



DICAM

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

**Bando per Assegno di Ricerca Autofinanziato
PROGETTO DI RICERCA e PIANO ATTIVITÀ**

Tutor: Prof. Ing. Cesare Sangiorgi

**Caratterizzazione di miscele realizzate con materiali di riciclo prodotte con
additivi chimici e/o leganti idraulici**

1. Obiettivi del progetto di ricerca

Il progetto di ricerca ha la finalità di caratterizzare le miscele per sovrastrutture stradali, contenenti elevate percentuali di materiali di riciclo, prodotte secondo differenti tecnologie tramite l'utilizzo di additivi chimici e/o leganti idraulici. Gli impianti di produzione di nuova generazione si prefiggono di minimizzare i costi ambientali: da una parte aumentando il contenuto di materiali di riciclo nei conglomerati, che superano il 30-40% in peso sul totale della miscela, e dall'altra riducendo le emissioni inquinanti ed i consumi energetici. Potendo distinguere le attuali tecnologie in base alla modalità di inserimento dei prodotti riciclati ed al tipo e quantità dei materiali di riciclo che è possibile introdurre, la ricerca mira a valutare e confrontare il comportamento fisico-meccanico delle varie miscele in funzione delle modalità di incorporamento dei prodotti riciclati e della quantità in cui questi ultimi vengono aggiunti.

2. L'idea innovativa

Il recupero, il riciclo ed il riuso di prodotti/materiali, giunti o meno al termine della loro vita utile, sono alla base dell'economia circolare e della corretta gestione dei rifiuti promossa dall'Unione Europea, le quali devono essere adeguatamente implementate per garantire una crescita socio-economica che rispetti i criteri di sostenibilità ambientale. In ambito nazionale, lo studio di tecnologie produttive in grado massimizzare il riciclo di materiali di recupero è di forte interesse, anche in considerazione dei principi stabiliti dai Criteri Ambientali Minimi (CAM), già adottati nel settore edile e di prossima applicazione nell'ambito delle infrastrutture viarie. Riducendo i costi ambientali tramite la massimizzazione dell'utilizzo di materiali di scarto per la produzione di nuovi materiali da costruzione e l'abbattimento delle emissioni e consumi energetici connessi al ciclo produttivo.

I CAM rappresentano dei requisiti ambientali e sono definiti con l'obiettivo di individuare la soluzione progettuale, il prodotto oppure il servizio migliore, considerandone il suo intero ciclo di vita. Sulla base di queste considerazioni, ci si prefigge lo scopo di analizzare in laboratorio diverse miscele prodotte per buona parte o interamente con aggregati di riciclo (fresato e/o inerti da attività di Costruzione & Demolizione (C&D), terre e affini) confezionate tramite tecnologie a caldo e a freddo con additivi chimici e/o leganti idraulici.

Il fresato (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP) ottenuto dalla fresatura e/o demolizione di pavimentazioni esistenti rappresenta il principale prodotto a cui, oggi, è rivolta l'attenzione dei costruttori di impianti e dei produttori di conglomerati. Infatti, l'inserimento del fresato all'interno delle nuove formulazioni contribuisce sia alla componente litica, sia a quella legante della

ALMA MATER STUDIORUM • UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

VIALE RISORGIMENTO, 2 - 40136 BOLOGNA - ITALIA - TEL. 051 2093237 - 2093520 - 2093340 - 2093490 - FAX 051 2093253
distart@mail.ing.unibo.it - C.F. 80007010376 - P.I. 01131710376



DICAM

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

miscela finale, riducendo i rispettivi quantitativi di aggregati e di bitume vergini. Con lo stesso obiettivo di ridurre sia la quota degli aggregati vergini, sia quella del bitume, studi nazionali ed internazionali sono focalizzati a valutare le prestazioni fornite anche da altri materiali di recupero/riuso/riciclo come ad esempio, aggregati provenienti da rifiuti solidi urbani e industriali o aggregati artificiali, oppure olii esausti di origine vegetale o minerale a parziale sostituzione del bitume vergine, ma anche polimeri di scarto che sostituiscano quelli di primo impiego per la produzione di bitumi modificati. Negli ultimi anni i produttori di impianti di conglomerati bituminosi hanno sviluppato avanzate tecnologie in grado di inserire ingenti quantitativi di materiali riciclati per far fronte alle esigenze del mercato di un prossimo futuro, il quale vorrà auspicabilmente massimizzare il riuso di prodotti di scarto/riciclo grazie alle predette normative ambientali. Tuttavia, i produttori offrono varie tipologie di impianti al fine di soddisfare una domanda di mercato più ampia, le quali si differenziano per le modalità di incorporamento dei materiali riciclati o per le quantità massime che possono essere incorporate. Le capacità produttive e l'efficienza di queste tecnologie innovative dovranno essere comprovate dall'esperienza.

Sulla base di tali premesse e grazie alla collaborazione di aziende terze è stato possibile ideare la presente ricerca dell'analisi di differenti processi produttivi che possano consentire il riciclaggio di materiali di recupero per il confezionamento di miscele per sovrastrutture stradali e simili, garantendo specifici standard prestazionali.

3. Programma sperimentale

Il programma sperimentale è suddiviso sulla base delle miscele da sottoporre a prova, differenziate per materiali costituenti e tecnologie produttive. Nello specifico, i prodotti oggetto di caratterizzazione sono:

- Conglomerato bituminoso realizzato con il 100 % di fresato ed additivi chimici, prodotto a caldo in impianto mobile di tipo Bagela;
- Conglomerato bituminoso realizzato con il 100 % di fresato ed additivi chimici, prodotto a freddo/tiepido in impianto mobile di tipo Bagela;
- Misto cementato prodotto in impianto mobile con aggregati da C&D e leganti idraulici;
- Miscela ternaria di terre e leganti idraulici prodotta in impianto mobile.

Di seguito vengono descritte con maggior dettaglio le fasi previste dalla presente ricerca:

ATTIVITÀ 1 (2 MESI): Ricerca bibliografica relativa allo stato dell'arte dell'impiego di materiali riciclati per la produzione di miscele per sovrastrutture stradali

L'obiettivo della presente attività è la definizione dello stato dell'arte dell'utilizzo dei materiali da costruzione di strade che contengono elevate percentuali di materiali di riciclo tenendo conto di studi e ricerche pregresse in ambito nazionale ed internazionale. La ricerca bibliografica dovrà valutare la fattibilità di impiego di prodotti/materiali di riciclo evidenziando le possibili criticità connesse alle caratteristiche intrinseche dei materiali impiegati ed alla produzione delle miscele per sovrastrutture stradali. La ricerca bibliografica si avvarrà, oltre che delle comuni fonti, del Portale delle Biblioteche dell'Università di Bologna, della Biblioteca DICAM, delle banche dati di riviste, pubblicazioni e



DICAM

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

normative internazionali accessibili dal sistema informatico dell'Università di Bologna.

ATTIVITÀ 2 (8 MESI): Caratterizzazione fisico-meccanica delle miscele per sovrastrutture stradali

A seconda della tipologia di materiale oggetto di test, è di seguito presentato il programma di prove necessario per la completa caratterizzazione fisica e meccanica delle miscele.

A. Conglomerato bituminoso riciclato a caldo

La caratterizzazione della miscela prevede un'analisi di screening del fresato in ingresso ed in uscita dall'impianto mobile Bagela. La miscela finale, additivata con prodotti chimici in commercio, sarà ottimizzata nel dosaggio dell'additivo e nella temperatura di miscelazione.

Il controllo qualitativo di laboratorio sarà effettuato tramite i seguenti test:

- Definizione del contenuto di legante (UNI EN 12697-2);
- Analisi granulometrica (UNI EN 933-1);
- Compattazione di provini con pressa giratoria (UNI EN 12697-31);
- Analisi del contenuto di vuoti d'aria (UNI EN 12697-31, 8);
- Caratterizzazione meccanica statica mediante test ITS (UNI EN 12697-23) a 25 °C;
- Caratterizzazione meccanica dinamica mediante test ITSM (UNI EN 12697-26) a 20 °C;
- Suscettibilità all'acqua mediante test ITSr (UNI EN 12697-12).

Il numero di provini da confezionare e testare sarà definito sulla base dei requisiti delle varie normative prese come riferimento.

In questa fase di caratterizzazione i valori saranno confrontati con i requisiti dei più diffusi Capitolati Speciali d'Appalto per conglomerati bituminosi per risagomature e rappezzi.

B. Conglomerato bituminoso riciclato a freddo/tiepido

In questa attività sperimentale, la stessa tipologia di conglomerato prodotto a caldo sarà ottimizzata nella tipologia e dosaggio di additivo chimico, col fine di abbattere le temperature di lavorazione e miscelazione per la realizzazione di una miscela confezionata a freddo/tiepido.

Il controllo qualitativo di laboratorio sarà effettuato tramite i seguenti test:

- Definizione del contenuto di legante (UNI EN 12697-2);
- Analisi granulometrica (UNI EN 933-1);
- Compattazione di provini con pressa giratoria (UNI EN 12697-31);
- Analisi del contenuto di vuoti d'aria (UNI EN 12697-31, 8);
- Caratterizzazione meccanica statica mediante test ITS (UNI EN 12697-23) a 25 °C;
- Caratterizzazione meccanica dinamica mediante test ITSM (UNI EN 12697-26) a 20 °C;
- Suscettibilità all'acqua mediante test ITSr (UNI EN 12697-12).

I risultati saranno confrontati con i valori ottenuti per la miscela realizzata a caldo e comunque con i requisiti dei più diffusi Capitolati Speciali d'Appalto per conglomerati bituminosi per risagomature e rappezzi.



DICAM

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

C. Misto cementato con aggregati da C&D

La miscela di misto cementato sarà prodotta interamente con aggregati da C&D e leganti idraulici. I dosaggi dei vari componenti saranno opportunamente definiti per consentire la produzione in impianto mobile, mantenendo inalterati gli standard prestazionali tradizionalmente associati ad una miscela di misto cementato realizzata interamente con aggregati vergini.

Il programma sperimentale prevede l'esecuzione dei seguenti test:

- Caratterizzazione degli aggregati riciclati tramite Analisi merceologica (UNI EN 933-11), granulometria (UNI EN 933-1) e Determinazione della resistenza alla frammentazione (UNI EN 1097-2);
- Determinazione del contenuto di acqua ottimale con metodo Proctor (UNI EN 13286-2) e compattazione di 12 provini per miscela;
- Caratterizzazione meccanica statica mediante test di resistenza a compressione (UNI EN 13286-41) e trazione indiretta (UNI EN 13286-42) post maturazione per 7 giorni in ambiente ad umidità costante;
- Analisi della sensibilità all'acqua tramite test di caratterizzazione meccanica statica mediante test di resistenza a compressione (UNI EN 13286-41) e trazione indiretta (UNI EN 13286-42) dopo cicli di gelo-disgelo.

I risultati dei test di caratterizzazione fisica e meccanica saranno confrontati con i requisiti tradizionalmente associati a miscele di misto cementato realizzate con aggregati vergini dai più diffusi Capitolati Speciali d'Appalto.

D. Miscele ternarie di terra con leganti idraulici

A completamento del programma sperimentale è prevista la caratterizzazione di miscele di terre e/o aggregati legate con leganti idraulici. In questo caso l'obiettivo è l'individuazione del giusto dosaggio di leganti idraulici (calce, cemento o miscela binaria calce-cemento) in grado di conferire adeguate caratteristiche fisiche e meccaniche alla miscela di terre e/o aggregati.

La caratterizzazione delle terre e delle miscele sarà basata su:

- Caratterizzazione fisica della miscela di terre tramite determinazione dei Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12) e Classifica delle terre (UNI EN ISO 14688);
- Determinazione del contenuto di acqua ottimale con metodo Proctor (UNI EN 13286-2) e compattazione di provini per test meccanici;
- Determinazione dell'indice di portanza CBR per e post saturazione in acqua (UNI EN 13286-47);
- Caratterizzazione meccanica statica mediante test di resistenza a compressione (UNI EN 13286-41).

Il numero di provini da confezionare e testare sarà definito sulla base dei requisiti delle varie normative prese come riferimento. In questa fase di analisi i risultati dei test saranno confrontati con



DICAM

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

i requisiti definiti dai più diffusi Capitolati Speciali d'Appalto per miscele di terre legate a calce e/o cemento.

ATTIVITÀ 3 (2 MESI): Reporting

Si prevede un'attività di reporting a firma dell'assegnista incaricato e del responsabile scientifico. Tale attività è volta a mostrare i dati significativi relativi ai diversi campioni analizzati ed ai test eseguiti che saranno elaborati attraverso parametri e grafici dettagliati al fine di evidenziare il diverso comportamento dei materiali.