

Le azioni di progetto sono state raggruppate con riferimento alle seguenti macro-attività:

- **Action 1:** Gestione del progetto
- **Action 2:** Azioni di valutazione
- **Action 3:** Indagini sperimentali e sviluppo tecnologico
- **Action 4:** Implementazione
- **Action 5:** Life Cycle Risk Assessment
- **Action 6:** Comunicazione e disseminazione
- **Action 7:** Piano di comunicazione successivo alla conclusione del progetto
- **Action 8:** Monitoraggio generale del progetto

Di seguito vengono sinteticamente riportate, per quel che concerne le azioni aventi contenuto propriamente tecnico (dalla 2 alla 5), le attività svolte e i principali risultati raggiunti.

Le azioni “di valutazione” ricomprese nella “**Action 2**” hanno avuto la finalità di definire il contesto operativo del progetto, validando la sua rilevanza e valutando preventivamente le possibilità di future implementazioni.

Mediante l’**Azione 2.1** è stata effettuata una ricognizione dei sistemi di gestione dei veicoli fuori uso (ELV – End of Life Vehicles) e degli pneumatici fuori uso (ELT – End of Life Tyres) adottati in Italia e in altri Paesi (europei e non) alla luce delle vigenti Leggi e Direttive. Sono stati inoltre analizzate e messe a confronto le tecnologie di riciclaggio e di recupero energetico dei PFU, le cui caratteristiche sono emerse, oltre che dall’analisi della letteratura disponibile, da numerose visite tecniche compiute presso stabilimenti ubicati nel territorio nazionale. Si è potuto così confermare, anche sulla base dei dati quantitativi presi in esame, che il riciclaggio dei PFU può efficacemente concorrere al raggiungimento degli obiettivi posti dalla EU per la valorizzazione degli ELV e che in tale ambito risulta particolarmente vantaggioso, da un punto di vista tecnico ed ambientale, il loro impiego all’interno dei conglomerati bituminosi per pavimentazioni stradali.

L’analisi quantitativa degli effetti ambientali diretti e indiretti associati alle varie tecniche di trattamento e impiego dei PFU è stata sviluppata nell’ambito dell’**Azione 2.2** mediante l’applicazione di una metodologia di Life Cycle Assessment (LCA). In particolare, facendo riferimento a dati di letteratura, sono stati messi a confronto i casi di dismissione in discarica (assunto come riferimento ancorché non più consentito dalle Leggi vigenti), utilizzo come combustibile in cementifici e comminazione meccanica per la produzione di granulati e polverini. L’analisi è stata focalizzata su due principali parametri: il GWP (Global Warming Potential) e il PED (Primary Energy Demand). Si è potuto così evidenziare come la soluzione di trattamento meccanico sia particolarmente vantaggiosa da un punto di vista ambientale, come testimoniato dai più bassi valori di GWP, e che sia particolarmente indicata per la gestione dei PFU in ragione degli elevati volumi potenzialmente disponibili.

Ulteriori valutazioni basate sui risultati di LCA sono state effettuate mediante l’**Azione 2.3** prendendo in esame le tecnologie di produzione e stesa di conglomerati bituminosi contenenti polverino da PFU nell’ambito dei lavori di costruzione e manutenzione delle pavimentazioni stradali. In particolare, facendo riferimento a specifiche tecniche derivate da precedenti indagini del Politecnico di Torino, si sono prese in considerazione due tipologie di lavorazione basate sulla tecnologia “wet” (rispettivamente riconducibili a miscele “gap-graded” e “open-graded”) e una derivante dal riutilizzo del polverino con tecnica “dry”. Esse sono state confrontate con le tecniche di produzione e posa in opera normalmente adottate nella pratica corrente, valutando sia i già citati GWP e PED, sia altri parametri rilevanti da un punto di vista ambientale. I risultati di tali analisi hanno dimostrato che la tecnica “dry” è associata a un impatto simile a quello delle lavorazioni standard, mentre quelle derivanti dall’impiego di leganti prodotti con tecnica “wet” risultano, soprattutto nel caso di miscele “gap-graded”, particolarmente

vantaggiose da un punto di vista energetico e ambientale. Si è infine notato che ulteriori benefici sono ipotizzabili nel caso in cui l'analisi venga estesa alle fasi di manutenzione delle pavimentazioni.

Ai fini di valutare l'effettiva possibilità di procedere nell'ambito del progetto TYREC4LIFE alla implementazione delle attività di studio con la posa in opera di conglomerati contenenti polverino da PFU, nell'**Azione 2.4** sono stati censiti gli aggregati lapidei, di primo impiego e di riciclaggio, potenzialmente utilizzabili. A tal fine sono stati analizzati i dati forniti dalle cave del nord Italia, con una particolare attenzione per quelle ubicate nella Regione Piemonte. Alcuni degli aggregati individuati in questa prima fase sono stati quindi sottoposti a indagini di laboratorio per la loro caratterizzazione fisico-chimica e per la valutazione delle principali grandezze volumetriche e meccaniche di miscele bituminose di tipo "gap-graded" con essi preparate. Confrontando i risultati ottenuti con le prescrizioni contenute nelle più aggiornate Norme Tecniche del settore stradale, si è potuto concludere che con gli aggregati attualmente disponibili è possibile pervenire alla formulazione di miscele bituminose aventi caratteristiche adeguate all'impiego stradale. Risultati del tutto accettabili sono stati ottenuti anche nel caso degli aggregati riciclati derivati dal nuovo termovalorizzatore della Città di Torino.

Con uno spirito analogo a quello dell'azione precedente, nell'**Azione 2.5** si è provveduto alla verifica della disponibilità, sul territorio nazionale, di polverino da PFU per impieghi stradali. A tale scopo sono stati prelevati campioni da sette diversi impianti di trattamento e sono state quindi eseguite le analisi di laboratorio necessarie per la determinazione delle loro caratteristiche fisico-chimiche. Si è potuto così osservare che esiste una relazione diretta tra il tipo di processo di trattamento dei PFU e la distribuzione dimensionale del polverino. In particolare, per ottenere prodotti più fini, caratterizzati da un'elevata superficie specifica che possa favorire le interazioni tra polverino e bitume, può essere conveniente prevedere diverse operazioni di comminazione prima della macinazione (ad esempio triturazioni multiple e granulazione intermedia). I contenuti di IPA e BTEX, di particolare interesse al fine delle potenziali emissioni nocive in atmosfera, sono una funzione del tipo di pneumatici trattati. Nel caso in cui vengano accettati esclusivamente pneumatici per autocarro, i valori di tali parametri si riducono significativamente. Si è infine rilevato che il trattamento criogenico può essere una valida opzione per l'ottenimento di polverini fini. Tuttavia, poiché le particelle che risultano da tale processo sono estremamente lisce, possono verificarsi problemi di compatibilità con il bitume per effetto della ridotta superficie specifica. Inoltre, tali prodotti presentano più elevati valori dei contenuti di IPA e BTEX, con la conseguente creazione di potenziali problemi di compatibilità ambientale.

L'insieme delle azioni "di valutazione" del progetto è stata completata mediante l'**Azione 2.6**, finalizzata al censimento delle realtà produttive e imprenditoriali della provincia di Torino che potranno essere coinvolte nel caso in cui, anche a seguito dei risultati ottenuti con il progetto TYREC4LIFE, si diffonda su base locale l'impiego delle tecnologie di reimpiego dei PFU nelle pavimentazioni stradali. Le indagini, che hanno preso in considerazione le aziende operanti nel settore delle costruzioni stradali e in quello della raccolta e trattamento di rifiuti di varia natura, sono state tradotte nella realizzazione di un database su supporto GIS (Geographic Information System) cui si potrà attingere nel futuro anche al fine di promuovere le attività di disseminazione e di follow-up.

Le azioni "di indagine sperimentale e sviluppo tecnologico" sono state effettuate all'interno della "**Action 3**" con il principale obiettivo di sviluppare le basi tecnologiche e scientifiche su cui fondare le successive attività di implementazione.

L'**Azione 3.1** è stata incentrata sullo studio di leganti bituminosi di tipo "asphalt rubber" preparati in laboratorio mediante l'impiego di polverini da PFU derivanti da differenti processi produttivi (a temperatura ambiente, criogenico e waterjet). Tali leganti sono stati sottoposti a prove per la valutazione della viscosità, che ha una significativa influenza sulla produzione delle miscele bituminose e sulla loro compattazione, e delle principali grandezze reologiche (modulo complesso e angolo di fase), che controllano le prestazioni in esercizio delle miscele. I risultati ottenuti sono stati messi a confronto con i limiti di accettazione delle più aggiornate Norme Tecniche e sono stati quindi utilizzati per

L'identificazione delle possibili relazioni esistenti tra le caratteristiche fisiche e morfologiche dei polverini e le proprietà reologiche dei corrispondenti leganti. Una parte della sperimentazione è stata infine dedicata allo studio delle caratteristiche di leganti asphalt rubber additivati con particolari prodotti paraffinici per la riduzione della viscosità. Le conoscenze complessivamente acquisite nel corso dell'azione sono risultate coerenti con quanto riportato nella letteratura tecnico-scientifica del settore e sono state pertanto considerate, nell'ambito del progetto TYREC4LIFE, per la preliminare valutazione dei leganti impiegati nelle successive indagini di laboratorio e di campo.

In preparazione della realizzazione dei tronchi pilota previsti nella fase di implementazione del progetto, l'**Azione 3.2** è stata sviluppata allo scopo di valutare preventivamente in laboratorio le caratteristiche di diverse tipologie di miscele bituminose contenenti legante asphalt rubber. Gli aggregati lapidei e i leganti, selezionati sulla base dei risultati ottenuti nel corso delle Azioni 2.4 e 3.1 e sottoposti ad adeguata caratterizzazione preliminare, sono stati combinati in modo da realizzare 4 miscele gap-graded (standard, a basso contenuto di legante e a grana grossa) e 2 miscele dense-graded (a grana grossa e fine). Le indagini effettuate hanno preso in considerazione addensabilità (con presse Marshall e giratoria e con rullo compattatore), volumetria (massima densità teorica, percentuale dei vuoti, vuoti nella miscela di aggregati e vuoti riempiti di bitume), caratteristiche meccaniche empiriche (stabilità Marshall e trazione indiretta prima e dopo immersione in acqua), caratteristiche prestazionali (wheel-tracking e semi-circular bending) e potenziale emissivo (test di cessione e analisi delle emissioni gassose). I risultati ottenuti si sono dimostrati compatibili con i requisiti posti dalle più aggiornate Norme Tecniche e sono stati organizzati in una banca dati cui attingere per la successiva formulazione e accettazione delle miscele da mettere in opera nei tronchi pilota.

L'**Azione 3.3** ha avuto come oggetto lo sviluppo di un prototipo di miscelatore in vera grandezza per la produzione di miscele bituminose con tecnologia "dry". Ciò è stato ritenuto necessario per il successo del progetto TYREC4LIFE in quanto le sperimentazioni documentate in letteratura indicano il frequente verificarsi, per miscele di questo tipo, di fenomeni di sgranamento in esercizio derivanti dalla disomogeneità degli impasti. Nel corso dell'**Azione 3.3.1** il sistema di miscelazione è stato progettato tenendo conto delle più avanzate soluzioni tecnologiche disponibili e dei risultati conseguiti in uno studio di laboratorio nel corso del quale per varie miscele (per strati di usura e di base) si è valutato l'effetto dell'inserimento di polverini di diversa pezzatura (ultrafine e granulato) mediante differenti procedure (a caldo e a freddo). La sperimentazione ha preso in considerazione le caratteristiche di lavorabilità, volumetriche e meccaniche delle miscele, conducendo alla individuazione dei criteri per la loro formulazione e alla definizione del lay-out finale del prototipo. La realizzazione fisica del prototipo è avvenuta nell'ambito dell'**Azione 3.3.2**, completata dalle necessarie calibrazioni e verifiche di affidabilità dello stesso.

Mediante l'impiego del prototipo sopra descritto, verranno effettuate stese di prova in vera grandezza per valutare il possibile impiego di additivi per la riduzione delle temperature di stesa (**Azione 3.4**) e per acquisire informazioni circa le caratteristiche funzionali e strutturali delle miscele prodotte con tecnologia "dry", anche in relazione all'ottimizzazione delle modalità di compattazione (**Azione 3.5**). Si prevede che tali attività verranno sviluppate nel corso del 2015.

Anche l'**Azione 3.6** verrà realizzata nel corso del 2015, mediante la realizzazione di stese di prova in vera grandezza di miscele bituminose prodotte con asphalt rubber (tecnologia "wet"). Allo scopo di ampliare i contenuti del progetto TYREC4LIFE, nel corso di tali stese verranno prese in considerazione tipologie di miscele differenti rispetto a quelle poste in opera nei tronchi pilota.

Le azioni "di implementazione", inquadrate all'interno dell'**Azione 4**, sono state previste per conferire al progetto TYREC4LIFE, così come richiesto dal programma LIFE+, un carattere dimostrativo.

L'**Azione 4.1** ha avuto come oggetto la progettazione e realizzazione di interventi di costruzione e manutenzione di pavimentazioni su infrastrutture della rete della Città Metropolitana di Torino

mediante l'impiego di conglomerati bituminosi contenenti leganti asphalt rubber. Le Norme Tecniche di Capitolato sono state definite tenendo conto, oltre che di analoghi documenti disponibili in letteratura, dei risultati conseguiti nelle precedenti azioni. Utilizzando i materiali nella disponibilità dell'Impresa appaltatrice dei lavori, sono state progettate due miscele bituminose: una di tipo gap-graded e una di tipo dense-graded. Le miscele, sottoposte a una preventiva verifica delle caratteristiche di composizione e di addensamento a seguito di realizzazione di idonei campi prove, sono state quindi destinate alla realizzazione di strati di usura dello spessore di 3 cm posti in opera, rispettivamente, sulla SP 503 di Baio Dora (settembre 2014, circa 8.900 m² di stesa) e sulla SP 53 di San Giorgio (ottobre 2014, circa 9.400 m² di stesa). Nel primo caso si è trattato di un intervento di completamento di nuova infrastruttura, mentre nel secondo caso la lavorazione ha avuto il carattere di manutenzione ordinaria. Nel corso dei lavori sono state effettuate prove sperimentali per la verifica di composizione e volumetria delle miscele, nonché per la valutazione delle loro proprietà meccaniche e caratteristiche emissive. Gli esiti di tali analisi sono stati in linea con le prescrizioni e previsioni progettuali, conducendo ad una piena approvazione dei lavori.

Anche le attività previste nell'ambito dell'**Azione 4.2** fanno riferimento alla realizzazione di interventi di manutenzione di pavimentazioni con miscele bituminose contenenti polverino da PFU. Essi sono stati progettati come soluzioni innovative da adottare nell'ambito della manutenzione straordinaria di una strada extra-urbana del Comune di Settimo Torinese (via Brescia). A seguito di una valutazione preventiva dell'effettivo stato di ammaloramento della pavimentazione esistente, sono stati definiti tre tratti di intervento, consistenti nella messa in opera di uno strato di usura gap-graded (analogo a quello della SP 503), di uno strato di usura dense-graded con sottostante strato di assorbimento delle sollecitazioni in asphalt rubber (SAMI, Stress Absorbing Membrane Interlayer) e di uno strato di usura "di riferimento" di tipo standard. Si prevede che gli interventi verranno eseguiti nel corso del 2015.

Nell'ambito del progetto si è previsto che le stese dimostrative realizzate sui tronchi pilota della Città Metropolitana di Torino e del Comune di Settimo Torinese vengano sottoposte a un adeguato monitoraggio, descritto nelle Azioni 4.3 e 4.4, che dovrà prendere in esame le caratteristiche di aderenza e regolarità (**Azione 4.3**), nonché quelle strutturali e di rumorosità (**Azione 4.4**). Le attività sono iniziate dopo il completamento degli interventi effettuati sulle SP 503 e 53 e proseguiranno fino al termine del progetto.

L'**Azione 5** esulta da quelle di pura implementazione e vuole essere un'azione di valutazione globale riguardante la sostenibilità delle tecnologie analizzate nel progetto TYREC4LIFE. Essa ha come oggetto la valutazione dei potenziali impatti sull'ambiente e sulla salute dei lavoratori determinati dall'impiego di tecniche di costruzione e manutenzione delle pavimentazioni nelle quali si utilizzano polverino da PFU. A tale scopo si sono quindi utilizzati strumenti di analisi che sono andati a costituire un innovativo sistema di Life Cycle Risk Assessment (LCRA).

Nel corso delle valutazioni preliminari, l'analisi del ciclo di vita (Life Cycle Analysis, LCA) è stata effettuata mettendo a confronto le prestazioni ambientali di miscele bituminose contenenti polverino da PFU (prodotte con tecnologie "wet" e "dry") con quelle di miscele di tipo tradizionale. I risultati ottenuti, derivanti da un caso studio di strada extra-urbana ed espressi in termini di GER (Gross Energy Requirement) e GWP (Global Warming Potential), hanno mostrato come l'uso di miscele prodotte con tecnologia wet possa apportare significativi benefici in termini di risparmio energetico, impatto ambientale e riduzione dell'utilizzo delle risorse. Tali vantaggi sono garantiti solo se le miscele bituminose sono progettate e messe in opera a regola d'arte, con la corrispondente possibilità di ridurre lo spessore dello strato di usura e la frequenza di manutenzione. Nel caso della tecnologia dry, si è invece rilevato che gli eco-profilo della corrispondente pavimentazione risultano approssimativamente equivalenti a quelli di una pavimentazione stradale di tipo tradizionale. Ulteriori analisi con strumenti LCA verranno effettuate nel corso del 2015 con specifico riferimento alle stese in vera grandezza realizzate sulle infrastrutture della Città Metropolitana di Torino e del Comune di Settimo Torinese.

Per quel che riguarda le analisi di rischio (Risk Analysis, RA), un primo confronto tra le varie tecnologie prese in esame è stato già fatto nel corso di precedenti studi che hanno focalizzato l'attenzione sul parametro di tossicità HQ (Hazard Quotient) e su quello di cancerogenicità IELCR (Individual Excess Life Cancer Risk). Nel corso del 2015 esse verranno sviluppate con specifico riferimento alle stese del progetto TYREC4LIFE.