

Compound **bituminosi** contenenti filler artificiale

Bituminous blends containing artificial filler

Riassunto

Il riciclo e il riutilizzo di materiali marginali e di sottoprodotti industriali sono aspetti efficaci per preservare le risorse naturali e prevenire lo smaltimento di rifiuti.

In tale direzione si orienta l'impulso significativo verso il riciclo delle scorie di acciaieria, sostenuto peraltro dalla vasta quantità di rifiuti siderurgici disponibili e dalla necessità di investimenti per una loro adeguata eliminazione.

Una nuova realtà industriale – la Tapojärvi Italia Srl – ha realizzato nel 2018 a Terni un centro di lavorazione e recupero di scarti siderurgici presso lo stabilimento Acciai Speciali Terni SpA, il quale ha come obiettivo principale quello di promuovere la circolarità del materiale destinato allo smaltimento e ridurre quindi i volumi conferiti in discarica.

In particolare il filler della Tapojärvi Italia Srl rappresenta un concreto esempio di Economia Circolare: è infatti un EOW (End of Waste) che deriva dalla frantumazione, vagliatura meccanica e asportazione di ferro e metallo delle scorie di acciaio inox.

Ha già sostenuto un completo processo di conformità alle Norme Armonizzate UNI EN 13043 – UNI EN 12620 – UNI EN 13139 e di idoneità tecnica per l'utilizzo nella produzione di conglomerati bituminosi.

Il presente articolo descrive le attività sperimentali condotte per la valutazione di idoneità del prodotto per la produzione di membrane bituminose impermeabilizzanti, nello specifico per la miscelazione con compound bituminosi altamente modificati.

Recycling and reuse of marginal materials and industrial by-products are necessary aspects towards natural resources preservation and waste reduction.

A significant portion of the global industrial waste is characterized by a vast amount of steel slag waste, which is interested by increasing investments in its proper disposal.

A new company, Tapojärvi Italia Srl, is in charge since 2018 of a steel slag processing and recovery center at the Acciai Speciali Terni SpA production plant in Terni, with the main objective of promoting waste circularity and reducing the volumes of material landfilled. In particular, the filler obtained thanks to their recycling process represents a concrete example of Circular Economy: it is in fact an EOW (End of Waste) material obtained from crushing, mechanical screening and iron/metal removal of stainless steel slag.

A complete process of compliance with the UNI EN 13043 - UNI EN 12620 - UNI EN 13139 Standards and technical suitability for use in the production of asphalt mixes has been already carried out.

This paper describes the experimental activities performed to evaluate the product's suitability for the production of waterproofing bituminous membranes, specifically produced with highly modified bituminous compounds.

Summary

Analisi reologica di compound bituminosi con filler artificiale per la produzione di membrane impermeabilizzanti

1. Introduzione

Le membrane impermeabilizzanti bitume/polimero/filler sono state introdotte in Italia nella seconda metà degli anni '60 e hanno trovato successo in Europa e nel mondo consentendo al bitume di rimanere il principale materiale impermeabilizzante, dopo l'asfalto naturale, i cartoni bitumati, il bitume ossidato e le emulsioni [1].

Il prezzo e le eccellenti qualità di questo prodotto, con la sua facilità d'uso, lo hanno reso evidentemente competitivo rispetto agli altri prodotti impermeabilizzanti, sostituendo i vecchi cartoni bitumati.

Le membrane impermeabilizzanti sono composte da strati disposti in successione, partendo dall'alto verso il basso:

- strato antiadesivo (sabbietta, talco o film poliolefinico) o in alternativa uno strato coprente (scaglie di ardesia o basalto);
- compound bituminoso (bitume/polimero/filler);
- armatura (tessuto non tessuto di poliestere, velo di vetro, tessuti di vetro, ecc.) impregnata con compound bituminoso;
- compound bituminoso (bitume/polimero/filler);
- strato antiaderente (film o tessuto non tessuto poliolefinico, sabbietta).

Il compound bituminoso è formato da bitume ad alta penetrazione (ad esempio 160-220 dmm) e quantità variabili di polimeri (10-15% per SBS e 15-20% per APP), mescolati a circa 190-200 °C per alcune ore. Il carbonato di calcio, comunemente usato come filler, è aggiunto per aumentare la tixotropia e ridurre il costo del composto [2]. I polimeri più frequentemente impiegati sono di tipo olefinico, in particolare polipropilene e copolimeri, nonostante vengano fabbricate anche membrane che includono elastomeri come SBS [3].

La selezione del tipo e della quantità di polimero dipende dall'applicazione: modificando il tipo di polimero è possibile ottenere membrane impermeabilizzanti con varie caratteristiche, in particolare per quanto riguarda la resistenza alle temperature basse e alte. I polimeri SBS possono migliorare le caratteristiche elastiche e di recupero del bitume base modificato, rendendoli preferibili in regioni più fredde dal punto di vista climatico. Diversamente i polimeri APP sono più indicati per zone geografiche più calde poiché conferiscono al bitume una maggiore resistenza alle alte temperature a causa della minore vulnerabilità all'ossidazione [4].

La presenza di filler nella mescola bitume/polimero/filler può variare dal 20% al 60% della massa totale, influenzando significativamente il costo di produzione delle membrane impermeabilizzanti. Visti altresì i volumi di produzione nazionale di membrane impermeabilizzanti appare evidente l'opportunità di un'opzione eco-sostenibile che punti a ridurre lo sfruttamento delle risorse minerali per raggiungere nuovi obiettivi di economia circolare.

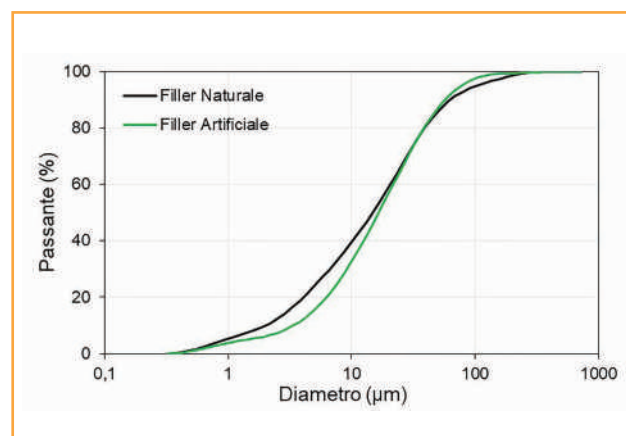


Fig. 1. Distribuzioni granulometriche dei filler utilizzati

Il processo produttivo del filler artificiale derivante da scoria di acciaio inox si articola in più fasi: partendo dal processo dell'acciaieria, ossia partendo dalla fusione del rottame di ferro e aggiunta di materie prime (leghe) nei forni elettrici, fino all'elaborazione e affinazione dell'acciaio tramite convertitori. A seguito di questi processi, viene ottenuta la scoria di acciaieria: scoria nera (forni) e bianca (convertitori), la quale rappresenta la fase intermedia della lavorazione. La scoria ottenuta viene raffreddata tramite processo a secco in rampa scorie e poi frantumata, vagliata e demetallizzata in un sofisticato impianto "Metal Recovery"; da questo processo si ottiene il prodotto finale, destinato a recupero e nuova lavorazione. La frazione 0/3 mm viene condotta all'interno del "Dry Filler Circuit" in un silo intermedio di raccolta del materiale. Da tale silo il materiale viene indirizzato alla macinazione e convogliato in un classificatore ad aria che consente la separazione delle frazioni granulometriche e il controllo della conformità dimensionale agli standard di produzione delle membrane impermeabilizzanti.

Il presente articolo descrive i contenuti sperimentali di un progetto di ricerca condotto per la valutazione dell'utilizzo di filler artificiale derivante da scoria mista di acciaio inossidabile nella produzione di membrane bituminose impermeabilizzanti. Lo studio, svolto a livello reologico su mastici bitume/filler variamente composti (filler naturale e filler artificiale), è stato esteso a due tipi di membrane, caratterizzate da polimeri SBS e APP nella mescola bitume/polimero.

2. Mescole bituminose e metodologie di prova

La seguente sezione contiene informazioni relative alle proprietà delle materie prime selezionate, le mescole bitume/polimero/filler prodotte, l'attrezzatura sperimentale utilizzata, nonché i metodi di analisi adottati per l'interpretazione dei risultati.

2.1 I materiali utilizzati e le loro proprietà

I materiali utilizzati consistono in due tipologie di filler (naturale e artificiale) e due mescole bitume/polimero destinate alla produzione di membrane bituminose (contenenti rispettivamente polimeri APP

e SBS). Il filler naturale, così come le mescole bituminose APP e SBS, sono stati forniti a scopo sperimentale da un produttore di membrane bituminose.

2.1.1 I filler

Sono stati messi a confronto un filler di carbonato di calcio di origine naturale e il filler artificiale derivante da scoria mista derivante da acciaio inox. Entrambi i materiali sono stati sottoposti ad analisi granulometrica eseguita mediante diffrazione laser, strumento utilizzato per analizzare la distribuzione granulometrica di aggregati lapidei micronizzati (**Figura 1**).

In particolare il filler naturale risulta essere più ricco di parti fini nella frazione compresa tra 1 e 10 µm. La **Tabella 1** mostra alcuni requisiti fondamentali di caratterizzazione, strategici per l'analisi di compatibilità al bitume.

Proprietà		Norma di riferimento	u.m.	Valore	
				Naturale	Artificiale
Granulometria	2 mm	UNI EN 933-10	%	100,0	100,0
	0,125 mm			99,0	96,6
	0,063 mm			94,0	84,7
Determinazione della massa volumica del filler		UNI EN 1097-7	Mg/m³	2,672	3,159
Porosità del filler secco compattato (vuoti Rigden)		UNI EN 1097-4	%	39,5	41,1

Tab. 1. Proprietà dei filler utilizzati

2.1.2 Il compound bitume/polimero

I compound composti da bitume base modifica e polimeri APP o SBS sono stati prelevati in impianto durante una produzione ordinaria di membrane bituminose, preliminarmente all'aggiunta di carica minerale. La loro composizione specifica, esclusa la tipologia di polimeri in essi contenuta, è quindi sottoposta a segreto industriale. Tali compound sono stati caratterizzati secondo i requisiti elencati in **Tabella 2**.

È possibile osservare che il compound contenente polimeri APP è caratterizzato da valori di penetrazione e di punto di rammollimento più alti, mentre la viscosità a 180 °C risulta inferiore.

Proprietà	Norma di riferimento	u.m.	Valore	
			APP	SBS
Penetrazione @ 25 °C	UNI EN 1426	dmm	35	32
Penetrazione @ 60 °C			129	100
Punto di rammollimento	UNI EN 1427	°C	149,8	116,4
Viscosità Brookfield @ 180 °C	UNI EN 13302	Pa·s	2,750	8,775

Tab. 2. Proprietà dei compound bitume/polimero utilizzati

2.2 Le mescole prodotte

Sono state analizzate diverse tipologie di mastici, distinti per tipologia di bitume utilizzato, tipologia di filler adottato e quantitativo: la composizione di ciascun mastice sottoposto a studio viene mostrata in **Tabella 3**.

I due compound bituminosi adottati rappresentano le due tipologie principali tradizionalmente commercializzate, mentre le due tipologie di filler sono state utilizzate adottando lo stesso dosaggio riferito alla massa totale mastice bitume/polimero/filler. Come si evince dalla **Tabella 3**, il dosaggio in massa ha però comportato diversi dosaggi in termini volumetrici, a fronte della diversa massa volumica dei due filler adottati.

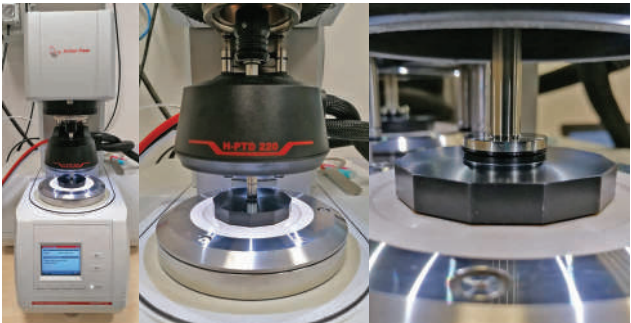


Fig. 2. Dynamic Shear Rheometer (DSR) con piatto-piatto 8 mm e piatto-piatto 25 mm

2.3 Il programma sperimentale

Il programma sperimentale ha riguardato una completa caratterizzazione reologica e prestazionale, adottando i più avanzati protocolli di prova di riferimento per i leganti bituminosi.

2.3.1 Il modulo dinamico di rigidità $|G^*|$ e le curve maestre

Il modulo di rigidità dei mastici è stato determinato tramite DSR con configurazioni piatto-piatto 25 mm e piatto-piatto 8 mm, su materiale non soggetto ad invecchiamento (**Figura 2**). La misura del modulo complesso $|G^*|$ è stata eseguita in regime

Compound bituminoso	Filler naturale	Filler artificiale	Filler naturale	Filler artificiale
	Percentuale peso su mastice		Percentuale volume su mastice	
Polimeri APP	20%		9%	8%
	35%		18%	15%
	50%		28%	25%
Polimeri SBS	20%		9%	8%
	35%		18%	15%
	50%		28%	25%

Tab. 3. Mastici bitume/polimero/filler analizzati

oscillatorio a 18 frequenze (comprese tra 0,1 rad/s e 100 rad/s) ed a 17 temperature (da -10 °C a +150 °C, con incrementi di 10 °C) in controllo di deformazione γ , investigata preliminarmente con prove di linearità in modo tale da mantenere il campione di prova all'interno del campo visco-elastico lineare (VEL).

L'esecuzione di prove all'interno del regime VEL permette non solo di misurare la Norma del modulo di rigidità $|G^*|$, ma anche l'angolo di sfasamento, o angolo di fase δ . L'angolo di fase rappresenta il ritardo in termini temporali tra il picco del carico applicato e il picco della deformazione registrata.

Le prove di modulo complesso sono caratterizzate da diverse curve isoterme, eseguite per ciascuna temperatura di prova, relative sia al valore di modulo $|G^*|$ sia al valore di angolo di fase (**Figura 3A**).

Per materiali con legame costitutivo visco-elastico lineare è valida l'applicazione del Principio di Sovrapposizione Tempo-Temperatura, secondo il quale un parametro misurato ad una certa temperatura può essere attribuito ad un altro valore di temperatura con una semplice traslazione nel dominio temporale.

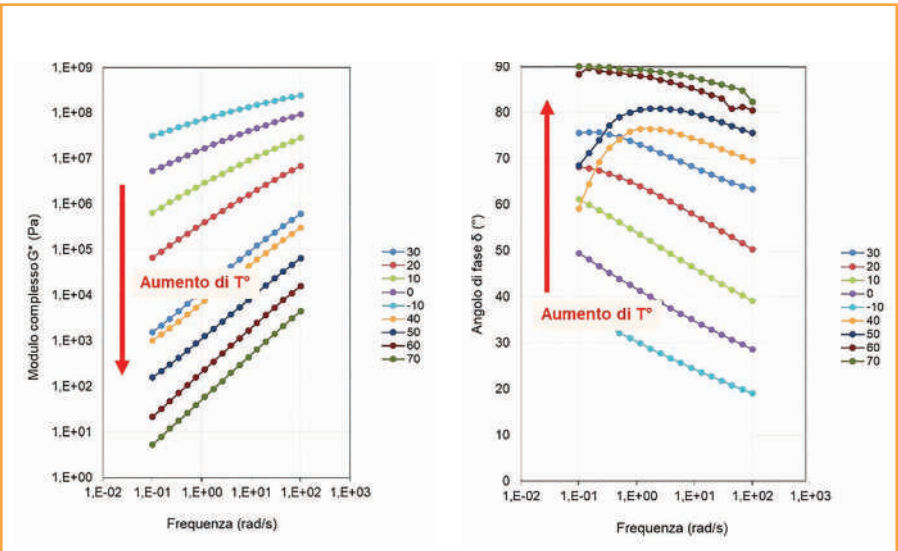


Fig. 3A e 3B. Curve isoterme: modulo complesso $|G^*|$ (3A) e angolo di fase δ (3B)

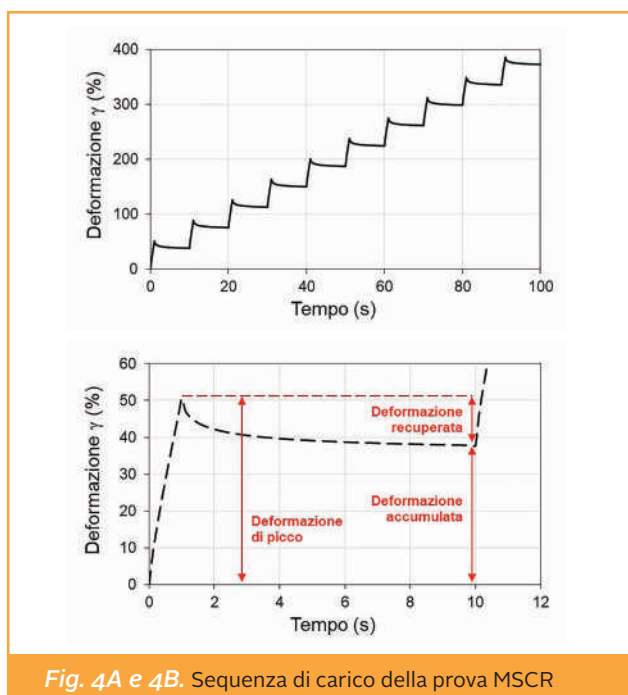


Fig. 4A e 4B. Sequenza di carico della prova MSCR

Per questo motivo vengono definiti gli “shift factors” (fattori di traslazione) per costruire le curve maestre del modulo complesso $|G^*|$ e dell'angolo di fase δ ad una temperatura di riferimento arbitraria. In questo modo è possibile conoscere globalmente la reologia del materiale in termini di frequenza e/o temperatura nel campo VEL, anche a temperature o frequenze sperimentalmente non raggiungibili.

2.3.2 Prova a cicli ripetuti a carico costante e recupero: Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test

I mastici bitume/polimero/filler sono stati sottoposti a prove di resistenza alla deformazione permanente o Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test.

Le prove MSCR vengono eseguite con DSR, su configurazione piatto-piatto 25 mm, ad una temperatura rappresentativa delle alte temperature di esercizio. Nel caso in oggetto tale temperatura è stata fissata a 100 °C.

La prova ha lo scopo di caratterizzare la risposta elastica di un compound modificato con polimeri a due diversi livelli di carico (0,1 kPa e 3,2 kPa). Il campione di prova viene sollecitato con dieci cicli di carico di 10 secondi costituiti da 1 secondo di carico pari a 0,1 kPa e 9 secondi di rilassamento. Al termine dei dieci cicli viene ripetuto

lo stesso protocollo aumentando il carico a 3,2 kPa. Per ciascun ciclo viene registrata la deformazione di picco, la deformazione recuperata e la deformazione accumulata (**Figure 4A e 4B**). Data la rigidezza dei materiali sottoposti a prova, la quale risulta più elevata rispetto i leganti bituminosi tradizionali per i quali la prova è stata concepita, i livelli di carico pari a 0,1 kPa e 3,2 kPa sono stati incrementati rispettivamente a 3,2 kPa e 10 kPa.

2.3.3 Resistenza a fatica: Linear Amplitude Sweep (LAS) Test

Nella procedura LAS (Linear Amplitude Sweep), definita nella AASHTO T391-20, il legante bituminoso (in questo caso il mastice) viene inizialmente caratterizzato tramite una frequency sweep (una “spazzata” di frequenze), dalla quale si delineano le proprietà visco-elastiche lineari $|G^*|$ e δ .

Successivamente il campione viene sottoposto a prove in oscillatorio a frequenza e temperature fisse, con ampiezze di deformazioni linearmente crescenti, da 0,1% a 30%, arrivando generalmente al collasso del provino (**Figura 5**). La frequency sweep e la prova LAS vengono eseguite ad una temperatura media di esercizio, definita in questo caso pari a 25 °C.

L'analisi della prova viene quindi eseguita analizzando l'andamento delle tensioni tangenziali τ ottenute in funzione della deformazione applicata γ , le quali forniscono importanti riscontri in termini di duttilità e fragilità dei mastici che operano in campo plastico.

3. Presentazione dei risultati

3.1 Modulo dinamico di rigidezza $|G^*|$: Curve maestre

Le **Figure 6A, 6B, 6C, 6D e 6E** mostrano le curve maestre ad una temperatura di riferimento di 60 °C relative al modulo di rigidezza $|G^*|$ delle mescole bitume/polimero/filler prodotte con bitume modificato con

polimeri SBS. Le **Figure 6A e 6B** sottolineano l'effetto dell'incremento del dosaggio di filler, mentre i restanti grafici confrontano i due filler utilizzati a parità di dosaggio.

Il contenuto di carica minerale dal 20% al 50% conferisce un aumento di rigidezza generale in

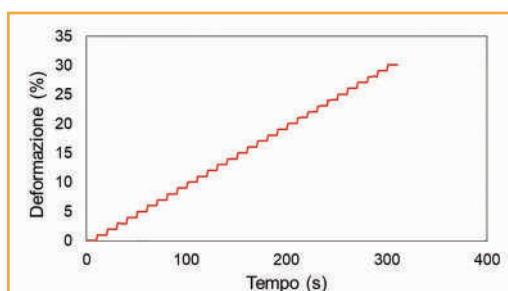


Fig. 5. Modalità di carico della prova LAS

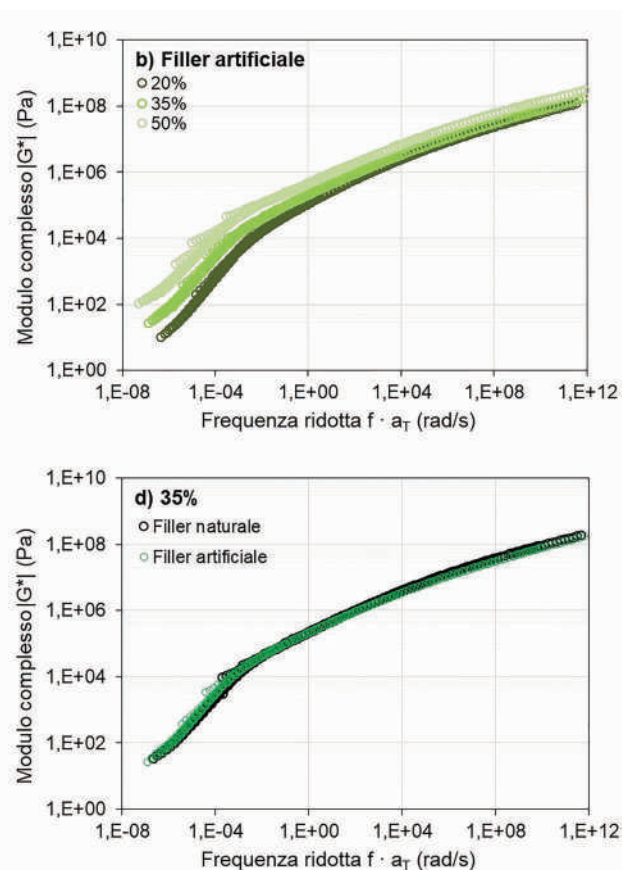
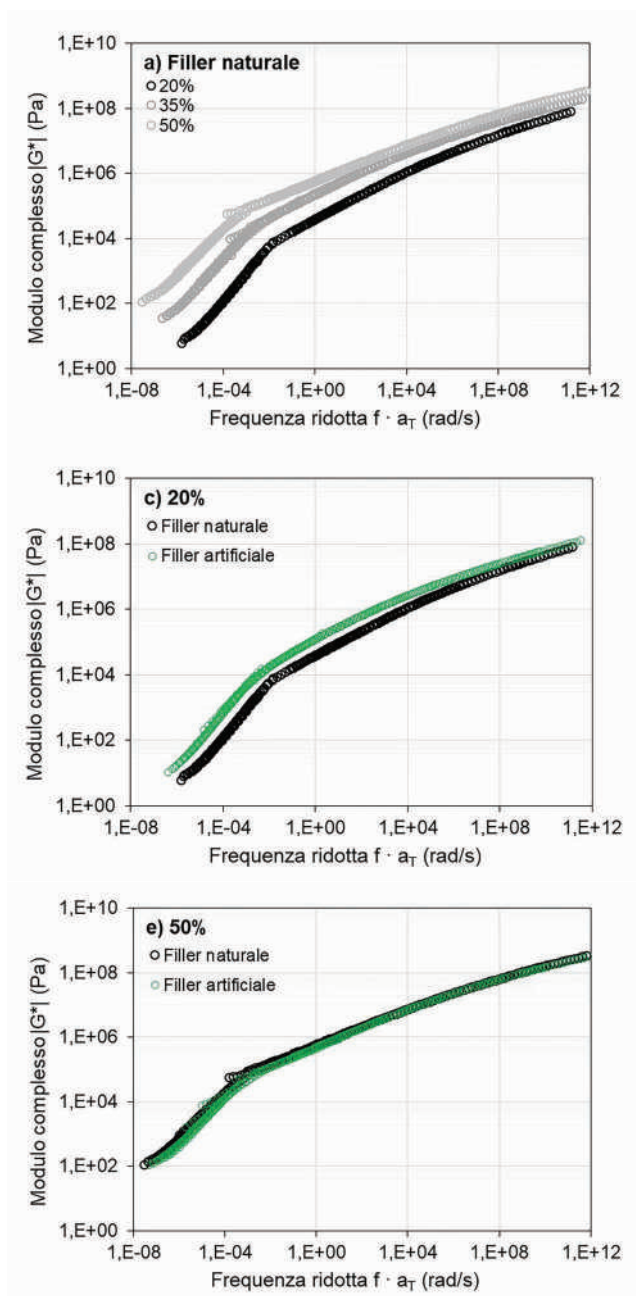


Fig. 6A, 6B, 6C, 6D e 6E.
Curve maestres del modulo complesso $|G^*|$ (TREF = 60 °C) di mastici filler/bitume prodotti con bitume modificato con polimeri SBS

tutto il range di frequenze analizzato, con un effetto più marcato alle basse frequenze (o alte temperature) dove il bitume di base è caratterizzato da uno stato più fluido. Il confronto tra i due filler analizzati fa emergere un discostamento nel caso del 20% di utilizzo, rappresentato da una maggior rigidità della miscela contenente filler artificiale. Negli altri casi, i valori di rigidità misurati sono pressoché simili a prescindere dalla frequenza/temperatura considerata.

Le **Figure 7A, 7B, 7C, 7D e 7E** mostrano le curve maestres ad una temperatura di riferimento di 60 °C relative al modulo di rigidità $|G^*|$ delle mescole bitume/filler prodotte con bitume modificato con polimeri

APP. In questo caso, l'effetto dato dall'aumento di dosaggio del filler è meno evidente per entrambi i materiali utilizzati. Tale aspetto, evidenziato alle basse frequenze (o alte temperature), deriva dalle diverse caratteristiche del bitume base, il quale mostra un comportamento sensibilmente diverso da quello contenente polimeri SBS. Infatti, l'utilizzo di polimeri APP conferisce al bitume base una rigidità generalmente più elevata alle alte temperature di esercizio rispetto i polimeri SBS, i quali inoltre vengono tradizionalmente impiegati in percentuali minori. Nel caso di mastici analizzati con polimeri APP, i valori di rigidità misurati a parità di dosaggio dei due filler, sono pressoché simili a prescindere dalla frequenza/temperatura considerata.

3.2 Prova a cicli ripetuti a carico costante e recupero: Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test
Nelle **Figure 8A, 8B, 9A e 9B** vengono mostrati i risultati in termini di deformazioni accumulate e

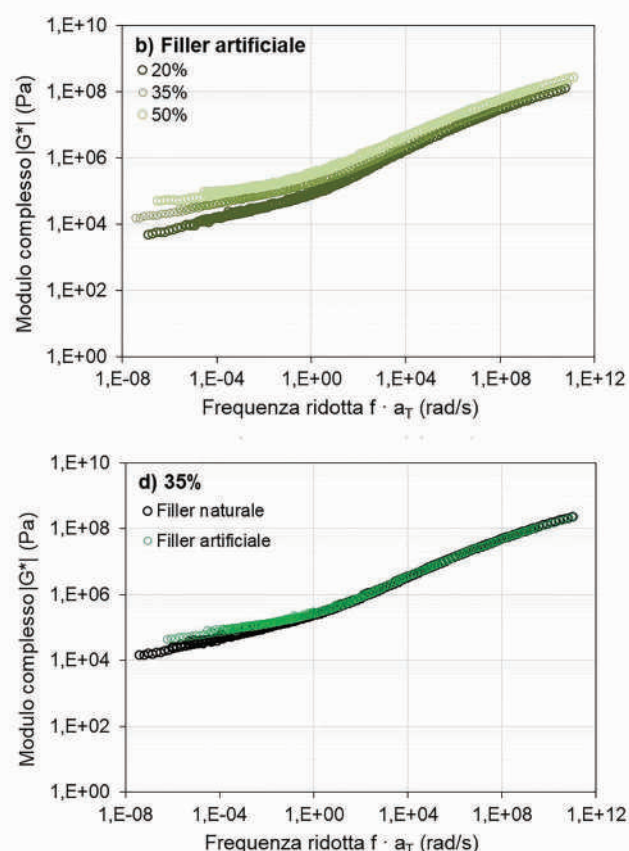
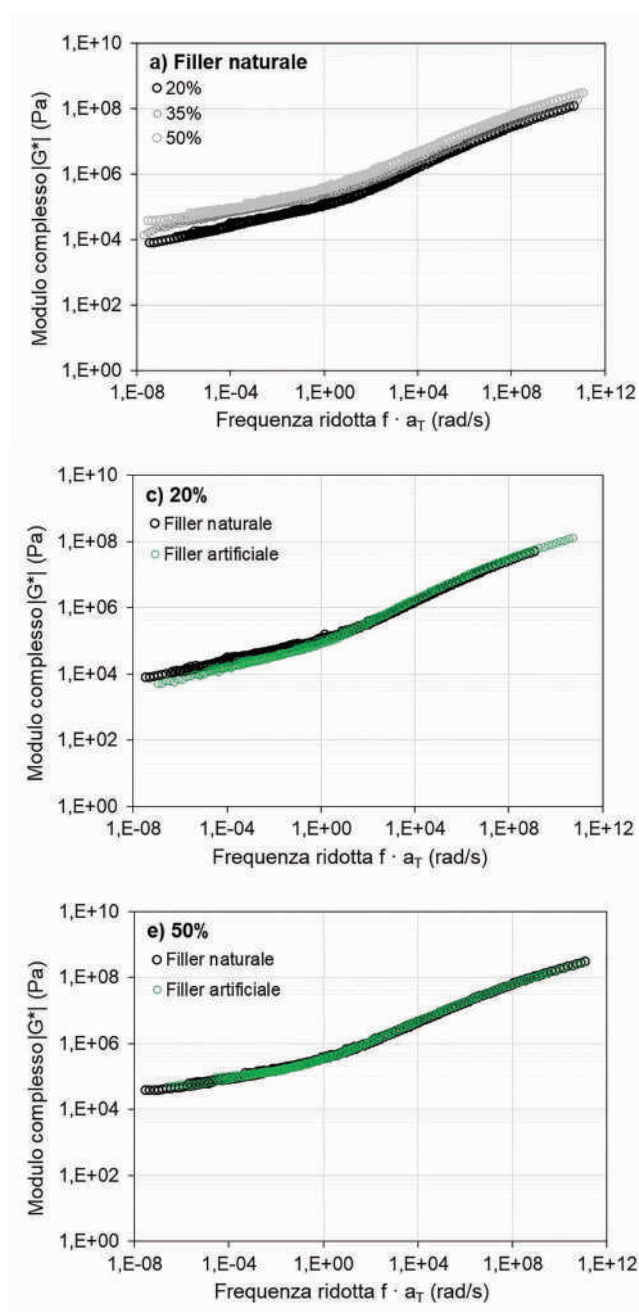


Fig. 7A, 7B, 7C, 7D e 7E.
Curve maestres del modulo complesso $|G^*|$ (TREF = 60 °C)
di mastici filler/bitume prodotti con bitume modificato con
polimeri APP

percentuale elastica di recupero di deformazione sui mastici prodotti con bitume modificato rispettivamente con polimeri SBS ed APP.

In generale, la maggior elasticità conferita dalla natura polimerica dei polimeri SBS provoca un accumulo di deformazione sensibilmente minore e un recupero elastico mediamente maggiore rispetto quanto riscontrato con polimeri APP. Inoltre l'incremento del dosaggio di filler comporta contemporaneamente una diminuzione della deformazione accumulata e un aumento del recupero medio di deformazione, entrambi risultati dovuti all'incremento di rigidità conferito dal maggior volume di filler.

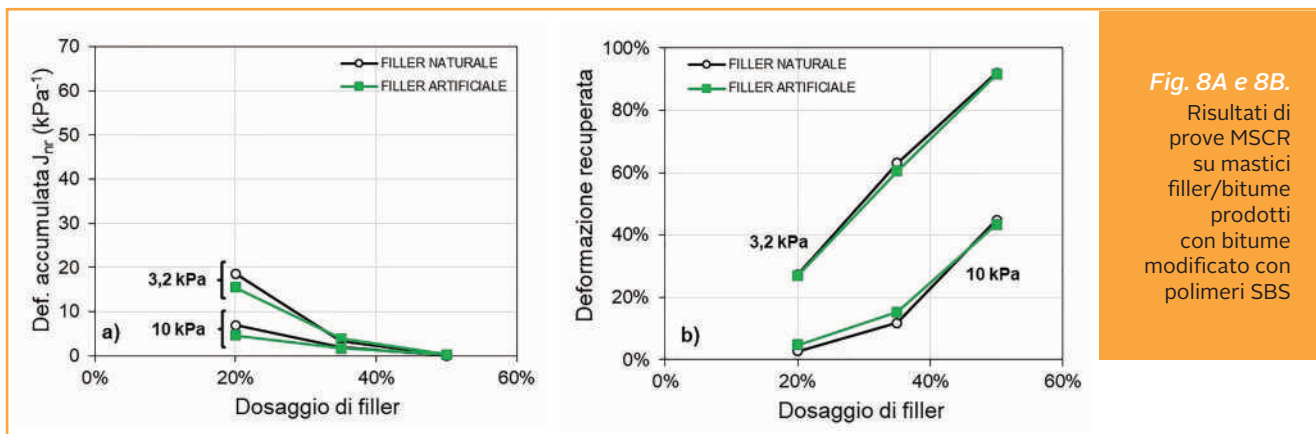
Nel caso di mastici prodotti con bitume modificato con polimeri SBS l'effetto dovuto alla presenza di filler artificiale piuttosto che filler naturale non è apprezzabile in maniera significativa.

Nel caso di mastici prodotti con bitume modificato con polimeri APP, l'utilizzo di filler artificiale risulta più marcato con un dosaggio pari al 20%, mentre le restanti mescole presentano caratteristiche piuttosto simili.

3.3 Resistenza a fatica: Linear Amplitude Sweep (LAS) Test

Nelle **Figure 10** e **11** vengono mostrati i risultati delle prove LAS in termini di curve sforzo-deformazione sui mastici prodotti con bitume modificato rispettivamente con polimeri SBS ed APP.

In generale i due tipi di bitume modificato analizzati non evidenziano chiaramente una differenza in termini di sforzo esercitato al fine di applicare la deformazione voluta. Al contrario l'irrigidimento causato



dal dosaggio incrementale di filler comporta un aumento generalizzato dello sforzo di tensione tangenziale esercitato. Ad ogni modo, in nessuno dei casi analizzati si è riscontrato un danneggiamento del campione dovuto alle elevate deformazioni, in quanto le curve raffigurate non presentano un tratto discendente tipico della rottura.

Nel caso di mastici prodotti con bitume modificato con polimeri SBS, l'effetto dovuto alla presenza di filler artificiale è rappresentato da un maggior sforzo tangenziale per dosaggio pari al 20% ed al 35%, dovuto alla maggior rigidità della miscela. Al contrario, nel caso di mastici prodotti con bitume modificato con polimeri APP, il filler naturale comporta un maggior sforzo tangenziale per dosaggi pari al 50%, conseguenza della maggior rigidità della miscela.

4. Produzione industriale e test di cessione

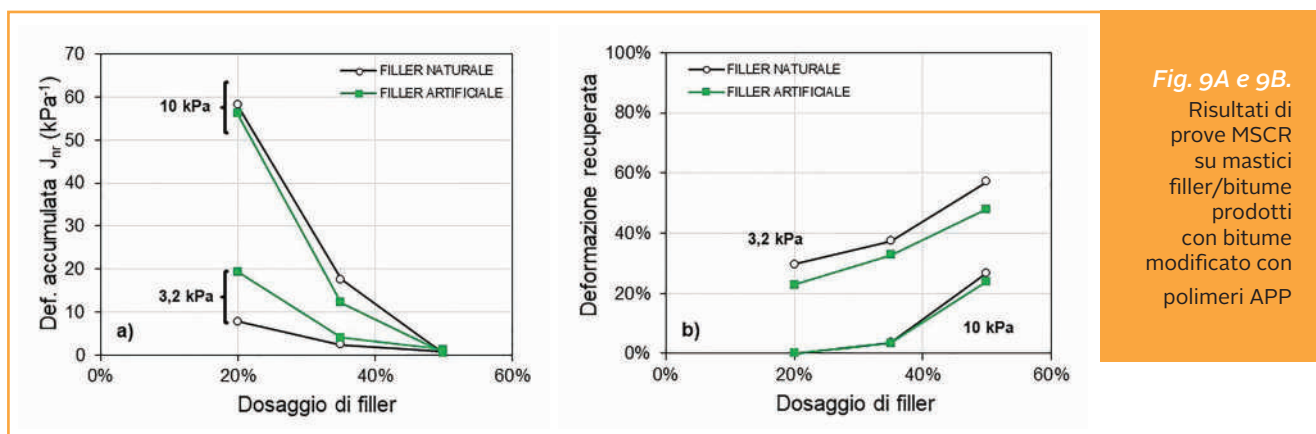
Il programma sperimentale si è concluso con la realizzazione su scala industriale di quattro tipologie di membrana impermeabilizzante differenti per filler utilizzato (carbonato di calcio e artificiale) e compound bituminoso modificato (polimeri APP e SBS).

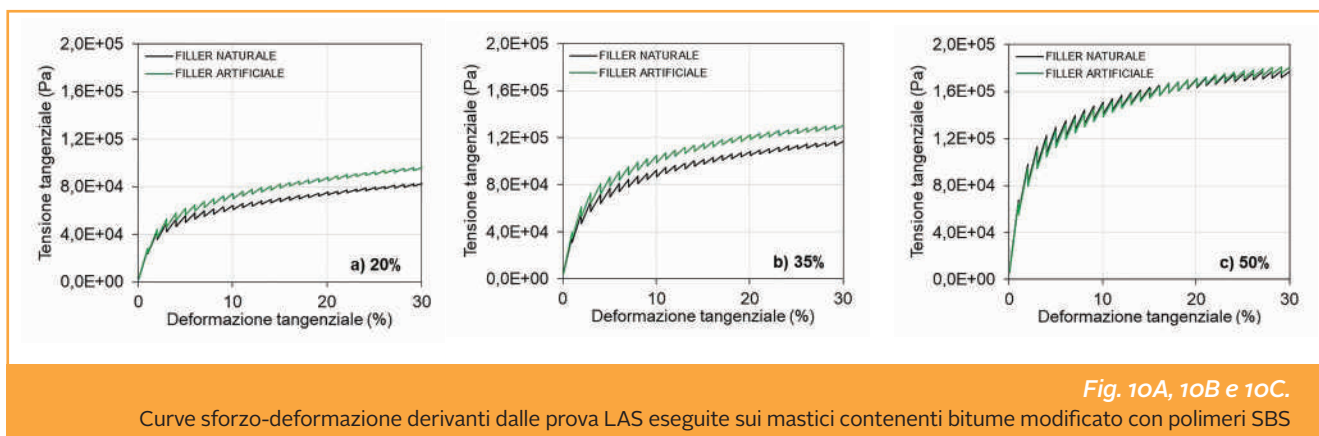
Per ciascuna tipologia di polimero, è stato introdotto filler in un dosaggio pari al 50% sulla totale della miscela bitume/polimero/filler.

Tale fase ha consentito la verifica di compatibilità del filler artificiale alla produzione industriale su più fronti:

- risposta meccanica dell'impianto all'utilizzo di alte percentuali di filler derivante da scoria di acciaieria;
- parametri richiesti dal produttore di membrane in sede di verifiche di produzione e controlli interni;
- tema della compatibilità ambientale (possibilità di successivo riciclo delle membrane impermeabilizzanti prodotte con filler artificiale).

In particolare la compatibilità ambientale rappresenta un tema di forte attualità soprattutto alla luce dell'emissione, nel febbraio del 2024, della prima bozza di schema di regolamento recante la disciplina della cessazione della qualifica di rifiuti di membrane bituminose. La bozza stabilisce nello specifico il flusso di rifiuti interessato (codice EER 170302 - Miscele bituminose diverse da quelle di cui alla voce 170301, limitatamente alle membrane bituminose utilizzate in edilizia per impermeabilizzare superfici), i criteri di conformità ai fini della cessazione della qualifica di rifiuto, gli scopi specifici di utilizzabilità e gli obblighi





documentali. Facendo quindi riferimento a quanto contenuto nella suddetta bozza relativamente ai limiti imposti sui parametri da ricercare ai fini di cessazione della qualifica di rifiuto, sono stati eseguiti test di cessione sui campioni di “triturato di membrana bituminosa” (TMB) delle quattro membrane prodotte al fine di valutare eventuali criticità sulla riciclabilità futura dei prodotti indagati: si riportano i risultati in Tabella 4 da cui è emersa la piena conformità dei parametri rilevati.

5. Conclusioni

Lo studio svolto ha valutato l'utilizzo di filler artificiale derivante da scorie di acciaio inox per la produzione di mescole bitume/polimero/filler destinate alla realizzazione di membrane bituminose. Tradizionalmente il mastice in cui viene impregnato il geo-tessuto è composto da carica minerale (generalmente carbonato di calcio) e da bitume altamente modificato con polimeri (SBS e/o APP). Data l'elevata percentuale di materia prima vergine che viene richiesta per questo tipo di produzioni, si è ritenuto strategico valutare l'utilizzo di alternative ecosostenibili, rappresentate

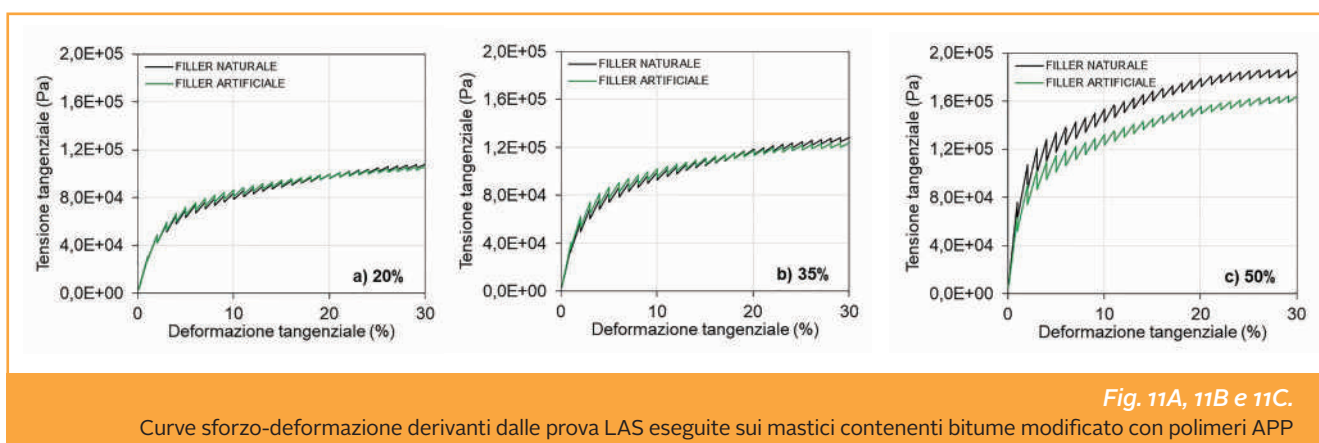
in questo caso da filler artificiale derivante da scoria mista da acciaio inossidabile.

Dunque, a parità di composizione ponderale, sono stati confrontati gli effetti prestazionali conferiti da un filler di carbonato di calcio, normalmente utilizzato da un produttore di membrane bituminose, e da un filler artificiale. I dosaggi analizzati sono stati pari 20%, 35% e 50% sulla massa della mescola bitume/polimero/filler.

Lo studio sperimentale ha previsto una completa caratterizzazione reologica che comprendesse l'analisi delle prestazioni in termini di rigidità complessiva delle mescole, di risposta meccanica a temperature di esercizio elevate (MSCR) ed intermedie (LAS).

Dall'analisi sperimentale emergono le seguenti considerazioni:

- in termini di rigidità delle mescole bitume/polimero/filler, l'utilizzo di filler artificiale comporta un incremento sensibile del valore riscontrato solamente nel caso di un utilizzo pari al 20% con bitume modificato SBS. In tutti gli altri casi, i risultati ottenuti non evidenziano una sostanziale differenza tra filler artificiale e filler naturale;



Parametro Eluato in acqua secondo UNI EN12457-2:2004	APP		SBS		Limiti
	Naturale	Artificiale	Naturale	Artificiale	
COD	18,2	14,8	10,5	10,2	30
Fluoruri	0,18	0,46	0,051	0,26	1,5
Cloruri	1,10	0,41	0,20	0,92	100
Nitrati	< 2	< 2	< 2	< 2	50
Solfati	0,43	0,58	0,30	0,42	250
Cianuri	< 2	< 2	< 2	< 2	50
Arsenico	< 2	< 2	< 2	< 2	50
Bario	< 0,01	0,026	< 0,01	< 0,01	1
Berillio	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	10
Cadmio	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5
Cobalto	< 1	< 1	< 1	< 1	250
Cromo totale	4,1	6,0	< 1	3,6	50
Mercurio	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1
Nichel	< 1	< 1	< 1	< 1	10
Piombo	< 1	< 1	< 1	< 1	50
Rame	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,05
Selenio	< 1	< 1	< 1	< 1	10
Vanadio	3	10	< 1	7	250
Zinco	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	3

Tab. 4. Risultati test di cessione

- l'analisi delle prestazioni alle alte temperature può essere focalizzata sulle mescole con bitume modificato APP, in quanto tale polimero viene preferito in caso di temperature di esercizio elevate. A parità di dosaggio, il filler artificiale comporta un recupero medio di deformazione di poco inferiore, mentre il valore di deformazione accumulata può essere considerato invariato a prescindere della carica minerale utilizzata. Analogamente, i risultati ottenuti dalle mescole con bitume SBS non evidenziano particolari differenze tra i due filler;
- i risultati in termini di prestazioni alle temperature intermedie di esercizio vengono valutate con prove dinamiche in carico oscillatorio con deformazioni tangenziali crescenti. Questa tipologia di prova è particolarmente adatta in caso di mastici

utilizzati per la produzione di membrane destinate al rinforzo di pavimentazioni stradali. In caso di utilizzo di polimeri SBS il filler artificiale conferisce migliori prestazioni con un dosaggio tra il 20% e 35%, mentre in caso di utilizzo di polimeri APP il filler naturale risulta più performante con dosaggi superiori al 35%. Le altre casistiche analizzate hanno evidenziato prestazioni simili.

La sperimentazione di laboratorio, coadiuvata da una produzione su scala industriale, ha delineato la sostenibilità tecnologica, industriale e ambientale dell'utilizzo di filler artificiale derivante da scoria di acciaio inossidabile per la produzione di membrane impermeabilizzanti, ottenendo un prodotto caratterizzato da un'elevata percentuale di materiale di recupero in linea con i concetti attuali di eco-sostenibilità e circolarità. 

¹ *Direttore Ricerca & Sviluppo Laboratorio di STS Mobile*

² *Responsabile Ricerca & Sviluppo Laboratorio di STS Mobile*

BIBLIOGRAFIA

[1]

Giavarini, C. (2009). Il riciclaggio nel conglomerato bituminoso delle membrane bitume-polimero. Rassegna del Bitume - SITEB, 62, 33-39.

[2]

K. Oba, and A. Roller. "Characterization of polymer modified bituminous roofing membranes using thermal analysis." Materials and Structures 28: 596-603, 1995.

[3]

I. Rodriguez, O. Dutt, R. M. Paroli, and N. P. Mailvaganam. "Effect of heat-ageing on the thermal and mechanical properties of APP- and SBS-modified bituminous roofing membranes." Materials and Structures 26: 355-361, 1993.

[4]

M. Puterman, and M. Marton. "Evaluation of changes in roofing materials as a result of long-term exposure." In Proc. 4th Int. Sym. Roof. Tech, pp. 236-241, 1997.