

AGGREGATO ARTIFICIALE LEGGERO DI PET

Realizzato con bottiglie di plastica provenienti dalla raccolta differenziata



A. INTRODUZIONE

Il calcestruzzo è un materiale da costruzione artificiale anelastico. E' composto da acqua, cemento, aggregato fine (sabbia), aggregato grosso (pietrisco) e additivi. Il pietrisco è il componente più voluminoso e più presente nell'impasto (varia dal 50% al 70%) ed è sempre più difficile approvvigionarsene poiché è sempre più difficile aprire nuove cave e quelle già aperte vanno ad esaurirsi, Questa circostanza fa sì che i prezzi del pietrisco vadano via via aumentando. In Giappone sono già costretti a frantumare rocce marine.

Il PET, acronimo di PoliEtilenTereftalato, è un polimero diffusissimo e molto impiegato nell'industria delle bevande analcoliche; la quantità di Pet immessa sul mercato italiano ed europeo è sempre più vasta; il riciclato italiano è di circa 200.000 t/anno, quello europeo è di circa 1.500.000 t/anno e nel mondo si stima che sia di circa 9.600.000 t/anno.

L'invenzione del Prof. Ing. Salvatore Lo Presti è un aggregato artificiale leggero, o pietrisco artificiale leggero, sia strutturale che non strutturale, da realizzare mediante l'impiego del PET ottenuto dalla raccolta differenziata; questo aggregato, ottenuto con un originale processo di costruzione brevettato, potrà essere rivestito di sabbia o non rivestito di sabbia a seconda dell'impiego che se ne intende fare.



Fig. 1 – alPET e alPET-S

Pertanto (Fig.1) alPET è l'acronimo di aggregato leggero di PET non sabbiato e alPET-S è l'acronimo di aggregato leggero di PET rivestito di sabbia. I calcestruzzi strutturali leggeri consentono un minor peso proprio della struttura portante che si traduce in (Fig. 2):

- Possibilità di fondare su un terreno di fondazione meno portante;
- Possibilità di raggiungere una maggiore altezza degli edifici;
- Possibilità di effettuare sopraelevazioni di strutture esistenti;
- Possibilità di impiego nei centri storici dove è prevista la sostituzione dei materiali esistenti con altri più leggeri;
- Possibilità di effettuare migliori movimentazioni in cantiere;
- Possibilità di ridurre gli effetti dannosi dell'eventuale sisma.

Il pietrisco artificiale di PET oltre all'applicazione accennata (calcestruzzi leggeri strutturali e non) può essere impiegato in forma sciolta come materiale coibente termo-acustico nel riempimento di cavità (pareti a cassetta, vespai drenanti ecc.), come (se in pezzatura ridotta) elemento decorativo di intonaco con aggregato alla vista, come elemento decorativo di pavimentazioni esterne (marciapiedi, passi perduti e camminamenti pedonali nei giardini e nei parchi attrezzati), come alleggerimento di pannelli di tamponatura o di tramezzatura ecc.

I prodotti attualmente in commercio che assolvono allo stesso scopo sono. La vermiculite, il polistirene sinterizzato espanso, la perlite, l'argilla espansa, la lana di vetro e la lana di roccia, la pietra di pomice. Tuttavia mentre il Pet trova impiego in tutte le applicazioni dette, i materiali citati trovano impiego in una o al massimo due applicazioni.

E' da notare che il pietrisco artificiale di PET è di qualità superiore a tutti quelli citati poiché da esperienze effettuate si è riscontrato:

- Nessun galleggiamento: a differenza degli altri aggregati leggeri l'alPET non galleggia nella malta cementizia allo stato fresco in ragione della sua superficie molto corrugata;
- possibilità di pilotare la densità dei granuli in fase di realizzazione; ciò si traduce in possibilità di prevedere minore o maggiore resistenza meccanica del conglomerato cementizio a fronte di minore o maggiore massa volumica.



Fig. 2 - Edificio di grande altezza

B. BREVETTO

Titolare dell'invenzione è il citato Prof. Lo Presti che ha depositato in Italia, in data 21 novembre 2003 la domanda di brevetto che gli è stato assegnato il 7 marzo 2006 con il n° **0001332599**.

Successivamente il Prof. Lo Presti ha chiesto l'internazionalizzazione del brevetto nei seguenti paesi:

- in Europa dove gli è stato accordato, in data 25 novembre 2009, il **Brevetto Europeo** numero **1537168** (Fig. 3);
- in Canada, dove il brevetto è depositato col n° 24982661;
- in Giappone, dove il brevetto è depositato col n° 2005-538025.

The image shows a European Patent Certificate (Attestato del Brevetto Europeo) issued by the European Patent Office (EPO) on 25.11.09. The certificate is presented in three columns: German (URKUNDE), English (CERTIFICATE), and French (CERTIFICAT). The patent number is 1537168, and the proprietor is Salvatore Lo Presti, residing at Via Leonardo da Vinci, 302, 90135 Palermo/IT. The certificate is signed by Alison Brimelow, President of the EPO, in Munich on 25.11.09.

URKUNDE	CERTIFICATE	CERTIFICAT
Es wird hiermit bescheinigt, dass für die in der Patentschrift beschriebene Erfindung ein europäisches Patent für die in der Patentschrift bezeichneten Vertragsstaaten erteilt worden ist.	It is hereby certified that a European patent has been granted in respect of the invention described in the patent specification for the Contracting States designated in the specification.	Il est certifié qu'un brevet européen a été délivré pour l'invention décrite dans le fascicule de brevet, pour les Etats contractants désignés dans le fascicule de brevet.
Europäisches Patent Nr.	European patent No.	Brevet européen n°
1537168		
Patentinhaber	Proprietor of the patent	Titulaire du brevet
Lo Presti, Salvatore Via Leonardo da Vinci, 302 90135 Palermo/IT		
München, den Munich, Fait à Munich, le	25.11.09	 Alison Brimelow Präsidentin des Europäischen Patentamts President of the European Patent Office Présidente de l'Office européen des brevets

Fig. 3 – Attestato del Brevetto Europeo.

In particolare i 17 singoli Stati Europei dove è stata chiesta la validazione del Brevetto Europeo sono:

AUSTRIA – BELGIO – BULGARIA – FRANCIA – GERMANIA - GRAN BRETAGNA – GRECIA - IRLANDA - ITALIA - OLANDA - REPUBBLICA CECA – ROMANIA - SLOVENIA – SPAGNA - SVIZZERA - TURCHIA - UNGHERIA



Fig. 4 – Paesi europei dove è stato validato il brevetto.

Ai fini della produzione industrializzata del prodotto è in fase molto avanzata la realizzazione della macchina presso la ditta ABL automazione s.r.l. di Brescia che ha realizzato dapprima un prototipo e successivamente un esemplare completo ed operante che necessita ancora tuttavia di ulteriori miglioramenti nella direzione della maggior celerità di produzione. (Figg. 5-7)



Fig. 5 – Preprototipo.



Fig. 6 – Prototipo



Fig. 7 – Aggregato prodotto dalla macchina sia sabbato che non sabbato

C. DATI NUMERICI

- La temperatura di fusione del PET è 265 °C;
- La temperatura di infiammabilità del PET è 370 °C;
- La temperatura di auto ignizione del PET è 500 °C;
- Le bottiglie di plastica immerse nell'ambiente impiegano circa **7 secoli** prima che si decompongano completamente in modo spontaneo;
- Il **60%** delle bottiglie di plastica utilizzate non vengono ancora riciclate.
- In **Italia** vengono consumati ogni anno in media **270 litri** di acqua minerale e di bibite varie equivalenti a **180 bottiglie** da 1,5 litri procapite. Solo dai supermercati italiani escono **15 miliardi di bottiglie in PET** ogni anno;
- Il quantitativo di bottiglie riciclate in Italia ogni anno (40%) è pari a:
 $15 \text{ miliardi} \times 0,4 = 6 \text{ miliardi} \rightarrow 200 \text{ milioni kg} \rightarrow 143.000 \text{ mc}$;
- In Europa si ricicla (anno 2010) 1,5 miliardi di kg di PET $\rightarrow 1.000.000 \text{ mc PET}$
- Una bottiglia da 1,5 litri ha una superficie laterale utile di 790 cm²
- Un flakes ricavato dalla bottiglia ha una superficie di 0,64 cm²
- Con una bottiglia si possono quindi ottenere n° flakes 1.230
- La macchina richiede per ogni aggregato n° flakes 8
- Con una bottiglia si possono ottenere n° aggregati 150
- Il peso di una bottiglia da 1,5 l (compreso fondo e collo) è 25 g
- Il peso di una bottiglia (senza fondo e collo) è 20 g
- Il peso di un aggregato è 0,13 g
- La massa volumica del Pet è circa 1.400 Kg/m³
- Il numero di alPet di 1,3 cm ottenibili con 1 m³ di Pet è circa 10.700.000
- Numero di alPet in 1 m³ circa 500.000
- Con 1 m³ di Pet si possono ottenere m³ di al-Pet 21 m³
- Con 1 m³ di alPet si otengono m³ di alPet sabbaiato 26 m³
- La possibile produzione di alPET-S in Italia è di 143.000 mc x 26 = 3.718.000 m³;
- Nel resto d'Europa la possibile produzione di alPET-S è 1.000.000 mc x 26 = 26.000.000 m³ di alPET-S.

D. PRODUZIONE

Nella Fig. 8 è schematizzato il processo di costruzione dell'aggregato artificiale leggero di PET sabbaiato (alPET-S) partendo dalle bottiglie di plastica ottenute dal riciclaggio per giungere al granulo finito; nell'ultima immagine è fotografato un cubetto di prova sezionato che è stato formato con calcestruzzo il cui aggregato grosso naturale è stato interamente sostituito con quello artificiale alPET-S. Dall'immagine si può ben osservare come i granuli sono uniformemente diffusi all'interno della massa a dimostrazione del non galleggiamento dei granuli di alPET-S all'interno della malta cementizia.

In particolare il processo è più dettagliatamente illustrato dalle seguenti figure 9-14 che descrivono tutte le fasi di realizzazione.



Fig. 8 – Schema di realizzazione dell'aggregato leggero artificiale alPET-S.

Si parte dal taglio delle bottiglie in flakes (Fig. 9), cioè scagliette di circa 1 cm di lato. Qui, a differenza di altre applicazioni del PET riciclato, non è necessario che i flakes siano dello stesso colore, dello stesso spessore, delle esatte dimensioni, privi di etichette e colle ecc.



Fig. 9 – Taglio delle bottiglie di PET in Flakes.

In Fig. 10 si illustra la seconda fase, quella cioè del riscaldamento dei flakes ad una temperatura compresa tra 220 °C e 240 °C. Questa procedura è indispensabile per

rammollire le scagliette che così si incurvano formando voltine a doppia curvatura concomitante.



Fig. 10 – Riscaldamento dei flakes.

Le scaglie rammollite a forma di voltine, se avvicinate e messe tra loro a contatto, tendono spontaneamente ad aggregarsi e, a raffreddamento avvenuto, a mantenere permanentemente il mutuo collaggio spontaneo. Tuttavia il processo, del tutto originale, ha maggiore efficacia se si imprime all'insieme delle voltine rammollite un movimento rotatorio (Fig. 11) che consente agli elementi ravvicinati di assumere una forma sferoidale, che possiamo così definire aggregato artificiale leggero di PET (alPET).



Fig. 11– Collaggio dei flakes mediante rotazione forzata.

La fase successiva, illustrata in Fig. 12, consiste nell'imprimere una pressione al granulo appena formato ed ancora caldo. Il procedimento non è tassativo, si rende però necessario qualora si intenda produrre un aggregato che consenta prestazioni meccaniche maggiori al calcestruzzo che sarà realizzato con l'aggregato alPET. Questo processo è originale ed unico nel panorama degli aggregati artificiali poiché con esso si può pilotare il risultato finale in merito alle prestazioni meccaniche dei manufatti realizzati in calcestruzzo. È dunque possibile imprimere maggiori o minori pressioni all'aggregato ancora caldo e quindi produrre elementi di pezzature e di classe di resistenza differenti in funzione dell'uso finale richiesto e dei desiderata dell'utenza.



Fig.12 – Possibilità di imprimere pressioni al granulo ancora caldo.

La fase successiva (Fig. 13) prosegue lungo la strada del miglior comportamento meccanico del conglomerato cementizio realizzato con l'aggregato leggero di PET. Dalle esperienze di laboratorio effettuate è emerso il fenomeno della poca compatibilità tra la superficie esterna dell'aggregato alPET con la malta cementizia; tale circostanza comporta una non elevata prestazione meccanica dei manufatti (15÷20 Mpa) che suggeriscono l'impiego di alPET per strutture non portanti. Si è trovata tuttavia, dopo numerosi tentativi, la possibilità di rendere totalmente compatibili la superficie esterna dell'aggregato con la malta cementizia; la soluzione consiste nel riscaldare ulteriormente l'alPET appena formato ad una temperatura di 150÷200 °C al fine di rammollirlo, evitando il rischio di deformarlo, per poi metterlo a contatto con granelli di sabbia. Questa procedura, anch'essa del tutto originale, consente di rivestire permanentemente la superficie esterna del granulo che così ottiene un'interfaccia del tutto compatibile con la malta cementizia dove la sabbia è un elemento essenziale.





Fig. 13 – Sabbiatura dell’aggreto leggero artificiale di PET alPET

L’ultima fase di realizzazione dell’alPET-S (Fig. 14), cioè dell’aggregato artificiale alleggerito di PET sabbiato, è quindi quella del raffreddamento che consente ai granuli di sabbia penetrati nelle voltine rammollite di PET di essere permanentemente e tenacemente trattenuti a causa della chiusura delle fessure conseguente al raffreddamento del granulo. Dalle esperienze di laboratorio, granuli sabbiati hanno consentito resistenze meccaniche a calcestruzzi con essi realizzati e sottoposti a processo di compressione anche di 50 Mpa, ciò consente di definire l’alPET-S un aggregato artificiale leggero del tipo STRUTTURALE.



Fig. 14 – Ottenimento dell’alPET-S a seguito del raffreddamento dei granuli.

E. ESPERIENZE DI LABORATORIO

Sono state effettuate esperienze di laboratorio per testare il nuovo prodotto alPET-S al fine di conoscerne le proprietà meccaniche e sono state effettuate due distinte miscele delle quali la n° 1 volutamente penalizzante e la n° 2 più performante:

MIX-DESIGN 1

Componente	Volume (litri)	Peso (kg)
• Acqua	170	170
• Cemento (CEM1 42,5 R)	90	283
• Superfluidificante	3	3
• Sabbia	220	594
• alPET-S	500	560
• Aria intrappolata	17	0
	<u>1.000</u>	<u>1.610</u>

Rapporto a/c = 0,60 – Resistenza meccanica allo schiacciamento: Rc = 27 Mpa

MIX-DESIGN 2

Componente	Volume (litri)	Peso (kg)
• Acqua	175	175
• Cemento (CEM1 42,5 R)	138	435
• Superfluidificante	7	7
• Sabbia	333	900
• alPET-S	330	370
• Aria intrappolata	17	0
	<u>1.000</u>	<u>1.887</u>

Rapporto a/c = 0,40 – Resistenza meccanica allo schiacciamento: Rc = 49 Mpa

	1^ RICETTA	2^ RICETTA
CEM I 42.5 R	283 (kg/m³)	435 (kg/m³)
Aggregate PET (13-20 mm)	560 (kg/m³)	370 (kg/m³)
Sand from crusher	594 (kg/m³)	900 (kg/m³)
Water	170 (l/m³)	175 (l/m³)
Superplast. - Iperplasticizer	3 (l/m³)	7 (l/m³)
Ratio water/cement	0.6	0.4
Consistence	S5	S5
Volume mass	1610 (kg/m³)	1887 (kg/m³)
Compressive strength (28 dd)	27 MPa	49 MPa

Fig. 15 - Due ricette messe a confronto.

L'alta resistenza meccanica accompagnata dalla bassa massa volumica si spiega perché l'aggregato alPET-S è compatibile con la malta cementizia ma anche e soprattutto perché la sua capacità di resistere ai carichi gli è conferita dalla forma non già dalla massa. L'alPET-S dunque segue la legge delle strutture resistenti per forma che ha consentito agli ingegneri di poter progettare coperture di grande luce con strutture molto sottili confidando esclusivamente sulla forma detta: a **doppia curvatura concomitante**.

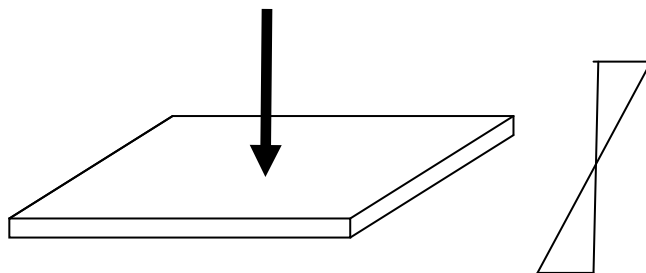


Fig. 16– Principio della resistenza per forma. Sezione parzializzata.

Come mostrato in Fig. 16 una struttura piana sottile soggetta ad una forza ortogonale è sollecitata a flessione in quanto questa forza non può scomporsi in altre componenti giacenti su detta superficie. Ciò comporta che ad opporsi all'intera sollecitazione è solamente il sottile strato di materia compreso nello spessore che risulta insufficiente pertanto la struttura cede incurvandosi.

Si ha così la cosiddetta parzializzazione della sezione resistente poichè la superficie superiore tende ad accorciarsi e quella inferiore tende ad allungarsi, si manifestano dunque due sollecitazioni di segno opposto: la compressione che agisce al bordo superiore e la trazione che agisce al bordo inferiore di cui al diagramma a farfalla di figura 16 dove si può notare come la sezione non è uniformemente sollecitata, l'entità non è costante passando dal massimo ai bordi per giungere a zero in mezzeria dove passa l'asse neutro.

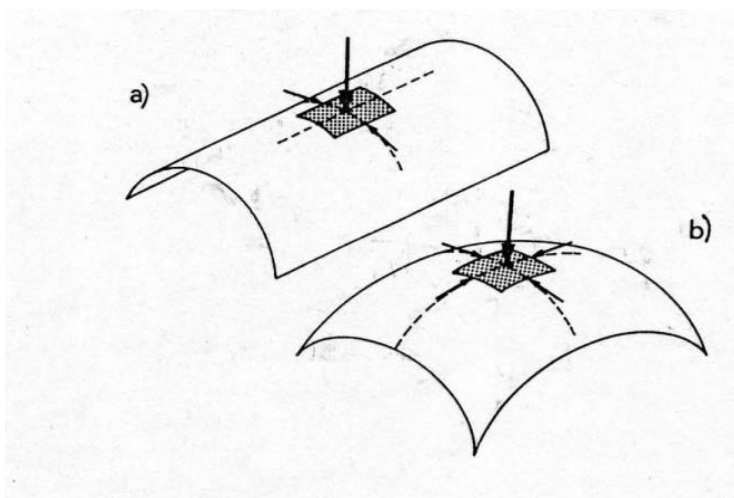


Fig. 17 – Principio della resistenza per forma. Semplice curvatura e doppia curvatura concomitante.

In Fig. 17 sono disegnate due superfici curve: a) è una superficie a semplice curvatura, b) è una superficie a doppia curvatura concomitante. In entrambe la forza applicata può scomporsi in componenti tangenti alla superficie che non provocano sforzi di flessione ma di compressione. La compressione è una sollecitazione che se baricentrica procura un diagramma rettangolare essendo costante lo sforzo di compressione in tutti i punti della sezione. Si ha quindi l'ottimizzazione della sezione che viene chiamata tutta ad opporsi alla forza applicata.

Una struttura quindi che sia dotata di una doppia curvatura concomitante e che sia continua, cioè senza soluzione di continuità, può sopportare carichi notevoli perché è sollecitata, grazie alla sua forma, a compressione e tutta la materia di cui è costituita, e non solo quindi quella del suo spessore, è chiamata a resistere allo sforzo applicato. Questa struttura si dice **resistente per forma**. I vantaggi sono indubbi, basti pensare alla snellezza che può essere assegnata alla struttura che, oltre ai benéfici effetti estetici, si traduce in notevole leggerezza pur garantendo una notevole resistenza meccanica.

L'aggregato alPET-S è una struttura composta da voltine di PET a doppia curvatura concomitante nella superficie dell'involucro e da aria al suo interno; quindi è molto leggero e grazie alla forma degli elementi superficiali anche molto resistente agli sforzi di compressione.

Per questa invenzione nell'anno 2007 è stata assegnata al Prof. Lo Presti la medaglia di bronzo al 35° Salone Internazionale delle Invenzioni di Ginevra come mostrato in Fig. 18.



Fig. 18 – Medaglia di bronzo al 35° Salone Internazionale delle invenzioni di Ginevra.

F. TIPOLOGIE DELL'AGGRGATO DI PET

L'aggregato leggero di PET si distingue in tre tipologie:

Tipo A – aPET/a

Si tratta di granuli sferoidali di grossa pezzatura non rivestiti di sabbia e solo leggermente compressi alla conclusione della loro formazione.

	Diameter (mm)	20-25
	Heap weight (kg/m³)	400
	Grain weight (kg/m³)	560
	Surface	Not sanded
	Water absorption	Negligible

Fig. 19 – Dati tecnici dell'aPET a.

Come si può leggere in Fig. 19 il diametro dei granuli può essere di grande dimensione; la massa volumica in mucchio è di 400 kg/mc; la massa volumica del granulo è di 560 kg/mc; la superficie non è rivestita di sabbia; è molto isolante acusticamente e termicamente e l'assorbimento d'acqua è del tutto trascurabile.

Gli impieghi che si prevedono per questo tipo di aggregato sono di riempimento di cavità al fine di coibentare intercapedini, murature a cassetta ed elementi prefabbricati, per formazione di vespai e drenaggi a tergo di muri di contenimento.

Tipo B – aPET/b

Si tratta di granuli sferoidali di media-piccola pezzatura non rivestiti di sabbia e compressi alla conclusione della loro formazione.

Come si può leggere in Fig. 20 il diametro dei granuli può essere di piccola e media dimensione; la massa volumica in mucchio è di 400 kg/mc; la massa volumica del granulo è di 560 kg/mc; la superficie non è rivestita di sabbia; è molto isolante acusticamente e termicamente e l'assorbimento d'acqua è del tutto trascurabile.

	Diameter (mm)	10-20
	Heap weight (kg/m³)	400
	Grain weight (kg/m³)	560
	Surface	Not sanded
	Water absorption	Negligible

Fig. 20 – Dati tecnici dell'aPET b.

Gli impieghi che si prevedono per questo tipo b) di aggregato sono di confezionamento di calcestruzzi leggeri ma non strutturali per formazione di massetti isolanti e coibenti, formazione di magroni di sottofondazione, sovrastrutture di solai coibenti ed isolanti, tuttavia come il precedente tipo a) possono essere utilizzati come riempimento di cavità al fine di coibentare intercapedini, murature a cassetta ed elementi prefabbricati, per formazione di vespai e drenaggi a tergo di muri di contenimento.

Se prodotti in pezzatura ancora minore possono, se lasciati alla vista come elementi decorativi, essere impiegati in intonaci ed in pavimentazioni di calcestruzzo.

Tipo C – aPET-S

Si tratta di granuli sferoidali di media pezzatura rivestiti di sabbia e molto compressi alla conclusione della loro formazione.

	Diameter (mm)	13-23
	Heap weight (kg/m³)	570
	Grain weight (kg/m³)	1.120
	Surface	Sanded
	Water absorption	Negligible

Fig. 21 - Dati tecnici dell'aPET-S

Come si può leggere in Fig. 21 il diametro dei granuli è di dimensione paragonabile alla precedente tipologia; la massa volumica in mucchio è di 570 kg/mc maggiore poiché è maggiormente compresso e soprattutto rivestito di sabbia; la massa volumica del granulo è di circa 1.120 kg/mc; la superficie è rivestita di sabbia; è molto isolante acusticamente e termicamente e l'assorbimento d'acqua è del tutto trascurabile.

Gli impieghi che si prevedono per questo tipo di aggregato sono essenzialmente di confezionamento di calcestruzzi strutturali essendo notevoli, come sopra riportato, le resistenze meccaniche ottenute in prove di laboratorio (50 Mpa).

In figura 22 è rappresentato un granulo dell'aggregato sabbaiato del tipo aPET-S che come si può notare dalla seconda e dalla terza fotografia si distribuisce uniformemente all'interno della massa di calcestruzzo poiché non subisce l'effetto di galleggiamento come avviene per gli aggregati leggeri oggi in commercio che tanti problemi danno al produttore di calcestruzzo preconfezionato.

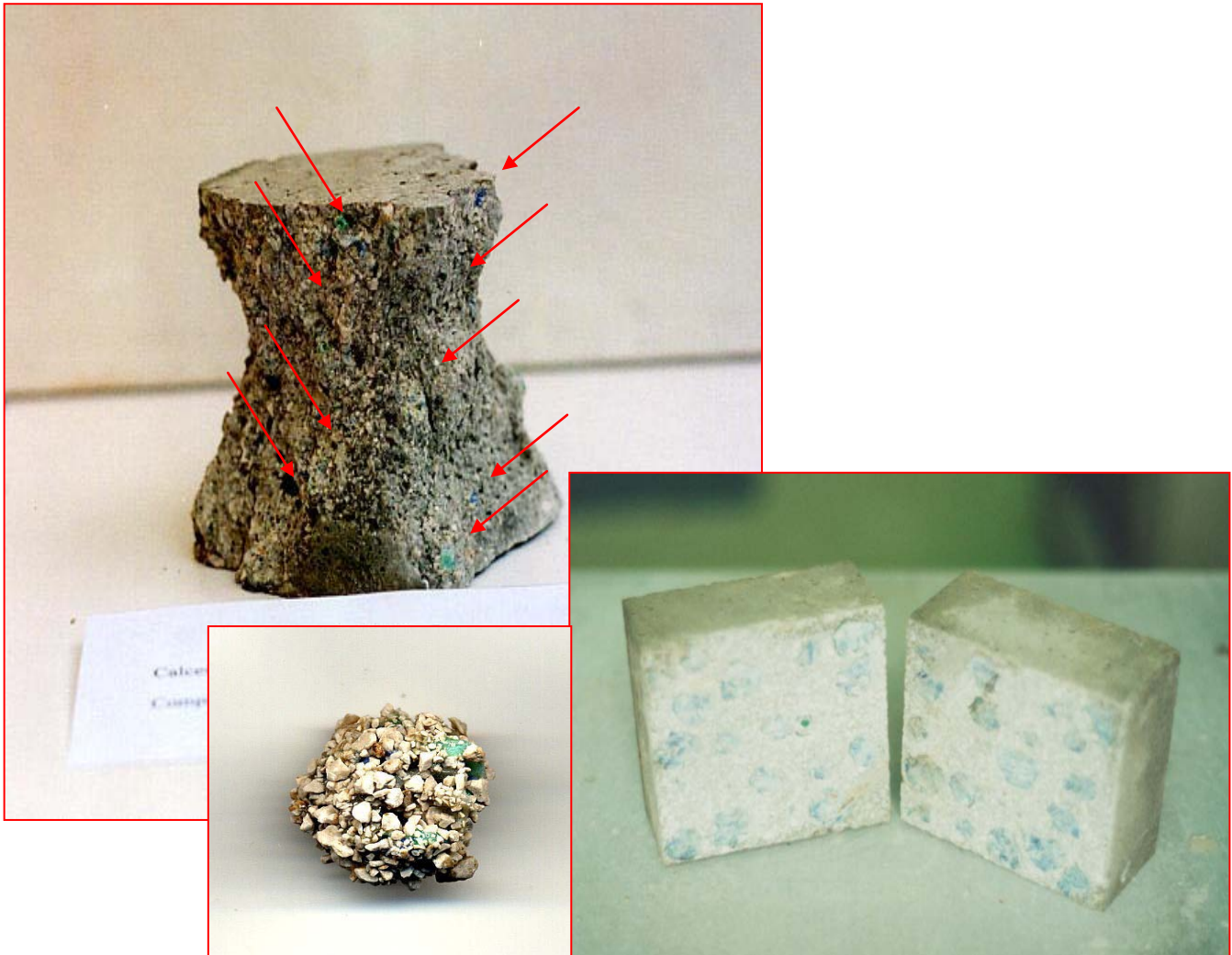


Fig. 22 – Granulo tipo alPET-S strutturale, parte residuale di un cubetto confezionato con granuli di alPET-S sottoposto a schiacciamento e sezione di un cubetto sezionato confezionato anche questo con granuli alPET-S.