destinate a contenere liquidi alimentari. L'Italia, in Europa, è il maggiore produttore e consumatore di bottiglie in “PET”, con un consumo annuo di circa 500.000 tonnellate (circa 9 Kg/anno pro capite), tuttavia è l'ultimo per ciò che riguarda il suo riciclaggio, con percentuali intorno al 25%. Ciò significa che la grande parte del materiale rimane disperso nell'ambiente, ed ancora, della porzione che si ricava dalla raccolta differenziata solo una piccola parte trova impiego nelle attività di riciclaggio dal momento che la legge non consente il suo riutilizzo per produrre nuovamente contenitori per liquidi alimentari.

Il problema connesso allo smaltimento e al riutilizzo del PET è quindi di notevole importanza; attualmente la parte riciclata trova parziali impieghi in diversi settori economici quali l'agricoltura con la produzione di tubi per l'irrigazione, di paletti, di teloni ecc.; l'edilizia con la produzione di isolanti e di

<sup>1</sup> International Patent 25.03.2004 Number WO 2004/024793 A2

<sup>2</sup> Brevetto Nazionale 07.07.2003 Numero PA 2003 A 000012

<sup>3</sup> Brevetto Nazionale 30.12.2003 Numero PA 2003 A 000032

guaine; l'industria automobilistica con la produzione di tappetini, sedili, paraurti; l'abbigliamento sportivo e l'arredo per esteri. Malauguratamente però, come detto, le quantità riutilizzate sono molto modeste al confronto di quelle disperse nell'ambiente.



**Figura 01.** Accumulo di rifiuti di bottiglie di plastica e lattine d'alluminio.

Ciò avviene nonostante il PET possenga ottime proprietà che potrebbero essere utilizzate anche, e forse meglio, in altri settori della produzione industriale: Densità 1.400 kg/mc; Temperatura di fusione 265 °C; Temperatura di infiammabilità 370 °C; Temperatura di autoignizione 500 °C.

Queste considerazioni, rammentando anche che in Italia si producono annualmente 120 milioni di m<sup>3</sup> di calcestruzzo, mi hanno indotto a pensare che le enormi quantità inutilizzate del polimero potrebbero essere confinate, come aggregati leggeri, all'interno di manufatti in calcestruzzo. La ricerca che ne è seguita ha condotto alla creazione di un pietrisco artificiale<sup>4</sup> che nelle sperimentazioni ha fornito buone prestazioni meccaniche ai manufatti con esso realizzati (Tab. 01).



**Figura 02.** Pietrisco artificiale.

Massa Volumica Aggregato Sabbiato (Strutturale)	500 Kg/mc
Rapporto a/c	0,6
Quantità di Cemento	285 Kg/ m <sup>3</sup>
Resistenza Meccanica	27 MPa
Massa Volumica Calcestruzzo	1.600 Kg/ m <sup>3</sup>

**Tabella 01.** Dati relativi a cubetti in cls con aggregato di PET.

Nel mix-design dell'impasto preparato per la formazione degli elementi di prova è stato adottato volutamente un rapporto acqua/cemento molto alto ed un quantitativo di cemento molto basso, questo per poter testare il comportamento meccanico dei provini cubici alle condizioni prossime ai limiti inferiori<sup>5</sup>.

I risultati ottenuti hanno incoraggiato la prosecuzione delle sperimentazioni anche in considerazione del fatto che il rinnovato interesse per il rispetto dell'ambiente renderà sempre più difficile l'apertura di nuove cave per la produzione di pietrisco naturale, ed essendo in esaurimento quelle ancora aperte, si può prevedere che in un prossimo futuro saliranno alle stelle i costi degli aggregati per calcestruzzo; in Giappone sono ormai costretti a ricorrere alle rocce marine. La ricerca sperimentale ha proseguito nella sua evoluzione impiegando l'aggregato leggero di PET per costruire strutture da sottoporre a prove di resistenza meccanica; tali strutture al momento sono limitate ai solai per civile abitazione anche in considerazione del fatto che parallelamente chi scrive ha sperimentato un nuovo tipo di pignatta costituita da lattine vuote di alluminio ed appariva interessante effettuare prove su solai che impiegassero i due distinti prodotti provenienti dal riciclaggio.

Per quanto riguarda le lattine di alluminio le considerazioni generali sono simili a quelle espresse per il PET anche se non esattamente sovrapponibili. Le lattine d'alluminio per bevande sono tra gli oggetti "usa e getta" quelli che possono essere considerati i più diffusi; esse in più di 60 anni di storia

<sup>4</sup> Vedi Enco-Journal n° 22

<sup>5</sup> Per calcestruzzi alleggeriti con aggregati leggeri artificiali è consigliato, ai fini dell'ottenimento di prestazioni meccaniche che possano classificarli strutturali, un rapporto a/c di circa 0,35 ed un quantitativo elevato di cemento.

hanno subito una moltitudine di piccole innovazioni che vanno di pari passo con quelle che sono le conquiste tecnologiche in campo industriale. La prima lattina in alluminio costituita in tre pezzi, fu prodotta dalla società Metal Box nel 1948, era destinata al contenimento di birra ed era una "211 End" cioè aveva un coperchio (End) "corona" da 2 pollici e 11/16 (corrispondenti a 6.83 cm) di diametro. La prima lattina in due pezzi, invece fu ottenuta in Svizzera dalla società Jakob Keller Az di Zurigo partendo da un disco di alluminio ricotto e destinata a contenere birra. Le lattine a due pezzi in alluminio sbarcarono negli Stati Uniti nel 1960 su brevetto della Reynolds Metals, ma la loro definitiva consacrazione sul mercato la ebbero nel 1962 quando l'americano Ernie Frazee inventò il sistema "Easy Open" letteralmente "apertura facilitata" consistente nella linguetta a strappo. La relativa lattina "Easy Open End" (lattina col tappo ad apertura facile) detta anche "Tear Top Tab" (lattina con linguetta a strappo) sostituì definitivamente la lattina in banda stagnata per bevande. L'ultima versione risale al 1990 ed è chiamata lattina "Stay On Tab" e presenta un'ulteriore diminuzione del diametro del coperchio con conseguente ulteriore diminuzione del peso della lattina (Fig. 03).

In Italia, l'oggetto in alluminio che detiene il primato di produzione è la lattina. Ogni anno se ne consumano 1 miliardo e 800 milioni, pari a 25.000 tonnellate di alluminio, oltre il 40% del totale degli imballaggi. Se fossero ordinatamente allineate l'una accanto all'altra occuperebbero circa 1.810 campi di calcio; se si assemblassero per costruire un edificio, con esse si potrebbero costruire ben 730 "Maschio Angioino" ogni anno (Fig. 04).



**Figura 03.** Lattine attualmente in produzione.



**Figura 04.** Modello del Maschio Angioino con lattine.

Oggi l'Europa dispone di una potenzialità di circa 120.000 ton./anno di lattine in alluminio da impiegare sia per il riciclaggio che per il loro riutilizzo nella produzione di nuove lattine. La ditta Alcan, a Warrington in Inghilterra, ha un impianto di riciclaggio di lattine usate che da sola possiede una capacità annuale di 75.000 ton. Il prezzo di mercato per le lattine usate varia dai 500 ai 600 euro per tonnellata con un costo medio di riciclaggio di circa 150 euro per tonnellata; ciò rende la raccolta appetibile. Tuttavia per un utile reimpiego dell'alluminio, derivato dalla raccolta, è necessario aggiungere ai costi per l'acquisto del materiale anche quello che deriva dalle complesse procedure di selezione, pulitura, scrostatura delle vernici e fusione. E' dalla necessità di eliminare questi costi aggiuntivi che nasce l'idea di impiegare le lattine vuote, senza ulteriori lavorazioni, assemblandole magari per formare delle pignatte per solai.

## 2. LA RICERCA

Per quanto riguarda la complessa ricerca che ha condotto alla formazione dell'aggregato leggero di PET non si forniscono qui ulteriori informazioni rimandando il lettore, che fosse interessato a maggiori chiarimenti, alla bibliografia che chiude il presente lavoro. Si illustrano invece, brevemente, gli aspetti salienti della ricerca relativa alla formazione della pignatta in alluminio e del solaio ecologico "PET-LAT".

Il solaio è una struttura portante a giacitura orizzontale, detta anche "orizzontamento", che nel processo di trasferimento dei carichi al terreno resistente di fondazione, riveste la funzione di primo raccogliatore dei carichi utili. Dal punto di vista statico può essere annoverato tra le strutture inflesse, e quindi si caratterizza, per vincoli di semplice appoggio, per avere il bordo superiore compresso e quello inferiore teso; le due zone, compressa e tesa, sono separate da uno strato detto "neutro" poiché, quando il solido è sottoposto ai carichi, su questo strato le fibre non subiscono deformazioni.

Nei solai in cemento armato la funzione di assorbire le due differenti sollecitazioni, compressione e trazione, è affidata rispettivamente al calcestruzzo nella parte superiore ed al ferro nella parte inferiore; il ferro viene impiegato in tondini posti ad equidistanza ed inglobati nel calcestruzzo del manufatto monolitico di cemento armato. Un solaio siffatto tuttavia è molto pesante e presenta

localmente zone di possibile fessurazione al livello del calcestruzzo tra due tondini successivi, a volte distanti tra loro, che risulta non adeguatamente scaricato dalla sollecitazione di trazione; da qui la scelta di raggruppare a due a due i tondini di ferro per eliminare la parte in eccesso di calcestruzzo, pesante e rischiosa, tra due successive coppie di tondini. Si ottiene così un solaio nervato, con superficie intradossale discontinua, composto da una sequenza continua di elementi portanti a "T" costituiti da travetti, al cui piede sono inseriti ferri tondi, e da una soletta orizzontale, detta "cappa" o "caldana", in calcestruzzo sollecitata a compressione. Al fine di rendere continuo l'intradosso del solaio si inseriscono tra due successivi travetti degli elementi, detti **pignatte o volterrane**, la cui unica funzione è quella di riempimento, quindi non dovendo assolvere, in esercizio, a funzioni portanti viene chiesto loro di essere leggere e resistenti al peso dell'operatore che le va posizionando in opera e, al momento del getto, al peso del calcestruzzo che forma lo strato di cappa non ancora indurito e quindi non ancora strutturalmente solidale con il gambo del travetto. Da queste brevi considerazioni si può ritenere accettabile l'idea di provare a costruire pignatte anche con le lattine di alluminio riciclate (Fig. 05).



**Figura 05.** Lattine d'alluminio raccolte per la costruzione delle pignatte.

La fase di costruzione degli elementi di alleggerimento, sia per solai prefabbricati che semiprefabbricati in c.a., ha seguito due distinte tecniche di assemblaggio delle lattine. La prima consiste nell'inserire le lattine in posizione verticale entro apposite griglie preformate quadrangolari costruite con materiale plastico (anch'esso proveniente dal riciclaggio). Successivamente questi pacchetti sono stati avvolti con film termoretraibile e ciò per impedire sia lo sfilamento verticale delle singole lattine che l'ingresso durante il getto, poichè si tratta di lattine usate, del calcestruzzo negli elementi parzialmente aperti (Fig. 06). La seconda invece consiste nella creazione di un pacchetto che si ottiene inserendo anche qui le lattine in posizione verticale nelle griglie di materiale plastico, ma in questo caso, sia inferiormente che superiormente, sono successivamente posti dei fogli di cartone di scarto politamburato che hanno la funzione di ripartitori del carico verticale; infine si procede all'avvolgimento del pacchetto con il film termoretraibile (Fig. 07).

La pignatta del primo tipo, di forma rettangolare, è composta da  $5 \times 7 = 35$  lattine ed ha dimensioni 32,50 x 45,50 cm; è pensata per solai prefabbricati muniti di soletta inferiore in c.a. su cui possono essere poggiate e disposte l'una accanto all'altra. La pignatta del secondo tipo, pensata per solai con travetti a traliccio semiprefabbricati, è pure di forma rettangolare ed ha le caratteristiche riportate in Tabella 02. Se si confronta il peso delle pignatte in lattine con quello delle pignatte in laterizio si nota come le prime siano ben 25 volte più leggere! (Tab. 03).



**Figura 06.** Primo tipo di pignatta con lattine d'alluminio.



**Figura 07.** Secondo tipo di pignatta.



N° Lattine	Lunghezza (cm)	Larghezza (cm)	Altezza (cm)	Superficie (mq)	Volume (mc)	Peso (Kg)
90	100,70	40,40	12,70	0,41	0,052	1,26

**Tabella 02.** Caratteristiche della pignatte del secondo tipo.

Tipo di pignatta	Peso/Volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso ogni m <sup>2</sup> di solaio (Kg/mq)
In laterizio	736,00	84,64
In lattine	24,23	3,07

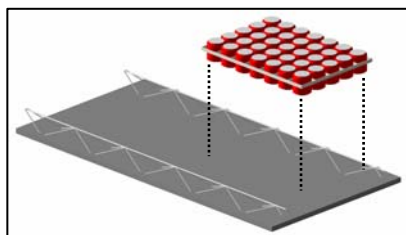
**Tabella 03.** Confronto con le pignatte in laterizio.

### 3. LA SPERIMENTAZIONE

Il paragone con le pignatte in laterizio è molto stimolante, pertanto nella fase sperimentale della ricerca si sono messi a confronto solai di dimensioni reali realizzati con pignatte di laterizio con analoghi realizzati con pignatte in lattine di alluminio.

Sono stati costruiti n° 8 solai in c.a. e precisamente 2 PET-LAT con pignatte di lattine del primo tipo, 2 PET-LAT con pignatte di lattine del secondo tipo, 2 tradizionali prefabbricati con pignatte in polistirene espanso e 2 tradizionali con tralicci semiprefabbricati e pignatte in laterizio, per il confronto del comportamento strutturale; in particolare:

1. la prima tipologia, solaio prefabbricato sandwich che adotta il primo tipo di pignatta, consiste in un solaio a nervature parallele costituito da lastre in c.a. dello spessore di 4 cm e larghe 120 cm, con incorporati tre tralicci metallici ad interasse di 45 cm, collegati tra di loro da un'armatura trasversale annegata nella base di cls, costituita da 1  $\Phi$  6 ogni 30 cm. Tra un traliccio e l'altro è stata posta la pignatta di lattine riciclate di alluminio, successivamente è stata posata un'armatura di ripartizione costituita da una rete metallica a maglia quadrata di lato 10 cm. (Figg. 08-09). Il getto di finitura è stato eseguito con calcestruzzo alleggerito con aggregato leggero di PET avente  $R_{ck} = 30$  MPa (Fig. 10). Lo spessore del solaio è composto da 4 cm di base, 12 cm di pignatta ed 4 cm di cappa; per un totale di 20 cm che permette secondo l'attuale normativa di coprire luci massime di 5 m.



**Figura 08.** Pignatta con lattine d'alluminio del primo tipo per solaio a soletta e traliccio.



**Figura 09.** Fase della messa in opera.



**Figura 10.** Getto del calcestruzzo

*Qui il confronto è fatto con il polistirolo.*

*alleggerito strutturale.*

2. la seconda tipologia, che utilizza la pignatta rifinita con lastre di cartone, consiste in un solaio a nervature parallele costituite da travetti semiprefabbricati in c.a. di larghezza pari a 14 cm. Per la realizzazione di quest'ultima tipologia, a causa dell'assenza delle alette d'appoggio sui travetti di cui sono prive le pignatte in alluminio, si è progettato un cestello di supporto in materiale metallico, che oltre a permettere l'accoglimento della pignatta di lattine, facilita la corretta messa in opera dell'intero manufatto (Fig. 11). Questo cestello, il cui fondo è costituito da rete elettrosaldata per facilitare la posa dell'intonaco all'intradosso del solaio, può consentire l'impiego di lastre di polistirolo espanso senza alcuna sagomatura per essere impiegare in sostituzione delle pignatte anche in questa tipologia di solaio.



**Figura 11.** Cestello porta-pignatte in metallo con bordo sagomato per l'appoggio ai travetti e rete metallica sul fondo per consentire l'intonaco all'intradosso del solaio. Consente anche l'impiego di lastre in polistirolo espanso non sagomate.

La messa in opera avviene disponendo dapprima i travetti semiprefabbricati, successivamente a questi vengono appoggiati i cestelli ed infine entro questi cestelli si dispongono le pignatte (Fig. 12).



**Figura 12.** Fasi di posa dei travetti, cestelli e pignatte. Getto del calcestruzzo alleggerito strutturale.

Successivamente è stata posta l'armatura di ripartizione, costituita da una rete metallica a maglie quadrate di lato 10 cm, e poi il tutto è stato completato con un getto in calcestruzzo alleggerito strutturale avente  $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ . Lo spessore del solaio è qui inferiore a quello del primo tipo, risulta infatti dalla somma dello spessore della caldana di 4 cm più l'altezza dell'elemento di alleggerimento di 13 cm che in totale raggiunge i 17 cm; lo spessore dell'elemento di alleggerimento può comunque essere aumentato utilizzando, ad esempio, lattine di alluminio di altezza maggiore alle precedenti oppure sovrapponendo due strati di lattine, per coprire luci più estese.

Un argomento molto convincente che gioca a favore del solaio PET-LAT è il semplice confronto in termini di peso proprio con il solaio il latero-cemento.

TIPOLOGIA Solaio	MATERIALE	QUANTITA' al m <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	MASSA VOLUMICA (Kg/m <sup>3</sup> )	PESO al m <sup>2</sup> (Kg/m <sup>2</sup> )	PESO TOT. al m <sup>2</sup> (Kg/m <sup>2</sup> )
Solaio in latero-cemento	Calcestruzzo armato	0,08	2.500	200	<b>290</b>
	Laterizio	0,12	736	90	
Solaio PET-LAT	Calcestruzzo armato alleggerito	0,08	1.700	136	<b>141</b>
	Cestello portapignatta	0,0002	7.800	2	
	Lattine alluminio	0,12	24	3	

**Tabella 04.** Confronto del peso proprio tra il solaio in latero-cemento ed il solaio PET-LAT.

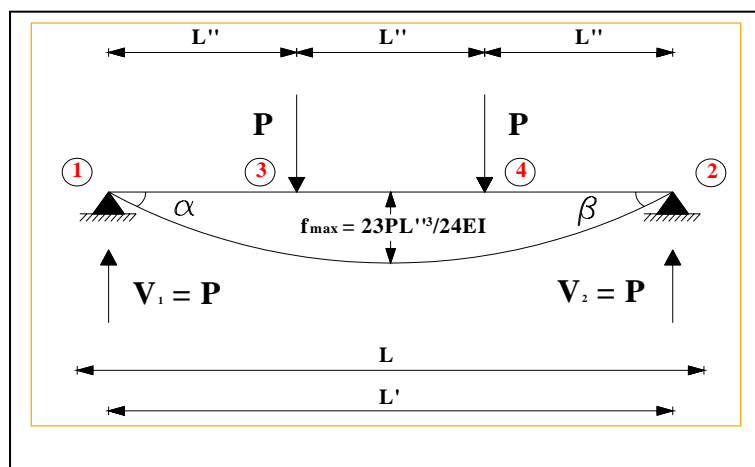
Dal confronto emerge che il solaio PET-LAT è pesante meno della metà del solaio in latero-cemento e questo grazie all'impiego di calcestruzzo strutturale alleggerito con aggregato leggero artificiale di PET e pignatte realizzate con lattine di alluminio provenienti dalla raccolta differenziata.

#### 4. LE PROVE MECCANICHE

Il confronto con il solaio in latero-cemento è risultato positivo per il PET-LAT in termini di leggerezza, tuttavia è necessario che risulti positivo anche, e soprattutto, in termini di comportamento meccanico. Sono stati pertanto sottoposti a prove di carico gli 8 solai costruiti come sopra specificato.

L'attrezzatura di carico impiegata è costituita da due cilindri idraulici tipo Enerpac RC 2510 di capacità max 23 tonn, (area efficace cilindro pari a 33,3 cm<sup>2</sup> e corsa 261 mm) azionati da un'unica pompa manuale Enerpac dotata di manometro meccanico. La misura della pressione del circuito idraulico è stata eseguita anche con un trasduttore estensimetrico HBM di classe 0,1 (range 100 bar e precisione 0.1 bar) disposto in parallelo al manometro. I cilindri idraulici sono stati dotati di testina sferica autolivellante che evita l'insorgere di componenti di sforzo orizzontali ed annulla eventuali sollecitazioni secondarie o squilibranti.

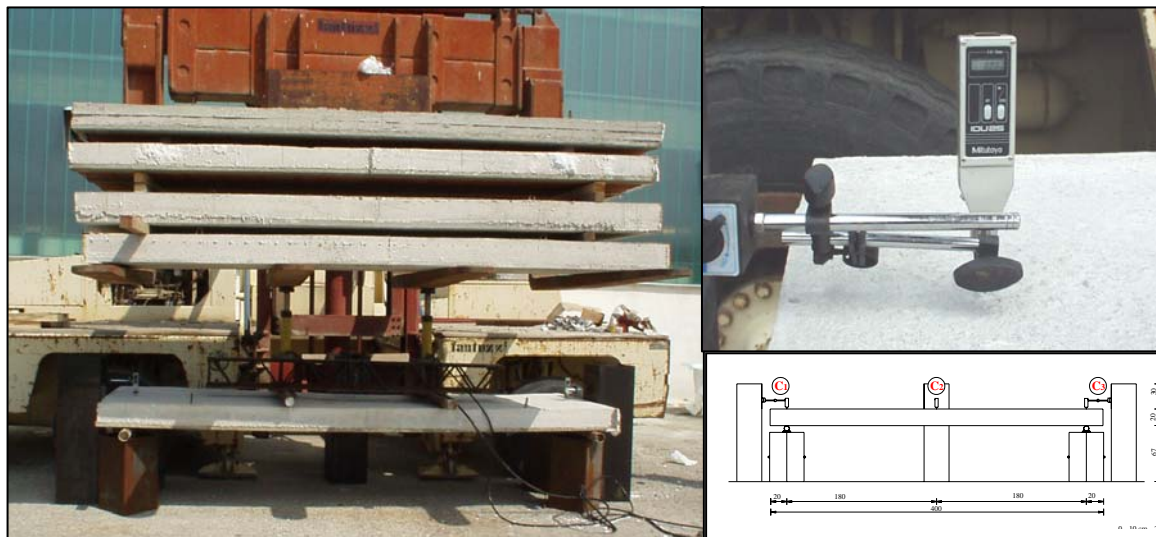
I solai sono stati sollecitati da due carichi concentrati, di pari entità, ed applicati nelle sezioni corrispondenti ai terzi della luce. In questo modo è possibile analizzare il comportamento del solaio stesso, con maggiore riguardo alla fessurazione, nel tratto centrale fra i due carichi nel quale la sollecitazione di taglio è assente (Fig. 13).



**Figura 13.** Schema di carico per i solai sottoposti a prova.

Le misure degli spostamenti sono state eseguite per mezzo di n° 3 trasduttori elettronici tipo LVDT autoamplificati e dotati di display, la cui precisione è pari a 1/100 di mm. I tre trasduttori sono stati installati in corrispondenza degli appoggi e della sezione di mezzeria (Fig. 14).

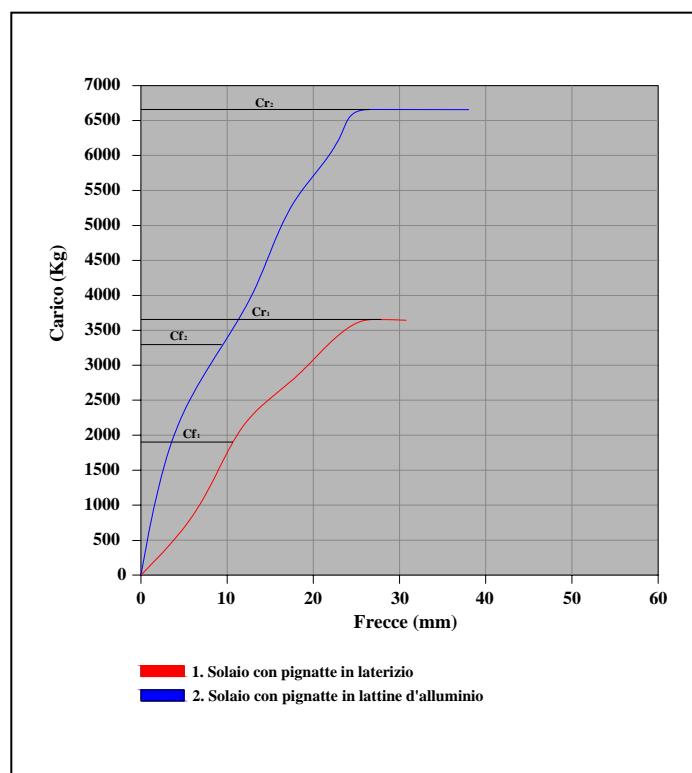
Ciascun campione è stato sottoposto ad un ciclo di carico monotono crescente fino alla condizione di prima fessurazione, poi ad un secondo ciclo fino alla rottura.



**Figura 14.** Prove di carico dei solai.

Dall'analisi dei risultati emergono due sostanziali considerazioni:

- confrontando il comportamento statico dei solai prefabbricati (PET-LAT con pignatte del 1° tipo e tradizionali con pignatte in polistirene espanso) si evidenzia una sostanziale parità di prestazioni;
- confrontando il comportamento statico dei solai semiprefabbricati (PET-LAT con pignatte del 2° tipo e tradizionali con pignatte in laterizio) si evidenzia una notevole disparità di prestazioni (Fig. 15);





**Figura 15.** Risultati delle prove di carico per i solai semiprefabbricati.

TIPOLOGIA	FRECCIA RESIDUA (mm)	CARICO DI ROTTURA (Kg)
Soali in latero-cemento	1,38	3.652
<b>Solai in lattine del 2° tipo</b>	<b>0,41</b>	<b>6.640</b>

**Tabella 05.** Confronto risultati delle prove di carico.

In particolare, dal confronto dei grafici relativi alle prove di carico effettuate sui solai in latero-cemento tradizionali (linea rossa) e sui solai PET-LAT (linea blu), emergono le seguenti considerazioni:

- i campioni di solaio con pignatte di lattine del secondo tipo evidenziano maggiori rigidità rispetto agli omologhi tradizionali ed un migliore comportamento alla fessurazione;
- i campioni di solaio con pignatte di lattine del secondo tipo mantengono minori frecce residue rispetto agli omologhi tradizionali;
- i campioni di solaio con pignatte di lattine del secondo tipo sopportano maggiori carichi di rottura (quasi il doppio) rispetto agli omologhi tradizionali (Tab. 05).

## 5. Conclusioni

L'eccezionale risultato riscontrato nel comportamento meccanico dei solai PET-LAT con pignatte in lattine del 2° tipo non è certamente da attribuire alla presenza delle lattine di alluminio, bensì alla presenza del cestello porta-pignatte realizzato in ferro e posto in zona tesa che, inglobato nel getto di calcestruzzo, collabora con l'armatura metallica conferendo al sistema una notevole elasticità pur incrementando il peso del solaio di una quantità davvero trascurabile.

Gli obiettivi fin qui raggiunti sono:

1. Possibilità di diminuire la quantità di materiali inquinanti nell'ambiente riutilizzando parte di questi, nel caso specifico bottiglie di Pet, lattine di alluminio, cartone e plastica, per la realizzazione di elementi di alleggerimento per solai semiprefabbricati e prefabbricati;
2. riduzione del peso totale dei solai rispetto agli attuali in latero-cemento, con tutti i vantaggi connessi alla maggiore leggerezza (minore effetto del sisma, minore carico trasmesso alle fondazioni, alleggerimento del carico sulle strutture portanti nei restauri strutturali di edifici storici, più agevole movimentazione degli elementi prefabbricati nei centri storici, ecc.);
3. migliori prestazioni meccaniche e di durabilità dei manufatti;
4. Vantaggi nella messa in opera dei solai semiprefabbricati, grazie all'utilizzo del cestello porta-pignatte che può servire da piano di calpestio per gli operatori e da contenitore di qualsiasi tipo di alleggerimento non sagomato agli appoggi sui travetti;
5. Diminuzione del costo degli elementi di alleggerimento rispetto a quelli attualmente in commercio (laterizio, calcestruzzo alleggerito ecc...).

Il solaio ecologico PET-LAT del secondo tipo è caratterizzato dal fatto che impiega materiali provenienti dal riciclaggio e quindi segue la via della **sostenibilità** dello sviluppo industriale; risulta molto meno pesante (meno della metà) di un solaio tradizionale, quindi si caratterizza per la sua **leggerezza**; manifesta migliori capacità portanti (carico di rottura quasi il doppio) di un solaio tradizionale, quindi ha ottime proprietà di **resistenza** meccanica; risulta più elastico (freccia residua meno di un terzo) di un solaio tradizionale ed è meno fessurabile, quindi per esso può prevedersi una maggiore **durabilità**.

I sostantivi evidenziati di: sostenibilità, leggerezza, resistenza e durabilità sono tutti concetti di grande attualità che, tradotti in prestazioni dei manufatti, dovranno essere sempre di più inevitabilmente ricercati nelle proprietà dei nuovi materiali da costruzione.

## 6. Bibliografia

- [1] 1990 - **Lo Presti Salvatore**, "Verifica della convenienza economica nell'impiego di calcestruzzo strutturale leggero" – L'Ingegnere Italiano n° 216/1990.
- [2] 1991 - **Collepari Mario**, "Scienza e Tecnologia del calcestruzzo", terza edizione – Hoepli – Milano 1991.
- [3] 1998 - **O'Brien, K.**, "Using recycled aggregate concretes as part of an overall approach to sustainable construction" – Thomas Telford Publishing – London 1998.
- [4] 1998 - **Desai, S.B.**, "Sustainable Development and recycling of concrete aggregate" - Thomas Telford Publishing – London 1998.
- [5] 1999 - **Corinaldesi Valeria**, Moriconi Giacomo, "Use of rubbles from building demolition as aggregates for structural concretes" – M. Oelino ed. – L'Aquila 1999.
- [6] 2000 - **Nagataky S.**, " Effects of recycled aggregate characteristics on performance parameters of recycled aggregate concrete" — American Concrete Institute - Barcellona 2000.
- [7] 2001 - **Lo Presti Salvatore**, "Calcestruzzo. Qualità, controllo" - in atti del convegno internazionale: "Costruire l'architettura: i materiali, i componenti, le tecniche" – Napoli, 12,13 ottobre 2001.
- [8] 2001 - **Kasami H., Hosino M, Arasima T, Tateyasiki H.**, "Use of Recycled Concrete Powder in Self-Compacting Concrete, Proceedings of the Fifth CANMET/ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, Singapore, July 29 – August 1, 2001.
- [9] 2002 - **Lo Presti Salvatore**, "Sistemi Costruttivi" - ALBA – Palermo, Gennaio 2002
- [10] 2002 - **Lo Presti Salvatore**, "Fattore di Maturazione" - in "L'EDILIZIA" n° 5 –Milano, Settembre-Ottobre 2002.
- [11] 2002 - **Corinaldesi V., Morioni G.**, " I Materiali Inerti da Demolizioni nelle Malte e nei Calcestruzzi: nuove prospettive" – Recycling, demolizioni & riciclaggio, n° 2 – marzo 2002.
- [12] 2003 - **Cordone Dario**, "Sicilia: Nasce un Polo di Sperimentazione con un occhio all'ambiente ed allo sviluppo sostenibile" – Regione & Ambiente n° 5 – Ancona 2003.
- [13] 2003 - **Lo Presti Salvatore**, "Dalle bottiglie al calcestruzzo: contributo ad uno sviluppo sostenibile" - in "ENCO JOURNAL" n° 22 – Treviso, Maggio 2003.
- [14] 2003 - **Collepari Mario**, "Il Nuovo Calcestruzzo" – terza edizione - Tintoretto Ed. – Ponzano Veneto - 2003
- [15] 2003 - **Lo Presti Salvatore**, brevetto nazionale - "Pignatta o volterrana, per solaio misto in calcestruzzo armato, realizzata con lattine di alluminio per bibite sia riciclate che vergini". - Inventore: Salvatore Lo Presti. – data deposito: 07.07.2003 – Numero: PA 2003 A 000012.
- [16] 2003 - **Lo Presti Salvatore, Enrico Martines**, "From recycled plastic bottles to new building materials" - in atti del seminario internazionale "Two-day international seminar on "sustainable development in cement and concrete industries" Politecnico di Milano – Conference Room MA1. - Milano, 17-18 Ottobre 2003.
- [17] 2003 - **Lo Presti Salvatore, Settimo Francesco Miranda, Calogero Russo, Giovanni Tona**, brevetto nazionale - "Cestello porta-pignatte costituito da materiale resistente a flessione da posare in opera tra due travetti semiprefabbricati o prefabbricati di solaio". - Inventore: Salvatore Lo Presti. - data deposito: 30.12.2003 – Numero: PA 2003 A 000032.

- [19] 2004 - **Lo Presti Salvatore**, brevetto internazionale - "PET artificial aggregate for the preparation of lightened concrete". - Inventore: Salvatore Lo Presti - data deposito: 25.03.2004 - Numero: WO 2004/024793 A2.
- [20] 2004 - **Lo Presti Salvatore**, "Precast and semi-precast floors with aluminium cans lug bricks" - in atti del 7° Congresso Nazionale AIMAT - Ancona 27 giugno- 02 luglio 2004.
- [21] 2005 – **Colleparidi M., Ogoumah Olagot J.J., Simonelli F., Troli R.**, "Il Calcestruzzo Vulnerabile" - Tintoretto Ed. - Ponzano Veneto – gennaio 2005.
- [22] 2005 – **Colleparidi Mario, Silvia Colleparidi, Roberto Troli**, "Il Calcestruzzo Logico – Manuale del Mix Design" - Tintoretto Ed. - Ponzano Veneto – gennaio 2005.

*Desidero ringraziare, per il prezioso aiuto fornitomi durante le varie fasi della ricerca, i collaboratori: Ing. Settimo Miranda, Ing. Calogero Russo, Ing. Giovanni Tona, Ing. Rosario Urso. e la Ditta "Prefabbricati Nord", Isola delle Femmine (PA) presso la quale è stata condotta la sperimentazione.*