



Giornate aicap 2014



Calcestruzzi con inerti ottenuti da materiali riciclati: stato dell'arte e prospettive future



Giuseppe Carlo MARANO

Pietro MEZZAPESA

Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria Civile e dell'Architettura, Politecnico di Bari

Percentuali dei volumi tra i vari costituenti del calcestruzzo

pasta di cemento 25-40%

- Volume assoluto di cemento pari al 7-15% ;
- acqua pari al 14-21%)

Aria – sino all'8 %

- Funzione delle dimensioni degli aggregati, etc

Aggregati 60-75%

Impatto globale della produzione di aggregati

Consumption of Natural Resources on Earth

L. R. Brown: ECO-ECONOMY

Aggregates	20
Steel production (iron ore)	1
Gold production (gold ore)	0.7
Wood	3
Others	1.3
Total	26

(billion tons)

CO₂ emissions from aggregate
production: 160 million tons

Classificazione degli inerti da recupero

Inerti per calcestruzzi strutturale

- Inerti da demolizione e riutilizzo di calcestruzzo

Inerti per calcestruzzi per usi non «strettamente» strutturali

- Inerti da riutilizzo di scarti industriali, materie plastiche, manufatti fine vita, etc

Usi non strettamente strutturali

- Utilizzo di inerti che possiedono caratteristiche molto differenti da quelle degli inerti «naturali»
 - Dimensionali
 - Meccaniche
 - Omogeneità
- Valutazione delle possibili miscele con inerti da riciclo (caratteristiche dell'inerte e dei suoi dosaggi)
- Studio delle prestazioni (sia allo stato fluido che a quello indurito) di calcestruzzi ottenuti con specifici inerti da riciclo

Necessità per sviluppi industriali

- Costanza dei materiali riciclati in termini di:
 - Caratteristiche meccaniche
 - Caratteristiche geometriche
 - Possibili inclusioni
- Disponibilità
- Rispondenza alle specifiche richieste tecniche
- Producibilità industriale
- Coerenza con gli aspetti normativi

Valorizzazione del rifiuto nel calcestruzzo:

STATO FRESCO

- Massa volumica
- Consistenza
- Contenuto d'aria

STATO INDURITO

- Resistenza a compressione
- Resistenza a flessione
- Coefficiente di Poisson
- Modulo elastico dinamico
- Modulo elastico secante
- Ritiro idraulico
- Duttilità
- Conducibilità termica

DURABILITÀ

- Gelo-disgelo
- Attacco da parte di solfati
- Attacco da parte di cloruri
- Assorbimento d'acqua

Produzione di calcestruzzi ordinari

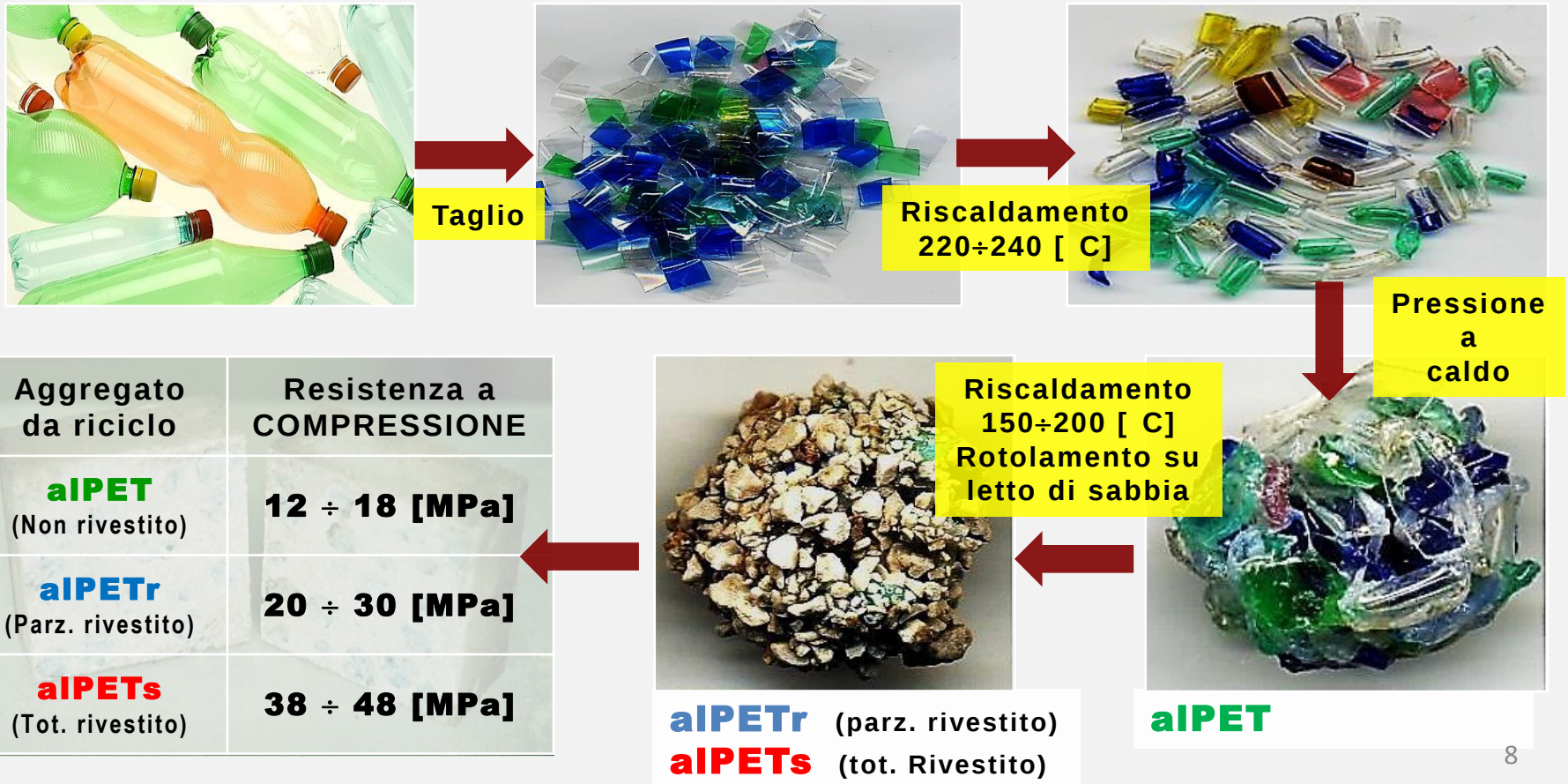
Produzione di calcestruzzi speciali

Produzione di nuove miscele di calcestruzzi

Aggregato artificiale leggero di PET S. L. Lo Presti – (2006)

Trasformazione delle bottiglie a fine uso in Polietilene Tereftalato in 3 tipologie di aggregato da riciclo

AGGREGATO	Granulometria [mm]	Massa volumica aggregato [Kg/mc]	Massa volumica conglomerato [Kg/mc]	Resistenza a compressione delle miscele sperimentate [MPa]
ALPET	20 30	200 500	$\cong 1200$	12 18
ALPET – R	14 18	600 900	$\cong 1600$	20 30
ALPET – S	8 12	1000 1200	$\cong 1800$	38 48



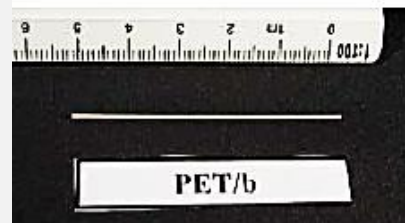
Studio sperimentale sulle proprietà termo-meccaniche di calcestruzzi rinforzati con fibre di plastica da riciclo

F. Fraternali, V. Ciancia, R. Chechile, G. Rizzano, L. Feo, L. Incarnato – (2011)

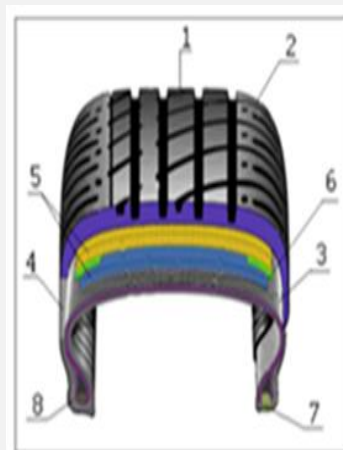
Utilizzate 3 diverse tipologie di fibre in Polietilene Tereftalato (PET) e una tipologia di fibre in Polipropilene (PP)

L'aggregato da riciclo costituisce l'1% in volume della miscela cementizia

Proprietà		PET/a	PET/b	PET/c	PP
Peso specifico	Kg/mc	1340	1340	1340	900
Sezione		Circolare	Circolare	Circolare	Ovale
Aspetto		Liscio	Liscio	Ondulato	Goffrato
Diametro	mm	1,10	0,70	0,70	0,80x1,30
Lunghezza	mm	40	52	52	47
Resistenza a trazione	MPa	550	263,72	274,29	250



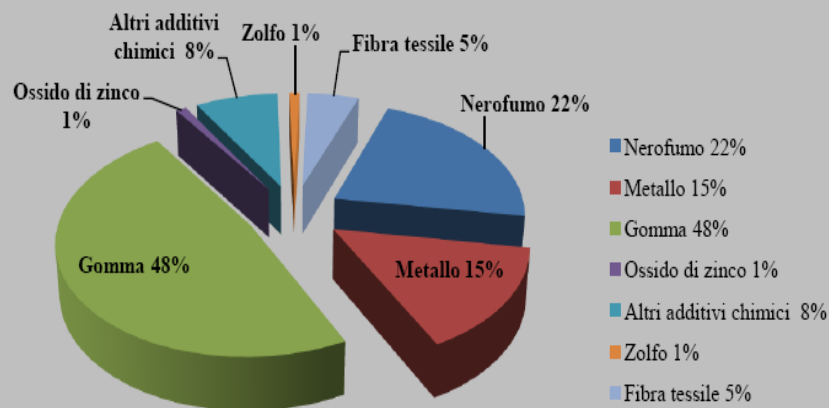
Utilizzo di inerti ottenuti da pneumatici fine utilizzo: Rubbercrate



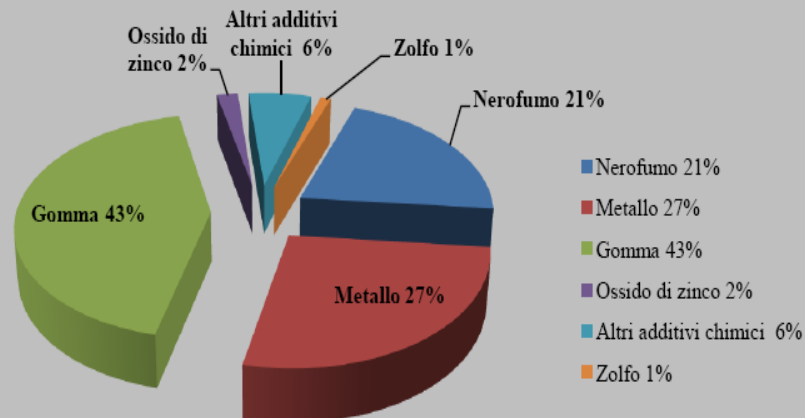
Pneumatico radiale:

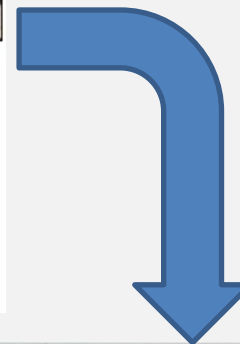
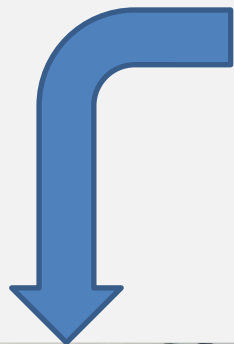
- 1: Battistrada
- 2: Bordo del battistrada
- 3: Carcassa
- 4: Fianco dello pneumatico o Spalla
- 5: Pacco cintura
- 6: Rinforzi laterali del pacco cintura
- 7: Cerchietti
- 8: Tallone

PNEUMATICO AUTOVEICOLO



PNEUMATICO AUTOCARRO





Rubbercrate: potenzialità

- ***Diminuisce l'onere dello smaltimento degli PFU***: di conseguenza si opta per il riciclaggio di questi ultimi, favorendo la diminuzione delle discariche abusive;
- ***Si ottiene una maggiore deformabilità e plasticità***: a discapito quindi della rigidità dell'impasto;
- ***Diminuisce l'estrazione di materie prime***: quindi si ha un impatto positivo sul profilo ambientale;
- ***Miglioramento di alcune proprietà del calcestruzzo***: l'elasticità, la duttilità, la durezza, lo smorzamento, e di conseguenza la resistenza agli urti e la capacità di assorbire energia dovuta ad azioni dinamiche;
- ***Buona resistenza agli agenti atmosferici***
- ***Diminuisce l'assorbimento di acqua***: concedendo alle barre di armatura una protezione superiore nei confronti della corrosione;
- ***Riduzione della densità***: proporzionale all'aumento della quantità di gomma, se confrontato con il calcestruzzo ordinario;
- ***Esibizione di una migliore resistenza non-strutturale alle fessure***: fino a circa il 30% del peso di cemento;

Rubbercrate: criticità

- ***Riduzione della resistenza a trazione, a compressione e a flessione:*** questo perché si ha una minore coesione tra la superficie dell'aggregato in gomma, che è meno ruvida rispetto a quello tradizionale e la miscela di calcestruzzo.
- ***Maggiore contenuto di aria:*** rispetto alle miscele ordinarie. Questo può essere spiegato ricordando la natura non polare degli aggregati di gomma e il fatto che riescano a catturare aria nella loro struttura superficiale tagliuzzata. L'aumento del contenuto dei vuoti d'aria fa nascere un peggioramento della resistenza del calcestruzzo;
- ***Non appropriato uso negli elementi strutturali:*** se sono pretese alte resistenze;
- ***Diminuzione della lavorabilità:*** con l'aumento della dimensione o della percentuale di aggregati in gomma;
- ***Debolezza delle particelle in gomma:*** che potrebbero portare alla nascita di crepe tra la gomma e la matrice cementizia;

• fine

Miscele	Mix TQ	Mix 10%	Mix 30%	Mix 50%	Mix 75%
Sabbia	1520.1	1344.7	969.4	662.1	275.6
G1-(2-4)	---	69.8	182.8	289.3	347.1
42.5R II-A/LL	310	380	380	380	380
Filler Zandobbio	185	---	---	---	---
CRTV-Quattro	4	3.24	3.28	4	4
Aerante Esapon	---	---	0.008	0.005	0.003
Acqua di progetto	190	195	180	160	155
Aria di progetto	55	105	160	200	300

• grosso

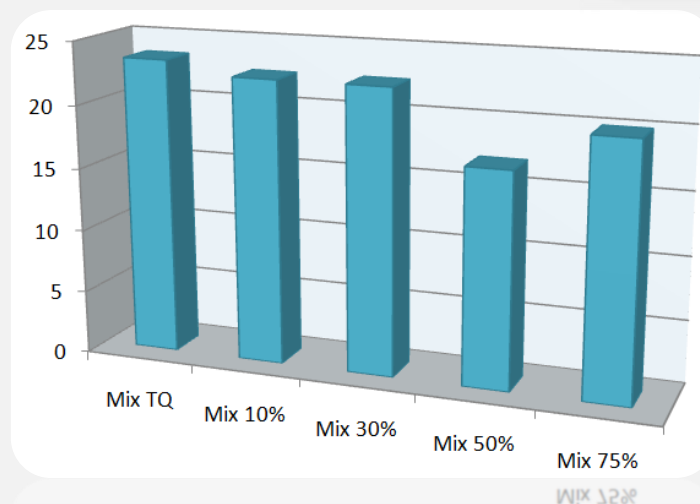
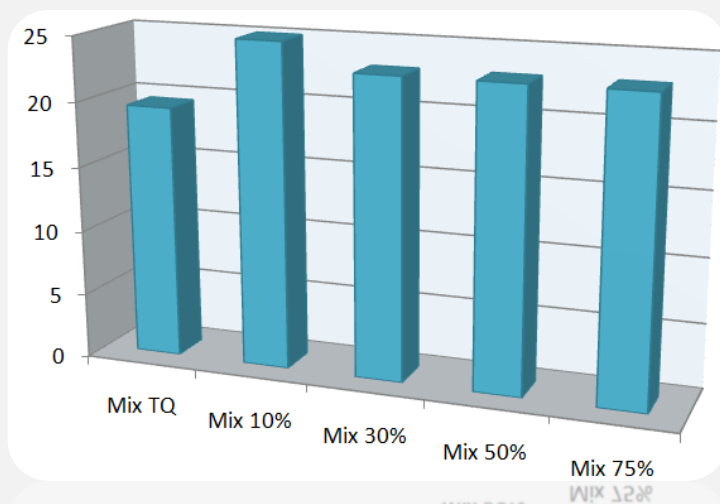
Miscele	Mix TQ	Mix 10%	Mix 30%	Mix 50%	Mix 75%
Sabbia	1078.5	1006	919.6	687.7	258.7
Pietrischetto	176.3	---	---	---	---
Pietrisco	537.2	501.1	152.7	---	---
G2-(3.6-16)	---	70.4	193.1	288.7	325.9
42.5R II-A/LL	350	400	400	400	400
Filler Zandobbio	---	---	---	---	---
CRTV-Quattro	2.83	3.15	4.6	4.54	3.12
Aerante Esapon	---	---	---	0.002	0.015
Acqua di progetto	175	175	175	175	175
Aria inglobata	25	55	110	170	300

Confronto ai vari dosaggi

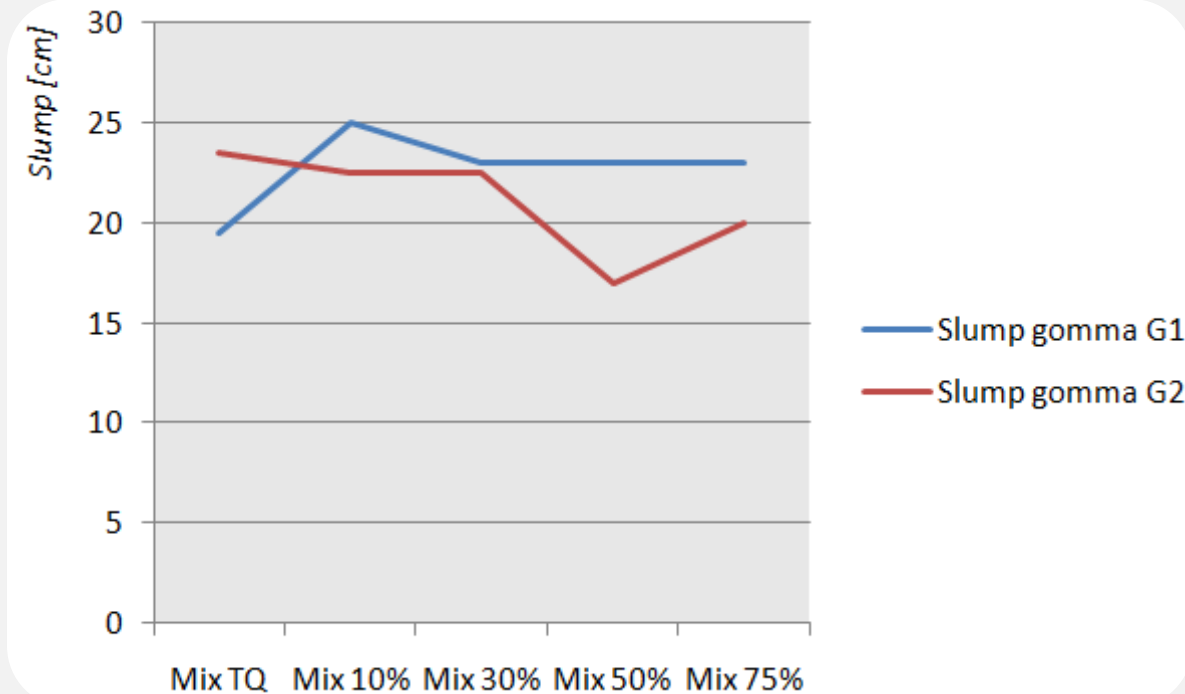
I risultati per i due gruppi di mix sono riportati nelle seguenti tabelle:

Miscele	Mix TQ	Mix 10%	Mix 30%	Mix 50%	Mix 75%
Slump _{Tempo 0'}	19.5	25	23	23	23

Miscele	Mix TQ	Mix 10%	Mix 30%	Mix 50%	Mix 75%
Slump _{Tempo 0'}	23.5	22.5	22.5	17	20



Le miscele con la pezzatura di gomma minore, cioè la G1 (2-4), hanno una lavorabilità di poco superiore a quelle con la gomma G2 (3.6-16), per la forma meno appiattita dei granuli.



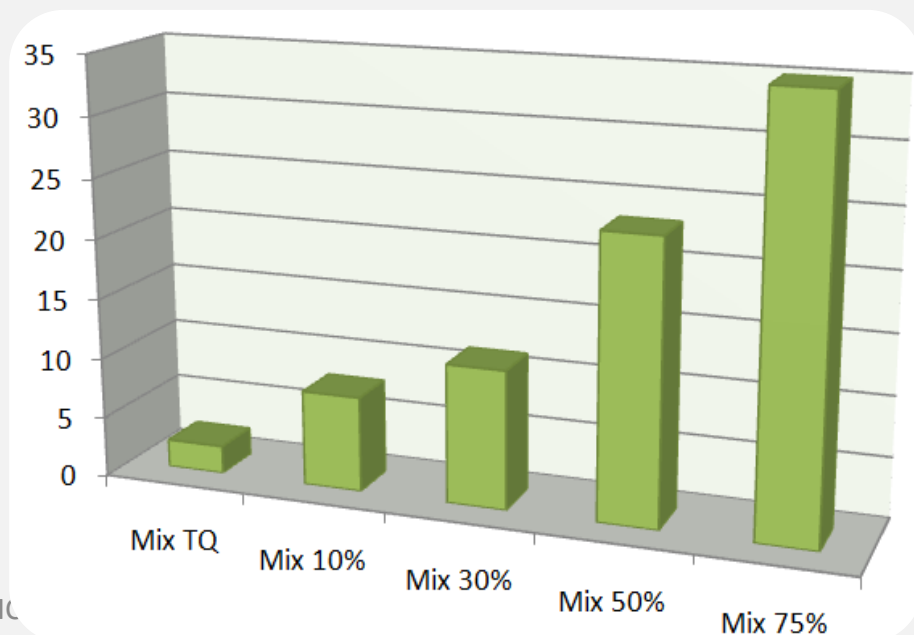
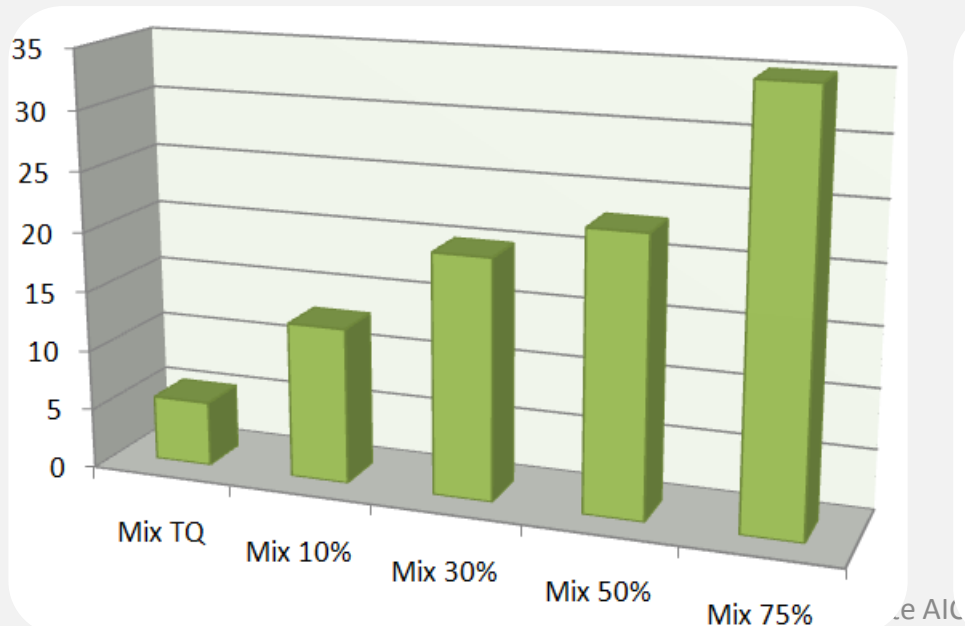
Contenuto d'aria



Si riporta nelle tabelle il contenuto di aria riscontrato durante lo svolgimento delle prove, notando come con l'aumento della quantità di gomma nelle miscele aumenta anche la percentuale di aria trattenuta nell'impasto.

Miscele	Mix TQ	Mix 10%	Mix 30%	Mix 50%	Mix 75%
Contenuto d'aria	5.4	13	20	23	35

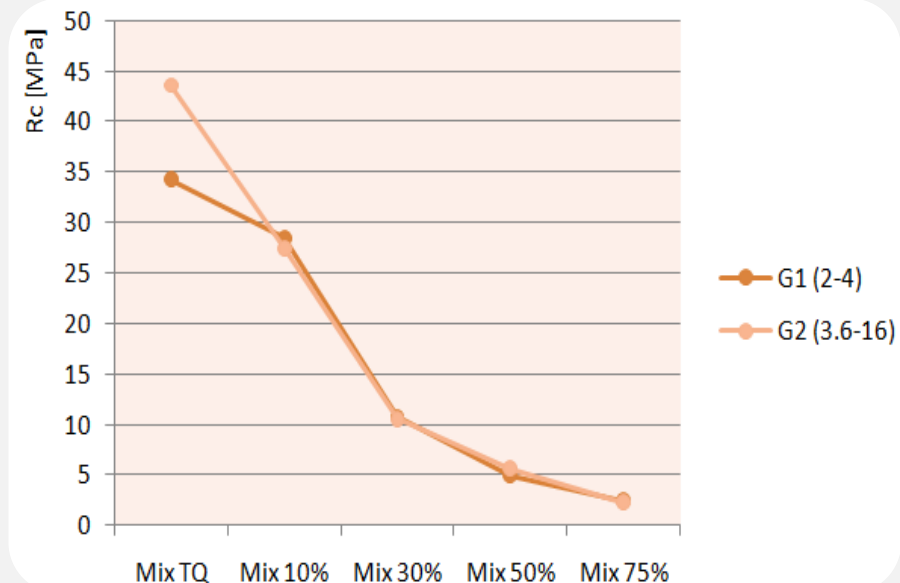
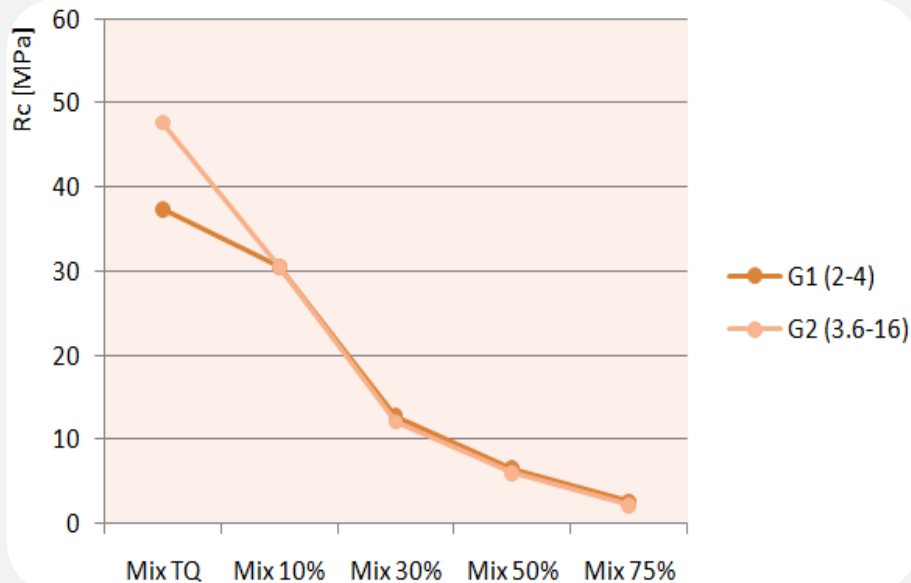
Miscele	Mix TQ	Mix 10%	Mix 30%	Mix 50%	Mix 75%
Contenuto d'aria	2.3	7.9	11.5	23.3	35



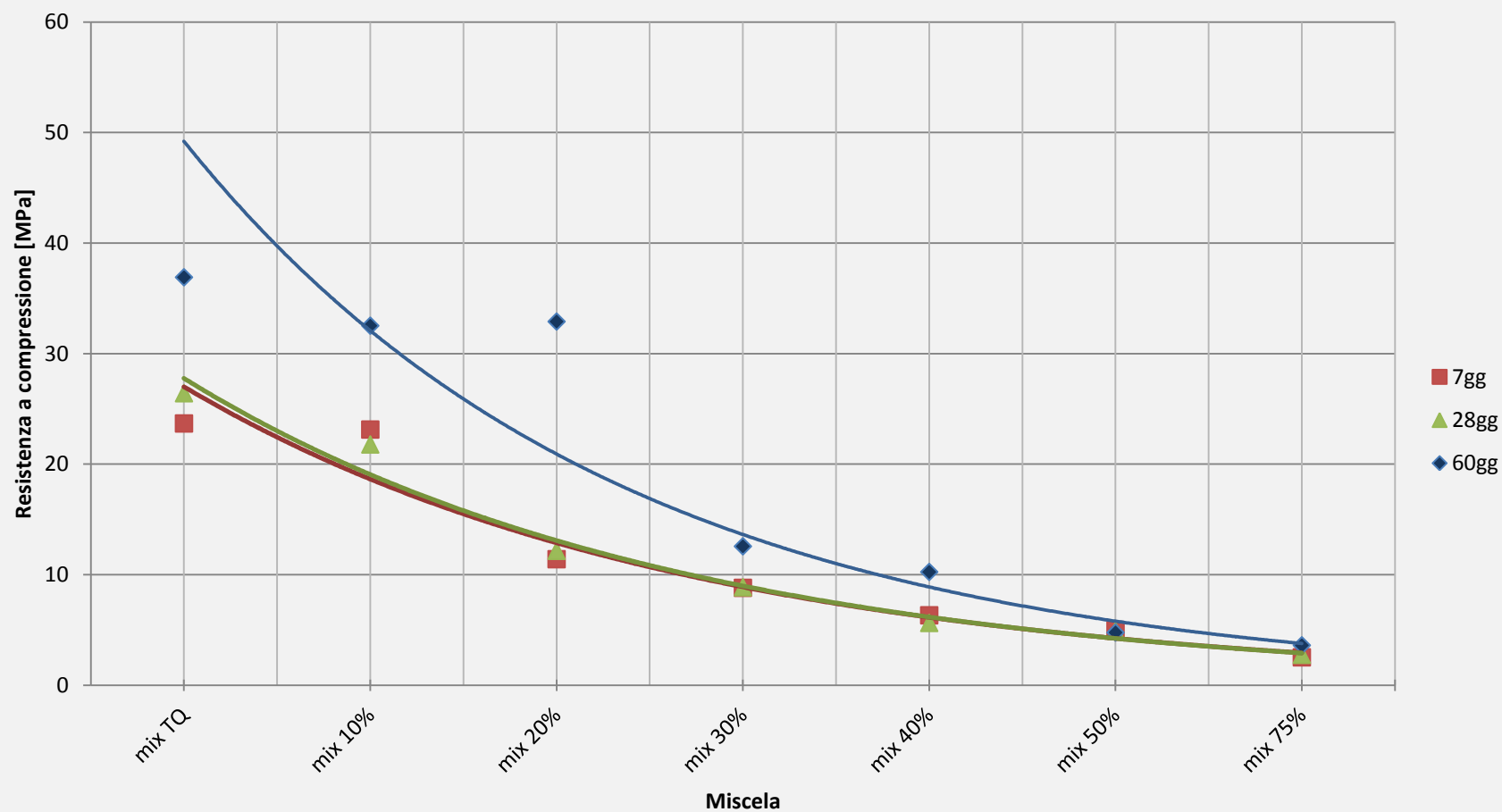
Resistenza meccanica



Miscele	Mix TQ		Mix 10%		Mix 30%		Mix 50%		Mix 75%	
	R_c [MPa]	Carico [KN]	R_c [MPa]	Carico [KN]	R_c [MPa]	Carico [KN]	R_c [MPa]	Carico [KN]	R_c [MPa]	Carico [KN]
7 giorni	34.25	782.6	28.44	286.9	10.78	109.2	4.96	50.16	2.44	24.67
28 giorni	37.38	850.7	30.52	305.75	12.79	130.1	6.53	66.2	2.65	60.4



Influenza sulla resistenza



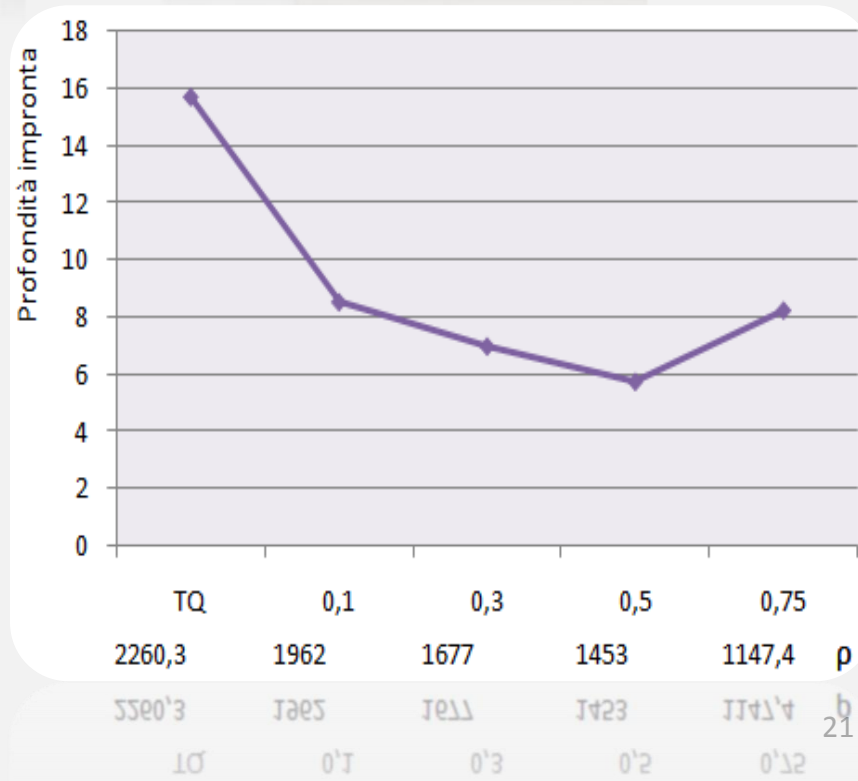
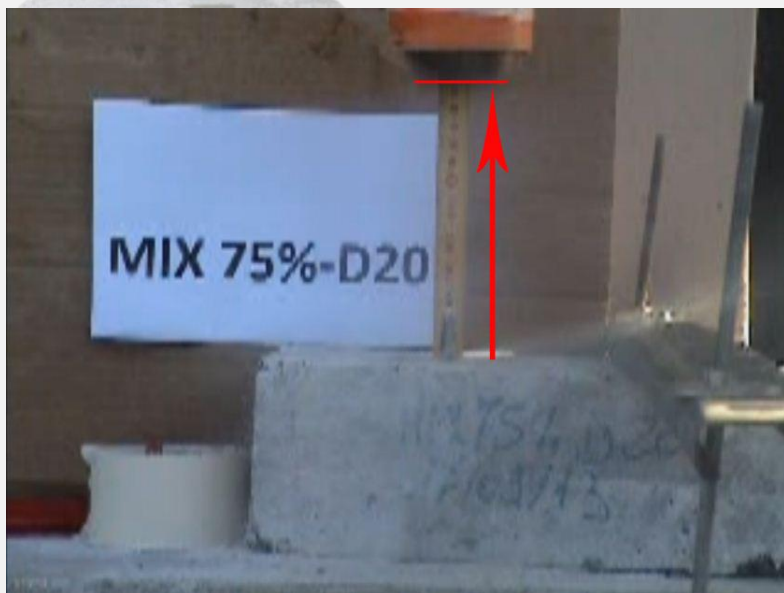
Assorbimento di energia

- Mitigare le vibrazioni
- Assorbire energia negli urti
- Necessità di prove specifiche

massa rispettivamente di 2,2 kg e 2 kg e diametro di 6,8 cm; sono sostenuti da un'asta di un metro di lunghezza con diametro 0.8 mm e vi è un ulteriore peso aggiuntivo di 1,5 kg, per poter variare il peso iniziale.

Tali pesi vengono fatti cadere all'interno di una tubazione in PVC, opportunamente fissata, di diametro di 7 cm e lunghezza di 4,4 m.





Aspetti produttivi nell'uso di inerti da riciclo

- Sensibilità nella produzione e posa in opera
- Sistemi produttivi adeguati (qualità)
- Controlli su aggregati più specifici
- Necessità di «best practice» specifiche per ogni prodotto
- Disporre di linee guida generali per classi di prodotti, da declinare nei casi specifici