

Alla Prof.ssa Celauro, Rosi e Francesco che mi hanno permesso di fare qualcosa che mi appassiona.

All'Università di Maribor che mi ha concesso di mettermi in gioco rendendomi consapevole di ciò sono.

Ai miei genitori e a Sabrina che sostengono comunque le mie scelte anche se, non sempre, sono da loro condivise: ho raggiunto il mio traguardo ma non devo dimenticare che sono stati il mio punto di partenza.

È a loro devo molto.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

**REIMPIEGO DI RETI DA PESCA DISMESSE
NEI CONGLOMERATI BITUMINOSI PER USO
STRADALE**

TESI DI LAUREA DI
SALVATORE GAROFALO

RELATORE
PROF.SSA CLARA CELAURO
CORRELATORE
ING. ROSALIA TERESI

ANNO ACCADEMICO 2022 - 2023



SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	5
2. STATO DELL'ARTE.....	8
2.1. RIFIUTI PLASTICI.....	8
2.2. RETI DA PESCA.....	15
2.3. FIBRE NEI CONGLOMERATI.....	29
2.4. CONGLOMERATI BITUMINOSI PER STRATI DI USURA DRENANTE.....	32
3. MATERIALI E METODI.....	34
3.1. MATERIALI UTILIZZATI.....	34
3.1.1. BITUME	34
3.1.2. AGGREGATI.....	34
3.1.3. FISH NET	35
3.2. METODI.....	37
3.2.1. CARATTERIZZAZIONE DEL CONGLOMERATO CON IL METODO A SECCO (DRY METHOD).....	37
3.2.1.1. PROVA DI ADDENSAMENTO.....	38
3.2.1.2. PROVA DI TRAZIONE INDIRETTA.....	42
3.2.1.3. PROVA CANTABRO	43
3.2.1.4. PROVA DRENAGGIO DEL BITUME	45
3.2.1.5. ROLLER COMPACTOR.....	46
3.2.1.6. PROVE SUPERFICIALI.....	47
3.2.1.6.1. PROVA DI ALTEZZA IN SABBIA	46
3.2.1.6.2. PROVA DI ATTRITO RADENTE	47
3.2.1.6.3. PROVA DI PERMEABILITA'	48
3.2.1.7. PROVA DI RESISTENZA ALL'ORMAIAMENTO.....	50
3.3. CARATTERIZZAZIONE DELLE RETI	52
4. RISULTATI.....	55
4.1. PROVA DI ADDENSAMENTO.....	55

4.2.	PROVA DI TRAZIONE INDIRETTA.....	58
4.3.	PROVA CANTABRO	59
4.4.	PROVA DRENAGGIO DEL BITUME	61
4.5.	PROVE SUPERFICIALI.....	62
4.5.1.	PROVA DI ALTEZZA IN SABBIA	62
4.5.2.	PROVA DI ATTRITO RADENTE	63
4.5.3.	PROVA DI PERMEABILITA'	64
4.6.	PROVA DI RESISTENZA ALL'ORMAIAMENTO.....	65
5.	CONCLUSIONI	68
	BIBLIOGRAFIA.....	71
	INDICE DELLE FIGURE.....	74
	INDICE DELLE TABELLE.....	76

1. INTRODUZIONE

L'inquinamento è un problema mondiale che, negli ultimi anni, si manifesta in conseguenze ambientali sempre più evidenti. In questo lavoro di ricerca, tra le sue diverse forme esistenti, verrà prevalentemente considerato l'inquinamento dovuto ai rifiuti plastici e le conseguenze che esso implica negli ecosistemi marini.

L'inquinamento da plastica negli oceani è un problema serio, infatti, la percentuale di rifiuti plastici accumulata negli anni costituisce circa il 10% di rifiuti generati in tutto il mondo, per un totale di 75 – 80 milioni di tonnellate di plastica che vengono annualmente abbandonate in mare, causando la formazione di particelle potenzialmente ingeribili dalla fauna marina.

Per la sua natura resistente, ma allo stesso tempo leggera, la plastica è diventata un elemento particolarmente comune e percentualmente preponderante nel promiscuo assortimento che costituisce l'insieme dei rifiuti marini; in particolare, è il materiale in grado di soddisfare il considerevole fabbisogno necessario per la produzione di beni a fecondità semplice, i quali, una volta esaurita la propria utilità, vengono abbandonati nell'ambiente, volontariamente con poca etica o accidentalmente, raggiungendo le acque dei fiumi e dei mari. Attualmente, la maggior parte dei prodotti realizzati in plastica non viene riciclata, quindi, la quantità di rifiuti da essi derivante è destinata ad aumentare nel tempo. I rifiuti in plastica sono nocivi per gli esseri viventi e dannosi per l'ambiente in quanto contengono notevoli quantità di sostanze tossiche; è dunque necessario smaltirli nel modo più sicuro possibile, senza alcun danneggiamento a terzi, cercando fine di limitare la quantità di plastica post-uso che incrementerebbe drasticamente nel tempo. I più comuni rifiuti in plastica consistono in imballaggi e prodotti industriali in polipropilene (PP), polietilene (PE) e cloruro di polivinile (PVC) che rappresentano rispettivamente il 24%, il 21% e il 19% della produzione mondiale di plastica annuale media. I rifiuti in plastica considerati sono sottoposti ad azioni degradanti esercitate dagli agenti atmosferici, implicando la formazione di macroplastiche, microplastiche e nanoplastiche che si inseriscono nella rete trofica tramite la loro ingestione da parte degli esseri viventi che popolano le acque dei mari e degli oceani.

Le plastiche inquinanti gli ambienti marini provengono principalmente da utensili necessari allo svolgimento dell'attività di pesca. Annualmente si stimano tra le 640.000 e 800.000 tonnellate di attrezzi da pesca, tra cui reti, dispersi in mare rappresentando una notevole minaccia per l'ambiente. Le reti da pesca fantasma, cioè quelle abbandonate o disperse negli ecosistemi marini, inibiscono la vita marina, il movimento delle acque e compromettono la sicurezza della navigazione; è intuibile come sia indispensabile trovare una soluzione alla

loro attuale presenza che è suscettibile a un potenziale incremento con l'esercizio delle attività ittiche.

Una soluzione condivisa unanimemente dalla collettività al problema dell'inquinamento dovuto ai rifiuti plastici, è quella di sviluppare plastiche biodegradabili ma, tuttavia, anch'esse possono generare la produzione di microplastiche pericolose per l'ambiente. Le plastiche biodegradabili sono tipicamente composte da oli vegetali, polimeri sintetici e amido o prodotti chimici speciali progettati per ridurre i tempi di degradazione; solo se smaltiti in modo opportuno in impianti di compostaggio, quindi in ambiente industriale con condizioni calde, umide e ben aerate, queste sostanze si avviano in un corretto processo di decomposizione.

Negli ultimi anni, diverse aziende di notevole importanza hanno attuato strategie di mercato in grado di coniugare sostenibilità e innovazione; l'obiettivo è quello di sviluppare materiali da incorporare nei prodotti per dare una nuova vita alle plastiche oceaniche riducendo al minimo l'impatto ambientale e promuovendo stili di vita più sostenibili per la comunità. A livello mondiale, dunque, esistono diverse compagnie con nuove gamme di prodotti lanciati realizzati con rete da pesca dismesse. Diverse tecnologie innovative, come il "plastic – eating drone" e il "Ocean Cleanup Array", sono inoltre state attualmente prese in considerazione, per una loro potenziale applicazione, al fine di rimuovere le plastiche dagli ambienti marini.

Una soluzione che, apparentemente, sembrerebbe la più adeguata, è quindi quella di riciclare le plastiche disperse nell'ambiente ma, il riciclaggio dei rifiuti plastici, non è sempre sinonimo di riduzione dell'impatto ambientale in quanto potrebbe richiedere processi industriali poco economici e poco ecologici per i quali è necessaria una notevole quantità di energia e manodopera implicando anche la produzione di considerevoli quantità di gas serra. Una soluzione alternativa più efficiente è quella di smaltire i rifiuti in plastica direttamente all'interno di un materiale senza ulteriori trattamenti fisici, meccanici o chimici.

L'utilizzo dei rifiuti come sostanze additivanti al fine di migliorare le proprietà strutturali e funzionali di un conglomerato bituminoso potrebbe essere una potenziale soluzione economica ed ecologica in una prospettiva di sostenibilità ed economia circolare. Con l'incremento del volume di traffico veicolare sulle strade ed autostrade, sorge l'esigenza di ottenere pavimentazioni sempre più performanti e durevoli, caratterizzate da un lento decadimento prestazionale, in modo tale da garantire comfort e sicurezza di guida all'utenza. Le miscele con cui è possibile realizzare pavimentazioni flessibili ad elevata durabilità riducono i costi di manutenzione e di esercizio che saranno sostenuti durante la vita utile della sovrastruttura. Le fibre possono essere introdotte nelle miscele al fine di migliorare le

caratteristiche meccaniche del conglomerato bituminoso tale da ottenere una sovrastruttura durevole all'azione veicolare del traffico pesante oppure, un ulteriore motivo per cui è possibile l'impiego delle fibre, è quello di ridurre la tendenza del bitume a percolare attraverso lo scheletro solido dei conglomerati bituminosi con cui si realizzano pavimentazioni flessibili.

L'obiettivo del caso studio in oggetto è quello di individuare una fibra che sia facilmente distribuibile nel conglomerato bituminoso idoneo per la realizzazione di uno strato di usura drenante; la sfida tecnica è quella di stabilire un compromesso nel trovare una fibra non inquinante ma che sia anche economicamente accessibile. I due possibili metodi esistenti per l'introduzione delle fibre nelle miscele bituminose sono il processo umido e a secco. Per il caso studio in oggetto è stato preferito il metodo a secco prevedendo l'aggiunta negli aggregati, che costituiscono lo scheletro solido del conglomerato bituminoso, delle fibre provenienti dalla distruzione delle reti da pesca. La scelta di procedere con il metodo a secco è dovuta anche alla maggiore semplicità, rispetto il processo umido, da applicare a scala industriale consentendo una migliore distribuzione delle fibre nella miscela; le fibre utilizzate non fondono nel bitume quindi l'ipotetica adozione del procedimento umido potrebbe implicare l'aggrigliamento delle fibre e non apportare alcun vantaggio rispetto il metodo a secco. Per lo svolgimento delle prove previste dal piano sperimentale, è stata fondamentale la fase preparatoria delle fibre ottenute dalle reti da pesca in quanto i risultati in termini geometrici e meccanici dei conglomerati bituminosi ai quali le reti da pesca sono state inglobate, dipendono non solo dalle proprietà del materiale ma anche dal diametro e lunghezza delle fibre ottenute dalle reti.

L'impiego di rifiuti plastici nel confezionamento di conglomerati bituminosi, in particolare di reti da pesca come nel caso esaminato, potrebbe tradursi in una fornitura priva di costi, a netto delle spese sostenute nella fase di approvvigionamento per il trasporto, di materiali in grado di soddisfare le medesime esigenze per cui ordinariamente fibre meno sostenibili, come quelle in cellulosa, vengono acquistate. In una produzione a grande scala, questo impiego di reti fantasma, potrebbe arrecare vantaggi economici e ambientali in quanto consentirebbe di ridurre la quantità di rifiuti presenti nel mondo il cui smaltimento richiederebbe tempi ecologicamente insostenibili.

2. STATO DELL'ARTE

2.1. RIFIUTI PLASTICI

Tra le varie categorie di rifiuti antropogenici, la plastica è considerata la causa preponderante dell'inquinamento delle acque degli oceani e dei mari [1].

Le materie plastiche sono polimeri costituiti da monomeri, unità modulari estratti da petrolio o gas con diverse tecniche di produzione ottimizzate e poco costose, collegati tra loro formando una catena, reticolata o ramificata, che può subire variazioni con l'inclusione di monomeri chimici che ne alterano così le proprietà fisico – chimiche [1], [2]. La plastica è un materiale leggero, resistente, potenzialmente trasparente e quindi idoneo per diverse applicazioni grazie al suo elevato grado di versatilità; vetro, metallo e carta vengono sostituiti da imballaggi economici in plastica di equivalente design ma con altrettante eccellenti proprietà, tra cui la bioinerzia e l'impermeabilità all'aria e all'acqua, che ne fanno un ottimo packaging [3].

Da un punto di vista storico, le navi hanno significativamente incrementato la quantità di rifiuti marini. A partire dal 1940, con la produzione in massa, le prime plastiche leggere e durevoli sono state introdotte nel mercato e negli anni '70, la flotta peschereccia commerciale globale, ha rilasciato 23 000 tonnellate di materiali per imballaggi in plastica. L'accordo internazionale MARPOL 73/78 Annesso V è stato attuato nel 1988 e ha vietato alle navi di conferire rifiuti di plastica in mare ma a causa di una carenza di istruzione e sensibilizzazione all'ecologia, il trasporto marittimo resta comunque la principale fonte di plastica nell'ambiente marino [1], [2]

Nella società moderna la plastica è protagonista di numerose applicazioni e il fabbisogno di questo bene è considerevole, infatti, la produzione annuale di plastica è aumentata di circa 280 milioni dalla seconda metà del XX secolo fino ai giorni odierni [4]. Circa 75 – 80 milioni di tonnellate di plastica vengono annualmente abbandonate in mare a causa di utilizzo di beni a fecondità semplice, motivo per cui la produzione annuale globale di materie plastiche supera attualmente i 320 milioni di tonnellate di cui il 40% consiste in confezioni monouso [2], [3].

I rifiuti in plastica sono nocivi per gli esseri viventi e dannosi per l'ambiente in quanto contengono notevoli quantità di sostanze tossiche; è quindi necessario smaltirli nel modo più sicuro possibile, senza alcun danneggiamento all'ambiente e degli esseri viventi, al fine di limitare la quantità di plastica post-uso che incrementerebbe drasticamente nel tempo [5]. A causa del loro rilascio accidentale e agli scarti indifferenziati, i rifiuti in plastica si sono accumulati nell'ambiente con un'incontrollabile velocità, raggiungendo le coste con il moto

ondoso ma anche con il trasporto fluviale ed eolico. Grazie alla sua natura resistente, ma allo stesso tempo leggera, la plastica è diventata un elemento particolarmente comune e percentualmente preponderante nel promiscuo assortimento che costituisce l'insieme dei rifiuti marini. I polimeri più diffusi, in quanto quelli maggiormente prodotti, sono il polipropilene (PP), polietilene (PE) e cloruro di polivinile (PVC) che rappresentano rispettivamente il 24%, il 21% e il 19% della produzione mondiale di plastica annuale media [4]. I rifiuti plastici terrestri provengono da discariche a cielo aperto, dal ruscellamento di acque reflue non trattate, da detriti trasportati dall'azione eolica o dall'abbandono di rifiuti prodotti da attività umane, tra cui sacchetti e scatole di plastica ma anche vernici, calzature e pneumatici. Si stima che il 70 – 80 % della plastica che arriva negli oceani sia trasportata dai fiumi e che la maggior parte di esse sia proveniente da processi di produzione, processi agricoli e dagli impianti di trattamento delle acque reflue che scaricano i loro effluenti nei sistemi acquatici [2]. I più comuni rifiuti in plastica consistono in imballaggi, contenitori per liquidi, abbigliamento, borse per la spesa, casalinghi, prodotti industriali, attrezzature sportive e ricreative. Riciclare le plastiche può richiedere processi industriali poco economici e poco ecologici per i quali è necessaria una notevole quantità di energia e manodopera implicando anche la produzione di notevoli quantità di gas serra. Una soluzione alternativa più efficiente è quella di smaltire i rifiuti in plastica direttamente all'interno di un materiale senza ulteriori trattamenti fisici, meccanici o chimici [5].

L'inquinamento da plastica negli oceani è un problema serio, infatti, la percentuale di rifiuti di plastica accumulata negli anni costituisce circa il 10% di rifiuti generati in tutto il mondo e i pesci, che sono un tassello della catena alimentare, consumano con inconsapevolezza minuscoli pezzi di plastica [6]. I corpi plastici presenti nelle acque dei mari, indipendentemente dalle modalità in cui sono stati dispersi, si possono classificare in:

- Macroplastiche, se i detriti plastici hanno dimensioni superiori ai 5 mm;
- Microplastiche, se i corpi plastici hanno dimensioni comprese tra i 5 mm e 1 μm ;
- Nanoplastiche, se i frammenti plastici hanno dimensioni inferiori a 1 μm [7].

I rifiuti marini, in sintesi, si formano dunque nelle diverse modalità di seguito descritte:

- Processo di smaltimento indifferenziato di articoli che vengono sversati illecitamente nei mari e negli oceani;
- Materie plastiche che entrano, direttamente o con percolamenti accidentali di acque reflue, nei sistemi fluviali che sfoceranno in mare;
- Estreme condizioni metereologiche come inondazioni o uragani che possono causare il trasferimento di rifiuti terrestri nelle acque marine;

- Rifiuti provenienti da attività balneari e ittiche come turismo costiero, pesca ricreativa o commerciale, acquacoltura e piattaforme petrolifere [1].

Una soluzione condivisa unanimemente dalla collettività al problema dell'inquinamento dovuto ai rifiuti plastici, è quella di sviluppare plastiche biodegradabili ma, tuttavia, anch'esse possono generare la produzione di microplastiche. Le plastiche biodegradabili sono tipicamente composte da oli vegetali, polimeri sintetici e amido o prodotti chimici speciali, come TDPA (Totally Degradable Plastic Additive), progettati per ridurre i tempi di degradazione; solo se smaltiti in modo opportuno in impianti di compostaggio, quindi in ambiente industriale con condizioni calde, umide e ben aerate, queste sostanze si avviano in un corretto processo di decomposizione. A differenza dell'abbondante percentuale residua di polimeri sintetici presenti nelle bioplastiche, esclusivamente i costituenti amidacei si avviano al processo di decomposizione; se le plastiche biodegradabili fossero abbandonate o disperse in ambiente marino e non venissero conferite negli appositi impianti di compostaggio, si troverebbero in assenza di microbi terrestri, motivo per cui richiederebbero tempi maggiori per il processo di decomposizione al termine del quale le microplastiche verranno rilasciate e disperse nell'ambiente marino [1].

I vantaggi sociali della plastica sono notevoli ma altrettanto notevoli sono le preoccupazioni per l'ambiente che questo bene prezioso alimenta per diverse ragioni:

- La plastica è un materiale durevole ed altamente resistente al degrado il cui smaltimento è abbastanza complesso e problematico;
- La presenza di macroplastiche, disperse nell'ambiente e nelle acque dei mari, è interpretabile come un problema ecologico ma anche estetico in quanto danneggia la flora e la fauna locale. Questo problema ha conseguenze economiche per l'industria del turismo ma anche per numerose industrie marittime perché le plastiche possono danneggiare le attrezzature relative alle attività ittiche. [1]

Tra i rifiuti plastici marini, le microplastiche sono quelle che hanno un maggiore potere inquinante per la loro notevole superficie in rapporto al volume in quanto sono potenzialmente suscettibili di contaminazione da diversi inquinanti, tra cui metalli acquosi e altre sostanze chimiche come contaminanti organici idrofobici, che si trovano, di solito, alle loro più alte concentrazioni nelle acque superficiali marine e che aderiscono sulle superfici idrofobiche delle plastiche [1]. Esistono microplastiche primarie e secondarie: si definiscono microplastiche primarie le materie plastiche prodotte in dimensioni microscopiche utilizzate solitamente in detersivi e cosmetici mentre le microplastiche secondarie indicano minuscoli frammenti di plastica derivati dalla rottura di detriti di plastica, marini o terrestri, di

dimensioni maggiori. Un ulteriore degrado delle microplastiche potrebbero generare le nanoplastiche le quali potrebbero avere conseguenze peggiori sulla base della rete trofica marina [1].

Le microplastiche si ottengono per degradazione, cioè, per alterazione chimica che si sviluppa manifestando una notevole riduzione del peso molecolare del polimero indebolendo inevitabilmente il materiale. Le plastiche ampiamente degradate diventano fragili abbastanza da disgregarsi in frammenti polverosi non visibili ad occhio nudo ma suscettibili ad un ulteriore processo di degradazione svolto dai microbi, la biodegradazione, con cui il carbonio presente nei polimeri viene convertito in anidride carbonica; quando il processo raggiunge il suo completamento, nonché quando tutto il carbonio del polimero si è convertito, si parla di mineralizzazione completa. Oltre alla biodegradazione esistono altri processi chimicamente alteranti:

- Processo di fotodegradazione, il quale viene innescato dall'azione della luce solare;
- Processo termo - ossidativo, quindi consiste nella degradazione ossidativa dovuta a temperature moderate;
- Processo degradazione termica, nonché un'alterazione chimica dovuta all'azione delle alte temperature;
- Processo di idrolisi, nonché degradazione scaturita dalla reazione con acqua.

Nelle plastiche inquinanti le acque dei mari e degli oceani, la forma di degrado più efficiente è quella avviata dalla radiazione solare; il degrado è però notevolmente rallentato rispetto alla velocità con cui si svolgerebbe se lo stesso materiale plastico fosse esposto alla luce solare, con la stessa posizione, ma adagiato su una spiaggia ed esposto all'aria. Il ritardo che caratterizza il fenomeno degradante delle materie plastiche galleggianti nelle acque di mare è dovuto alle temperature più basse che caratterizzano il processo e dalla minore concentrazione di ossigeno in ambienti acquatici; i due fattori, oltre all'incrostazione superficiale che ricopre con un biofilm i detriti galleggianti, ritardano la reazione chimica che implica il degrado delle plastiche [3].

Negli ultimi anni, in particolare a partire dal 1970, è stata prestata notevole attenzione alla presenza delle microplastiche nelle acque marine, in quanto, questi minuscoli granuli derivanti dal degrado delle macroplastiche, si inseriscono nella rete trofica tramite la loro ingestione introducendo tossine alla base della catena alimentare. Una serie di diverse tecniche di campionamento è stata sviluppata per quantificare la presenza dei piccolissimi detriti in plastica nelle acque marine in cui sono disperse; la tecnica del beach combing è considerata la più semplice fra tutte le altre tecniche restanti disponibili in quanto richiede

poca pianificazione e logistica e bassi costi da sostenere [1]. I detriti di plastica, a scala micrometrica e nanometrica, sono molto diffusi nell'ambiente; negli oceani si trovano concentrazioni pari a 100000 particelle a m³ e a causa delle loro ridotte dimensioni, possono essere facilmente ingerite dalla fauna marina implicando drastiche conseguenze per la salute dell'organismo. [4]

Le origini delle microplastiche, in particolare, potrebbero derivare principalmente due fonti:

- Introduzione diretta con ruscellamento;
- Rottura di detriti macroplastici.

Il luogo più probabile per la generazione di microplastiche che verranno successivamente introdotte nell'ambiente marino è la spiaggia. I detriti di plastica sulle spiagge hanno elevate quantità di ossigeno a disposizione e il proprio processo di degradazione è accelerato dall'esposizione diretta alla luce solare nel tempo. Le plastiche, per questo motivo, si avviano in un processo di fotodegradazione in quanto le radiazioni ultraviolette provocano l'ossidazione della matrice polimerica, alterazioni cromatiche e fessure superficiali implicandone una perdita della propria integrità strutturale con conseguente formazione di frammenti di dimensioni sempre minori nel tempo fino all'ottenimento delle microplastiche; in acqua le condizioni saline e termiche inibiscono il processo di foto – ossidazione decelerando il fenomeno di corrosione delle plastiche non alterandone la propria durabilità. Di facile intuizione è dunque l'importanza della pulizia delle spiagge al fine di ridurre l'incremento di sostanze inquinanti nelle acque dei mari, un ulteriore vantaggio ecologico oltre ai miglioramenti estetici delle spiagge e delle coste, in quanto contribuisce alla tutela della salute marina [1], [3]. Le spiagge, oltre ai corpi idrici, sono dunque un altro importante ambiente colpito dall'inquinamento da plastica [8]. La Tabella 1 riporta le spiagge più inquinate del mondo con la massima concentrazione di microplastiche osservata.

Tabella 1 – Spiagge più inquinate del mondo dalla presenza di microplastiche

PAESE	MAX CONCENTRAZIONE OSSERVATA	UNITA DI MISURA
Svezia	102 000	Particelle/m ³
California	3	Particelle/m ³
Oceano Atlantico nord - occidentale	67 000	Particelle/km ²
Mar Mediterraneo nord – occidentale	1	Particelle/m ²
Malta	1000	Particelle/m ²
UK	86	Particelle/kg
Florida	214	Particelle/kg
India	89	mg/kg
Belgio	7	mg/kg
Portogallo	6	Particelle/m ²
Germania	621	Particelle/10 g

Le microplastiche hanno un elevato rischio di tossicità dovuto a differenti cause:

- Potenziale fuoriuscita di additivi tossici impiegati per la composizione della plastica che è stata ingerita;
- Presenza di alcune tossicità di prodotti da degradazione parziale di plastica;
- Le plastiche potenzialmente ingeribili sono in grado di assorbire sostanze chimiche come insetticidi, pesticidi e prodotti chimici industriali inquinanti disciolte nelle acque in cui sono state introdotte attraverso il deflusso e acque reflue [3].

Il fattore chiave che contribuisce alla disponibilità delle microplastiche, per gli organismi trofici inferiori, è la dimensione particolarmente ridotta tale da confondersi con le prede naturali. Il tipo di particella ingerita dalla fauna marina può variare in funzione della densità delle particelle in plastica; filtratori e planctovori sono comuni assimilatori di materie a bassa densità, quindi di sospensioni che si concentrano nella parte superiore della colonna d'acqua come il polietilene. Il galleggiamento delle plastiche dipende anche dalla presenza di biofilm, una pellicola di microrganismi la cui formazione necessita di almeno una settimana di tempo; quindi, di tempi relativamente molto brevi. La presenza della biopellicola aggrava la situazione in quanto incrementa la densità delle plastiche causandone in questo modo il progressivo affondamento. L'aumento della presenza di microplastiche nelle acque dei mari e degli oceani implica una maggiore probabilità con cui gli organismi possano incontrare, e quindi ingerire, i detriti inquinanti. Il colore delle microplastiche, che potrebbe mimetizzarle con le prede circostanti, può contribuire ad un incremento della probabilità di ingestione. L'ingestione delle microplastiche causa problemi di notevole gravità negli esseri viventi che popolano gli ecosistemi acquatici; abrasioni e ulcere interne, annegamento, ridotta idoneità riproduttiva, blocchi del tratto digestivo che possono provocare sazietà, deterioramento fisico e quindi morte, sono solo alcuni dei problemi causati dall'ingestione dei detriti plastici [4]. Le microplastiche sono quindi potenzialmente ingeribili da organismi marini, tra cui zooplancton, invertebrati, larve di echinodermi, pesci, uccelli marini e crostacei, e quindi da tutta la successiva filiera alimentare, a causa delle loro piccole dimensioni e della loro presenza negli ecosistemi e, una volta ingerite, possono presentare un rischio meccanico per gli animali causando squilibri ormonali che implicano problemi morfologici permanenti negli organismi nelle fasi di sviluppo o interruzione sessuale negli adulti [1]. Le specie di plancton rappresentano la base della rete trofica marina quindi, qualsiasi minaccia a questi, può implicare gravi conseguenze negli oceani del mondo [3].

A livello globale, la plastica si trova in più mari con una distribuzione non omogenea a causa di diversi meccanismi come venti, correnti, geografia costiera e fattori umani, tra cui le aree

urbane e le vie di commercio percorse. La Tabella 2 riporta a scala mondiale la quantità, la tipologia e la densità dei rifiuti in plastica che sono presenti negli oceani e nei mari [8].

Tabella 2 - Tipologia e densità dei rifiuti in plastica presenti negli oceani e nei mari

TIPOLOGIA PLASTICA		DENSITA'	PERCENTUALE	ORIGINE
Polietilene a bassa densità	LLDPE LLDPE	0.91 – 0.93	21 %	Sacchetti di plastica, bottiglie
Polietilene ad alta densità	HDPE	0.94	17%	Confezione del latte
Polipropilene	PP	0.85 – 0.83	24 %	Corde, tappi di bottiglie
Polistirene	PS	1.05	6%	Scatole per esche
Poliestere termoplastico	PET	1.37	<3%	Bottiglie di plastica
Polivinilcloruro	PVC	1.38	7%	Bottiglie, tazze
Acetato di cellulosa	CA		19%	Filtri di sigarette

2.2. RETI DA PESCA

L'introduzione di plastiche nell'ambiente è dovuta a diverse cause, tra cui attività domestiche, industriali, ittiche e, una volta che i detriti di plastica sono entrati nell'ambiente, la propria biodegradazione è molto difficile in quanto si svolge con una frammentazione in pezzi più piccoli [8]. La presenza di materiale sintetico e materie plastiche moderne introdotte nella rete trofica marina richiede tempi di smaltimento di almeno 600 anni a seconda delle condizioni dell'acqua, penetrazione della luce ultravioletta e livello di abrasione fisica. Il risultato dell'impatto di frammenti microscopici di plastica e fibre provenienti dal degrado di oggetti di dimensioni maggiori non è invece noto ma è intuibile come la presenza delle microplastiche sia una potenziale fonte di sostanze chimiche tossiche nell'ambiente marino. La maggior parte dei detriti in plastica persisterà nell'ambiente per diversi secoli e può inoltre essere trasportata lontano dalla sua fonte. Le plastiche inquinanti le acque dei mari e degli oceani provengono principalmente da utensili necessari allo svolgimento dell'attività di pesca; gli attrezzi da pesca sono generalmente stati persi o abbandonati dall'inizio dell'attività ittica ma l'estensione del problema e il suo relativo impatto, sono aumentati notevolmente negli ultimi cinquanta anni. Lo sviluppo della pesca implica l'utilizzo di attrezzi sempre più innovativi consentendo di praticare l'attività anche nelle acque più profonde, precedentemente incontaminate e, quindi, più sensibili agli impatti della pesca abbandonata; si distinguono attrezzi passivi e attivi. Le attrezzature passive comprendono tutti gli utensili che non richiedono un'azione trascinatrice per catturare le specie ittiche volute come, ad esempio, ami e lenze, palangari e trappole. Le attrezzature attive richiedono invece barche a motore e di solito implicano investimenti aggiuntivi rispetto i soli ingranaggi fissi [9], [10]. Nel dettaglio, le categorie di attrezzi da pesca di scarto sono classificabili in:

- Attrezzi di fine vita che vengono solitamente accumulati nelle apposite strutture portuali a causa dell'assenza di un piano di gestione dei rifiuti prodotti da attività ittiche, motivo per cui sono solitamente destinati in discarica o agli inceneritori;
- Attrezzi persi, o abbandonati, comunemente noti come "attrezzi fantasma" che hanno gravissime conseguenze nell'ambiente marino [11].

Annualmente si stimano tra le 640.000 e 800.000 tonnellate di attrezzi da pesca dispersi in mare rappresentando una notevole minaccia per l'ambiente [12]. I principali impatti ambientali delle reti da pesca abbandonate o disperse si possono descrivere nei seguenti punti:

- Continuità della cattura di specie protette e non protette svolta dalle reti disperse: un fattore di fondamentale importanza, in quanto ne dipende la pericolosità della pesca fantasma, è il luogo in cui si trova la rete dispersa; è intuibile, ad esempio, come l'impatto sulla fauna marina provocato da una rete da pesca dispersa in mare sia completamente diverso dall'impatto generato da una rete che sia rimasta vincolata in uno scoglio. La pericolosità di una rete abbandonata non si misura esclusivamente in funzione del tempo necessario affinché essa collassi, in quanto la fauna marina deceduta all'interno del dispositivo disperso potrebbe attirare ulteriori specie animali innescando così un processo di cattura ciclica. Le condizioni in cui si trova l'attrezzo disperso e la natura dell'ambiente locale, in termini di correnti e profondità, sono altri fattori che determinano l'entità dell'impatto ambientale, infatti, a causa dell'ambiente in cui si svolge la pesca e la tecnologia utilizzata, variano le percentuali di reti disperse e le conseguenze della dispersione: una rete che è stata persa nelle sue condizioni di massima efficienza avrà un impatto notevolmente più gravoso e richiederà un arco temporale maggiore per la sua degradazione rispetto alle conseguenze implicate e i tempi richiesti da reti disperse in condizioni fatiscenti;
- Interazione con specie protette: le reti sono potenziali trappole per la fauna marina soprattutto quando sono realizzate in materiali sintetici in quanto diverse specie animali ne possono ingerire delle parti anche non restandone intrappolati [9]. Hanno dunque effetti negativi sull'ecosistema marino in quanto possono ferire o annegare anche diverse specie tipiche della fauna marina come tartarughe, grandi mammiferi marini come balene e foche. Anche piccole creature come plancton e alghe che svolgono un ruolo importante nella catena alimentare marina vengono influenzati negativamente dalle reti da pesca abbandonate in quanto ne impediscono la propria esposizione alla luce solare [6];
- Danneggiare la fauna bentonica e il fondale marino: l'UNEP (United Nations Environment Programme) afferma che fino al 70% dei rifiuti marini si deposita sul fondale provocando il soffocamento delle comunità bentoniche. L'entità dell'impatto ambientale dipende anche dalla tipologia di fondale in cui le reti fantasma si depositano in quanto, ad esempio, i fondali fangosi sono meno colpiti da fondali colmi di alghe ed organismi fragili come coralli e spugne [9].

Tra i vari rifiuti che inquinano i mari, hanno dunque notevole importanza gli attrezzi relativi ad attività di pesca abbandonati o smarriti come le reti da pesca o i monofilamenti in plastica che sono caratterizzati da neutro galleggiamento posizionandosi quindi a profondità variabili

nelle acque degli oceani. Le plastiche sono comunque costituite da differenti polimeri e in funzione della loro densità o forma, oltre al neutro galleggiamento, esse possono galleggiare in superficie o affondare; quindi, è intuibile come sia possibile trovare le microplastiche lungo l'intera colonna d'acqua. Detriti di plastica nell'ambiente marino possono generare l'accumulo di biofilm microbici che permettono la colonizzazione di invertebrati e alghe sulla superficie della plastica aumentando la densità della particella che assumerà la tendenza a galleggiare in modo neutrale fino a depositarsi sul fondale marino [1].

Le reti da pesca disperse, solitamente realizzate con fibre polimeriche sintetiche ad alta densità come polietilene (PE), polietilene tereftalato (PET) o poliammide (PA), quindi materiali non biodegradabili, tendono ad accumularsi e spesso risiedono per lunghi periodi di tempo in zone di convergenza oceanica. Le cause della dispersione possono essere molteplici ed è chiaro come alcuni episodi sono intenzionali e altri involontari:

- Condizioni atmosferiche sfavorevoli che aumentano la probabilità di dispersione della rete;
- Reti da pesca indesiderate che, ormai non più performanti per le loro fatiscenti condizioni, vengono abbandonate in mare non sostenendo le spese necessarie per consentire uno smaltimento in terra;
- Indisponibilità di impianti di smaltimento dei rifiuti a terra oppure difficile accessibilità o elevato costo di utilizzo degli stessi [9], [13].

Le reti da pesca fantasma sporcano quindi molte aree del fondale marino, soffocandone i substrati presenti inibendo la vita marina e il movimento delle acque, generando la formazione del fango anossico. La presenza di reti da pesca disperse nei mari e negli oceani può inoltre compromettere la sicurezza di navigazione in quanto potrebbero incastrarsi con l'elica o altre parti meccaniche di un'imbarcazione non assicurandone la sua stabilità; i detriti bentonitici possono invece incrostare le ancore delle navi esponendo la nave e il suo equipaggio a rischio. Una delle cause della presenza di reti fantasma potrebbe essere l'abbandono volontario delle medesime nell'interesse economico dei pescatori, in quanto, eviterebbero la perdita di tempo per recuperare la rete poco preziosa e, per la pesca illegale, non dichiarata e non documentata (pesca INN), il rigetto delle reti permetterebbe alle navi di non ricevere sanzioni da parte delle autorità di controllo nel caso di potenziali arresti di ordinaria ispezione. Episodi in cui si verificano atti di vandalismo, come taglio intenzionale di attrezzature, possono causare perdita di parti delle medesime nelle acque marine. Un fattore di notevole importanza, per ridurre il problema delle reti disperse, è il costo necessario per lo smaltimento delle reti nelle apposite strutture di raccolta eventualmente posizionate

lungo i porti in quanto un costo di smaltimento eccessivo potrebbe risultare, per i pescatori, un incentivo economico a gettare in mare gli attrezzi ormai indesiderati [9].

I rifiuti di plastica nell'ambiente marino sono un problema in costante aumento prevedendone nel 2050 una frazione in peso maggiore di quella dei pesci negli oceani. Una voce percentualmente notevole è dunque quella rappresentata dalle reti da pesca perse o scartate che costituiscono il 10% circa del volume totale globale dei rifiuti marini [13]. Nell'Unione Europea, il 27% dei rifiuti marini è costituito da attrezzi da pesca in plastica di cui il 43% è plastica monouso. La presenza di queste plastiche nell'ambiente marino rappresenta un grave rischio per l'ecosistema, per la biodiversità, per la salute umana e per l'economia legata al mare compromettendo alcune attività come il turismo e la navigazione. L'UNEP (United Nations Environment Programme) ha quantificato che il 70% in peso dei detriti macroplastici galleggianti nelle acque dei mari e degli oceani è dovuto all'esercizio di attività ittiche; anche il WWF (World Wildlife Fund for Nature) ha espresso le proprie considerazioni stimando che almeno un milione di tonnellate di attrezzi da pesca vengono ogni anno abbandonati o dispersi nell'ambiente marino [11]. Il problema delle reti da pesca disperse o abbandonate può essere affrontato adottando misure che impediscono, attenuano e curano il fenomeno manifestato ma quelle preventive si distinguono come le più efficaci per affrontare il problema in quanto evitano il verificarsi del fenomeno e dei conseguenti impatti ambientali. In generale le misure includono:

- La marcatura dell'attrezzatura per identificarne la proprietà (CE 356/2005)
- Fornitura di servizi di raccolta portuali per lo smaltimento a terra delle reti fatiscenti;
- L'utilizzo della tecnologia di bordo per evitare la perdita dell'attrezzatura individuandone l'ubicazione;
- imposizione dei limiti sulla quantità di rete utilizzata oppure stabilendone il tempo massimo per cui essa può restare immersa in acqua [9].

Le misure di mitigazione preventive, in particolare, sono idonee per ridurre l'impatto del fenomeno delle reti disperse e si caratterizzano per i consistenti costi di applicazione e la loro limitata efficacia risolutiva; attualmente sono in corso di studio soluzioni particolari eseguendo prove su materiali innovativi che aumentano la riflettività del suono riducendo la cattura di specie indesiderate come quelle dei cetacei. Queste misure impediscono la dispersione di reti da pesca nell'ambiente attuando tutte quelle azioni, come la modifica degli ingranaggi per ridurre il rischio di potenziali incastri o semplicemente ridurre il tempo di immersione della rete, che vengono attuate per evitare che un evento dannoso si verifichi [9].

Le misure curative sono reattive alla presenza di reti da pesca disperse e sono meno efficaci di quelle preventive ma sono quelle economicamente più convenienti nel momento in cui si decide di lasciare le reti da pesca in situ. Le misure curative e di recupero riducono la dispersione delle reti fantasma attuando tutte quelle azioni adottate per risolvere un problema già manifestato come ad esempio campagne di recupero delle reti disperse o l'impiego di dispositivi in grado di segnalare l'eventuale perdita di attrezzi consentendone quindi il loro successivo ed immediato recupero. Attualmente, però, non spiccano per la loro efficacia in quanto le costose campagne di recupero di utensili da attività ittica sono circoscritte in piccole aree di fondale opportunamente indicate dai pescatori che hanno perso le proprie attrezzature. Gli attrezzi dispersi restano nelle acque marine per un periodo di tempo in cui dissipano le loro capacità prestazionali quindi al termine delle attività di recupero gli utensili non avrebbero la stessa efficienza di cui godevano durante il proprio esercizio [9].

Le misure curative si possono descrivere in un processo sequenziale di diverse fasi che prevedono:

- La localizzazione dell'attrezzo smarrito tramite diverse tecnologie tra cui il side scan sonar per i rilievi dei fondali marini;
- Utilizzo di sistemi di segnalazione delle reti perse;
- Programmi di recupero degli attrezzi;
- Smaltimento ed eventuale riciclaggio del materiale [9].

Tra le misure curative è prevista anche l'istruzione degli operatori portuali al fine di conferirgli un cambiamento comportamentale e una sensibilità ai temi ecologici e relativi alla sostenibilità ambientale [9].

Le reti da pesca disperse o abbandonate rappresentano un notevole problema ambientale, ecologico ma anche economico; attualmente si ha una scarsità di dati quantitativi sul fenomeno in molte regioni del mondo in quanto la disponibilità dei dati è relativa solo per poche aree geografiche, come le Hawaii, i mari del Pacifico settentrionale e dell'Asia nord-orientale, nonché tutte quelle aree dove sono stati condotti studi intensivi del problema in esame. In tutte le attività di pesca dell'Unione Europea, relativamente al numero totale di reti utilizzate, i tassi di perdita permanente sono piuttosto bassi, quantificabili all'uno per cento, in quanto i pescatori tendono a recuperare gli attrezzi che hanno perso perché il loro costo è non indifferente. La lunghezza totale delle reti perse è comunque significativa nonostante la bassa percentuale di reti definitivamente perse. La stima delle quantità di reti da pesca perse a scala mondiale presenta delle difficoltà che vengono di seguito riportate:

- La fonte predominante di reti da pesca disperse si verifica durante tempeste o forti correnti compromettendo l'immediata segnalazione;
- Alcuni attrezzi relativi allo svolgimento di attività ittiche artigianali provengono dalla pesca INN;
- Non esiste uno standard in confronto al quale è possibile individuare la differenza di design fra attrezzi integri e altri logorati tale da quantificare le quantità di rete dispersa;
- Molti studi esprimono i tassi relativi alla perdita di attrezzi ma non esprimono la quantità in termini assoluti di attrezzi dispersi [9].

Di solito i pescatori recuperano gli attrezzi dato il loro notevole valore economico nonostante tale operazione richieda tempi e costi significativi. Al fine di individuare la rete dispersa è necessario svolgere delle indagini. Diverse categorie di sondaggi esistono e implicano costi più o meno elevati. Le indagini più economiche sono quelle svolte sulla spiaggia coinvolgendo volontari mentre le soluzioni più onerose prevedono l'utilizzo di un sonar a scansione installato su navi sofisticate eseguendo una mappatura dei fondali marini; tale tecnologia è applicabile, però, solo dove si vogliono trovare oggetti facilmente distinguibili per le loro dimensioni. La segnalazione di reti da pesca disperse può provenire dagli stessi operatori che utilizzano gli attrezzi nella loro attività; tutte le navi devono elaborare un piano di gestione dei rifiuti comprensivo di un registro, in cui vengono annotate le quantità di reti scaricate o perse involontariamente, che sarà soggetto ad ispezione da parte dell'amministrazione competente[9].

L'entità degli effetti delle reti fantasma, espressi in termini di efficienza di cattura e di durata temporale, dipende dalle condizioni e posizione in cui esse vengono perse. Le caratteristiche che definiscono la pericolosità della rete dispersa, le quali cambiano nel tempo alterando l'efficienza della rete fantasma, sono la dimensione e rigidità delle maglie, la profondità del mare e il tipo di fondale. Il problema potrebbe richiedere soluzioni impegnative perché, oltre a fornire le dovute correzioni tecnologiche, il fenomeno dipende in gran misura dal comportamento umano. Uno sforzo a livello globale è quindi necessario per affrontare il problema coinvolgendo una stretta collaborazione tra le principali agenzie delle Nazioni Unite competenti come, ad esempio, FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), IMO (International Maritime Organization) e UNEP, enti regionali per la pesca, organizzazioni marittime regionali e porti [9].

La maggior parte dei rifiuti plastici proviene da fonti terrestri tra cui quelli abbandonati nelle zone costiere mentre la navigazione mercantile è la principale fonte di rifiuti via mare. I

rifiuti terrestri che le coste marine ricevono provengono dalle limitrofe aree urbane, siti turistici e in vicinanza di emissari fluviali mentre i detriti marini saranno depositati lungo le coste se intrappolati nelle correnti che scorrono in vicinanza. Nel 1997, l'Accademia delle Scienze degli Stati Uniti ha stimato una quantità complessiva di rifiuti negli oceani pari a 6,4 milioni di tonnellate all'anno di cui 5,6 tonnellate (circa 88% del totale) proveniente dalla navigazione mercantile. L'accademia ha anche stimato che circa 8 milioni di rifiuti marini entrano quotidianamente negli oceani ed il 63% di questa quantità consiste in rifiuti solidi gettati in mare o persi dalle navi. Gran parte del primo approccio a determinare la quantità di trappole e reti da pesca disperse nei mari è stato condotto in America settentrionale per stimare il loro impatto in termini di pesca fantasma e distruzione dell'habitat ma negli anni successivi, ulteriori progetti sono stati avviati per valutare l'entità degli attrezzi da pesca scartati, abbandonati o persi, tra cui:

- Il progetto FANTARED 1 (Progetto CE n. 94/095, 1995-1996) focalizzato su reti da imbrocco in Spagna, Portogallo e Regno Unito;
- Il progetto FANTARED 2 (FAIR – PL98 – 4338, 1998 / 2005), incentrato sulla Svezia, Regno Unito, Portogallo, Francia e Norvegia su reti da imbrocco e trappole;
- Il progetto DeepNet (Hareide et al., 2005) focalizzato sulle reti fisse in acque profonde ad Ovest e a nord della Gran Bretagna e Irlanda;
- La South Pacific Commission (PSC) con il rispettivo programma di osservazione dell'attività di pesca con palangari pelagici;
- Il progetto Logbooks dell'International Pacific Halibut Commission che stima la mortalità dell'ippoglosso adulto a causa della dispersione di attrezzi impiegati nell'attività ittica [9].

Dal progetto FANTARED della Commissione Europea si evince che tutte le reti da pesca descrivono un cambiamento nel tempo a simili tendenze in quanto le prime specie catturate sono pesci e crostacei per poi manifestare cali prestazionali dovuti a degradi e grovigli. La rete fantasma cattura i primi pesci di cui alcuni possono scappare ma altri, morendo per fame, cannibalismo, infezioni o esposizione prolungata a scarsa qualità dell'acqua, formano nuove esche attirando altre specie; oltre all'azione di trattenimento esercitata dalle reti abbandonate, un'altra causa che genera la morte di animali marini è l'ingestione, involontaria o intenzionale, delle plastiche provenienti dai rifiuti dispersi nelle acque. Circa 100.000 mammiferi marini muoiono ogni anno da trattenimento o ingestione di attrezzi da pesca e relativi detriti marini [9].

Un'ulteriore importante osservazione è stata dedotta dai risultati del progetto DeepNet che

hanno quantificato 1254 km di rete da pesca dispersa ogni anno durante l'esercizio dell'attività ittica e solo il 3% degli attrezzi dispersi viene annualmente recuperato [9].

Per trovare una soluzione al problema dell'inquinamento da plastica nell'ambiente marino, i governi dovrebbero introdurre una legislazione per la gestione delle fonti da cui questi rifiuti vengono generati ed aumentare gli investimenti nello sviluppo di tecnologie per la raccolta delle plastiche; le industrie, invece, dovrebbero assumersi la responsabilità della fine del ciclo di vita dei prodotti realizzati introducendo programmi di riciclaggio. Le misure per ridurre le quantità di reti fantasma possono essere adottate a livello internazionale, regionale, nazionale o locale. A scala internazionale, sulla tematica si concentrano un gran numero di organizzazioni e accordi, tra cui le Risoluzioni dell'Assemblea Generale delle Nazioni Unite (UNGA):

- La Risoluzione A/RES/59/25 (Assemblea generale delle Nazioni Unite, 2004) invita Stati Uniti, l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO), l'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO), organizzazioni e accordi subregionali di gestione della pesca che non hanno ancora provveduto a adottare le dovute azioni per affrontare il problema degli attrezzi da pesca perduti o abbandonati;
- La Risoluzione A/RES/60/30 (Assemblea generale delle Nazioni Unite, 2006) rileva la mancanza di dati relativi ai rifiuti marini ed esorta gli Stati a svolgere ulteriori studi integrando la questione dei rifiuti marini e strategie di gestione a scala nazionale;
- La Risoluzione A/RES/60/31 (Assemblea generale delle Nazioni Unite, 2006) invita Stati e organizzazioni internazionali, come la FAO, per affrontare il problema della perdita o abbandono degli attrezzi da pesca, sui costi economici per la pesca, riguardo l'impatto sugli ecosistemi marini e attraverso misure preventive e curative;
- La Risoluzione A/RES/61/222 (Assemblea generale delle Nazioni Unite, 2007) sollecita ulteriormente gli Stati a integrare la problematica dei rifiuti marini in una prospettiva nazionale;
- La Risoluzione A/RES/31/105 (Assemblea generale delle Nazioni Unite, 2007) che conferma l'importanza delle reti da pesca disperse [9].

A livello regionale, invece, l'UNEP sta affrontando la questione delle reti da pesca disperse con il Regional Sea Programme (RSP) il quale, nel 2005, ha avviato l'organizzazione e l'attuazione di attività regionali sui rifiuti marini in dodici Regional Seas:

- Mar Baltico;
- Mar Nero;

- Mar Caspio;
- Mari dell'Asia orientale;
- Mari dell'Africa orientale;
- Mar Mediterraneo;
- Pacifico nordoccidentale;
- Pacifico sudorientale;
- Mar Rosso e Golfo di Aden;
- Atlantico nordorientale;
- Mari dell'Asia meridionale;
- I Caraibi [9].

Tra le dodici regioni e l'UNEP è stato stipulato un accordo sulla gestione dei rifiuti marini; ogni regione ha un proprio programma e un proprio piano di lavoro al fine di svolgere le seguenti attività nonché quelle descritte nell'accordo stipulato:

- Preparazione della revisione dello stato dei rifiuti marini nella regione;
- Preparazione del Piano di Azione Regionale sulla gestione dell'ambiente marino relativo alla propria regione di appartenenza;
- Organizzazione di una riunione regionale delle autorità nazionali ed esperti in rifiuti marini;
- Partecipazione a un Regional Cleanup Day per la pulizia delle coste [9].

Si stimano 640 000 tonnellate annuali di attrezzi da pesca dismessi che vengono introdotti nelle acque dei mari e degli oceani inquinando ecosistemi ed avvelenando la relativa fauna marina; negli ultimi decenni, le organizzazioni in tutto il mondo stanno collaborando con i pescatori per trovare una soluzione che rispetti i principi di economia circolare in modo tale da trasformare, con un processo di raccolta e riciclo degli attrezzi da pesca dismessi in quanto fuori uso, questo materiale inquinante in una preziosa risorsa. Attualmente, in alcuni paesi, è in corso il riciclaggio delle reti da pesca ottenendo skateboard, calze, scarpe da ginnastica, occhiali da sole e moquette ma non escludendo le opportunità di utilizzare filamenti riciclati nella stampa 3D [14].

Le reti da pesca sono costituite da materiali differenti che ne implicano impatti ambientali di diverse entità; esistono quindi reti più o meno idonee al riciclaggio, ad esempio, quelle in nylon sono le più attraenti per i riciclatori mentre quelle meno ambite sono le reti in polipropilene e polietilene in quanto, meno lavorabili, implicano minori margini di profitto. Le reti recuperate in ambito marino possono distinguersi per un notevole grado di lerciume che ne aumenta la difficoltà del processo di riciclaggio, motivo per cui devono essere pulite

per almeno l'85% al fine di considerare possibile la possibilità di riciclo per dare valore a questi materiali categorizzati ormai scarto. L'organizzazione della raccolta, pulizia, segregazione e, infine, trasporto dei consistenti volumi di reti da pesca, determina il successo di ogni potenziale progetto di riciclaggio. Una fase di fondamentale importanza del processo di raccolta e successivo smaltimento è quello di identificare le tipologie di materiale interessate al progetto di riciclo. Gli attuali modelli di riciclo prevedono la raccolta delle reti direttamente dai pescatori quando le medesime avranno espletato la propria vita utile; le reti verranno depositate in opportune installazioni portuali assicurandosi che siano pulite e dovutamente separate per tipo di materiale in modo tale che siano pronte per l'immediato trasporto successivamente il quale si avvierà il processo di riciclo. Si attenzionano le reti fantasma che, a causa del proprio stato di abbandono nelle acque marine, si trovano in condizioni per cui trattamenti preventivi alle fasi di riciclo sono indispensabili. Generalmente due approcci al riciclaggio di reti e corda da pesca sono disponibili: metodo chimico o meccanico [14].

Il riciclo chimico prevede un processo di depolimerizzazione con il quale è possibile trasformare il materiale con cui è realizzata la rete da pesca nella sua forma originaria consentendo all'azienda di vendere un filato vergine; questo trattamento è consuetudinariamente applicato per materiali come il nylon [14].

Il riciclo meccanico viene svolto per reti da pesca come PE, PP ma anche nylon purché siano stati dovutamente separati in quanto, se i materiali, con caratteristiche e proprietà differenti, venissero mescolati, la qualità della plastica ottenuta al termine del processo di riciclo potrebbe essere compromessa. Il riciclaggio meccanico prevede inoltre lo sminuzzamento delle reti e la successiva fusione; nonostante questo sia il processo maggiormente disponibile, e quindi il più, diffuso, la qualità delle plastiche ottenute dal risultato del processo di riciclaggio chimico è migliore: da un processo di riciclaggio meccanico restano inalterati il colore e le caratteristiche che particolarizzavano la rete prima dell'avvio del trattamento limitando l'applicabilità della rete per ulteriori processi come estrusione e stampaggio ad iniezione [14].

In Europa esistono due società principali che hanno focalizzato il tema del riciclo delle reti da pesca:

- Plastix Global che, con un approccio a scala internazionale, è in grado di gestire la pulizia, separazione, taglio e riciclo di un assortimento di reti di materiali differenti;
- Nofir AS che raccoglie e ricicla le apparecchiature scartate dalla pesca commerciale o anche dall'allevamento ittico esclusivamente in giro per l'Europa [14].

A partire da febbraio 2022, anche altre aziende di notevole importanza, come la Samsung, hanno attuato strategie di mercato in grado di coniugare sostenibilità e innovazione; l'obiettivo è quello di sviluppare materiali da incorporare nei prodotti per dare una nuova vita alle plastiche oceaniche riducendo al minimo l'impatto ambientale e promuovendo stili di vita più sostenibili per la comunità. La Samsung non è l'unica azienda ad aver attuato una prospettiva di economia circolare; nella Tabella 3 viene riportata una lista di compagnie esistenti, aggiornata e corretta fino al 30 marzo 2022, con le proprie nuove gamme di prodotti lanciati realizzati con reti da pesca dismesse [11].

Tabella 3 - Compagnie esistenti fino al 2022 con le gamme di prodotti realizzati con reti da pesca dismesse

COMPAGNIA	PAESE	PRODOTTI
Karun	Cile	Occhiali da sole
Bracenet	Germania	Bracciali, anelli, borse, portachiavi e guinzagli per cani
Kettle Enterprises	USA	Accessori per biciclette
Axiom	Canada	Accessori per biciclette
Teko	UK	Calzini
Klattermusen	Svezia	Zaino
Ecoalf	Spagna	Giacche
Rubymoon	UK	Costumi da mare
Adidas	Germania	Calzature
Verdura	Italia	Calzature, sacchi per reti da pesca
Interface	USA / UK	Moquette
The Maine Coast Rope Rugs	USA	Stuoie, cestini
A Frayed Knot	UK	Stuoie
Bureo	Cile	Pellet
Waterhaul	UK	Occhiali da sole
Net your problem	UK	Reti da pesca riciclate
Nofir	Norvegia	Reti da pesca riciclate
Fishy Filaments	UK	Filamenti
LifestyleGarden	UK	Sedie
Exit	Irlanda	Ganci per mute
Odyssey Innovation	USA	Tavole da surf
Plastix	Danimarca	Pellet
Econyl	Italia	Fibre
Valentia Vasilatou	Italia, Grecia	Costumi da mare

Diverse tecnologie innovative sono state attualmente prese in considerazione per una loro potenziale applicazione al fine di rimuovere le plastiche dagli ambienti marini:

- Il "plastic – eating drone" che si basa su un dispositivo autonomo in grado di trainare una rete in grado di catturare, e quindi rimuovere, i detriti di plastica dalle acque oceaniche allontanando gli organismi marini tramite trasmettitori sonici;



Figura 1 - Plastic - eating drone in atto di rimozione di plastiche inquinanti

- Il ‘‘Ocean Cleanup Array’’ progettato per raccogliere la plastica galleggiante e di consentire agli organismi marini sottostanti di nuotare liberamente nelle acque superficiali;

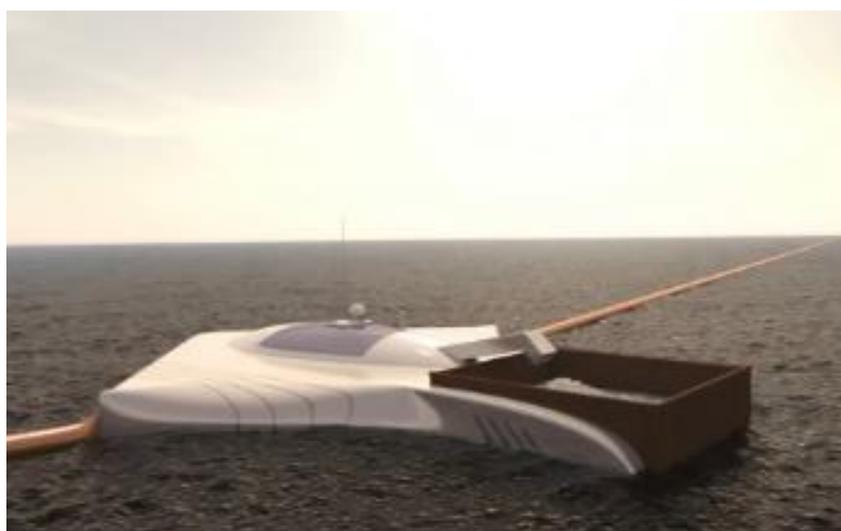


Figura 2 - Illustrazione dell’Ocean Cleanup Array progettato per la rimozione delle plastiche galleggianti in mare

- Ulteriore tecnica, ancora in fase di sviluppo, che prevede il rilevamento di pixel di detriti di plastica colorata sulle spiagge utilizzando fotografie scattate da una webcam [8].

Negli ultimi anni sono stati compiuti notevoli progressi nella mappatura e realizzazione di modelli di circolazione oceanica a scale differenti, grazie a immagini da satellite e telerilevamento, con le quali è possibile interpretare i risultati sugli studi svolti tramite appositi parametri come l’altezza della superficie del mare, le correnti marine e i venti superficiali. L’uso del GPS e della tecnologia di mappatura dei fondali marini ha incrementato la capacità dei pescatori di ritrovare le attrezzature smarrite che devono essere

contrassegnate in conformità alla legislazione nazionale in modo da individuare il proprietario degli utensili ittici. La gestione del territorio, applicata tramite l'istituzione di accordi tra pescatori, può evitare la dispersione di reti da pesca assicurando che tutti gli utenti marini siano a conoscenza della potenziale presenza di attrezzatura ittica nelle acque evitandone il proprio danneggiamento. Nei rari casi in cui si è manifestata la rottura permanente di un accordo, sono state attuate le leggi locali sulla gestione dell'attività ittica [9].

Il fenomeno della dispersione delle reti da pesca in mare potrebbe essere controllato con programmi di sensibilizzazione e leggi politiche comprensive di incentivi o sanzioni economiche per esortare i pescatori a portare a riva le reti da pesca al fine che vengano correttamente smaltiti o riciclati nei porti. Il riciclaggio non è sempre praticamente possibile in quanto il materiale sintetico degli attrezzi ittici può essere contaminato da materiale organico limitando la misura in cui è sicuro lo smaltimento più appropriato; l'energia e le risorse impiegate per prelevare e conferire il materiale in impianto di riciclaggio, inoltre, può prevalere sul vantaggio ottenuto dal riciclo [9].

Per la sua non più trascurabile entità, la pesca fantasma è stata ufficialmente riconosciuta nel 1985, alla sedicesima sessione della FAO Committee on Fisheries, come la causa principale dell'incremento del tasso di mortalità di pesci e altre specie biotiche marine. Il fenomeno consiste nella dispersione nei mari di reti da pesca e utensili relativi all'attività ittica i quali, oltre a costituire trappole per animali e specie protette, rappresentano un problema in termini di rifiuti danneggiando il fondale marino e alterando, quindi, il relativo ecosistema. Il Codice di Condotta della FAO, riconoscendo la pericolosa entità dell'impatto della perdita delle reti da pesca, ritiene che ogni Stato dovrebbe attuare misure preventive e curative per minimizzare le catture con attrezzi dispersi [15].

La pesca fantasma, quindi, è un problema odierno e la preoccupazione scaturita per gli effetti delle reti e attrezzature ittiche disperse nelle acque europee ha esortato la Commissione Europea a finanziare al FANTARED, una serie di studi sull'entità, cause, impatto ambientale e misure cautelative aventi l'obiettivo di sopprimere il fenomeno della pesca fantasma. I dati ottenuti dal processo sperimentale non tengono conto delle reali ed effettive condizioni degli utensili relativi all'attività ittica durante la loro vita utile; le reti da pesca disperse, ad esempio, sono maggiormente danneggiate e potrebbero assumere una configurazione maggiormente aggrovigliata rispetto alle reti utilizzate nella simulazione da laboratorio [15]. Le reti da pesca che si trovano attualmente sul mercato, sono realizzate in fibre sintetiche non biodegradabili implicando, dunque, una lunga persistenza del problema nel caso in cui venissero disperse nelle acque; il rispettivo incremento di tasso di mortalità di specie marine

dipende dalle condizioni in cui si trovano le reti ma anche dalla quantità di specie marine presenti. Tipo e profondità di fondale, invece, sono fattori di notevole importanza che determinano l'entità dell'impatto ambientale [15].

2.3. FIBRE NEI CONGLOMERATI

Ogni anno sono stati mediamente stimati 1254 km di rete da pesca persa nei fondali marini a causa di condizioni metereologiche sfavorevoli, impieghi in acque eccessivamente profonde, trasporti di maggiori quantitativi di rete rispetto a quelli consentiti ma la percentuale preponderante di reti abbandonate è costituita da quelle che vengono scaricate nelle acque marine con metodologie non formali ed eticamente errate [15]. L'utilizzo dei rifiuti come sostanze additivanti per migliorare le proprietà funzionali e strutturali di un conglomerato bituminoso potrebbe essere un'alternativa soluzione ecologica ed economica da una prospettiva di economia circolare e sostenibilità [13].

L'uso delle fibre risale a un arco di 4000 anni fa in Cina ma, tuttavia, gli sviluppi moderni di introduzione di fibre nei conglomerati bituminosi è iniziato nella seconda metà del XX secolo quando J. P. Serfass e J. Samanos, in Francia, hanno esaminato gli effetti dovuti all'aggiunta di fibre in miscele bituminose e ne hanno dedotto che le miscele modificate con fibre mantengono un'alta percentuale di vuoti risultando particolarmente idonei per la realizzazioni di conglomerati per strati di usura drenante. Determinati materiali con specifiche caratteristiche vengono additivati nelle miscele bituminose al fine di conferirgli delle proprietà di cui ne sono prive e le modalità con cui questi materiali vengono inglobati nella miscela influenzano le prestazioni conferite al prodotto finale [9].

Con l'incremento del volume di traffico veicolare sulle autostrade, nasce l'esigenza di avere pavimentazioni sempre più durevoli, caratterizzate da un lento decadimento prestazionale, in modo tale da garantire sicurezza e comfort di guida all'utenza. Le miscele con cui è possibile realizzare pavimentazioni flessibili ad elevata durabilità riducono i costi di manutenzione e di esercizio che vanno sostenuti durante la vita utile della sovrastruttura. Le fibre possono essere introdotte nelle miscele al fine di migliorare le caratteristiche meccaniche del conglomerato bituminoso, in modo tale da ottenere una sovrastruttura durevole all'azione veicolare del traffico pesante. L'aliquota di traffico veicolare pesante è quella più degradante per la pavimentazione stradale e gli effetti dipendono da:

- Tipologia di assi di cui è dotato ogni singolo veicolo;
- Configurazione degli pneumatici;
- Grado di riempimento del veicolo commerciale.

Un ulteriore motivo per cui è possibile introdurre fibre nei conglomerati bituminosi è quello di ridurre la tendenza del bitume a percolare attraverso lo scheletro solido; le fibre vanno quindi aggiunte per evitare il drenaggio del bitume dallo scheletro solido dei conglomerati bituminosi con cui si realizzano pavimentazioni flessibili durante la fase di costruzione,

quindi, di produzione, trasporto e della relativa posa in opera. Questa tecnica viene particolarmente adottata per il confezionamento di miscele per sovrastrutture drenanti per le quali è necessario utilizzare aggregati caratterizzati da una curva granulometrica discontinua. Le sostanze più utilizzate sono il polipropilene, poliestere, nylon e carbonio [16].

Per molti anni le fibre sono state introdotte nelle miscele bituminose per ridurre il drenaggio del bitume stabilizzandone la miscela ma anche per migliorarne le proprietà meccaniche. Esistono due tipi di fibre utilizzate per rinforzare la miscela bituminosa:

- Fibre inorganiche includenti fibre di basalto e fibre di vetro;
- Fibre organiche composte da poliestere, polipropilene, polietilene e cellulosa.

Le fibre organiche sono meno indicate rispetto a quelle inorganiche al fine di ottenere miglioramenti prestazionali in quanto manifestano problemi di aggregazione durante il processo di miscelazione. L'obiettivo è quello di individuare una fibra a basso prezzo che sia facilmente distribuibile nel conglomerato bituminoso al quale, però, conferisca proprietà migliori; bisogna prestare particolarmente attenzione alle corrette modalità di riciclo di questi filamenti di scarto in quanto potrebbero causare ulteriori rifiuti o inquinamento ambientale l'obiettivo è, dunque, un compromesso nel trovare una fibra non inquinante ma economicamente accessibile. Quando è possibile, sono da preferire le fibre inorganiche in quanto sono riciclabili e presentano una densità e prezzi inferiori rispetto alle fibre organiche che risultano più difficili da introdurre nella miscela [16], [17].

I processi per il riciclo delle fibre incrementano i costi di produzione, motivo per cui trovano scarsa applicazione in una prospettiva industriale. I due metodi di riciclaggio maggiormente adottati sono gli stessi di quelli precedentemente esaminati:

- Riciclaggio fisico, con il quale si producono particelle tramite frantumazione, fusione o estrusione;
- Riciclaggio chimico, con il quale si ottiene il recupero dei monomeri attraverso reazioni chimiche [17].

Nel caso oggetto di studio, i risultati in termini geometrici e meccanici dei conglomerati bituminosi ai quali le reti da pesca sono state inglobate, dipendono dalle proprietà del materiale, diametro e lunghezza delle fibre sottoforma delle quali sono state ridotte le reti; fibre eccessivamente lunghe provocherebbero il fenomeno di "balling", cioè, le fibre tenderebbero a raggrupparsi non integrandosi nel migliore dei modi con il conglomerato ma allo stesso tempo, fibre troppo corte, potrebbero non fornire nessun contributo prestazionale. Due potenziali metodi esistono per l'introduzione delle reti da pesca nelle miscele bituminose:

- Processo umido (o wet) che prevede l'aggiunta di fibre nel bitume,
- Processo a secco (dry) che prevede l'aggiunta di fibre negli aggregati.

Per il caso oggetto di studio è stato preferito il metodo a secco in quanto è il più facile da applicare a scala industriale, consente una migliore distribuzione delle fibre nella miscela e, inoltre, le fibre utilizzate non fondono nel bitume; quindi, non sono evidenti particolari vantaggi per il processo a umido che potrebbe implicare l'aggrovigliamento delle fibre.

2.4. CONGLOMERATI BITUMINOSI PER STRATI DI USURA DRENANTE

I conglomerati bituminosi per gli strati di usura drenante sono conglomerati con una maggiore percentuale di vuoti, hanno dunque uno scheletro litico più aperto il quale conferisce, alla sovrastruttura realizzata, una elevata macro-rugosità e garantisce l'adeguata aderenza tra pavimentazione e pneumatico con un rapido smaltimento delle acque meteoriche la cui presenza potrebbe compromettere la sicurezza di marcia. Un ulteriore vantaggio derivante dall'impiego di conglomerati bituminosi drenanti è quello di abbattere il rumore dovuto alle onde di pressione che si generano dal rotolamento dello pneumatico sulla sovrastruttura.

Le prime pavimentazioni drenanti risalgono alla metà del XX secolo negli Stati Uniti e in Inghilterra per eliminare il rischio del fenomeno dell'aquaplaning nelle piste aeroportuali incrementandone la sicurezza nella fase di atterraggio dei velivoli; il primo legante utilizzato per il confezionamento delle miscele era un bitume modificato con caucciù, o gomma, provenienti da pneumatici dismessi in quanto giunti al fine della propria vita utile e quindi in condizioni incompatibili con la sicurezza e comfort di marcia. In Europa, invece, le prime pavimentazioni drenanti furono realizzate in Spagna, Francia e Olanda a partire dal 1985 ma si verificarono degli inconvenienti tra cui:

- Insoddisfacenti risultati ottenuti dai tentativi di lavaggio della pavimentazione previsti dagli interventi di manutenzione ordinaria;
- Difficoltà nel mantenimento delle caratteristiche funzionali della pavimentazione che tendono a manifestare un decadimento prestazionale progressivo nel tempo a causa dell'azione veicolare del traffico che implica l'occlusione dei vuoti intergranulari con polveri o sostanze inquinanti;
- Notevole esposizione al degrado causato da cicli di gelo e disgelo durante i periodi invernali [18].

L'ideale conglomerato bituminoso per strati di usura drenanti andrebbe realizzato con inerti monogranulari la cui dimensione massima sia idonea e compatibile con lo spessore dello strato della pavimentazione che si vuole realizzare; questo tipo di conglomerato, però, presenta una tessitura superficiale particolarmente aperta che potrebbe compromettere le prestazioni funzionali e strutturali della sovrastruttura, motivo per cui il dovuto conglomerato bituminoso viene confezionato con del bitume modificato, sopperendo così alle prestazioni funzionali e meccaniche poco performanti della miscela costituita esclusivamente da soli aggregati [18].

I drenanti sono particolarmente apprezzati, a livello globale, dai progettisti e dai costruttori statunitensi per la realizzazione di pavimentazioni nelle nuove urbanizzazioni; la situazione è diversa in una prospettiva nazionale italiana. Alcune regioni, come il Veneto, la Lombardia e la Toscana ma anche amministrazioni provinciali, hanno iniziato a prendere in considerazione i problemi relativi allo smaltimento delle acque meteoriche provvedendo con delibere e linee guida al fine di incentivare l'impiego di materiali e tecniche di costruzione che garantiscano una superficie permeabile nelle nuove urbanizzazioni ponendo un limite alla cementificazione del suolo nazionale [19].

3. MATERIALI E METODI

3.1. MATERIALI UTILIZZATI

3.1.1. BITUME

Per svolgere le prove previste dal piano sperimentale è stato utilizzato un bitume commerciale per applicazioni stradali, denominato “Hard” (HD), modificato con il copolimero stirene-butadiene-stirene (SBS), al fine di migliorare le prestazioni delle miscele prodotte. In Tabella 4 vengono riportate le caratteristiche del bitume in oggetto.

Tabella 4 – Caratteristiche bitume HD

Caratteristiche	Standard	Unità	
Penetrazione a 25°C	EN 1426	0.1mm	50.8
Punto di rammollimento	EN 1427	°C	88.5
Punto di rottura Fraass	CNR B.U.n°43/74		≤8
Duttilità	EN 13589	Cm	>100
Viscosità a 160°C	EN 13302	Pa s	0.02 – 0.10
Penetrazione a 25 °C (dopo RTOFT secondo la ENI 2607 – 1)	EN 1426	0.1mm	39.3
Punto di rammollimento TR&B (dopo RTOFT secondo la ENI 2607 – 1)	EN 1427	°C	55.75

3.1.2. AGGREGATI

Gli aggregati costituenti lo scheletro solido della miscela comprendono quelli di origine naturale e, in minor percentuale, aggregati artificiali ricavati dagli scarti di differenti filiere produttive come, ad esempio, le scorie di altoforno provenienti dall’industria siderurgica.

Per la miscela da realizzare, al fine di ottenere una curva granulometrica ricadente nel fuso individuato dal Capitolato ANAS, sono necessari filler e tre frazioni di aggregato: sabbia, pietrisco calcareo e pietrisco pozzolanico. In Tabella 5 vengono riportate le specifiche per ogni frazione utilizzata.

Tabella 5 - Caratteristiche delle frazioni granulometriche utilizzate

Caratteristiche	Unità	Pietrisco 1.5 bianco	Pietrisco 1.5 nero	Sabbia frantoio	Filler	Standard
Indice di appiattimento	%	5	-	-	-	EN 933-3:2012
Peso reale specifico	g/cm ³	-	-	-	2.848	EN 1097- 7:2008
Peso specifico apparente	g/cm ³	2.844	3.568	2.852	-	EN 1097- 6:2013
Resistenza Los Angeles	%	17	10	-	-	EN 1097- 2:2020
Suscettibilità al gelo	%	0.5	0.5	-	-	CNR 80/80
Altezza in sabbia	%	-	-	85	-	EN 933-8:2012

Nella Tabella 6 sono riportate le percentuali di frazioni granulometriche da cui è costituita la miscela di aggregati mentre in Figura 3 è riportato il fuso granulometrico indicato dal capitolato ANAS grazie al quale è stato possibile individuare la curva granulometrica ottima, ovvero, la curva granulometrica media del fuso preso in considerazione.

Tabella 6 – Curve granulometriche

Setacci	Passante curva superiore [%]	Passante curva inferiore [%]	Passante curva media [%]
31.5	100.00	100	100
20	100.00	100	100
14	90	100	95
8	12	35	24
4	7	18	13
2	6	12	9
0.5	5	11	8
0.25	5	10	8
0.063	4	8	6

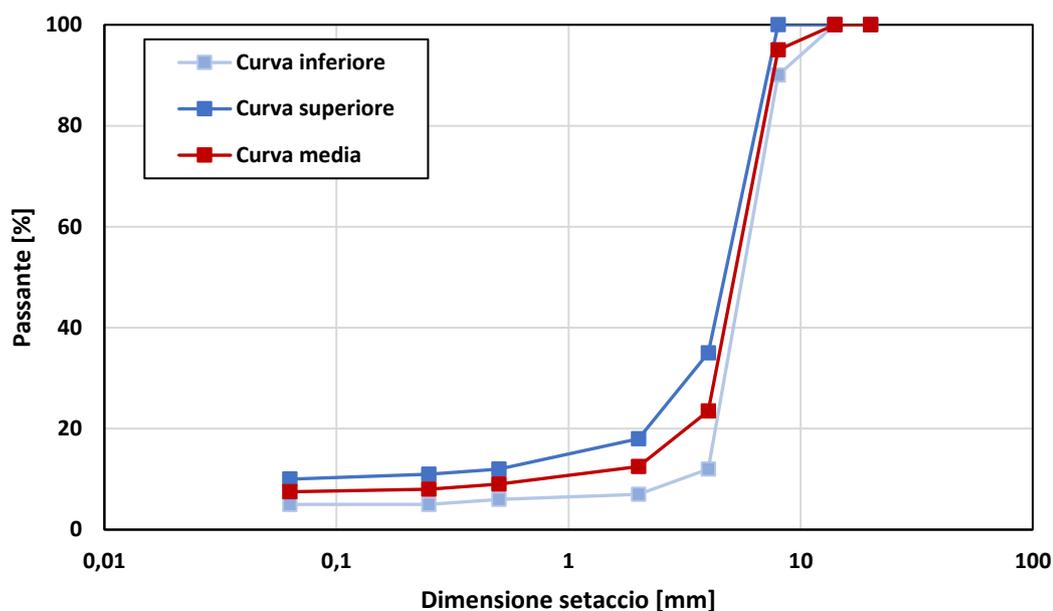


Figura 3- Curva granulometrica

3.1.3. FISH NET

Per il seguente lavoro di tesi, sono state utilizzate quattro tipologie differenti di reti da pesca, le quali si presentano aggrovigliate e prive di impurità o corpi estranei grazie al servizio svolto in acque marine durante il proprio ciclo di vita utile. Per le attività sperimentali svolte in laboratorio, è stato necessario sottoporre le reti a un processo di lacerazione e successiva tritatura manuale; sono state rinominate **FN1**, **FN2**, **FN3** e **FN4** e si distinguono per caratteristiche fisiche e chimiche che, a seguire, vengono descritte.

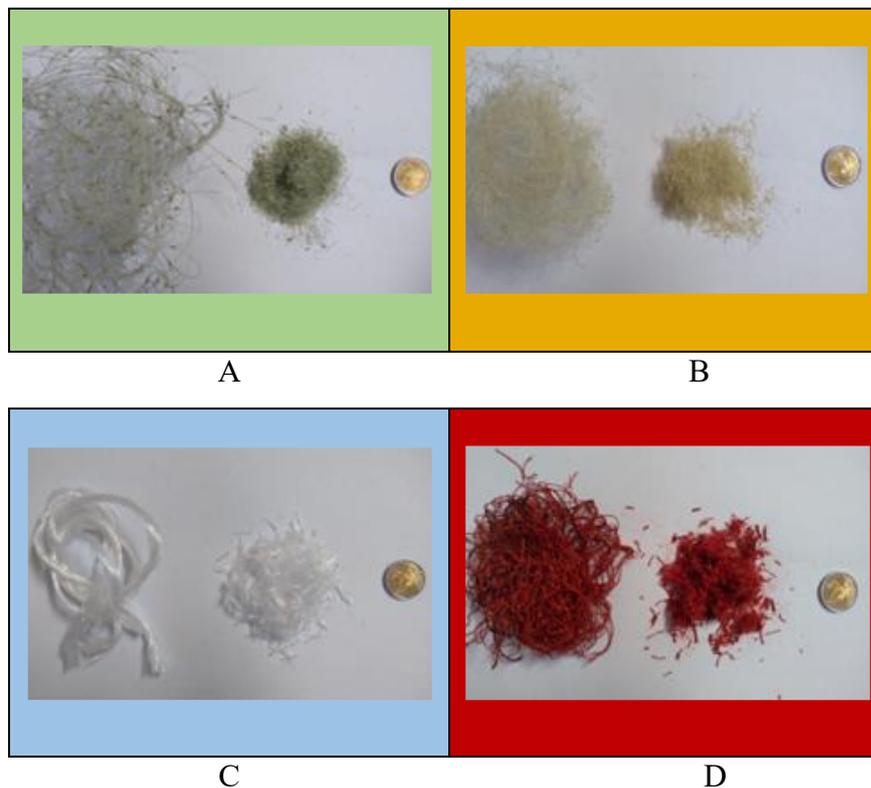


Figura 4 - Tipologie di reti da pesca coinvolte nel piano sperimentale: A) FN1; B) FN2; C) FN3, D) FN4

La **FN1** (Figura 4.A) è una rete a maglie quadrate che si presenta indeformabile ma flessibile, inguallabile e particolarmente dura a causa del notevole diametro dei fili con cui è stata realizzata; è caratterizzata da una tonalità verde-giallastra e manifesta poca suscettibilità al taglio nella fase di preparazione dei materiali.

La **FN2** (Figura 4.B) è una rete a maglie quadrate di dimensioni inferiori alle maglie della rete **FN1** rispetto alla quale si presenta meno elastica in quanto i fili con cui è stata realizzata sono molto sottili; si distingue dalle altre tipologie di reti oggetto di studio per la sua tonalità opaca tendente al giallo e per la sua suscettibilità al taglio nella fase di preparazione dei materiali.

La **FN3** (Figura 4.C) è un cordino morbido ma resistente con cui è possibile cucire o riparare le reti da pesca oppure può essere utilizzato per legature nel settore nautico; è caratterizzato da una notevole flessibilità e si presenta con una tonalità prettamente biancastra: è il materiale che si distingue per la sua elevata suscettività al taglio nella fase di preparazione dei materiali.

La **FN4** (Figura 4.D) è una rete a maglie quadrate che si presenta particolarmente guallabile ma molto resistente; infatti, è il materiale che ostenta una maggiore difficoltà al taglio durante la fase preparatoria tra i quattro considerati. La **FN4** è caratterizzata da una tonalità rossastra e dalla tendenza ad assumere una consistenza filamentosa.

3.2. METODI

3.2.1. CARATTERIZZAZIONE DEL CONGLOMERATO CON IL METODO A SECCO (DRY METHOD)

Il conglomerato è stato caratterizzato con il metodo dry, il quale prevede l'inserimento dell'additivo nella miscela subito dopo l'introduzione degli aggregati ma prima che venga aggiunto il legante.

Al fine di non compromettere la corretta adesione del bitume sugli aggregati costituenti lo scheletro solido della miscela, è necessario che i vari elementi del conglomerato siano sottoposti a un riscaldamento preliminare di circa 24 h che gli conferisca la rispettiva temperatura di miscelazione, temperatura che varia in funzione degli elementi utilizzati e che, nel caso oggetto di studio, è pari a 170 °C.

La miscelazione avviene in un mixer da laboratorio (INFRATEST) nel quale vengono inizialmente inseriti gli aggregati e la rete da pesca opportunamente triturrata in una quantità pari al 2% del peso degli inerti; solo quando la miscelazione dei due componenti utilizzati raggiungerà la temperatura di miscelazione sarà possibile introdurre il bitume in una percentuale pari al 5,1% del peso degli aggregati con cui si vuole produrre la miscela. Il filler verrà introdotto solo quando il bitume avrà ricoperto gli elementi costitutivi lo scheletro solido al fine di non compromettere la corretta adesione del legante da cui dipende la qualità del conglomerato bituminoso ottenuto. La fase di miscelazione si conclude quando il conglomerato avrà raggiunto l'apposita temperatura di miscelazione effettuando controlli visivi reiterativi con una frequenza di cinque minuti trascorsi dopo il primo quarto d'ora di miscelazione. Al termine di questa fase è possibile procedere alla caratterizzazione volumetrica e meccanica del conglomerato bituminoso.



A



B

Figura 5 - Miscelatore Infratest testing system

3.2.1.1. PROVA DI ADDENSAMENTO

La caratterizzazione volumetrica del conglomerato segue quanto previsto dalla EN 12697 – 31 [20]; la prova si svolge disponendo la miscela in apposite fustelle cilindriche in acciaio aventi un diametro di 100 mm (Figura 6) all'interno delle quali viene steso un rivestimento di olio e, in corrispondenza della base del provino, vengono disposti dei dischi in carta filtrante per impedire che il provino stesso aderisca alla fustella al termine della prova.

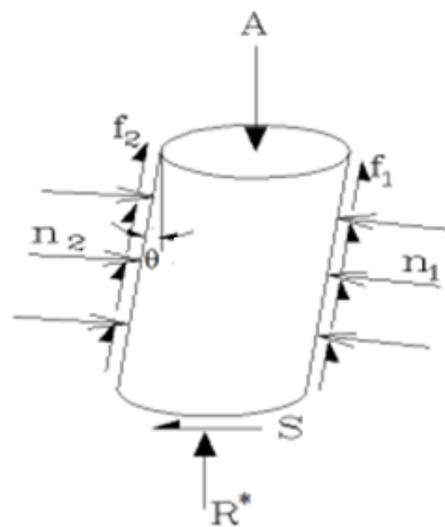


Figura 6 - Fustella da 100 mm per la preparazione dei provini

La prova avviene nella pressa giratoria con la quale è possibile simulare il processo di costipamento in vera grandezza. In Figura 7 viene mostrata la pressa giratoria utilizzata per il confezionamento dei campioni cilindrici introducendo la fustella contenente il conglomerato.



A



B

Figura 7 - Pressa giratoria

Il compattatore è composto da una cella termostatica all'interno della quale avviene la prova grazie a un pistone che, ancorato a un telaio di contrasto, è in grado di esercitare una pressione di 600 MPa sull'estradosso del campione di conglomerato bituminoso inserito all'interno della fustella cilindrica. L'asse del pistone è perpendicolare al telaio ma l'asse della fustella è inclinato di $1,25^\circ \pm 0,02^\circ$ rispetto all'orizzontale per garantire un continuo riassetamento degli inerti costituenti il conglomerato. In questa configurazione avviene la compattazione del campione, all'interno della fustella, che ruota attorno al proprio asse longitudinale ad una velocità di 30 giri/minuto. Un comparatore collegato al pistone misura l'altezza del campione ad ogni rotazione compiuta. Nella Tabella 7 sono riassunte le caratteristiche della pressa giratoria.

Tabella 7 - Caratteristiche tecniche della pressa giratoria

CARATTERISTICHE	VALORI
Pressione [MPa]	600
Inclinazione asse della fustella	$1,25^\circ \pm 0,02^\circ$
Velocità di rotazione [giri/minuto]	30

La metodologia SUPERPAVE individua tre parametri energetici di costipamento:

- N1 per l'energia di compattazione iniziale,
- N2 per l'energia di compattazione di progetto,
- N3 per l'energia di compattazione massima

In Tabella 8 sono riportati i parametri energetici e le minime percentuali di volume dei vuoti corrispondenti da rispettare al fine di avere un conglomerato bituminoso per un'usura drenante idoneo per la realizzazione della pavimentazione stradale.

Tabella 8 - Parametri energetici e percentuale del volume dei vuoti previsti dal capitolato

	USURA DRENANTE (DR)	% VOLUME DEI VUOTI
N1	10	≥ 28
N2	50	≥ 22
N3	130	≥ 20

Il volume dei vuoti per provini confezionati viene determinato mediante l'ausilio di una bilancia idrostatica determinando il peso secco, il peso in acqua e il peso con superfici sature asciutte. La prova è normata dalla CNR B.U. n°40/73 [21] la quale prevede che ogni estradosso del provino sia immerso di 50 mm del pelo libero della vasca.



A



B

Figura 8.A) - provino in condizioni asciutte; Figura 8.B) provino immerso in acqua per la prova in bilancia idrostatica.

Ogni miscela è caratterizzata da due parametri:

- L'addensabilità Γ che esprime l'attitudine di un materiale ad assumere una propria configurazione in uno scheletro litico;
- La lavorabilità K che esprime la velocità con cui un conglomerato bituminoso raggiunge un livello di addensamento.

L'esito della prova è rappresentabile su un piano semilogaritmico con un grafico $\text{Log } N - \Gamma$. Seguono le curve che descrivono le leggi dell'addensabilità delle quattro miscele in funzione del numero di giri della pressa giratoria in scala logaritmica a base decimale.

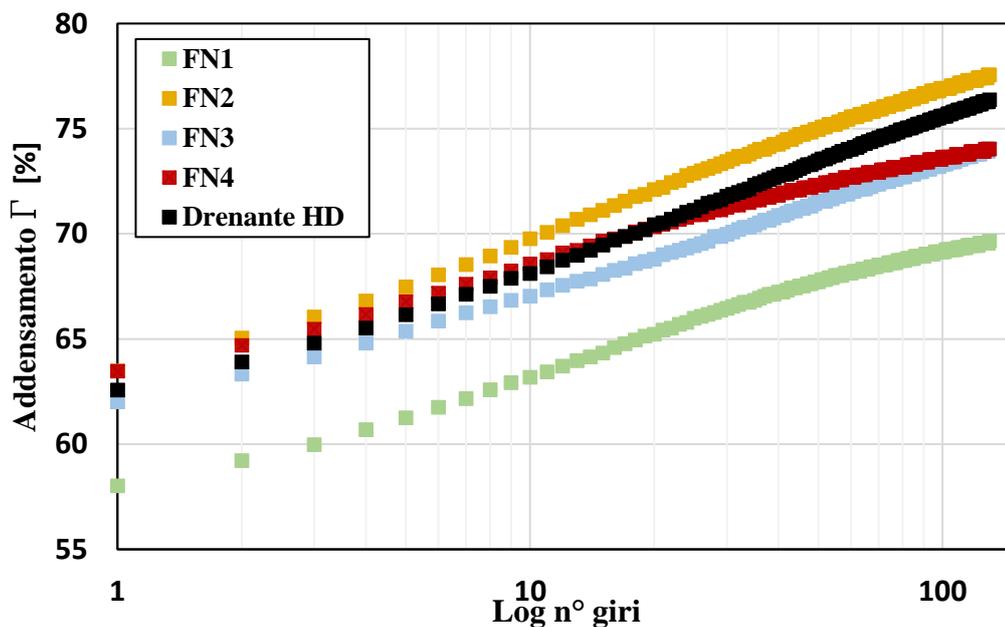


Figura 8 - Risultati ottenuti dalla prova di addensamento per le quattro miscele in termini di Γ e K

I risultati ottenuti dalla prova di addensamento svolta per le quattro miscele sono esprimibili anche in termini geometrici se viene considerata la percentuale di volume dei vuoti (V_a) che caratterizzano i conglomerati bituminosi oggetto di studio.

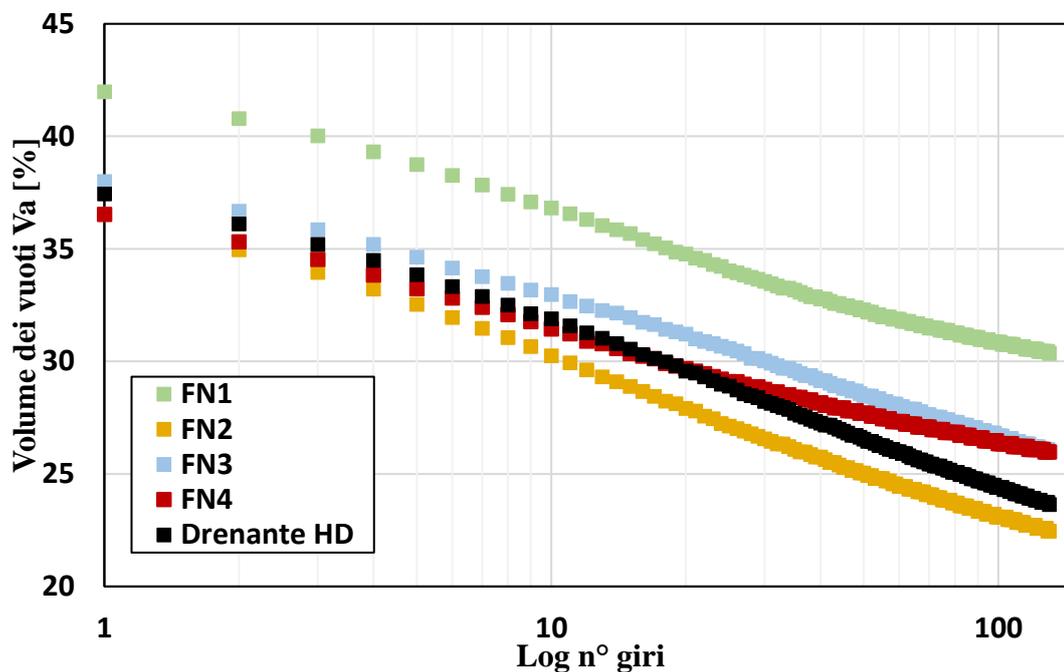


Figura 9 - Risultati dedotti dalla pressa giratoria per le quattro miscele in termini di V_a

In Tabella 9 vengono riportati i risultati ottenuti in termini di percentuale del volume dei vuoti (V_a) ottenuti dalle prove svolte nella pressa giratoria con le quattro miscele oggetto di sperimentazione.

Tabella 9 - Risultati ottenuti in termini di V_a delle miscele oggetto di studio relativi ai tre parametri energetici

MISCELA	PARAMETRI ENERGETICI		V_a min	V_a
FN1	N1	10	≥ 28	36.82
	N2	50	≥ 22	32.28
	N3	130	≥ 20	30.34
FN2	N1	10	≥ 28	36.53
	N2	50	≥ 22	25.04
	N3	130	≥ 20	22.46
FN3	N1	10	≥ 28	32.97
	N2	50	≥ 22	28.45
	N3	130	≥ 20	25.96
FN4	N1	10	≥ 28	31.44
	N2	50	≥ 22	27.69
	N3	130	≥ 20	25.97
Drenante HD	N1	10	≥ 28	31.90
	N2	50	≥ 22	26.50
	N3	130	≥ 20	23.60

3.2.1.2. PROVA DI TRAZIONE INDIRETTA

La trazione indiretta è normata dalla EN 12697 – 23 [22] e permette di determinare la resistenza a trazione di un conglomerato bituminoso, valore inquantificabile con un metodo diretto per le difficoltà pratiche che i conglomerati bituminosi manifestano nell'esecuzione di questo genere di prove.

La prova di trazione indiretta avviene in una pressa costituita da un telaio, di altezza regolabile per accogliere il campione cilindrico in conglomerato bituminoso, al quale sono ancorate delle piastre tramite dei perni longitudinali. La superficie delle piastre non è a diretto contatto con il provino in quanto il caricamento avviene lungo una generatrice cilindrica grazie a dei listelli.



Figura 10 - Campione sottoposto a prova di trazione indiretta

La pressa con cui si svolge la prova ha una velocità di avanzamento costante pari a 50 mm/min ed è monitorata da remoto con un computer tramite il quale è possibile tarare e azionare la macchina. La prova, che prevede la distruzione dei provini, consiste nell'applicazione di un carico lungo l'asse verticale la cui entità aumenta nel tempo; si procede, dunque, con il posizionamento del campione cilindrico tra i due listelli ancorati alle due piastre e con un software installato nel computer è possibile inserire i dati del provino come la sua altezza e il diametro i cui valori sono ottenuti da una media di diverse misurazioni effettuate in punti differenti del campione in oggetto. La verifica delle proprietà meccaniche di un conglomerato bituminoso si basa sul rispetto di due parametri in particolare: la resistenza a trazione indiretta (ITS) e il coefficiente di trazione indiretta (CTI). La resistenza a trazione indiretta (ITS) è la massima tensione di trazione applicata su un

piano diametrale di un provino cilindrico fino a provocarne la propria rottura. Ogni provino richiede un preliminare condizionamento termico a 25 °C per un tempo pari ad almeno quattro ore. La resistenza a trazione indiretta è calcolabile con la seguente formula:

$$ITS = \frac{2P}{\pi h D}$$

Dove

- P è il carico massimo in N in corrispondenza del quale avviene la rottura del provino;
- D è il diametro medio del provino cilindrico in mm;
- h è l'altezza media del provino cilindrico in mm.

Il coefficiente di trazione indiretta viene invece calcolato con la seguente formula:

$$CTI = \frac{\pi ITS}{2 \varepsilon_{rc}}$$

Dove ε_{rc} è la deformazione a rottura del provino.

Da ogni prova si determinano il Coefficiente di Trazione Indiretta e la Resistenza a Trazione Indiretta che devono rientrare negli intervalli riportati in Tabella 10.

Tabella 10 - intervallo di valori di Rt e CTI per usura drenante previsti da capitolato.

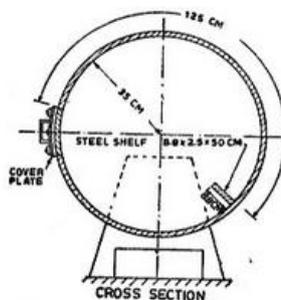
USURA DRENANTE	
ITS [GPa x 10 ⁻³]	0.34 ÷ 0.58
CTI [GPa x 10 ⁻³]	≥ 20

3.2.1.3. PROVA CANTABRO

La prova Cantabro è normata dalla EN 12697 - 17 [23] e permette di determinare la resistenza all'abrasione del conglomerato bituminoso. La prova è stata svolta in assenza di cariche abrasive con la macchina Los Angeles la cui configurazione prevede un tamburo cilindrico rotante all'interno del quale vi è un setto orizzontale.



A



B

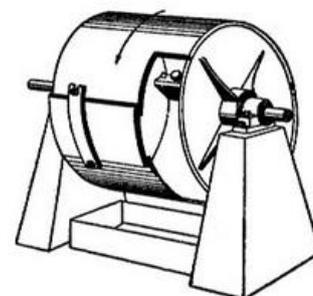


Figura 11 - macchina Los Angeles per lo svolgimento della prova Cantabro

Per ogni conglomerato da testare, è necessario confezionare almeno cinque provini cilindrici

compattati nella pressa giratoria a 40 giri. I provini vanno rivestiti con un doppio involucro plastificato al fine di contenere le particelle distaccate dal provino originario che potrebbero, oltre a non mantenere le corrette condizioni di pulizia del tamburo, alterare i risultati della prova fungendo da non desiderate cariche abrasive.



A



B

Figura 12 – provini in conglomerato bituminoso utilizzati per la prova Cantabro; Figura 13.A) Provini ad inizio prova; Figura 13.B) provini a fine prova.

I provini messi in rotazione per lo svolgimento della prova, grazie alla presenza del setto, vengono trascinati fino al colmo e poi lasciati cadere generando l'effetto più gravoso. Il tamburo ruota con una velocità di 31 – 33 giri al minuto per eseguire 300 giri. La resistenza all'abrasione del conglomerato bituminoso si determina quantificando la perdita di massa dei campioni (PL) a test ultimato:

$$PL = 100 \times \frac{W_1 - W_2}{W_1}$$

Dove:

PL è la percentuale delle particelle distaccate dai provini a fine prova;

W_1 è la massa del provino ad inizio prova espressa in grammi;

W_2 è la massa del provino a fine prova espressa in grammi.

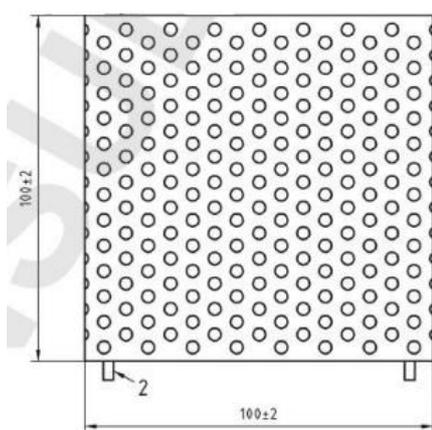
A prova conclusa è quindi necessario pulire il tamburo da potenziali particelle di conglomerato bituminoso disperse al suo interno prima di testare il successivo provino.



Figura 13 –provinci in conglomerato bituminoso con cui è stata svolta la prova Cantabro

3.2.1.4. PROVA DRENAGGIO DEL BITUME

La prova per determinare il drenaggio del legante in una miscela bituminosa è normata dalla EN 12697 - 18 [24] e consente di determinare la velocità con cui il bitume tende a fluire dallo scheletro solido del conglomerato confezionato. La prova avviene versando la miscela da testare in un cestello cubico in acciaio dalle dimensioni 100 ± 2 mm. La superficie laterale e la base del contenitore in oggetto sono caratterizzate da fori circolari con un diametro di 3,15 mm per consentire al bitume di fluire per peso proprio quando raggiungerà le alte temperature di prova; la base del cestello è, inoltre, dotata di alcuni supporti con cui viene garantita l'intercapedine necessaria affinché il bitume possa defluire dal cestello e depositarsi sul sottostante vassoio. Dopo aver misurato il peso lordo del cestello colmo di conglomerato e del relativo vassoio, si procede nel sottoporre il campione in stufa per tre ore, con la relativa attrezzatura di configurazione, alla temperatura di compattazione.



A



B

Figura 14 - Cestello cubico in previsto dalla norma EN 12697

Al fine di determinare la quantità di bitume che il conglomerato ha perso (BD) durante il riscaldamento, è necessario misurare il peso della miscela, comprensivo di cestello e vassoio,

a prova terminata e di sottrarlo dal peso misurato ad inizio prova; in questo modo è possibile quantificare il peso del legante fluito per peso proprio. La quantità di materiale drenato viene calcolata con la seguente formula:

$$BD = 100 \times \frac{W_2 - W_1}{A + B + X}$$

dove:

W_1 = massa del solo vassoio sottostante il cestello, espressa in grammi;

W_2 = massa finale del vassoio con il materiale drenato a fine prova, espressa in grammi;

A = massa iniziale di aggregati nella miscela, espressa in grammi;

B = massa iniziale di legante nella miscela, espressa in grammi;

X = massa iniziale di fibre nella miscela, espressa in grammi.

3.2.1.5. ROLLER COMPACTOR

Le prove superficiali si svolgono su piastre di dimensioni 305 mm x 305 mm x 50 mm prodotte dal Roller Compactor, una macchina che funziona con un sistema elettromeccanico, quindi, senza necessitare fonti di aria o pressione idraulica.



Figura 15 - Roller Compactor

Si procede versando la miscela in una cassaforma rettangolare rivestita di olio e carta filtrante per evitare l'adesione del campione a prova ultimata. La compattazione avviene con un rullo a rotazione alternata che simula l'azione di un rullo stradale in cantiere in una camera termostatica. Le piastre ottenute vengono rimosse dalle rispettive casseforme e poi sottoposte alle prove superficiali. Si osserva che per ogni miscela sono state realizzate due

piastre quindi i risultati delle prove altezza in sabbia, prove di attrito radente, prove di permeabilità e wheel tracker test sono valori medi di quelli ottenuti dalle prove svolte su entrambe le piastre.



Figura 16 – Piastra in conglomerato bituminoso utilizzata per le prove superficiali;

3.2.1.6. PROVE SUPERFICIALI

3.2.1.6.1. PROVA DI ALTEZZA IN SABBIA

La prova di altezza in sabbia è normata dalla EN 933 - 8 [25] e consente di determinare la macro-rugosità dello strato di usura stimando l'altezza media delle asperità della piastra in conglomerato bituminoso realizzata appositamente per svolgere la prova. Un fissato volume di sabbia pari a 25 cm^3 (Figura 17.A) viene steso su una superficie di prova, spazzolata e pulita da ogni eventuale parte inquinante, creando un'area di forma circolare. L'operatore con un tampone in gomma in neoprene distribuisce la sabbia in un'area il più possibile circolare fino a che non si potrà ulteriormente disperdere. Si misurano due diametri ortogonali dell'area individuata e si calcola il valor medio in modo tale da stimare l'area circolare coperta dalla sabbia (Figura 17.B). Il rapporto tra il volume di sabbia e l'area ricoperta fornisce il valor medio delle asperità superficiali ed è indicato come "altezza media di sabbia" della pavimentazione.

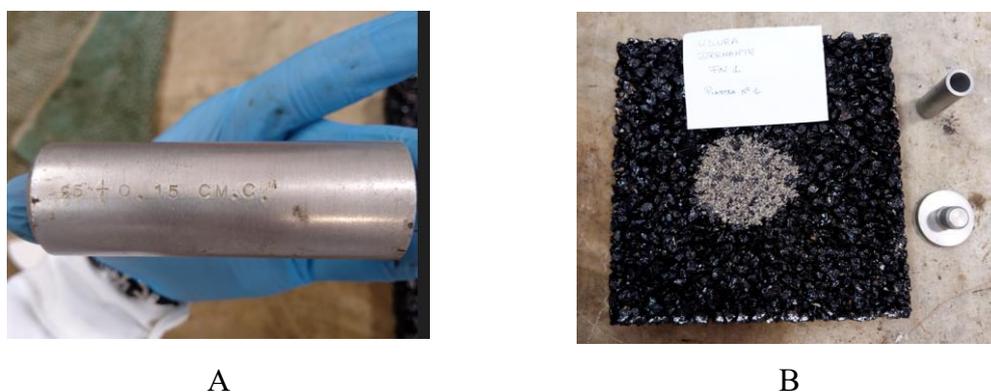


Figura 17 - Prova di altezza in sabbia; Figura 18.A) Volume di sabbia previsto dalla norma EN 933 – 8; Figura 18.B) Prova di altezza in sabbia svolta sulla piastra.

In Tabella 11 vengono riportati i valori stabiliti dalla norma di riferimento.

Tabella 11 - Valori di HS imposti dalla norma EN 933 - 8

ALTEZZA IN SABBIA [mm]	MACRO-RUGOSITA'
$HS \leq 0,20$	Molto fina
$0,20 \leq HS \leq 0,40$	Fina
$0,40 \leq HS \leq 0,80$	Media
$0,80 \leq HS \leq 1,20$	Grossa
$HS \geq 1,20$	Molto grossa

3.2.1.6.2. PROVA DI ATTRITO RADENTE

Lo skid tester è la prova per determinare l'attrito radente dello strato di usura in condizioni bagnate ed è normata dalla EN 13036 – 4 [26]. Lo svolgimento della prova richiede di una piastra prodotta dal Roller Compactor e di un misuratore portatile a pendolo all'estremità del quale è presente un pattino di gomma che, cadendo da un'altezza nota, oscilla sulla pavimentazione.



Figura 18 - Strumento portatile per l'esecuzione dello Skid tester

Il risultato della prova consiste nella lettura dell'altezza di risalita raggiunta dal pattino, dopo che ha slittato sulla pavimentazione, tramite l'opportuna scala graduata incorporata allo strumento. La prova viene reiterata per cinque volte ma solo le ultime tre letture vengono considerate per determinare il British Pendulum Number (BPN), cioè, il parametro che descrive la resistenza allo slittamento tenendo conto di un fattore correttivo che dipende dalla temperatura dell'ambiente in cui si svolge la prova. Al fine di ottenere risultati corretti e veritieri, è necessario prestare particolare attenzione ai passi previsti in fase preliminare allo svolgimento della prova:

- Centrare la livella sferica installata sulla base dello strumento per avere la certezza di svolgere la prova nella sua corretta configurazione;
- Proseguire, e ripetere per altre due volte, con lo azzeramento strumentale in modo tale da leggere valori più veritieri possibili a prova terminata;
- Verificare la perpendicolarità del pattino rispetto alla superficie della piastra, quindi, nella posizione in cui il pendolo ha la sua massima energia potenziale;
- Posizionare la lima in acciaio a corredo dello strumento sulla piastra e tarare il pendolo in modo tale che ricada nell'intervallo di 76 mm individuato dalle tacche incise sulla lima.

Le prove per determinare i valori di BPN sono state svolte sulle quattro miscele oggetto di studio tenendo in considerazione, tramite un coefficiente correttivo, della temperatura dell'ambiente in cui è contestualizzata la prova. Si osserva che per ogni singola miscela sono state realizzate due piastre con il Roller Compactor per ognuna delle quali è stato ricavato un valore di BPN.

3.2.1.6.3. PROVA DI PERMEABILITA'

La prova di permeabilità è normata dalla UNI EN 13036 - 6 [27] e ha l'obiettivo di stimare il tempo di cui necessita la pavimentazione in oggetto ad allontanare le acque che precipitano su di essa. La prova avviene su una piastra prodotta dal Roller Compactor sulla quale viene posizionato un cilindro di plexiglass all'interno del quale vengono versati 10 litri di acqua che vengono lasciati fluire. La colonna in plexiglass poggia sulla piastra tramite un neoprene che aderisce alle asperità e la stabilità è garantita da un collare dal peso di 20 kg che grava sulla base in gomma. L'acqua fluisce lateralmente per drenaggio della superficie della piastra in conglomerato bituminoso e il cilindro è dotato di due tacche che consentono di materializzare visivamente la quantità di acqua effluente; sono richiesti decine di secondi per le miscele molto drenanti e un tempo praticamente infinito per miscele non drenanti.



Figura 19 – Cilindro graduato con apposito collare per la prova di permeabilità

La prova è stata ripetuta tre volte per ogni piastra e ne è stato calcolato un tempo medio dalle tre misurazioni di tempo necessario affinché l'acqua possa effluire dalla base del cilindro.

3.2.1.7. PROVA DI RESISTENZA ALL'ORMAIAMENTO

La prova svolta con la wheel tracker machine è quella normata dalla EN 12697 - 22 [28] che consente di stimare la resistenza a deformazione permanente di un conglomerato bituminoso. La prova prevede una camera termostatica a una temperatura di 60 °C all'interno della quale è installata una ruota che esercita il peso proprio su una piastra in conglomerato bituminoso prodotta dal Roller Compactor.



Figura 20 - Wheel tracker machine

La piastra, sottoposta a un preliminare condizionamento per almeno 12 ore alla temperatura di prova, è fissata su un piano mobile sul quale scorre ciclicamente lungo due binari per una corsa di 230 ± 10 mm. Il test prevede 20000 passaggi della ruota avente le seguenti caratteristiche:

- rivestimento di gomma piena di durezza pari a 80 ± 5 IRHD;
- diametro esterno pari a 200 mm;
- superficie liscia e battistrada pari a sezione rettangolare di larghezza pari a 50 mm.

Sulla ruota grava un peso di 735 kN e la frequenza è di 26 ± 1 ciclo al secondo. L'esito della prova consiste nella misura dell'affondamento in millimetri che si manifesta sulla piastra in prossimità della porzione di piastra battuta dalla ruota. La prova è stata ripetuta due volte per ogni miscela realizzata.

Nella Tabella 12 vengono riassunte le caratteristiche tecniche della prova.

Tabella 12 - Caratteristiche tecniche della prova WTM

CARATTERISTICHE	VALORI
Area impronta carico [mm²]	100
Lunghezza corsa piano mobile [mm]	230 ± 10
N° cicli	20000
Frequenza carico [Hz]	0,385
Carico [N]	735
Durezza ruota [IRHD]	80 ± 5
Diametro ruota [mm]	200
Battistrada ruota [mm]	50
Temperatura [°C]	60

3.3. CARATTERIZZAZIONE DELLE RETI

Le reti sono state caratterizzate chimicamente mediante calorimetria differenziale a scansione, nota anche con l'acronimo DSC, su campioni di una decina di mg. La prova prevede di sottoporre il materiale a due rampe di riscaldamento tra i 28°C e 260 °C, dove la prima rampa è necessaria per azzerare la storia termica del campione. A prova ultimata si ottengono delle curve con picchi, ognuno dei quali è caratteristico di una sostanza chimica; quindi, è possibile individuare la sostanza chimica con cui sono state realizzate le reti studiando i picchi ottenuti come risultati della prova.

Seguono i quattro termogrammi ottenuti dal DSC per ogni miscela esaminata:

- Per la miscela realizzata con **FN1** è stato esplorato con un campione di 10.1 mg un intervallo di temperatura compreso tra 30 °C e 260 °C. Il termogramma mostrato in Figura 14 è identificativo del Nylon.

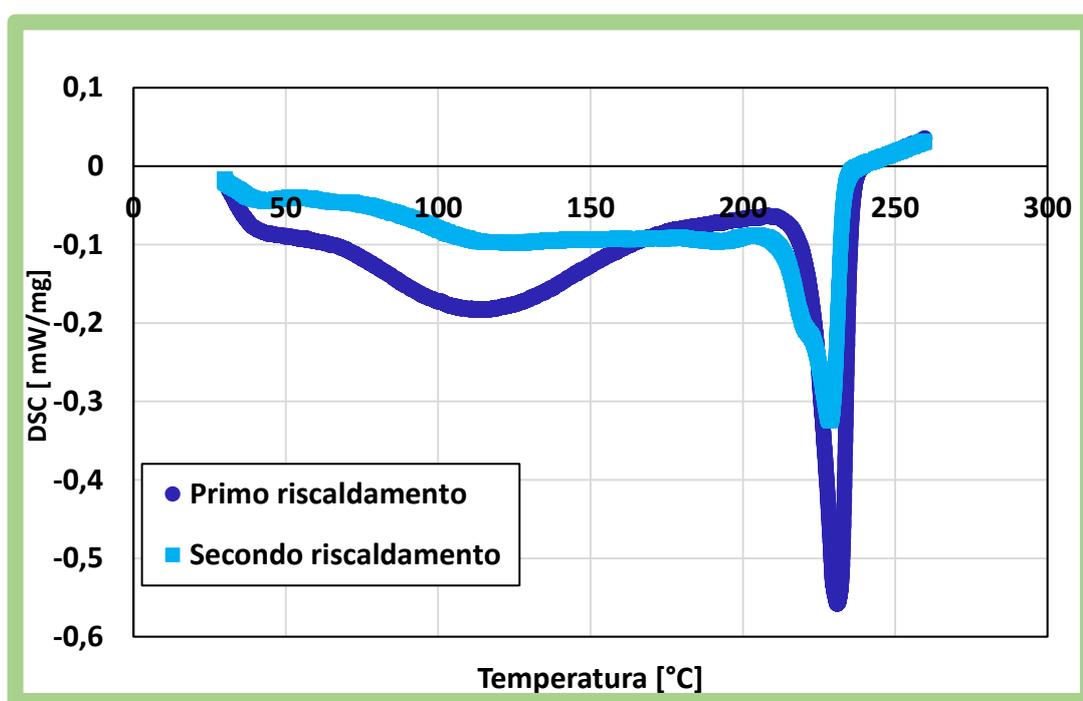


Figura 21 - DSC effettuato sulla FN1

- Per la miscela realizzata con **FN2** è stato esplorato con un campione di 9.9 mg un intervallo di temperatura compreso tra 30 °C e 260 °C. Dal termogramma si leggono due picchi a 106°C e 231°C e anche questo identifica il Nylon.

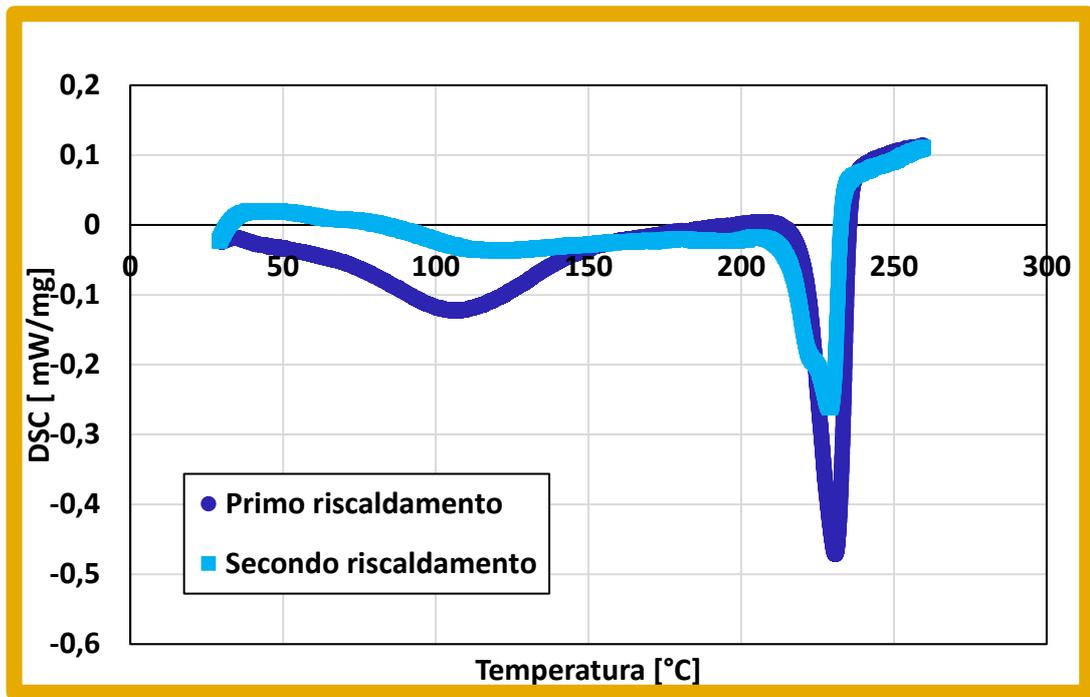


Figura 22 - DSC effettuato sulla FN2

- Per la miscela realizzata con **FN3** è stato esplorato con un campione di 10 mg un intervallo di temperatura compreso tra 29°C e 260 °C. Nel termogramma è presente un picco a 173 °C indica la presenza di Polipropilene.

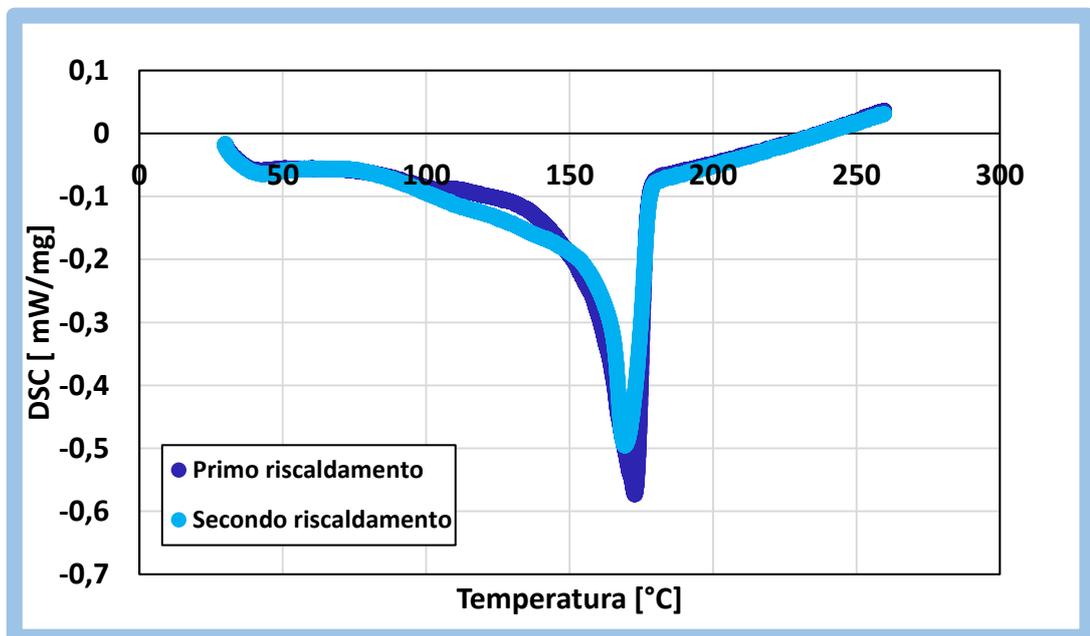


Figura 23 - DSC effettuato sulla FN3

- Per la miscela realizzata con **FN4** è stato esplorato con un campione di 10.4 mg un intervallo di temperatura compreso tra 29 °C e 260 °C. Dal termogramma si legge un picco a 122°C e questo indica la presenza di polimero amorfo.

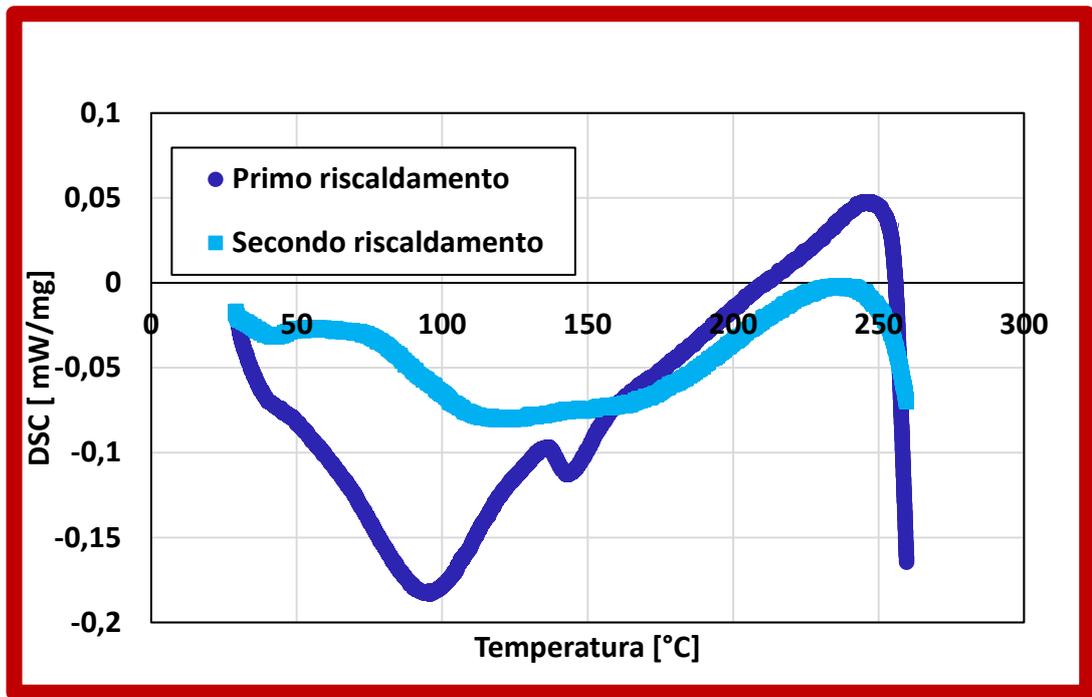


Figura 24 - DSC effettuato sulla FN4

4. RISULTATI

I risultati delle prove condotte su miscele bituminose additivate con fibre di reti da pesca, esprimono l' idoneità del materiale di scarto ad essere riutilizzato come fibre che impediscano il drenaggio del bitume dallo scheletro litico del conglomerato confezionato.

4.1. PROVA DI ADDENSAMENTO

I risultati della prova di addensamento, per ogni miscela confezionata oggetto di studio, sono rappresentati in un diagramma a scala semilogaritmica a base decimale che mette in relazione l'addensabilità del conglomerato con il numero di giri che effettua la pressa. Nel diagramma rappresentato in Figura 25 sono quindi riportate le quattro curve ottenute dall'analisi sperimentale di laboratorio.

Al fine di una corretta interpretazione analitica dei risultati, considerando però la scala logaritmica con cui viene descritto il diagramma, è consigliato interpolare ogni curva con una linea di tendenza lineare associando ai parametri geometrici, che definiscono biunivocamente ogni singola retta, un significato fisico che ne descrive l' idoneità della miscela bituminosa alla realizzazione dello strato di pavimentazione voluto. Per un'adeguata comprensione dei risultati di prova è dunque necessario stabilire una corrispondenza tra l'addensabilità e la lavorabilità di ogni miscela con il coefficiente angolare e l'ordinata di ogni singola retta interpolante le rispettive curve, in particolare:

- Il coefficiente angolare della retta indica la lavorabilità della miscela;
- L'ordinata della retta esprime l'addensabilità della miscela.

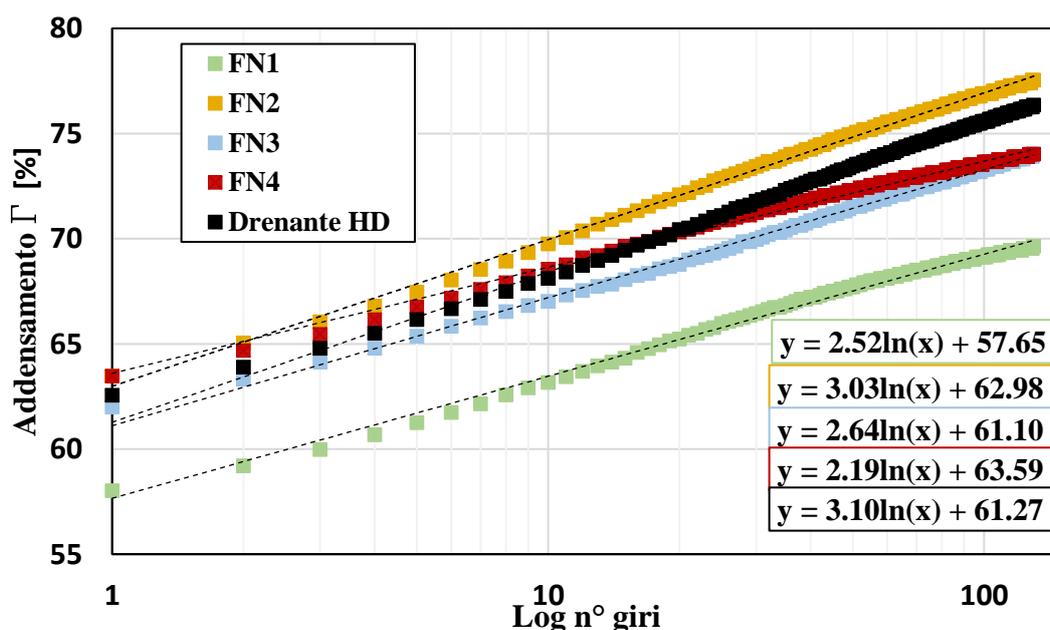


Figura 25 – Risultati ottenuti dalla rielaborazione dei dati ottenuti dalla pressa giratoria

L'addensabilità descrive l'attitudine al costipamento della miscela bituminosa e quindi la predisposizione a strutturarsi in un determinato scheletro litico con un'ideale percentuale di volume di vuoti; in particolare, valori relativamente bassi di addensabilità sono tipici di aggregati caratterizzati da notevole attrito interno a differenza di valori particolarmente elevati che indicano una bassa attitudine al costipamento del conglomerato in fase di compattazione e di esercizio.

L'attitudine al costipamento della miscela è un aspetto di fondamentale importanza in quanto il capitolato ANAS di riferimento suggerisce una percentuale del volume di vuoti a N_{MAX} pari al 20%, valore di riferimento che garantisce una certa sicurezza e comfort di marcia fino al termine della vita utile della pavimentazione e che rappresenta, inoltre, un compromesso tra un'eccessiva percentuale di volume dei vuoti, che causerebbe l'accumulo di deformazioni permanenti, e un'insufficiente percentuale di volume dei vuoti che implicherebbe l'accumulo di deformazioni a fatica. Una bassa addensabilità a N_{INIZ} implicherebbe un'eccessiva percentuale di vuoti a fine vita utile della pavimentazione, a causa della quale, la sovrastruttura accumulerebbe le connaturate deformazioni implicate dall'azione veicolare agente durante l'esercizio dell'infrastruttura viaria; nel caso opposto, quindi se la miscela si caratterizzasse per una bassa percentuale di volume di vuoti a N_{iniz} , la pavimentazione si deformerebbe a fatica prima del termine della vita utile per cui è stata progettata.

Dalle considerazioni appena descritte, si intuisce l'importanza dell'addensabilità del conglomerato bituminoso confezionato per la realizzazione di uno strato componente la sovrastruttura stradale al fine di garantire una marcia sicura e confortevole per tutti gli utenti che utilizzeranno l'infrastruttura viaria.

Un altro fattore di vitale importanza di una miscela bituminosa è la lavorabilità, cioè, quel parametro che descrive l'attitudine di un conglomerato a raggiungere un certo addensamento; elevati valori di lavorabilità caratterizzano conglomerati di facile posa in opera deducendo vantaggi economici nella fase di realizzazione della pavimentazione.

A patto che le miscele siano caratterizzate da percentuali di volume di vuoti che rispettino i limiti imposti da capitolato, nel caso in cui si voglia individuare la migliore miscela bituminosa tra le diverse proposte, il parametro discriminante prioritario è la lavorabilità, individuando così la soluzione economicamente più conveniente. Nel caso in cui le miscele proposte siano caratterizzate da valori simili di lavorabilità, il secondo parametro discriminante è l'addensabilità il quale permette di identificare la miscela con le migliori caratteristiche meccaniche individuata dal più basso valore di addensabilità.

Nella Tabella 13 vengono riassunti i valori di lavorabilità, addensabilità e percentuale del volume dei vuoti a N_{MAX} delle quattro miscele oggetto di studio. Dalle considerazioni

precedenti, si osserva che il conglomerato bituminoso più facilmente lavorabile è quello realizzato con la **FN2** la cui miscela vanta anche di considerevoli qualità meccaniche in quanto è la seconda in termini di maggiore addensabilità e in percentuale di volume dei vuoti.

Tabella 13 – Valori di Γ , K e V_a in corrispondenza dei diversi parametri energetici

MISCELA	LAVORABILITA'	ADDENSABILITA'	% VOLUME DEI VUOTI	
			N MAX	N MAX CAPITALE
FN1	2.52	57.65	30.34	
FN2	3.03	62.98	22.46	
FN3	2.64	61.10	25.96	≥ 20
FN4	2.19	63.59	25.97	
Drenante HD	3.10	61.27	23.60	

4.2. PROVA DI TRAZIONE INDIRETTA

I risultati delle trazioni indirette, ottenuti da prove distruttive svolte su quattro provini per ogni tipologia di miscela confezionata, sono espressi in termini di resistenza a trazione indiretta (ITS) e in coefficiente di trazione indiretta (CTI). I risultati ricavati sono riportati nei grafici rappresentati in Figura 26 e Figura 27.

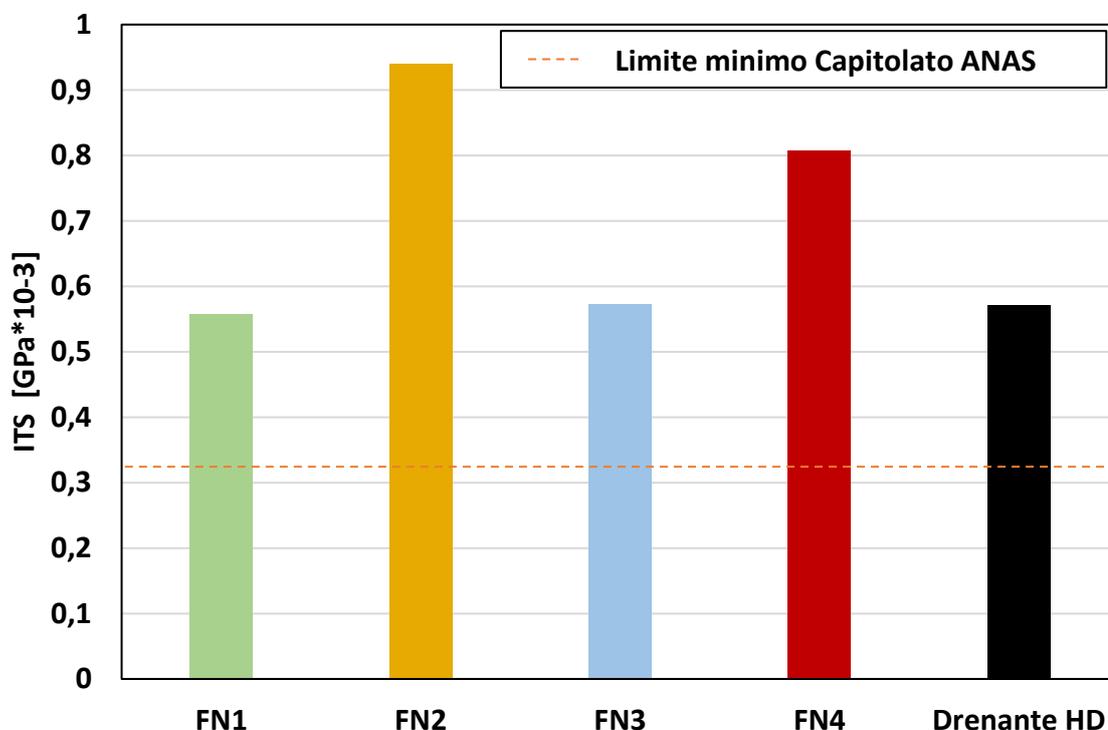


Figura 26 – Resistenza a trazione per le quattro miscele oggetto di studio

Nella Tabella 14 sono riassunti i risultati in termini di ITS delle quattro miscele oggetto di sperimentazione confrontati con la soglia prevista dal capitolato ANAS. Si nota che tutti i valori sono maggiori del minimo previsto; le miscele **FN2** e **FN4** sono quelle che si distinguono per migliori caratteristiche meccaniche mentre le miscele **FN1** e **FN3** presentano prestazioni tipiche di un drenante tradizionale.

Tabella 14 – Risultati in termini di ITS delle miscele sottoposte a trazione indiretta

MISCELA	ITS [GPa x 10 ⁻³]	ITS da capitolato [GPa x 10 ⁻³]
FN1	0.56	
FN2	0.94	
FN3	0.57	0.34 ÷ 0.58
FN4	0.81	
Drenante HD	0.57	

In Figura 27, invece, sono riportati i risultati delle prove di trazione indiretta in termini di CTI che, per semplicità di lettura, vengono riassunti in Tabella 15 e paragonati con il valore minimo previsto dal capitolato ANAS.

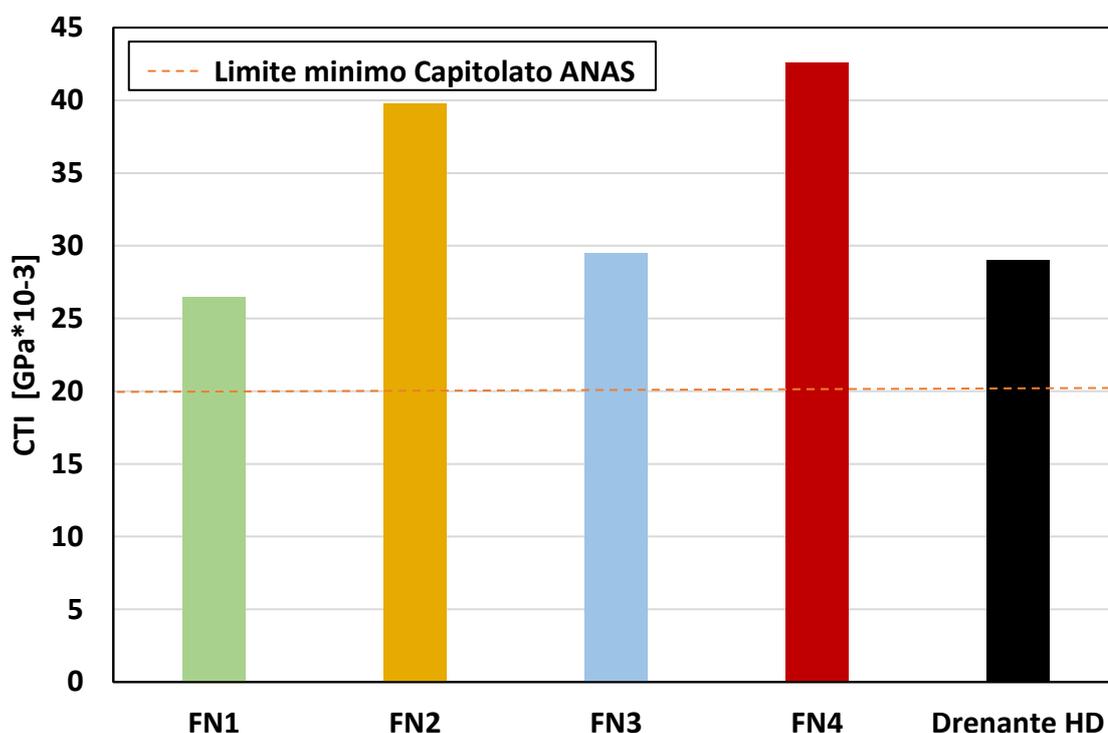


Figura 27 - CTI determinati sperimentalmente per le quattro miscele oggetto di studio

Si nota che tutti i CTI, determinati dalle prove condotte sulle quattro miscele differenti, sono maggiori del valore minimo previsto dal capitolato confermando l'ideoneità delle miscele alla realizzazione di strati di usura drenanti.

Tabella 15 – Risultati in termini di CTI delle miscele sottoposte a prove di trazione indiretta

MISCELA	CTI [GPa x 10 ⁻³]	CTI da capitolato [GPa x 10 ⁻³]
FN1	26.5	
FN2	39.8	
FN3	29.5	≥ 20
FN4	42.6	
Drenante HD	29.0	

4.3. PROVA CANTABRO

La prova Cantabro è stata eseguita per stimare la resistenza all'abrasione dei conglomerati sottoponendo i provini confezionati ad un'energica azione disgregatrice; lo scopo è quello di simulare gli effetti usuranti dovuti al traffico pesante che transiterà sulla pavimentazione realizzata con la miscela oggetto di studio.

Nell'istogramma rappresentato in Figura 28 sono riportati i risultati ottenuti dalle prove Cantabro, in termini di percentuale delle particelle distaccate dai provini a fine prova, svolte sulle quattro miscele di conglomerato bituminoso oggetto di studio. Ogni prova prevede il coinvolgimento di cinque campioni cilindrici per la singola miscela in esame, quindi, i

risultati che verranno successivamente commentati sono da intendersi come valori rappresentativi per ogni miscela bituminosa confezionata in quanto sono risultati medi dei cinque valori ottenuti per ogni prova eseguita. I valori medi ottenuti sono stati confrontati con il valore ottenuto da un conglomerato bituminoso drenante confezionato secondo prescrizioni da capitolato, e dunque, privo di fibre da reti da pesca.

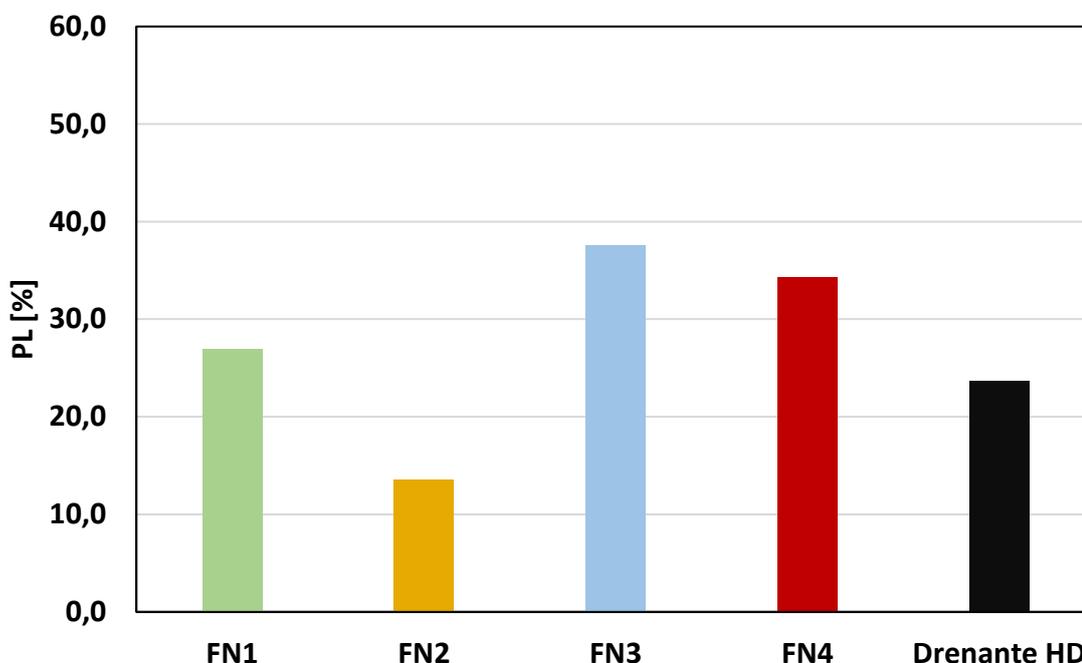


Figura 28 – Risultati in termini di PL relativi alle miscele oggetto di studio

Al fine di consentire una semplificata lettura e confronto dei risultati ottenuti dalle prove Cantabro, nella Tabella 16 sono riportati i risultati in termini di percentuale di massa distaccata mediamente dai provini realizzati per ogni miscela oggetto di studio.

Tabella 16 – Riepilogo dei valori in figura 29

MISCELA	PL [%]
FN1	26.9
FN2	13.5
FN3	37.6
FN4	34.3
DRENANTE HD	23.7

Le condizioni in cui si svolgono le prove, conferiscono ai provini energiche sollecitazioni nel momento in cui essi urtano la parete interna del tamburo in cui avviene la prova.

Dai risultati ottenuti sperimentalmente si osserva che il conglomerato bituminoso più resistente all'abrasione è quello realizzato con l'introduzione di FN2; si osserva che tale

miscela ha una maggiore resistenza all'abrasione rispetto a quella che caratterizza un tipico conglomerato destinato alla realizzazione di un'usura drenante proposta da capitolato ANAS. La miscela bituminosa meno resistente a sollecitazioni abrasive, invece, è quella confezionata con l'introduzione di **FN3**.

4.4. PROVA DRENAGGIO DEL BITUME

La prova di drenaggio del bitume prevede di determinare la velocità con cui il bitume tende a fluire dallo scheletro solido del conglomerato confezionato. I risultati delle prove, condotte sulle quattro miscele oggetto di studio, sono espressi in termini di percentuale di materiale drenato e vengono riportati nel diagramma rappresentato in Figura 29.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti da una prova svolta su una quinta miscela, idonea ad usura drenante prive di fibre da reti da pesca, confezionata secondo indicazioni da capitolato ANAS.

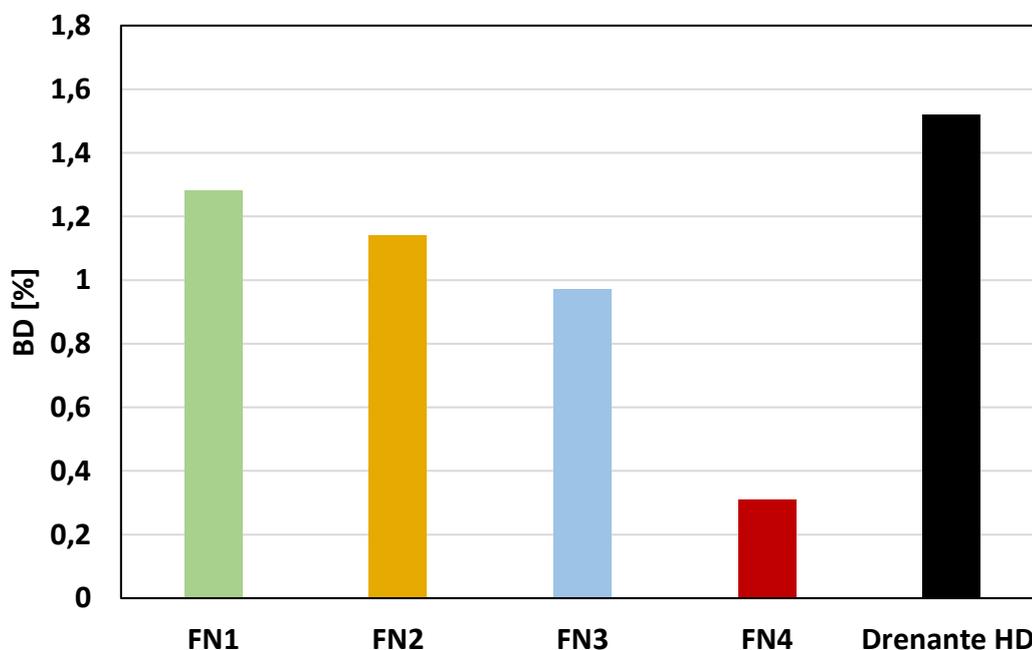


Figura 29 – Risultati relativi alle quattro reti ottenuti in termini di BD

Al fine di semplificare la lettura dei risultati di prova, in Tabella 17 vengono riportati i valori di PL ottenuti sperimentalmente dalle cinque miscele oggetto di studio.

Tabella 17 – Riepilogo dei valori ottenuti dalla prova di drenaggio del bitume

MISCELA	BD [%]
FN1	1.28
FN2	1.14
FN3	0.97
FN4	0.31
DRENANTE HD	1.52

Dai risultati ottenuti si osserva che la percentuale di materiale drenato varia per le diverse miscele prodotte in quanto è diversa l'azione di ritenuta che le fibre esercitano sul bitume utilizzato per il confezionamento dei conglomerati. Tutte le miscele additivate con fibre di reti da pesca presentano una percentuale di materiale drenato inferiore rispetto a quella drenante da un conglomerato bituminoso confezionato secondo indicazioni ANAS; in particolare, l'effetto migliore viene garantito dalla **FN4** mentre il risultato meno performante, tra quelli ottenuti dall'introduzione di una delle quattro tipologie di reti da pesca, è quello dovuto all'introduzione di **FN1** nella miscela bituminosa.

4.5. PROVE SUPERFICIALI

Le prove superficiali sono state previste nel piano sperimentale in quanto, quello oggetto di studio, è uno strato di usura drenante.

4.5.1. PROVA DI ALTEZZA IN SABBIA

La prova dell'altezza in sabbia consente di stimare la macro-rugosità del conglomerato bituminoso con cui si realizzerà lo strato di usura drenante. La prova è stata svolta per tutte le quattro miscele oggetto di studio e in particolare, per ogni miscela, sono state realizzate due piastre con il Roller Compactor; la prova di altezza in sabbia è stata svolta su ogni piastra, quindi, i risultati riportati in Tabella 18 sono risultati medi dei due valori di altezza ottenuti dalla coppia di piastre realizzate per testare ogni singola miscela.

Tabella 18 - Valori di altezza in sabbia determinati sulle piastre realizzate con le quattro miscele oggetto di studio

MISCELA	ALTEZZA IN SABBIA [mm]
FN1	2.75
FN2	2.97
FN3	2.89
FN4	2.76
DRENANTE HD	2.75

In riferimento ai valori in Tabella 18 stabiliti dalla norma EN 933 - 8, si evince che tutte le miscele confezionate con l'additivazione di reti da pesca hanno una macro-rugosità molto grossa in quanto le altezze in sabbia, determinate sperimentalmente, sono tutte maggiori di 1.20 mm e superano quindi la soglia minima prevista dal capitolato pari a 1.0 mm. Nell'istogramma in Figura 30 sono rappresentati i risultati delle prove svolte per ogni singola miscela confrontati con i valori imposti da norma.

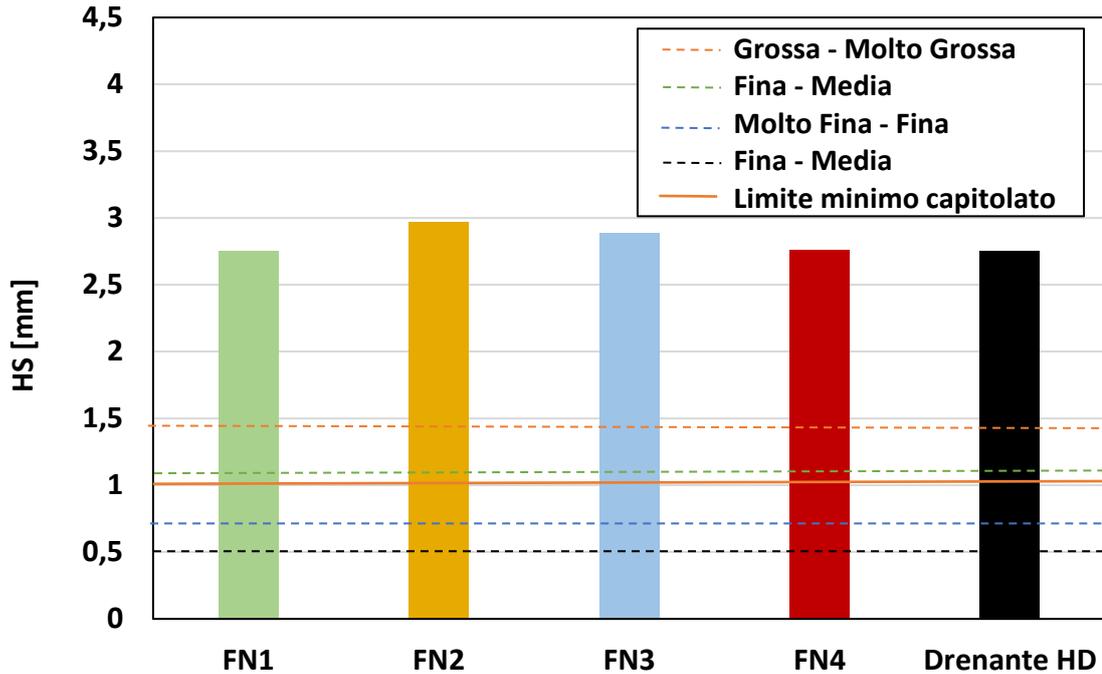


Figura 30 – Risultati delle prove di altezza in sabbia

4.5.2. PROVA DI ATTRITO RADENTE

Lo skid tester consente di determinare l'attrito radente che caratterizza l'estradosso dello strato di usura che verrà realizzato con la miscela confezionata. Nella Tabella 19 sono riportati i valori di BPN, e le relative temperature in cui sono stati ricavati, ottenuti per le prove svolte sulle quattro miscele oggetto di studio. Si osserva che per ogni miscela sono state realizzate due piastre con il Roller Compactor per ognuna delle quali è stato ricavato un valore di BPN; in tabella sono dunque riportati i valori medi ottenuti da entrambe prove.

Tabella 19 - Risultati ottenuti dallo skid tester con le quattro miscele oggetto di studio.

MISCELA	BPN	T [°C]
FN1	78.0	16
FN2	75.3	18
FN3	72.9	33
FN4	68.6	33
DRENANTE HD	54	35

Nell'istogramma in Figura 31 sono riportati i risultati delle prove eseguite paragonati al valore che caratterizza un drenante tradizionale.

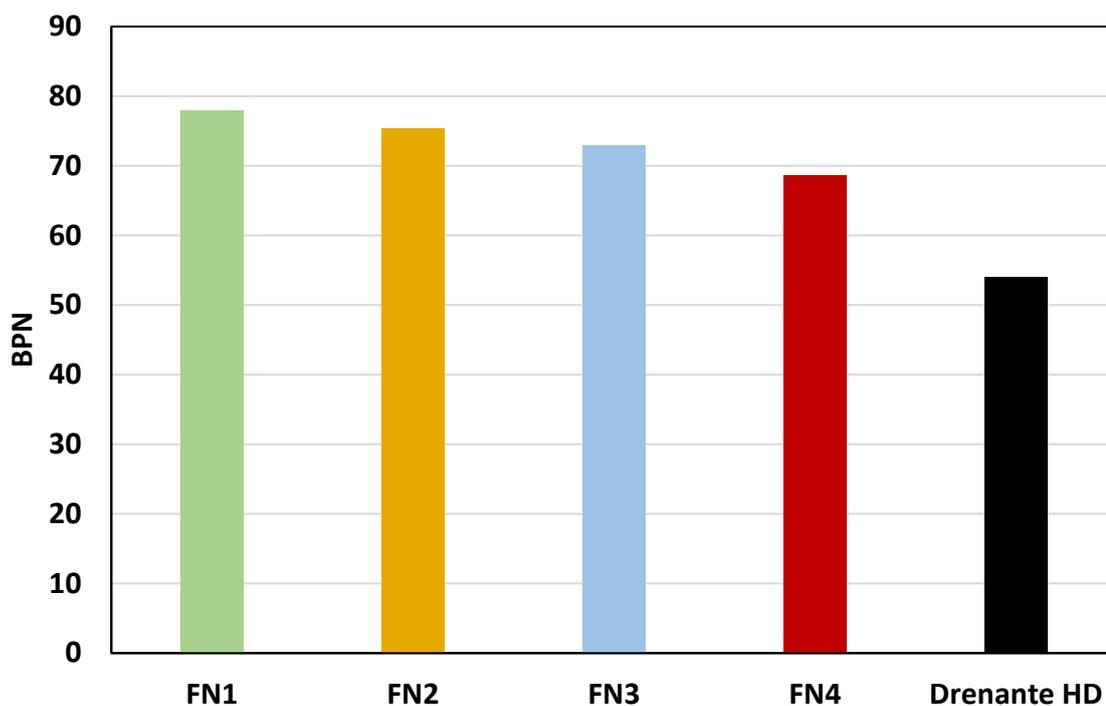


Figura 31 – Risultati delle prove di attrito radente svolte sulle miscele oggetto di studio

Dai risultati ottenuti si osserva che la miscela bituminosa che garantisce un attrito maggiore è quella confezionata con la **FN4** mentre quella che si distingue per minor attrito offerto è la **FN1**. Le quattro miscele confezionate con fibre di reti da pesca garantiscono comunque un attrito che tipicamente caratterizza un drenante tradizionale realizzato con le fibre che vengono attualmente impiegate in commercio. L'attrito radente è un fattore di fondamentale importanza che garantisce la sicurezza di marcia degli utenti che utilizzano l'infrastruttura viaria, in quanto assicura il moto di puro rotolamento sull'estradosso dello strato di usura.

4.5.3. PROVA DI PERMEABILITA'

La prova di permeabilità consente di valutare l'attitudine di un conglomerato bituminoso ad allontanare, più o meno rapidamente, le acque meteoriche che precipiteranno sull'estradosso dello strato di usura, realizzato con il conglomerato bituminoso oggetto di studio, di una determinata pavimentazione stradale. In Tabella 20 sono riportati i risultati delle prove che sono state svolte sulle piastre in conglomerato bituminoso appositamente realizzate con il Roller Compactor; in particolare, sono state realizzate due piastre per ogni miscela e la prova è stata ripetuta tre volte per ogni piastra. I risultati riportati sono esprimono i tempi medi calcolati dalle prove condotte sulle piastre realizzate con le quattro tipologie di reti differenti.

Tabella 20 - Valori ottenuti dalle prove di permeabilità con le quattro miscele oggetto di studio

MISCELA	Tempo [s]
FN1	6.71
FN2	6.38
FN3	6.53
FN4	6.23
DRENANTE HD	6.51

Dalle prove eseguite, si osserva che tutte le piastre necessitano circa dello stesso tempo per lo smaltimento della quantità di acqua utilizzata per lo svolgimento della prova. Nell'istogramma in Figura 32 sono riportati i risultati delle prove eseguite dai quali si osserva che tutte le miscele hanno una capacità drenante superiore alla soglia di 18 litri/minuto previsti da capitolato.

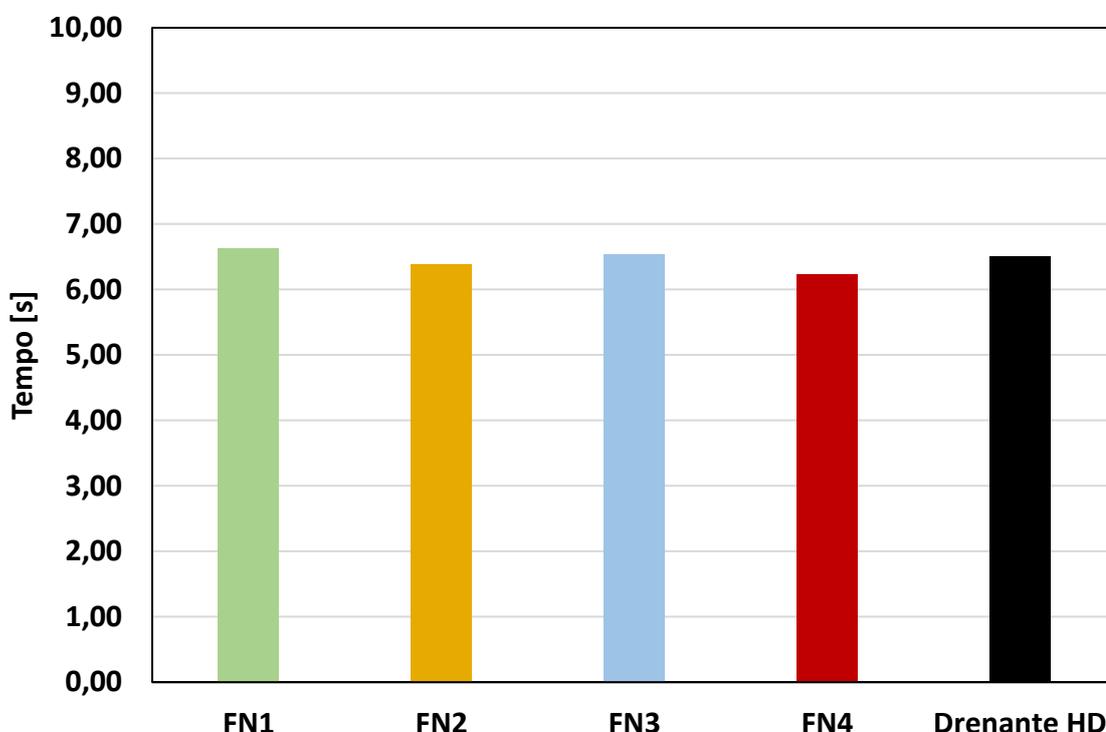


Figura 32 - Risultati dei valori ottenuti dalle prove di drenabilità svolte per le miscele ottenute

La permeabilità è un requisito indispensabile per la sicurezza di marcia dei veicoli che impegnano la sovrastruttura stradale in quanto garantisce la corretta aderenza tra l'estradosso dello strato di usura e gli pneumatici del veicolo scongiurando il fenomeno dell'aquaplaning.

4.6. PROVA DI RESISTENZA ALL'ORMAIAMENTO

La prova consente di stimare la resistenza a deformazione permanente di un conglomerato bituminoso con cui si realizzerà uno strato di pavimentazione stradale. La prova viene svolta su piastre realizzate con il Roller Compactor; in particolare, per ogni miscela oggetto di

studio sono state realizzate due piastre. I risultati sono espressi in termini di numeri di passaggi in corrispondenza dei quali si raggiunge un affondamento di 20 mm.

In Figura 33 sono rappresentati i diagrammi ottenuti dalla wheel tracker test per ogni miscela confezionata.

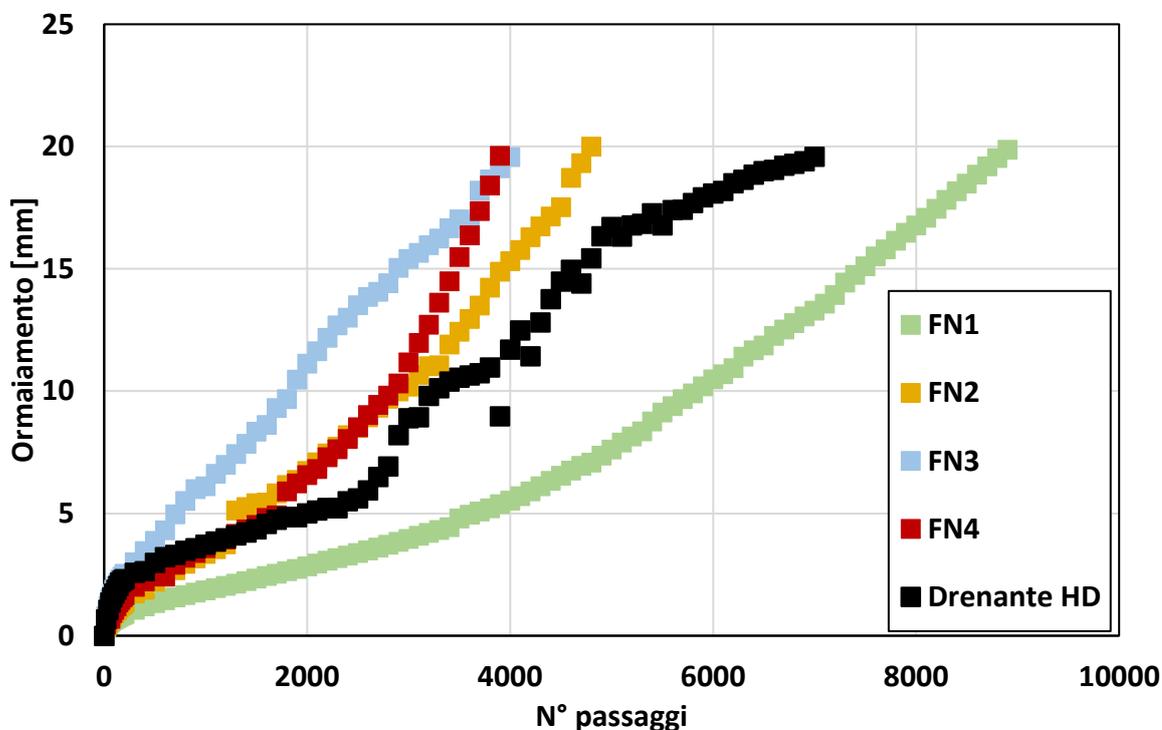


Figura 33 – Risultati delle prove ad ormaiamento

In Tabella 21 sono riportate le medie dei risultati ottenuti dalle coppie di piastre prodotte per ogni miscela oggetto di studio.

Tabella 21 - numero di passaggi a cui resistono le prove sottoposte a prove in WTM

MISCELA	N° PASSAGGI
FN1	7980
FN2	4123
FN3	4039
FN4	3936
DRENANTE HD	6998

Si osserva che nessuna miscela è in grado di resistere ai 20000 passaggi massimi previsti dalla norma EN 12697:22, risultato comunque prevedibile in quanto le miscele oggetto di studio sono destinate alla realizzazione di uno strato di usura drenante e che, quindi, sono caratterizzate da una percentuale di vuoti maggiore rispetto a quella tipica di un conglomerato bituminoso per un ordinario strato di usura A individuato dal medesimo capitolato di riferimento. La maggiore percentuale di vuoti presenti nelle miscele drenanti,

dunque, espone una pavimentazione flessibile alla formazione ed accumulo di ormaie durante la propria fase di esercizio. Dall'esperienza di laboratorio si può dedurre che l'introduzione di fibre da reti da pesca nei conglomerati bituminosi non è sempre una strategica soluzione al veloce decadimento prestazionale tipico delle pavimentazioni flessibili drenanti. Non tutte le miscele oggetto di studio, infatti, sono in grado di sopportare un numero di passaggi maggiore rispetto a quello a cui resiste una pavimentazione flessibile drenante realizzata senza l'introduzione di reti da pesca in fibre. Tra le quattro miscele esaminate in laboratorio, rispetto alla miscela drenante HD, la **FN2**, la **FN3** e la **FN4** riducono la loro resistenza all'ormaiamento del 20% circa; la **FN1**, invece, è decisamente la più performante in quanto è la più resistente tra le cinque miscele considerate. Il maggior numero di passaggi a cui resiste il conglomerato bituminoso, inoltre, non è l'unico parametro per cui è possibile definire la **FN1** come la miscela migliore: dal grafico illustrato in Figura 33 si osserva che fra tutte le curve rappresentate, quella che descrive la **FN1** è la curva a pendenza minore, quindi, è quella che descrive il più lento processo di accumulo di ormaie.

5. CONCLUSIONI

L'esperienza maturata in laboratorio ha, in particolare, posto l'obiettivo di sensibilizzare il tema dell'inquinamento a cui trovare una soluzione in quanto è un problema mondiale che, negli ultimi anni, ha assunto un aspetto sempre più preponderante e ormai non più trascurabile. In questo lavoro di ricerca, tra le diverse forme di inquinamento esistenti, è stato considerato prevalentemente l'inquinamento dovuto ai rifiuti plastici, e le conseguenze che esso implica negli ecosistemi marini, al fine di ridurre l'impatto ambientale conseguente alle attività umane. L'obiettivo posto è stato dunque quello di trovare una soluzione che consenta di vivere secondo il rispetto dei principi della sostenibilità; nel dettaglio, il caso studio in oggetto ha voluto individuare una fibra che sia contemporaneamente non inquinante, economicamente accessibile e facilmente distribuibile nel conglomerato bituminoso idoneo per la realizzazione di uno strato di usura drenante.

Le prove condotte in laboratorio hanno fornito risultati in grado di quantificare le proprietà funzionali e strutturali dei conglomerati bituminosi che si vogliono ottenere e i valori ottenuti dalle prove previste dal piano sperimentale sono confrontabili e compatibili con quelli stabiliti dal capitolato ANAS di riferimento.

Dai test svolti sulle quattro miscele confezionate con le differenti tipologie di reti, si evince che le quattro reti in oggetto si distribuiscono, anche se in modo differente, con facilità nelle miscele prodotte. I conglomerati ottenuti sono caratterizzati da circa la stessa lavorabilità ad eccezione della **FN2** che risulta maggiormente lavorabile. L'impiego di una miscela maggiormente lavorabile rispetto alle altre, si traduce nella scelta economicamente più vantaggiosa perché riduce la durata e i costi indiretti di un cantiere, quindi diminuisce anche i costi di utenza e i disagi che la realizzazione di una pavimentazione stradale arrecherebbe al pubblico.

Le prove condotte in laboratorio identificano, in linea di massima, la **FN1** e la **FN2** come le miscele con le migliori proprietà portanti e funzionali rispetto alle altre confezionate anche se, considerando i risultati in termini di paragone relativi alle miscele esaminate, non risultano le migliori per ridurre il fenomeno del percolamento del bitume dallo scheletro solido del conglomerato durante la fase di realizzazione della pavimentazione stradale. I risultati della prova svolta per valutare il drenaggio del bitume della **FN1** e della **FN2** sono comunque da considerarsi migliori di quelli ottenuti dalle prove svolte su un conglomerato bituminoso drenante in cui non sono state introdotte fibre di reti da pesca. Tra le miscele esaminate, la **FN4** risulta quella più adatta a ridurre il fenomeno del percolamento anche grazie alla tendenza ad assumere una consistenza filamentosa che le fibre utilizzate,

costituite da polimero amorfo, hanno mostrato durante la fase di miscelazione.

L'esperienza sperimentale dimostra che l'introduzione di materiale di scarto nelle miscele bituminose, non sempre conferisce al conglomerato confezionato un incremento di quelle proprietà meccaniche che lo rendono idoneo alla realizzazione di un determinato strato di pavimentazione flessibile ma, nel caso peggiore, solamente una loro riduzione.

In questa esperienza maturata in laboratorio, l'impiego di fibre ottenute dalla rottura delle reti da pesca fatiscenti, come era d'altronde prevedibile, implica solo ad alcune miscele confezionate, rispetto ai conglomerati che vengono prodotti con l'aggiunta di fibre ottenute da materiale più pregiato come la cellulosa, una riduzione delle caratteristiche meccaniche che restano comunque adeguate al fine di impiegare i conglomerati testati per la realizzazione di sovrastrutture stradali.

Lo studio sperimentale svolto con le prove descritte dimostra la possibilità di individuare fibre che, seppur provenienti da materiali di scarto, con le dovute accortezze e considerazioni, possono considerarsi equivalenti a quelle che vengono attualmente impiegate provenienti da un modello di economia lineare, e dunque meno sostenibile, per il confezionamento di conglomerati bituminosi. Questa esperienza da laboratorio ha dunque dimostrato la possibilità di stabilire il compromesso voluto, cioè quello di individuare una fibra idonea a un processo di produzione sostenibile di conglomerati bituminosi per strati di usura drenanti e che non alteri eccessivamente la natura meccanica e geometrica della miscela confezionata. L'introduzione di materiale di scarto nelle miscele bituminose risulta dunque in grado di soddisfare una domanda di mercato, che attualmente viene colmata con approcci poco sostenibili, riducendo allo stesso tempo l'impatto ambientale conseguente alle attività ittiche esercitate dall'uomo in modi, a volte, poco rispettosi verso l'ecosistema marino.

In Tabella 22 sono riassunti i risultati delle prove condotte sulle miscele oggetto di sperimentazione a netto delle prove superficiali che, in linea di massima, hanno fornito gli stessi risultati per i quattro conglomerati bituminosi esaminati. Ulteriori ricerche sono auspicabili al fine di ottenere conglomerati bituminosi per strati di usura drenante sempre più performanti, quindi con migliori proprietà strutturali e superficiali, nonostante siano stati introdotti materiali poco pregiati provenienti da un modello di economia circolare per ridurre il drastico ma purtroppo attuale problema dell'inquinamento globale. Una soluzione relativa al caso sperimentale in esame sarebbe quella di proporre un conglomerato bituminoso realizzato con un assortimento di fibre provenienti dalle quattro tipologie di reti da pesca coinvolte nel processo di sperimentazione; in questo modo si potrebbe potenzialmente ottenere un compenso prestazionale tra le diverse tipologie di fibre che, considerate

singolarmente, non rappresentano la soluzione più soddisfacente in termini di prestazioni funzionali e strutturali.

Tabella 22 - Tabella riassuntiva risultati prove del piano sperimentale

PROVA	MISCELE			
ADDENSAMENTO	FN1	FN2	FN3	FN4
T. INDIRETTA	FN1	FN2	FN3	FN4
CANTABRO	FN1	FN2	FN3	FN4
DRENAGGIO	FN1	FN2	FN3	FN4
ORMAIAMENTO	FN1	FN2	FN3	FN4

Tabella 23 - Legenda relativa alla Tabella 22

	Prestazioni migliori rispetto ad un drenante tradizionale
	Prestazioni simili rispetto ad un drenante tradizionale
	Prestazioni peggiori rispetto ad un drenante tradizionale

L'impiego di residui in plastica, come sostanze additivanti al fine di incrementare le proprietà funzionali e strutturali di un conglomerato bituminoso, risulta quindi essere un'adottabile soluzione economica ed ecologica in un contesto di economia circolare e, dunque, in una prospettiva di sostenibilità. L'introduzione di reti da pesca nel confezionamento di miscele bituminose, si traduce in una fornitura priva di costi se non vengono considerate le spese sostenute nella fase di approvvigionamento per il trasporto. In una produzione a scala maggiore, il riutilizzo di reti fantasma potrebbe tradursi in vantaggi economici e ambientali in quanto consentirebbe di ridurre la quantità di rifiuti in plastica presenti nel mondo il cui smaltimento, come già accennato in precedenza, richiederebbe tempi ecologicamente insostenibili.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Cole, P. Lindeque, C. Halsband, and T. S. Galloway, “Microplastics as contaminants in the marine environment: A review,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 62, no. 12, pp. 2588–2597, Dec. 2011. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.
- [2] R. H. Waring, R. M. Harris, and S. C. Mitchell, “Plastic contamination of the food chain: A threat to human health?,” *Maturitas*, vol. 115. Elsevier Ireland Ltd, pp. 64–68, Sep. 01, 2018. doi: 10.1016/j.maturitas.2018.06.010.
- [3] A. L. Andrady, “Microplastics in the marine environment,” *Marine Pollution Bulletin*, vol. 62, no. 8, pp. 1596–1605, Aug. 2011. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.
- [4] S. L. Wright, R. C. Thompson, and T. S. Galloway, “The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review.,” *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, vol. 178, pp. 483–492, 2013. doi: 10.1016/j.envpol.2013.02.031.
- [5] İ. Gökalp, “The waste transparent nylon modified bitumen properties: Experimental assessment on physical, rheological properties and storage stability,” *Constr Build Mater*, vol. 303, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124353.
- [6] V. D. Truong, M. O. Kim, and D. J. Kim, “Feasibility study on use of waste fishing nets as continuous reinforcements in cement-based matrix,” *Constr Build Mater*, vol. 269, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121314.
- [7] “Plastiche e microplastiche cosa sono, come si formano e quali effetti”.
- [8] I. M. G. Bertelsen and L. M. Ottosen, “Recycling of Waste Polyethylene Fishing Nets as Fibre Reinforcement in Gypsum-based Materials,” *Fibers and Polymers*, vol. 23, no. 1, pp. 164–174, Jan. 2022, doi: 10.1007/s12221-021-9760-3.
- [9] G. (Graeme) Macfadyen, T. Huntington, Rod. Cappell, Food and Agriculture Organization of the United Nations., and United Nations Environment Programme., *Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear*. United Nations Environment Programme, 2009.
- [10] J. E. Eyo and C. I. Akpati, “Fishing gears and Methods. Pages 143-159,” 1995. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/233817982>
- [11] M. Charter, “Products from Waste Fishing Nets,” 2022. [Online]. Available:

www.bluecirculareconomy.eu

- [12] Di Redazione, “Reti fantasma: una minaccia per il mare e la vita,” 2021. [Online]. Available: <https://ilnuovoterraglio.it/>
- [13] I. Maria, G. Bertelsen, and L. M. Ottosen, “Engineering properties of fibres from waste fishing nets Materials, Systems and Structures in Civil Engineering Circular Ocean.” [Online]. Available: www.macroom-e.com
- [14] “Installation of portside reception facilities, establishing partnerships with surrounding fishing.”
- [15] J. Brown and G. Macfadyen, “Ghost fishing in European waters: Impacts and management responses,” *Mar Policy*, vol. 31, no. 4, pp. 488–504, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.marpol.2006.10.007.
- [16] J. M. Yin and W. Wu, “Utilization of waste nylon wire in stone matrix asphalt mixtures,” *Waste Management*, vol. 78, pp. 948–954, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2018.06.055.
- [17] J. M. Yin, “The feasibility of waste nylon filament used as reinforcement in asphalt mixture,” *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 212–221, Mar. 2020, doi: 10.1007/s42947-020-0223-9.
- [18] G. Gatti and C. Giavarini, “Le pavimentazioni drenanti: aspetti strutturali e funzionali Porous pavements: structural and functional aspects.”
- [19] “Pavimenti drenanti carrabili: progettazione e normativa,” 2008.
- [20] Comitato Europeo di Normazione, “EN 12697; Miscele bituminose - Metodi di prova - Parte 31: Preparazione del provino con pressa giratoria,” 2019.
- [21] Consiglio Nazionale delle Ricerche, “B. U. n°40,” 1973.
- [22] Comitato Europeo di Normazione, “EN 12697; Miscele bituminose - Metodi di prova - Parte 23: Determinazione della resistenza a trazione indiretta di provini bituminosi,” 2018.
- [23] Comitato Europeo di Normazione, “EN 12697; Miscele bituminose - Metodi di prova - Parte 17: Perdita di particelle del provino di asfalto poroso,” 2017.
- [24] Comitato Europeo di Normazione, “EN 12697; Miscele bituminose - Metodi di prova - Parte 18: Drenaggio del legante,” 2017.
- [25] Comitato Europeo di Normazione, “EN 933; Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 8: Valutazione dei fini - Prova dell’equivalente in sabbia,” 2015.
- [26] Comitato Europeo di Normazione, “EN 13036; Caratteristiche superficiali delle pavimentazioni stradali ed aeroportuali - Metodi di prova - Parte 4: Metodo per

la misurazione della resistenza allo slittamento/derapaggio di una superficie:
Metodo del pendolo ,” 2011.

[27] Comitato Europeo di Normazione, “UNI EN 13036 - 6,” 2008.

[28] Comitato Europeo di Normazione, “EN 12697; Miscele bituminose - Metodi di prova - Parte 22: Metodo della traccia delle ruote (wheel tracking),” 2020.

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Plastic - eating drone in atto di rimozione di plastiche inquinanti.....	26
Figura 2 - Illustrazione dell’Ocean Cleanup Array progettato per la rimozione delle plastiche galleggianti in mare	26
Figura 3- Curva granulometrica.....	35
Figura 4 - Tipologie di reti da pesca coinvolte nel piano sperimentale: A) FN1; B) FN2; C) FN3, D) FN4	36
Figura 5 - Miscelatore Infratest testing system.....	37
Figura 6 - Fustella da 100 mm per la preparazione dei provini	38
Figura 7 - Pressa giratoria	38
Figura 8 - Risultati ottenuti dalla prova di addensamento per le quattro miscele in termini di Γ e K	40
Figura 9 - Risultati dedotti dalla pressa giratoria per le quattro miscele in termini di V_a ...	41
Figura 10 - Campione sottoposto a prova di trazione indiretta.....	42
Figura 11 - macchina Los Angeles per lo svolgimento della prova Cantabro	43
Figura 12 – provini in conglomerato bituminoso utilizzati per la prova Cantabro; Figura 13.A) Provini ad inizio prova; Figura 13.B) provini a fine prova.	44
Figura 13 –provini in conglomerato bituminoso con cui è stata svolta la prova Cantabro .	45
Figura 14 - Cestello cubico in previsto dalla norma EN 12697.....	45
Figura 15 - Roller Compactor	46
Figura 16 – Piastra in conglomerato bituminoso utilizzata per le prove superficiali;	47
Figura 17 - Prova di altezza in sabbia; Figura 18.A) Volume di sabbia previsto dalla norma EN 933 – 8; Figura 18.B) Prova di altezza in sabbia svolta sulla piastra.	47
Figura 18 - Strumento portatile per l'esecuzione dello Skid tester	48
Figura 19 – Cilindro graduato con apposito collare per la prova di permeabilità	49
Figura 20 - Wheel tracker machine.....	50
Figura 21 - DSC effettuato sulla FN1	52
Figura 22 - DSC effettuato sulla FN2.....	53
Figura 23 - DSC effettuato sulla FN3	53
Figura 24 - DSC effettuato sulla FN4	54
Figura 25 – Risultati ottenuti dalla rielaborazione dei dati ottenuti dalla pressa giratoria ..	55
Figura 26 – Resistenza a trazione per le quattro miscele oggetto di studio.....	58
Figura 27 - CTI determinati sperimentalmente per le quattro miscele oggetto di studio	59
Figura 28 – Risultati in termini di PL relativi alle miscele oggetto di studio.....	60

Figura 29 – Risultati relativi alle quattro reti ottenuti in termini di BD	61
Figura 30 – Risultati delle prove di altezza in sabbia	63
Figura 31 – Risultati delle prove di attrito radente svolte sulle miscele oggetto di studio ..	64
Figura 32 - Risultati dei valori ottenuti dalle prove di drenabilità svolte per le miscele ottenute.....	65
Figura 33 – Risultati delle prove ad ornaimento.....	66

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Spiagge più inquinate del mondo dalla presenza di microplastiche	12
Tabella 2 - Tipologia e densità dei rifiuti in plastica presenti negli oceani e nei mari.....	14
Tabella 3 - Compagnie esistenti fino al 2022 con le gamme di prodotti realizzati con reti da pesca dismesse	25
Tabella 4 – Caratteristiche bitume HD	34
Tabella 5 - Caratteristiche delle frazioni granulometriche utilizzate	34
Tabella 6 – Curve granulometriche.....	35
Tabella 7 - Caratteristiche tecniche della pressa giratoria	39
Tabella 8 - Parametri energetici e percentuale del volume dei vuoti previsti dal capitolato.....	39
Tabella 9 - Risultati ottenuti in termini di V_a delle miscele oggetto di studio relativi ai tre parametri energetici	41
Tabella 10 - intervallo di valori di R_t e CTI per usura drenante previsti da Capitolato.....	43
Tabella 11 - Valori di HS imposti dalla norma EN 933 - 8	48
Tabella 12 - Caratteristiche tecniche della prova WTM	51
Tabella 13 – Valori di G , K e V_a in corrispondenza dei diversi parametri energetici	57
Tabella 14 – Risultati in termini di ITS delle miscele sottoposte a trazione indiretta	58
Tabella 15 – Risultati in termini di CTI delle miscele sottoposte a prove di trazione indiretta	59
Tabella 16 – Riepilogo dei valori in figura 29	60
Tabella 17 – Riepilogo dei valori ottenuti dalla prova di drenaggio del bitume.....	61
Tabella 18 - Valori di altezza in sabbia determinati sulle piastre realizzate con le quattro miscele oggetto di studio	62
Tabella 19 - Risultati ottenuti dallo skid tester con le quattro miscele oggetto di studio. ...	63
Tabella 20 - Valori ottenuti dalle prove di permeabilità con le quattro miscele oggetto di studio.....	65
Tabella 21 - numero di passaggi a cui resistono le prove sottoposte a prove in WTM	66
Tabella 22 - Tabella riassuntiva risultati prove del piano sperimentale	70
Tabella 23 - Legenda relativa alla Tabella 22	70