

*La **raffinazione** del granulato di conglomerato bituminoso*

*The **refining process** of reclaimed asphalt pavement (RAP) aggregate*

Riassunto

In un'ottica di sostenibilità, è importante sviluppare metodi efficaci per il recupero e riutilizzo del granulato di conglomerato bituminoso. Una possibile soluzione consiste nel trattamento meccanico degli aggregati per rimuovere il film di bitume e ottenere materiali idonei al riuso nel processo di riciclaggio a caldo. Lo studio che qui presentiamo ha analizzato la durata ottimale del processo di raffinazione per massimizzare la rimozione del mastice senza compromettere la superficie degli aggregati. Il granulato è stato trattato con diverse modalità e tempi (flusso diretto, 2, 3 e 5 minuti), valutando il contenuto residuo di bitume e la resistenza allo slittamento. L'aggregato derivante dalla durata ottimale di trattamento è stato successivamente utilizzato per la produzione di un conglomerato bituminoso al fine di valutarne l'influenza sulle proprietà meccaniche.

From a sustainability point of view, it is important to develop effective methods for the recovery and reuse of reclaimed asphalt pavement (RAP) aggregate. One possible solution is the mechanical treatment of aggregates to remove the bituminous film and obtain materials suitable for reuse in the hot recycling process. The study presented here has analyzed the optimal duration of the refining process to maximize mastic removal without compromising the aggregate surface properties. The RAP was treated using different methods and durations (direct flow, 2, 3, and 5 minutes), evaluating the residual bitumen content and skid resistance. The aggregate resulting from the optimal operating conditions was subsequently used to produce an asphalt mixture in order to assess its influence on the mechanical properties.

Summary

Ottimizzazione dei parametri nel trattamento degli aggregati riciclati

1. Introduzione

Le operazioni di manutenzione delle infrastrutture stradali comportano spesso la rimozione parziale o totale degli strati di conglomerato bituminoso deteriorati, la quale porta alla produzione di granulato di conglomerato bituminoso (denominato volgarmente “fresato”). Nonostante le procedure necessarie alla cessazione di qualifica di rifiuto e che quindi ne consentirebbero il riutilizzo in conglomerati bituminosi, l'impiego di granulato in nuove miscele è tutt'oggi limitato [1]. Il legante bituminoso contenuto nel granulato risulta invecchiato e ossidato; di conseguenza, l'impiego di elevate percentuali di granulato comporta generalmente un aumento di rigidità e maggiori

fragilità e suscettibilità ai fenomeni di fessurazione [2]. Per affrontare questa problematica è bene adottare specifici prodotti quali additivi rigeneranti o leganti bituminosi altamente modificati. Un ulteriore approccio, di nuova concezione, consiste nel trattamento del granulato mediante sistemi di raffinazione meccanica. Tali sistemi sfruttano meccanismi di abrasione che, da un lato consentono la rimozione di una parte significativa del mastice bituminoso (bitume e filler) dalla superficie degli aggregati grossolani, ma dall'altro, possono indurre fenomeni di levigatura degli aggregati stessi, alterandone le caratteristiche superficiali [3]. L'obiettivo del presente studio è stato quello di individuare le condizioni operative ottimali del processo di raffinazione del granulato al fine di ottenere un equilibrio efficace tra la rimozione del mastice bituminoso e la conservazione delle proprietà superficiali degli aggregati. L'intento è quello di ottenere un materiale derivante da granulato di conglomerato bituminoso con caratteristiche il più possibile simili a quelle di aggregati vergini di prima estrazione.

2. Materiali e approccio sperimentale

La seguente sezione contiene informazioni relative alle materie prime sottoposte a studio e al programma sperimentale seguito. Quest'ultimo si è dapprima sviluppato in sede di impianto produttivo, al fine di determinare le condizioni ottimali di produzione del granulato raffinato. Il materiale derivante dalle suddette condizioni è stato utilizzato in laboratorio per la produzione di un conglomerato bituminoso ad elevato contenuto di granulato per la verifica delle caratteristiche prestazionali.

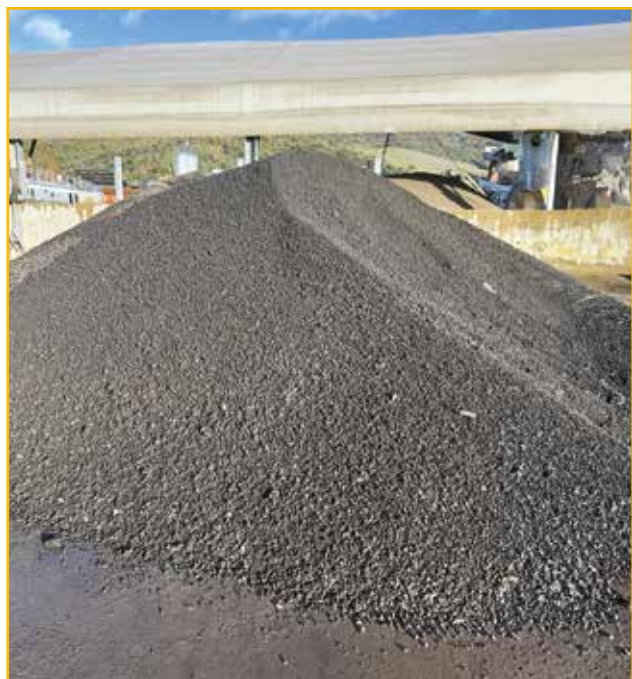


Fig. 1. Cumulo di granulato di conglomerato bituminoso sottoposto a raffinazione

2.1 L'impianto di raffinazione del granulato

Lo schema dell'impianto di raffinazione del granulato è mostrato in **Figura 2**. Il granulato è stato inizialmente versato in una tramoggia di carico, la quale ha raccolto il materiale e lo ha convogliato, tramite un nastro trasportatore, a un vaglio vibrante flip-flow. Quest'ultimo, grazie all'azione vibrante e alla presenza di reti metalliche, ha consentito la separazione del granulato in due frazioni granulometriche:

- una frazione fine, passante attraverso le maglie da 4 mm e stoccata;
- una frazione grossolana, trattenuta alle maglie da 4 mm, convogliata a una tramoggia di accumulo.

Successivamente, la frazione grossolana è stata scaricata al di sopra di un altro nastro trasportatore verso un primo raffinatore.

Questa unità è costituita da una parte superiore di carico e da una serie di cilindri rotanti interni posti inferiormente. Una volta introdotta, la frazione grossolana è stata sottoposta a una combinazione di urti e attriti, sia contro le parti metalliche dell'unità sia tra le particelle di aggregato stesse. Tale azione combinata ha determinato la rimozione parziale del mastice bituminoso dalla superficie. All'uscita della prima unità sono stati ottenuti due componenti:

- una frazione fine con elevato contenuto di bitume (costituita dal mastice rimosso);
- una frazione grossolana con un contenuto di bitume inferiore rispetto al materiale in ingresso.

Entrambe le frazioni sono state convogliate ad un secondo raffinatore, il quale ha aumentato ulteriormente il grado di rimozione del mastice bituminoso dall'aggregato grossolano. I materiali in uscita sono stati quindi separati mediante un secondo vaglio vibrante flip-flow: la frazione fine ricca di bitume passante attraverso le maglie da 4 mm è stata convogliata direttamente al cumulo già formato nella fase iniziale, mentre il materiale trattenuto ha seguito un percorso che è dipeso dalle impostazioni operative dell'impianto.

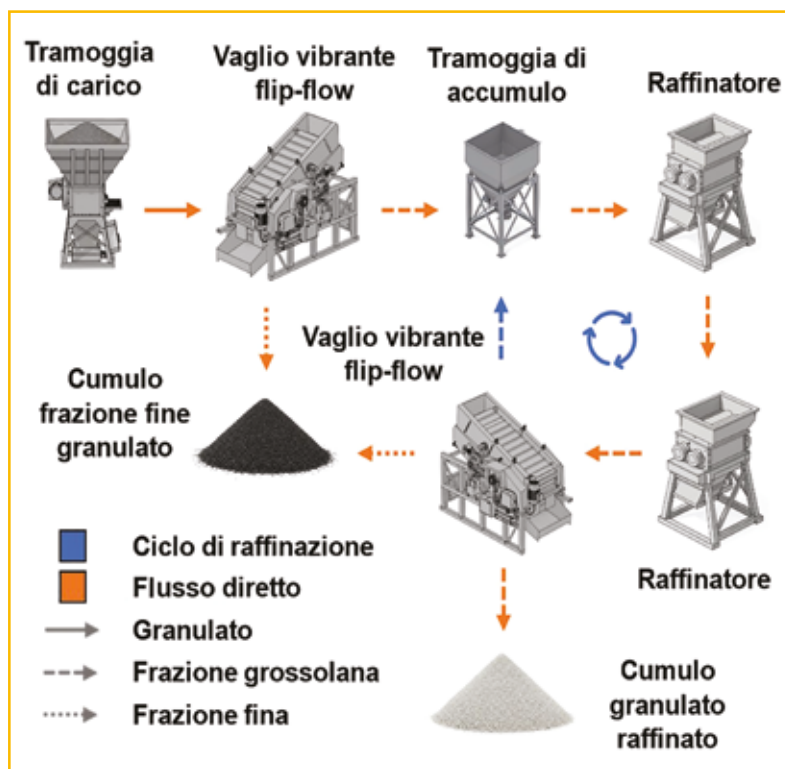


Fig. 2. Il diagramma dell'impianto di raffinazione

Infatti, all'inizio delle operazioni di raffinazione del granulato, è stato possibile stabilire se il materiale debba:

- essere sottoposto a un singolo ciclo di raffinazione, con durata inferiore a un minuto, ovvero il granulato viene trattato dai due raffinatori e le due



Fig. 3. Il vaglio vibrante flip-flow

Materiale	Tipo di trattamento	Punto di prelievo (Fig. 2)	Durata del ciclo di raffinazione
RAP_REF	Nessuno	Tramoggia di carico	N/A
RAP_C	Prima vagliatura	Tramoggia di accumulo	N/A
RAP_Co	Flusso diretto	Cumulo della frazione grossolana del granulato	0 min
RAP_C2	Ciclo di raffinazione		2 min
RAP_C3			3 min
RAP_C5			5 min

Tab. 1. I materiali sottoposti ad analisi

frazioni ottenute vengono stoccate (di seguito indicato come “flusso diretto”); oppure

- essere nuovamente convogliato alla tramoggia di accumulo prima del primo raffinatore. In questo caso, la frazione grossolana viene trattata in un ciclo chiuso per un determinato periodo di tempo e stoccato al termine del processo (procedura indicata come “ciclo di raffinazione”).

2.2 I materiali campionati

Nel presente studio il materiale trattato consisteva in granulato di conglomerato bituminoso ottenuto dalla fresatura di uno strato di usura drenante proveniente da una pavimentazione autostradale (RAP_REF).

Il materiale è stato introdotto nell’impianto di raffinazione e la frazione grossolana è stata campionata dal vaglio vibrante flip-flow primario, rappresentando il materiale prima dell’effettivo processo di raffinazione (RAP_C). Successivamente, in funzione della modalità operativa dell’impianto, sono stati raccolti ulteriori campioni di frazione grossolana. La **Tabella 1** riassume i materiali analizzati e il trattamento a cui sono stati sottoposti.

2.3 Il programma sperimentale

2.3.1 L’aggregato da granulato di conglomerato bituminoso

Il programma sperimentale ha previsto la determinazione del contenuto di bitume su tre campioni per tutti i materiali secondo la Norma EN 12697-1.



Fig. 4. Il campione di granulato sottoposto ad estrazione del legante



Fig. 5. I campioni sottoposti a prova di attrito radente

Successivamente, le proprietà di attrito radente sono state determinate mediante la misura del Pendulum Test Value (PTV), come specificato dalla Norma EN 13036-4, su quattro campioni per ciascun materiale prelevato.

La prova è stata eseguita su inerte di granulato tal quale (contenente bitume). I provini sono stati preparati in conformità alla Norma EN 1097-8.

Poiché la Norma prevede che la prova venga eseguita su granuli di dimensioni comprese tra 7,2 e 10 mm, è stata testata una sola serie di provini per gli aggregati denominati RAP_REF e RAP_C. I provini sono stati sottoposti alla prova con pendolo per valutare le proprietà superficiali e analizzare come il processo di raffinazione influenzi la tessitura superficiale del granulato raffinato.

2.3.2 I conglomerati bituminosi

In questa fase sono stati analizzati due conglomerati bituminosi prodotti in laboratorio, ponendo a confronto una miscela senza granulato e una miscela con il 35% di granulato raffinato alle condizioni definite ottimali (frazione granulometrica 7/12).

Le miscele prodotte fanno riferimento a quanto richiesto dal Capitolato Speciale d'Appalto ANAS SpA per tappeti di usura tipo A prodotti con bitume PmB 45/80-70.

Le miscele sono state confezionate a parità di contenuto di bitume totale e a parità di tenore di vuoti.

La scelta tecnologica di inserire tale quantitativo di granulato all'interno di un tappeto di usura è giustificata dal fatto di avere selezionato e trattato un granulato derivante a sua volta da un tappeto di usura, contenente quindi aggregati di elevata qualità. È bene evidenziare che nella produzione del conglomerato bituminoso contenente granulato raffinato non sono stati utilizzati additivi rigeneranti.

Le proprietà meccaniche investigate hanno riguardato la Resistenza a Trazione Indiretta a 25 °C (UNI EN 12697-23) e i Moduli di Rigidezza in configurazione di trazione indiretta a 0 °C, 20 °C e 40 °C (UNI EN 12697-26) misurati su provini compattati tramite pressa giratoria a 230 giri.

3. I risultati

3.1 L'aggregato da granulato di conglomerato bituminoso

L'analisi del grafico riportato in **Figura 6** mostra che il granulato di partenza sottoposto a processo di raffinazione (RAP_REF) presentava un contenuto medio di bitume residuo pari al 4,4% in peso sul granulato. Tuttavia, una significativa riduzione del contenuto di legante è stata osservata già con la prima operazione di vagliatura, prima di qualsiasi azione di raffinazione.

Durante questa fase, infatti, è stata separata la frazione passante al vaglio da 4 mm, caratterizzata da una maggiore superficie specifica e, di conseguenza, da un più elevato contenuto di legante. Il materiale grossolano trattenuto dalle maglie da 4 mm (RAP_C) ha mostrato un contenuto medio di bitume residuo pari al 3,6%.

La **Figura 6** evidenzia come il processo di raffinazione riduca progressivamente il contenuto di bitume. Quando la raffinazione è stata eseguita in modalità a flusso diretto, ovvero senza ciclo di raffinazione, il prodotto finale (RAP_Co) ha mostrato un contenuto di bitume residuo pari all'1,9%, corrispondente a una riduzione complessiva del 57% rispetto al RAP_REF.

Tuttavia, quando l'impianto ha operato dei cicli di raffinazione, il materiale trattato per circa due minuti (RAP_C2) ha evidenziato un'ulteriore riduzione

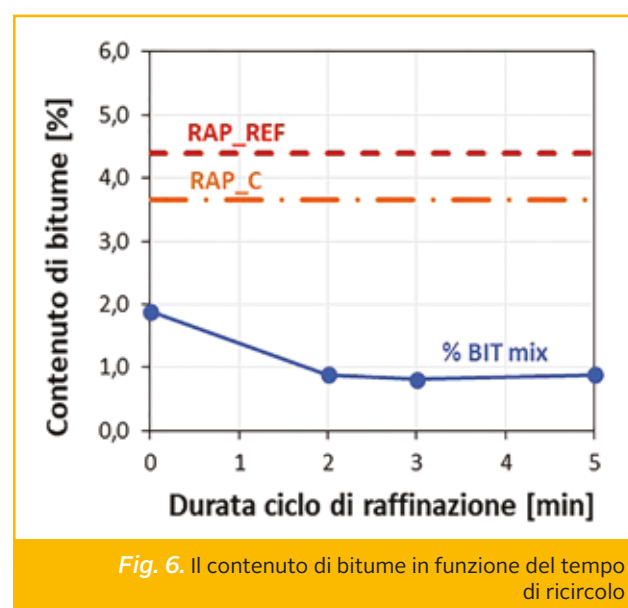


Fig. 6. Il contenuto di bitume in funzione del tempo di ricircolo

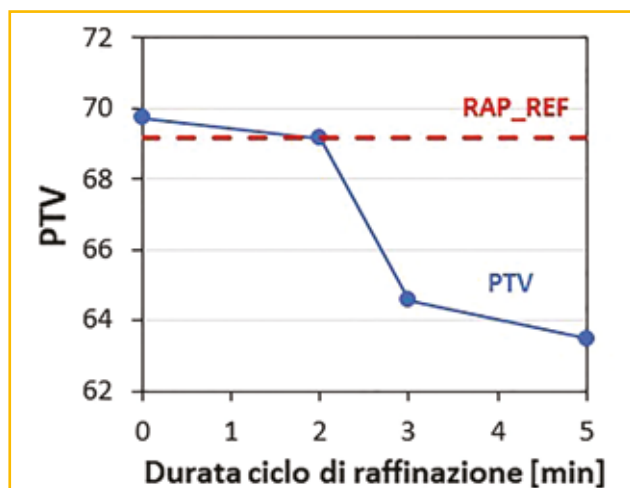


Fig. 7. I valori di attrito radente in funzione del tempo di ricircolo

ne del bitume residuo, fino ad un valore medio pari allo 0,9%.

L'aumento della durata del ciclo di raffinazione non ha comportato variazioni significative: dopo 3 e 5 minuti di trattamento (RAP_C3 e RAP_C5), il contenuto di bitume residuo non ha mostrato differenze rilevanti rispetto al risultato ottenuto con 2 minuti di raffinazione. Complessivamente, il processo ha consentito la rimozione fino a circa l'80% del bitume residuo iniziale.

La resistenza allo slittamento è stata espressa in termini di Pendulum Test Value (PTV), calcolato come media di cinque misurazioni effettuate su quattro provini per ciascun materiale. I risultati sono riportati in **Figura 7**.

Il materiale di riferimento (RAP_REF) ha mostrato un valore di PTV pari a 69. Il materiale lavorato in modalità a flusso diretto (RAP_Co) ha evidenziato un PTV leggermente superiore, indicando che l'azione abrasiva esercitata dal sistema di raffinazione ha contribuito alla rimozione parziale del film di legante che riveste gli aggregati, esponendo la superficie minerale e aumentando così l'attrito. Un ciclo di raffinazione pari a due minuti mostra come effetto predominante la rimozione del legante piuttosto che la levigatura degli aggregati. Infatti, il materiale RAP_C2 ha presentato un PTV simile a quello del materiale di riferimento, suggerendo un equilibrio tra rimozione del legante e levigatura superficiale.

Quando la durata del ciclo di raffinazione è stata aumentata a tre minuti, si è osservata una riduzio-

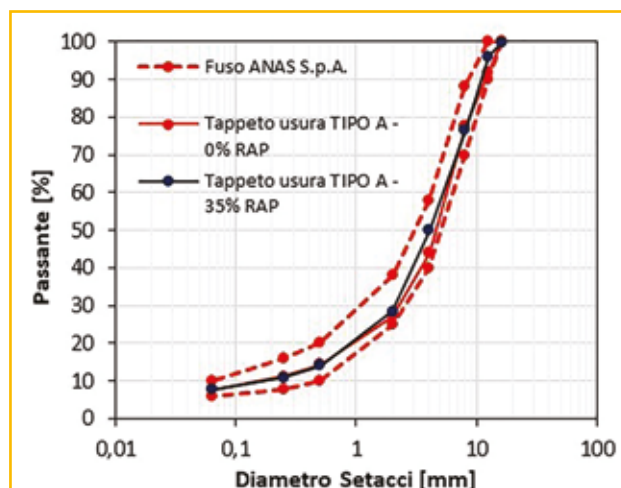


Fig. 8. Le curve granulometriche post-estrazione

ne più marcata del PTV (da 69 a 65), indicando che l'azione di levigatura è diventata predominante rispetto alla rimozione del legante.

Per il materiale RAP_C5 il PTV è ulteriormente diminuito fino a 64. In sintesi, l'aumento della durata del ciclo di raffinazione oltre i due minuti comporta una progressiva levigatura della superficie degli aggregati, mentre il contenuto di legante residuo rimane sostanzialmente invariato. La frazione grossolana del materiale RAP_C2 campionata in impianto è stata quindi utilizzata per la verifica delle prestazioni meccaniche del conglomerato bituminoso prodotto.

3.2 I conglomerati bituminosi

I risultati in termini di curva granulometrica a seguito di estrazione del legante sono mostrati in **Figura 8**. Le curve granulometriche estratte risultano pienamente conformi ai requisiti compositivi richiesti dal CSA ANAS SpA, nonché confrontabili tra loro.

I risultati in termini di resistenza a trazione indiretta sono illustrati in **Figura 9**.

È possibile osservare che entrambe le miscele sono caratterizzate da resistenze contenute nei limiti di capitolato (0,95-1,70 MPa), e mostrano valori pressoché uguali.

In termini di moduli di rigidezza, misurati a 0 °C, 20 °C e 40 °C (**Figura 10**), sono stati ottenuti risultati analoghi tra le due miscele a tutte e tre le temperature investigate, evidenziando la scarsa influenza dell'introduzione del 35% di granulato raffinato all'interno del conglomerato bituminoso.

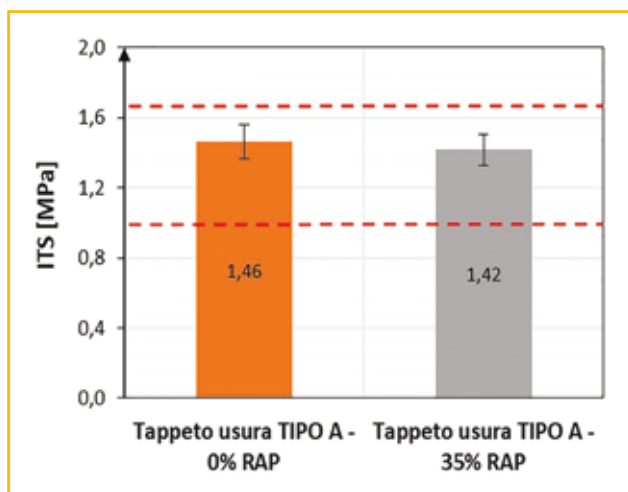


Fig. 9. Resistenza a Trazione Indiretta

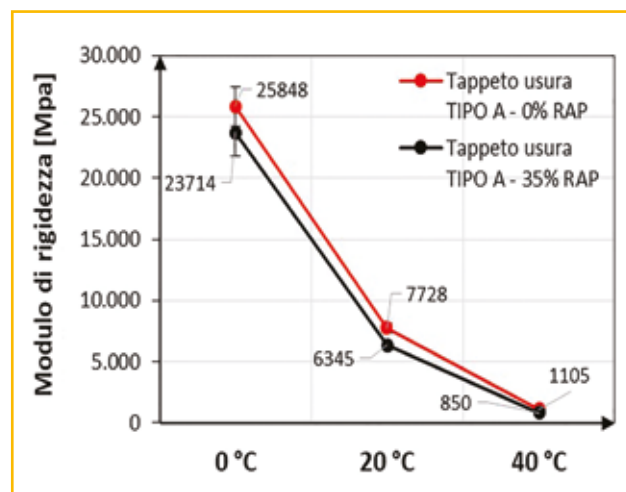


Fig. 10. Moduli di rigidezza

4. Conclusioni

L'obiettivo di questo studio è stato quello di stabilire come le condizioni operative dell'impianto di raffinazione del granulato possano influenzare sia il contenuto di bitume residuo sia la microtestitura superficiale dell'aggregato grossolano prodotto. Tali aspetti sono stati valutati considerando due principali modalità operative: il flusso diretto e il ciclo di raffinazione.

L'analisi combinata dei risultati relativi al contenuto di legante e all'attrito radente ha evidenziato che il tempo ottimale del ciclo di raffinazione all'interno dell'impianto è pari a 2 minuti. Il materiale così trattato è stato utilizzato per la produzione di un conglomerato bituminoso contenente il 35% di granulato raffinato in frazione granulometrica 7/12 e di natura basaltica.

I risultati hanno evidenziato che l'utilizzo di tale aliquota di materiale riciclato non influenza significativamente le prestazioni analizzate e ne permette l'utilizzo senza l'ausilio di particolari tecnologie (in particolar modo additivi rigeneranti o bitumi supermodificati).

Tale tecnologia consente di implementare un contenuto di materiale riciclato ben superiore ri-

spetto i limiti minimi richiesti dal Decreto "CAM Strade" per conglomerati bituminosi per strati di usura con bitumi modificati (10%), a fronte di una necessaria verifica prestazionale più approfondita volta a valutare la durabilità della pavimentazione.

Conseguentemente a quanto ottenuto, è inoltre possibile considerare di aumentare ulteriormente l'aliquota di granulato contenuto nel conglomerato (> 50%), utilizzando contestualmente tecnologie atte a mitigare gli effetti negativi conferiti dall'elevato dosaggio.

Infine, ulteriori sviluppi dovranno riguardare l'individuazione di applicazioni efficaci per la frazione fine ricca di bitume derivante dal processo di raffinazione, garantendo che anche questo materiale possa essere completamente re-inserito in cicli produttivi sostenibili.



⁽¹⁾ Ingegnere, Direttore Ricerca & Sviluppo
del Laboratorio di STS Mobile

⁽²⁾ Ingegnere, Responsabile Ricerca & Sviluppo
del Laboratorio di STS Mobile

⁽³⁾ Dottorando di Ricerca presso l'Università degli Studi
eCampus

BIBLIOGRAFIA

- [1]. V. Antunes, A.C. Freire, J. Neves – "A review on the effect of RAP recycling on bituminous mixtures properties and the viability of multi-recycling", Construction and Building Materials 211:453-469, 2019.
- [2]. B. Shi, Q. Dong, X. Chen, X. Gu, X. Wang, S. Yan – "A comprehensive review on the fatigue resistance of recycled asphalt materials: influential factors, correlations and improvements", Construction and Building Materials 384:131435, 2023.
- [3]. X. Yu, W. Tang, N. Li, M. Jiang, J. Huang, D. Wang – "Refined decomposition: a new separation method for RAP materials and its effect on aggregate properties", Construction and Building Materials 358:129452, 2022.