



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in **Ingegneria Civile e Ambientale**

**Energy Harvesting: soluzioni per il recupero di
energia pulita dall'ambiente**

Energy Harvesting: solutions for the recovery of
clean energy from the environment

Relatore: Chiar.mo
Prof. **Giorgio Passerini**

Tesi di Laurea di:
Maurizio Mappa

Anno accademico **2021/2022**

Indice

Abstract	4
Introduzione	5
Capitolo 1 – Concetto di energy harvesting	
1.1 Che cos'è l'energy harvesting	7
1.2 La tecnologia di base dell'energy harvesting	7
1.3 Tipi di raccolta di energia	9
1.3.1 Energia cinetica	9
1.3.2 Energia luminosa	9
1.3.3 Energia termica	10
1.3.4 Energia dalle onde radio	10
1.3.5 Energia eolica	11
1.3.6 Energia marina	11
Capitolo 2 – Tecnologie per l'energy harvesting	
2.1 Dispositivi per la raccolta di energia cinetica	12
2.1.1 PaveGen	13
2.1.2 Pavimentazione intelligente in legno	18
2.1.3 Generatori piezoelettrici IPEG	21
2.1.4 Dossi artificiali per produrre energia	23

2.2 Dispositivi per la raccolta di energia luminosa	27
2.2.1 Strada fotovoltaica	27
2.2.2 Autostrada fotovoltaica in Cina	30
2.2.3 SolaRoad	32
2.3 Dispositivi per la raccolta di energia termica	35
2.3.1 Sistemi di Thermal Energy Harvesting (TEH)	35
2.3.2 Tecnologia del collettore solare su asfalto	38
2.3.3 Asphalt Solar Collector in Svizzera	42
2.3.4 Asphalt Solar Collector in Olanda	43
2.3.5 Asphalt Solar Collector in Francia	45
2.4 Dispositivi per la raccolta di energia dalle onde radio.....	49
2.4.1 Power harvesting onde radio RF	49
2.5 Dispositivi per la raccolta di energia eolica	53
2.5.1 Turbine eoliche	53
2.5.2 Turbina eolica ad asse verticale in Francia	53
2.5.2 Turbina eolica ad asse verticale in Turchia	54
2.5.3 Barriere New Jersey con dispositivi eolici	56
2.5.4 Turbine Light	59

2.6 Dispositivi per la raccolta di energia marina	62
2.6.1 Energia cimoelettrica	62
2.6.1.1 Colonna d'acqua oscillante (OWC)	62
2.6.1.2 Sistemi con apparati galleggianti	65
2.6.1.3 Sistemi con impianti sommersi	69
2.6.1.4 Frangiflutti a recupero energetico	70
2.6.1.5 Sistemi di superficie con bacino di raccolta	71
2.6.2 Energia mareomotrice	72
2.6.2.1 Impianto mareomotrice	72
2.6.3 Energia dalle correnti marine	74
2.6.3.1 Turbine ad asse orizzontale	74
2.6.3.2 Turbine ad asse verticale	77
2.6.4 Energia talassotermica	79
2.6.4.1 Centrale Otec Hawaii	79
2.6.5 Energia osmotica	81
2.6.5.1 Centrale Statkraft in Norvegia	82
Conclusioni	85
Ringraziamenti	86
Bibliografia e Sitografia	87

Abstract

Per quanto tempo ancora si dovrà inquinare producendo energia elettrica dal consumo di combustibili fossili?

Fortunatamente la scoperta delle energie rinnovabili ha diminuito lo sfruttamento di olio e carbone, ma la loro efficienza energetica è ancora minore rispetto alle fonti non rinnovabili. In merito a queste considerazioni, per sostenere e contribuire alla responsabilità di un mondo più pulito, da diversi anni ormai, vengono sperimentate delle tecnologie in grado di recuperare energia da fonti alternative e rinnovabili, (quell'energia che altrimenti verrebbe sprecata). Si tratta del tema dell'Energy Harvesting, ossia "racimolare energia" per cui, con la continua ideazione e progettazione di questi mezzi, proposto dall'Energy Harvesting, insieme alle tecnologie messe in pratica per le fonti rinnovabili, potranno un giorno diminuire drasticamente il consumo di combustibili fossili e quindi la riduzione dell'inquinamento atmosferico.

Introduzione

La scienza ha contribuito a fornire, all'umanità, uno dei beni più preziosi: l'elettricità. Per secoli il genere umano ne è stato sprovvisto; oggi, non si può ipotizzare un mondo privo di corrente elettrica. Basti pensare ai vari utilizzi quotidiani tipo l'illuminazione delle abitazioni, il riscaldamento e il raffreddamento tramite gli elettrodomestici. L'elettricità alimenta anche mezzi di comunicazione o di intrattenimento come cellulari, radio, televisione e cinema, non che, nelle fabbriche, i grandi macchinari per la produzione di stoffa, carta, cibo, ecc... L'efficienza dell'elettricità è riscontrabile nei mezzi di trasporto, come treni e auto elettriche così come anche per il buon funzionamento delle scuole, delle innumerevoli attività commerciali e delle strutture ospedaliere per l'uso richiesto dai raggi X, ECG e da computer o monitor per visualizzare, in maniera più dettagliata, dati medici. Per tutta questa serie di ragioni è estremamente fondamentale valorizzare e rendere disponibile, in modo illimitato, l'energia elettrica che, non sempre, scaturisce da fonti non rinnovabili quali combustibili fossili, petrolio e carbone che, purtroppo, hanno causato, nel corso degli anni, il riscaldamento globale della terra, l'inquinamento dell'atmosfera e del sottosuolo con effetti nocivi e pericolosi sulla salute umana. Pertanto, per ridurre tali effetti mantenendo risorse e consumi in equilibrio sostenibile e, quindi, gestendo responsabilmente il nostro pianeta è opportuno approcciarsi alla produzione di energia proveniente da fonti energetiche e rinnovabili (solare, termica, eolica, cinetica e marina) considerate alternative virtuose alle fonti tradizionali e che si rigenerano sempre, per cui loro impatto ambientale è molto basso.

A tale proposito la seguente Tesi affronta e descrive delle soluzioni pratiche per recuperare, catturare e salvare energia pulita, esclusivamente dall'ambiente. Infatti si basa sul concetto di "Energy Harvesting", ossia racimolare energia tramite l'applicazione di alcuni dispositivi.

Nel primo capitolo verrà spiegato in cosa consiste l'energy harvesting e saranno descritte delle fonti alternative per il recupero energetico.

Nel secondo capitolo invece saranno illustrati e confrontati, qualitativamente, i cosiddetti "Energy harvester", ossia le tecnologie per ottenere quell'energia che può essere sfruttata quotidianamente.

Capitolo 1

CONCETTO DI ENERGY HARVESTING

1.1 Che cos'è l'energy harvesting

Si riferisce al processo di acquisizione e conversione dell'energia dall'ambiente circostante in elettricità, mediante dei dispositivi chiamati energy harvesters. L'energia può essere utilizzata immediatamente o essere immagazzinata per un uso futuro. L'energy harvesting funziona sfruttando piccole quantità di energia ambientale, che altrimenti viene dissipata o sprecata sotto forma di calore, vibrazioni, luce, ecc.

E' ancora in una fase pressoché iniziale, ma tecnologie sempre più avanzate ed idee innovative stanno dando recentemente un nuovo impulso in questa disciplina, che sta portando alla scoperta di metodi sempre più efficienti per il recupero di energia dall'ambiente.

1.2 La tecnologia di base dell'energy harvesting

Esistono molti tipi diversi di tecnologie di raccolta dell'energia in base al tipo di fonte. Tuttavia, tutti i sistemi di energy harvesting, nella loro forma più semplice, sono costituiti da tre componenti principali, oltre a una fonte di energia:

- Trasduttore/raccoglitore: questa è la parte del sistema che converte l'energia ambientale dalla sorgente in energia elettrica.
- Circuito di interfaccia: il circuito di interfaccia estrae la massima quantità possibile di energia dal trasduttore e rende l'energia idonea all'uso condizionandola in una forma adatta all'applicazione desiderata (mediante raddrizzamento della tensione, regolazione della tensione, ecc.).

- Carico: il carico è la parte del sistema che potrebbe includere dispositivi elettronici che consumano l'energia raccolta (come circuiti, attuatori, sensori, ecc.) o componenti di accumulo di energia come condensatori, supercondensatori, ecc.

1.3 Tipi di raccolta di energia

1.3.1 Energia Cinetica

L'energia cinetica viene raccolta utilizzando trasduttori piezoelettrici. I trasduttori piezoelettrici producono elettricità dall'energia cinetica sotto forma di vibrazioni, suoni o movimenti. Il trasduttore converte l'energia cinetica in una corrente alternata che viene quindi condizionata in una forma adatta e immagazzinata in una batteria a film sottile o supercondensatore.

Alcuni esempi di raccolta piezoelettrica:

- Sensori di pressione sui pneumatici delle auto: i sensori piezoelettrici di raccolta dell'energia sono installati all'interno dei pneumatici delle auto. Monitorano la pressione dell'aria negli pneumatici e trasmettono queste informazioni al cruscotto.
- Unità di controllo remoto senza batteria: unità di controllo remoto in cui i trasduttori piezoelettrici convertono la forza dei pulsanti premuti in energia che alimenta il segnale IR del telecomando.
- Piastrelle piezoelettriche: pavimenti rivestiti con piastrelle piezoelettriche che convertono l'energia cinetica dei passi dei pedoni in energia elettrica utilizzabile allo scopo di alimentare un numero qualsiasi di applicazioni.

1.3.2 Energia luminosa

L'energia solare viene comunemente raccolta utilizzando celle fotovoltaiche, le quali convertono l'energia luminosa (proveniente dal sole) direttamente in elettricità utilizzando un principio noto come “effetto fotovoltaico”. L'effetto fotovoltaico si riferisce essenzialmente al processo in cui i fotoni (unità di energia luminosa) eccitano gli elettroni in uno stato energetico superiore provocando così la generazione di una corrente elettrica.

1.3.3 Energia termica

Quasi tutti gli impianti elettrici emettono calore. Ciò rappresenta un'enorme percentuale di energia che viene dissipata. La raccolta di energia termoelettrica si basa su un principio chiamato Effetto Seebeck, che si riferisce al fenomeno per cui una differenza di temperatura alla giunzione tra due semiconduttori/conduttori, dà origine a una tensione.

Un sistema di raccolta termoelettrico è costituito da un generatore termoelettrico (TEG) costituito da più termocoppie collegate in serie a una fonte di calore comune. Questa fonte di calore potrebbe essere uno scaldabagno, un motore, un pannello solare, ecc. La quantità di energia generata è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura e alla dimensione del TEG.

La raccolta termoelettrica trova applicazione nell'alimentazione di nodi di sensori wireless in ambienti industriali e altri ambienti ad alta temperatura in cui vengono perse grandi quantità di calore.

1.3.4 Energia dalle onde radio

L'energia RF rappresenta una fonte di grande interesse per l'alimentazione nelle reti di sensori wireless; attraverso sistemi di distribuzione wireless della potenza è possibile avere un'infrastruttura ad hoc in grado di alimentare intere reti costituite da centinaia o migliaia di nodi, con un'unica fonte di trasmissione. L'applicazione più comune di queste tecnologie sono i sistemi di identificazione a radiofrequenza (RFid). Oggi, però, la vera sfida nella ricerca e nello sviluppo di queste tecnologie è poter recuperare la potenza trasmessa dai servizi di telecomunicazione pubblici, come le trasmissioni TV e radio o le comunicazioni di telefonia mobile.

1.3.5 Energia eolica

Oggi grazie all'uso delle turbine eoliche è possibile generare grandi quantità di energia elettrica, in pratica il vento fa ruotare le pale della turbina che è collegata ad un albero, il quale a sua volta è collegato ad un generatore di energia elettrica. Per recuperare in maniera efficiente l'energia eolica è necessario considerare alcuni parametri.

Particolarmente importante è la velocità del vento, in quanto la potenza recuperata è direttamente proporzionale al cubo di quest'ultima. Questa relazione torna utile nelle piccole applicazioni, perché è possibile, così, ricavare quantità di energia relativamente elevate a fronte di piccoli flussi d'aria.

1.3.6 Energia marina

L'energia marina rappresenta una delle potenziali fonti rinnovabili per la produzione di energia pulita. Conosciuta anche come energia oceanica, viene prodotta da tutti i mari e gli oceani del mondo attraverso il movimento dell'acqua. Il 70% del nostro pianeta è ricoperto da acqua, di fatto c'è molto interesse per il recupero di questa energia. Uno dei principali vantaggi per questa fonte energetica rinnovabile è quella di essere illimitata e non produrre rifiuti.

Capitolo 2

TECNOLOGIE PER L'ENERGY HARVESTING

2.1 Dispositivi per la raccolta di energia cinetica

Un metodo alternativo alla produzione di energia dai combustibili fossili potrebbe essere l'energia biomeccanica, o meglio la raccolta di energia piezoelettrica. Infatti, dato che le principali fonti primarie, come il carbone, si stanno esaurendo ed il costo dell'energia elettrica da loro prodotta è molto elevato, bisogna trovare delle soluzioni diverse.

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.

Il principio della piezoelettricità si trova dietro i cristalli. La tensione elettrica viene indotta quando i materiali cristallini sono soggetti a forza, pressione o deformazione esterna, i quali sono in grado di polarizzarsi e creare una differenza di potenziale. Esistono diversi tipi di cristalli naturali, che si trovano in superficie o nelle profondità della terra, che possono essere utilizzati oggi per applicare l'effetto piezoelettrico come quarzo trasparente e amazzonite. L'efficienza dei dispositivi piezoelettrici è influenzata dal tipo di cristalli a causa della varietà delle loro proprietà. Tuttavia, i cristalli di titanio di zirconato di piombo (PZT) vengono ampiamente utilizzati per ottenere un elevato effetto piezoelettrico. La facilità di fabbricazione di qualsiasi forma complessa, l'elevata resistenza del materiale e la lunga durata, la resistenza all'umidità e al calore a temperature superiori a 100°C, sono tutti fattori distintivi di PZT.

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. Infatti 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.

2.1.1 PaveGen

In California, l'analisi di cristalli per creare nuove strade piezoelettriche è sempre più frequente, ma ancora è in fase di sperimentazione.

Relativamente a questo argomento, Laurence Kemball-Cook, un designer industriale, ha fondato un'azienda Britannica chiamata "PaveGen". Si tratta di un pavimento "intelligente" capace di produrre energia o meglio di trasformare l'energia cinetica dei passi delle persone in elettricità attraverso l'induzione elettromagnetica.

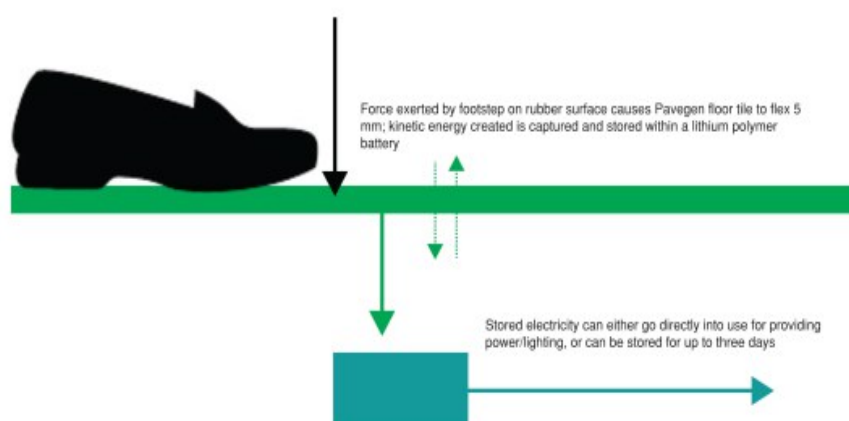


Figura 1 – Forza esercitata dal passo umano sulla pavimentazione con conseguente energia cinetica cattura dalla batteria

Fonte: Pavegen

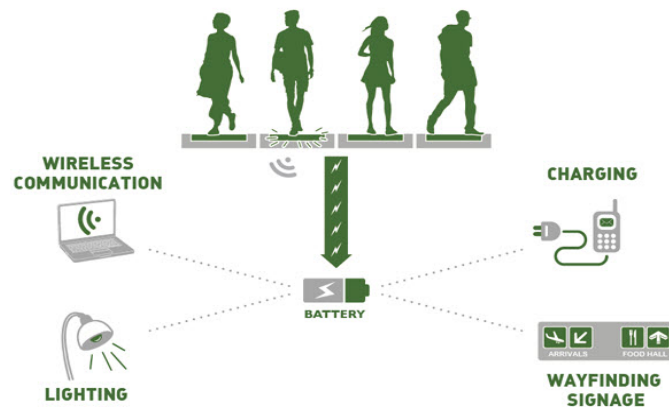


Figura 2 – Tipi di utilizzo dell’energia cinetica generata dalla pavimentazione

Fonte: PaveGen

In sostanza, si tratta di mattonelle a tre lati, con un volano posizionato per ognuno degli angoli e tre bobine che generano circa 5W per ogni passo. Come visibile anche dalla prima immagine dello schema qui in alto, il passo imprime una pressione in grado di flettere la mattonella di 5 mm (che poi ritorna alla sua posizione iniziale) e l’energia cinetica generata viene catturata e immagazzinata in una batteria a litio. L’energia, può essere poi utilizzata direttamente o accumulata fino a tre giorni per poi utilizzarla in un secondo momento.



Figure 3,4 – Singola mattonella e composizione della pavimentazione Pavegen

Fonte: Pavegen

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.

Uno dei principali vantaggi del sistema PaveGen 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.

L'azienda ha portato la sua pavimentazione intelligente in diversi luoghi del mondo. Fra questi: l'International Airport di Abu Dhabi, alcune sedi di Bnp Paribas e di Ellandi, Google e Siemens. Non solo si trova anche in Bird Street (che è anche la prima strada al mondo ad averle ricevute), a Londra, già dal 2017 e hanno permesso di alimentare l'illuminazione. Ancora, Pavegen è presente a Washington D.C., nei pressi della Casa Bianca.

L'obiettivo è che il medesimo meccanismo di recupero dell'energia si possa applicare al manto stradale, per trasformare l'energia cinetica delle auto di passaggio (su pedane posizionate agli stop e ai semafori) in elettricità.

Di seguito viene proposta una valutazione qualitativa del progetto appena descritto, mediante l'utilizzo di una tabella, la quale è composta da:

- costi di esercizio dell'opera, ossia i costi sostenuti per l'acquisto di materie prime, di servizi e le spese per il personale dipendente;
- costi d'installazione, come quelli sostenuti dall'impresa nell'allestimento della tecnologia;
- manutenzione del progetto, quindi le operazioni necessarie a conservare la conveniente funzionalità ed efficienza dell'opera pianificata;
- sicurezza del progetto, che dipende da eventuali situazioni pericolose per l'uomo.

A queste caratteristiche verranno applicati degli indici (alto, medio, moderato, basso), i quali valutano positivamente o negativamente, in generale, la tecnologia presa in esame.

Infatti tenendo conto della pavimentazione PaveGen, si evince che presenta dei costi di esercizio moderati, costi d'installazione medi, poche opere necessarie per mantenere l'efficienza ottimale dell'opera e una sicurezza elevata, poiché è una semplice pavimentazione e quindi non crea situazioni di pericolo.

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO "PAVEGEN"				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio			✓✓✓✓	
Costi d'installazione		✓✓✓✓		
Manutenzione				✓✓✓✓
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 1 – Valutazione qualitativa del progetto "PaveGen"

Nel presente elaborato, a ogni tecnologia descritta per il recupero di energia, sarà presente una tabella per valutare qualitativamente il progetto.

Inoltre, per confrontare le tecnologie descritte, in base al tipo di energia che si recupera, facendo sempre riferimento alle caratteristiche e indici delle tabelle, verranno illustrati dei grafici a istogrammi.

2.1.2 Pavimentazione intelligente in legno

Un altro progetto di pavimentazione “intelligente” è stato proposto da un team di ricercatori dell’ETH di Zurigo. Un’idea che si differisce dalla PaveGen Britannica, descritta in precedenza, dal punto di vista del materiale. Infatti il team, in collaborazione con il gruppo svizzero di ricerca EMPA, hanno testato due tipologie differenti di legno modificato per produrre energia e quindi per realizzare, ecologicamente, un pavimento in legno spugnoso in grado di generare elettricità ad ogni passo. Il materiale, all’interno del pavimento, sfrutta l’effetto piezoelettrico comprimendosi sotto stress meccanico, dove le cariche positive e negative si separano sulle superfici opposte producendo energia. 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 adottata consiste nell’esporre il legno ad un determinato processo definito “18de-lignificazione”. Le lignine sono sostanze sciolte simili a colla che si trovano naturalmente nel legno. Il loro ruolo è fungere da struttura portante e mantenere il legno e la corteccia delle piante rigidi e forti. 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.

Per realizzare il “pavimento intelligente” sono state condotte due tipi di prove.

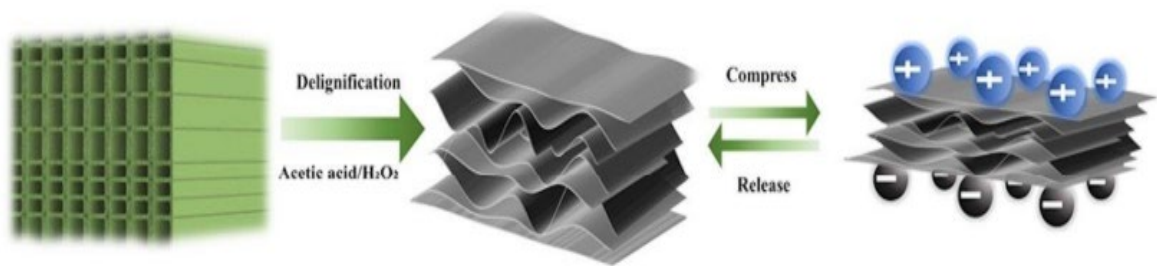


Figura 5 – Raffigurazione grafica della prima prova

Fonte: Pavimento intelligente in legno

In particolare, il cubetto è stato immerso in un bagno di perossido di idrogeno e di acido acetico che ha permesso il processo di “19de-lignificazione”; in posizione centrale è presente il legno ricavato dal bagno non sottoposta ad alcun tipo di forza, mentre a destra è presente il legno in stato compresso.

Nella seconda prova hanno optato per un approccio più delicato: utilizzare un fungo che utilizza meccanismi biologici per far marcire le lignine nel legno. Il fungo è stato notato, in particolare, per la delicatezza con cui procedeva a scomporre la lignina e l’emicellulosa nel legno.

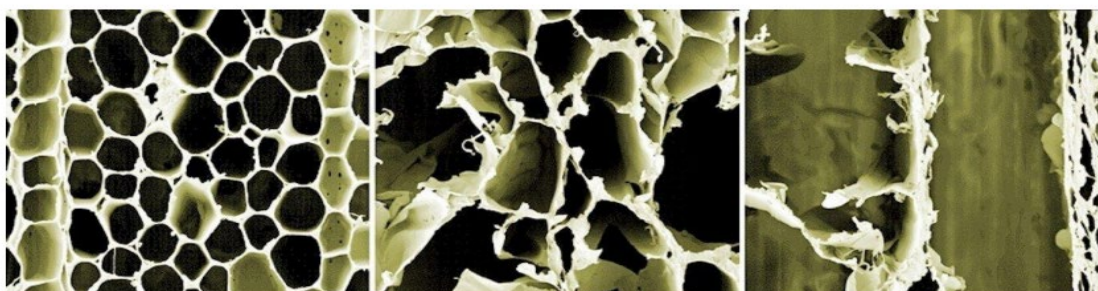


Figura 6 – Legno ricavato dall’azione del fungo per rendere il legno flessibile.

Fonte: Pavimento intelligente in 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.

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “PAVIMENTAZIONE INTELLIGENTE”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio				✓✓✓✓
Costi d’installazione				✓✓✓✓
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 2 – Valutazione qualitativa del progetto “pavimentazione intelligente”

2.1.3 Generatori piezoelettrici IPEG

Un altro modo efficace per il recupero di energia è stato promosso da una società Israeliana chiamata Innowattech. L'azienda è specializzata nello sviluppo di generatori piezoelettrici personalizzati per scopi specifici come la raccolta dell'energia meccanica impartita alle strade dai veicoli di passaggio. Inoltre Innowattech ha anche sviluppato un efficiente sistema di accumulo per raccogliere e immagazzinare l'energia elettrica prodotta da questi generatori. 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: un veicolo ha viaggiato su una strada sotto la quale, a 6 cm di profondità e all'interno di un doppio strato di asfalto sono stati piantati dei generatori piezoelettrici IPEG (Innowattech Piezoelectric Electric Generators), disposti a distanza di 30 cm l'uno dall'altro. Gli IPEG sono cristalli piezoelettrici in grado di raccogliere energia meccanica creata da variazioni di peso, movimento, vibrazioni e temperatura e convertirla in corrente elettrica. L'energia raccolta è stata immagazzinata nei condensatori elettronici del sistema di accumulo (batterie), le quali si trovano ai bordi delle strade che possono essere utilizzate dalle persone e abitazioni. Quindi 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. Infatti l'azienda ha già proposto dei diversi generatori piezoelettrici in base al tipo di utilizzo.

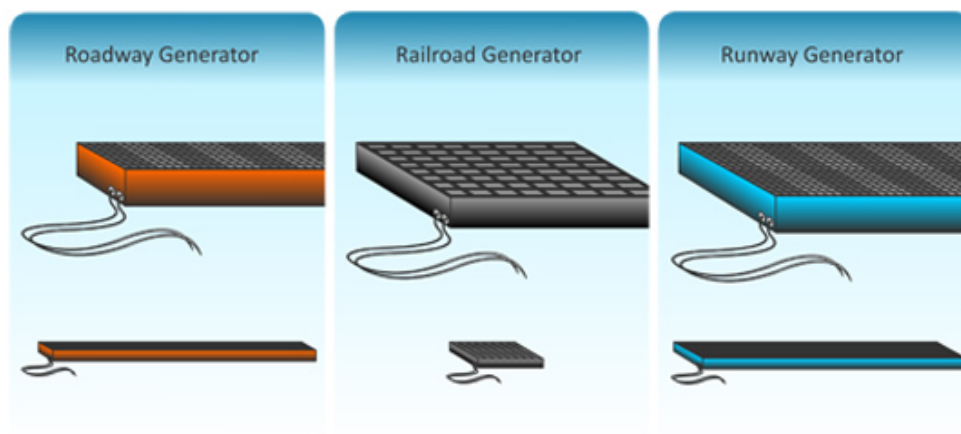


Figura 7 – Differenti generatori piezoelettrici

Fonte: Innowattech

Secondo Innowattech, gli IPEG sono facili ed economici da installare. Poiché i sistemi possono essere installati quando vengono posate nuove strade o quando vengono eseguiti lavori di manutenzione regolare su superfici esistenti, i costi di installazione sono sostanzialmente inferiori a quelli sostenuti con gli impianti eolici o solari. Alcune ricerche stanno dimostrando come sia possibile ricavare per ogni chilometro di strada circa 400 chilowatt di energia elettrica.

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “INNOWATTECH”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d’installazione			✓✓✓✓	
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 3 – Valutazione qualitativa del progetto “Innowattech”

2.1.4 Dossi artificiali per produrre energia

Anche in Italia c'è stata una svolta nell'ambito di Energy harvesting: si tratta di dossi rallentatori, necessari per limitare la velocità delle automobili in prossimità di incroci o attraversamenti. Il principio base di tale progetto è proprio quello di recuperare energia cinetica dalla strada, sfruttando il movimento delle automobili.

Lybra, così chiamato e progettato da una start-up di ingegneri italiani, 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.

La struttura è in acciaio ricoperto da uno strato di gomma riciclata, prelevata da pneumatici usati. Gli elementi sono modulari e possono essere assemblati a seconda delle esigenze di produzione di energia. Ogni modulo è lungo 1 metro, largo 3 metri e alto circa 10 cm, uno spessore tale da non costituire un pericolo per pedoni e ciclisti. Esso in parte è interrato per non causare problemi per la sicurezza.

A tutti gli effetti si tratta di una frenatura a recupero di energia, come quella utilizzata sui veicoli elettrici o sui treni. La differenza sta nel fatto che l'energia non viene recuperata all'interno del veicolo ma all'esterno di esso.



Figura 8 – Dosso rallentatore per il recupero di energia cinetica

Fonte: Lybra

Inoltre la tecnologia utilizza l'energia propria dell'auto per compensare le emissioni di CO₂.

Nello specifico in cosa consiste il principio di funzionamento: quando il veicolo passa sopra al dosso, la velocità e la massa del mezzo comprimono la superficie. Questa comprimendosi si deforma verticalmente di circa 3 cm, e genera due effetti, il veicolo viene rallentato, incrementando lo sforzo che la ruota deve fare per rotolare in avanti, e la compressione della superficie aziona il generatore elettrico.

L'elettricità prodotta è utilizzata per l'illuminazione o per la ricarica delle auto elettriche attraverso l'alimentazione di colonnine. Vi è anche la possibilità della messa in rete utilizzando un comune inverter da fotovoltaico. Può essere installata efficacemente nei pressi di rotatorie e di passaggi pedonali, caselli autostradali, vicino a rampe di uscita, e centri commerciali,. Secondo i calcoli dell'azienda, lungo una strada mediamente trafficata, un impianto di dieci metri genera l'energia sufficiente per alimentare quaranta abitazioni.

La sperimentazione è partita nel 2013 nel comune lombardo di Concorezzo e nel parcheggio di un centro commerciale Auchan di Rescaldina, nel milanese. Solo in quest'ultima applicazione si sono generati fino a 100 MWh annuali grazie al passaggio di più di 8000 automobili (la stessa quantità di energia prodotta da 19 tonnellate di petrolio). Prestazioni equivalenti a un impianto fotovoltaico da 80 kW forte di non meno di 600 metri quadrati di pannelli solari, abbattendo però costi di manutenzione e azzerando l'ingombro necessario all'installazione.

Successivamente vi è stata una evoluzione, ossia che al posto del dosso è stata realizzata una pedana da applicare a filo asfalto. Esso funge da rallentatore stradale convertendo parte dell'energia cinetica del veicolo in energia elettrica. Il tutto avviene attraverso un dispositivo di harvesting a funzionamento elettromagnetico



Figura 9 – Pedana per il recupero dell'energia cinetica

Fonte: Lybra

Il dispositivo è lungo 1 metro e largo 3 (quanto una corsia stradale) ed è realizzato in acciaio e gomma vulcanizzata riciclata da pneumatici. Secondo il produttore è possibile estrarre 1 kWh dal passaggio di 100 veicoli.

Le attuali installazioni del modello comprendono:

- due impianti in ingresso ad una rotonda a Concorezzo (MB), 2017;
- due impianti nel parcheggio del Bricoman di Altavilla Vicentina (VI), 2018.

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “LYBRA”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio			✓✓✓✓	
Costi d’installazione		✓✓✓✓		
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 4 – Valutazione qualitativa del progetto “Lybra”

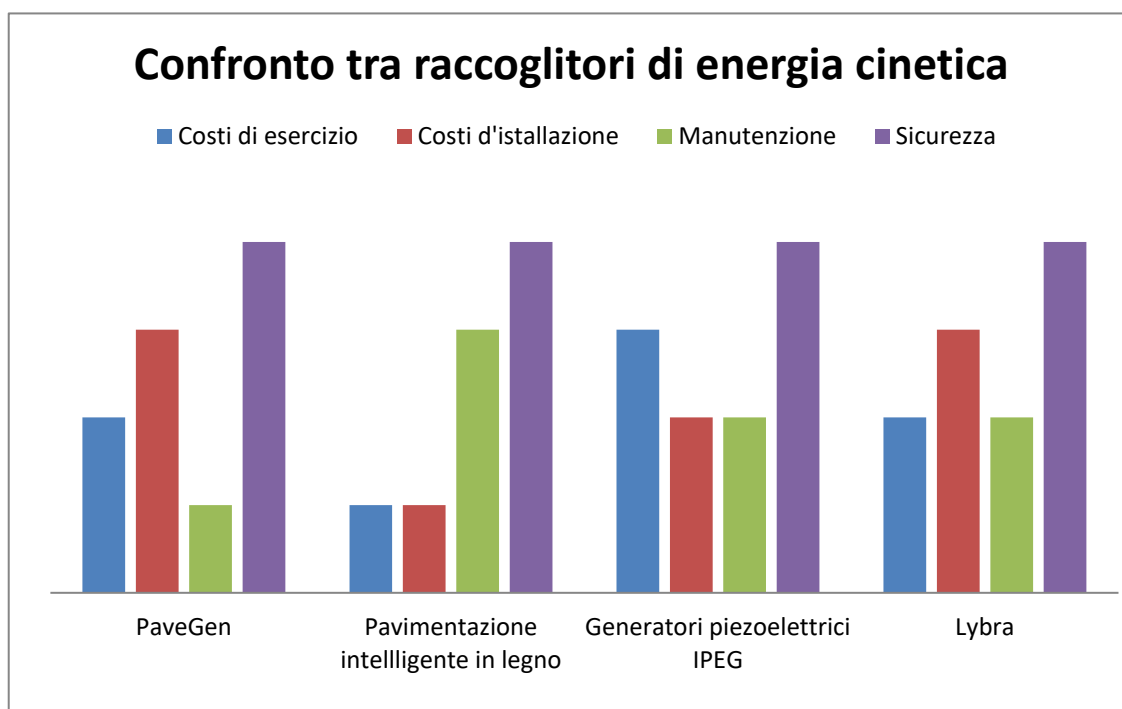


Grafico 1 – Confronto tra raccoglitori di energia cinetica

2.2 Dispositivi per la raccolta di energia luminosa

2.2.1 Strada fotovoltaica

Una strada fotovoltaica converte 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: il primo riguarda l'elemento posto in sommità che è uno strato semitrasparente costituito da vetro temprato, polimero o aggregati di vetro legati tra di loro mediante una speciale resina (resina epossidica, poliuretanic). 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.

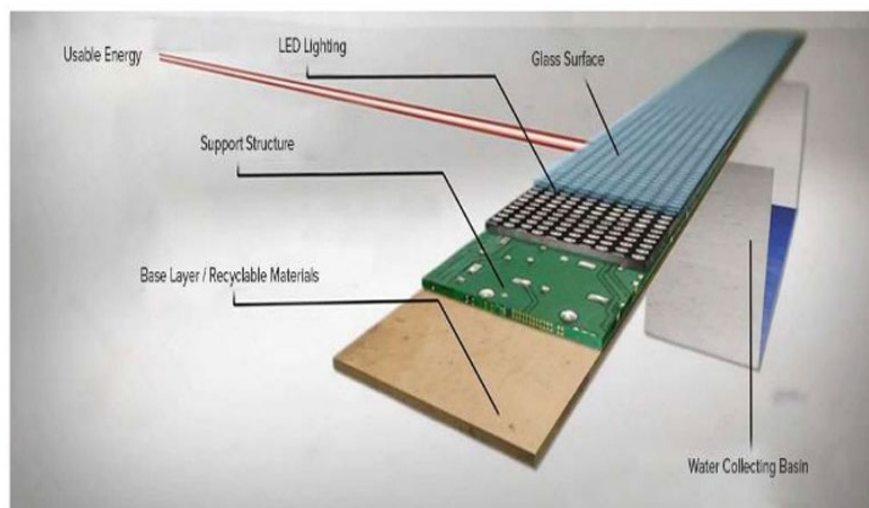


Figura 10 – Componenti strada fotovoltaica

Fonte: Solar Roadways

Diversi progetti hanno iniziato a svilupparsi in tutto il mondo i quali cercano di trasformare questa idea in tecnologia.

Negli Stati Uniti, per esempio, gli ambientalisti Julie e Scott Brusaw 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 una forma esagonale 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.

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 reale 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.

I finanziamenti del Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti hanno permesso negli anni di effettuare diversi test e di migliorare le caratteristiche di questo prodotto. Siamo passati da un modello da 36 watt ad un modello da 48 watt, di circa 3,5 cm di spessore, 1,3 m di larghezza e con un peso di poco più di 31 kg.

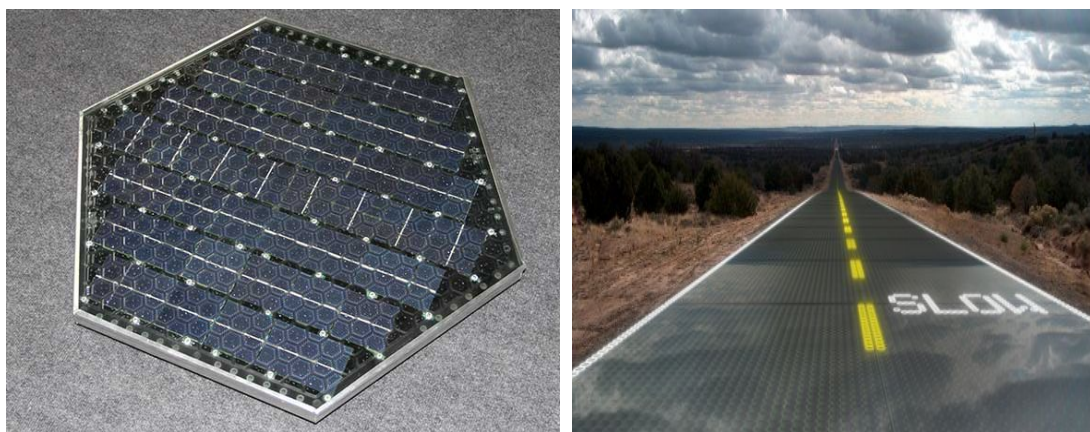


Figura 11,12 – Singolo pannello solare e strada fotovoltaica

Fonte: Solar Panel Road

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “SOLAR PANEL ROAD”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio	✓✓✓✓			
Costi d’installazione		✓✓✓✓		
Manutenzione	✓✓✓✓			
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 5 – Valutazione qualitativa del progetto “solar panel road”

La realizzazione dei pannelli solari per la strada fotovoltaica richiede costi di esercizio molto alti e medi per quanto riguarda la messa in opera. Inoltre deve essere svolta una manutenzione frequente per far sì che i pannelli solari non si deteriorano, ma non creano nessun tipo di intralcio a livello stradale.

2.2.2 Autostrada fotovoltaica in Cina

Nel 2018 è stata inaugurata a Jinan, in Cina, la prima autostrada fotovoltaica al mondo.

Forse più di qualsiasi altro paese sviluppato, la Cina deve far fronte agli effetti dell’inquinamento e quindi sta creando grandi quantità di infrastrutture per l’energia rinnovabile, di cui l’autostrada solare della nazione è un esempio particolarmente innovativo.

Si estende su 5.875 mq ed è in grado di generare fino a 1 GWh all’anno , sufficiente per alimentare 800 case.

Tuttavia, il governo cinese prevede di utilizzare l’elettricità creata dalla sua autostrada solare per alimentare lampioni, cartelloni pubblicitari e telecamere a circuito chiuso, nonché per riscaldare la superficie delle strade per sciogliere la neve che si accumula su di essa. Nelle prime 14 settimane di funzionamento, la strada ha generato 96 MWh di energia.

Nello specifico il manto è composto superficialmente da uno strato di cemento trasparente protettivo, che consente la trasmissione della luce pur mantenendo le necessarie caratteristiche di resistenza meccanica (può sopportare una pressione 10 volte superiore a quella dell'asfalto standard); sotto c'è uno strato intermedio di batterie a energia solare, che genera l'elettricità della strada, e infine uno strato isolante impermeabile per prevenire l'umidità dal terreno sottostante.



Figura 13 – Autostrada fotovoltaica nella città di Jinan, Cina

Fonte: Qilu Transportation Development Group

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “AUTOSTRADA FOTOVOLTAICA IN CINA”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio	✓✓✓✓			
Costi d’installazione	✓✓✓✓			
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 6 – Valutazione qualitativa del progetto “autostrada fotovoltaica in Cina”

Un’opera di questo genere presenta costi d’installazione e di esercizio molto alti. Differenti sono i costi di manutenzione ordinaria, i quali, grazie all’uso dello strato di cemento trasparente protettivo, risultano essere bassi. In termini di sicurezza stradale, l’opera è molto attendibile.

2.2.3 SolaRoad

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.



Figura 14 – Pista ciclabile fotovoltaica

Fonte: Solaroad

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “SOLAROAD”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d’installazione			✓✓✓✓	
Manutenzione				✓✓✓✓
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 7 – Valutazione qualitativa del progetto “solaroad”

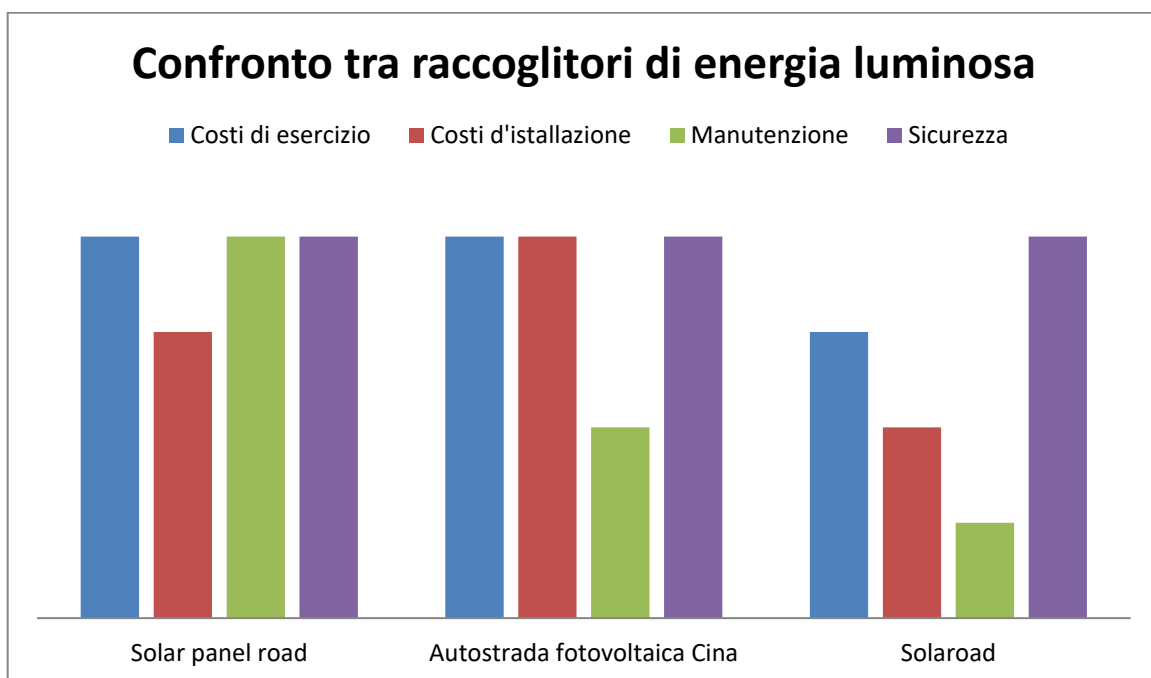


Grafico 2 – Confronto tra raccoglitori di energia luminosa

2.3 Dispositivi per la raccolta di energia termica

2.3.1 Sistemi di Thermal Energy Harvesting (TEH)

Un'altra proposta interessante per l'energy harvesting riguarda la raccolta di energia termica, grazie ai sistemi di Thermal Energy Harvesting (TEH). Queste applicazioni sono costituite da generatori termoelettrici (TEG), ossia dei motori termici a stato solido che convertono l'energia termica in energia elettrica. Infatti trasformano il calore di scarto in energia utilizzabile sfruttando una fonte di calore da un lato e un dissipatore di freddo dall'altro, con conseguente gradiente di temperatura. Più precisamente quando il TEG è posizionato tra la fonte di calore calda e un dissipatore di calore freddo, la differenza di temperatura viene convertita in una corrente elettrica attraverso i terminali del generatore. Il procedimento appena descritto si basa sul principio dell'effetto di Seebeck che descrive la tensione sviluppata attraverso due materiali conduttori elettrici dissimili creando una giunzione termoelettrica calda.

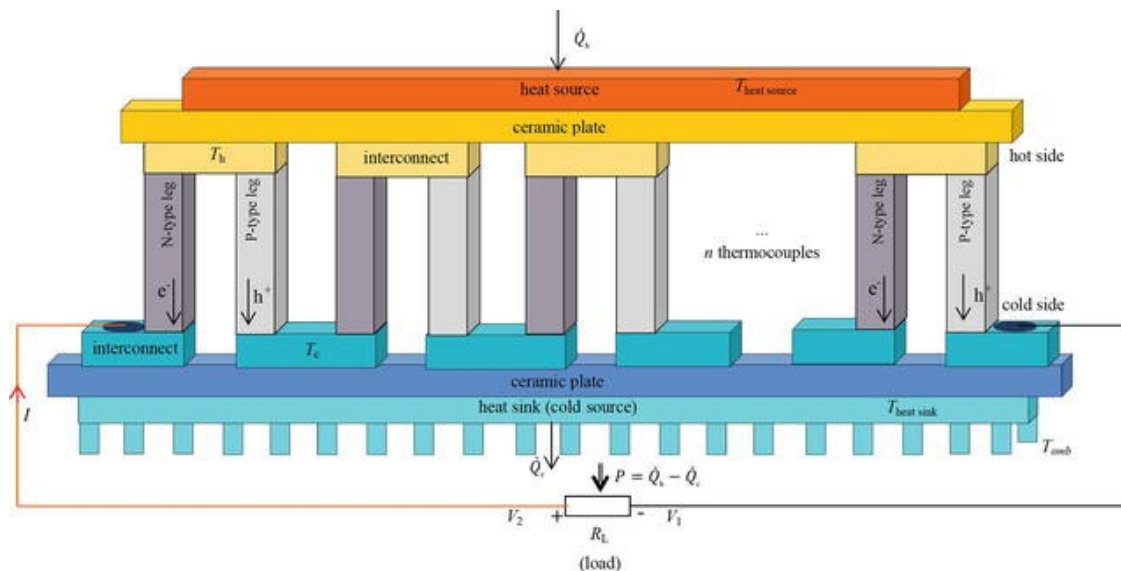


Figura 15 – Schema dispositivo TEG

Fonte: Green Energy Advances

E' composto da una o più termocoppie a semiconduttore, come in questo caso, collegate in serie e fissate tra due piastre ceramiche conduttrici di calore isolate elettricamente.

Ogni termocoppia costituita da materiale semiconduttore di tipo “p” e di tipo “n”, genererà energia elettrica nel momento in cui ci sarà una differenza di temperatura attraverso un TEG (effetto Seebeck). A causa di questa variazione di condizione termica, 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.

Nell'ambito dell'ingegneria stradale i TEG sono stati utilizzati come sistema di raffreddamento della pavimentazione stradale. Un gruppo di ricercatori ha proposto di installare un generatore termoelettrico accoppiato ad 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 generatore viene raffreddato dall'acqua del fiume. Grazie alla differenza di temperatura tra il lato caldo ed il lato freddo, viene generata energia elettrica.

Purtroppo la loro efficienza, funzionano solo con grandi variazioni termiche e sono molto costosi.

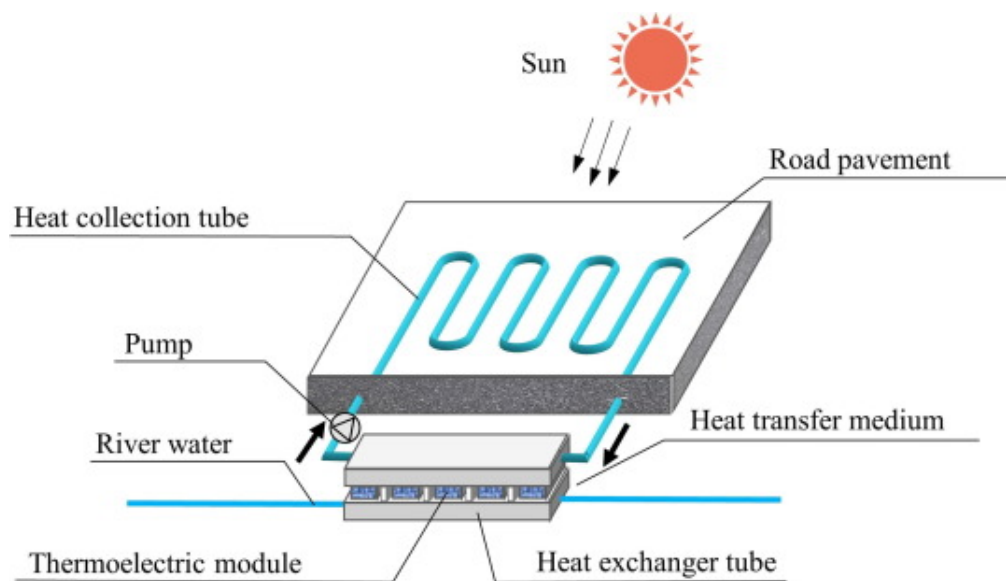


Figura 16 – Schema dispositivo TEG

Fonte: Green Energy Advances

In merito a questo argomento è stato costruito, da un altro team di ricercatori, 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. Fino a questo momento non ci sono prodotti disponibili nel mercato che sfruttano questo principio, a causa della loro bassa efficienza di conversione.

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “APPLICAZIONE TEG PER RAFFREDDARE LE STRADE”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio	✓✓✓✓			
Costi d'installazione			✓✓✓✓	
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 8 – Valutazione qualitativa del progetto “applicazione TEG per il raffreddare le strade”

2.3.2 Tecnologia del collettore solare su asfalto

L'energia solare è una fonte energetica verde distribuita in tutto il mondo, la quale funge da sorgente per tutte le altre forme di energia. La pavimentazione stradale è probabilmente il più grande sistema di accatastamento di collettori solari sulla terraferma. Riceve la radiazione solare durante il giorno e immagazzina parte di quell'energia che viene completamente o parzialmente dissipata nell'atmosfera durante la notte. Gli studi hanno dimostrato che la temperatura media delle pavimentazioni in asfalto può raggiungere una media di 60-70° in estate grazie alle sue eccellenti proprietà di assorbimento del calore. L'energia solare termica raccolta dalla pavimentazioni stradali può essere raccolta dal fluido di ricircolo. Un sistema progettato per questo scopo è chiamato Asphalt Solar Collector (ASC)

Prima di descrivere la composizione e il principio di funzionamento di un collettore solare è opportuno illustrare le modalità di trasferimento del calore nella pavimentazione in asfalto.

La distribuzione della temperatura di una pavimentazione in asfalto è influenzata dalle condizioni termiche dell'ambiente a cui è esposta.

Le principali modalità di trasferimento del calore includono la radiazione solare incidente, la radiazione termica tra la superficie della pavimentazione in asfalto e il cielo, la convezione dovuta al trasferimento di calore tra la superficie della pavimentazione e il fluido (aria o acqua) a contatto con la superficie, la conduzione all'interno della pavimentazione e la dispersione termica per irraggiamento dalla superficie.

Infatti, grazie a queste caratteristiche, l'asfalto di strade presenta un'elevata potenzialità come fonte di energia per il riscaldamento degli edifici e la produzione di acqua calda e di elettricità.

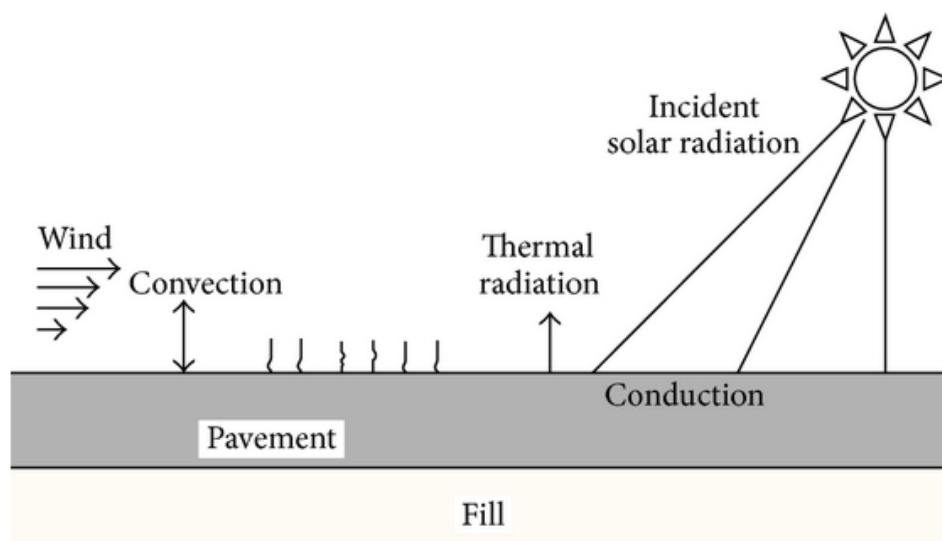


Figura 17 – Modalità di trasferimento del calore nella pavimentazione in asfalto
Fonte: Hindawi Publishing Corporation, Journal of Energy

L'Asphalt Solar Collector (ASC) è costituito da tubi o tubazioni interrati nella pavimentazione stradale attraverso i quali circola un fluido, solitamente acqua, con un agente antigelo. Queste tubazioni sono posizionate in modo tale da riuscire a captare l'energia solare e convertirla in energia termica. Di seguito viene raffigurato uno schema del tubo collettore realizzato con un materiale polimerico.

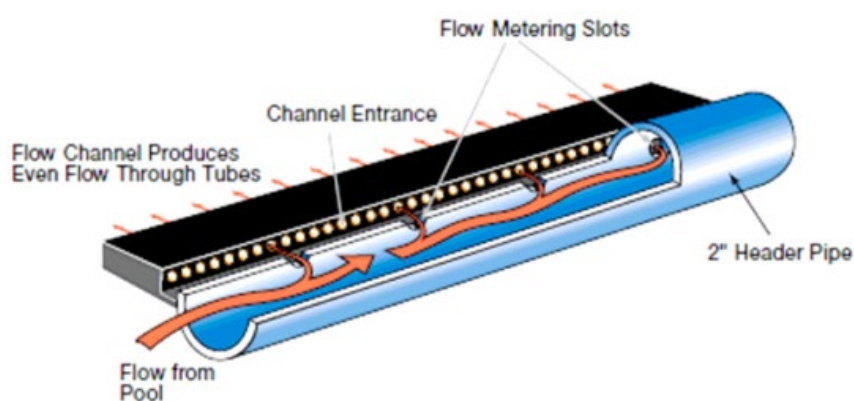


Figura 18 – Schema tubo collettore

Fonte: Road Energy Systems

Uno delle prime proposte di ASC è stato progettato per il riscaldamento e il raffreddamento delle pavimentazioni stradali e altre infrastrutture, utilizzando la proprietà di assorbimento del calore del calcestruzzo bituminoso applicato sulla costruzione di pavimentazioni flessibili, sia per la stagione estiva che invernale.

Il sistema funziona nel seguente modo: in estate l'acqua fredda viene pompata da un deposito sotterraneo (ad esempio la falda acquifera) e fatta circolare nello strato più superficiale dell'asfalto in cui sono interrati dei condotti, l'acqua si scalda e viene riportata in un deposito sotterraneo dove viene conservata. In inverno si esegue il procedimento inverso.

L'obiettivo è raffreddare il manto stradale d'estate per evitare la formazione di crepe nello stesso a causa del calore e scaldarlo d'inverno per evitare che si ghiacci. Il sistema può essere implementato con l'introduzione di pompe di calore per gli edifici in modo che l'asfalto fornisca l'acqua calda sanitaria necessaria.

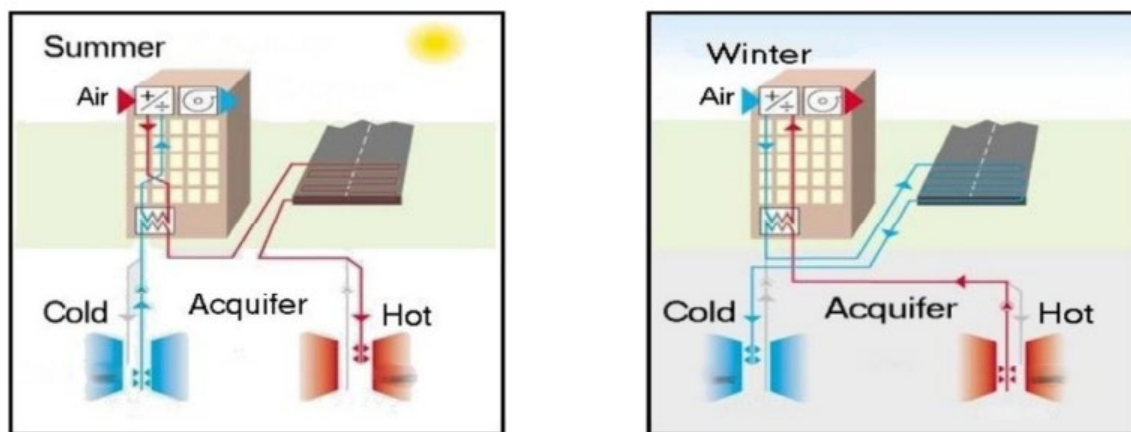


Figura 19,20 – Funzionamento impianto nella stagione estiva e invernale.

Fonte: Road Energy Systems

Per la progettazione degli ASC bisogna avere molta accuratezza sull'incasso dei tubi nella pavimentazione che influenzerà la durata e la sostenibilità della pavimentazione. Per realizzare un collettore solare per asfalto efficiente ci dovrebbe essere un guadagno tra le prestazioni termiche e strutturali del sistema. La profondità, la spaziatura e la portata ottimale del tubo per un particolare diametro devono essere progettate per ottenere la massima estrazione del calore senza causare cedimenti strutturali in condizioni sfavorevoli.

2.3.3 Asphalt Solar Collector in Svizzera

Dal punto di vista pratico, in Svizzera, è stato realizzato un sistema di recupero energetico dalla pavimentazione stradale con lo scopo di scaldare il manto stradale di un ponte situato in zone montuose per evitare la formazione di ghiaccio.

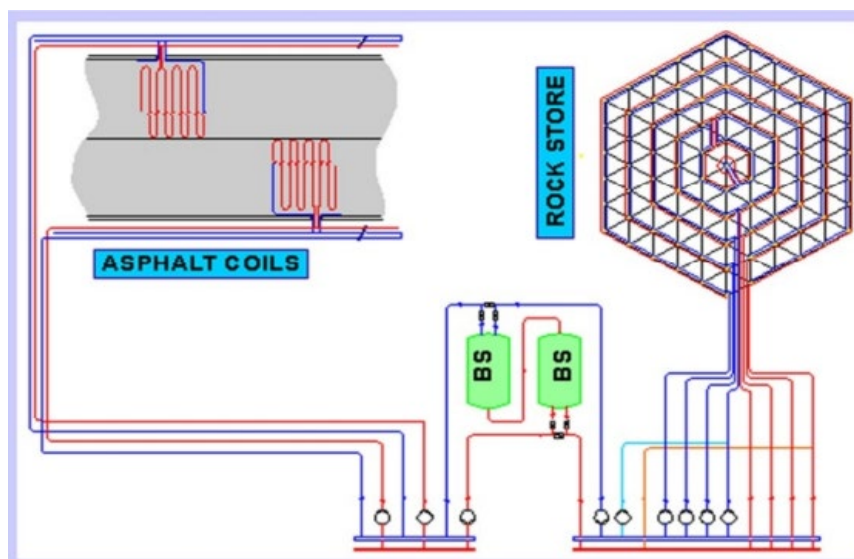


Figura 21 – ASC per il recupero energetico e scaldare la pavimentazione stradale

Fonte: Serso

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “ASC SERSO”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d'installazione		✓✓✓✓		
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 9 – Valutazione qualitativa del progetto “ASC Serso”

2.3.4 Asphalt Solar Collector in Olanda

Un altro esempio simile di ASC si trova a Rotterdam, in Olanda. Medesimo obiettivo, ossia quello di scaldare la pavimentazione stradale di un ponte, evitando la formazione di ghiaccio, e migliorando la durabilità del manto stesso. Prevede un sistema di tubazioni all'interno degli strati della pavimentazione per condurre il calore attraverso un fluido appropriato. In aggiunta è stato implementato un sistema che comprende delle pompe di calore per gli edifici in modo tale da soddisfare parte del fabbisogno di acqua calda sanitaria.

La temperatura della pavimentazione in asfalto aumenta durante il giorno a causa dell'assorbimento del sole radiazione. I materiali incorporati nella pavimentazione in asfalto hanno una proprietà elevata di assorbimento. Ciò significa che con queste caratteristiche e in aggiunta all'elevata capacità termica, le pavimentazioni possono raggiungere una temperatura molto elevata, anche superiore alla temperatura dell'aria circostante. Di conseguenza la pavimentazione in asfalto diventa una fonte potenziale per la raccolta di energia. Inoltre, quando la temperatura aumenta notevolmente, l'asfalto può

causare il cosiddetto: “effetto isola di calore urbano”, ossia il deterioramento della qualità dell’aria per causa dell’elevata temperatura ambientale.

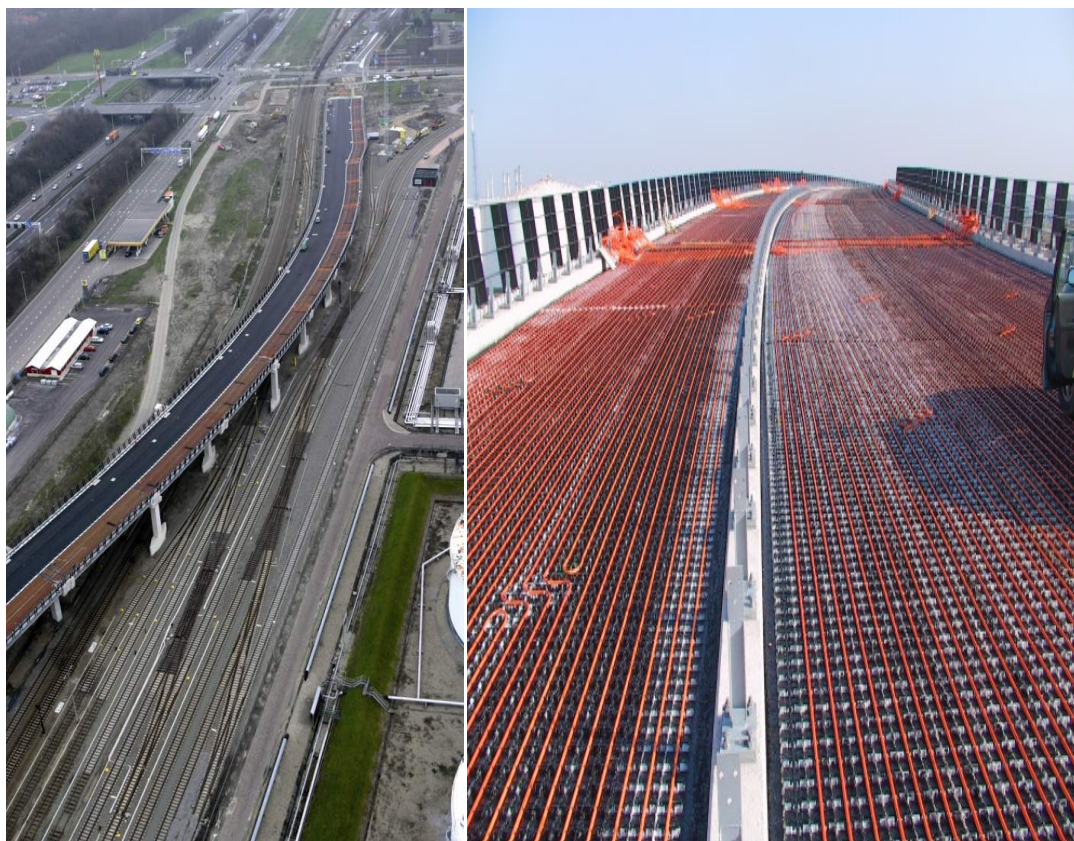


Figura 22,23 – Collettore solare su asfalto applicato in un ponte a Rotterdam

Fonte: Roadtraffic-technology

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “ASC PONTE ROTTERDAM”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d’installazione		✓✓✓✓		
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 10 – Valutazione qualitativa del progetto “ASC ponte Rotterdam”

2.3.5 Asphalt Solar Collector in Francia (Power Road)

Recentemente anche l'azienda francese "Eurovia" ha sviluppato un sistema per produrre energia basato sull'utilizzo dei collettori solari applicati alla pavimentazione stradale. Il progetto si chiama "Power Road" e consente alle strade di catturare l'energia termica del sole, che può essere immagazzinata e distribuita agli edifici e alle infrastrutture vicine attraverso un sistema a pompa di calore. Il principio di funzionamento è lo stesso utilizzato per il ponte in Olanda, ma con applicazioni pratiche aggiuntive. Infatti in estate "Power Road" cattura l'energia termica dei raggi solare sulla pavimentazione in modo tale da trasferire quel calore alle strutture, come una piscina comunale. Inoltre sfruttando l'energia del sole, questo sistema, può raffreddare gli strati superiori dell'asfalto per evitare l'accumulo di calore della carreggiata. In inverno l'energia immagazzinata nelle sonde e distribuita negli scambiatori può essere utilizzata in inverno per sciogliere neve e ghiaccio su strade, parcheggi e piste aeroportuali. In aggiunta l'energia accumulata può essere utilizzata per riscaldare edifici residenziali.

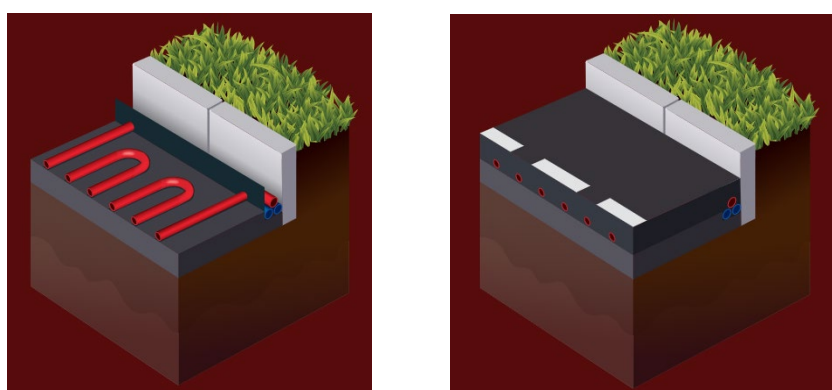


Figura 24,25 – Scambiatore di calore e corso superficiale della pavimentazione

Fonte: Eurovia

“Power Road”, in Francia centro-meridionale, ha avuto un eccellente successo col la messa in sicurezza di 120 metri di strada col la rimozione automatica di ghiaccio e neve. Infatti sono state applicate delle sonde di temperatura integrate, una telecamera e un rilevatore di neve.



Figura 26 – Strada francese in cui è stata applicato il dispositivo “Power Road”

Fonte: Eurovia

Un altro esempio pratico riguarda la realizzazione di una fonte energetica rinnovabile per riscaldare la struttura di una piscina comunale in una città francese. In fatti in occasione della ristrutturazione di un parcheggio adiacente alla piscina è stato istallato un sistema di collettori solari termici (tubi attraverso i quali passa un fluido termovettore) integrato nella pavimentazione. La radiazione solare assorbita dalla pavimentazione viene quindi recuperata tramite lo scambiatore di calore e può essere accumulata (per una successiva redistribuzione) o rilasciata immediatamente, come avviene per la piscina Feurs. La messa in opera di “Power Road” su 750 metri quadri di parcheggio consente così di contribuire al preriscaldamento dell’acqua per la piscina ed eliminare 16 tonnellate di CO₂ all’anno con gas per l’impianto principale del gas.



Figura 27 – Applicazione del dispositivo “Power Road” durante i lavori (Feurs)

Fonte: Eurovia

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “POWER ROAD”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d’installazione		✓✓✓✓		
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 11 – Valutazione qualitativa del progetto “power road”

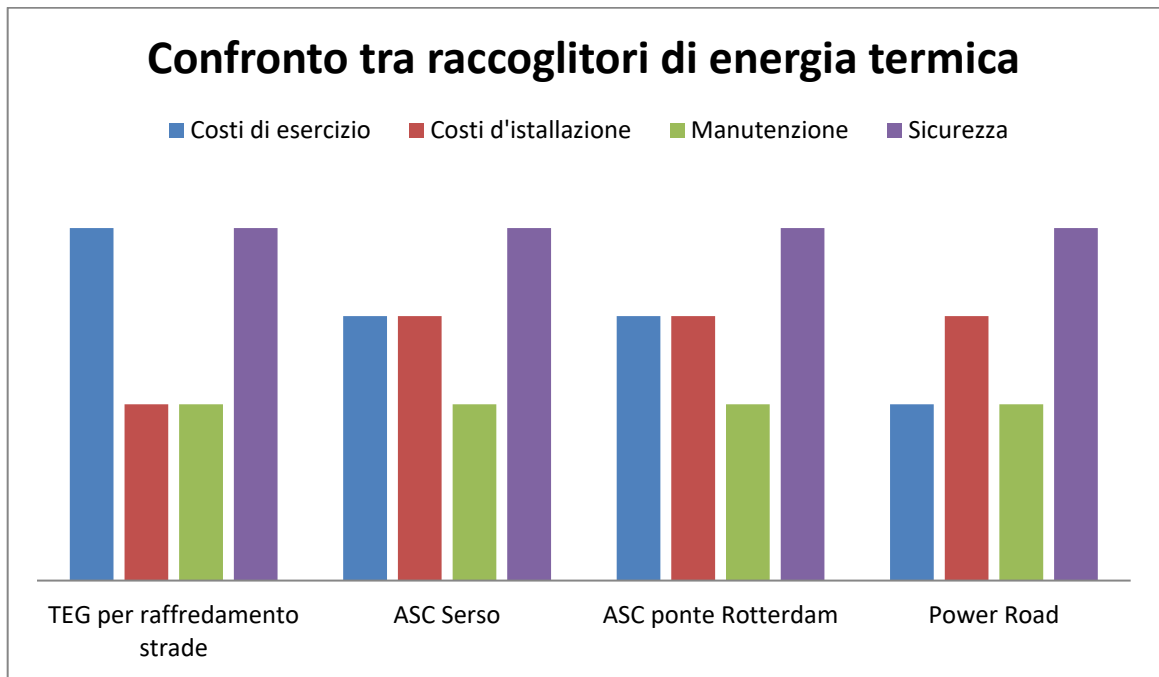


Grafico 3 – Confronto tra raccoglitori di energia termica

2.4 Dispositivi per la raccolta di energia dalle onde radio

2.4.1 Power harvesting onde radio RF

A causa della rapida crescita delle comunicazioni wireless e del radorilevamento, lo spettro delle radiofrequenze risulta essere molto carico e intasato nella maggior parte delle aree del mondo. Soprattutto nelle aree urbane e semiurbane, i segnali della TV digitale (DVB-T), 3G, 4G, 5G, WiFi, sono semplicemente onnipresenti. Sebbene si preveda che questa situazione provochi grandi sfide per le future reti di comunicazione, queste onde radio che ci circondano offrono anche opportunità significative per la raccolta di energia. Infatti si possono sfruttare per alimentare i dispositivi senza batteria o il cosiddetto “Internet of Things (IoT)”, ossia qualsiasi sistema di dispositivi fisici che ricevono e trasferiscono i dati su reti wireless. La struttura base del sistema che raccoglie l’energia a radiofrequenza è composto da: un'antenna ricevente, un circuito di adattamento, un rilevatore di picco e un elevatore di tensione.

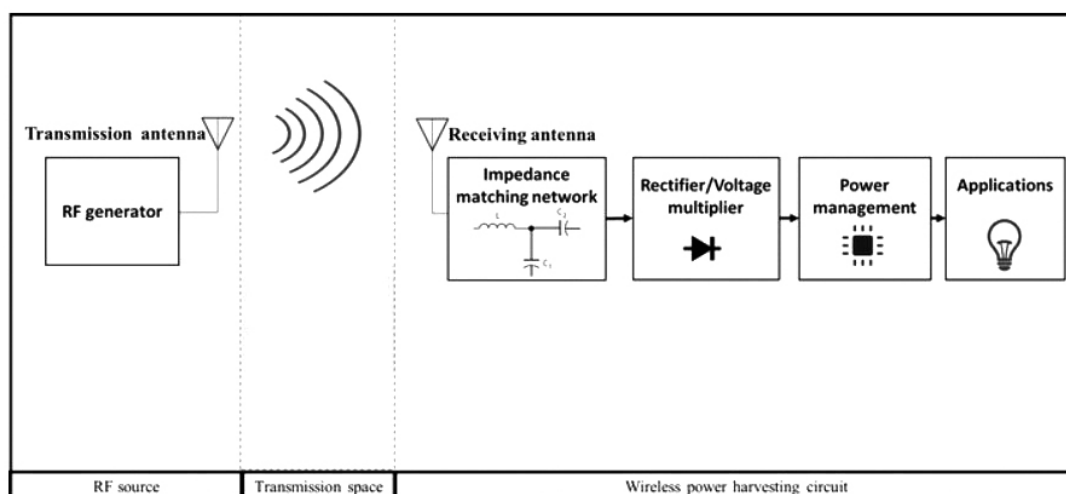


Figura 28 – Schema a blocchi di un sistema RF energy harvesting

Fonte: Elettronica open source

Nel momento in cui le onde elettromagnetiche vengono catturate dall'antenna, la tensione viene amplificata utilizzando il circuito di adattamento, il segnale viene convertito in un valore di tensione grazie al rilevatore di picco e infine questa uscita di tensione viene regolata utilizzando l'elevatore di tensione.

L'intero sistema formato dall'antenna ricevente, dalla rete di accoppiamento e dal raddrizzatore è generalmente noto come “rectenna”(antenna rettificatrice), che è in grado di raccogliere energia ad alta frequenza nello spazio libero e convertirla in alimentazione di corrente continua “CC”. Successivamente, l'energia CC deve essere immagazzinata in condensatori o batterie a bassa perdita fino a quando non viene consumata da componenti elettronici come i dispositivi “IoT”, sensori o microcontrollori.

L'applicazione di Energy Harvesting è una promettente soluzione energetica per le reti di sensori wireless (WSN). Invece di dipendere da fonti di alimentazione centralizzate per la ricarica, i dispositivi gestiscono l'energia esistente nell'ambiente. Attraverso la raccolta di energia RF possono essere risolte alcune problematiche quali: scarsa illuminazione mancanza di vibrazioni. Può essere utilizzata per ricaricare le batterie ma anche per sostituire le batterie stesse, ovviamente per alimentare dispositivi a bassissimo consumo. La produzione di componenti e sistemi per la raccolta di energia RF ambientale accresce notevolmente. Infatti diverse aziende mondiali hanno sviluppato questo tipo di tecnologia.

La STMicroelectronics ha commercializzato un dispositivo che utilizza l'energia RF ambientale per alimentare i suoi circuiti consentendo lo scambio di dati con smartphone e sistemi di protocollo compatibili con RFID (“radio frequency identification che indica una tecnologia per la localizzazione di oggetti mediante segnali radio “).

Un altro esempio riguarda le aziende Analog Devices e Texas Instruments. La prima ha sviluppato un circuito utilizzato come elemento di interfaccia per Harvester di sorgenti piezoelettriche grazie alla funzione del convertitore ad alta efficienza che fornisce e di corrente continua da 1,8 volt fino a 3,6 volt e una corrente di uscita fino a 100 miliampere; mentre la Texas Instruments offre un sistema di sviluppo interessante per creare un dispositivo completo di raccolta dell'energia solare in grado di alimentare continuamente sensori wireless, il tutto tramite un microcontrollore a bassissima potenza. L'efficienza dei dispositivi per la raccolta di energia RF si ottiene, anche, mediante l'uso di materiali innovativi. In particolare il grafene è stato preso in considerazione per lo sviluppo di rectenne flessibili per sensori e applicazioni a bassissima potenza . Presenta una struttura unica costituita da un singolo strato di atomi di carbonio ingegnerizzati per creare una maglia a nido d'ape bidimensionale caratterizzata da eccezionali proprietà elettromagnetiche e fisiche.

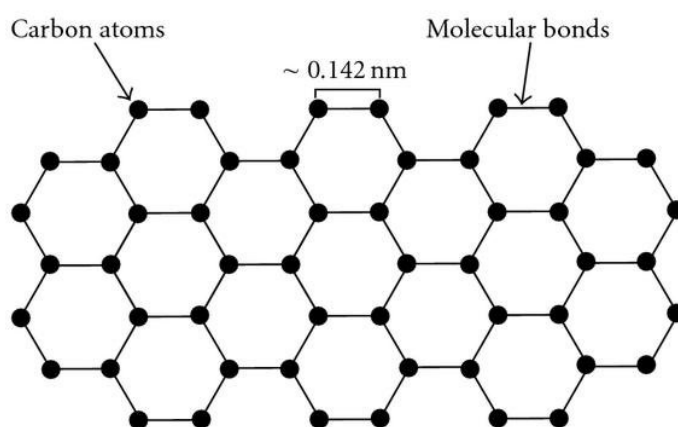


Figura 29 – Struttura atomica del grafene a “nido d’ape”

Fonte: Nature-briefing

Poiché il carbonio è disponibile ovunque, il grafene può ridurre il costo dei dispositivi elettronici. Inoltre può essere facilmente utilizzato anche su carta o prodotti tessili per fabbricare antenne e circuiti.

Oltre a ciò vi è stata una collaborazione tra diverse università a livello globale per lo sviluppo di antenne e rectenne biointegrate, estensibili e flessibili fabbricate con laser su substrati elastomerici per sistemi autoalimentati. Tali tecnologie flessibili possono includere anche circuiti elettronici e sensori incorporati per massimizzare l'efficienza e ridurre al minimo le dimensioni dell'energy harvester.

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “POWER HARVESTING RF”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d’installazione			✓✓✓✓	
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 12 – Valutazione qualitativa del progetto “power harvesting RF”

2.5 Dispositivi per la raccolta di energia eolica

2.5.1 Turbine eoliche

Per generare elettricità sfruttando le correnti d'aria, è tipico utilizzare le turbine eoliche, le quali mosse dal vento producono energia mediante un generatore. Nella maggior parte dei casi il principio di funzionamento di questi dispositivi impiega il vento naturale, ma da diversi anni alcuni studiosi hanno trovato un metodo più “artificiale”, ossia il movimento d'aria prodotto dai veicoli in movimento. Infatti è possibile installare dei piccoli sistemi eolici che recuperano energia grazie al sistema appena descritto. La tecnologia eolica applicata alle strade è un tema recente quindi i progetti inerenti sono quasi tutti sperimentali, alcuni di essi saranno descritti successivamente.

2.5.2 Turbina eolica ad asse verticale in Francia

Una delle prime applicazioni pratiche è avvenuta nel 2010 da parte dell'azienda “Cita Production”, la quale ha installato una turbina eolica verticale al lato della carreggiata di un tratto autostradale tra Parigi e Lione. L'obiettivo del progetto è stato quello di sfruttare il movimento dell'aria causato dal passaggio a velocità elevata dei veicoli, alimentando così dispositivi stradali quali: segnaletica stradale, telecamere, sensori di monitoraggio del traffico e stazioni meteorologiche.



Figura 30 – Applicazione turbina eolica verticale

Fonte: Cita Production

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “CITA PRODUCTION”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d’installazione		✓✓✓✓		
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 13 – Valutazione qualitativa del progetto “Cita Production”

2.5.2 Turbina eolica ad asse verticale in Turchia

Un dispositivo simile a quello appena descritto è stato sperimentato in Turchia. Si tratta sempre di una turbina eolica ad asse verticale, ma con dimensioni molto ridotte e posizionata in mezzo alle strade. Il principio di

funzionamento è il medesimo del dispositivo francese. E' composta al suo interno da 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 grandi veicoli, ma anche solo al passaggio delle biciclette. Per tale ragione questa turbina può essere posizionata anche su strade che non risultano essere particolarmente trafficate. Una sola di queste turbine riesce a generare 1 kwh di energia elettrica. Ogni dispositivo 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.



Figura 31 – Applicazione turbina eolica verticale in Turchia

Fonte: Deveci Tech

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “DEVECI TECH”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d’installazione				✓✓✓✓
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza		✓✓✓✓		

Tabella 14 – Valutazione qualitativa del progetto “Deveci Tech”

2.5.3 Barriere New Jersey con dispositivi eolici

Un altro particolare progetto per il recupero di energia usando il movimento dell’aria del transito veicolare è stato proposto da Mark Oberholzer, un ingegnere che ha integrato i dispositivi eolici nelle barriere poste ai lati della carreggiata (barriere new jersey, già conosciute in gran parte del mondo). E’ così possibile catturare i venti e generare energia elettrica per il fabbisogno dell’autostrada. Originariamente concepito come un'unica fila di turbine rotanti ad asse verticale, è stato poi riprogettato per includere due file, una sopra l'altra, con la potenza finale utilizzata per alimentare un sistema di metropolitana leggera.

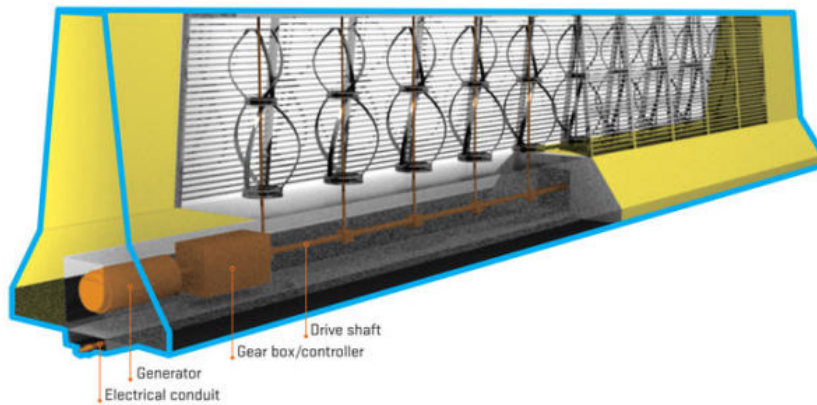


Figura 32 – Barriera “New Jersey” con dispositivi eolici integrati

Fonte: Next Generation Design Competition

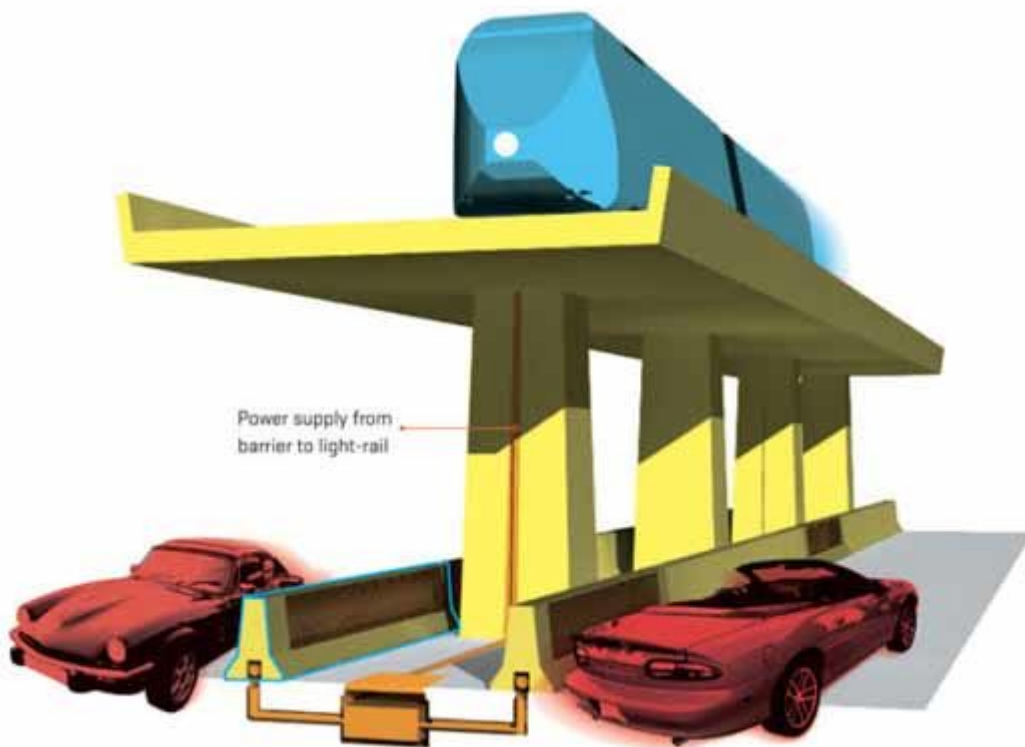


Figura 33 – Riprogettazione sistema per alimentare un sistema di metropolitana leggera

Fonte: Next Generation Design Competition

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “BARRIERE NEW JERSEY”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d’installazione		✓✓✓✓		
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza		✓✓✓✓		

Tabella 15 – Valutazione qualitativa del progetto “barriere New Jersey”

Uno studente universitario dell’Arizona ha progettato delle turbine eoliche, integrati nei divisori autostradali, la cui struttura sovrasta il tracciato autostradale. L’obiettivo, anche in questo caso, è stato quello di sfruttare il movimento dell’aria causato dal passaggio a velocità elevata dei veicoli. Ha calcolato che è possibile ricavare 9600 kWh/a di energia tenendo conto della velocità media annuale del vento in Arizona e di quella delle vetture che percorrono le autostrade statunitensi.



Figura 34,35 – Progetto turbine eoliche integrate nei divisori autostradali

Fonte: University of Arizona

2.5.4 Turbine Light

Un altro sistema che cattura il vento per l'energy harvesting, chiamato "Turbine light", è stato lanciato dalla Tak Studio. E' un sistema di illuminazione stradale ad energia eolica: i lampioni sono dotati di una turbina che sfrutta lo spostamento d'aria generato dal passaggio delle auto.

L'obiettivo di questo progetto mira a risparmiare quantità elevate di denaro e allo stesso tempo diminuire l'inquinamento. Infatti la produzione di energia elettrica comporta grandi quantità di anidride carbonica e polveri inquinanti provenienti dalle centrali che vanno a disperdersi liberamente nell'atmosfera. Strade e autostrade sono in continuo aumento e la rete stradale ha bisogno continuamente di essere illuminate di notte. A tale proposito la "Turbine Light" potrebbe risolvere questo tipo di problematiche.

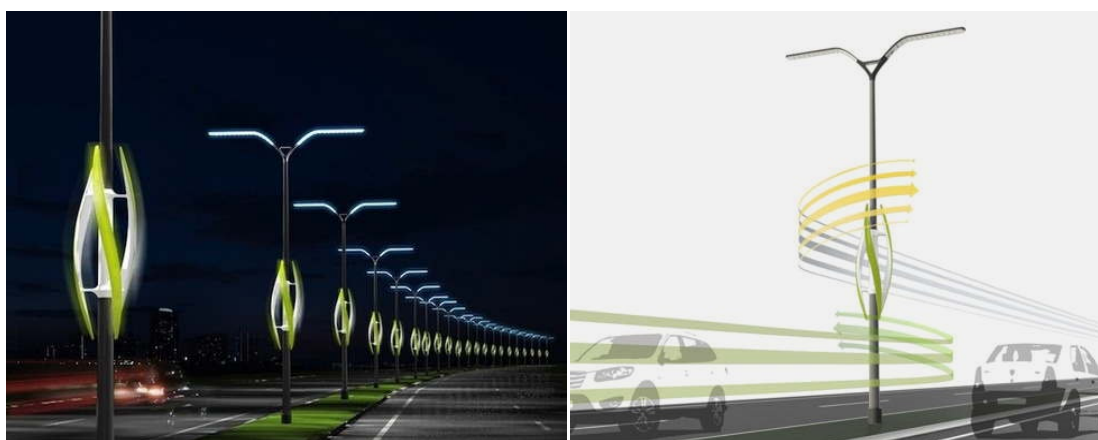


Figura 35,37 – Turbine light

Fonte: Tak Studio

Lo studio del dispositivo eolico è stato attuato per risparmiare più energia possibile. Infatti per l'illuminazione sono state utilizzate delle lampade a led ad altissima visibilità.

L'energy harvester in esame è un semplice lampione molto alto dove lo stelo regge due plafoniere per lampade con la caratteristica della turbina eolica posizionata nella sua struttura portante. La turbina è ad asse verticale, quindi con un rendimento per la trasformazione del vento molto alto. La turbina è stata idealizzata per essere appositamente installata lungo le strade ad alto traffico veicolare. Il passaggio genera naturalmente un movimento d'aria che attiva la turbina. A questo punto di conseguenza, la turbina converte l'energia eolica in elettrica per mezzo di un sistema dotato di trasformatore e generatore. Installata nel corpo del lampione è anche una batteria che ha la funzione di accumulare l'energia prodotta durante il giorno per poi fornirla di notte, quando i lampioni si andranno ad accendere. Turbine Light è capace quindi di autoregolarsi ed essere indipendente dal ciclo notte/giorno.

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO "TURBINE LIGHT"				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d'installazione		✓✓✓✓		
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza		✓✓✓✓		

Tabella 16 – Valutazione qualitativa del progetto "turbine light"

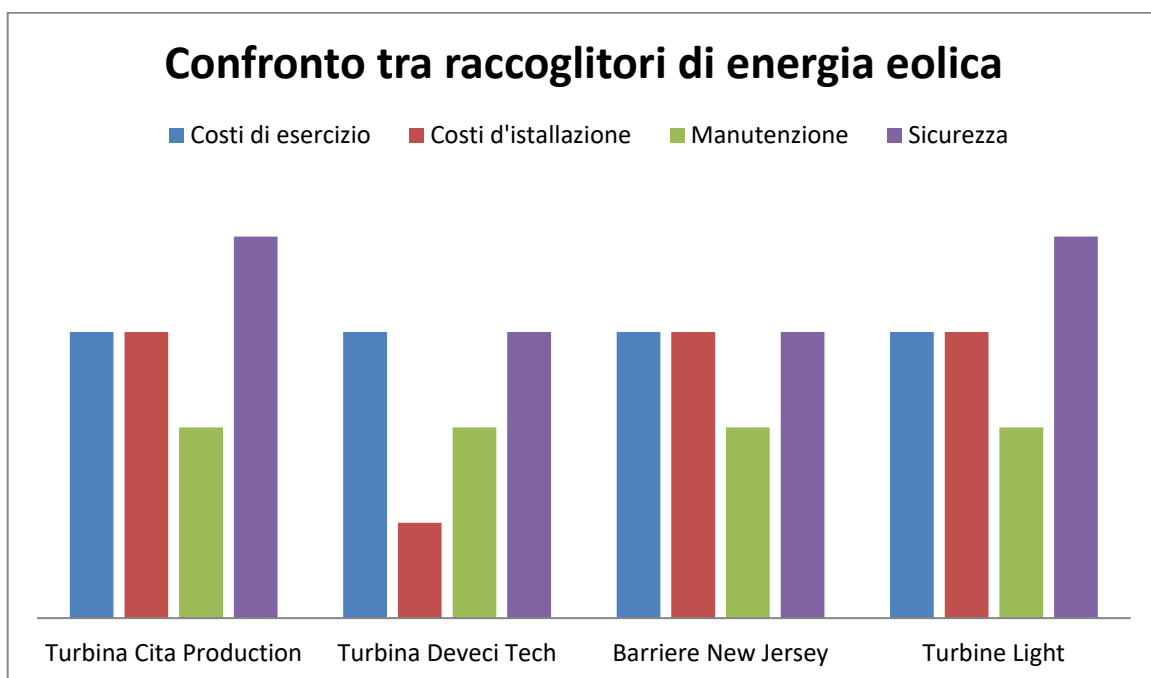


Grafico 4 – Confronto tra raccoglitori di energia eolica

2.6 Dispositivi per la raccolta di energia marina

I processi fisici attraverso cui è possibile raccogliere energia dagli oceani sono diversi, e ciascuno può contare su una propria tecnologia di estrazione. Infatti l'energia prodotta dal mare si presenta in varie forme: cimoelettrica, mareomotrice, correnti marine, talassotermica e osmotica.

2.6.1 Energia cimoelettrica

Si riferisce all'energia cinetica sprigionata dalle onde, la quale viene catturata da specifici dispositivi ingegneristici.

Di seguito verranno descritte le tecnologie più diffuse per estrarre questa fonte energetica.

2.6.1.1 Colonna d'acqua oscillante (OWC)

Rappresenta al momento il metodo più economico e diffuso per la conversione del moto ondoso.

Gli impianti vengono collocati direttamente sul mare sfruttando insenature naturali o scavando conche artificiali sulla costa. Si tratta di una struttura cava, costruita in acciaio o calcestruzzo, senza base e parzialmente immersa nell'acqua marina. Nella parte superiore si trova una turbina Wells, usata per convertire l'alimentazione pneumatica disponibile.

Il movimento ondoso fa in modo che all'interno della struttura si crei un movimento d'aria: quando l'onda sale l'aria si comprime verso l'alto e fa girare la turbina in senso antiorario e poi esce attraverso due ugelli. Appena l'onda scende l'aria occupa il posto dell'acqua facendo così girare la turbina nel senso opposto. Questo movimento in senso orario e antiorario della turbina farebbe perdere molta energia, per questo inconveniente si utilizzano le turbine Wells, create appositamente per convertire in un unico senso di rotazione, il passare

dell'aria verso l'alto o verso il basso. Quando l'onda si abbassa, l'aria fluisce attraverso la turbina e torna indietro nella conca idraulica.

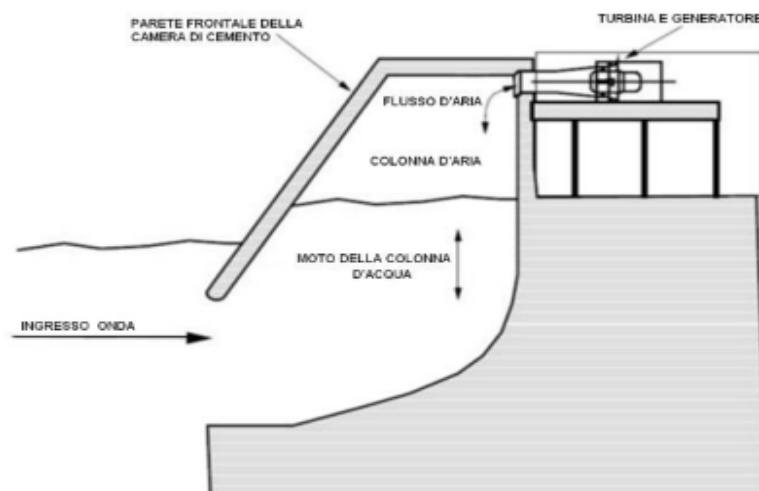


Figura 38 – Schema di una colonna d'acqua oscillante

Fonte: Enea

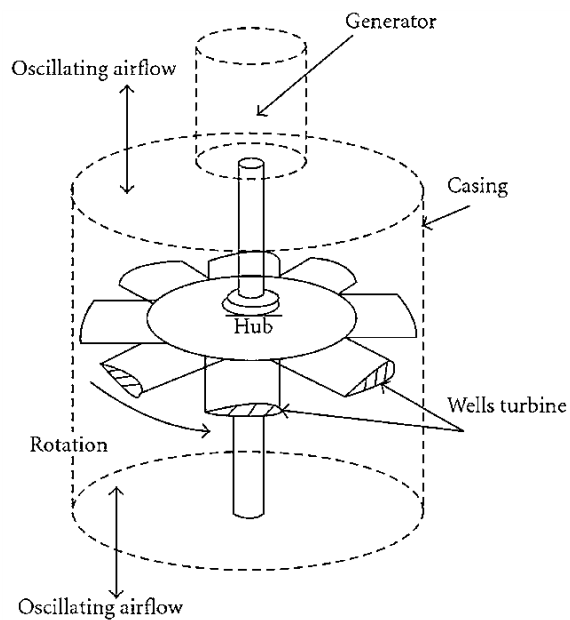


Figura 39 – Sezione di una turbina Wells

Fonte: Asat

Il primo impianto OWC è stato inaugurato dalla ditta scozzese Wavegen nel novembre 2000 sull'isola di Islay in Scozia con una potenza di circa 500 kW.



Figura 40 – Impianto OWC (Scozia)

Fonte: Wavegen

Successivamente sono stati progettati altri impianti di questo tipo come: PICO nelle Azzorre da 400 kW, Trivandrum in India da 150 kW, Sakata in Giappone da 60 kW.

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “IMPIANTO OWC”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d’installazione	✓✓✓✓			
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza		✓✓✓✓		

Tabella 17 – Valutazione qualitativa del progetto “impianto OWC”

2.6.1.2 Sistemi con apparati galleggianti

Si tratta di un dispositivo composto da cilindri galleggianti che sfruttano l'ampiezza delle onde in mare aperto. Questo sistema, chiamato "Pelamis", presenta una struttura semisommersa che grazie al movimento dettato dalle onde agisce su dei pistoni idraulici accoppiati a dei generatori.

Finora i prototipi realizzati sono caratterizzati da 5 grossi cilindri congiunti, con diametro di 3,5 m, lunghezza di 150m e la potenza è di 750 kW.



Figura 41 – Pelamis

Fonte: Wave Power

I maggiori svantaggi relativi a questo dispositivo sono dovuti all'occupazione marina pericolosa per la navigazione. I materiali devono essere resistenti all'azione corrosiva dell'acqua di mare e sono previsti accessi alla struttura per eventuali interventi di manutenzione e/o riparazione.

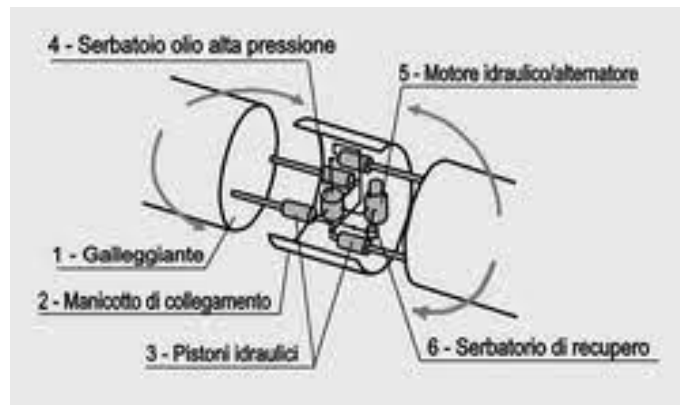


Figura 42 – Componenti del sistema Pelamis

Fonte: Wave Power

I galleggianti (1) sono uniti, in maniera articolata, dal manicotto (2). L'oscillazione dei galleggianti aziona i pistoni (3) che pompano olio nel serbatoio (4). L'olio va ad azionare il gruppo motore idraulico/alternatore (5). L'olio viene poi recuperato nel serbatoio di bassa pressione (6) per ritornare nel circuito.

I primi sistemi commerciali saranno installati davanti alle coste del Portogallo. Impianti di prova saranno installati al largo della Scozia e al largo dell'isola di Vancouver in Canada.

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “PELAMIS”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d'installazione	✓✓✓✓			
Manutenzione		✓✓✓✓		
Sicurezza			✓✓✓✓	

Tabella 18 – Valutazione qualitativa del progetto “Pelamis”

Un altro sistema simile al “Pelamis” è il Searev, ossia un dispositivo che consente di recuperare l'energia delle onde grazie ad una massa oscillante del pendolo contenuta in un sistema galleggiante chiuso, collegata al suolo da un adeguato ormeggio. Un sistema di controllo della circolazione relativa tra il galleggiante e la massa consente di massimizzare questo recupero di energia. Il movimento della massa viene trasmesso a un generatore elettrico diretto, il cui rotore è attaccato all'albero rotante della massa del pendolo. La potenza recuperata viene elaborata da un sistema elettronico e di trasformazione della potenza, quindi trasmessa alla rete tramite un cavo sottomarino dinamico.

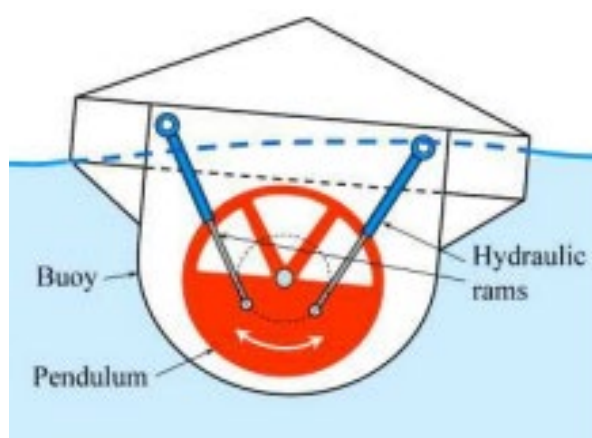


Figura 43 – Searev

Fonte: L'École centrale de Nantes

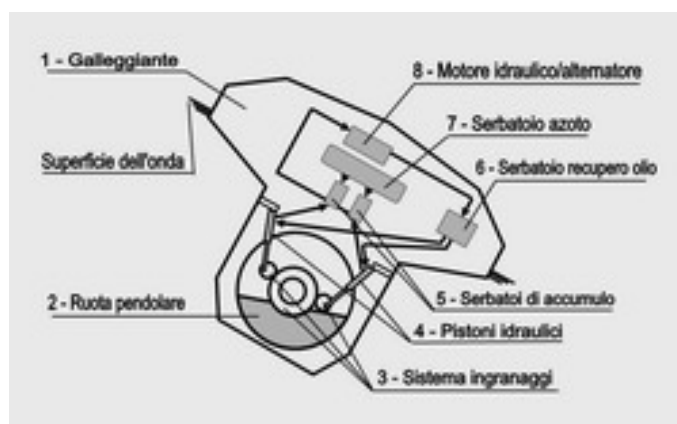


Figura 44 – Componenti Searev

Fonte: L'École centrale de Nantes

Il galleggiante (1) emerge dalla superficie del mare per circa 1/3 della sua altezza e oscilla a causa del moto ondoso. Al suo interno, in basso, c'è una “ruota pendolare” (2) (la parte grigia è una zavorra) che ruota, alternativamente, da una parte e dall'altra. Un sistema di ingranaggi (3) aziona i due pistoni (4) che pompano olio nel circuito idraulico. Questo circuito si compone di due serbatoi di accumulo (5), di un serbatoio di recupero a bassa pressione (6), di un serbatoio di azoto per mantenere in pressione il circuito (7) e di un motore idraulico che aziona l'alternatore (8).

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “SEAREV”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d'installazione	✓✓✓✓			
Manutenzione		✓✓✓✓		
Sicurezza			✓✓✓✓	

Tabella 19 – Valutazione qualitativa del progetto “Searev”

2.6.1.3 Sistemi con impianti sommersi

Consiste in una struttura sommersa e fissata al fondale marino. La parte superiore della struttura è un cilindro cavo che si muove in verticale, sfruttando il cambiamento di pressione idrostatica dovuto al passaggio delle onde. Si tratta di una tecnologia off-shore che sfrutta il principio di Archimede: l'AWS (Archimedes Wave Swing).

L'energia meccanica che ne deriva viene trasformata in energia elettrica grazie a un generatore lineare. L'energia generata viene trasmessa a terra attraverso un cavo sottomarino.

Di solito la struttura (sommersa completamente) è alta 30 metri e presenta un diametro di 10 metri. La massima efficienza si ha con onde che abbiano una ampiezza di 5 metri.

La potenza ideale di questi impianti, di cui esiste una realizzazione funzionante lungo le coste del Portogallo, è di circa 2 MW.



Figura 45 – Sistemi con impianti sommersi

Fonte: Teamwork Technology

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “SISTEMA CON IMPIANTI SOMMERSI”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio	✓✓✓✓			
Costi d’installazione	✓✓✓✓			
Manutenzione		✓✓✓✓		
Sicurezza			✓✓✓✓	

Tabella 20 – Valutazione qualitativa del progetto “sistema con impianti sommersi”

2.6.1.4 Progetto italiano per frangiflutti a recupero energetico

Anche in Italia c’è stato un progetto per recuperare energia dal moto ondoso, ma in un modo differente rispetto ai dispositivi descritti finora. Si tratta di una struttura che presenta un serbatoio idropneumatico, finora mai utilizzato in applicazioni del genere ma che si ritiene essere in grado di regolarizzare il flusso e cioè di trasformare un'energia pulsante come quella delle onde in energia che si mantiene costante per periodi di una durata compatibile con una sua utilizzazione ai fini idroelettrici. E’ in grado di attuare lo sfruttamento della forza d'urto delle onde del mare per produrre energia elettrica.

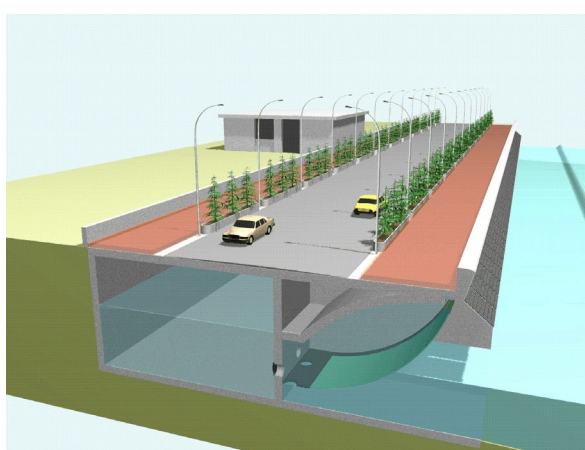


Figura 46 – Frangiflutti

Fonte: Energoclub

2.6.1.5 Sistemi di superficie con bacino di raccolta

Questi sistemi sfruttano l'energia delle onde per accumulare acqua in un bacino sopraelevato, tramite una rampa, che successivamente viene fatta fluire attraverso una o più turbine ad elica per produrre energia elettrica. Questo sistema è stato studiato dalla società danese Wave Dragon.

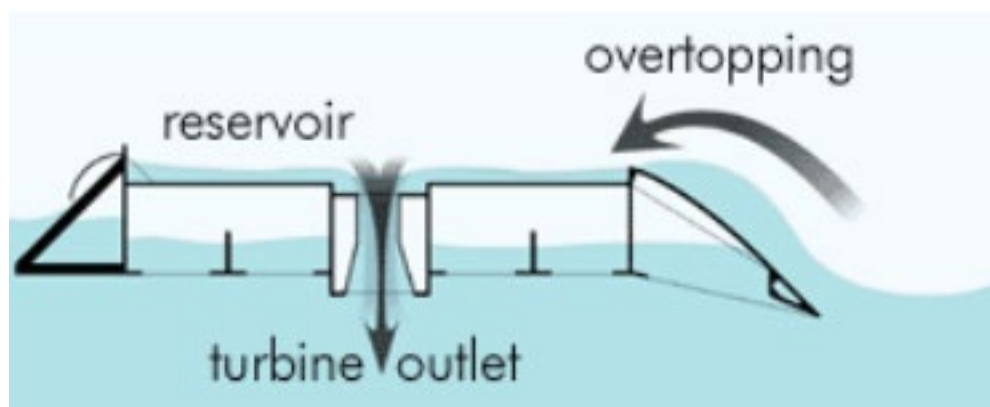


Figura 47 – Schema generale sistema di superficie con bacino di raccolta

Fonte: Wave Dragon

2.6.2 Energia mareomotrice

La forza di attrazione gravitazionale della Luna causa il fenomeno delle maree, che si manifesta con regolari e periodici abbassamenti e innalzamenti di enormi masse d'acqua. Utilizzando i dislivelli di alta e bassa marea è possibile sfruttare questo fenomeno naturale per produrre energia elettrica, attraverso degli impianti adeguati.

2.6.2.1 Impianto mareomotrice

Gli impianti mareomotrici sono caratterizzati da grandi dimensioni, dalla presenza di importanti opere di sbarramento delle acque (dighe, chiuse) e di un bacino di accumulo. La produzione di energia elettrica avviene grazie a delle turbine idrauliche.

Il funzionamento di questi impianti si può dividere in due fasi:

- nella fase di alta marea, si riempie il bacino di accumulo;
- nella fase di bassa marea, il rilascio controllato dell'acqua contenuta nel bacino assicura l'erogazione di notevoli quantitativi di energia, in maniera simile a quanto accade nei grandi impianti idroelettrici.

Le turbine funzionano in entrambe le direzioni, sia con l'acqua in ingresso che con l'acqua in uscita. Le centrali di marea costiere hanno il limite nell'erosione che esercitano nelle coste e nella abbondante sedimentazione all'interno del bacino, per questi motivi si sta pensando a degli impianti offshore che hanno anche il vantaggio di poter modulare la produzione di energia elettrica dividendo la struttura in più bacini.

A livello globale ci sono state molte installazioni di questi dispositivi con risultati ottimi in termini di potenza elettrica sviluppata.

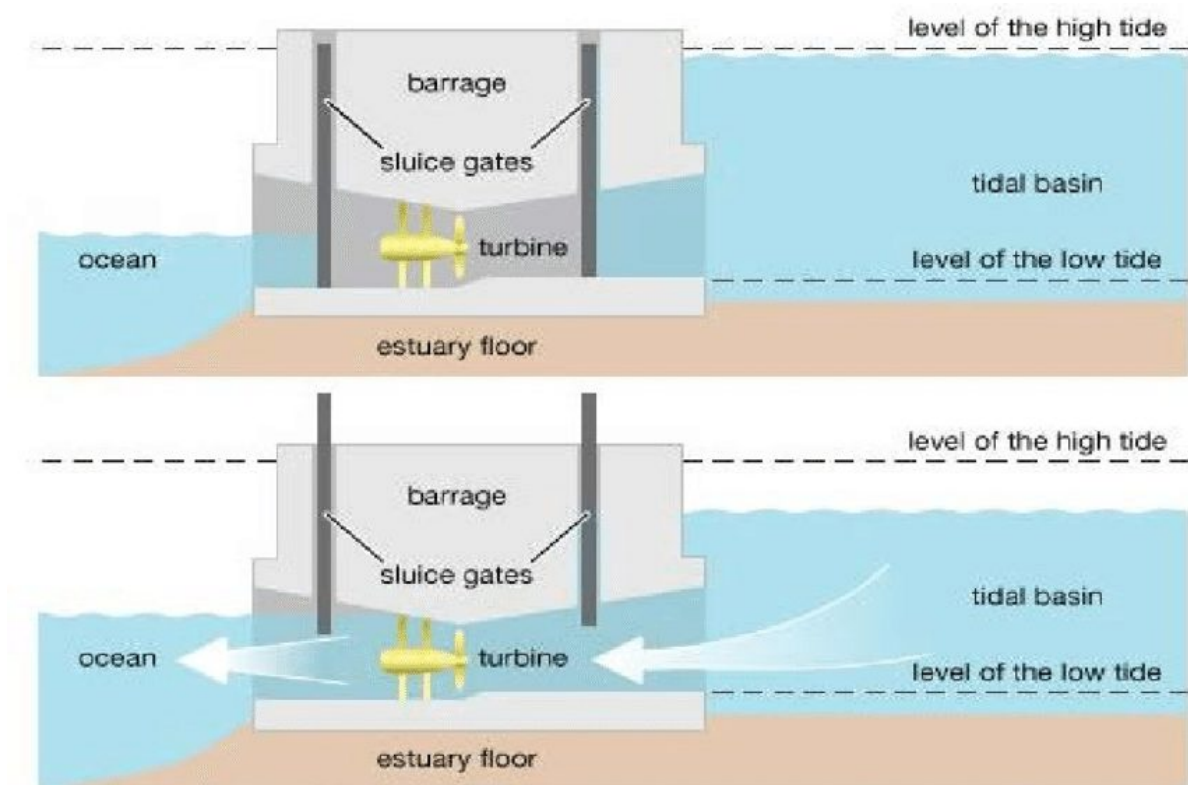


Figura 48 – Principio di funzionamento di un generatore mareomotrice

Fonte: Geopop

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “GENERATORE MAREOMOTRICE”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d’installazione	✓✓✓✓			
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza			✓✓✓✓	

Tabella 21 – Valutazione qualitativa del progetto “generatore mareomotrice”

2.6.3 Energia dalle correnti marine

Tra le fonti di energie rinnovabili quella proveniente dalle correnti di marea è una delle più interessanti. Le correnti marine sono masse d'acqua di densità diversa, che non si mescolano tra loro ma scorrono a lungo l'una accanto all'altra, sopra e sotto, seguendo una direzione quasi costante e con una caratteristica velocità. Sono causate dagli effetti delle maree, dalle differenze termiche e di salinità dell'acqua di mare.

Sono dotate di energia cinetica, e possono essere sfruttate con lo stesso principio utilizzato per l'energia eolica, con generatori ad asse orizzontale o verticale.

2.6.3.1 Turbine ad asse orizzontale

Le turbine ad asse orizzontale risultano completamente sommersi ad una profondità tale da non costituire intralcio alla navigazione, quindi hanno un basso impatto ambientale. Di solito si tratta di gruppi turbine-generatore ad asse orizzontale montati su pali verticali incastrati sul fondo ed emergenti in maniera da montare il gruppo fuori dell'acqua e poi farlo scorrere verticalmente tramite cremagliera fino a portarlo all'affondamento voluto. La turbina può essere accoppiata direttamente ad un normale generatore attraverso un organo di trasmissione in genere costituito da una scatola di ingranaggi moltiplicatori, o utilizzare un diverso schema di trasmissione di energia, l'energia elettrica prodotta è poi trasmessa a terra attraverso cavi isolati. L'adeguamento della turbina ai diversi regimi di velocità, al fine del massimo rendimento, ed all'inversione del moto si realizza variando il passo dell'elica.

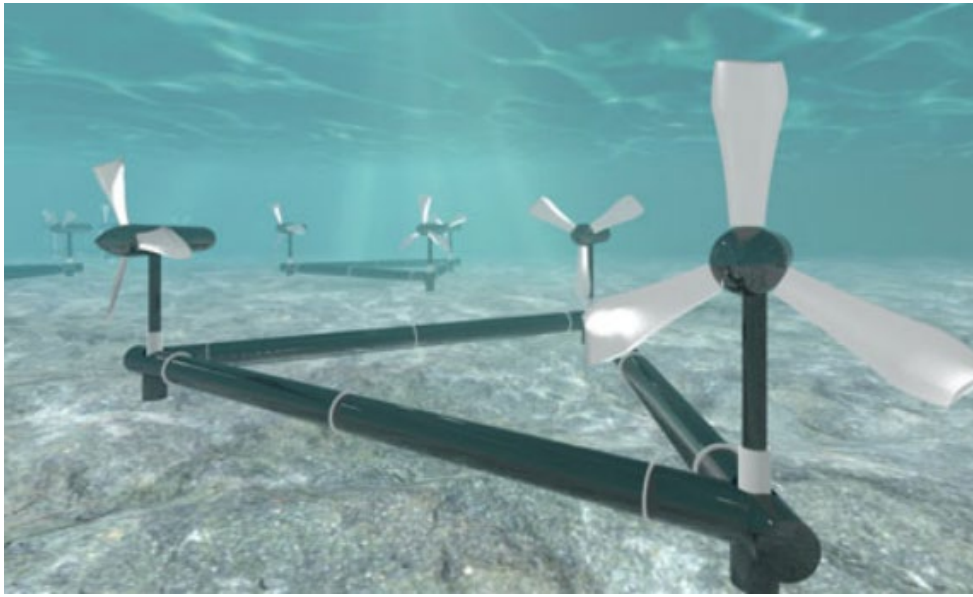


Figura 49 – Impianto DeltaStream (Scozia)

Fonte: Enea



Figura 50 – Free Flow Turbine (New York)

Fonte: Verdant Power

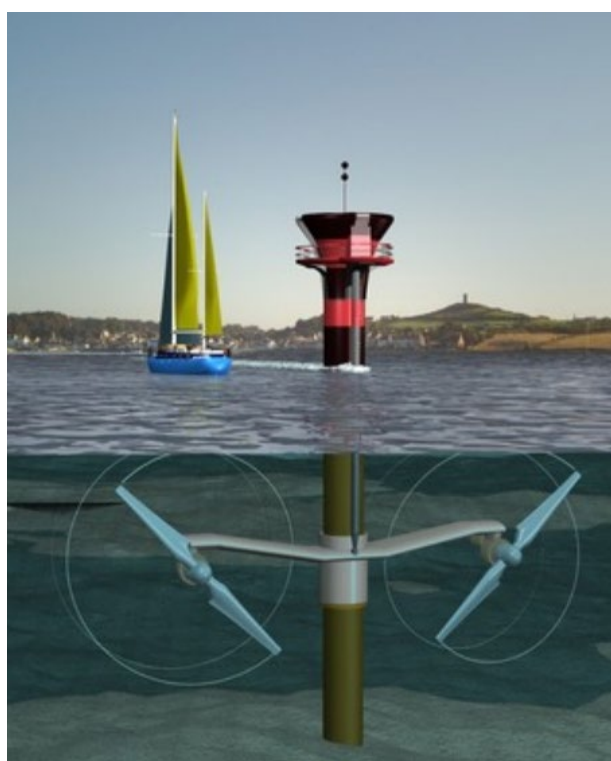


Figura 51 – SeaGen (Irlanda del nord)

Fonte: Marine Current Turbines Ltd di Bristol

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “TURBINE AD ASSE ORIZZONTALE”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d’istallazione	✓✓✓✓			
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza			✓✓✓✓	

Tabella 22 – Valutazione qualitativa del progetto “turbine ad asse orizzontale”

2.6.3.2 Turbine ad asse verticale

Le turbine ad asse verticale sono caratterizzate dalla rotazione dei rotori attorno a un asse verticale fisso. Questa configurazione consente all'impianto di seguire più facilmente i cambiamenti di direzione della corrente marine. Presentano alcuni vantaggi rispetto a quelle ad asse orizzontale quali un miglior rendimento, la possibilità di avere parte dei dispositivi come ad esempio il moltiplicatore di giri e la parte elettrica fuori dall'acqua per avere semplicità di montaggio e manutenzione. Però ci sono alcuni difetti: l'intero ciclo dell'impianto non è costante, il che comporta la presenza di vibrazioni e talvolta l'avviamento alla rotazione non è spontaneo. In genere poi avendo cospicue parti emerse hanno un maggiore impatto visivo ed ambientale.

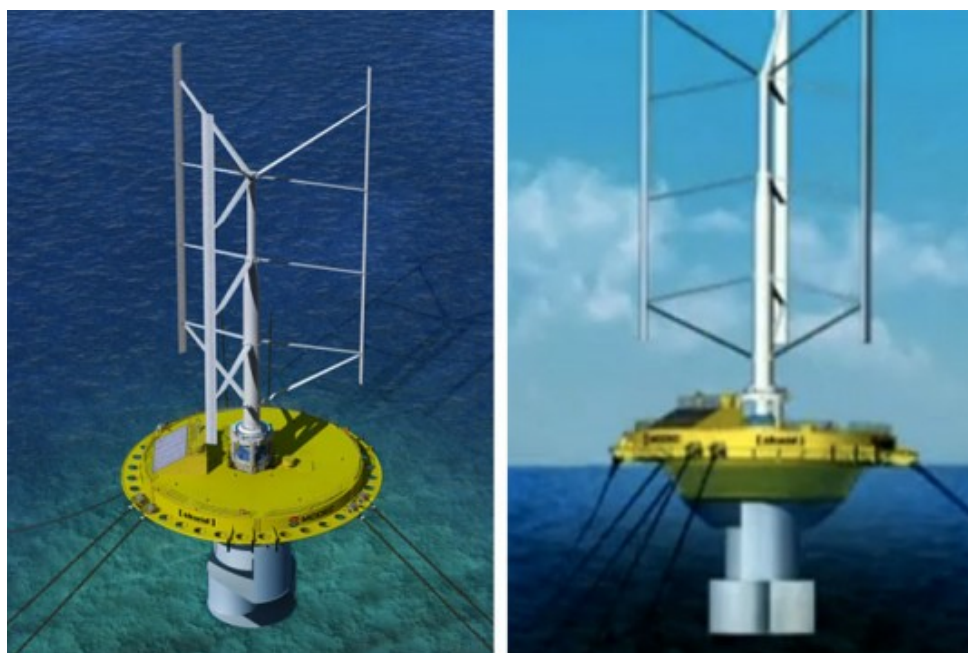


Figura 52 – Impianto SKWID (Giappone)

Fonte: Mitsui Ocean Development and Engineering Company (MODEC).

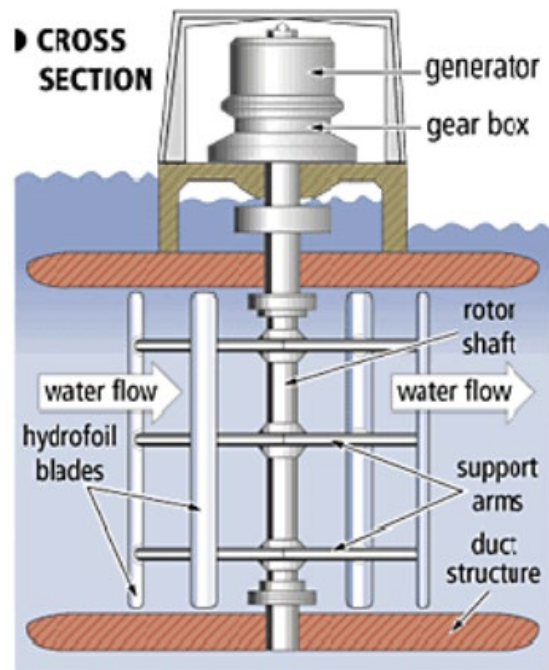


Figura 53 – Dispositivo Blue Energy (Canada)

Fonte: Enea

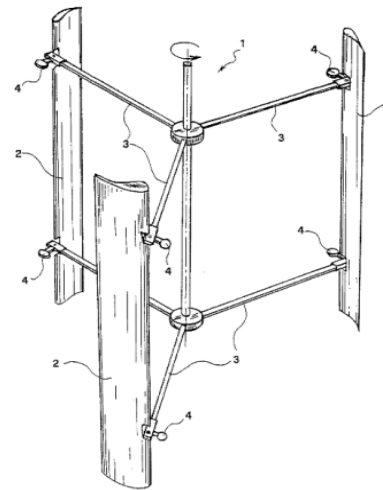


Figura 54,55 – Generatore a corrente di marea con la turbina Kobold (stretto di Messina)

Fonte: Ponte di Archimede International S.p.A.

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “TURBINE AD ASSE VERTICALE”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio		✓✓✓✓		
Costi d'installazione	✓✓✓✓			
Manutenzione		✓✓✓✓		
Sicurezza			✓✓✓✓	

Tabella 23 – Valutazione qualitativa del progetto “turbine ad asse verticale”

2.6.4 Energia talassotermica

Questo particolare tipo di energia oceanica sfrutta la differenza di temperature tra acqua in superficie e acqua in profondità per attivare alcuni generatori di elettricità. Per produrre questo genere di energia viene utilizzata la tecnologia OTEC, Ocean Thermal Energy Conversion, in cui viene sfruttato il calore dell'acqua per scaldare ammoniaca e alimentare una turbina a vapore. Successivamente viene pompata acqua fredda dal profondo del mare per condensare il vapore in liquido e ricominciare daccapo.

2.6.4.1 Centrale Otec Hawaii

La prima centrale per la conversione dell'energia termica degli oceani (Otec) è nata nel 1996 al largo delle isole Hawaii. L'energia solare assorbita dalla superficie del mare la riscalda, creando una differenza di temperatura fra le acque superficiali, che possono raggiungere i 25 - 28 gradi, e quelle situate per esempio ad una profondità di 600 m, che non superano i 6-7 gradi. Le acque superficiali, più calde, consentono di far evaporare sostanze come ammoniaca e fluoro; i vapori ad alta pressione, mettono in moto una turbina e un generatore di elettricità, passano in un condensatore e tornano allo stato

liquido raffreddati dall'acqua aspirata dal fondo. Attualmente si ha una potenza di 50 KW, ma si pensa di poter arrivare a 2 MW (costi molto alti).



Figura 56 – Centrale OTEC (Hawaii)

Fonte: Makai Ocean Engineering

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “CENTRALE OTEC”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio	✓✓✓✓			
Costi d’installazione	✓✓✓✓			
Manutenzione			✓✓✓✓	
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 24 – Valutazione qualitativa del progetto “centrale OTEC”

2.6.5 Energia osmotica

Anche chiamata energia a gradiente salino viene raccolta mediante la differenza di concentrazione del sale tra l'acqua marina e l'acqua dolce. In pratica, tramite la presenza ravvicinata di quest'ultime, si assiste a un passaggio delle molecole di acqua dolce verso l'acqua salata e questo spostamento genera energia. L'energia a gradiente salino può essere raccolta in natura principalmente presso le foci dei fiumi e potrebbe essere recuperata in quantità notevoli.

Per convertire in energia utile l'energia dissipata quando l'acqua dolce si miscela all'acqua di mare si sfrutta una tecnica chiamata "Pressure-Retarded Osmosis (PRO)", ossia ritardo-pressione per osmosi

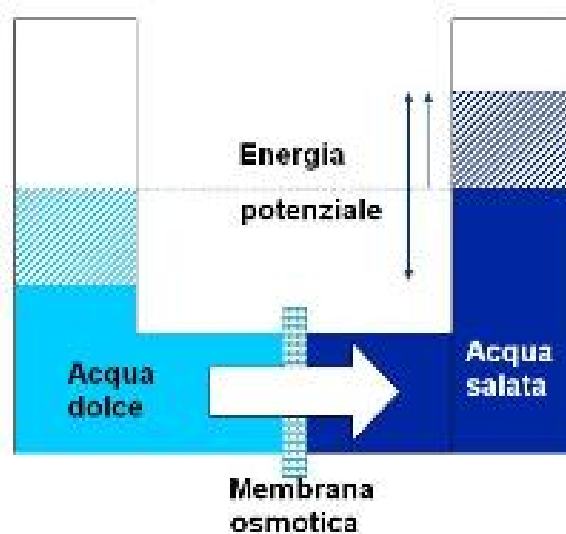


Figura 57 – Tecnica "Pressure-Retarded Osmosis" (PRO)"

Fonte: Osmotic Power

L'acqua dolce è separata dall'acqua salata da una membrana semipermeabile, così si ha una sollevazione del livello dell'acqua salata creando un salto sfruttabile con tecnologie idroelettriche tradizionali.

2.6.5.1 Centrale Statkraft in Norvegia

Una delle prime installazioni che sfruttano il principio tecnologico appena descritto è avvenuta in Norvegia da parte della società “Statkraft”.



Figura 58 – Centrale Norvegese che sfrutta la tecnica Pressure-Retarded Osmosis

Fonte: Statkraft

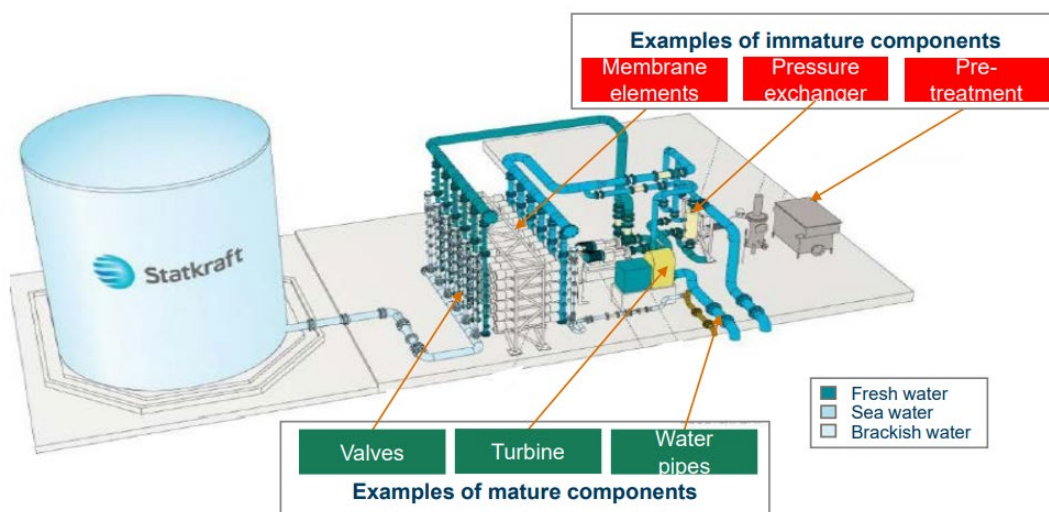


Figura 59 – Prototipo impianto
 Fonte: Statkraft

VALUTAZIONE QUALITATIVA DEL PROGETTO “STATKRAFT”				
	Alto	Medio	Moderato	Basso
Costi di esercizio	✓✓✓✓			
Costi d’installazione	✓✓✓✓			
Manutenzione		✓✓✓✓		
Sicurezza	✓✓✓✓			

Tabella 25 – Valutazione qualitativa del progetto “Statkraft”

Un’opera di questo genere presenta costi d’installazione e di esercizio molto alti. Inoltre deve essere svolta una manutenzione frequente per far si che l’impianto sia costantemente efficiente. Infine, con la messa in opera di quest’ultimo, non si verificano situazioni di pericolo.

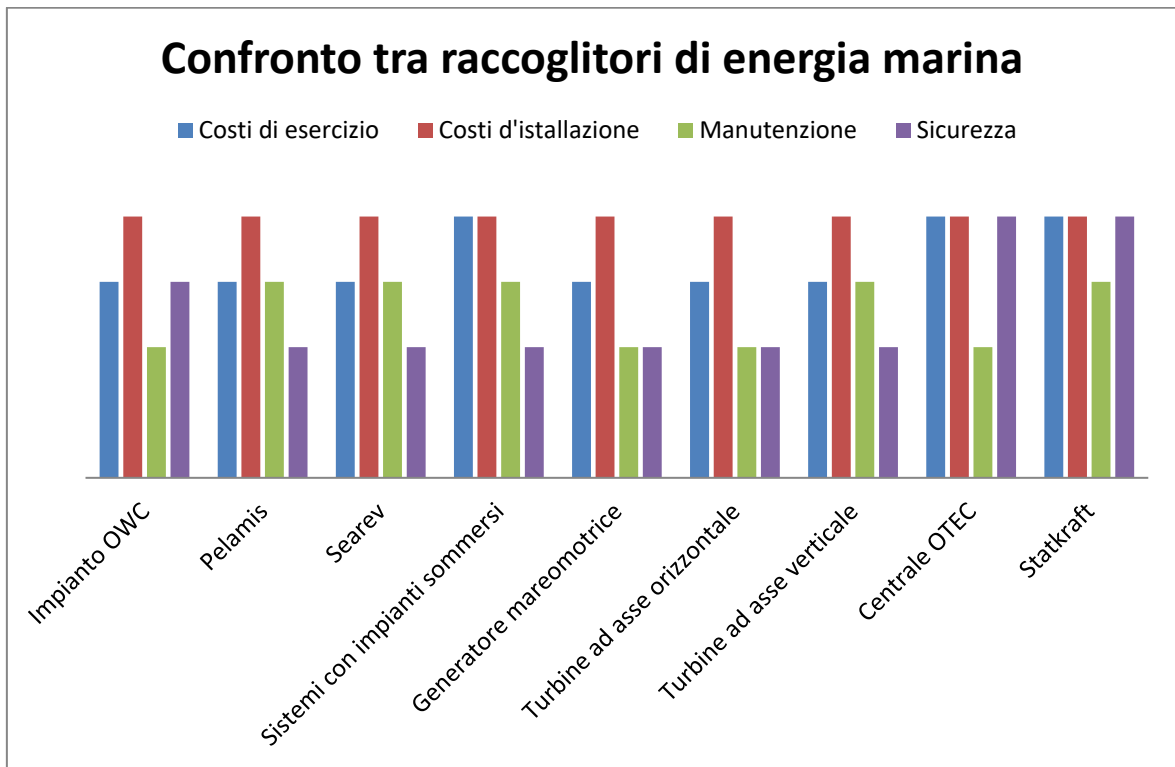


Grafico 4 – Confronto tra raccoglitori di energia eolica

Conclusioni

Con riferimento a tutti i concetti esposti nella presente Tesi è possibile affermare che a ricerca di nuove tecnologie, per recuperare energia da fonti pulite e alternative, è in continuo sviluppo. Infatti l'obiettivo di ideare e progettare i cosiddetti "Energy Harvester" è proprio quello di favorire e sostenere una gestione più responsabile del nostro pianeta. Sebbene la sperimentazione dei dispositivi sia già ben avviata da diversi anni, essendo relativamente giovane in confronto ad altre tecnologie per produrre energia, è ancora in una fase prematura. Non a caso, confrontando i grafici descritti nel presente elaborato, si evince che i costi d'installazione e di esercizio per il recupero di energia da fonti alternative, quali termiche e marine, sono elevati; allo stesso tempo sono molto efficienti in termini di produzione energetica. In modo analogo le tecnologie che presentano basse spese di produzione, come quelle applicate all'energia cinetica e eolica, risultano meno efficienti per racimolare energia. Una volta che il concetto di Energy Harvesting sarà completamente sviluppato, comporterà dei benefici alla salute dei cittadini ed una drastica riduzione dell'inquinamento atmosferico. In futuro, mi auguro di poter collaborare allo sviluppo di queste tecnologie per far sì che diventino sempre più utili e importanti al benessere del genere umano.

Ringraziamenti

Desidero menzionare le persone, senza le quali non avrei potuto raggiungere questo meraviglioso traguardo.

Innanzitutto, un ringraziamento speciale va al mio relatore Passerini Giorgio, per la sua immensa disponibilità, per i suoi essenziali consigli e per le conoscenze trasmesse durante la stesura dell'elaborato.

Ringrazio tutta la mia famiglia, specialmente i miei genitori che mi hanno dato la possibilità di intraprendere e portare a termine questo percorso di studi. Grazie per avermi sempre sostenuto.

Un grazie di cuore a tutti coloro che sono stati al mio fianco in questi anni e per avermi supportato nei momenti più difficili.

Infine dedico il raggiungimento di questo obiettivo a una persona in particolare, la quale mi ha dato la forza affinché non mollassi mai.

Bibliografia e Sitografia

Enescu D. (2019). *Green Energy Advances*. Londra. IntechOpen;

Bizon N., Tabatabaei N. M., Blaabjerg F., Kurt E. (2017). *Energy Harvesting and Energy Efficiency: Technology, Methods, and Applications*. Berlino. Springer;

Priya S., Inman D. J. (2008). *Energy Harvesting Technologies*. Berlino. Springer;

Recent Developments in the Energy Harvesting Systems from Road Infrastructures of Niloufar Zabihi and Mohamed Saafi;

Pavement energy harvesting technologies (a critical review) of: Domenico Vizzari, Eric Gennesseaux, Stephane Lavaud, Stephane Bouron, Emmanuel Chailleux;

Potomac Institute for policy studies: *Harvesting energy from ambient sources*;

Structural and Thermal Analysis of Asphalt Solar Collector Using Finite Element Method of Jinshah Kalluvia and Ajith Krishnan;

Application of Piezoelectric Materials in Smart Roads of Aqsa Abbasi (2013). Department of Electronics Engineering, Mehran University of Engineering and Technology, Jamshoro, Pakistan;

An Investigation into Energy Generating Tiles –Pavegen of Zhen Liang Seow, Song Tao Chen, Nor Bainin Khairudin (2011). University of British Columbia;

<https://www.onio.com>: Concetto di Energy Harvesting;

<https://builtworlds.com>: Autostrada piezoelettrica in California;

<https://www.omicsonline.org>: Strade piezoelettriche: metodo di raccolta dell'energia utilizzando la tecnologia piezoelettrica;

<https://www.pavegen.com>: Pavegen;

<https://en.futuroprossimo.it>: Pavimentazione intelligente in legno;

<https://www.lifegate.it>: Dosso rallentatore;

<https://www.wattwaybycolas.com>: Strada solare;

<https://www.greenme.it>: Innovazioni e green tech;

<https://www.greenme.it>: Gli otto migliori progetti di energie rinnovabili sulle strade;

<https://theconstructor.org>: Solar roadways;

<https://solarroadways.com>: Pannelli solari;

<https://inhabitat.com>: Strada fotovoltaica in Cina;

<https://www.solaroad.nl>: Pista ciclabile fotovoltaica;

<https://www.researchgate.net>: Generatori termoelettrici che utilizzano energia solare termica in pavimentazione stradale riscaldata;

<https://customthermoelectric.com>: Generatori termoelettrici (TEG);

<https://www.power-road.com>: Collettori solari nella pavimentazione stradale;

<https://mnsi-journal.springeropen.com>: Raccolta di potenza RF;

<https://www.powerelectronicsnews.com>: La progettazione di RF Energy Harvesting

<https://inhabitat.com>: Installazioni turbine eoliche nelle barriere New Jersey;

<https://www.thepatent.news>: Turbine Light;

<https://www.wired.it>: Energia marina;

<https://en.wikipedia.org>: Colonna d'acqua oscillante;

<https://www.energoclub.org>: Recupero di energia dal mare;

<http://www.mitidelmare.it>: Energie alternative;

<https://lnx.itimarconinocera.org>: Energia rinnovabile e pulita;

<https://it.wikipedia.org>: Energia dalle correnti marine;

<https://www.statkraft.com>: Osmotic Power;

<https://www.ohga.it>: Energia marina.