

LIFE 15 ENV/IT/000268

**Beneficiario coordinatore:**

Università degli Studi di Pisa - Dipartimento  
di Ingegneria Civile e Industriale (DICI) -  
Sezione di "Vie e Trasporti"  
Largo Lucio Lazzarino, 1 - 56122 Pisa

**Beneficiari associati:**

- ARPAT - Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana
- BRRC - Belgian Road Research Centre
- CNR-IDASC- Istituto di Acustica e Sensoristica "Orso Mario Corbino"
- ECOPNEUS Scpa
- Regione Toscana

**Sito web di progetto**

[www.nereideproject.eu](http://www.nereideproject.eu)

**Referente:**

**Pietro Leandri (Coordinatore)**

**E-mail:** [pietro.leandri@ing.unipi.it](mailto:pietro.leandri@ing.unipi.it)

**Telefono:** 050 2218298

**Durata:**

01/09/2016 - 31/03/2020

**Budget complessivo:**

€ 2.764.673

**Contributo EU:**

€ 1.118.799

**Area del progetto:**

- Italia-Toscana (tratti di strade urbane delle province di Lucca e Arezzo)
- Belgio

## **LIFE NEREIDE: "RIDURRE EFFICACEMENTE IL RUMORE CON PAVIMENTAZIONI REALIZZATE CON MATERIALI RICICLATI"**

### **Premessa: inquadramento del problema ambientale**

Nel Libro Verde sulle "Politiche future in materia di inquinamento acustico" (COM(96)0540 - C4-0587/96) la Commissione europea definisce il **rumore** come **uno dei maggiori problemi ambientali in Europa**. Oggi, dunque, è riconosciuto il fatto che determinati livelli di rumore possono nuocere alla salute umana e tale riconoscimento è avvenuto anche a livello normativo: in Italia con la Legge n. 447 del 26 ottobre 1995 (Legge quadro sull'inquinamento acustico) e, nell'Unione europea, con l'emanazione della Direttiva 2002/49/CE del 25 giugno 2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale. Queste norme sono state una prima autorevole risposta all'impellente domanda di risanamento acustico dell'ambiente per cercare di affrontare il problema dell'inquinamento acustico attraverso provvedimenti orientati non solo alla proibizione e alla repressione, ma anche alla prevenzione, al controllo e al risanamento.

Tra le diverse sorgenti che contribuiscono all'esposizione a livelli eccessivi di rumore, il **rumore dovuto ai trasporti, in particolare quello prodotto dal traffico veicolare**, risulta essere predominante: **contribuisce da solo a circa il 40% dell'inquinamento acustico**.

Gli interventi nell'ambito della tecnologia delle sovrastrutture stradali indirizzati al contenimento del rumore sono concentrati sulle caratteristiche superficiali della pavimentazione, che influenzano il meccanismo di generazione del rumore, e sulle sue caratteristiche di assorbimento acustico, che influenzano la propagazione sonora, il tutto in un processo di ottimizzazione che prenda in considerazione anche le esigenze prestazionali (caratteristiche meccaniche) e



**Figura 1 – Manto di usura a bassa emissione sonora con polverino di gomma (foto: ECOPNEUS)**

funzionali (livelli di aderenza) della pavimentazione stessa.

In aggiunta a quanto rappresentato in merito all'inquinamento acustico, le più recenti ricerche riferite alla produzione di conglomerati bituminosi in Europa mostrano dati meritevoli di analisi e riflessione. Nella **costruzione di infrastrutture viarie**, il **consumo di risorse naturali non rinnovabili** comprende, oltre agli inerti e al bitume, anche ingenti quantità di risorse energetiche quali carburanti, combustibili ed energia elettrica occorrenti per la produzione in impianto, per il trasporto e per la stesa. A tal fine, nell'ottica di una riduzione dell'impatto ambientale e delle emissioni in atmosfera, si è cominciato a ritenere **indispensabile il contenimento delle temperature di produzione delle pavimentazioni stradali** e il **riutilizzo di materiali di risulta** in sostituzione di materiali vergini.

### **Obiettivi**

Il progetto LIFE NEREiDE nasce con l'**obiettivo primario** di dare un **contributo** alla **risoluzione delle problematiche ambientali connesse** ai fenomeni di disturbo indotti dal **rumore veicolare**, particolarmente sentite in ambito urbano, e che sono **strettamente dipendenti** dalle **caratteristiche superficiali della pavimentazione stradale**. In **secondo luogo**, LIFE NEREiDE mira a sviluppare **interventi volti al contenimento dell'utilizzo delle risorse non rinnovabili** attraverso l'impiego di materiali riciclati, nonché alla **riduzione delle emissioni di gas serra** nell'atmosfera **mediante la limitazione delle temperature di confezionamento e messa in opera di miscele bituminose sperimentali**.

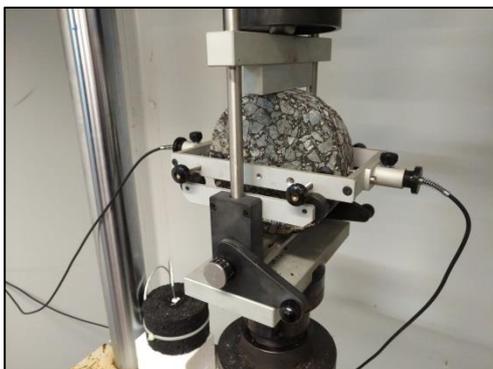
A tal fine, il progetto si propone di **definire delle linee guida per la progettazione, la costruzione e il monitoraggio delle prestazioni di strati di usura a bassa emissione sonora ed a elevata sostenibilità ambientale, realizzati utilizzando 12 miscele di conglomerato bituminoso, prodotte a temperature più basse rispetto a quelle dei tradizionali conglomerati a caldo** – mediante l'impiego di tecnologie cosiddette "a tiepido" o "warm" – e **composte**, oltre che da aggregati e bitumi di primo impiego, **anche da fresato proveniente dalla demolizione di pavimentazioni esistenti e da polverino di gomma proveniente da Pneumatici Fuori Uso (PFU)**<sup>1</sup>.

Gli **eco-obiettivi chiave** che LIFE NEREiDE mira a raggiungere sono quindi:

- la **mitigazione dell'inquinamento acustico**;
- la **riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>** nell'atmosfera, resa possibile grazie all'abbassamento delle temperature di lavorazione delle miscele bituminose;
- il **contenimento dei rifiuti** grazie al reimpiego di materiali di risulta, altrimenti destinati a discarica.

### **Azioni**

Tra le azioni previste da LIFE NEREiDE, aventi come scopo ultimo la redazione delle linee guida, il **mix design delle miscele bituminose sperimentali** rappresenta senza dubbio la **task più importante** del progetto, in quanto un'approfondita conoscenza dei materiali costituenti, della composizione volumetrica e delle caratteristiche meccaniche della miscela addensata è fondamentale per prevederne il comportamento in opera. Quindi, è stata **dapprima** condotta una **revisione dello stato dell'arte sulle tecnologie esistenti**, finalizzata alla definizione delle massime quantità di materiali riciclati (polverino di gomma e fresato) che possono essere utilizzate nelle miscele e all'individuazione di additivi o tecnologie specifiche da impiegare per la riduzione delle temperature di stesa e messa in opera. **In seguito**, allo scopo di identificare e quantificare i consumi di materia e di energia, nonché le emissioni (misurate in termini di vapori inquinanti di idrocarburi policiclici aromatici - IPA) nell'ambiente associate al ciclo di vita delle nuove pavimentazioni stradali proposte, è stata condotta un'**analisi LCA**



**Figura 3 – Caratterizzazione delle miscele mediante prove sperimentali eseguite in laboratorio**  
(foto: Staff LIFE NEREiDE - DIC)



**Figura 2 – Rilievo della temperatura di stesa delle miscele "warm". Sito I - Massarosa (LU)**  
(foto: Staff LIFE NEREiDE - DIC)

<sup>1</sup> In Europa e in Italia si smettono, rispettivamente, circa 2.600.000 e 400.000 ton/anno di pneumatici. La fibra tessile ne costituisce circa il 10% in peso; ovvero, solo in Italia, 40.000 ton/anno (pari allo 0,029% del totale dei rifiuti speciali prodotti) con un volume di 335.000 m<sup>3</sup>/anno.

(Life Cycle Assessment) comparativa su tutte le possibili combinazioni di miscele per gli strati di usura progettati.

Successivamente il progetto prevede la costruzione di 12 tratti sperimentali, uno per ogni miscela di conglomerato bituminoso, perlopiù contigui e ciascuno avente una lunghezza di circa 400 m, localizzati su 2 siti distinti individuati sulle strade urbane della Regione Toscana, scelti opportunamente tra quelli su cui sono programmati interventi nell'ambito dei piani regionali di risanamento acustico. Le stese dei nuovi manti di usura sono previste in 2 periodi diversi, distanziati tra loro di circa un anno, rispettivamente nell'autunno del 2017 e nell'autunno del 2018.

In aggiunta alla costruzione dei 12 tratti sperimentali in conglomerato bituminoso sarà avviata, prima in Belgio e poi in Italia, anche la sperimentazione di una pavimentazione poro-elastica, PERS (PoroElastic Road Surface), con la quale reimpiegare percentuali maggiori di gomma da PFU.

Parallelamente alla sperimentazione di laboratorio, sui siti sperimentali individuati è prevista l'esecuzione di campagne di monitoraggio ante-operam e post-operam degli indicatori acustici, strutturali e funzionali dei manti di usura esistenti prima e dopo l'intervento. In particolare sono attesi:

- il rilievo degli indicatori strutturali di portanza, condotto con apparecchiatura FWD (Falling Weight Deflectometer), e il rilievo degli indicatori funzionali, eseguito mediante la valutazione delle caratteristiche superficiali in termini di macrotessitura e aderenza. La tessitura viene acquisita con un profilometro laser mobile e dai profili ricavati è possibile valutare la macrotessitura in termini di ETD (Estimated Texture Depth) e spettri di tessitura. Le misure di aderenza, condotte con Skiddometer BV11, consentono la determinazione degli indicatori in termini di BPN (British Pendulum Number), CAT (Coefficiente di Aderenza Trasversale) e F60 – parametro, quest'ultimo, del modello IFI (International Friction Index).
- il rilievo dei parametri acustici e psicoacustici. Saranno valutati, in particolare, il "rumore da rotolamento" con il metodo CPX (Close Proximity Index), e l'assorbimento acustico della pavimentazione sia con il metodo Adrienne, sia con una metodica innovativa a bordo di un veicolo. Sarà utilizzata, inoltre, una versione urbana del metodo Statistical Pass-By (SPB) in grado di stimare la rumorosità dei veicoli a bordo strada, e verranno monitorati i livelli di rumore ambientale in base alla normativa in materia. Infine, i livelli degli indicatori psicoacustici saranno ricavati da registrazioni binaurali, così da poterli correlare con i risultati di sondaggi sulla popolazione e ottenere, quindi, avere un quadro del disturbo percepito.



Figura 4 – Operazioni di stesa delle miscele con tecnologia "warm" in assenza di fumi. Sito I - Massarosa (LU) (foto: Staff LIFE NEREiDE - DICI)



Figura 5 – Rilievo ante-operam delle caratteristiche strutturali delle pavimentazioni esistenti con apparecchiatura Falling Weight Deflectometer (FWD) e georadar. Sito I - Massarosa (LU) (foto: Staff LIFE NEREiDE - DICI)



Figura 6 – Misura del rumore da rotolamento mediante metodo CPX (foto: Staff LIFE NEREiDE - ARPAT)



Figura 7 – Misura del coefficiente di assorbimento acustico in sito mediante metodo Adrienne (foto: Staff LIFE NEREiDE - ARPAT)

Lo scopo dei monitoraggi ante e post-operam è quello di poter quantificare, seguendo un approccio di tipo before-after, i benefici ottenuti con la realizzazione dei tratti di strada urbana sperimentali.

Elemento innovativo del progetto LIFE NEREiDE è lo sviluppo di nuovi protocolli di misura dei parametri acustici, in aggiunta a quelli standard previsti dalla normativa, che consentano una migliore stima dell'influenza del tipo di pavimentazione stradale nei confronti dell'emissione sonora.

## Risultati raggiunti

Attualmente, a 1 anno e mezzo circa dall'inizio del progetto, i risultati raggiunti da LIFE NEREIDE sono i seguenti:

- **2.400 metri di manti di usura sperimentali** contenenti polverino di gomma e prodotti a tiepido con la tecnologia "warm" sono stati **realizzati sul primo sito d'intervento del progetto**, localizzato sulla "SRT 439 Sarzanese-Valdera", nel comune di Massarosa (LU);
- **6 diverse miscele di conglomerato bituminoso** a bassa emissione sonora o fonoassorbenti sono state **testate in laboratorio e in sito** ("SRT 439 Sarzanese-Valdera"), manifestando **adeguate caratteristiche strutturali e buoni livelli di aderenza**, nel rispetto dei risultati attesi. Nel dettaglio, si tratta di:

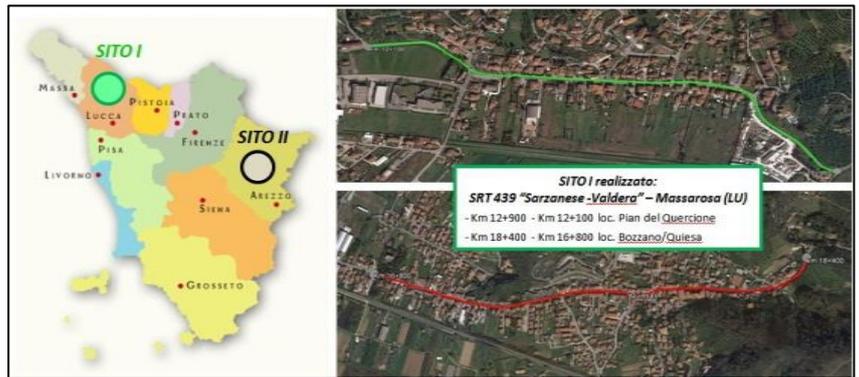


Figura 8 – Localizzazione dei siti sperimentali. In dettaglio vista aerea del sito I a Massarosa (LU) (immagine: Staff LIFE NEREIDE - DIC)

- 2 miscele di controllo "tradizionali" a caldo – 1 miscela drenate 0-12 e 1 miscela SMA (*Spittmastix Asphalt*) 0-12;
- 4 miscele innovative "a tiepido", contenenti polverino di gomma a granulometria discontinua, di cui 2 con assortimento granulometrico tipo "open graded" (fonoassorbenti) e 2 tipo "gap graded" (basso emissive); per ciascun assortimento granulometrico, sono state utilizzate le due metodologie di introduzione del polverino all'interno del conglomerato bituminoso (processo "dry" e "wet");
- l'analisi LCA comparativa ha mostrato che l'effetto combinato della produzione delle miscele bituminose con tecnologia "warm" e dell'utilizzo di materiali riciclati consente una considerevole riduzione degli oneri ambientali associati ai processi di costruzione e manutenzione degli strati di usura, rappresentando una valida alternativa alle tecnologie tradizionali che risulta in grado di soddisfare pienamente i risultati "eco-ambientali" attesi;
- sono stati definiti protocolli per l'analisi di ulteriori indicatori in aggiunta a quelli suggeriti dalla normativa europea per il rumore ( $L_{den}$  e  $L_{night}$ , volti a determinare il disturbo complessivo del rumore, ovvero nell'intero arco della giornata, e il disturbo sul riposo notturno): si tratta di indicatori elaborati a partire dai dati delle centraline di monitoraggio del rumore ambientale e da quelli derivanti dai monitoraggi psicoacustici, che consentono non solo di analizzare la semplice energia sonora, ma anche di valutare la piacevolezza del suono stesso;
- è stato definito il protocollo di misura e analisi per il metodo CPX, già utilizzato per la valutazione del rumore generato in prossimità del veicolo, che risulta indipendentemente dal contesto circostante;
- è stato sviluppato, testato e validato un metodo innovativo per verificare l'efficacia delle pavimentazioni stradali in relazione a specifiche categorie di veicoli e della relativa velocità in un determinato contesto urbano. A partire dal metodo SPB standard, è stato sviluppato un analogo SPB urbano per l'acquisizione di dati "non presidiata", in grado di fornire un modello dell'energia prodotta dai veicoli sulla specifica pavimentazione e percepita a bordo strada;
- sono state effettuate le campagne di misura ante-operam sulle prime 6 tratte sperimentali.

## Attività future

Alla realizzazione delle prime 6 stese delle miscele bituminose sperimentali, nel primo sito, faranno seguito le campagne di monitoraggio post-operam durante le quali, in aggiunta alle misure tradizionali, saranno sperimentati i nuovi protocolli acustici di misura.

Nel contempo, saranno eseguiti i monitoraggi ante-operam sui tratti di strada urbana del secondo sito, dove sono previste, nel prossimo autunno, le stese delle 6 restanti miscele di conglomerato bituminoso contenenti fresato e polverino di gomma, oltre alla sperimentazione di una pavimentazione di tipo PERS.

## Disseminazione e Networking

Per diffondere la conoscenza degli obiettivi, delle azioni e dei risultati di LIFE NEREIDE è stato realizzato un sito web in italiano, inglese, francese e olandese. Sono in corso di finalizzazione, inoltre, i profili social del progetto, per massimizzare la copertura di un pubblico più generalista tramite Facebook, e stimolare le attività di networking

tecnico grazie a *LinkedIn*.

Grande attenzione è stata posta nelle **attività di disseminazione indirizzate ai media**, sia generalisti che tecnico-specializzati. Diversi **articoli tecnici** sono stati **pubblicati** su una delle principali **testate specializzate** dedicata alle **infrastrutture viarie**, mentre sono **oltre 120 gli articoli pubblicati** su testate cartacee e *online*.



**Figura 9 – Sito web del progetto LIFE NEREiDE  
(immagine: Staff LIFE NEREiDE - DICI)**

attraverso **attività di networking** e partecipazioni condivise a incontri sul tema dell'utilizzo della tela da riciclo di PFU.

Sono stati realizzati poi diversi **strumenti di comunicazione** come **leaflet**, **pieghevoli** e **poster** che illustrano sinteticamente le attività di LIFE NEREiDE. Sono in fase di realizzazione anche dei **poster on-site** per informare e sensibilizzare la popolazione coinvolta sui benefici attesi dal progetto.

Il progetto LIFE NEREiDE è stato al centro anche di diversi **incontri tecnici**: dal convegno nell'ambito della fiera *Asphaltica* (Verona, febbraio 2017) alla 24-esima edizione dell'ICSV (*International Congress on Sound and Vibration*), svoltasi a Londra nel giugno 2017; dal 44-esimo convegno nazionale AIA (Associazione Italiana di Acustica) – tenutosi presso la sede storica dell'Università degli Studi di Pavia dal 7 al 9 giugno 2017 – al TRB (*Transportation Research Board*) di Washington del gennaio 2018<sup>2</sup>. **Documenti e paper** realizzati dai **partner** di progetto in occasione di tali eventi sono disponibili in **download** sul sito *web*.

LIFE NEREiDE dialoga, infine, **con il progetto REFIBRE-LIFE** - “Riciclo di fibra tessile proveniente dalla lavorazione dei pneumatici fuori uso per produzione di asfalti rinforzati e compoud plastici” (LIFE14 ENV/IT/000160), con il quale condivide alcuni obiettivi comuni,

<sup>2</sup> Nel maggio 2018 a Creta, LIFE NEREiDE ha partecipato anche a una specifica sessione strutturata dell'11-esima edizione di EURONOISE (*European Congress and Exposition on Noise Control Engineering*).