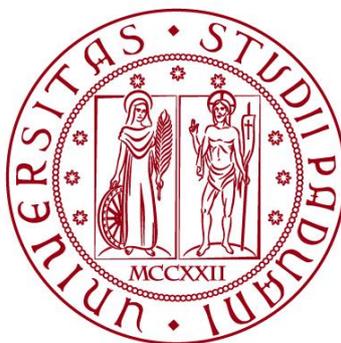


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA

**NUOVI MATERIALI E NUOVE TECNOLOGIE PER LA REALIZZAZIONE DI
PAVIMENTAZIONI STRADALI SOSTENIBILI E SMART**

Relatore: Chiar.mo PROF. Marco Pasetto

Laureando: Andrea Comarella

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

INDICE

CAPITOLO 1 – NUOVE TECNOLOGIE PER PAVIMENTAZIONI SMART E SOSTENIBILI

- 1.1 Analisi problema globale e soluzioni per arginarlo
- 1.2 Strada Fotovoltaica
- 1.3 Raccolta di Energia Termica
- 1.4 Impianti Solari Termici
 - 1.4.1 Tecnologia del collettore solare su asfalto
- 1.5 Raccolta di energia utilizzando la tecnologia piezoelettrica
- 1.6 Realizzazione di uno scambiatore di calore in carreggiata per la produzione di energia
- 1.7 Progetti per recupero di energia dalle strade
- 1.8 Ricarica delle auto elettriche mentre percorrono un tratto stradale
- 1.9 Produzione di energia: dalle strade alle autovetture elettriche
- 2.0 Conclusioni in merito a smart cities e smart roads

CAPITOLO 2 – NUOVI MATERIALI PER PAVIMENTAZIONI STRADALI SOSTENIBILI

- 2.1 Strade in calcestruzzo: sostenibili, durevoli e riciclabili
 - 2.1.1 Il calcestruzzo drenante: utilizzo e vantaggi
- 2.2 Definizione e tipologie di bitume
 - 2.2.1 Elementi per ottenere bitume modificato
- 2.3 Supermodificanti a base di grafene per strade sostenibili
- 2.4 Riciclaggio a caldo e a freddo del fresato con l'impiego del bitume schiumato
- 2.5 Strade green grazie all'impiego di pneumatici fuori uso
- 2.6 Bio-afalti e bio-leganti per strade green
- 2.7 Riutilizzo della plastica per pavimentazioni sostenibili
- 2.8 Nano-compositi per la realizzazione di pavimentazioni stradali
- 2.9 Legante trasparente per un conglomerato ecologico: il caso di EVIzero
- 3.0 Considerazioni conclusive

CAPITOLO 1

1.1 ANALISI PROBLEMA GLOBALE E SOLUZIONI PER ARGINARLO

L'aumento considerevole di movimento di esseri umani dalle aree rurali alla città, noto come processo di urbanizzazione, il continuo mutamento dello stile di vita e l'incremento dell'utilizzo di nuove tecnologie hanno comportato un consumo sempre maggiore delle risorse del pianeta.

Da indagini effettuate attualmente il 54 % della popolazione mondiale vive nelle città ed entro il 2050, secondo stime, la percentuale raggiungerà il 70 % raggiungendo quindi l'urbanizzazione globale, che porterà ad ulteriori consumi di energia.

Negli ultimi anni, l'utilizzo della corrente elettrica è diventato sempre maggiore con conseguenze di rilievo a riguardo del clima.

Proprio a tale proposito, rendere le città "intelligenti" può essere una possibile strategia per arginare i problemi dovuti dalla crescita della popolazione urbana e dalla rapida urbanizzazione.

Il concetto di "città intelligente", nell'ambito dell'urbanistica e dell'architettura, è un insieme di scelte di pianificazione urbanistica volte all'ottimizzazione e all'innovazione dei servizi pubblici in modo da realizzare una connessione tra le infrastrutture materiali delle città con il capitale umano, intellettuale e sociale di chi le abita grazie all'impiego diffuso delle nuove tecnologie della comunicazione, della mobilità, dell'ambiente e dell'efficienza energetica.

L'obiettivo è quello di migliorare la qualità della vita, di soddisfare le esigenze di cittadini, imprese e, allo stesso tempo, ridurre il consumo di energia.

Le "smart cities" sono, quindi, città sostenibili, efficienti ed innovative, dove le strategie di pianificazione territoriale sono rivolte all'innovazione dei servizi pubblici e all'utilizzo di forme di mobilità alternative rispetto a quelle tradizionali. Per garantire uno sviluppo sostenibile, la città intelligente deve abbandonare il modello di economia lineare in favore di un'economia circolare.

Con il concetto di economia circolare si tratta di un sistema economico che implica il riutilizzo, la condivisione, la riparazione, la rimessa a nuovo e il riciclo di materiali e prodotti esistenti con l'intento di ridurre i rifiuti e abbattere l'emissione delle sostanze considerate nocive per la salute delle persone e dell'ambiente.

In letteratura sono presenti differenti definizioni del concetto "smart city", tra cui:

- una città che monitora e integra le condizioni di tutte le sue infrastrutture critiche, incluse strade, ponti, tunnel, ferrovie, metropolitane, aeroporti, porti marittimi, comunicazioni può ottimizzare meglio le sue risorse, pianificare le attività di manutenzione e monitorare la sicurezza massimizzando i servizi ai cittadini.

Nell'ottica dello sviluppo e della concreta realizzazione delle "smart cities" è implicito pensare ad un aumento dell'utilizzo di apparecchiature elettriche che inevitabilmente porterà ad un dispendio elevato di energia elettrica.

Anche la mobilità utilizza sempre più energia elettrica e si prevede che questa possa essere la principale fonte di energia entro il 2050. A partire dal 2015 si è notato un incremento di veicoli elettrici in circolazione a livello mondiale che implica un aumento della domanda di energia specialmente negli ambienti urbani dove la mobilità è maggiore.

La mobilità elettrica può essere realmente sostenibile se la produzione dell'energia elettrica avvenisse attraverso l'impiego di fonti energetiche rinnovabili, non da combustibili fossili come accade tutt'ora. Ad oggi, infatti, la maggior parte della produzione di energia elettrica utilizza la combustione di combustibili fossili con danni ambientali irreversibili causati da emissioni crescenti di anidride carbonica.

Pertanto, la produzione di energia elettrica deve basarsi su risorse rinnovabili, decentralizzate e avvenire vicino al punto di consumo, preferibilmente solo quando è necessario.

Le fonti energetiche rinnovabili, tuttavia, non sono pienamente efficaci dal momento che non consentono di produrre energia quando serve, ma solo quando le risorse sono effettivamente disponibili.

L'interesse principale è quello di capire quali possono essere nuove modalità di generazione dell'energia elettrica al fine di poterla produrre quando e dove è richiesto il consumo.

A questo problema sono state cercate differenti soluzioni ed, in particolare, l'interesse è stato concentrato nel settore delle infrastrutture stradali.

Il manto stradale infatti è continuamente esposto a due fenomeni: l'irraggiamento solare e il carico veicolare. Da entrambi questi fattori è possibile estrarre energia che può essere convertita, adottando opportune tecnologie specifiche, in energia elettrica.

All'interno delle città, ci sono strade che trasportano veicoli, l'opzione principale per la mobilità. I veicoli consumano energia per fare funzionare i loro motori e rilasciano energia in modi differenti, tramite componenti diverse. Parte dell'energia rilasciata dai veicoli si accumula nella pavimentazione stradale.

Dal momento che i veicoli sono presenti in tutte le città dei paesi sviluppati in maniera considerevole, questo significa che una notevole quantità di energia viene trasferita alle pavimentazioni stradali senza essere mai riutilizzata. Le strade, inoltre, sono esposte alla radiazione solare che induce gradienti termici tra i suoi strati. Questa radiazione solare ed i conseguenti gradienti termici possono essere trasformati anche in energia utile.

Le pavimentazioni stradali rappresentano quindi una notevole fonte di energia pronta per essere raccolta e successivamente convertita in forme utili di energia, quali ad esempio l'energia elettrica.

Inoltre, raccogliendo l'energia tipicamente sprecata e convertendola in energia elettrica si riduce l'inquinamento dell'ambiente e l'emissione di anidride carbonica che invece sarebbero considerevoli qualora venissero impiegati i combustibili fossili.

Affinché quanto detto fin qui possa essere concretamente realizzabile ed applicabile è necessaria una o più tecnologie che consentano a questo processo di conversione di funzionare in modo efficace ed economico.

Con una domanda sempre maggiore di energia all'interno delle città e sapendo che le pavimentazioni stradali sono continuamente esposte ad elevate quantità di energia, si è cercato di capire in quale modo e attraverso quali strumentazioni una parte di tutta quell'energia sprecata possa essere effettivamente convertita in energia elettrica.

In realtà, recentemente, sono state condotte analisi ed indagini sulla raccolta di energia della pavimentazione stradale, analizzando principalmente i gradienti termici della pavimentazione e il carico del veicolo indotto sulla superficie della strada. I progetti di ricerca non hanno avuto un grosso successo nel passato dal momento che i nuovi prodotti non avevano un'elevata efficienza di conversione energetica a cui bisognava aggiungere anche la difficoltà di integrazione dei sistemi nell'infrastruttura della pavimentazione stradale.

Nell'ambito delle energie rinnovabili è stato recentemente adottato il concetto di "energy harvesting" su scala micro, dove, da piccole variazioni energetiche, è possibile generare energia elettrica.

Al momento diversi sono gli studi per il futuro in ottica di sostenibilità ambientale, di riutilizzo di quanto già presente sul nostro territorio in termini di materie prime, di riduzione di consumo di energia elettrica per contrastare, per quanto possibile, gli effetti del cambiamento climatico; ma da un punto di vista concreto e pratico non sono molti gli interventi a favore di quanto descritto.

Tra le varie tecnologie di raccolta dell'energia per la pavimentazione stradale sono presenti: la strada fotovoltaica, la strada ibrida, gli impianti solari termici, i tubi di calore, i generatori termoelettrici e la pavimentazione piezoelettrica.

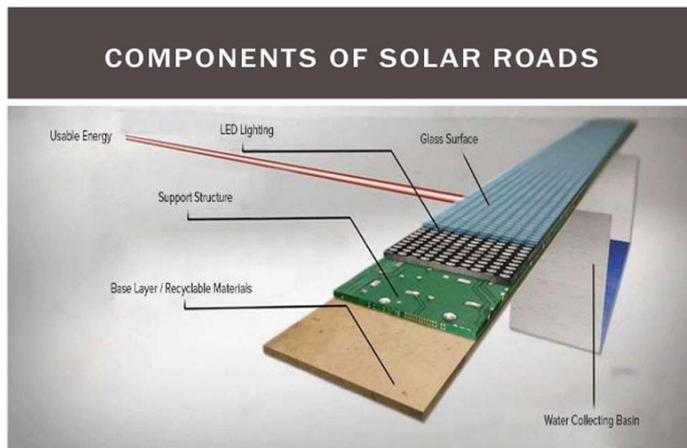
Di seguito vengono presentati, uno ad uno, le differenti tipologie di soluzioni che potrebbero essere adottate realmente per recuperare energia e convertirla in corrente elettrica.

1.2 STRADA FOTOVOLTAICA

Una strada fotovoltaica mira a convertire la luce solare in energia elettrica grazie alle celle solari posizionate al di sotto di uno strato semitrasparente. Il progetto generale di una strada fotovoltaica è costituito principalmente da tre strati: l'elemento posto in sommità è uno strato semitrasparente costituito da vetro temprato, polimero o aggregati di vetro legati tra di loro mediante una speciale resina (resina epossidica, poliuretana). Questo strato ha una funzione estremamente importante dal

momento che deve sostenere il carico del traffico, garantire una guida sicura grazie ad un'adeguata condizione di aderenza, consentire il passaggio della luce solare alle celle solari e salvaguardare la componente elettronica.

Il secondo elemento, invece, è lo strato elettrico dove sono situate le celle solari e l'ultimo elemento è lo strato di base che deve trasmettere il carico di traffico alla pavimentazione, al sottofondo o alla struttura di base.



Recentemente, alcuni progetti avviati in Europa, lavorano sulla possibilità di installare su strade ed infrastrutture pannelli fotovoltaici o “thin film”. Installare il fotovoltaico sulle strade è una delle possibilità a cui la ricerca sta lavorando. Lo scopo principale è quello di riuscire a produrre energia rinnovabile anche solo su una parte delle centinaia di migliaia di chilometri di strade e di autostrade. I ricercatori del Korea Institute hanno studiato la possibilità di raccogliere energia solare dalle pavimentazioni stradali, utilizzando celle solari incorporate nell'infrastruttura della pavimentazione. Hanno concluso che le attuali celle solari a film sottile sono complicate da utilizzare su superfici che ricevono carichi meccanici e le condizioni ambientali possono causare corrosione ed usura prematura. Attualmente, quindi, molti stanno lavorando per sviluppare nuove celle solari a film sottile che soddisfano i requisiti per l'uso su superfici stradali.

Julie e Scott Brusaw, per esempio, hanno proposto un sistema di collettori solari per sostituire lo strato superiore della pavimentazione stradale, chiamato “Solar Roadway”. I due coniugi hanno lavorato assieme per diversi anni alla progettazione dei “Solar Panel Road”, ovvero i pannelli solari stradali. Ogni pannello ha le dimensioni di 2 * 2 metri ed è suddiviso in tre livelli differenti, disposti l'uno sopra l'altro. Il primo livello, che è quello superiore, è composto da una lega di vetro speciale, la quale riesce a sopportare grandi pesi, a resistere alle pessime condizioni ambientali e permette ai raggi solari di attraversare questo primo strato e “colpire” le celle sottostanti.

Le celle si trovano infatti in posizione intermedia, sono dotate di led al fine di illuminare la strada con qualsiasi tipo di segnale. L'ultimo livello inferiore, costituito da un materiale impermeabile, è impiegato per l'installazione dei cavi per la distribuzione dell'energia prodotta.

Le Solar Roadways funzioneranno come un vero e proprio sistema cosiddetto intelligente, gestito da microprocessori installati entro un raggio di quattro metri. Per ogni miglio di pannello solare installato ci sarà la possibilità di soddisfare il fabbisogno di all'incirca 500 famiglie, inoltre questo sistema sarà in grado di immagazzinare l'energia prodotta, tramite l'impiego di piccole batterie poste al livello centrale ed un sistema di auto riscaldamento si attiverà per sciogliere eventuali strati di ghiaccio in qualsiasi momento.

Questo sistema in realtà è già impiegato da un punto di vista pratico, anche se il problema di maggiore rilievo risulta essere il rendimento energetico dipendente da diversi fattori tra cui l'accumulo di polvere ed il ciclo di vita delle celle fotovoltaiche.

Una delle maggiori sfide di questo sistema è quella di offrire sicurezza e condizioni adeguate per la mobilità dei veicoli che transitano sui pannelli. Ad oggi, però questo sistema è poco adoperato e con il tempo si sono mostrati molti dubbi su tale argomento ed in particolare sulle reali possibilità di produrre una quantità notevole di energia.

In particolare i pannelli dovrebbero essere, per un tempo sufficientemente adeguato, esposti alla luce del sole. Questo fatto è abbastanza impraticabile poiché il modo ottimale per sfruttare la luce è quello di inseguire il sole, o almeno inclinare i pannelli in direzione di esso; cosa che non è realizzabile andando a posarli per terra. Inoltre bisogna tenere conto della manutenzione di cui tali strumenti avranno bisogno dal momento che sono continuamente esposti alle intemperie e al passaggio di mezzi di trasporto.



Esempi di strada fotovoltaica utilizzando pannelli solari

In Olanda è stata realizzata la “SolaRoad”, ovvero la prima pista ciclabile al mondo realizzata mediante l’impiego di pannelli solari. L’idea di base è semplice: la luce solare che colpisce il manto stradale viene catturata dalle celle solari e convertita in energia pulita da utilizzare in diversi modi (per esempio fornire corrente alle abitazioni, per l’illuminazione stradale o per alimentare semafori e veicoli elettrici). I pannelli solari sono stati rivestiti con uno strato protettivo di vetro temprato e disposti in leggera pendenza in modo che l’acqua piovana possa pulire i pannelli dalla polvere lasciando la loro superficie il più esposta possibile al sole. I pannelli possono sembrare fragili ma hanno già superato test di resistenza con veicoli pesanti quali trattori. Non avendoli installati in modo da garantire la massima funzionalità, producono 30% di energia in meno rispetto ai pannelli tradizionali sistemati sui tetti delle case.



Di fianco è rappresentata un’immagine relativa ad un tratto di pista ciclabile in Olanda. La realizzazione della pista ciclabile con l’impiego di pannelli solari ha suscitato interesse anche all’interno del nostro paese, tant’è che si pensava di realizzare una “solaroad” in Sardegna ed una a Milano, anche se ad ora non sono state realizzate.



Altri esempi di pavimentazioni stradali con l’impiego dei pannelli solari.

1.3 Raccolta di Energia Termica (TEH)

I rapporti sull’energia termica ambientale come fonti di approvvigionamento affidabile per dispositivi a basso consumo energetico sono molto popolari in letteratura negli ultimi tempi. I sistemi di Thermal Energy Harvesting (TEH) sono costituiti da generatori termoelettrici (TEG) aperti a temperatura più alta su una faccia e temperatura più bassa sull’altra, con conseguente gradiente di temperatura e con un carico attaccato dando così luogo alla generazione di energia elettrica. Il funzionamento appena descritto si basa sul principio dell’effetto Seebeck.

Un TEG è generalmente una serie di termocoppie a semiconduttore collegate in serie e fissate tra due piastre ceramiche conduttrici di calore isolate elettricamente. A causa dell'effetto Seebeck, quando c'è una differenza di temperatura attraverso un TEG, ogni termocoppia costituita da materiale semiconduttore di tipo p e di tipo n genererà energia elettrica. La differenza di temperatura della tensione a circuito aperto del TEG è proporzionale alla differenza di temperatura. Questa differenza di temperatura è un'indicazione dell'energia in uscita dal sistema del TEH.

Fondamentalmente il TEG presenta due semiconduttori termoelettrici di tipo n e p che risultano essere collegati elettricamente in serie con una differenza di temperatura. A causa di questa differenza di temperatura, elettroni e lacune si accumuleranno sulla regione fredda, facendo sommare la tensione del semiconduttore np, e questo può, successivamente, essere utilizzato per collegare un carico elettrico che in cambio si traduce nella generazione di energia elettrica.

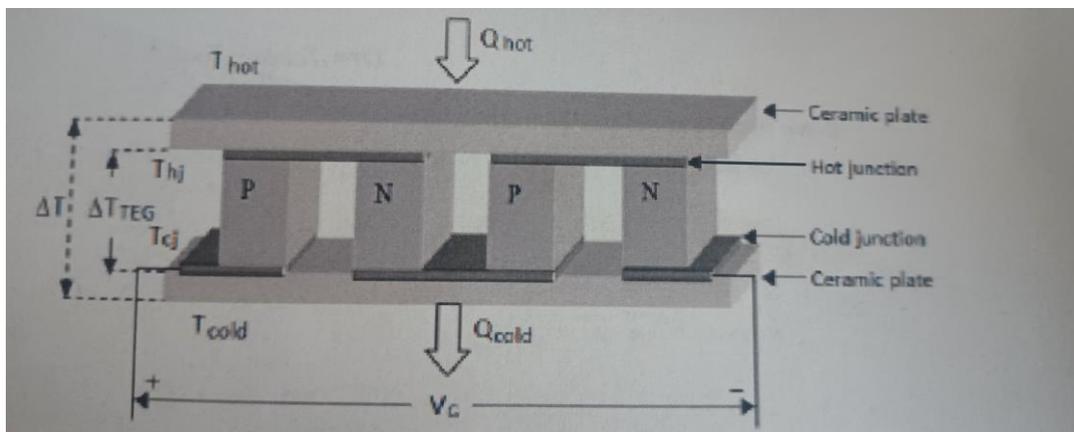


Figura che mostra il funzionamento del generatore termoelettrico (TEG)

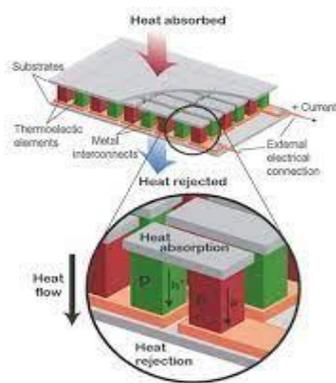
I TEG sono stati applicati all'interno dell'ingegneria stradale come sistema di raffreddamento della pavimentazione stradale. E' stato proposto da uno studioso di installare un generatore termoelettrico accoppiato con un collettore solare in asfalto. Il fluido termovettore è l'acqua proveniente da una sorgente (per esempio un fiume o un lago) in prossimità della strada. L'acqua, circolando lungo la rete di tubazioni, è in grado di assorbire calore dalla pavimentazione. A causa del calore, la temperatura dell'acqua aumenta e viene pompata nel lato caldo del TEG. In cambio l'altro lato del TEG viene raffreddato dall'acqua del fiume. Grazie alla differenza di temperatura tra il lato caldo ed il lato freddo, viene generata energia elettrica.

I generatori termoelettrici funzionano solo con grandi differenze di temperatura, la loro efficienza è bassa e sono molto costosi.

Nel 2012 due studiosi hanno costruito un prototipo in grado di raccogliere energia grazie alla differenza di temperatura tra la superficie della pavimentazione e il terreno del sottofondo. Il prototipo era composto da una lastra di alluminio e da un'asta installata in un foro, praticata lungo un campione di asfalto. Un modulo TEG è stato installato sulla piastra di alluminio, utilizzando una resina epossidica conduttiva come interfaccia. L'altra estremità dell'asta è stata posta su sabbia asciutta, in

modo da simulare il terreno di sottofondo. Sono stati condotte anche varie tipologie di test per valutare l'efficienza del sistema da cui si è notato che non era molto elevata.

A causa della loro bassa efficienza di conversione, nessuno di questi studi ha portato ad un prodotto disponibile sul mercato fino a questo momento. Esistono aziende che vendono celle TEG singolarmente, ma finora nessuno dei prodotti disponibili è stato sviluppato per l'implementazione sui marciapiedi stradali.



La figura di fianco rappresentata mostra il principio di funzionamento di un generatore termoelettrico. Tra i vantaggi dell'utilizzo di questa tecnologia sono presenti: costi dei materiali termoelettrici in rapida diminuzione, un elevato fattore di capacità della risorsa, una potenza specifica elevata, possibilità di utilizzo per un'ampia gamma di salti termici, semplicità e affidabilità del sistema e bassi costi di manutenzione dell'intero sistema. Tra gli svantaggi sono invece presenti: rendimento elettrico basso, mercato ancora non maturo e materiali sensibili a stress

termici rapidi.

1.4 Impianti solari termici

I sistemi solari termici sono in grado di raccogliere energia termica dal Sole per mezzo di un fluido termovettore. In base al modello utilizzato per fare scorrere il fluido termovettore si possono distinguere due sistemi differenti: collettori solari in asfalto e collettori solari a strato poroso come collettori solari attivi. Se il fluido termovettore è l'aria, il sistema è chiamato pavimentazione per la raccolta di energia ad aria.

1.4.1 Tecnologia del collettore solare su asfalto

Un modo alternativo di sfruttare i gradienti termici tra gli strati della pavimentazione stradale è trasformare la pavimentazione in un collettore solare, mediante tubazioni e pompe, posizionate in maniera adeguata per riuscire a captare l'energia solare e convertirla in energia termica. Questo risulta essere un metodo studiato negli ultimi anni da diversi autori, chiamato ASC.

Parecchi anni fa è stato proposto un sistema ASC per il riscaldamento e il raffreddamento di pavimentazioni stradali ed altre infrastrutture, utilizzando la proprietà di assorbimento del calore del

calcestruzzo bituminoso applicato sulla costruzione di pavimentazioni flessibili. Il sistema ASC è costituito da uno strato di pavimentazione in asfalto con tubi dell'acqua al suo interno. Tale sistema è poi collegato a due serbatoi sotterranei aventi funzione di stoccaggio dell'acqua, uno per l'acqua fredda e l'altro per l'acqua calda. La radiazione solare induce un aumento della temperatura del manto stradale, che viene assorbita dai materiali della pavimentazione stradale e trasferita ad un sistema di tubazioni idriche applicate sotto il manto stradale e quindi stoccata nel terreno o in serbatoi di stoccaggio.

Le prestazioni, da un punto di vista concreto, di questi sistemi ASC sono state dimostrate da sistemi installati in diversi luoghi del mondo, funzionanti in diverse condizioni climatiche.

Anche da un punto di vista pratico, in questo ambito, sono state realizzate diverse opere. Per esempio, in Svizzera, è stato installato un sistema di recupero dell'energia solare dalla pavimentazione stradale con lo scopo principale di sciogliere il ghiaccio sulle strade. Nei Paesi Bassi, nel Regno Unito, in Giappone si sta lavorando proprio sulla capacità di accumulo del calore dovuto allo scioglimento della neve presente sul manto stradale.

Secondo uno studio degli Stati Uniti d'America l'asfalto di strade e di parcheggi presenta un'elevata potenzialità come fonte di energia per il riscaldamento degli edifici e la produzione di acqua calda e di elettricità. L'asfalto usato come collettore solare presenta numerosi vantaggi. Anzitutto, dopo una giornata soleggiata, il manto stradale rimane caldo e potrebbe continuare a produrre energia anche dopo che il sole è tramontato, a differenza dei tradizionali collettori solari posti al di sopra delle coperture degli edifici.

In aggiunta, esistono già moltissime strade e parcheggi che potrebbero essere adattati per la generazione di energia, per cui non sarebbe necessario trovare altre terre agricole da sfruttare. Oltre a ciò, ogni 10-12 anni molte strade vengono ristrutturare e quindi l'impianto potrebbe essere costruito durante quel ciclo, ottenendo due ulteriori vantaggi: i collettori solari in strade e parcheggi sarebbero invisibili e senza alcuna tipologia di impatto a differenza dei pannelli solari posti sopra le coperture e consentirebbero di ridurre il fenomeno urbano delle isole di calore.

In un futuro non troppo lontano, quindi, la domanda di acqua calda e di energia per il riscaldamento degli edifici potrebbe venire soddisfatta sfruttando il calore accumulato sull'asfalto delle strade e dei parcheggi. Già al giorno d'oggi esistono comunque paesi che applicano quanto fino ad ora definito ed in particolare il Belgio, l'Olanda, l'Inghilterra e la Scozia attraverso sistemi quali il Road Energy Systems.

A causa dell'esposizione ai raggi solari, la temperatura superficiale dell'asfalto può aumentare intorno ai 70° C, accelerando alcuni cedimenti tipici delle strade come il solco (deformazione permanente delle pavimentazioni) o l'ossidazione dell'asfalto (che provoca variazioni di viscosità, separazione dei componenti e perdita di coesione). Per ridurre la temperatura della pavimentazione e sfruttare l'irraggiamento solare, i collettori solari in asfalto rappresentano una buona soluzione. Sono costituiti da tubazioni, direttamente annegate nell'asfalto.



Immagine relativa ad uno strato di collettori solari lungo un tratto stradale.

L'energia ricavata dai collettori solari in asfalto potrebbe essere impiegata per impianti di scioglimento della neve o per l'impianto di riscaldamento degli edifici adiacenti. I collettori solari possono essere annegati anche nelle pavimentazioni in calcestruzzo, ma sono meno performanti perché il coefficiente di assorbimento solare del calcestruzzo è minore a quello dell'asfalto.

La prima applicazione dei collettori solari in asfalto risale al 1990 con il progetto SERSO. La rete di tubazioni è stata installata lungo un ponte in Svizzera, che faceva parte dell'autostrada nazionale. L'idea era quella di immagazzinare l'energia termica in eccesso durante l'estate grazie ad una pompa di calore e riutilizzare il calore per sciogliere la neve o il ghiaccio durante l'inverno.

Rispetto ad altri sistemi di raccolta di energia stradale, i collettori solari in asfalto hanno raggiunto il più alto livello di miglioramento, diventando una tecnologia abbastanza comune con molte applicazioni in ambito operativo.

Per esempio, la società ICAX ha progettato una rete di tubazioni che utilizza l'acqua come fluido termovettore. L'energia termica viene immagazzinata in un accumulatore di calore costruito sotto le fondamenta isolate degli edifici circostanti. Una società olandese, invece, ha progettato un sistema per l'estrazione di acqua fredda da uno specifico mezzo di stoccaggio sotterraneo.

L'acqua viene poi trasportata tramite tubazioni nella parte superiore degli strati di asfalto della pavimentazione e, grazie allo scambio termico, l'acqua si riscalda.

Tramite uno scambiatore di calore, il calore viene convogliato in un altro serbatoio interrato e trattenuto fino al momento del bisogno. Durante il periodo invernale, il sistema funziona in modo completamente opposto a quello descritto precedentemente.

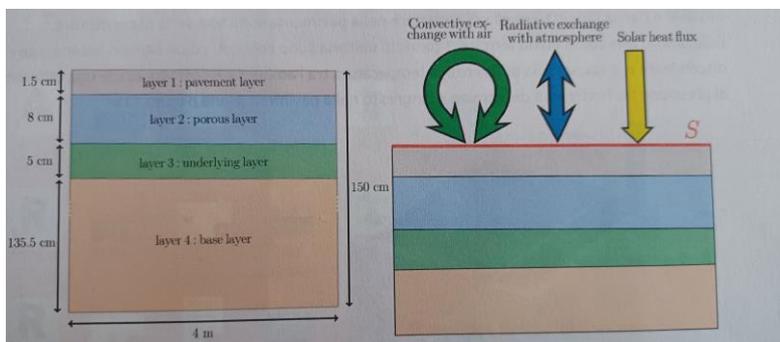
Una pavimentazione in asfalto multistrato per la raccolta di energia è una struttura a sandwich in grado di sfruttare l'energia raccolta per lo scongelamento del manto stradale durante il periodo invernale.

Il primo prototipo realizzato per creare un sistema di scongelamento era ispirato ai collettori solari in asfalto. In questo sistema, i tubi sono stati sostituiti da un asfalto drenante attraverso il quale circolava per gravità un fluido termovettore.

Tale prototipo è stato valutato in funzione della durabilità e dell'efficienza. Sono stati testati due tipi di strati porosi: un asfalto poroso convenzionale e un asfalto con legante poliuretano aventi differenti percentuali di porosità. I risultati hanno mostrato una prestazione migliore per l'asfalto con la percentuale di porosità più elevata.

Recentemente, invece, è stato realizzato un modello FEM di strato poroso come sistema solare termico sempre con l'obiettivo di raccogliere energia dalla pavimentazione stradale.

Il sistema risulta essere costituito da uno strato impermeabile semitrasparente (o conglomerato bituminoso detto "opaco"); uno strato poroso contenente un fluido che scorre lungo la larghezza della strada per gravità grazie alla pendenza imposta; uno strato sottostante e uno di base sia opaco che impermeabile.



Nella figura soprastante è presente una raffigurazione del sistema descritto precedentemente.

Il modello combina diffusione termica, convezione idraulica e trasferimento radiativo. La struttura è soggetta a scambio convettivo con l'aria, radiativo con il cielo e irraggiamento solare. Si suppone che la profondità sia sufficientemente ampia da trascurare tutti gli scambi termici tranne che in superficie.

Dagli esperimenti effettuati si è ricavata una buona efficienza del sistema.

1.5 Raccolta di energia utilizzando la tecnologia piezoelettrica

Dal momento che i combustibili fossili in tutto il mondo si stanno esaurendo ed il costo dell'energia elettrica da loro prodotta è molto elevato, come già citato nel primo paragrafo, è necessario un mezzo alternativo per la produzione di energia. L'energia biomeccanica che raccoglie l'elettricità dalle persone durante le loro attività quotidiane è un'alternativa promettente alle batterie per potere alimentare dispositivi portatili che risultano essere sempre più efficaci.

La raccolta di energia piezoelettrica rappresenta un nuovo ed innovativo passo in avanti nella direzione della raccolta di energia. Fino a questo momento non sono state condotte molte ricerche in merito a questo settore, quindi cercare di estrarre energia dalla piezoelettricità risulta essere una sfida. I cristalli o i

materiali piezoelettrici possono essere sfruttati per riuscire ad ottenere tensioni di valore molto piccolo, adatto per essere in grado di alimentare dispositivi a bassa tensione.

Una decina di anni fa, il sogno di pavimentare strade e marciapiedi con pannelli piezoelettrici per catturare l'energia cinetica di auto e di pedoni, aveva incuriosito molti professionisti. Purtroppo però ad oggi sono stati condotti un numero veramente limitato di esperimenti che non sono stati in grado di riuscire a soddisfare la fattibilità economica richiesta. Nonostante queste problematiche, la California è sempre più convinta ad investire in questo ambito ed in particolare riuscire a testare i cristalli su piccola scala per creare le nuove strade piezoelettriche. Il funzionamento alla base di quello che viene tecnicamente definito "effetto piezoelettrico" risulta essere il seguente: alcuni materiali cristallini sono in grado di polarizzarsi riuscendo così a creare una differenza di potenziale quando sono soggetti ad una deformazione meccanica (come ad esempio una variazione di pressione). Purtroppo la quantità di energia che risulta essere prodotta attraverso questo sistema non è molto elevata e quindi la vera problematica che sorge alla base di questa probabile applicazione riguarda il rendimento.

L'effetto piezoelettrico, quindi, può costituire uno dei metodi per riuscire a produrre energia dalle pavimentazioni stradali, riducendo quindi il consumo di combustibili fossili e limitando l'inquinamento atmosferico.

In merito a questo argomento, un team di Zurigo sta testando due tipologie differenti di legno modificato per produrre energia. In particolare il team ha mostrato un modo ecologico per realizzare un pavimento in legno spugnoso in grado di generare elettricità ad ogni passo. Il materiale funziona proprio tramite l'effetto piezoelettrico. Il materiale all'interno del pavimento viene compresso sotto stress meccanico e le cariche positive e negative si separano sulle superfici opposte producendo energia.

Il pavimento "intelligente" in legno che produce energia è stato definito "PaveGen" e il principio piezoelettrico è stato proprio messo in pratica all'interno delle piastrelle.

In recenti studi, alcuni ricercatori di Zurigo hanno studiato il potenziale piezoelettrico del legno, un materiale da costruzione comune. Normalmente il legno non è abbastanza flessibile per riuscire a produrre elettricità; proprio per questo motivo gli studiosi hanno determinato un modo per riuscire a fornirgli elasticità.

La soluzione che è stata adottata consiste nell'espore il legno ad un determinato processo definito "de-lignificazione". Le lignine, infatti, sono polimeri naturali che fungono da strutture di supporto nelle cellule delle piante, in particolare nel legno e nella corteccia, che le mantiene forti e rigide.

La rimozione di alcune di queste lignine ha reso il legno molto più spugnoso ed in questo modo, attraverso questo accorgimento, può essere facilmente compresso per poi tornare alla sua forma originaria di partenza.

Infine, per il "pavimento intelligente" ottenuto come definito precedentemente, sono stati condotte due tipologie di prove: nella prima il legno è stato immerso in un bagno di perossido di idrogeno e acido

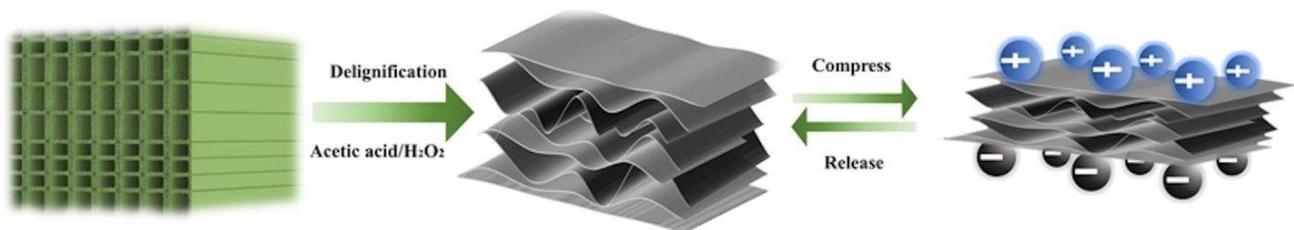
acetico, mentre nella seconda prova è stata effettuata una prova molto più delicata consistente nell'utilizzare un fungo che fa marcire la lignina dal legno.

Tutte e due le tipologie di legno spugnose sono successivamente state testate in laboratorio come generatore piezoelettrico.

Il primo prototipo utilizzato per questa tipologia di prova è stato un cubetto di dimensioni ridotte. Il legno ricavato dal bagno acido ha prodotto energia per riuscire ad alimentare un piccolo sensore.

Successivamente, il team in questione ha generato un "mini pavimento" unendo trenta di questi blocchi e facendoci salire al di sopra il peso di una persona adulta. Il risultato di questo ulteriore test riguardante sempre la prima prova ha permesso di produrre energia sufficiente a garantire il funzionamento di un display LCD (per esempio un televisore, uno smartphone).

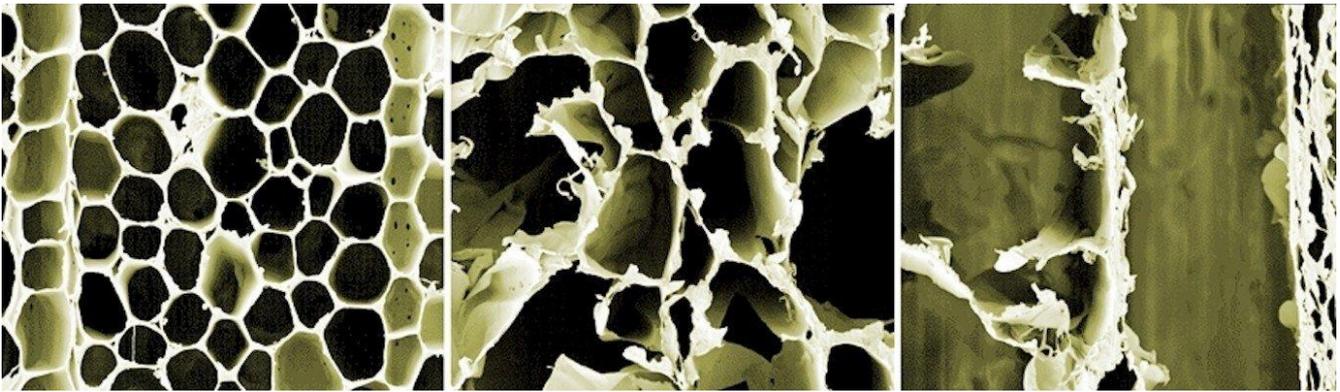
Quanto appena descritto può essere una tecnica per produrre energia sfruttando semplicemente il peso degli esseri umani nel momento in cui transitano al di sopra delle piastrelle di legno e soddisfare, per esempio, il fabbisogno energetico di una famiglia.



Qui sopra viene mostrata un'immagine relativa alla prima prova effettuata. In particolare, il cubetto è stato immerso in un bagno di perossido di idrogeno e di acido acetico che ha permesso il processo di "de-lignificazione" consistente nell'eliminare la lignina che mantiene le cellule delle piante forti e rigide. In posizione centrale è presente il legno ricavato dal bagno non sottoposto ad alcun tipo di forza, mentre a destra è presente il legno in stato compresso.

La seconda prova, a differenza della prima, ha mostrato risultati ancora migliori. In particolare un cubo della stessa dimensione ha prodotto una tensione di quasi 1 volt. L'altro vantaggio fondamentale è che danneggia meno l'ambiente.

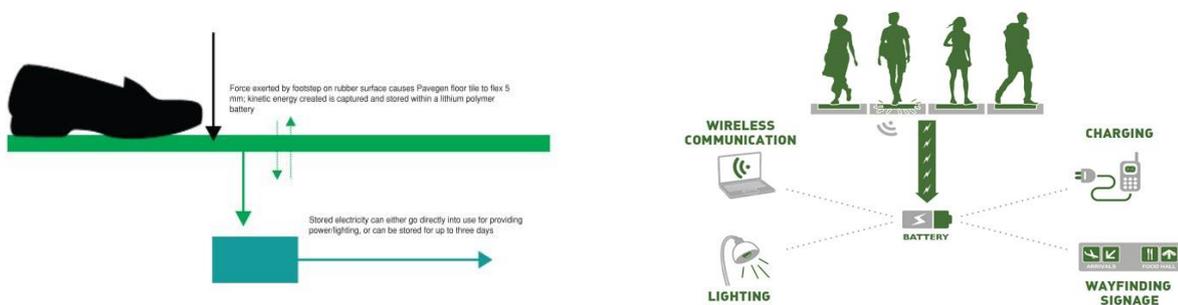
Di seguito viene rappresentata una figura che mostra il legno ricavato dall'azione del fungo che elimina una certa quantità di lignina per poterlo rendere più flessibile (meno rigido).



In sostanza il principio di funzionamento del pavimento “intelligente” PavGen è il seguente: si tratta di mattonelle a tre lati, con un volano posizionato per ognuno degli angoli e tre bobine che generano circa 5 watt per ogni singolo passo. Il passo è in grado di imprimere una pressione che permette alla mattonella di flettersi di 5 millimetri (successivamente ritorna alla sua posizione originaria) e l’energia cinetica generata viene catturata ed immagazzinata in una batteria a litio.

L’energia può essere poi utilizzata direttamente oppure accumulata fino a tre giorni per poi utilizzarla in un secondo momento. I tipi di utilizzo possono essere differenti tra di loro.

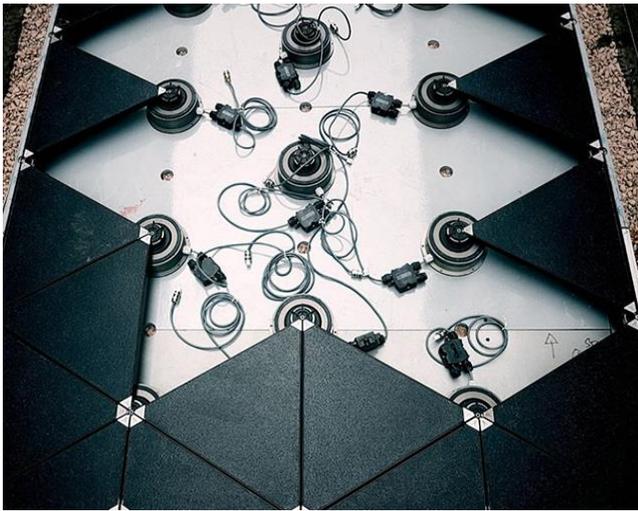
Di seguito viene illustrato il principio di funzionamento del sistema PavGen ed anche alcune tipologie di utilizzo dell’energia catturata da PavGen.



Uno dei principali vantaggi del sistema PavGen è costituito dal fatto che le mattonelle sono realizzate per l’80% con materiali riciclati. In particolare, vengono utilizzati pneumatici di automobili, di camion e cemento recuperato da strutture sulla via della demolizione. Tutto questo si traduce, sostanzialmente, in energia pulita e rispetto dell’ambiente durante il ciclo di produzione.

Le mattonelle stesse sono state sottoposte a numerosi test e prove, dai quali sono emersi risultati più che incoraggianti e soddisfacenti. Il ciclo di vita del prodotto è stato stimato essere pari a cinque anni, oppure a 20 milioni di passi. Inoltre, le mattonelle sono impermeabili e possono essere installate oltre che all'interno anche all'esterno.

Questo sistema è già stato installato in alcune località di Londra e prossimamente il sistema descritto dovrebbe essere installato anche in ospedali, aeroporti e sulle strade, così da potere riuscire a sfruttare anche l'energia cinetica dei veicoli, che risulta essere sicuramente maggiore rispetto a quella dei pedoni.



Qui di fianco viene mostrato un esempio della pavimentazione “ intelligente” PaveGen in grado di produrre energia elettrica. Si può notare come le mattonelle siano costituite da tre lati, come sia presente un volano posizionato ad ogni angolo della mattonella e tre bobine che generano i watt ad ogni singolo passo dell'essere umano.

Un altro importante progetto è stato promosso da Innowattech in cui viene sfruttata l'azione meccanica superficiale prodotta dagli automobilisti quando si spostano per esigenze di tipo lavorativo piuttosto che personale. A tale scopo è stato presentato un progetto in grado di sfruttare il traffico che quotidianamente interessa le strade, trasformandolo in energia elettrica che funziona nel seguente modo: attraverso un doppio strato d'asfalto all'interno del quale è presente un'imbottitura costituita da una miscela di quarzo, sali, fosfati, minerali piezoelettrici e gli accumulatori collegati alla piattaforma dalla quale è possibile ricavare una buona quantità di energia pulita. Alcune ricerche stanno dimostrando come sia possibile ricavare per ogni chilometro di strada circa 400 chilowatt di energia elettrica.

L'intento è proprio quello di riuscire a produrre elettricità mentre si guida utilizzando i materiali piezoelettrici. Realizzare elettricità con il traffico cittadino è possibile semplicemente utilizzando i materiali piezoelettrici posizionati al di sotto delle infrastrutture stradali che percorriamo quotidianamente. La proprietà che anche Innowattech utilizza è la piezoelettricità ovvero la capacità di produrre corrente elettrica in risposta alla sollecitazione dello stress meccanico applicato, che in questo caso altro non risulta essere se non il movimento dei veicoli sulla strada. Il concetto è stato originariamente sviluppato da Innowattech ed ora questa compagnia sta sviluppando una strada di prova in Israele.

Secondo questa società una quantità veramente elevata di energia meccanica va sprecata quando milioni di veicoli si spostano sulle strade di tutto il mondo. I generatori piezoelettrici raccolgono energia e la

accumulano in batterie ai bordi delle strade che possono essere utilizzate dalle persone, abitazioni piuttosto che uffici. Questo processo è anche definito come raccolta parassitaria di energia.

Sotto il primo strato di asfalto, viene installato uno strato di cristalli piezoelettrici che producono elettricità quando vengono schiacciati.

Questo può essere veramente un'opzione da non sottovalutare in quanto da una strada piuttosto che una pista di atterraggio o una ferrovia si può produrre energia verde.

La notizia che risulta essere più importante è costituita dal fatto che non risulta essere prevista nessuna nuova infrastruttura rispetto a quelle esistenti, nemmeno di costruire pali per la produzione di energia eolica in quanto basta adoperare quanto già disponibile sul nostro territorio.

Molti quindi sono già i progetti in fase avanzata di studio e di sperimentazione. Queste possono essere alcune soluzioni sfruttando la tecnologia piezoelettrica proteggendo un ambiente che anno dopo anno risulta essere sempre più fragile.

Anche l'Italia si è impegnata in questo ambito attraverso la realizzazione di un progetto verde ideato dalla start up "Underground Power" chiamato "LYBRA". Il principio base di tale progetto è proprio quello di recuperare energia cinetica dalla strada, sfruttando il movimento delle automobili.

LYBRA, infatti, è un dissuasore di velocità preposto per immagazzinare e rilasciare, in un secondo momento, l'energia altrimenti destinata a disperdersi all'interno dell'ambiente. Quindi, un meccanismo che risulta essere già conosciuto ed ampiamente utilizzato per rallentare il traffico è stato rielaborato per produrre energia elettrica. Nel corso degli anni la società ha brevettato, prodotto e sperimentato alcuni prototipi verificandone il valore e la reale possibilità di poterli costruire in serie e commercializzare su grande scala. I risultati ottenuti dagli esperimenti che sono stati effettuati si sono mostrati estremamente incoraggianti, tant'è che questa tipologia di soluzione potrebbe costituire, in un futuro prossimo, il futuro delle fonti rinnovabili.

In particolare, questo dispositivo è realizzato in acciaio per difenderlo da atti vandalici nonché per riuscire a reggere il peso delle autovetture che transitano al di sopra; è ricoperto da uno strato di gomma riciclata derivante dagli pneumatici fuori uso che conferisce al sistema un carattere ancora più ecologico e garantisce anche la sicurezza per il passaggio di motorini, carrozzine e pedoni. La sua forma ricorda quella di un parallelepipedo.

Essendo una tecnologia a carattere meccanico, quest'opera richiede una manutenzione ordinaria. Nello specifico, si procede semplicemente alla sostituzione dei moduli rotti con operazioni rapide ed efficaci. Anche l'installazione non richiede azioni estremamente complesse. Grazie alla limitata altezza del dispositivo, l'utente può decidere se installarlo mediante la realizzazione di uno scavo allo scopo di inserirlo in perfetta corrispondenza al manto stradale stesso, evitando quindi la formazione di dislivelli nel terreno; oppure può decidere di optare per il montaggio vero e proprio dei dossi tradizionali, imbullonati

alla via. L'efficienza energetica di LYBRA, dai risultati ottenuti, è massima, in quanto la sua struttura permette di avere una trasformazione ottimale dell'energia raccolta in elettricità.

L'elettricità a disposizione verrà impiegata per l'illuminazione pubblica e per alimentare le autostrade. Inoltre, questo sistema sarà anche collegato alla rete nazionale, allo scopo di rilasciare e vendere la parte di energia prodotta in eccesso.

Riassumendo quanto detto fino a questo momento, questo sistema non solo è in grado di rallentare la velocità dei veicoli prevenendo incidenti e migliorando la sicurezza in ambito stradale, ma anche di stoccare l'energia cinetica derivante da essi, di convertirla in elettricità e di introdurla nel circuito elettrico nazionale.

Per quanto concerne il suo funzionamento, nel momento in cui una qualsiasi vettura transita sul dispositivo, rallenta e rilascia ad esso la sua energia cinetica, poi tramutata in energia elettrica.

Se si installasse LYBRA nella diverse zone di sosta, come possono essere i semafori, i caselli autostradali, i parcheggi, si riuscirebbe a raccogliere una quantità notevole di energia contribuendo alla compensazione e alle riduzione delle emissioni di anidride carbonica legate al traffico vario, a beneficio di una maggiore sicurezza stradale.

Il progetto descritto ha già trovato forte consenso tra gli esperti del settore, ottenendo importanti riconoscimenti dal momento che potrebbe costituire il collegamento perfetto tra tecnologia green, salvaguardia ambientale e sicurezza dei cittadini.



Le due immagini sopra riportate chiariscono meglio il concetto analizzato precedentemente: nella figura di sinistra si può osservare la presenza di un dosso cui sopra è stata installata una “pedana rallentatrice” che permette, attraverso il rallentamento dei veicoli, di produrre energia elettrica. Il principio di funzionamento è il medesimo anche nella seconda figura dove non è però presente il dosso (caso tipico di sede autostradale).

La sfida principale risiede quindi, nel progettare un efficiente sistema di raccolta energetica. La progettazione efficiente di tale sistema richiede una conoscenza approfondita delle caratteristiche della vibrazione circostante, del materiale che compone il trasduttore (dispositivo di qualsiasi genere destinato a convertire una grandezza fisica in un'altra alterando alcune delle caratteristiche che la identificano) scelto e della dinamica dell'intero sistema. I raccoglitori di energia a vibrazione (VEH) catturano l'energia

meccanica attraverso un sistema a molla, convertendo quindi una parte di questa energia in una sorgente elettrica.

A tale scopo, l'effetto elettromagnetico, piezoelettrico o elettrostatico può essere impiegato come trasduzione e, alcune volte, una loro combinazione permette di migliorare l'efficienza di raccolta.

La raccolta di energia vibrazionale con materiali piezoelettrici è di notevole interesse pratico a causa di una forte richiesta di dispositivi di rilevamento wireless ed elettronica portatile a bassa potenza senza avere necessariamente bisogno di una alimentazione esterna.

I materiali piezoelettrici possono essere sia naturali che di sintesi, e una volta sottoposti a stress, attraverso di essi avviene la carica elettrica (piezoelettricità).

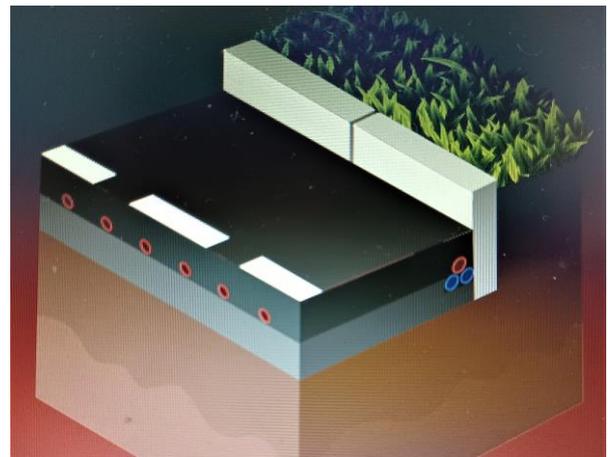
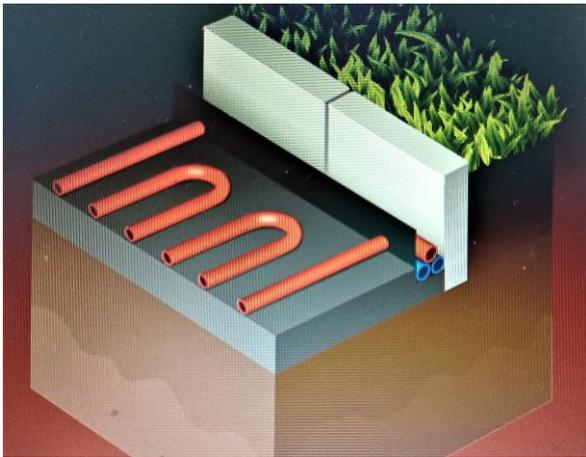
I materiali piezoelettrici sintetici ad alte prestazioni per le funzioni di raccolta dell'energia sono i seguenti: piombo zirconato titanato, piombo zinco niobato-titanato di piombo e piombo magnesio niobato-titanato di piombo. Oltre alle proprietà dei materiali, le proprietà ambientali, come le condizioni di carico e la temperatura, influiscono sulla produzione dei raccoglitori piezoelettrici.

1.6 Realizzazione di uno scambiatore di calore in carreggiata per la produzione di energia

Per riscaldare o raffreddare le strade e gli edifici delle città utilizzando una nuova fonte di energia pulita e rinnovabile, una società chiamata Eurovia ha inventato Power Road, la strada dell'energia positiva che aggiunge nuove funzionalità alla strada senza cambiarne o alterarne lo scopo iniziale, cioè la mobilità. Con Power Road, Eurovia ha ideato una nuova funzione per le infrastrutture stradali, ovvero la produzione di energia termica. Questo sviluppo consente alle strade di catturare l'energia termica del sole, che può essere immagazzinata e distribuita agli edifici ed alle infrastrutture vicine attraverso un sistema di pompe di calore.

L'energia prodotta in questo modo può riscaldare edifici residenziali e uffici, complessi commerciali nonché strutture pubbliche come ad esempio le piscine, migliorando al contempo il loro mix energetico. In inverno, questa energia può essere utilizzata anche per rimuovere neve e ghiaccio da strade e piste aeroportuali.

In estate, la cattura del calore fuori terra può raffreddare le strade e, di conseguenza, ridurre gli effetti delle isole di calore urbane.



Le due figure sopra rappresentate mostrano il sistema inventato dalla società Eurovia.

Questo è un altro metodo per contribuire a ridurre le emissioni di anidride carbonica nell'ambiente andando a favore dell'ambiente circostante.

Non è questa l'unica idea in ottica di un ambiente sempre più sano, pulito, green.

1.7 Progetti per recupero di energia dalle strade

Sempre per limitare i dannosi effetti del cambiamento climatico, guardiamo al futuro in un'ottica di sostenibilità e di utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione dell'energia elettrica.

Infatti, in Turchia, stanno sperimentando una turbina eolica ad asse verticale che, posizionata in mezzo alle strade, genera energia elettrica pulita sfruttando lo spostamento d'aria prodotto dal passaggio dei mezzi di trasporto. E' un progetto del tutto innovativo che va nella direzione della sostenibilità, anche se è ancora in fase di sperimentazione.

Una singola di queste turbine potrebbe riuscire a generare 1 kw all'ora di energia elettrica. Al suo interno ha una serie di cuscinetti a sfera che azzerano la forza d'attrito, facendo in modo che le pale eoliche siano in grado di ruotare e muoversi anche per uno spostamento di aria minimo, quindi non solo al passaggio di camion e di autobus, ma anche solo al passaggio delle biciclette.

Per tale ragione questa turbina può essere posizionata anche su strade che non risultano essere particolarmente trafficate. Non solo produzione di energia grazie ai mezzi transitanti al di sopra delle infrastrutture stradali dal momento che tale turbina eolica è in grado di tenere monitorato anche i seguenti parametri: umidità dell'aria, livello di anidride carbonica.

Al momento, questa turbina è in fase di sperimentazione su alcune autostrade di Istanbul. Ogni turbina prevede un design semplice, facile da montare ed anche da riparare. L'apparato è abbastanza piccolo da essere posizionato vicino ai veicoli in movimento senza creare disagi e occupa una superficie minima, indipendentemente da dove si trovi. Ciò, inoltre, consente un facile trasporto e montaggio in aree in cui le tradizionali turbine eoliche potrebbero non essere pratiche, come le strade e gli edifici della città.



Nella figura di fianco riportata è presente la turbina eolica descritta precedentemente che sfrutta quindi il traffico per produrre energia. E' stata ideata proprio per riuscire a sostenere le politiche ambientali, ma nel contempo è in grado di produrre energia elettrica per la città. Come già definito, questa opera è ancora in fase di sperimentazione in Turchia.

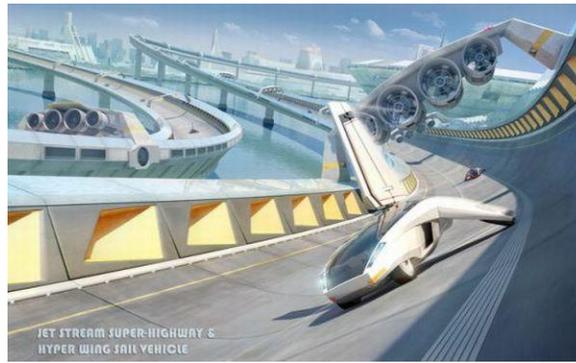
Un'altra invenzione per produrre energia nel campo delle infrastrutture stradali è stata realizzata dal designer Tyson Steele, disegnata appositamente per le strade degli Stati Uniti. Il progetto in oggetto prevede la realizzazione di un arco solare avente un'altezza di 20 metri dal suolo ed una larghezza di 40 metri. I pannelli solari installati lungo l'arco producono energia rinnovabile convertibile in illuminazione elettrica per la rete autostradale, oltre ad integrare la domanda di elettricità proveniente dalle abitazioni ed edifici posti nelle vicinanze. Altri vantaggi di questo arco solare realizzato nel campo delle infrastrutture stradali sono i seguenti: l'arco protegge il manto stradale dalla grandine e dalla formazione di ghiaccio durante il periodo invernale riuscendo a creare un effetto di raffreddamento durante il periodo estivo.



La figura sopra riportata mostra "l'arco solare" realizzato mediante pannelli solari che producono energia rinnovabile convertibile in energia elettrica.

Secondo un altro designer industriale, il futuro del trasporto urbano consiste in un'interazione fra strada e veicolo. La forma della carreggiata risulta essere concava (come un tubo tagliato a metà trasversalmente): l'effetto è quello di produrre in galleria un flusso d'aria continuo tra la strada e l'ambiente circostante sfruttando l'energia di ritorno del vento. Turbine eoliche lungo il percorso stradale e pannelli solari allineati sulla superficie superiore della strada hanno l'obiettivo di produrre energia pulita.

Di seguito viene illustrata una immagine relativa al concetto di "trasporto urbano futuro" secondo il designer che ha pensato a tutto ciò, che è stato descritto in precedenza.



I vantaggi nella realizzazione di tutti questi progetti sopra descritti sono sostanzialmente i seguenti:

- la produzione di energia pulita con effetti positivi sull'inquinamento
- la diminuzione della dipendenza da fonti fossili
- l'importanza delle fonti alternative per soddisfare il fabbisogno energetico mondiale
- la possibilità di optare per scelte più economiche

1.8 Ricarica delle auto elettriche mentre percorrono un tratto stradale

La ricarica delle auto elettriche (realizzate sempre in prospettiva di sostenibilità ambientale) è certamente uno degli ostacoli che penalizzano maggiormente l'utilizzo di queste particolare tipologie di vetture.

Una società israeliana Electreon Wireless sta portando avanti un progetto per riuscire a superare anche questa problematica. Nello specifico, tale società sta testando una tecnologia che permette di ricaricare i veicoli a batteria mentre percorrono la strada. Il nuovo progetto prevede l'installazione di una serie di bobine per la ricarica ad induzione delle autovetture lungo un tratto di strada di all'incirca due chilometri presso Tel Aviv.

Su questo percorso, la società israeliana testerà un autobus elettrico modificato in maniera adeguata per riuscire a sfruttare questo sistema di ricarica. Successivamente, tale società effettuerà un test simile anche a Gotland, un'isola della Svezia. Questo secondo progetto prevede l'elettificazione di un tratto di strada di all'incirca quattro chilometri che sarà sempre percorso da un autobus elettrico che servirà da navetta tra l'aeroporto e la città.

Questa tecnologia funziona in modo abbastanza semplice: a pochi centimetri sotto l'asfalto vengono posizionate le bobine che i veicoli predisposti attivano passandoci sopra.

Per la ricarica è ovviamente necessario che le auto dispongano di un dispositivo compatibile con questo determinato sistema.

Questi progetti nel complesso risultano essere estremamente interessanti dal momento che permettono alle autovetture elettriche di ricaricarsi mentre percorrono un determinato tratto stradale. Un sistema simile risulterà essere maggiormente adatto per autobus, taxi e mezzi pesanti che tendono a percorrere le stesse strade durante le loro attività quotidiane.

Per la società, questa tecnologia di ricarica servirà maggiormente per i veicoli a guida autonoma che potranno continuamente ricaricarsi durante i loro spostamenti da un posto all'altro delle città.

In realtà, però, questa soluzione non è assolutamente nuova poiché già in passato altre società avevano avuto la stessa idea che, purtroppo, è rimasta in fase di sperimentazione senza mai riuscire ad ottenere qualche risultato concreto.

Proprio perché la problematica maggiore è trovare la colonnina che permette di ricaricare le autovetture elettriche che stanno via via aumentando, ai giorni nostri, anche nel nostro paese si è cercato di risolvere questo tipo di problema grazie al progetto che prevede la realizzazione del manto stradale in grado di ricaricare le batterie delle auto elettriche in modalità wireless.

Questa tecnologia può ricoprire un ruolo fondamentale nello sviluppo delle auto elettriche.

Come funziona l'asfalto che ricarica le auto elettriche? La ricarica avviene grazie a spire posizionate sotto l'asfalto che trasmettono l'energia elettrica al veicolo in movimento.

L'idea alla base del progetto è molto semplice: installare pochi centimetri sotto l'asfalto una serie di bobine che garantiranno la ricarica ad induzione.

Al di sotto dell'asfalto verranno installate delle spire metalliche capaci di trasmettere elettricità senza fili a tutti i veicoli che passano sopra. Questa soluzione, di fatto, rappresenterebbe una vera e propria svolta nel mondo della mobilità a zero emissioni e potrebbe contribuire in maniera decisiva a convincere sempre più automobilisti a passare alle autovetture a zero emissioni.

Le spire posizionate al di sotto dell'asfalto permetterebbero di ricaricare le autovetture elettriche adoperando la stessa tecnologia che viene impiegata per ricaricare gli smartphone senza necessità di collegarli direttamente alla rete elettrica.

Il sistema è capace di trasmettere elettricità ai veicoli di passaggio tramite le spire metalliche. Le auto, per ricevere la ricarica elettrica saranno quindi munite di un apposito ricevitore: questo, oltre che ad essere in grado di generare l'energia che verrà inglobata nelle batterie, consentirà anche lo scambio di dati utili per la sicurezza stradale lungo tutto il percorso di guida.

L'utilizzo di questa tecnologia ha come principale obiettivo quello di sviluppare un sistema nuovo di mobilità a zero emissioni sia delle persone che delle merci esteso lungo i tratti autostradali.

L'asfalto che ricarica le auto elettriche mentre sono in movimento lungo le infrastrutture stradali è in fase di sperimentazione anche all'interno del nostro Paese.

Il progetto prevede la costruzione di un anello di asfalto di circa mille metri, alimentato con una determinata potenza elettrica. L'anello in questione, denominato "Arena del Futuro", verrà costruito in un'area privata di un'autostrada. Su questo determinato tratto di autostrada munito della tecnologia "Dynamic Wireless Power Transfer" ideata dall'azienda israeliana Electreon, verranno usate due auto elettriche e un bus come modelli di sperimentazione.

Allo stesso tempo verranno effettuati anche dei test riguardanti la guida autonoma sfruttando la tecnologia 5G.

Riassumendo quanto detto fino a questo momento, i veicoli si ricaricheranno istantaneamente transitando su un tratto d'asfalto dotato di dispositivi elettromagnetici in grado di trasferire elettricità alle batterie wireless.



L'immagine di sinistra rappresenta l'autobus che si ricarica attraverso il sistema posto nella pavimentazione stradale come descritto precedentemente, mentre la seconda figura rappresenta un momento dell'installazione delle ricariche induttive da parte di alcune società per ricaricare le autovetture elettriche.

Il progetto di ricaricare le autovetture attraverso la modalità wireless ha, da subito, interessato anche le case automobilistiche tant'è che si può dire che è presente una vera e propria sfida per chi riuscirà a creare la prima autovettura elettrica con questo tipo di funzionalità.

In realtà, la prima autovettura elettrica dotata di queste capacità è stata realizzata, prende il nome di Genesis GV60 ed uscirà in Corea. Sarà quindi la prima automobile elettrica a potere contare sull'opzione di ricarica wireless della batteria. La tecnologia usa un campo magnetico generato da due bobine. In questo modo è possibile attuare il trasferimento della corrente senza connessione fisiche. Anche in Cina si sta già lavorando a questa tipologia di autovettura elettrica che dovrebbero essere realizzate in questi periodi. Anche la casa automobilistica BMW sta conducendo sperimentazioni anche se non ha rilasciato i risultati ottenuti dalle analisi effettuate.

Il potenziale di quanto detto è assolutamente enorme in quanto la modalità wireless potrebbe permettere la ricarica dei veicoli in molti più posti rispetto a quanto avviene adesso, ma il vantaggio più grande consiste nel fatto che non vi è necessità di scendere dall'automobile e spostare cavi che, a volte, possono essere di grandi dimensioni.

In realtà qualcosa di simile è stato pensato anche per i tratti stradali percorsi dai monopattini elettrici. In particolare sono stati pensati degli appositi asfalti "intelligenti" con particolari proprietà magnetiche che potrebbero essere di particolare utilità per i monopattini elettrici da parte di un gruppo di scienziati. Questi nuovi materiali, utilizzati come copertura per le strade, possono modificare le loro proprietà a seconda della presenza di campi magnetici esterni.

Secondo i ricercatori che li hanno creati, possono segnalare a questi piccoli veicoli elettrici quando devono rallentare e, in una visione più avanzata, potrebbero addirittura spegnere il motore elettrico del veicolo in situazione di pericolo.

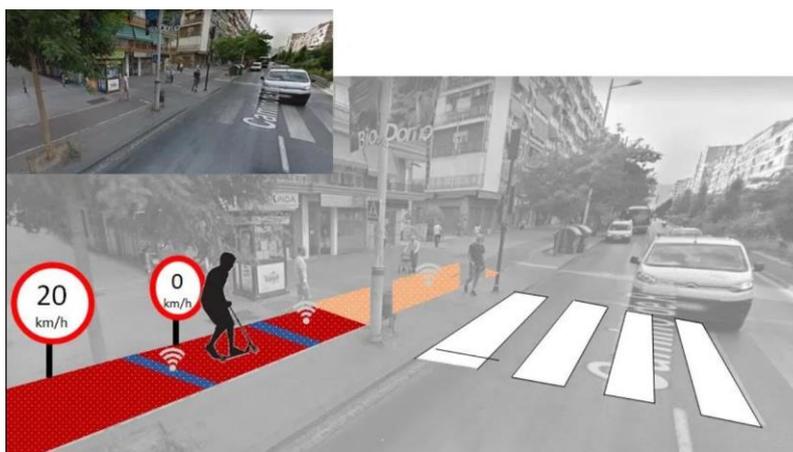
Questo nuovo asfalto potrebbe essere di aiuto per quanto riguarda il crescente utilizzo dei monopattini nelle città, un utilizzo che non risulta essere ancora regolamentato anche perché questi veicoli non sono velocissimi e quindi non sono comparati per esempio agli scooter.

Inoltre, le infrastrutture cittadine non sembrano essere per nulla attrezzate sotto questo punto di vista, ovvero non sono in grado di gestire queste tipologie di veicoli.

Per questo motivo, un gruppo di ricercatori ha sviluppato un asfalto “codificato” che contiene diverse quantità di materiale metallico. Questo materiale metallico è composto da particelle magnetiche e può essere incorporato in punti sensibili come i confini dei marciapiedi e gli attraversamenti pedonali.

I dispositivi innestati sotto l’asfalto possono essere codificati utilizzando particelle metalliche e possono inviare quindi un codice ai monopattini elettrici.

Quindi anche questa tecnologia è adatta non solo per proteggere l’ambiente ma anche per potere aumentare la sicurezza in ambito stradale che ad oggi non risulta essere elevata per quanto riguarda queste tipologie di trasporto.



Sopra è riportata

un’immagine che illustra il concetto teorico definito precedentemente, ovvero la capacità attraverso appositi materiali presenti nel sottosuolo di aumentare la sicurezza in ambito stradale per la categoria dei monopattini elettrici, così da potere incrementarne anche il numero in circolazione e sostenere l’ambiente. Anche queste idee e strategie descritte hanno l’obiettivo principale di promuovere la sostenibilità ambientale, ridurre l’inquinamento atmosferico, creare una città “intelligente” in grado di recuperare energia usando quanto è già presente sul territorio.

1.9 Produzione di energia: dalle strade alle autovetture elettriche

Se fino a questo momento abbiamo analizzato differenti strategie per produrre energia elettrica a partire dalle pavimentazioni stradali, addirittura considerando la possibilità di ricaricare le autovetture elettriche

mentre transitano al di sopra del manto stradale, viene da chiedersi se anche questi mezzi del presente e del futuro saranno in grado di produrre energia.

A fronte di una domanda sempre maggiore di autovetture elettriche, in che modo queste possono contribuire a creare quella che viene definita una città “smart”, intelligente, innovativa, responsabile del territorio?

Uno dei metodi principali che abbiamo già analizzato nei paragrafi precedenti per produrre energia a partire da mezzi elettrici è la frenata, ma esistono anche altre soluzioni.

Praticamente ogni modello, oggi, è dotato di qualche dispositivo mirato a ridurre gli sprechi di energia, come ad esempio pompe dell’acqua e dell’olio a portata variabile o gli alternatori intelligenti che si disattivano in accelerazione per alleggerire il lavoro del motore sotto sforzo per ricollegarsi in rilascio. Il recupero energetico diventa una funzione essenziale per autovetture ibride ed elettriche che grazie a questa logica riescono a fare durare di più la riserva della batteria riducendo l’utilizzo del motore a scoppio nel caso delle prime e allungando l’autonomia per le altre.

I metodi, attraverso i quali, può avvenire il recupero dell’energia sono differenti tra di loro ed in particolare esistono cinque soluzioni.

Il sistema più utilizzato, come abbiamo già definito è la “frenata rigenerativa” che sfrutta le fasi passive della marcia: per essere esatti non agisce solo in frenata, ma inizia quando si alza il piede dall’acceleratore.

A quel punto il motore elettrico inverte la sua funzione, si trasforma in alternatore e sfrutta l’energia cinetica ricevuta dalle ruote per generare corrente da inviare alle batterie.

Questa resistenza elettromagnetica di solito provoca una decisa decelerazione, tanto che in molti casi questo effetto viene sfruttato anche nelle frenate lievi che fanno intervenire i freni solamente nel caso in cui è richiesto un arresto più deciso.

Un altro modo di produrre energia da parte delle autovetture elettriche avviene sfruttando il motore. Le ibride ed in particolar modo quelle non ricaricabili alla spina possono ricaricare energia dal motore termico. Per esempio, nella marcia autostradale, quando la batteria scende sotto una certa soglia, il motore elettrico si commuta in alternatore facendosi trascinare dall’altro per generare corrente. In realtà, però, questa tecnica è meno efficiente dal momento che aggrava il lavoro del motore termico stesso che risulta essere già impegnato nella propulsione e quindi, di conseguenza, ne aumenta il consumo.

Un altro metodo è quello di recuperare energia dal motore stesso; infatti, si può recuperare energia sfruttando i momenti di inerzia delle turbine come fanno i dispositivi utilizzati su auto da competizione (per esempio in Formula 1).

Tutte le parti in movimento di una vettura, che sono veramente molte, possono essere sfruttate per recuperare energia che altrimenti andrebbe dispersa. Da tempo si parla di recuperare energia anche grazie alle sospensioni. In particolare si tratta di ammortizzatori elettroidraulici che sostituiscono quelli

tradizionali sulle ruote posteriori e che, oltre a permettere di regolare lo smorzamento e l'escursione in modo più completo, possono sfruttare il molleggio e le oscillazioni dei bracci per convertire quell'energia in corrente.

Un'ulteriore soluzione per produrre energia è stata ideata dai tecnici BMW che si sono posti il problema di riutilizzare il calore prodotto e dissipato dai motori classici. Questi motori classici trasformano in movimento soltanto il 30 o al massimo il 40% dell'energia che viene generata dalla combustione disperdendo il resto sotto forma di calore da smaltire.

Insomma, riuscire a realizzare pavimentazioni in grado di creare energia per fornirla alle abitazioni, alle autovetture elettriche che oggi giorno stanno aumentando sulle strade del nostro Paese è davvero un'idea che a sua volta permetterebbe di produrre energia grazie ai componenti di questi mezzi di trasporto.

Va anche detto che tra tutte le soluzioni citate in precedenza, in Italia non sono ancora state applicate se non in minima parte, lungo qualche tratto stradale in quanto la maggior parte di esse sono ancora in fase di sperimentazione.

In questa discussione, ci limitiamo a trattare esclusivamente il caso delle pavimentazioni stradali, anche se il campo di interesse per il recupero dell'energia si può estendere anche ai binari ferroviari.

Quanto fino ad ora detto rispecchia un po' il concetto di smart city di cui abbiamo parlato nel primo paragrafo di questa analisi.

La smart city, in particolare, è una città intelligente che mira a diventare economicamente sostenibile ed energeticamente sufficiente, è attenta alla qualità di vita e ai bisogni dei propri cittadini.

Significa connessioni wi-fi nei luoghi più disparati, sviluppare infrastrutture "intelligenti" senza assolutamente andare a crearne di nuove ma riutilizzando già quelle presenti sul territorio, strade percorse da guida autonoma, incroci regolati da semafori "intelligenti" ed un alto livello di tecnologia hi-tech.

2.0 Conclusioni in merito a smart cities e smart roads

Per riuscire a migliorare il traffico e quindi creare una mobilità "green", alcuni territori si sono già mobilitati. Per esempio la Provincia di Bolzano ha ideato un vera e propria "piramide" della mobilità sostenibile. Tra i punti cardini della piramide rientrano: evitare di creare traffico, trasferirlo e migliorarlo. L'Alto Adige intende diventare entro il 2030 una regione modello per la mobilità alpina sostenibile, attuando numerose misure per evitare di creare il traffico, trasferirlo e migliorarlo.

Cosa significa evitare di creare traffico? In realtà il traffico più ecologico in assoluto è quello che non esiste. E' per tale motivo che evitare di creare traffico è la priorità assoluta dell'Alto Adige. Gli insediamenti abitativi, le strutture economiche e le offerte di mobilità vanno programmate in modo da evitare a priori i volumi di traffico non necessari.

Il traffico può anche essere evitato grazie all'utilizzo della pratica del car-pooling consistente nel fatto che tre persone all'interno di una autovettura generano meno traffico rispetto a tre auto occupate ciascuna da una singola persona e con il telelavoro (lavorare a casa un giorno alla settimana significa generare il 20% in meno di traffico dei pendolari).

Per ridurre l'inquinamento atmosferico, anziché utilizzare o intervenire creando pavimentazioni stradali in grado di produrre energia per potere anche ricaricare le autovetture elettriche, l'Alto Adige ha l'obiettivo di trasferire il traffico, che inevitabilmente non si può evitare di creare, su mezzi di trasporto ecologici quali autobus e treni, che rappresentano un punto cardine a favore della mobilità sostenibile oppure utilizzando la bicicletta o andando a piedi.

Proprio a questo proposito, più che lavorare sulle strade per creare una "smart city", l'Alto Adige sta lavorando per potenziare ulteriormente la rete ferroviaria. In combinazione con i punti di scambio intermodale verrà così creata un'interessante ed ecologica alternativa o integrazione al traffico veicolare. Anche il traffico che non si può evitare di creare né trasferire deve essere migliorato. Questo rappresenta infatti il terzo ed ultimo obiettivo dell'Alto Adige. A tale proposito, la mobilità elettrica occupa un ruolo di importanza decisiva.

L'adozione di soluzioni tecniche, come i sistemi intelligenti di gestione del traffico, e la realizzazione di infrastrutture, come le barriere antirumore, possono contribuire a ridurre gli effetti negativi del traffico. La mobilità elettrica, sia con l'uso di batterie che con celle a combustibile alimentate a idrogeno, ha il vantaggio di evitare e di ridurre a priori l'emissione di gas di scarico nocivi e il rumore prodotto dal traffico veicolare.

Per ridurre al minimo l'impatto ambientale, i motori elettrici andrebbero preferibilmente impiegati nei casi in cui si debba utilizzare quotidianamente il veicolo. Questi impieghi sono interessanti anche sotto l'aspetto economico perché, anche se i veicoli elettrici sono ancora molto costosi, hanno consumi notevolmente inferiori rispetto ai motori a scoppio.

Tutto questo rientra nel grande progetto di realizzare le "smart roads" proprio per creare città intelligenti. La "smart road" è una nuova concezione di strada intelligente che punta a consentire comunicazione e interconnessione tra i veicoli che la percorrono.

Le strade evolvono di pari passo con il mondo della mobilità, per questo motivo un'attenzione particolare è rivolta alla innovazione tecnologica e alle sue applicazioni.

E' stato, a tale proposito, avviato il progetto Anas Smart Road, tecnologia abilitante per lo sviluppo della Smart Mobility e propedeutica ai futuri scenari di guida autonoma dei veicoli.

L'obiettivo è di dotare il paese di una rete stradale efficiente, in progressivo miglioramento e aperta alle nuove sfide del futuro: dall'alimentazione elettrica, alla guida assistita ed oltre, come nel caso dei veicoli a guida autonoma.

Tra i progetti per la realizzazione di Smart Roads è presente quello dell'Anas. In particolare, la Smart Road di Anas sarà anche una strada sostenibile dal momento che è stata progettata per ospitare le infrastrutture abilitanti verso la mobilità elettrica.

Oltre a queste innovazioni da un punto di vista delle infrastrutture stradali, sono previste anche le Green Island Anas, aree dislocate lungo le Smart Road in cui verrà distribuita energia pulita garantendo l'ecosostenibilità.

L'obiettivo che si propongono le Green Island è di alimentare tutti gli apparati della Smart Road. Inoltre, in queste Green Island, saranno installati sistemi di ricarica veicoli e sistemi di ricarica dei droni per il monitoraggio e le ispezioni di opere civili strategiche al fine di ottenere un'adeguata sorveglianza di queste strade innovative.

Nel suo insieme, il piano Smart Mobility Anas ha l'obiettivo di realizzare una mobilità a misura di utente della strada, ad alto contenuto tecnologico e a basso impatto ambientale.

Gli obiettivi principali che si propone l'Anas sono i seguenti: controllo del traffico, innalzamento della sicurezza stradale e gestione della mobilità.

Vengono definite "strade del futuro" ma non è esattamente così in quanto si stanno già realizzando soluzioni pratiche in questo ambito. In linea con il programma Smart Road Anas, il paese scandinavo sta lavorando alla Smartroad Gotland. Si tratta del primo progetto pilota di strada "wireless electric" al mondo che si snoda per circa 4 chilometri con bobine di rame e reti elettriche posizionate pochi centimetri al di sotto del manto stradale per la carica ad induzione.

Si tratta, come nel caso italiano, di una parte del piano per la transizione energetica volto ad azzerare le emissioni di anidride carbonica del trasporto su gomma in modo da puntare all'indipendenza dai combustibili fossili entro il 2050.

Anche nella Regione Veneto si sta lavorando a questo progetto. In realtà le opere rientravano nel piano in visione dei Mondiali di Sci Alpino di Cortina 2021, ma ad oggi non ancora testato da veicoli elettrici.



Immagini che mostrano l'installazione di pali per una mobilità sempre più efficiente.

Tutto quanto visto fino ad ora in termini di recupero energetico dalle pavimentazioni stradali, di utilizzo di mezzi elettrici, di modifica delle infrastrutture stradali per puntare rapidamente alla sostenibilità e' concretamente realizzabile intervenendo quindi sui cambiamenti climatici.

CAPITOLO 2

2.1 Strade in calcestruzzo: sostenibili, durevoli e riciclabili

Oltre che a recuperare energia dalle strade, un altro obiettivo altrettanto importante da raggiungere consiste nel cercare nuove idee per realizzare pavimentazioni stradali ecosostenibili, green e durevoli. Tra queste, una prima idea è quella di realizzare le strade in calcestruzzo di cui discuteremo nel presente paragrafo.

Il calcestruzzo viene prodotto con materie prime locali ed è riciclabile al 100%. Alla fine della vita utile, il calcestruzzo può essere frantumato, ottenendo così aggregati (sabbia e ghiaia) da utilizzare per la produzione di nuovo calcestruzzo oppure per altre applicazioni legate a cemento e non, quali ad esempio i sottofondi stradali.

In tutti i casi, si favorisce il risparmio delle risorse naturali. Le miscele di calcestruzzo utilizzate nelle costruzioni stradali possono essere realizzate con cementi low-carbon prodotti mediante l'utilizzo di materie di sostituzione (ceneri volanti, loppa) recuperati da altri settori industriali, garantendo comunque pari prestazioni.

La demolizione selettiva e il riciclo consentono di separare gli aggregati ottenuti da calcestruzzo riciclato di alta qualità, provenienti, per esempio, da pavimentazioni stradali, dagli aggregati provenienti da riciclo ordinari (come per esempio da fondazioni degli edifici).

Gli aggregati da riciclo di livello qualitativo standard possono essere impiegati, nella maggior parte dei casi, per la realizzazione di strati di base ad alte prestazioni, che sono indispensabili e fondamentali per riuscire a realizzare pavimentazioni stradali, sia di tipo flessibile che di tipo rigide, che hanno l'obiettivo di durare nel tempo.

Questo è un esempio di riciclo, che rappresenta un modo sostenibile per recuperare tali aggregati.

Uno dei vantaggi di questi aggregati da riciclo è il fatto che sono in grado di riassorbire dall'atmosfera all'incirca fino al 20% delle emissioni di anidride carbonica che erano state prodotte nella fase di fabbricazione e realizzazione del cemento.

In questo caso si parla di un processo definito (ri)-carbonatazione: tale tecnica permette di migliorare quella che è la qualità degli aggregati, facendo in modo di renderli ancora più adeguati al riciclo per la produzione di nuovo calcestruzzo.

Ogni anno, in Europa si producono milioni di tonnellate di rifiuti da costruzione e demolizione, un terzo di questi rifiuti prodotti è costituito da calcestruzzo. Per quanto riguarda questo materiale, ovvero il calcestruzzo, il processo di riciclo non è molto complicato.

Infatti, il lato positivo del calcestruzzo è che questo può essere recuperato fino al 100% una volta avvenuto il processo di demolizione.

Il riciclaggio offre due vantaggi principali: riduce drasticamente il consumo di materie prime naturali e diminuisce anche la quantità di rifiuti che, senza il processo di riciclo, dovrebbero essere stoccati in discarica.

Le modalità di utilizzo del calcestruzzo riciclato sono essenzialmente due: può essere impiegato come aggregato nella produzione di nuovo calcestruzzo oppure essere impiegato nella realizzazione di sottofondi stradali e terrapieni. Il sottofondo può essere realizzato con materiale sciolto oppure legato al cemento (per esempio il materiale può essere misto-cementato, magrone ect).

Nelle applicazioni pratiche sono stati utilizzati aggregati ottenuti dal riciclo del calcestruzzo nella realizzazione delle pavimentazioni stradali.

Oggi, grazie ai progressi effettuati dalla ricerca e in ambito tecnologico, il numero di applicazioni è in via di aumento anche nella realizzazione di pavimentazioni a singolo strato, come di cordoli o di barriere di sicurezza.

Gli aggregati di qualità standard possono contenere quantità più elevate di laterizi, vetro o di altri materiali. Il loro utilizzo è consentito solamente per specifici tipi di calcestruzzo di classi di resistenza più bassa; però possono trovare anche largo utilizzo nella realizzazione di strati inferiori del corpo stradale molto performanti non legati o legati con cemento, che sono di estrema importanza per realizzare pavimentazioni stradali durature.

Quindi, in poche parole, la scelta dell'applicazione deve essere basata sull'equilibrio tra sostenibilità, disponibilità del materiale a livello locale e prestazioni tecniche a lungo termine.

Il processo di (ri)carbonatazione nel caso delle pavimentazioni stradali avviene lentamente durante la vita utile per via dell'alta qualità del calcestruzzo.

Alla fine della vita utile, edifici ed infrastrutture vengono demoliti. Se il calcestruzzo viene successivamente frantumato, la superficie esposta aumenta con un conseguente aumento del tasso di ricarbonatazione.

Il più grande vantaggio della realizzazione di strade in cemento è la sua vita utile. Le pavimentazioni in calcestruzzo hanno una vita utile che risulta essere all'incirca pari a 2-4 volte la durata di vita dell'asfalto. In genere, infatti, la durata media di una pavimentazione realizzata in calcestruzzo è all'incirca di 20-40 anni.

Sebbene non sia immune al ciclo di gelo-disgelo, il calcestruzzo è più resistente; dove l'asfalto tende a diventare fragile con il passare del tempo, il cemento è più robusto. Il calcestruzzo tende ad essere un materiale più verde, "green" dal momento che la sua produzione provoca meno inquinamento ambientale e le auto funzionano con una migliore efficienza del carburante sul cemento.

Il calcestruzzo è un materiale che risulta essere anche prodotto dal calcare, che si trova con ampia disponibilità nel territorio.

Per quanto riguarda gli svantaggi di realizzare una strada utilizzando il calcestruzzo, forse quello più evidente è il fatto che, riparare una strada di questo tipo non è affatto semplice. Fori o crepe non possono essere semplicemente sistemati. Nemmeno il cemento è così aderente come l'asfalto e i costi per l'installazione e la successiva manutenzione possono essere a volte elevati.

Le superfici in calcestruzzo (in particolare Cemento Portland) sono realizzate mediante l'impiego di una miscela di cemento Portland, aggregato grossolano, sabbia e acqua.

In quasi tutte le miscele moderne vengono aggiunti ulteriori additivi per aumentare la lavorabilità, ridurre la quantità di acqua richiesta, e altri scopi benefici.

Perché si preferisce utilizzare il cemento per la realizzazione delle strade rispetto all'asfalto?

Le strade in cemento sono molto più resistenti e rispettosi dell'ambiente rispetto alle strade asfaltate.

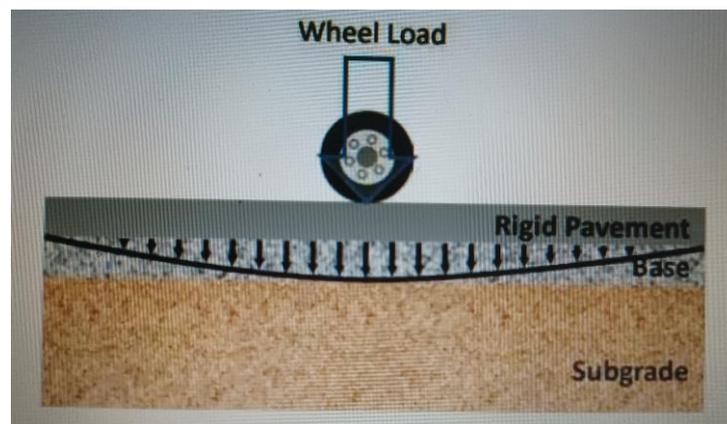
Tuttavia, la pavimentazione in asfalto costa molto meno della pavimentazione stradale in cemento. Inoltre, la strada asfaltata offre una sicurezza migliore del veicolo contro la neve e lo slittamento.

Le pavimentazioni rigide supportano i carichi grazie alla rigidità e all'elevato modulo di elasticità del calcestruzzo. I carichi si distribuiscono allo strato di terreno naturale attraverso diversi strati di pavimentazione rigida. La composizione e la struttura della pavimentazione rigida ci forniscono informazioni sulle funzioni di ogni strato di pavimentazione rigida.

In generale, il calcestruzzo cementizio Portland viene impiegato come elemento strutturale primario per pavimentazioni rigide. L'armatura, si trova sostanzialmente nella soletta a seconda della resistenza del terreno e delle condizioni di carico a cui è esposto. Anche le lastre in calcestruzzo precompresso possono essere impiegate come strato di superficie. La soletta in calcestruzzo poggia solitamente su un sottofondo granulare, il quale è sostenuto, a sua volta, da un sottofondo compattato.

I risultati migliori di pavimentazione si ottengono quando gli strati di supporto sotto la pavimentazione sono uniformi.

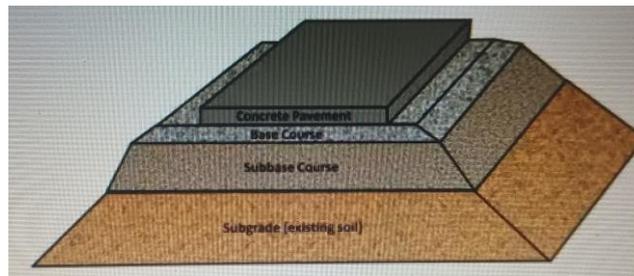
Viene di seguito mostrata una figura che mostra come il carico della ruota viene trasferito in una pavimentazione stradale realizzata attraverso il calcestruzzo.



Questa figura, mostra chiaramente come si trasferisce il carico della ruota alla struttura che compone la pavimentazione stradale sottostante costituita da un primo strato rigido, da uno strato di base e uno di sotto-base.

La struttura di una pavimentazione rigida è così costituita:

- lastra di cemento o corso di superficie, base granulare o base stabilizzata, corso di sotto-base granulare o stabilizzato, strato di protezione dal gelo, terreno di sottofondo.



La soletta in calcestruzzo è lo strato più superficiale della pavimentazione rigida che è a diretto contatto con i carichi veicolari. Questo strato prende anche il nome di corso di superficie.

È resistente all'acqua e impedisce le infiltrazioni d'acqua nel corso di base. Offre attrito ai veicoli per fornire resistenza allo scivolamento. Lo spessore della soletta in calcestruzzo è variabile tra i 15 e i 30 centimetri.

Il corso di base (o base granulare o base stabilizzata) è il secondo strato dall'alto ed risulta essere costruito utilizzando aggregati frantumati. Questo corso aiuta il corso di superficie a prendere carichi aggiuntivi, fornisce una piattaforma stabile per costruire pavimentazioni rigide e deve avere uno spessore minimo di 10 centimetri.

La sotto-base granulare o sotto-base stabilizzata, costituisce il terzo strato dall'alto ed è in contatto con il terreno del sottosuolo ed il corso di base. È costruito utilizzando aggregati di bassa qualità rispetto al corso di base ma dovrebbero essere di qualità migliore rispetto al sottofondo.

Generalmente il corso di sotto-base non è richiesto quando il carico di traffico risulta essere leggero.

La sua funzione principale è fornire supporto agli strati superiori e funge anche da controllo dell'azione antigelo.

Nelle regioni a bassa temperatura c'è il problema del gelo. Se il terreno contiene falde freatiche elevate, durante le basse temperature l'acqua gela e sotto il sottofondo si formano sollevamenti di brina che causano il sollevamento della pavimentazione a causa della formazione non uniforme di cristalli di ghiaccio.

Generalmente, un buon strato di base e lo stesso strato di sottofondo, fungono da strati di protezione dal gelo.

Infine, il sottofondo non è altro che lo strato di terreno esistente che viene compattato utilizzando attrezzature, per fornire una piattaforma stabile per la pavimentazione rigida. I terreni del sottofondo sono soggetti a sollecitazioni inferiori rispetto agli strati superiori poiché le sollecitazioni diminuiranno mano a mano che aumenta la profondità. I terreni del sottofondo possono variare, ma comunque gli strati posti superiormente al sottofondo dovrebbero essere in grado di ridurre le sollecitazioni a cui è soggetto esso stesso.

2.1.1 Il calcestruzzo drenante: utilizzo e vantaggi

Il calcestruzzo drenante ha una composizione leggermente differente da quella del calcestruzzo che noi siamo abituati a conoscere. Denominato anche NFC (No-Fines Concrete) ovvero calcestruzzo senza frazione fina, il calcestruzzo drenante è un conglomerato composto da acqua, leganti (cemento Portland solitamente), inerti di grana grossa quali la ghiaia e prevede l'assenza di inerti di grana fine quali ad esempio la sabbia.

La ricerca continua per ottenere un ambiente migliore, sano e per produrre vantaggi all'uomo ha portato quindi alla scoperta e al conseguente utilizzo del calcestruzzo drenante per motivi che sono davvero interessanti:

- gestione sostenibile delle acque meteoriche
- alternativa a complessi sistemi di drenaggio
- reintegro delle falde acquifere

Il motivo per il quale questa tipologia di calcestruzzo è così efficace è dovuto sostanzialmente alla sua elevata porosità, una porosità a pori interconnessi di circa il 15-25% del volume del calcestruzzo indurito. Questa tipologia di calcestruzzo può essere utilizzata per diversi impieghi, ma l'ambito principale in cui esso viene utilizzato con maggiore successo è la pavimentazione di infrastrutture pubbliche ed in particolare:

- parcheggi
- vialetti d'accesso
- aree a traffico limitato o leggero

Il mercato edilizio offre una vasta gamma di calcestruzzi drenanti, a seconda dell'utilizzo che se ne intende fare e di quella che risulta essere la spesa prevista.

Per quanto riguarda i calcestruzzi drenanti ce ne sono di varie tipologie disponibili sul mercato, tra cui: il calcestruzzo drenante e fonoassorbente Drainbeton, il calcestruzzo drenante ecologico Pavi Drain, il calcestruzzo drenante colorato dalle diverse permeabilità: Betteghella, il calcestruzzo drenante TopMix Permeable.

Il calcestruzzo DrainBeton è un particolare calcestruzzo drenante ad elevate prestazioni, studiato proprio per il settore delle pavimentazioni stradali. Può essere impiegato attraverso una configurazione mono-strato (attraverso una colorazione naturale oppure pigmentato), oppure può essere rivestito da uno strato di usura in conglomerato bituminoso drenante, con lo scopo principale di realizzare pavimentazioni doppio drenanti- fonoassorbenti.

I vantaggi principali di DrainBeton sono i seguenti:

- drenabilità: l'elevata percentuale di vuoti interconnessi permette a questo tipo di calcestruzzo di drenare fenomeni piovosi molto importanti, garantendo comunque elevati valori di resistenza ai carichi.

- resistenza: dopo all'incirca 5 -7 giorni dalla stesa del calcestruzzo, questo raggiunge valori di resistenza tali da consentire l'apertura della strada al traffico veicolare. Le sue elevate resistenze consentono, inoltre, l'impiego del materiale anche per pavimentazioni stradali ad alto volume di traffico.
- Effetto anti – ghiaccio: la matrice di questo tipo di calcestruzzo permette il continuo circolo dell'aria che permette di accelerare il processo di scioglimento della neve e del ghiaccio, facendo in modo di ridurre drasticamente gli interventi per la rimozione e lo sgombero durante la stagione invernale. La presenza dei vuoti interconnessi, inoltre, consente all'eventuale acqua di ristagno di espandersi liberamente in caso in cui si verifichi il congelamento.
- mitigazione effetto isola di calore: il colore chiaro che presenta il materiale, unito all'elevata porosità della miscela, costituiscono una minore fonte di assorbimento termico rispetto a quelli che sono i conglomerati bituminosi normali, garantendo in questo modo il mantenimento di temperature contenute delle superfici che risultano essere esposte al sole. Queste caratteristiche consentono una rapida dissipazione della temperatura ed una mitigazione dell'effetto isola di calore.
- mitigazione idrogeologica: le sue ottime caratteristiche di drenabilità rendono questo materiale particolarmente adeguato per la realizzazione di interventi in zone che sono soggette a tutela ambientale, per quali risulta essere quindi richiesta la restituzione delle acque piovane al terreno. Il materiale, infatti, non rilascia sostanze inquinanti all'acqua che lo attraversa e, con la struttura a filtro che lo costituisce, limita anche la necessità di interventi di trattamento delle acque meteoriche, riducendo gli effetti nocivi dovuti all'eventuale presenza di contaminanti.
- resistenza al fuoco e agli idrocarburi: tale calcestruzzo drenante è resistente agli idrocarburi ed anche al fuoco. Questo permette l'impiego del materiale anche in zone che sono particolarmente esposte o soggette ad rischio incendi.
- minima manutenzione: questo calcestruzzo è in grado di mantenere invariate le sue caratteristiche fisico - meccaniche ed estetiche nel tempo e non richiede, quindi, operazioni di manutenzione. Per applicazioni in zone soggette a grandi quantità di detriti oppure di polveri, è possibile ripristinare la capacità drenante tramite pulizia con acqua in pressione.
- posa ecologica a freddo: la stesura di questo calcestruzzo drenante, oltre a tutti in vantaggi descritti precedentemente, è ecologica e rispetta l'ambiente in quanto avviene "a freddo", quindi senza emissioni di fumi nell'aria, né rischi per la sicurezza degli operatori, oltre che con notevole risparmio energetico. Questo tipo di conglomerato bituminoso, come già definito, è sostenibile ed eco-compatibile e quindi rispetta i principi di salvaguardia del territorio oltre che dell'ambiente come definito nei paragrafi precedenti a questo.



Immagine relativa al calcestruzzo drenante DrainBeton

Pavi Drain risulta essere un catalizzatore neutro o colorato per calcestruzzi ecologici drenanti. Viene utilizzato per essere miscelato con inerti selezionati di adeguata granulometria al fine di ottenere pavimenti continui e in calcestruzzo colorato ecologico dalle buone prestazioni, oltre che elevata capacità drenante. PaviDrain risulta essere prodotto secondo gli standard europei nel pieno rispetto dei parametri che regolarizzano la sostenibilità ambientale.

Tra i vantaggi di rilievo di Pavidrain, è da ricordare il fatto che questo materiale è in linea con i principi di bioedilizia garantendo così, già in fase di progettazione, un comportamento volto a salvaguardare l'ambiente. Inoltre risulta essere resistente, di facile applicazione ed risulta essere resistente ai cicli di gelo-disgelo.

Viene utilizzato in campi differenti, non solo in ambito di realizzazione di pavimentazioni stradali. Oltre ad essere vicino all'ambiente, Pavi Drain costituisce un'ottima alternativa economica ed è presentato come la migliore scelta per le pavimentazioni di luoghi che risultano essere soggetti a precipitazioni nevose poiché, grazie ai vuoti presenti nella sua composizione, è possibile un veloce scioglimento della neve evitando in tale modo che si vengano a formare pericolose lastre di ghiaccio.



Immagine che rappresenta il catalizzatore utilizzato per calcestruzzi drenanti nella realizzazione di pavimentazioni stradali.

Un'altra azienda che si occupa di studiare continuamente nuovi materiali per la realizzazione di opere stradali risulta essere l'azienda mantovana betteghella, che mette a disposizione una serie di soluzioni di calcestruzzi drenanti a seconda della permeabilità necessaria alla pavimentazione che si intende costruire, avendo anche la possibilità di sceglierne il colore.

Quindi, anche queste differenti tipologie di calcestruzzo drenante trovano applicazioni in diversi campi.

Infine, l'ultimo esempio di calcestruzzo che abbiamo riportato è quello relativo al TopMix Permeable. TopMix Permeable è un calcestruzzo anti - allagamento drenante rapido. E' una soluzione per pavimentazione in calcestruzzo drenante veloce, che, essendo parte integrante di un sistema di drenaggio urbano sostenibile, dirige, in maniera rapida, l'acqua piovana da strade, superfici di parcheggio, passi carrai e passaggi pedonali.

Il calcestruzzo permeabile TopMix può svolgere un ruolo fondamentale nella maggior parte della progettazione dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile, fornendo una risposta a lungo termine alle inondazioni delle acque superficiali che può essere implementata in maniera rapida ed economica. Questo tipo di calcestruzzo permeabile è un'alternativa ai materiali legati granulari ed al calcestruzzo non fine. E' adatto ad essere posizionato sotto altri sistemi di pavimentazioni drenanti come passi carrai, percorsi, banchine stradali in cemento, aree di parcheggio oppure per la stabilizzazione del terreno. Tra i vantaggi più importanti assume rilievo l'aspetto ambientale in quanto questo materiale ha un elevato contenuto di vuoti, che consente all'acqua superficiale di defluire nel substrato e di dissiparsi in maniera naturale.



Immagine relativa al calcestruzzo drenante TopMix-Permeable.

2.2 Definizione e tipologie di bitume

Con il termine bitume si intende una miscela di idrocarburi naturali o residuati derivanti dalla distillazione o raffinazione del greggio. I bitumi possono essere di due categorie differenti tra di loro ed, in particolare, possono essere naturali oppure artificiali. I bitumi naturali si trovano sulla crosta terrestre e si trovano soprattutto in Canada, nel Venezuela, in Messico, a Cuba, nel Colorado e in altri paesi.

I bitumi artificiali o bitumi di petrolio possono sostituire quelli naturali anche se, rispetto a questi, presentano una minore stabilità a causa di una minore percentuale di asfaltini. Si ottengono dalla distillazione del greggio.

Il bitume è una sostanza dalla colorazione prevalentemente scura, ha una consistenza viscoelastica, è termoplastico, ma non presenta una temperatura di fusione definita in modo chiaro.

I bitumi sono impermeabili all'acqua, parzialmente solubili in molti solventi organici, presentano una percentuale in peso di carbonio e di idrogeno intorno all' 80 e al 10% rispettivamente.

Per quanto riguarda la classificazione del bitume, si può fare un'ulteriore suddivisione:

-petrolbitumi: solubili in solfuro di carbonio e gasolio;

-cherobitumi: questi ultimi risultano essere insolubili;

Per le sue proprietà (tra cui, per esempio, l'impermeabilità o la funzione di isolante), il bitume viene ampiamente utilizzato per la realizzazione delle pavimentazioni stradali, manti impermeabili ed isolamenti elettrici.

Le rocce abbondantemente ricche di bitume, sono chiamate asfalti e sono localizzate principalmente in zone quali la Palestina oppure il Venezuela.

2.2.1 Elementi per ottenere bitume modificato

Le pavimentazioni stradali, possono essere costruite impiegando principalmente due materiali: il cemento oppure il bitume. Se viene impiegato il primo materiale, allora si ottiene una tipologia di pavimentazione stradale definita pavimentazione rigida che, risulta essere tipicamente realizzata in aree aeroportuali; mentre se si impiega il bitume allora la pavimentazione stradale è definita pavimentazione flessibile. Le pavimentazioni realizzate con conglomerato bituminoso sono le più diffuse ed i principali vantaggi rispetto alle pavimentazioni rigide sono le seguenti:

- il costo;

- la possibilità di accedere al sottosuolo evitando operazioni che possono essere troppo complesse;

Per tali motivi, la ricerca sui bitumi è in continua evoluzione ed, in particolare, oggi si può parlare di bitumi tradizionali addizionati con polimeri, o meglio di bitumi modificati (Polymer Modified Bitumens, PMB).

I polimeri più impiegati per la creazione di bitumi modificati sono gli elastomeri (gomme sintetiche) e plastomeri (materie plastiche).

Tramite l'aggiunta di questi elementi si possono ottenere miglioramenti sotto diversi punti di vista:

- maggiore rigidità alle basse temperature;

- migliore resistenza all'invecchiamento;

- migliore resistenza a fatica;

- minore suscettibilità alle variazioni di temperatura;

- maggiori capacità elastiche;

Queste migliorie si possono ottenere semplicemente con l'aggiunta di una bassa percentuale di polimeri, generalmente variabile tra il 2 e il 10%.

Un altro aspetto rilevante risiede nell'aumento della porosità. L'introduzione di polimeri nel bitume permette di ottenere i cosiddetti bitumi aperti, i quali presentano un grado di porosità del 15%.

Questo, ha un obiettivo estremamente importante in quanto evita il problema dell'aquaplaning, consistente nello slittamento del pneumatico nella situazione in cui il manto stradale risulti essere bagnato.

Oltre ad ridurre la problematica dell'aquaplaning, con una maggiore impermeabilizzazione si evitano i dissesti causati dalla penetrazione dell'acqua sotto il manto stradale. Questo, generalmente, provoca un indebolimento di quelle che risultano essere le proprietà meccaniche dell'infrastruttura stradale stessa.

Oltre a garantire i vantaggi che sono stati precedentemente elencati, l'aggiunta dei polimeri nel conglomerato bituminoso permette anche di ottenere una maggiore vita utile della pavimentazione stradale. In particolare, si riuscirebbe a garantire un'aggiunta di 4 anni a quella che risulta essere la normale durata della pavimentazione stradale.

Da un punto di vista della spesa economica, la produzione di bitumi modificati con l'aggiunta di polimeri necessita di una spesa sicuramente maggiore, ma garantisce i vantaggi precedentemente elencati.

Il nuovo bitume consente però di risparmiare su spese di manutenzione e di monitoraggio.

Quindi, con una minore necessità di manutenzione, si ha un minore disturbo per l'utenza e soprattutto per quello che risulta essere l'ambiente circostante.

In particolare, nei confronti dell'ambiente circostante, si possono ottenere riduzioni di consumi energetici ed attualmente molti sono gli studi che mirano proprio alla produzione di bitumi modificati attraverso l'utilizzo di polimeri riciclati ed, in particolare, attraverso i trucioli ricavati da pneumatici di autovetture in disuso piuttosto che di sostanze plastiche.

Per realizzare pavimentazioni durature ed ecosostenibili, si stanno testando vari materiali come per esempio: il super-modificante polimerico a base di grafene, rigeneranti del fresato per miscele a caldo, rigeneranti del fresato per miscele a freddo, additivi per miscele tiepide, flussanti tradizionali, flussanti ecologici, emulsionanti per emulsioni cationiche ed anioniche, fibre di differente natura, compound polimerici per la modifica delle miscele, compound polimerici polifunzionali per la modifica delle miscele, emulsioni bituminose e sintetiche, agenti schiumogeni per bitume ed altri ancora per differenti scopi ed obiettivi.

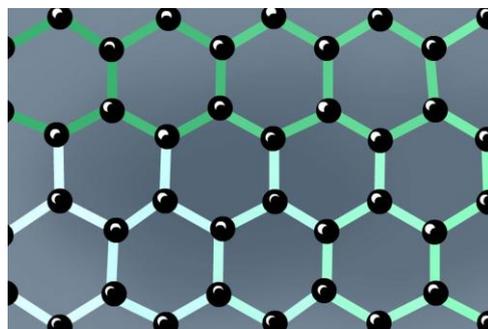
Le tecnologie più innovative permettono oggi di:

- aumentare la vita utile;
- rigenerare e riutilizzare i conglomerati bituminosi derivanti dalla demolizione e fresatura delle vecchie pavimentazioni;
- ridurre i consumi energetici e le emissioni in ambiente;

Nei successivi sotto- paragrafi riguardanti comunque l'utilizzo di materiali innovativi e sostenibili per l'ambiente, verranno descritti i principali vantaggi di questi materiali, le loro applicazioni ed in quale modo agiscono per ottenere pavimentazioni stradali con caratteristiche migliori.

2.3 Super-modificanti a base di grafene per strade sostenibili

La grafite è un materiale stratificato, la cui struttura è formata da atomi di carbonio tenuti insieme sullo stesso piano da legami covalenti, mentre le diverse tipologie di strato sono legati dalle interazioni di Van der Waals. Dalla lavorazione della grafite si ottiene il grafene che risulta, invece, essere un monostrato di atomi di carbonio disposti in una struttura simile ad un nido d'ape.



Questa struttura ordinata permette di conferire elevate caratteristiche fisico-meccaniche ai prodotti e agli oggetti che lo contengono, riuscendo ad ottenere applicabilità in diversi settori tra i quali l'elettronica, la medicina, l'ingegneria civile e altri ancora.

Proprio per la possibilità di impiego all'interno dell'ingegneria civile ed, in particolare, all'interno del campo delle pavimentazioni stradali, sono incominciate le prime applicazioni su alcune strade italiane del super-modificante Gipave.

Questa nuova tecnologia usa specifici polimeri e materiali a base di grafene con lo scopo principale di migliorare le prestazioni fisico-meccaniche delle pavimentazioni ed ottenere così quello che abbiamo anche precedentemente definito PMB (Polymer modified bitumen), ovvero un bitume modificato con l'aggiunta di specifici polimeri.

Per ottenere questo super-modificante, è stato attuato uno specifico processo di recupero delle plastiche dure (giocattoli, bidoni, oggetti in plastica) e dopo un adeguato trattamento, le plastiche dure sono state impiegate per riuscire a costruire la base del compound super-modificante Gipave.

Tra i componenti del Gipave, oltre a specifiche plastiche selezionate, è presente il grafene, che secondo alcuni test effettuati conferisce all'asfalto una resistenza maggiore, riuscendo ad arrivare fino al 250 % rispetto alle soluzioni tradizionali.

Quali sono le caratteristiche principali di questo nuovo asfalto al grafene? Tutti i vari test effettuati dai laboratori e dalle università hanno mostrato ottimi risultati in termini di performance della miscela.

Infatti, attraverso il bitume modificato con aggiunta di grafene si ha un aumento della resistenza ai cicli di carico, capacità di sopportare le escursioni termiche e migliori valori di resistenza ad una possibile deformazione dovuta ai frequenti passaggi di carichi elevati.

Al centro di questa innovazione c'è il concetto di economia circolare. Gipave, contiene infatti G+, ovvero "Graphene Plus", una particolare tipologia di plastica da recupero selezionata in maniera adeguata ed una base creata da Interchimica.

L'utilizzo di questo prodotto ottenuto come descritto poco fa, ovvero Gipave permette all'asfalto di essere riciclato al 100% nei successivi cicli produttivi, riuscendo in questo modo a risparmiare materie prime ed a ridurre drasticamente le emissioni di anidride carbonica.

Quindi, attraverso un innovativo processo di selezione, le plastiche che verrebbero normalmente destinate agli impianti di termovalorizzazione (o anche plastiche "dure") possono essere riciclate per la creazione di pavimentazioni stradali, nonché riutilizzate nei successivi cicli produttivi.



Figura che illustra il prodotto Gipave ottenuto grazie al grafene e alle plastiche dure.

Da un punto di vista della riduzione degli impatti ambientali, è importante sottolineare differenti aspetti:

- la formulazione prevede l'utilizzo di grafene prodotto senza solventi o altri prodotti chimici;
- la selezione permette il riciclaggio di plastiche dure normalmente non ritenute recuperabili e riutilizzabili, evitando quindi la termovalorizzazione;
- il processo produttivo del super-modificante è a minori consumi energetici, limitando le emissioni in ambiente;
- i conglomerati bituminosi, modificati con la tecnologia in oggetto, hanno elevata vita utile, riducendo l'utilizzo di materie prime non rinnovabili e diminuendo la manutenzione stradale nel tempo;
- i materiali derivanti dalla demolizione di pavimentazioni contenente il super-modificante a base di grafene sono riutilizzabili come un qualsiasi altro conglomerato bituminoso.



2.4 Riciclaggio a caldo e a freddo del fresato con l'impiego del bitume schiumato

Il conglomerato bituminoso di recupero, o fresato, è il materiale proveniente dalla fresatura o demolizione di pavimentazioni stradali alla fine della loro vita utile o da scarti di produzione in impianto.

E' costituito generalmente da aggregati, bitume e filler uniti tra di loro.

Al fine di ottenere pavimentazioni stradali di adeguate caratteristiche, nonché prestazioni di tipo meccanico utilizzando anche una elevata percentuale di fresato, è necessario che questo sia sottoposto prima ad idonei processi di lavorazione e sia trattato secondo le norme vigenti nel nostro territorio.

La tecnica del riciclaggio a caldo prevede il confezionamento delle miscele bituminose alle temperature di produzione tradizionali, conferendo prestazioni elevate al conglomerato riciclato che risulta quindi idoneo per ogni tipo di impiego, dagli strati di base a quelli di usura. Le miscele bituminose con fresato prodotte a caldo sono composte da: aggregati lapidei di primo impiego, fresato presente in quantità variabile, bitume, attivanti chimici funzionali per la rigenerazione del bitume ossidato. Le percentuali di recupero a caldo del fresato possono essere estremamente variabili in quanto, in qualche occasione è possibile addirittura riuscire a recuperare il 100% del fresato. Il reimpiego di conglomerato bituminoso di recupero, permette di ottenere diversi benefici, soprattutto in ambito ambientale, grazie ad un minore consumo di materie prime non rinnovabili.

Il riciclaggio del fresato a freddo, intervenendo quindi senza riscaldamento dei materiali e potendo reimpiegare fino al 100% di materiali di recupero, offre elevati benefici economici ed ambientali garantendo buoni livelli prestazionali.

Il riciclaggio a freddo è applicabile in progetti di manutenzione ma anche per nuove costruzioni. Questo tipo di processo può avvenire in due modi differenti tra di loro:

- in sito;
- in impianto;

La scelta della tipologia di procedimento che si vuole adottare, dipende dalla disponibilità dei materiali e dalla funzione dello strato della sovrastruttura.

In questo modo, ovvero impiegando il procedimento di riciclaggio a caldo oppure quello a freddo, si può intervenire a sostegno dell'ambiente riuscendo comunque a rigenerare le pavimentazioni stradali pre-

esistenti. Questo rispecchia sempre il concetto di Circular Economy a favore del riutilizzo e del riciclo di quanto disponibile.

In realtà il riciclaggio a freddo può avvenire anche tramite l'impiego del bitume schiumato. Il bitume schiumato si ottiene dalla "schiumatura" del bitume: questa prevede l'iniezione di piccole quantità d'acqua e di aria ad alta pressione nel bitume riscaldato, che, in questo modo schiuma e aumenta di volume fino all'incirca 20 volte rispetto al volume originario.

La schiuma viene, quindi, aggiunta tramite gli ugelli in un mescolatore e lavorata in modo ottimale con materiali edili freddi ed umidi. Il nuovo materiale edile viene definito materiale stabilizzato a bitume.

Il riciclaggio a freddo con bitume schiumato consente la realizzazione di strati di base flessibili e durevoli. La produzione e l'aggiunta di bitume schiumato in una miscela di sostanze minerali avviene all'interno di una riciclatrice tramite impianti di spruzzatura controllati da microprocessori.

2.5 Strade green grazie all'impiego di pneumatici fuori uso

Attraverso il riciclo degli pneumatici usati, è possibile produrre in modo sostenibile pavimentazioni



stradali. In realtà, la tecnologia che permette di utilizzare gli pneumatici in disuso per creare dell'asfalto non è nuova, anzi, risulta essere una pratica impiegata a partire da 60 anni fa.

In questo ultimo periodo, questa tecnica è stata sfruttata in modo differente. Aggiungendo, infatti, polverino di gomma da riciclo fuori uso al bitume per asfalti si ottiene una pavimentazione stradale aventi prestazioni

meccaniche migliori rispetto ai bitumi convenzionali e in grado, inoltre, di ridurre il rumore generato dal passaggio dei veicoli.

Ad oggi, sono stati realizzati all'interno del nostro Paese, molte pavimentazioni stradali con asfalto modificato con gomma riciclata da pneumatico fuori uso ed in particolare in regioni quali l'Emilia – Romagna, la Toscana, il Piemonte e il Trentino Alto Adige.

I vantaggi principali degli asfalti modificati attraverso il polverino di gomma riciclata sono:

- riduzione della rumorosità generata dallo pneumatico nel contatto con la strada;
- lunga durata della pavimentazione stradale e resistenza all'invecchiamento con durate che possono risultare addirittura fino a tre volte superiori rispetto ad un asfalto tradizionale;
- maggiore resistenza della superficie quando si vengono a generare fessurazioni e crepe di ogni tipo con vantaggi dal momento che, non sono necessari interventi di manutenzione ed anche i costi risultano essere ridotti;

- maggiore sicurezza grazie ad un'ottima aderenza;

La conoscenza delle specifiche tecniche del polverino di gomma è un fattore imprescindibile per la corretta formulazione dei bitumi “gommati”. I numerosi studi bibliografici hanno dimostrato che, la composizione della gomma e la granulometria del polverino sono le due variabili che influiscono maggiormente sulla proprietà finali del “bitume gommato”.

Il polverino da gomma è il prodotto della granulazione di pneumatici fuori uso avente dimensioni inferiori ad 1 millimetro, inoltre, deve essere composto principalmente da gomma naturale e sintetica.

In letteratura, l'interazione ad alta temperatura del bitume con le particelle di gomma provenienti da pneumatici viene descritta in modo differente. Talvolta viene presentata come una reazione chimica di degradazione degli elastomeri per effetto termico oppure come un processo di de-vulcanizzazione della gomma, in cui vengono rotti i legami zolfo-zolfo propri della vulcanizzazione. Tuttavia, l'interazione tra il bitume e la gomma è principalmente un fenomeno fisico, il cui meccanismo principale consiste nel rigonfiamento della gomma dovuto all'assorbimento delle frazioni meno pesanti del bitume.

Nel corso dell'interazione bitume-gomma, le particelle di gomma iniziano a gonfiarsi ed ad aumentare di volume, la superficie esterna delle particelle di gomma diventa gelatinosa e tende a disfarsi per effetto dell'agitazione mentre viene incorporata all'interno del bitume. Portando questo fenomeno al limite, se la temperatura o l'energia di agitazione venissero protratti, la particella di gomma scomparirebbe all'interno del bitume.

Il processo di interazione della gomma con il bitume prende anche il nome di digestione.



La figura sopra riportata mostra il processo di interazione tra la gomma ed il bitume.

Il processo di progettazione del bitume gommato in laboratorio è un processo che prevede, come prima operazione, la selezione dei componenti ed anche dei parametri di processo affinché sia, successivamente, possibile riuscire a riprodurre le medesime condizioni su scala industriale e riuscire quindi ad ottenere un prodotto che possa rispondere alle esigenze pratiche.

2.6 Bio-asfalti e bio-leganti per strade green

Attualmente, per le costruzioni delle infrastrutture stradali ed anche aeroportuali, viene impiegato circa il 90% di bitume, la maggior parte della quale è derivato principalmente da combustibile fossile.

Il bio-asfalto è un'alternativa all'asfalto a base di risorse rinnovabili non petrolifere. Tali fonti comprendono, per esempio, zuccheri, riso, mais, patate, lattice di gomma naturale e oli vegetali, lignina, cellulosa, olio di palma; insomma sono veramente molti i materiali che possono essere impiegati per la produzione di questi asfalti alternativi.

I leganti bituminosi, non a base di petrolio, possono essere colorati e questo rappresenta un'importante aspetto per riuscire a ridurre le temperature delle superfici stradali e quindi ridurre le isole di calore urbane.

Dal punto di vista dell'ingegneria stradale, i leganti del bio-asfalto hanno benefici economici, sociali ed ambientali; e quindi, possono essere parzialmente sostituiti ai leganti dell'asfalto a base di petrolio. Una tipica materia prima per la produzione di legante bio-asfalto impiegato come fonte di energia rinnovabile è chiamato comunemente biomateriale. Esempi di questi biomateriali possono essere ad esempio oli, cotone, semi di lino e molti altri ancora.

Tra le nuove idee rivoluzionarie, non verrà più impiegato il petrolio o altri materiali tossici e dannosi, bensì le alghe che permetteranno di trasformare le pavimentazioni stradali in vie ecologiche e rispettose dell'intero pianeta.

Questa è un'idea che, potrebbe rappresentare il futuro delle infrastrutture stradali perché ad oggi, non sono state realizzate concretamente pavimentazioni stradali impiegando le alghe, ma con un elevatissimo potenziale.

Il bio-asfalto è costituito da alghe e per quanto possa sembrare strano e poco credibile, in realtà è un materiale molto efficiente ed sostenibile per l'ambiente.

Questa invenzione permette di realizzare un manto stradale sostenibile. A realizzare questo prodotto sono stati un gruppo di ricercatori e protagonista di questa ricerca è stata una particolare tipologia di alga, la diatomea chiamata "Fistulifera Solaris" che presenta due caratteristiche di particolare interesse:

- cresce molto rapidamente;
- presenta un'elevata concentrazione di acidi grassi omega tre liquidi;

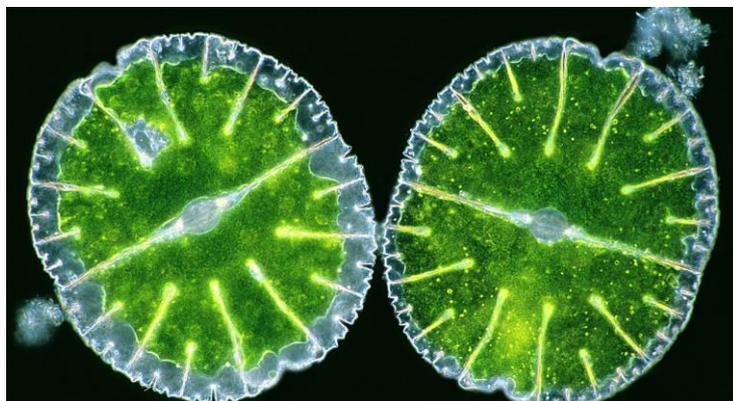


Immagine che illustra l'alga diatomea che può produrre bio-asfalto.

La coltivazione industriale di questa tipologia di alga potrebbe rappresentare una vera e propria svolta al fine di ottenere grandi biomasse di Fustilifera.

L'asfalto rientra nel programma di ricerca francese definito "Algoroute". Il progetto di ricerca ha l'obiettivo principale di capire quali possono essere altre alternative rinnovabili in un mondo post-petrolio. La chimica "verde" di origine biologica offre strade di particolare interesse: se è vero che, ad oggi, esistono già sul mercato prodotti sostitutivi di origine vegetale quali oli oppure mais; d'altra parte viene da domandarsi come è possibile riuscire dalle micro-alghe a produrre un nuovo bitume di origine biologica ed rinnovabile in sostituzione al bitume di petrolio.

La coltura delle micro-alghe presenta un duplice vantaggio: hanno rese di biomassa molto elevate e non entrano in concorrenza con le produzioni legate al cibo umano.

In merito a quanto appena definito, negli ultimi decenni è cresciuto l'interesse nei confronti delle micro-alghe dal momento che, non entrano a far parte dei processi per l'alimentazione umana, ed in particolare la concentrazione si è focalizzata su come estrarre lipidi da micro-alghe per la produzione di bio-leganti.

In questo determinato momento, le micro-alghe sono una delle alternative più promettenti e più studiate per la creazione di un bio-legante ad uso stradale in grado di sostituire quelli a base di bitume.

Una delle caratteristiche principali del progetto francese poco fa definito, Algoroute, consiste nell'andare a studiare la composizione chimica di questi prodotti con l'obiettivo di riuscire a comprendere quali siano le reali ed effettive proprietà reologiche e poterle poi confrontare con quelle di un bitume che viene normalmente impiegato nella realizzazione delle pavimentazioni stradali.

Nei laboratori francesi, sono stati effettuati i primi test su questi prodotti con risultati che sembrerebbero davvero incoraggianti anche se, non sono testati ancora su ampia scala, ovvero su una reale pavimentazione stradale.

L'attenzione per riuscire nell'intento di creare un bio-legante dando così vita a strade sostenibili, ecocompatibili nonché "green", si concentra anche sulle varie fasi di estrazione e successiva trasformazione dei prodotti "algali" mediante per esempio un estrattore oppure attraverso liquefazione idrotermale dovendo essere in grado di limitare i consumi energetici per rispettare l'ambiente circostante. Dopo avere selezionato quindi, una varietà di alghe ricche di proteine, il processo consiste nell'estrazione delle proteine per una prima valutazione alimentare, poi a recuperare i residui di tale produzione mediante frazionamento e processi termochimici.

Si ottiene così un legante idrofobico (che respinge quindi l'acqua) e viscoelastico. Questo legante deve essere in grado di garantire la coesione di un mezzo granulare resistendo ai vincoli locali, sia di tipo meccanico che di tipo termico.

Al fine di capire quale fosse il potenziale delle frazioni che risultano essere insolubili all'acqua, come possibile candidato per sostituire il bitume, sono state studiate le loro proprietà reologiche.

Nel caso del bitume, queste proprietà variano in funzione della temperatura e del tempo di carico; mostrano tra una temperatura variabile da 0°C a 60°C un comportamento di carattere visco-elastico.

Da prove effettuate, invece, è emerso che le frazioni insolubili all'acqua ottenute dal processo di liquefazione idrotermale delle alghe sono meno sensibili alla temperatura rispetto al bitume.

Ad oggi si stanno effettuando ancora molte ricerche e molti test in merito a questa tematica per riuscire a capire se davvero le alghe possano costituire un'alternativa all'utilizzo del bitume nel campo delle pavimentazioni stradali.

Non ci si occupa solo di questo al momento, ma anche di come la mobilità del futuro potrebbe viaggiare su strade ecosostenibili composte in buona parte da lignina. In particolare, nei Paesi Bassi, un consorzio europeo di ricercatori e di industriali sta sperimentando l'utilizzo del derivato celluloso al posto del bitume come legante per l'asfalto di strade e di piste ciclabili.

La lignina risulta essere un polimero che si trova in natura all'interno di piante e di alberi: in sintesi è la sostanza che dona alla corteccia e al fusto delle piante le caratteristiche di elasticità e di resistenza alla pressione.

La lignina, inoltre, si può ottenere mediante differenti processi industriali, come, per esempio, la produzione di carta piuttosto che di quella di biocarburanti.

Gli studiosi, in particolare, hanno scoperto una classe di enzimi attiva sugli elementi costitutivi della lignina, uno dei componenti principali di alcuni tipi di vegetali.

La lignina, infatti, è una famiglia di giganteschi e complessi polimeri tridimensionali che le piante hanno sviluppato per proteggersi, trovandosi principalmente nelle loro pareti cellulari; inoltre costituisce la difesa naturali dagli agenti patogeni.



Esempio di piste ciclabili in Olanda realizzate mediante l'impiego di lignina.

Insomma, al vaglio di studi, ci sono davvero moltissime possibilità allo scopo di raggiungere il prima possibile una soluzione alla problematica del cambiamento climatico.

2.7 Riutilizzo della plastica per pavimentazioni sostenibili

Il cambiamento climatico ha creato grandi sfide per comuni, autorità provinciali e privati quando si tratta di costruire e sostituire soluzioni infrastrutturali. Periodi di siccità prolungati si alternano ad inondazioni. In molte aree, i problemi di terreno soffice provocano danni alla proprietà e ciò, porta ad una maggiore manutenzione. Inoltre, le emissioni di anidride carbonica rappresentano una vera e propria minaccia per la salute pubblica. Parecchi funzionari si stanno preoccupando di come riuscire a trattare al meglio una montagna di rifiuti di plastica.

Tra i diversi progetti realizzati, uno particolare è stato realizzato in corrispondenza di Nuova Delhi, dove i ricercatori hanno ricoperto un chilometro di strada ad alta percorrenza con una nuova tipologia di asfalto, realizzata con un mix di classici minerali e plastica riciclata. Per realizzare questo tratto di strada, è stata recuperata addirittura più di una tonnellata di rifiuti, tra cui bottiglie, confezioni in polistirolo e buste per la spesa.

Complessivamente, circa il 10% del bitume classico è stato sostituito con plastica riciclata. Il processo alla base del recupero dei rifiuti è semplice ed anche economico. Innanzitutto, gli oggetti in plastica vengono ridotti in frammenti di dimensioni molto piccole, poi vengono colati a 170°C e levigati allo scopo di ottenere un film sottile.

A questo punto, il normale asfalto, viene colato sopra lo strato plastico ottenuto creando così un nuovo materiale resistente ed anche duraturo. I vantaggi sono diversi, tra cui: aumento della capacità di tenuta dell'asfalto al suolo, minore probabilità di formazione di buche al suolo e migliore drenaggio dell'acqua. Un altro punto importante tra quelli che risultano essere i vantaggi è rappresentato dal fatto che, un manto stradale più liscio ed anche compatto riduce i consumi di carburante con una minore emissione di inquinanti da parte delle automobili.

Infine, i ricercatori hanno prestato particolare attenzione alla realizzazione di un composto a basso rilascio di microplastiche.

Tra le altre invenzioni, un ingegnere britannico avrebbe sviluppato un metodo per utilizzare il riciclo della plastica derivante dai rifiuti come agente legante all'interno dell'asfalto riuscendo quindi a sostituire la maggior parte del bitume convenzionale che risulta essere un prodotto derivante dal petrolio.

Il suo metodo ridurrebbe in un solo colpo i rifiuti di plastica, andrebbe a ridurre la necessità di petrolio ottenendo un asfalto più compatto con strade che risulterebbero essere più resistenti ma anche più durature.

2.8 Nano-compositi per la realizzazione di pavimentazioni stradali

Esistono diversi materiali che possono essere definiti “intelligenti” e vengono impiegati per la costruzione delle pavimentazioni stradali. Il materiale di “autoguarigione”, per esempio, ha la capacità di guarire i danni automaticamente e autonomamente, senza che sia necessario alcuna tipologia – forma di aiuto dall’esterno. L’incorporazione di proprietà autorigeneranti nei materiali artificiali, molto spesso, non può svolgere un’azione autorigenerante senza un aiuto esterno.

Esiste la nanotecnologia che si concentra a studiare i materiali su nano-scala, mentre le infrastrutture di ingegneria civile, ed in particolare per quanto riguarda la realizzazione di pavimentazioni stradali, si concentrano ad analizzare i materiali su macro-scala.

L’autoriparazione è una proprietà intrinseca del bitume. Questa tecnologia aiuta nella conservazione delle risorse materiali poiché non risulta essere necessaria la sovra-progettazione dei materiali. L’obiettivo principale della tecnica della pavimentazione autorigenerante è sviluppare una pavimentazione bituminosa intelligente in grado di valutare, anticipare e guarire da sola nel tempo, senza alcuna necessità di interventi umani, e tornare sostanzialmente al suo stato originale.

Per i motivi sopra elencati, l’ambito di ricerca a cui molti ricercatori stanno lavorando, si concentra per conseguire i seguenti obiettivi:

- sviluppare molteplici processi di “guarigione” sufficienti per l’intera vita del progetto;
- sviluppare meccanismi che attivino l’azione di guarigione su richiesta;
- sviluppare un metodo per quantificare il successo dell’azione di guarigione;

Questo ambito di ricerca risulta essere estremamente fondamentale dal momento che, trovare materiali in grado di rispondere a queste richieste permetteranno di modificare il futuro delle pavimentazioni stradali e del suo design.

In particolare, l’interesse si è concentrato sui nano-materiali, ovvero materiali di dimensioni ridotte le cui proprietà possono essere estremamente utili per migliorare le proprietà dell’asfalto, ridurre la manutenzione e favorire la sostenibilità ambientale.

Le nano-particelle di argilla, in particolare, sono i primi materiali che risultano essere impiegati ed applicati nella costruzione dell’asfalto. L’aggiunta di nano-particelle come la nano-argilla, normalmente, aumenta la viscosità dei leganti per asfalto e migliora la resistenza alla deformazione della pavimentazione stradale dovuta, per esempio, agli elevati carichi verticali e tangenziali.

L’uso della nano-argilla come secondo modificatore negli asfalti modificati con polimeri, può migliorare la stabilità allo stoccaggio e la resistenza all’invecchiamento degli asfalti modificati con polimeri.

Le caratteristiche di suscettibilità alle elevate temperature e le proprietà fisiche del legante bituminoso alle alte e basse temperature, possono influenzare le prestazioni finali del calcestruzzo bituminoso. Per

migliorare le prestazioni delle miscele bituminose, negli ultimi anni è diventata sempre più prevalente, l'aggiunta di modificanti al bitume.

I nano-compositi polimerici sono uno dei materiali più interessanti scoperti di recente e, le proprietà fisiche vengono migliorate con successo quando un polimero viene modificato con piccole quantità di nano-argilla, a condizione però che l'argilla sia dispersa a livello nanoscopico. Esistono molte tecnologie emergenti come ad esempio: asfalto misto caldo, pavimentazioni fredde, stabilizzanti di nuova generazione, macadam bituminoso cementato, pavimentazioni prefabbricate in calcestruzzo, calcestruzzo geopolimerico piuttosto che pavimentazioni verdi.

Negli ultimi anni, infatti, il settore delle pavimentazioni stradali ha subito un importante sviluppo per fronteggiare un aumento esponenziale dei volumi di traffico sulle infrastrutture. Al fine di aumentare le prestazioni dei leganti e dei conglomerati bituminosi, sono stati condotti numerosi studi su miscele innovative modificate mediante nano-materiali. In particolare, tra gli agenti nano-modificanti che sono stati studiati, le nano-argille e i nano-tubi di carbonio sono risultati particolarmente promettenti per il miglioramento delle prestazioni delle miscele tradizionali.

Il quesito principale a cui si è cercato di rispondere è quali siano i miglioramenti prestazionali degli additivi per miscele bituminose con nano-particelle. In particolare le nano-argille sono alluminosilicati idrati appartenenti alle classe dei fillosilicati come montmorillonite o caolinite. La dispersione delle nano particelle di argilla in una matrice polimerica conferisce al nano-composito maggiore resistenza. Un' ampia ricerca è stata dedicata all'uso di nano-argilla per rinforzare i leganti dell'asfalto. Sebbene alcuni tipi di nano-argilla non influiscano sulla rigidità o viscosità del bitume, altri tipi di nano-argilla hanno mostrato risultati incoraggianti quali, ad esempio maggiore rigidità, resistenza alla trazione, modulo di tensione, resistenza alla flessione e resistenza termica del bitume.

Tra gli altri vantaggi, le nano-argille hanno anche dimostrato la capacità di migliorare la resistenza all'invecchiamento delle miscele di asfalto.

2.9 Legante trasparente per un conglomerato ecologico: il caso di EVIzero

EVIzero è l'innovativo legante neutro che permette di produrre conglomerato ecologico trasparente o colorato con pigmenti. E' un prodotto ecologico costituito da una miscela poliolefinica sviluppata con una tecnologia innovativa, utilizzata per produrre conglomerati cementizi trasparenti.

L'innovazione EVIzero, quindi, risiede nell'utilizzo di prodotti polimerici di natura poliolefinica. Le poliolefine sono una classe di macromolecole composte da monomeri di olefine derivate dalla polimerizzazione di petrolio o di gas naturale.

Le poliolefine sono polimeri, tra i più diffusi in particolare si possono citare il polietilene, polipropilene che, sono largamente impiegati ed utilizzati per prodotti in plastica o gomma di utilizzo comune.

Sono una famiglia di materie plastiche che si contraddistinguono per l'elevata resistenza agli agenti chimici e per l'elevata versatilità, dovuta alla possibilità di controllare durante il processo di polimerizzazione, ad esempio, il grado di cristallinità dei composti con conseguente adattabilità al tipo di proprietà meccaniche richieste dal processo di lavorazione e dall'utilizzo finale richiesti.

E' quindi ecocompatibile e a basso impatto ambientale: il tappeto di usura realizzato con EVIzero si adatta perfettamente ai colori naturali del territorio.

Permette di conservare il fascino dei contesti rurali, abitativi o storici.

Tra i benefici ambientali ed estetici sono da evidenziare i seguenti:

- meno rifiuti, scarichi inquinanti e consumo di energia in fase di produzione;
- migliore uso delle infrastrutture esistenti;
- minore ricorso ad trasporto e logistica;
- maggiore stabilità termica rispetto ad altre soluzioni;
- facilmente lavorabile anche a temperature più basse rispetto ai prodotti concorrenti;

In termini di prezzo, EVIzero è il prodotto più vantaggioso della sua categoria grazie alla sua durabilità con il passare del tempo.

Questo materiale trova specifica applicazione nella realizzazione di pavimentazioni in ambienti particolari quali piste ciclabili e pedonali, parchi, ville e abitazioni private, riqualificazione e sistemazione di piazzali, parcheggi nonché di centri storici.

Essendo il più innovativo ed ecologico tra i leganti neutri, è ideale per tutte quelle situazioni in cui le caratteristiche tecniche dei manufatti devono sposarsi all'ambiente circostante, evitando impatti negativi sul territorio.

Altri benefici ambientali di questo prodotto sono:

- utilizzo di risorse rinnovabili;
- riduzione dei rifiuti prodotti;
- è un prodotto ecologico;

3.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Con riferimento a tutti i concetti sopra esposti, possiamo affermare come la continua ricerca interessante tutte le più svariate discipline stia fornendo alcuni elementi di spunto per la definizione completa riguardante nuove metodologie e tecniche costruttive per la realizzazione di nuove strade sostenibili e smart. Un argomento come quello trattato all'interno della presentazione può sembrare semplice, tuttavia le materie coinvolte nello studio sono moltissime e forniscono la possibilità di interazione tra diversi studiosi e/o scienziati (nota positiva con riguardo alla possibilità di consultazione e/o interazione) per trovare delle soluzioni che a lungo termine possano dare benefici all'intera collettività. Il tema dell'harvesting energy (ovvero recupero di energia dalle pavimentazioni stradali) è in continuo sviluppo come si può notare dalla precedente trattazione, pertanto quanto sopra esposto si può ritenere una piccola presentazione del tema in questione. Nonostante gli sforzi sin qui realizzati siano stati elevati, molte eventuali soluzioni sono state scartate in quanto non producevano gli effetti desiderati; ciò nonostante, sembrano ad oggi molte le speranze per riuscire a trovare delle risposte definitive a questo problema. Una volta che il tema dell'harvesting energy sarà risolto e completamente sviluppato, questo comporterà dei benefici anche sulla salute dei cittadini ed una drastica riduzione dell'inquinamento atmosferico (tema che oggi interessa principalmente le città). Con questo ultimo paragrafo e queste ultime considerazioni, l'augurio è quello di ritrovarsi fra qualche anno a sperimentare personalmente quanto indicato.

BIBLIOGRAFIA

- 1) <https://hal.inria.fr> infrared thermography applied to the study of heated and solar pavement: from numerical modelling to small-scale laboratory experiments;
- 2) Tesi di Dottorato relativa a Domenico Vizzari: Mix design of a novel semi-transparent layer for solar roads;
- 3) Potomac Institute for policy studies: Harvesting energy from ambient sources;
- 4) Pavement energy harvesting technologies (a critical review) of: Domenico Vizzari, Eric Genesseeux, Stephane Lavaud, Stephane Bouron, Emmanuel Chailleux;
- 5) Pavement energy harvesting system to convert vehicles kinetic energy into electricity – Phd thesis in Doctoral program in Transport Systems, supervised by Professor Adelino Ferreira, presented to the Department of Civil Engineering of the Faculty of Sciences and Technology of the University of Coimbra;
- 6) Energy Harvesting Mechanism in a Smart City – A review of Ajibike Eunice Akin – Ponnle and Nuno Borges Carvalho;
- 7) Recent Developments in the Energy Harvesting Systems from Road Infrastructures of Niloufar Zabihi and Mohamed Saafi;
- 8) <https://www.wattwaybycolas.com>: La strada solare;
- 9) <https://energycue.it>: Da cinetica a elettrica: PaveGen trasforma l'energia;
- 10) <https://www.power-road.com>: Eurovia – Power Road
- 11) <https://anteritalia.org>: Enlil, la turbina eolica che genera energia dal traffico;
- 12) <https://www.greenme.it>: Gli otto migliori progetti di energie rinnovabili sulle strade;
- 13) <https://www.prnewswire.com>: ElectReon presents World's first Dynamic Wireless Charging of a long haul Electric Truck while driving on a Public road;
- 14) <https://notiziescientifiche.it>: Asfalto magnetico intelligente per monopattini elettrici;
- 15) <https://www.newsauto.it>: Energia elettrica, produzione dalle strade;
- 16) <https://blog.federbeton.it>: Strade in calcestruzzo sostenibili, durevoli e riciclabili al 100%;
- 17) <https://www.ingenio-web.it>: Pavimentazioni in calcestruzzo drenante – Ingenio;
- 18) <https://www.edilizialavoro.com>: Calcestruzzo drenante, la soluzione per strade e vialetti;
- 19) <https://www.betonrossi.it>: Scheda tecnica Drainbeton;
- 20) <https://www.panneto.it>: Calcestruzzo drenante ecologico Pan Neto;
- 21) <https://www.designingbuildings.co.uk>: Topmix Permeable – Designing Buildings Wiki;

- 22) <https://www.wikipedia.org>: Definizioni e Tipologie di Bitume;
- 23) <https://iterchimica.it>: Tipologie di polimeri per bitumi modificati;
- 24) <https://iterchimica.it/tipologie/supermodificante-polimerico-a-base-di-grafene>;
- 25) <https://iterchimica.it/tipologie/rigeneranti-del-fresato-per-miscele-a-caldo>;
- 26) <https://it.wikipedia.org/wiki/Grafene>;
- 27) <https://www.mitomorrow.it/milano-verra/gipave>;
- 28) <https://www.wirtgen-group.com/it-it/prodotti/wirtgen/tecnologie/riciclaggio-e-stabilizzazione-dei-suoli/bitume-schiumato>;
- 29) <https://www.linkiesta.it/blog/2020/05/il-business-eco-sostenibile-del-riciclo-gomme-quanto-vale>;
- 30) <https://www.nanoinnovation2020.eu/home/PPT/Compound%20polimerici%20a%20base%20grafenica%20parte%201.pdf>;