

POLITECNICO DI MILANO

I Facoltà di Architettura

Corso di studio in Architettura



**L'AUTOSTRADA COME CONDOTTO ENERGETICO:
SCENARI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA
RINNOVABILE LUNGO LA PEDEMONTANA LOMBARDA**

Relatore: Prof. Eugenio MORELLO

Tesi di Laurea di:
Gabriele CAPPELLETTI
Matr. 750569

Anno Accademico 2010 / 2011

INDICE

0. ABSTRACT	3
1. INTRODUZIONE	5
2. QUADRO CONOSCITIVO	9
2.1 L'autostrada come condotto energetico	9
2.2 La situazione in Italia e nel mondo	15
2.3 Panoramica su tecnologie applicabili al tracciato autostradale	18
2.4.1 Fotovoltaico	18
2.4.2 Short rotation forestry	36
2.4.3 Idrogeno, elettrico e stazioni multienergy	42
2.4.4 Asfalto come collettore solare	52
2.4.5 Aerogenerazione	56
2.4.6 Generazione piezoelettrica	60
2.4 Il caso studio: l'Autostrada Pedemontana Lombarda	63
3. FASE PROGETTUALE	65
3.1 Inquadramento territoriale	65
3.2 Sezioni tipo	67
3.3 Tipologie svincoli	71
3.4 Stazioni di servizio	73
4. APPROFONDIMENTO PROGETTUALE DI UN LUOGO	75
4.1 Stazione di servizio n° 2	75
4.2 Svincolo n° 6	80
4.3 Sezione tipo trincea	83
5. GESTIONE DELL'ENERGIA	87
6. IPOTESI DI FORNITURA DI ENERGIA DA PEDEMONTANA AL TERRITORIO	91
7. CONCLUSIONI	95
8. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	98
9. ALLEGATI	100

INDICE FIGURE E TABELLE

Figura 1: "Autostrada osmotica" – fonte: Reinventing A22 Ecoboulevard	13
Figura 2: "Dall'autostrada tubo all'autostrada membrana osmotica" fonte: Reinventing A22 Ecoboulevard	14
Figura 3: "Via dell'idrogeno Monaco/Modena" – fonte: A22 la via dell'idrogeno	15
Figura 4: "Barriera antirumore fotovoltaica Monaco" – fonte: Photovoltaic barriers ..	19
Figura 5: "Short rotation forestry North Carolina" fonte: NCDOT Short rotation forestry	37
Figura 6: "Emissioni di CO2" – fonte: ZeroRegio Project	43
Figura 7: "Comparazione emissioni di CO2" – fonte: ZeroRegio Project.....	43
Figura 8: "Evoluzione delle emissioni di CO2" – fonte: HyWays EC2007	45
Figura 9: "Applicazione dell'asfalto collettore solare di Road Energy Systems" fonte: Road Energy Systems	51
Figura 10: "Concept aerogenerazione" – fonte: Arizona State Univeristy.....	55
Figura 11: "Sistema di generazione piezoelettrica" – fonte: Innowattech	59
Figura 12: "Tracciato Autostrada Pedemontana Lombarda fonte: Autostrada Pedemontana Lombarda SpA.....	62
Figura 13: "Tipologie tracciato" – fonte: Autostrada Pedemontana Lombarda SpA.....	63
Figura 14: Sezione a trincea tipo A	67
Figura 15: Sezione a trincea tipo B	68
Figura 16: Sezione a trincea tipo C	68
Figura 17: Sezione in rilevato	68
Figura 18: Sezione a galleria artificiale	69
Figura 19: Linea temporale sezione trincea tipo A	69
Figura 20: Linea temporale stazione di servizio	74
Figura 21: Stazione di servizio di Desio	76
Figura 22: Linea temporale stazione di servizio di Desio	77
Figura 23: Svincolo n°6	81
Figura 24: Linea temporale svincolo n°6	81
Figura 25: Trincea tipo A	84
Figura 26: Linea temporale trincea tipo A	84
Tabella 1: Produzione energetica sezione trincea tipo C	70
Tabella 2: Scenari svincolo n°6	72
Tabella 3: Scenari applicativi stazione di servizio n°2	77
Tabella 4: Scenari applicativi svincolo n°6	81
Tabella 5: Scenari applicativi sezione a trincea	84

O. ABSTRACT

La presente tesi affronta il tema del rapporto tra infrastruttura e territorio, in particolare si concentra sul tema dell'autostrada come "condotto energetico", il quale è una declinazione del tema più generale. Se le strade delle nostre città diventassero un luogo per la produzione di energia e non un luogo in cui questa energia viene soltanto consumata? E' proprio questa l'idea che sta alla base del concept dell'autostrada come condotto energetico. Esso ribalta l'idea di strada come nastro di scorrimento ambientalmente aggressivo a favore dell'idea di strada come sorgente energetica che sfrutta sia i fattori naturali sia quelli artificiali per la produzione di energia. Il caso studio è il tracciato dell'Autostrada Pedemontana Lombarda, il quale si presta ad essere preso in esame per la peculiarità e la varietà dei territori attraversati da Est verso Ovest collegando le province di Bergamo, Monza e Brianza, Milano, Como e Varese. In riferimento al tracciato autostradale è stata fatta un'analisi riguardo alle possibili tecnologie generatrici e distributrici di energia applicabili e, dal punto di vista quantitativo, riguardo all'energia ricavabile dall'applicazione delle stesse. La volontà è quella di individuare, attraverso degli scenari attuativi ideali, strategie di applicazione del tema affrontato che riguardino l'organizzazione spaziale delle tecnologie e la gestione necessaria alla loro attuazione, mettendo in evidenza come produrre l'energia, in che modo utilizzarla per il tracciato stesso o per il territorio e quali tipologie di accordi tra enti mettere in atto per la loro attuazione. La volontà è quella di dimostrare che è presente un potenziale per effettuare operazioni di scambio di energia tra tracciato autostradale e territorio attraversato, basate sulla progettazione integrata tra pianificazione spaziale degli interventi e della gestione necessaria all'attuazione degli interventi stessi. E' necessario quindi proporre nuovi strumenti per la progettazione delle reti infrastrutturali, le quali possono contribuire ai processi di riqualificazione del territorio e delle città.

1. INTRODUZIONE

La presente tesi approfondisce l'attuale tema dell'infrastruttura come "condotto energetico" con l'obiettivo di dimostrare la sua potenzialità di generatore di energia al servizio del territorio che attraversa. Il caso studio preso in esame è il tracciato dell'Autostrada Pedemontana Lombarda su cui è stata fatta un'analisi circa le possibili tecnologie generatrici e distributrici di energia applicabili al tracciato e, dal punto di vista quantitativo, riguardo all'energia ricavabile dall'applicazione delle stesse. La volontà è quella di individuare, attraverso degli scenari attuativi ideali, strategie di applicazione del tema affrontato che riguardino l'organizzazione spaziale delle tecnologie e la gestione necessaria alla loro realizzazione.

Il tema dell'infrastruttura come "condotto energetico" è un tentativo di risposta alle problematiche ambientali attraverso la riorganizzazione del sistema autostradale, tenendo presente l'emergere di nuovi modelli di mobilità per il futuro e favorendo e sollecitando nuove ricerche all'indirizzo della sostenibilità e della valorizzazione dei territori. Ciò vuol dire immaginare nuovi scenari in cui l'autostrada assume ruoli diversi da quelli abituali, dall'autostrada "tubo" all'autostrada come "membrana osmotica". Se le strade delle nostre città diventassero un luogo per la produzione di energia e non un luogo in cui questa energia viene soltanto consumata? E' proprio questa l'idea che sta alla base del concept dell'autostrada come condotto energetico. Esso ribalta l'idea di strada come nastro di scorrimento ambientalmente aggressivo a favore dell'idea di strada come sorgente energetica che sfrutta sia i fattori naturali sia quelli artificiali per la produzione di energia.

Per affrontare il tema preso in esame nel capitolo 2.1 è definito il concetto di autostrada come "condotto energetico" attraverso una serie di riferimenti teorici individuati in modo da comprendere la situazione attuale del dibattito teorico. Essendo un tema di recente discussione i riferimenti teorici sono esigui ma di notevole robustezza concettuale, in particolare

espressi nella XIV Conferenza SIU 2011 dal titolo "Reinventing A22 Ecoboulevard. Verso infrastrutture osmotiche", nell'articolo "Conduit Urbanism" di Thun G. e Velikov K. nella rivista "Landscapes of Energy" dell'Università di Harvard, in alcuni interventi del professore Filippo Angelucci a capo del Gruppo di ricerca interdisciplinare dell'Università d'Annunzio di Chieti-Pescara nel progetto Enerwood. Dopo aver compreso il quadro teorico di riferimento il lavoro si sposta verso la ricerca delle iniziative in atto in Italia e nel mondo riguardo al tema in esame. Nel capitolo 2.2 e 2.3 si sono messe in evidenza le strategie che si stanno attuando in vari Paesi per comprendere in che modo e verso quali tecnologie stanno puntando e per fornire una panoramica sulle tecnologie generatrici di energia applicabili al tracciato autostradale. Si descrivono così una serie di progetti realizzati in tutto il mondo in modo da comprendere i metodi con cui essi rispondono al rapporto tra autostrada ed energia, attraverso tecnologie applicabili e applicate attualmente o attraverso concept e tecnologie che guardano più al futuro. Nel capitolo 2.4 si descrive il caso studio preso in esame in modo da comprenderne la struttura, la funzione ed il territorio che esso attraversa. A questo punto il lavoro si orienta alla fase progettuale e nel capitolo 3.1 si fornisce un'interpretazione analitica dei territori attraversati dal tracciato. L'inquadramento territoriale è fondato sul riconoscimento degli elementi strutturali del territorio e la sua lettura è necessaria per affrontare in seguito il rapporto tra infrastruttura e territorio dal punto di vista energetico data la loro influenza reciproca. Da qui la necessità di analizzare la struttura del tracciato autostradale descrivendone gli elementi principali e quantificando l'energia producibile da essi: nel capitolo 3.2 sono messe in evidenza le varie sezioni del tracciato autostradale divise per tipologie strutturali e tipologie di territori attraversati, nel capitolo 3.3 sono descritti gli svincoli ed infine nel capitolo 3.4 sono descritte le stazioni di servizio presenti sul tracciato. Nel capitolo 4 si affrontano tre approfondimenti progettuali di tre luoghi differenti: una stazione di servizio, uno svincolo ed una sezione tipo. L'approfondimento ha l'obiettivo di scendere di scala e fornire delle

indicazioni di massima per l'organizzazione spaziale delle tecnologie applicabili ai tre luoghi, quantificando per ognuno di essi l'energia producibile e individuando lo scopo di utilizzo di quest'energia attraverso la definizione di diversi scenari applicativi. Si vuole quindi mettere in evidenza che in operazioni di fornitura d'energia dall'infrastruttura al territorio è necessaria la presenza della figura del progettista il quale si occupa della misura dello spazio, della spazializzazione dell'energia, della definizione della destinazione d'uso del suolo. Quest'ultimo è sfruttato in quegli spazi cosiddetti di "risulta" i quali presentano delle caratteristiche intrinseche o indotte che comportano delle conseguenze sul loro sviluppo rispetto al contesto in cui sono inseriti. La sezione stradale estrusa lungo il percorso dell'infrastruttura genera una quantità enorme di spazi di risulta, di bordi, di vuoti non disegnati. Questo tema permette di introdurre dei nuovi materiali progettuali, delle nuove occasioni che si presentano come elementi catalizzatori dell'innovazione, dei dispositivi relazionali, attrattori e ri-distributori di flussi, funzioni e tensioni tra autostrada e contesto: barriere non più e non solo fonoassorbenti ma oggetti che reagiscono e interagiscono con l'ambiente ad esempio attraverso l'integrazione del fotovoltaico, bordi che riscoprono una funzione produttiva e diventano sistemi energetici attraverso colture a short rotation forestry, asfalto drenante e atto alla depurazione dell'aria, stazioni di servizio come nuovi luoghi di produzione e distribuzione di nuove forme di energia e come occasioni per riqualificare ambiti e contesti locali. Nel capitolo 5 si affronta il tema della gestione dell'energia e di tutto ciò che sta dietro alla realizzazione dei progetti di energia. Per fare in modo che un progetto sia sostenibile non solo ambientalmente ma anche economicamente è necessario comprendere chi possano essere gli attori coinvolti nel processo di attuazione di un'opera e per questo si è svolta una ricerca mirata ad individuare gli attori che stanno dietro all'attuazione di alcuni dei progetti individuati come riferimenti.

2. QUADRO CONOSCITIVO

ABSTRACT CAPITOLO 2

Il presente capitolo introduce il tema dell'autostrada come condotto energetico attraverso la descrizione di concetti espressi da alcune posizioni teoriche attuali. In seguito svolge una panoramica sulla situazione in Italia e nel mondo riguardo alle iniziative intraprese e sulle tecnologie disponibili e futuribili riguardo al tema preso in esame.

2.1 – L'AUTOSTRADA COME CONDOTTO ENERGETICO

La risposta al cambiamento climatico e all'esaurimento delle fonti energetiche non rinnovabili è una sfida sempre più pressante.

Più di due decenni di sforzi internazionali per raggiungere un accordo comune sembrano aver ceduto il passo ad un approccio più frammentato in cui le coalizioni regionali, i governi nazionali, le grandi imprese e le comunità cercano di creare nuovi modi di agire per ridurre le emissioni di gas serra e per adattarsi ai cambiamenti climatici. Ciò che unisce questi intenti tuttavia è la convinzione della necessità di un cambiamento delle nostre economie "energetiche". La sfida si riferisce a come produciamo e consumiamo l'energia nelle nostre auto, aeroplani, uffici, industrie e case. E' così necessaria una "low carbon transition" (Bulkeley, 2010), ovvero un grande cambiamento nel modo in cui produciamo e forniamo l'energia. Ad un primo sguardo il concetto di low carbon transition è semplice: sfruttiamo troppo l'energia non rinnovabile, invece abbiamo bisogno di sfruttare quella rinnovabile e il meno possibile di essa. Tuttavia come arrivare da uno step all'altro è molto più complesso.

Inoltre una domanda sorge spontanea: quali sono i meccanismi che possono essere utilizzati per influenzare una transizione così importante? Data la struttura altamente integrata dei sistemi energetici mondiali, dalle reti che coprono l'Europa e il Nord America alle forme del mercato energetico e culture di consumo energetico, il nostro sistema sembra essere piuttosto immobile. Le città possono rispondere a questo problema.

Esse hanno da tempo riconosciuto il loro contributo ai cambiamenti climatici e il loro potenziale per essere parte della soluzione ad essi. Dall'inizio degli anni '90 hanno intrapreso azioni proprie e lavorato insieme per sviluppare programmi e iniziative per affrontare temi quali l'efficienza energetica, la generazione energetica, il trasporto e la pianificazione territoriale. Le città stanno adottando un approccio più strategico rispetto alla questione energetica. Parallelamente al tema dell'esaurimento dei combustibili fossili, progettisti, politici e leader industriali prevedono un futuro incremento di richieste per la mobilità combinato ad un'intensificazione di urbanizzazione e un decadimento delle infrastrutture per il trasporto. I modelli di trasporto attuali generano molti costi sociali, ambientali ed economici, infatti causano più della metà del consumo di combustibili fossili e circa un quarto delle emissioni mondiali di CO₂ (IEA, 2009). Questi modelli di trasporto sono insostenibili e sono destinati a peggiorare al continuo e rapido aumento di veicoli, compromettendo gravemente l'economia e la qualità ambientale delle città. Ciò che è necessario fare è passare da un concetto di infrastruttura come nastro di scorrimento ambientalmente aggressivo ad uno di infrastruttura osmotica che favorisca scambi e compensazioni tra infrastruttura e paesaggi attraversati; aprire lo spazio alle ragioni del territorio come condizione essenziale del fare infrastruttura contro la ragione funzionalista, autoreferente, demiurgica dell'opera in sé (Ferraresi, 2004).

La storia moderna delle infrastrutture in Italia coincide con la necessità di dare risposte al bisogno di collegare i diversi luoghi e i molti territori di un Paese condizionato da una complessa geografia per sottrarli all'isolamento e alla marginalità. Le strade, prima, le autostrade, poi, costruite in prevalenza per assecondare lo sviluppo della nazione e per affermare l'uscita dalla povertà della nuova Italia del boom, non sfuggono alla regola della priorità di collegare e rappresentano l'avvento di un modello che solo da poco è oggetto di rivisitazione, in Italia, e già da tempo in altre realtà straniere. Le nostre autostrade sono ancora fortemente legate a un modello di sviluppo e di progettazione che non si discosta dalla iniziale concezione "stile anni '60", oggi insostenibile

finanziariamente e soprattutto dal punto di vista paesaggistico e ambientale. Tuttavia in molti settori della politica e dell'opinione pubblica permane la convinzione che nuove strade, sul modello simile di quelle già realizzate, producano nuove opportunità di sviluppo per la sola ragione di costruire altre possibili "connessioni". L'autostrada apre ai collegamenti veloci, delle merci e delle persone, delle economie, dello scambio, ma rafforza e trasferisce, inevitabilmente, lungo il suo lineare itinerario, oltre ai flussi, l'influenza dei modelli urbani della città diffusa, della già grande "megalopoli padana" (Turri, 2000), rafforzando i grandi centri abitati nel ruolo di grandi "anelli" scambiatori – logistico, trasportistico - tra assi trasversali e longitudinali. Le sole infrastrutture, senza reali e diffusi processi di sostegno economico, senza coerenti strategie e progetti di territorio che le accompagnino, non portano alcuno sviluppo. Semmai una nuova infrastruttura asseconda e sostiene forme di sviluppo là dove tali processi sono già in atto (Scaglione, 2011).

Il tema va poi associato anche agli aspetti delle ricadute urbanistiche del fenomeno e cioè a quella che è stata la fine della città compatta a favore della città estesa e senza limiti, in cui il consumo continuo di territorio ha assecondato un modello espansionista che ha costretto, e costringe, per connettere i numerosi "punti" di una rete che tende alla dilatazione dell'urbanizzato, alla diffusione esponenziale delle reti stradali con relativo sempre maggiore uso individuale di automobili. Un modello noto che ha prodotto periferie estese, marginalità, sviluppo economico precario, pesante inquinamento e che solo da poco stimola profondi ripensamenti. Il cambiamento della forma degli insediamenti ha assunto, per intensità e diffusione, una proporzione paragonabile a quella che ha portato all'affermazione della città industriale nei secoli scorsi e sta segnando una trasformazione profonda nella maniera di essere e di pensare il territorio, il paesaggio e le città (Ricci, 2011).

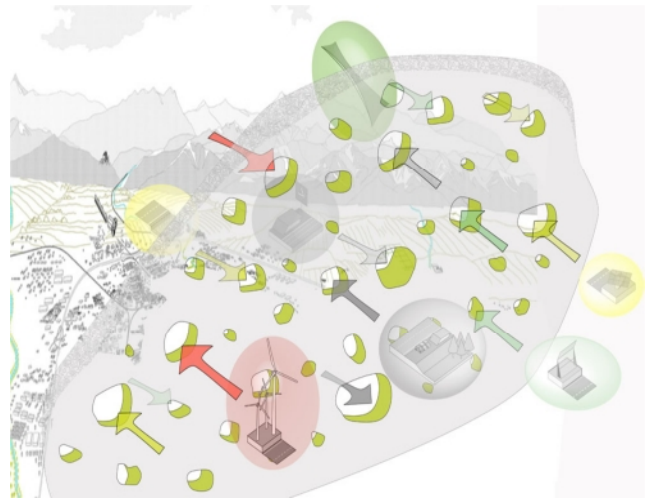
Che senso ha pensare autostrade come alle loro origini se il mondo sta cambiando velocemente e la mobilità già oggi, in futuro ancor di più, impone modelli totalmente rivisitati? La questione energetica sembra oggi far emergere la necessità di un atteggiamento progettuale in grado di

indirizzare i processi di innovazione tecnologica verso la definizione di un "nuovo paesaggio energetico" rispondente alle esigenze, sempre più mutevoli, delle utenze diversificate che operano sul territorio. In questo ambito problematico, infatti, la situazione italiana si distingue proprio per una tendenziale contrapposizione tra posizioni di estrema enfasi delle capacità produttive delle nuove tecnologie da fonti rinnovabili e altre di rigida chiusura rispetto a tutto ciò che può essere identificato come nuovo. Tra le barriere culturali e operative – in grado di inibire il processo di diffusione delle nuove tecnologie di produzione energetica da rinnovabili – emergono la scarsa accettazione dei siti da parte delle utenze e la bassa integrazione degli impianti con le altre componenti del territorio e con le attività svolte dagli attori che operano e trasformano il paesaggio (Angelucci, 2007).

Sul tema delle infrastrutture sostenibili, sensibili al contesto e al paesaggio, si giocano, nei prossimi anni, partite fondamentali: qualità dell'aria e della vita, nuove e diverse relazioni tra società e merci, città e territori (Scaglione, 2011). Ripensando i modelli urbanistici e territoriali, si razionalizzano le reti, riqualificano i tessuti urbani e le infrastrutture esistenti, il rapporto tra strade e paesaggio. Pensare di costruire altre e nuove strade equivale oggi a costruire altre e nuove case e viceversa: in presenza di un mercato saturo e di un futuro con poche risorse la strada da intraprendere va proprio nella direzione opposta. E mentre, con le attuali condizioni, le vecchie infrastrutture continueranno a generare inquinamento e traffico, emergono forme di fatto già alternative (Scaglione, 2011).

Se le strade delle nostre città diventassero un luogo per la produzione di energia e non un luogo in cui questa energia viene soltanto consumata? E' proprio questa l'idea che sta alla base del concept

dell'autostrada come condotto energetico. Esso ribalta l'idea di strada come nastro di scorrimento ambientalmente aggressivo a favore dell'idea di strada come sorgente energetica che sfrutta sia i fattori naturali sia quelli artificiali per la produzione di energia.



Autostrada come colonna vertebrale che tiene in piedi una

Figura 1 – Autostrada osmotica
fonte: Reinventing A22 ECOBOULEVARD.

struttura urbana frammentaria e dispersa e come membrana osmotica che favorisce scambi e compensazioni tra infrastruttura e paesaggi attraversati (Ricci, 2011). Ribaltare quindi la logica tradizionale che ha visto la nascita dell'infrastruttura come elemento di collegamento di punti diversi lungo un itinerario dato e rivolgere l'attenzione alle possibilità, presenti e future, che l'autostrada si rapporti osmoticamente con i luoghi che attraversa, con differenti modalità, rispetto alle diverse aree lungo il tracciato. Leggere e interpretare i diversi layers che si sovrappongono e intersecano: natura-ambiente, paesaggio agrario, paesaggio urbano e sovrapporli al tracciato e alle attuali intersecazioni per ricavarne la trama delle relazioni reali e virtuali (Scaglione 2011). La sezione stradale estrusa lungo il percorso dell'infrastruttura genera una quantità enorme di spazi di risulta, di bordi, di vuoti non disegnati e di fasce ecotonali da reinventare. Questo tema permette di introdurre dei nuovi materiali progettuali, delle nuove occasioni che si presentano come elementi catalizzatori dell'innovazione, dei dispositivi relazionali, attrattori e ri-distributori di flussi, funzioni e tensioni tra autostrada e contesto (Cribari, 2011); barriere non più e non solo fonoassorbenti ma oggetti che reagiscono e interagiscono con l'ambiente ed il paesaggio, bordi che riscoprono una funzione produttiva e diventano sistemi energetici, asfalto drenante e atto alla depurazione dell'aria, stazioni di servizio come nuovi luoghi di produzione e distribuzione di nuove forme di energia e come occasioni per

riqualificare ambiti e contesti locali. L'introduzione di questi condotti energetici ha delle influenze sui territori prossimi ai tracciati che diventano dei punti strategici, di connessione di più infrastrutture, di luoghi in cui il sistema, i viaggiatori e i flussi di risorse convogliano insieme in più nodi.

Il miglioramento del sistema infrastrutturale insieme ai nuovi sistemi di generazione di energia rinnovabile attiva i territori periurbani i quali, da condizioni di indefinitezza e vastità, diventano precisi punti nodali di incontro e scambio (Thun - Velikov, 2010).

La nuova visione emergente è la figura di un'autostrada che riorganizzi il proprio profilo per definire una sua nuova funzione infrastrutturale territoriale-paesaggistica, di supporto reale ad un modello sostenibile di sviluppo dei territori attraversati, ma soprattutto, dal suo interno di "ecoboulevard" attivo, punteggiato di nuovi servizi e attrezzature idonee al rinnovato ruolo. Autostrada come erogatore non solo di transiti e attraversamenti ma come fornitore di servizi, di accoglienza, di ricezione e sosta lunga e breve, di intrattenimento, di luogo per l'arte e il godimento del paesaggio e della natura, di informazione, di scambio e commutazione di differenti traffici e persone in modo nuovo ed ecologico, di produttore e fornitore di energie rinnovabili e azioni sostenibili (Scaglione, 2011).



Figura 2 – Dall'autostrada tubo all'autostrada membrana osmotica
fonte: Reinventing A22 ECOBOULEVARD.

2.2 – LA SITUAZIONE IN ITALIA E NEL MONDO

Molte sono le iniziative che seguono il concetto di “autostrada come condotto energetico” sia in Italia sia nel resto del mondo, di seguito si riportano le principali.

Autostrade per l’Italia fino dal 2007 ha dato avvio ad un piano di costruzione di impianti fotovoltaici lungo la propria rete autostradale. Nel 2008 ha realizzato impianti fotovoltaici nella stazione di Roma Sud, Prenestina Est e Mascherone Ovest. Nel 2009 sono entrati in produzione altri 16 impianti per una potenza complessiva di 767 kW. Il piano fotovoltaico prevedeva di raddoppiare la potenza installata per il 2010 ma data la mancanza di un report aggiornato non è possibile riportare dati attendibili.

Autostrada del Brennero SpA ha messo in campo una serie di iniziative volte ad individuare ed attuare progetti di produzione ed utilizzo di energie alternative per il trasporto stradale. In questo contesto si inseriscono:

- la realizzazione di una barriera fonoassorbente capace di produrre energia elettrica sfruttando l’energia solare.
- la volontà di creare una tratta autostradale Monaco di Baviera - Modena interamente attrezzata per il rifornimento di idrogeno con la costruzioni di centrali di rifornimento ogni 100 km. Nel settembre 2009 è stata posata la prima pietra dell’impianto di produzione e distribuzione di idrogeno a Bolzano Sud il quale utilizza l’energia prodotta dalla vicina centrale idroelettrica per la produzione dell’idrogeno.

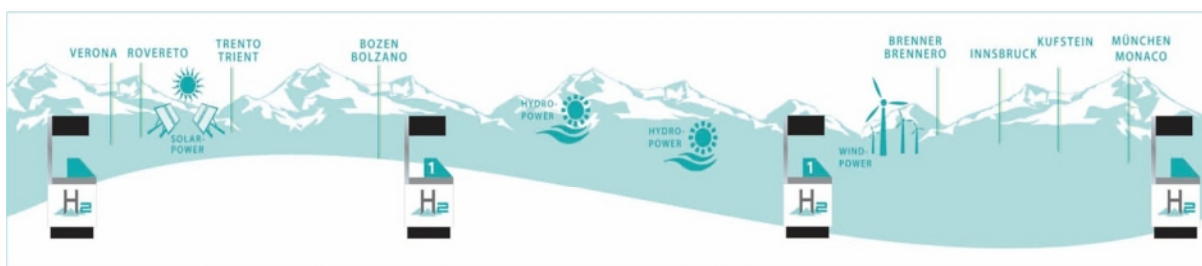


Figura 3 – Via dell’idrogeno Monaco/Modena
fonte: A22, la via dell’idrogeno

- il lancio di un progetto mirante alla sperimentazione dell'impiego di celle a combustibile per rendere energeticamente autonomi alcuni siti tecnici lungo l'autostrada. L'energia elettrica necessaria per l'alimentazione di questi ultimi viene prodotta grazie all'idrogeno combinato con l'ossigeno attraverso una reazione chimica controllata.
- la realizzazione presso Isera di un impianto di generazione e distribuzione di energia elettrica e termica con l'impiego del vettore idrogeno.

Anas SpA nel marzo 2005 ha avviato i lavori di completamento dell'autostrada Catania – Siracusa con la realizzazione di 25 km di nuova autostrada. Essa si pone come una delle autostrade più all'avanguardia in Europa dal punto di vista tecnologico e di sfruttamento di risorse rinnovabili. Gli impianti delle gallerie sono stati progettati per essere alimentati da pannelli fotovoltaici sistemati sulle volte di copertura delle tre gallerie artificiali presenti lungo il tracciato ed inoltre è presente una rete di smaltimento e canalizzazione per il trattamento dei liquidi inquinanti in modo da garantire la piena sicurezza dei terreni circostanti. Sempre **Anas SpA** ha finanziato la realizzazione di una barriera fonoassorbente fotovoltaica lungo la S.S. 434 in località Vallese di Oppeano (VR). Con i suoi 1,7 km è la più lunga d'Europa e soddisfa il fabbisogno annuale di circa 700 persone.

Centro Padane SpA ha in programma la realizzazione dell'autostrada Cremona – Mantova. I suoi obiettivi principali saranno di ridurre al minimo l'impatto con l'ambiente, autosostenersi energeticamente e valorizzare le relazioni e le peculiarità del territorio; ogni superficie disponibile (fabbricati, barriere, pannellature) verrà ricoperta con pannelli solari, verranno realizzate due centrali a biomassa vegetale sfruttando il fatto che l'autostrada attraversa un territorio con il maggior sviluppo agricolo a livello nazionale e le aree di sosta non saranno solo funzionali alla circolazione autostradale ma diverranno dei centri di attività e servizi in stretto contatto con il territorio e con le sue attività economiche.

Il concetto di autostrada come condotto energetico fu applicato per la prima volta nel mondo dall'azienda TNC sull'autostrada svizzera A13 nel 1989. TNC realizzò la prima barriera fonoassorbente fotovoltaica al mondo, la quale ancora oggi fornisce oltre 100 MWh di elettricità alla rete nazionale. Sempre nel 1989 dopo qualche mese dal progetto pionieristico lo stato svizzero diede inizio al progetto **SERSO** (scheda n°21). Lo scopo del progetto era la realizzazione di un sistema "asfalto collettore" su un ponte di un'autostrada. Il ponte iniziò ad essere operativo nel 1994 e ancora oggi immagazzina energia che viene utilizzata per mantenere il manto stradale libero dalla neve e dal ghiaccio.

L'ODOT (Oregon Department of Transportation) ha realizzato due parchi fotovoltaici lungo l'Interstate 5 nell'Oregon: nel 2004, in uno svincolo tra l'Interstate 5 e 205, ha realizzato un parco fotovoltaico costituito da 594 pannelli (104 kW) il quale soddisfa il fabbisogno energetico d'illuminazione dello svincolo. Nel 2011, in un'area residuale lungo l'autostrada, ha realizzato un parco fotovoltaico costituito da 6.994 pannelli (1,75 MW) il quale soddisfa il fabbisogno energetico di due aree di servizio adiacenti all'impianto. Costato 10 milioni di dollari ha coinvolto finanziamenti privati, pubblici e incentivi statali. L'ODOT ha in programma un terzo parco fotovoltaico che sarà più grande di quello costruito nel 2011 ma attualmente è alla ricerca dei fondi necessari per la sua realizzazione.

Nel 2006 è nata una collaborazione tra i paesi scandinavi dal nome **SHHP** (Scandinavian Hydrogen Highway Partnership) il cui obiettivo è quello di connettere e coordinare la collaborazione tra tre enti nazionali: HyNor (Norvegia), Hydrogen Link (Danimarca) e Hydrogen Sweden (Svezia). Insieme puntano a far diventare la regione scandinava una tra le prime a introdurre l'idrogeno nel sistema energetico e renderlo fruibile attraverso una rete di stazioni di rifornimento, puntando a realizzare entro il 2015 15 stazioni di servizio e 30 stazioni "satellite", introducendo in circolazione 100 autobus, 500 automobili e 500 veicoli speciali.

La provincia della **Columbia Britannica**, in Canada, ha realizzato una serie di opere per portare l'idrogeno sulle sue autostrade in occasione dei Giochi Olimpici Invernali tenuti nel 2010.

Inoltre si possono trovare molti progetti in corso di realizzazione di autostrade a idrogeno in **Gran Bretagna, Giappone, Olanda**.

Nel 2007 è nato il progetto **F2F (FreeWays to Fuel)** dalla cooperazione tra il Dipartimento dei Trasporti dello Utah e la Utah State University. L'obiettivo del progetto è quello di indagare sul tema delle colture per biocarburanti da realizzare lungo aree non tradizionalmente agricole come le aree di risulta dei tracciati stradali e degli svincoli, delle basi militari e degli aeroporti. Entro la fine del 2012 saranno disponibili i risultati di questa ricerca anche dal punto di vista della fattibilità economica ed ambientale.

Nel 2010 l'azienda statunitense **Genera Energy** e il Dipartimento dei Trasporti del Tennessee hanno dato vita ad un progetto sperimentale che consiste nella piantumazione di *panico verga*, un'erba caratteristica delle praterie dell'America settentrionale, lungo alcune autostrade del Tennessee. Il panico verga è una delle materie prime maggiori per la produzione di bioetanolo e pellet.

Riassumendo le tendenze in atto si può dire che i vari enti si stanno muovendo nella stessa direzione principalmente rispetto allo sfruttamento di tre tecnologie: fotovoltaico, biomassa ed idrogeno. Il fotovoltaico è una tecnologia che viene utilizzata maggiormente grazie anche al migliore stato di avanzamento di conoscenza tecnologica, mentre lo sfruttamento della biomassa e la generazione d'idrogeno sono tecnologie che stanno iniziando ora il loro cammino nel panorama internazionale.

2.3 – PANORAMICA SU TECNOLOGIE APPLICABILI AL TRACCIATO AUTOSTRADALE

Trasformare le strade in luoghi in cui l'energia viene prodotta è l'obiettivo comune di molti progetti in Italia e nel mondo. Partendo da questa idea comune essi perseguono il loro obiettivo con metodi e meccanismi diversi, passando da tecnologie applicabili e applicate attualmente a concept e tecnologie che guardano più al futuro. Di seguito si riportano e descrivono alcune delle tecnologie che si possono applicare al tracciato autostradale dal punto di vista della generazione di energia.

2.4.1 FOTVOLTAICO

Le applicazioni di tecnologie fotovoltaiche lungo le strade e le autostrade sono state realizzate dapprima maggiormente in Europa e più recentemente si è avuto uno sviluppo anche in Canada, Stati Uniti e alcune nazioni asiatiche. Il fotovoltaico può essere applicato alle barriere fonoassorbenti, sulle coperture di edifici e di pensiline delle stazioni di servizio oppure come parco fotovoltaico nelle aree di risulta, sui terrapieni, tra gli svincoli.



Figura 4 – Barriera antirumore fotovoltaica Monaco
fonte: Photovoltaic barriers

L'investimento sulla tecnologia del fotovoltaico può determinare una serie di vantaggi: l'elettricità è prodotta da una fonte rinnovabile senza contribuire all'emissione in atmosfera di inquinanti, l'energia solare è una

fonte locale e quindi non è necessario importarla da altri paesi riducendo così quegli impatti ambientali legati al trasporto e alla dipendenza dal petrolio, la tecnologia fotovoltaica sta facendo passi in avanti di anno in anno riguardo all'efficienza di conversione dell'energia solare in energia elettrica ed infine lo sfruttamento di aree marginali all'autostrada non sottrae terreno agricolo sfruttando invece terreno reso inutile dall'azione dell'uomo.

Non sono da trascurare però gli svantaggi che questa tecnologia può portare con sé: l'energia solare è più costosa da produrre rispetto alle risorse energetiche convenzionali attuali a causa del costo di produzione e manutenzione dei pannelli fotovoltaici, l'energia solare è una fonte variabile e non costante nel senso che dipende dalle condizioni meteorologiche del territorio in cui viene installato un impianto, ogni pannello fotovoltaico porta con sé una quantità di energia incorporata e di costo energetico per la sua produzione.

Di seguito si riporta una lista dei riferimenti individuati:

- 1 – Barriera fonoassorbente fotovoltaica in Svizzera (scheda n.1)
- 2 – Barriera fonoassorbente fotovoltaica in Olanda (scheda n.2)
- 3 – Barriera fonoassorbente fotovoltaica in Germania (scheda n.3)
- 4 – Barriera fonoassorbente fotovoltaica in Italia (scheda n.4)
- 5 – Barriera fonoassorbente fotovoltaica in Italia (scheda n.5)
- 6 – Barriera fonoassorbente fotovoltaica in Australia (scheda n.6)
- 7 – Barriera fonoassorbente fotovoltaica concept "Km0Road" (scheda n.7)
- 8 – Parco fotovoltaico A18 Catania-Siracusa (scheda n.8)
- 9 – Parco fotovoltaico Pedemontana Lombarda (scheda n.9)
- 10 – Parco fotovoltaico nell'Oregon (scheda n.10)
- 11 – Parco fotovoltaico nell'Oregon (scheda n.11)
- 12 – Coperture fotovoltaiche Autostrade per l'Italia (scheda n.12)
- 13 – 3D Solar Arrays (scheda n.13)
- 14 – Solar Roadways (scheda n.14)
- 15 – Solar Serpent (scheda n.15)

SCHEDA N°1

BARRIERA ANTIRUMORE FOTOVOLTAICA

LOCALITA' - Autostrada A13 - Chur (Svizzera)

CREDITS - TNC

DESCRIZIONE - Realizzata nel 1989 l'opera è lunga complessivamente quasi 1.000 m e si sviluppa lungo il ciglio della corsia di emergenza dell'autostrada A13. L'elettricità generata viene immessa nelle rete generale.

PRODUTTIVITA' - 176.000 kWh/a



SCHEDA N°2

BARRIERA ANTIRUMORE FOTOVOLTAICA

LOCALITA' - Autostrada A9 - Ouderkerk (Olanda)

CREDITS - ECN

DESCRIZIONE - Realizzata nel 1996 l'opera è lunga complessivamente quasi 1.000 m e si sviluppa lungo il ciglio della corsia di emergenza dell'autostrada A9. L'elettricità generata viene immessa nelle rete generale.

PRODUTTIVITA' - 176.000 kWh/a



SCHEDA N°3

BARRIERA ANTIRUMORE FOTOVOLTAICA

LOCALITA' - Autostrada vicino all'aeroporto di Monaco - Freising (Germania)

CREDITS - EC DG-TREN

DESCRIZIONE - Realizzata nel 2003 l'opera è lunga complessivamente quasi 1.000 m e si sviluppa lungo il ciglio della corsia di emergenza dell'autostrada. L'elettricità generata viene immessa nelle rete generale.

PRODUTTIVITA' - assenza di dati



SCHEDA N°5

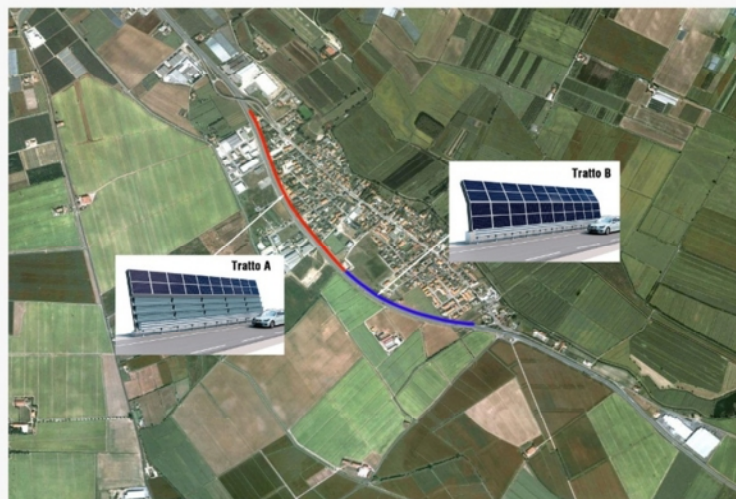
BARRIERA ANTIRUMORE FOTOVOLTAICA

LOCALITA' - S.S. 434 - Comune di Vallese di Oppeano

CREDITS - Project financing con la partecipazione di ANAS SpA

DESCRIZIONE - L'opera, della lunghezza complessiva di 1.700 m e di altezza pari a 4,80 m, si sviluppa longitudinalmente lungo la corsia in direzione Verona riparando acusticamente l'abitato. L'elettricità generata viene utilizzata per soddisfare il fabbisogno del comune

PRODUTTIVITA' - 793.000 kWh/a (fabbisogno per 700 persone)
riduzione annua di 493.830 di CO₂



SCHEDA N°6

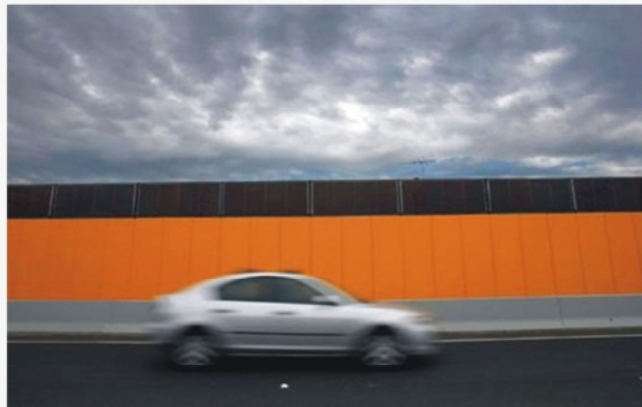
BARRIERA ANTIRUMORE FOTOVOLTAICA

LOCALITA' - Tullamarine/Calder interchange - Melbourne

CREDITS - Tullamarine/Calder Interchange Alliance

DESCRIZIONE - L'opera, della lunghezza complessiva di 500 m, si sviluppa longitudinalmente lungo la corsia di emergenza.
L'elettricità generata viene immessa nella rete generale ed utilizzata per l'illuminazione di un tratto di autostrada

PRODUTTIVITA' - 18.700 kWh/a



SCHEDA N°7

BARRIERA ANTIRUMORE FOTOVOLTAICA

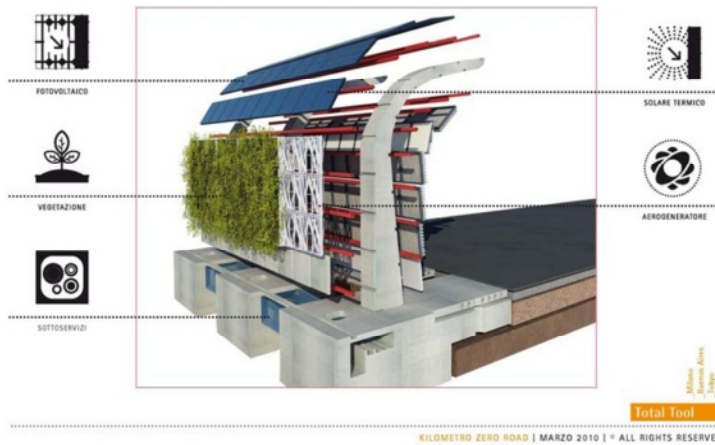
CONCEPT - Kilometro Zero Road

CREDITS - Studio TOTAL TOOL, Giulio Ceppi

DESCRIZIONE - Concept per un sistema-strada che si comporta come un organismo, con un proprio metabolismo interno, capace di dialogare ed interagire con il contesto ambientale esterno e trarne vantaggi operativi

PRODUTTIVITA' - 750.000 kWh/a
riduzione annua di 372.000 kg di CO₂

COMPONENTI DEL SISTEMA | ESPLOSO VISTA ESTERNA



COMPONENTI DEL SISTEMA | VISTA INTERNA



SCHEDA N°8

PARCO FOTOVOLTAICO

LOCALITA' - Autostrada A18 Catania-Siracusa

CREDITS - ANAS SpA

DESCRIZIONE - L'elettricità generata viene utilizzata per soddisfare interamente il fabbisogno dell'autostrada: gli impianti delle gallerie sono stati progettati per essere alimentati da pannelli fotovoltaici sistemati sulle volte di copertura di tre gallerie artificiali

PRODUTTIVITA' - 80.000 pannelli producono 12.000.000 kWh/a
riduzione annua di 10.000.000 kg di CO₂



SCHEDA N°9

PARCO FOTOVOLTAICO

LOCALITA' - Autostrada Pedemontana Lombarda

CREDITS - Autostrada Pedemontana Lombarda SpA

DESCRIZIONE - L'elettricità generata viene utilizzata per soddisfare interamente il fabbisogno dell'autostrada e per altri scopi. Verranno sfruttati i terrapieni e le trincee

PRODUTTIVITA' - 70.000 mq di pannelli producono 10.400.000 kWh/a



SCHEDA N°10

PARCO FOTOVOLTAICO

LOCALITA' - Portland - Oregon

CREDITS - Oregon Department of Transportation

DESCRIZIONE - L'elettricità generata viene utilizzata per soddisfare l'1/3 del fabbisogno d'illuminazione dello svincolo tra l'Interstate 5 e 205

PRODUTTIVITA' - 594 pannelli producono 112.000 kWh/a



SCHEDA N°11

PARCO FOTOVOLTAICO

LOCALITA' - Wilsonville - Oregon

CREDITS - Oregon Department of Transportation

DESCRIZIONE - L'elettricità generata viene utilizzata per soddisfare il fabbisogno di due aree di sosta dell'autostrada adiacenti al parco fotovoltaico

PRODUTTIVITA' - 6.994 pannelli producono 1.970.000 kWh/a



SCHEDA N°12

PENSILINE FOTOVOLTAICHE

LOCALITA' - Roma

CREDITS - Autostrade per l'Italia SpA

DESCRIZIONE - Autostrade per l'Italia ha realizzato nel corso del 2007 tre impianti fotovoltaici integrati in pensiline di parcheggio lungo la rete autostradale nella provincia di Roma. L'energia elettrica generata viene consumata interamente dagli impianti in esercizio nelle stazioni di servizio

PRODUTTIVITA' - 131.000 kWh/a in totale



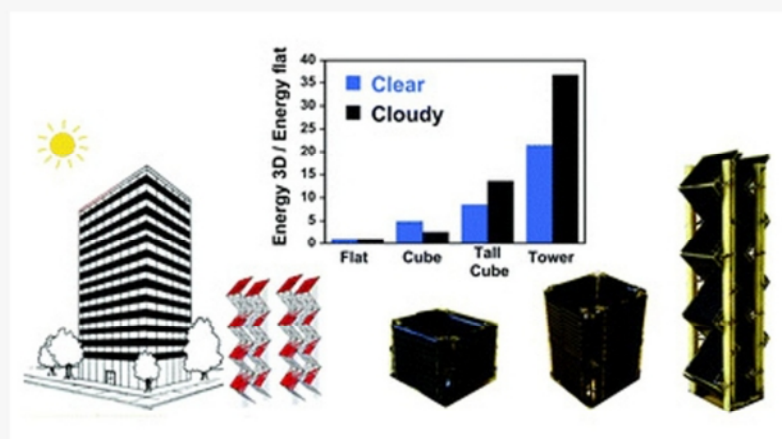
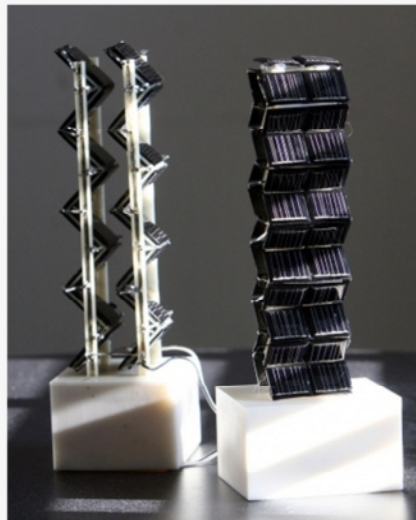
SCHEDA N°13

3D SOLAR ARRAYS

LOCALITA' - Cambridge - Massachussets

CREDITS - Massachussets Institute of Tecnology

DESCRIZIONE - Un team di ricercatori del MIT ha messo a punto un approccio molto diverso rispetto alla tradizionale disposizione delle celle fotovoltaiche sui tetti o altre superfici in modo planare. Essi hanno ideato delle configurazioni tridimensionali le quali mostrano un output di potenza che va da 2 a 20 volte quello dei pannelli piani fissi. In particolare gli aumenti di rendimento maggiori si sono verificati in situazioni meno favorevoli: località distanti dall'equatore, nei mesi invernali, in giornate coperte. Tra le configurazioni è presente la torre a fisarmonica che può essere installata in un parcheggio e ricaricare i veicoli elettrici



SCHEMA N°14

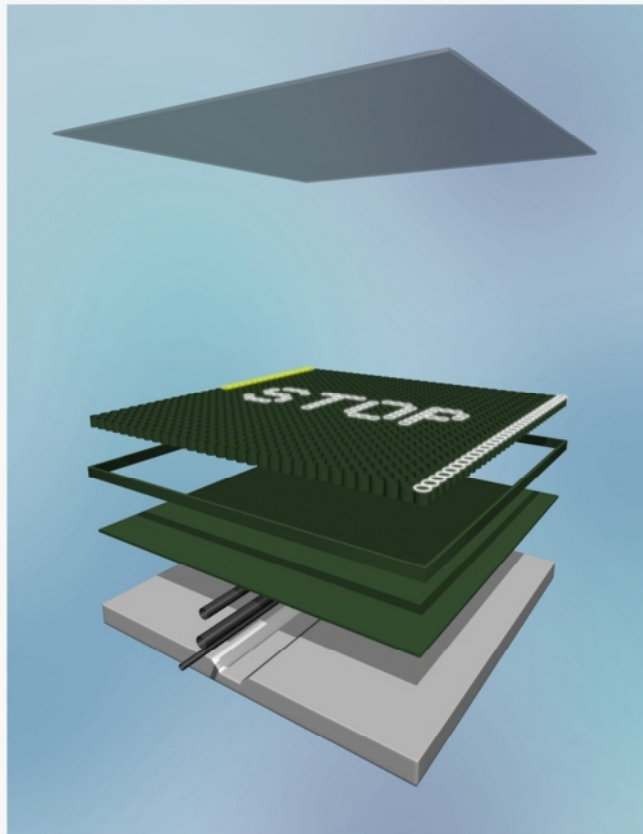
STRADA FOTOVOLTAICA

CONCEPT - Solar Roadways

CREDITS - Julie e Scott Brusaw

DESCRIZIONE - L'obiettivo del sistema è quello di captare l'energia solare disponendo i pannelli in strade, parcheggi, accessi ed utilizzarla per l'illuminazione, gli edifici e i servizi necessari

PRODUTTIVITA' - ogni pannello produce 7.600 Wh al giorno con il 15% di efficienza e 4 ore di luce solare (inverno 48.19° Sud Canada)



SCHEDA N°15

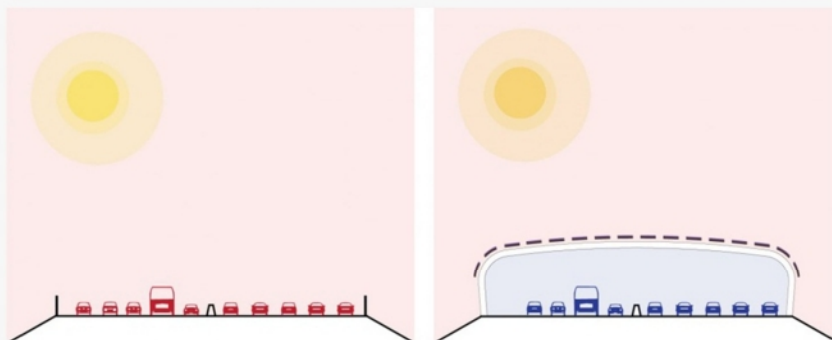
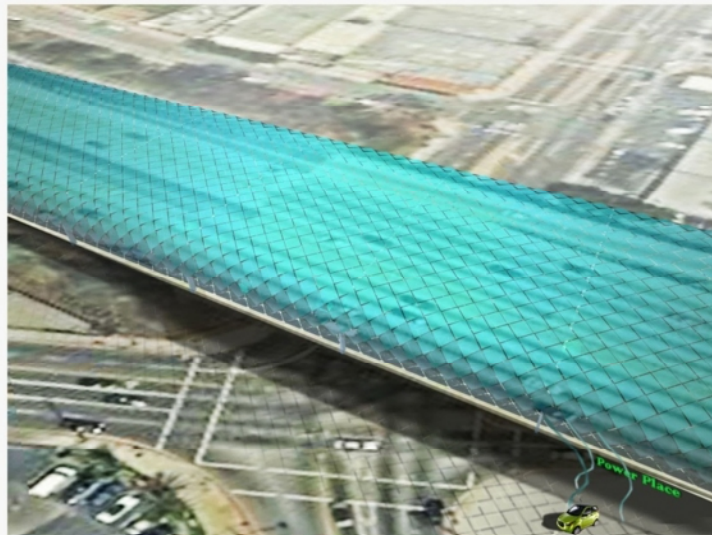
STRADA FOTOVOLTAICA

CONCEPT - Solar Serpent

CREDITS - Mans Tham, architetto e urbanista svedese

DESCRIZIONE - L'obiettivo del sistema è quello di coprire 24 km di autostrada losangelina con una copertura in grado di captare l'energia solare e di ombreggiare nelle calde giornate californiane. Diverrebbe una centrale elettrica capace di coprire interamente il fabbisogno della città di Venice

PRODUTTIVITA' - 150 GWh/a



2.4.2 SHORT ROTATION FORESTRY

Nell'ultimo decennio si è andata consolidando nella realtà italiana una visione multifunzionale dell'agricoltura, destinata non solo alla promozione ed alla conservazione di pratiche atte a tutelare il paesaggio rurale e l'impiego di modelli colturali a basso input, ma anche a favorire lo sviluppo di produzioni caratterizzate da finalità non alimentari che permettano di derivare materie prime a sostituzione dei prodotti di sintesi e dei combustibili fossili, quali le biomasse (ARSIA, 2004).

Per biomassa si intende quel complesso di materie prime rinnovabili e prodotti energetici che traggono origine da materiale organico generato da un processo biologico; in questa categoria ricadono sia i residui agroforestali, i rifiuti solidi urbani, i rifiuti di processi biologici industriali che i prodotti derivati da coltivazioni arboree o arbustive dedicate, cosiddetti "vergini" (ANPA, 2001). La coltivazione di specie arboree a rapida crescita condotta su terreni agricoli con elevata densità d'impianto (6.000-15.000 piante all'ettaro), ceduzioni ripetute nel breve periodo (1-6 anni) e con tecniche colturali simili a quelle utilizzate per le colture agrarie o "Short Rotation Forestry" (SRF), è una pratica colturale che negli ultimi decenni ha trovato ampia diffusione come impiego alternativo del suolo agrario rispetto le tradizionali colture produttive di carattere alimentare.

La recente diffusione europea della SRF deriva prevalentemente da tre ragioni: essere una fonte di biomassa per l'energia e l'industria, essere in grado di sequestrare dall'atmosfera biossido di carbonio riducendo in tal modo i gas serra e ultima ma non meno importante per il positivo impatto ambientale che queste colture arboree sono in grado di avere all'interno dell'ecosistema.

L'investimento sul territorio di impianti di arboricoltura a corta rotazione destinata alla produzione di biomassa da energia può determinare una lunga serie di vantaggi a livello economico, territoriale, sociale, ambientale, tra i quali si possono ricordare la possibilità di sviluppo di nuove iniziative industriali, la possibilità di garantire autonomia energetica locale, il contenimento delle emissioni dei cosiddetti gas-serra e

in particolare della CO₂, il favorevole impatto sulla biodiversità e la creazione di nuovi habitat, l'azione di protezione del suolo dall'erosione operata da aria ed acqua. La coltivazione estensiva delle SRF evidenzia al contempo diverse problematiche e rischi potenziali: a livello territoriale rischi potenziali sono legati alla conservazione del suolo, al consumo di risorse idriche, alla trasformazione di prati in terreno arabile, all'incentivazione di modelli gestionali produttivi intensivi, all'incremento del rischio di incendio; a livello aziendale i rischi potenziali sono legati ai conti economici delle colture, al mantenimento della fertilità del suolo, alla stabilità delle rese, alla flessibilità dell'ordinamento produttivo; l'uso energetico del cippato ritraibile potrebbe inoltre potenzialmente andare a determinare un aumento della pressione sul comparto agricolo per l'intensificazione delle coltivazioni; il materiale legnoso ottenibile presenta attualmente un valore economico piuttosto basso a fronte di costi di produzione anche consistenti che rendono tale coltura legata all'erogazione di contributi (Facciotto e Mughini 2003; Fabbri 2007).

Il tema delle SRF realizzate lungo le autostrade è stato introdotto negli ultimi anni principalmente in alcuni stati degli Stati Uniti grazie alla collaborazione tra i rispettivi dipartimenti dei trasporti e le università più importanti.



Figura 5 – Short rotation forestry North Carolina
fonte: NCDOT

Sono tutti progetti sperimentali che hanno come obiettivo quello di studiare il comportamento di queste colture lungo le autostrade e capirne quali siano i vantaggi economici ed ambientali.

Di seguito si riporta una lista dei riferimenti individuati:

- 1 – Short rotation forestry nello Utah (scheda n.16)
- 2 – Short rotation forestry nel Tennessee (scheda n.17)
- 3 – Short rotation forestry nel North Carolina (scheda n.18)

SCHEDA N°16

SHORT ROTATION FORESTRY

LOCALITA' - U.S.A. Utah

CREDITS - Utah State University

DESCRIZIONE - L'obiettivo del progetto è quello di indagare sul tema delle colture per biocarburanti da realizzare lungo aree non tradizionalmente agricole come le aree di risulta dei tracciati stradali e degli svincoli, delle basi militari e degli aeroporti. Entro la fine del 2012 saranno disponibili i risultati di questa ricerca anche dal punto di vista della fattibilità economica ed ambientale.

PRODUTTIVITA' - non vengono forniti dati poichè che il progetto è ancora in corso



SCHEDA N°17

SHORT ROTATION FORESTRY

LOCALITA' - U.S.A. Tennessee

CREDITS - Tennessee Department of Transportation e Genera Energy

DESCRIZIONE - L'obiettivo del progetto consiste nella piantumazione di "panico verga", un'erba caratteristica delle praterie dell'America settentrionale, lungo alcune autostrade del Tennessee. Il panico verga è una delle materie prime maggiori per la produzione di bioetanolo e pellet

PRODUTTIVITA' - non vengono forniti dati poichè che il progetto è ancora in corso



SCHEDA N°18

SHORT ROTATION FORESTRY

LOCALITA' - U.S.A. North Carolina

CREDITS - North Carolina Department of Transportation

DESCRIZIONE - L'obiettivo del progetto è quello di indagare sul tema delle colture per biocarburanti da realizzare lungo aree non tradizionalmente agricole come le aree di risulta dei tracciati stradali e degli svincoli, delle basi militari e degli aeroporti. Entro la fine del 2012 saranno disponibili i risultati di questa ricerca anche dal punto di vista della fattibilità economica ed ambientale.

PRODUTTIVITA' - non vengono forniti dati poichè che il progetto è ancora in corso



2.4.3 IDROGENO, ELETTRICO E STAZIONI MULTIENERGY

In un contesto di incertezza sulle effettive disponibilità di combustibili fossili, di sempre crescente domanda energetica e di sempre maggiore attenzione all'impatto sull'ambiente delle attività umane, uno degli obiettivi perseguiti dalla Commissione Europea nell'ambito del VII (2007-2013) e del precedente VI (2002-2006) Programma Quadro è lo sviluppo di sistemi di trasporto a basse emissioni per le città europee. Il Programma Quadro è lo strumento principale dell'UE per il finanziamento della ricerca in Europa.

In quest'ambito è stato co-finanziato il Progetto Zeroregio (2004-2010) - "Lombardia & Rhein-Main towards Zero Emission: Development and Demonstration of Infrastructure Systems for Hydrogen as an Alternative Motor Fuel", uno dei "Light-house Projects" che si sono proposti di dimostrare la fattibilità di sistemi di trasporto alternativi a ridotto impatto ambientale. Zeroregio è un acronimo di "Zero Emissions Regions". Il progetto ha affrontato infatti l'implementazione di filiere energetiche ad emissioni nulle in diverse Regioni Europee, in particolare nel progetto sono state coinvolte Regione Lombardia in Italia ed il Rhein Main in Germania ove sono state sperimentate diverse tecnologie di produzione, trasporto e distribuzione dell'idrogeno per uso automobilistico, in veicoli elettrici a cella a combustibile. Il progetto Zeroregio ha i seguenti obiettivi specifici:

- Introduzione dell'idrogeno come combustibile alternativo per autotrazione, prodotto o primariamente o come sottoprodotto in un impianto chimico, o alternativamente in piccoli impianti di produzione in sito.
- Creazione di un'infrastruttura dell'idrogeno, costituita da sistemi di produzione, compressione, stoccaggio e distribuzione dell'idrogeno integrati in stazioni di rifornimento convenzionali.
- Dimostrazione della fattibilità dell'utilizzo dell'idrogeno come combustibile alternativo attraverso la sperimentazione in campo su flotte di automobili in due diverse aree urbane europee, il Rhein-Main in Germania e la Lombardia in Italia, al fine di individuare le prospettive per

una più rapida penetrazione dell'idrogeno nel mercato del trasporto, nel breve-medio termine, in qualità di combustibile per autotrazione a zero-emissioni.

La sperimentazione sul campo ha permesso di dimostrare la superiorità dell'idrogeno rispetto ai combustibili tradizionali dal punto di vista dell'efficienza energetica e dell'impatto ambientale.

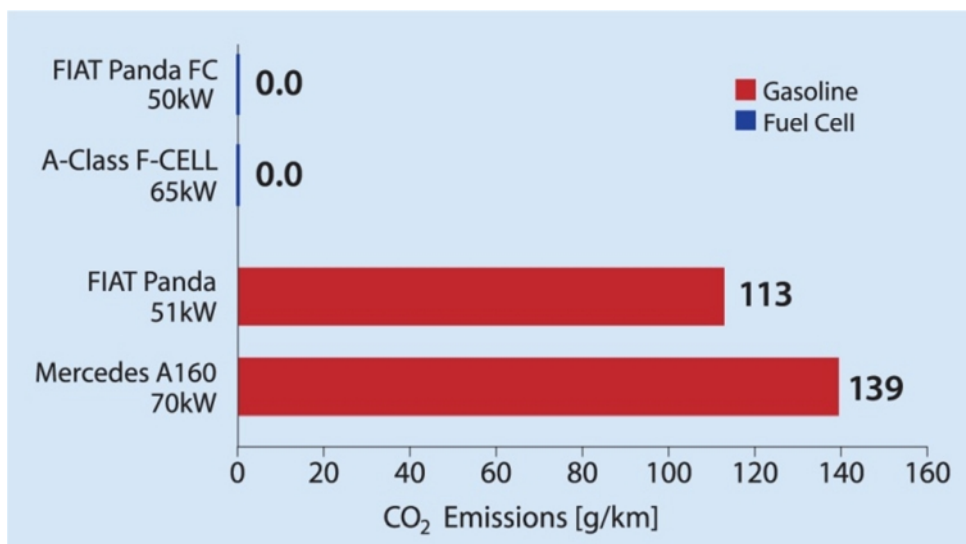


Figura 6 – Emissioni di CO₂
fonte: ZeroRegio project

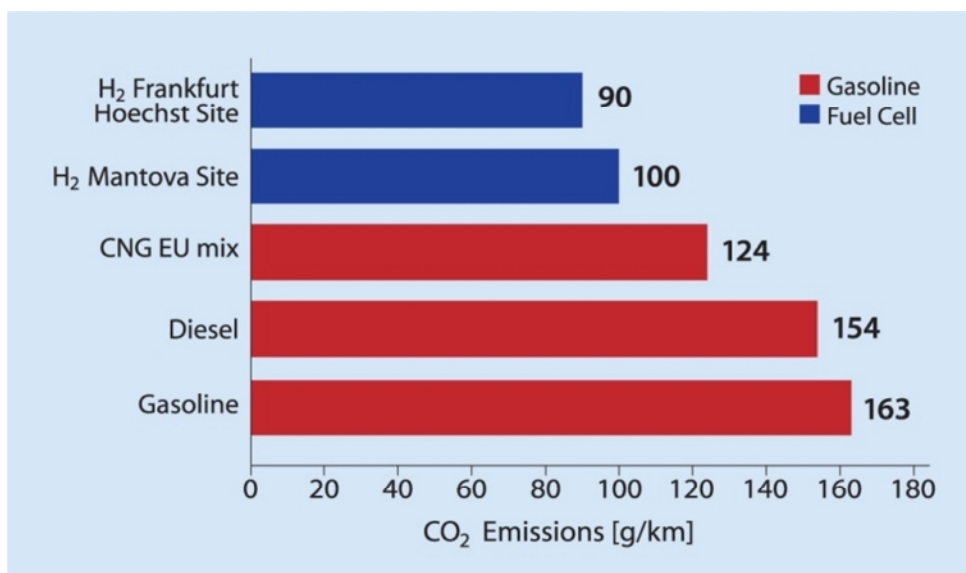


Figura 7 – Comparazione delle emissioni di CO₂
fonte: ZeroRegio project

In conclusione le analisi indicano che con le attuali modalità di produzione le emissioni si riducono attraverso l'uso dell'idrogeno, ma non significativamente rispetto alla benzina e al diesel. Una sostanziale diminuzione delle emissioni può essere raggiunta con l'introduzione di nuove modalità di produzione dell'idrogeno attraverso le risorse energetiche rinnovabili.

Un secondo progetto per lo sviluppo di sistemi di trasporto a basse emissioni è il progetto integrato HyWays (EC, 2007). Finanziato da istituti di ricerca, industrie e dalla Commissione Europea, ha effettuato uno studio su quali dovranno essere le strategie per introdurre l'idrogeno nel sistema energetico della mobilità sostenibile cercando di superare le barriere economico-tecnologico-istituzionali. Secondo il rapporto finale le maggiori sfide che l'introduzione dell'idrogeno nel sistema energetico dovrà affrontare saranno la riduzione dei costi e una politica di sostegno. Il costo dell'idrogeno per gli usi finali, specialmente per i trasporti, deve essere diminuito per diventare competitivo; inoltre l'idrogeno generalmente non si trova nei programmi dei ministri che si occupano della riduzione dei gas serra e altri inquinanti e di conseguenza mancano dei programmi di supporto tecnologico e infrastrutturale. Inoltre il rapporto stila delle considerazioni finali che mettono in evidenza i vantaggi che si avrebbero dall'introduzione dell'idrogeno:

- **SICUREZZA DELL'OFFERTA:** come l'elettricità, l'idrogeno diversifica la domanda di energia tra le risorse. Questa diversificazione porta ad un sostanziale miglioramento nella sicurezza dell'offerta di energia. Il consumo totale di petrolio per il trasporto su strada potrebbe diminuire del 40% entro il 2050 se comparato ad oggi se l'80% dei veicoli convenzionali fossero sostituiti da veicoli ad idrogeno.

- **USO SOSTENIBILE DEI COMBUSTIBILI FOSSILI:** l'utilizzo dell'idrogeno per la produzione di elettricità da combustibili fossili in grandi impianti centralizzati contribuirà a raggiungere una significativa diminuzione di CO₂ se combinata con processi di cattura e stoccaggio della CO₂.

- **CONTRIBUTO AGLI OBIETTIVI PER LE ENERGIE RINNOVABILI E IL RISPARMIO ENERGETICO:** l'introduzione dell'idrogeno nel sistema energetico offre l'opportunità di aumentare la quota di energia rinnovabile. L'idrogeno potrebbe anche agire da vettore d'energia temporaneo e facilitare così l'introduzione a grande scala di risorse intermittenti come l'energia eolica.

- **IMPATTO SULLA CRESCITA ECONOMICA E SULL'OCCUPAZIONE:** la transizione verso l'idrogeno offre all'Europa un'opportunità economica se essa sarà capace di rafforzare la sua posizione di fabbricante di automobili e di sistemi energetici. Il maggior beneficio della crescita economica sarebbe una grande diminuzione della vulnerabilità dell'economia agli aumenti dei prezzi del petrolio.

- **RIDUZIONE DELLE EMISSIONI:** se l'idrogeno verrà introdotto nel sistema energetico, il costo per ridurre un'unità di CO₂ diminuirà del 4% entro il 2030 e del 15% entro il 2050, dimostrando che l'idrogeno è un'opzione valida dal punto di vista dei costi per la riduzione della CO₂. Circa l'85% della riduzione delle emissioni è relazionata ai trasporti su strada, riducendo le emissioni di CO₂ di circa il 50% entro il 2050.

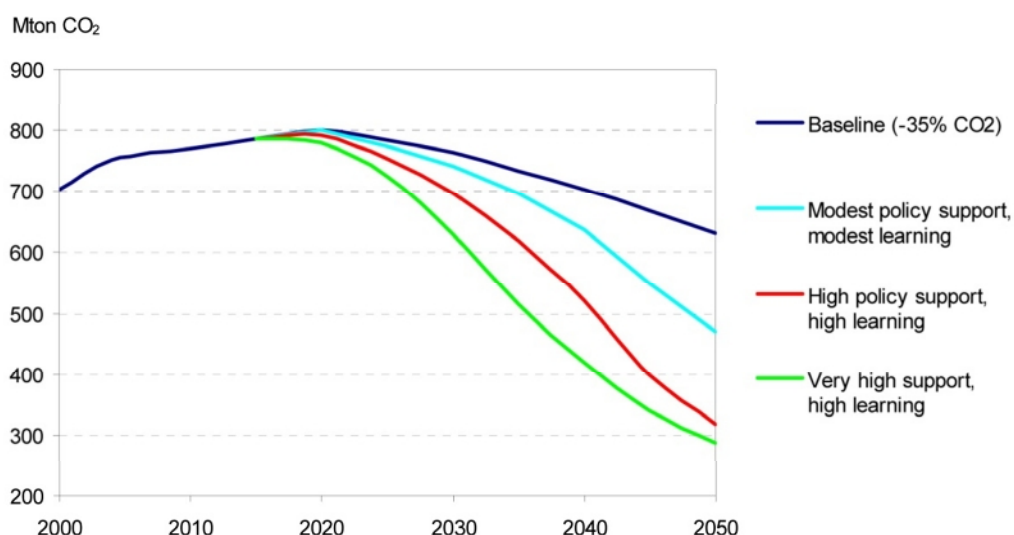


Figura 8 – Evoluzione delle emissioni di CO₂ causate dal trasporto nei 10 Stati analizzati
fonte: HyWays EC 2007

- **APPLICAZIONI FINALI:** fino al 2050 i mercati maggiori per le applicazioni finali riguarderanno il trasporto di persone, veicoli commerciali leggeri e autobus cittadini. Circa metà del settore dei trasporti farà un cambiamento radicale verso l'idrogeno. La diffusione dell'idrogeno in aree residenziali e terziarie è prevista in aree limitate dove sono già presenti strutture e sistemi a favore dell'idrogeno.

La tecnologia dell'idrogeno presenta anche svantaggi: la sua produzione può essere molto costosa specialmente quando ricavata da fonti rinnovabili, non è facile da trasportare, distribuire e stoccare specialmente in veicoli dove lo spazio è limitato, le celle a combustibile sono ancora molto costose e devono essere superate alcune barriere tecnologiche in modo da raggiungere una distribuzione di massa.

Un altro campo in cui gli enti regionali sono molto attivi è quello che riguarda la mobilità elettrica. Essa costituisce uno dei punti di forza delle iniziative di mobilità sostenibile grazie al fatto che offre la possibilità di muoversi senza produrre emissioni inquinanti, gas serra e con livelli minimi di rumore. È tuttavia importante osservare che, per avere un ciclo di produzione e consumo dell'elettricità utilizzata per il movimento che sia effettivamente ad impatto zero, occorre che l'elettricità stessa sia prodotta da fonti rinnovabili. In ogni caso, attualmente, pur producendo energia elettrica attraverso diverse fonti (sia con combustibili fossili che attraverso fonti rinnovabili), l'utilizzo dell'elettricità per gli spostamenti in ambito urbano consente di tenere lontane dalle città le emissioni eventualmente prodotte per la marcia dei veicoli stessi. In Lombardia, nello specifico a Milano e Brescia, nel 2010 è partito il progetto "E-Moving". Realizzato in collaborazione tra A2A (azienda di servizi di pubblica utilità) e Renault, consiste nell'installazione di 200 punti di ricarica elettrica a Milano e 70 punti a Brescia con una flotta di 60 veicoli con autonomia di 160 km. L'obiettivo del progetto è quello di testare le diverse componenti del modello operativo di mobilità elettrica elaborato: tecnologia e dislocazione dell'infrastruttura di ricarica, processi e soluzioni commerciali connessi alla vendita o leasing dei veicoli elettrici, interazione fra la rete di ricarica e i veicoli stessi, fornitura di energia elettrica per l'alimentazione dei veicoli e

sistemi di fatturazione ad essi collegati, gestione delle batterie, manutenzione dei veicoli elettrici.

Un secondo progetto di mobilità elettrica è l'“E-Mobility”. Il progetto ha messo in circolazione 100 vetture elettriche SMART alimentate da 400 punti di ricarica, pubblici e privati, messi a disposizione da Enel nelle città di Roma, Pisa e Milano. Elemento di novità è che l'energia elettrica utilizzata per la ricarica delle auto è prodotta solo da fonti rinnovabili e certificata secondo il sistema RECS (Renewable Energy Certificate System). Lo stesso progetto è stato lanciato non solo in Italia ma anche in Germania, Spagna, Inghilterra, Francia, Svizzera, Stati Uniti e Canada.

Quali sono le principali criticità dell'auto elettrica? Una delle più importanti riguarda decisamente l'origine dell'elettricità utilizzata: se essa fosse generata da fonti fossili (carbone, petrolio, nucleare), quali sarebbero i reali benefici nell'uso dei veicoli elettrici? In effetti, l'uso dell'elettricità prodotta da fonti fossili per il movimento dei veicoli comporterebbe un ammontare complessivo di emissioni di CO₂ superiore al quantitativo prodotto utilizzando i carburanti tradizionali per muovere le auto. La vera mobilità pulita (dall'inizio alla fine del ciclo) si otterrebbe solo utilizzando energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili. Secondo alcune stime il fabbisogno di elettricità necessario per soddisfare i consumi delle nuove auto elettriche sarà relativamente basso (es. con 30 milioni di veicoli elettrici o ibridi plug-in in circolazione nell'Unione Europea, l'aumento della domanda di elettricità sarebbe solo del 3% rispetto a quella attuale). Il problema è gestire correttamente questa domanda aggiuntiva di elettricità, per evitare che il maggior fabbisogno comporti un aumento della produzione di elettricità da combustibili fossili. Le politiche comunitarie, nazionali e regionali di sostenibilità energetica nei trasporti ormai non lasciano più spazio ad investimenti di stazioni di servizio convenzionali: le leggi regionali sulla distribuzione dei carburanti puntano a stimolare, con iter autorizzativi preferenziali, la realizzazione di stazioni di rifornimento con nuovi standard di eco-sostenibilità. Le cosiddette stazioni “Multi-energy” sono stazioni di rifornimento altamente innovative che sono energeticamente autosufficienti ed erogano diverse tipologie di

combustibili, sia convenzionali, sia innovativi come idrogeno, metano, gpl ed elettricità. Esse favoriscono lo sviluppo di un sistema innovativo di mobilità ecologica attraverso il binomio: infrastrutture di erogazione a basso/zero impatto e flotte di veicoli ad alta efficienza.

Di seguito si riporta una lista dei riferimenti individuati:

- 1 – Stazione multienergy a Mantova e Francoforte (scheda n.19)
- 2 – Stazione multienergy a Collesalveti (scheda n.20)

SCHEDA N°19

STAZIONE MULTIENERGY

LOCALITA' - Mantova e Francoforte

CREDITS - ZeroRegio Project

DESCRIZIONE - L'obiettivo del progetto è quello di costruire e sperimentare infrastrutture innovative di erogazione multifuel ad idrogeno utilizzando differenti opzioni tecnologiche di produzione ed erogazione di idrogeno. Le due stazioni di servizio sono dotate di impianti fotovoltaici che soddisfano parte del fabbisogno di energia elettrica delle stazioni stesse

PRODUTTIVITA' - 30.000 kWh/a cad.



SCHEDA N°20

STAZIONE MULTIENERGY

LOCALITA' - Collesalveti (LI)

CREDITS - Eni e Regione Toscana

DESCRIZIONE - Grazie ai pannelli fotovoltaici, a tre rotori eolici e ad una microturbina alimentata a metano, riesce a produrre sia larga parte dell'energia necessaria all'operatività dell'area di servizio sia idrogeno per una miniflotta di auto

PRODUTTIVITA' - fotovoltaico: 24.000 kWh/a
eolico: 84.000 kWh/a
microturbina: 273.000 kWh/a



2.4.4 ASFALTO COME COLLETTORE SOLARE

Soltanto recentemente alcuni stati europei hanno iniziato a sfruttare le capacità termiche dell'asfalto per la produzione di acqua calda la quale può essere immagazzinata e utilizzata per tutto l'anno per gli scopi necessari. I vari progetti realizzati sono per lo più di carattere sperimentale e investigativo rispetto alle potenzialità di questo sistema. 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 annegati 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.

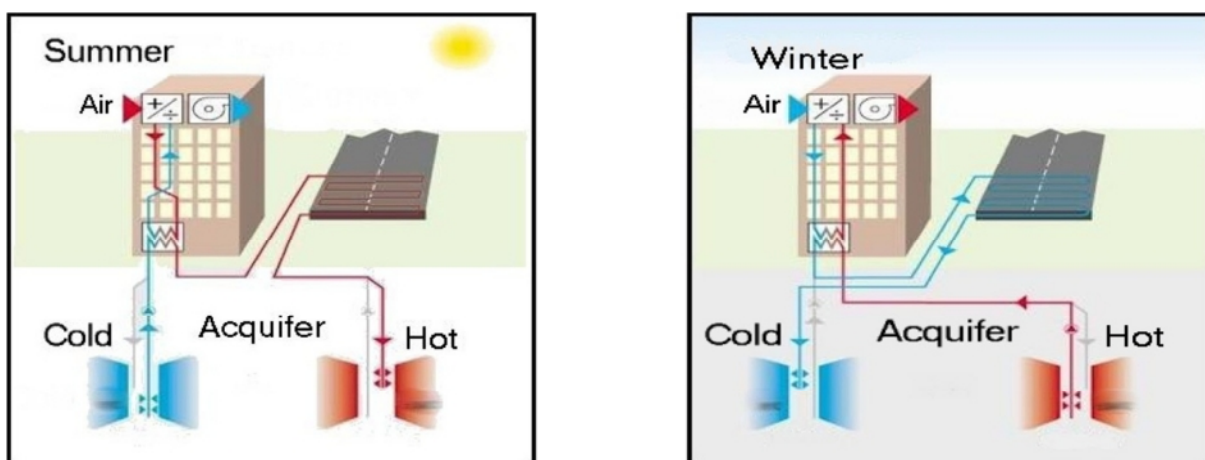


Figura 9 – Applicazione dell'asfalto collettore solare di Road Energy Systems
fonte: Road Energy Systems

L'energia che può essere ricavata dall'asfalto collettore dipende da molti parametri come la temperatura iniziale del fluido vettore, la circolazione, la profondità dei condotti, le proprietà termiche dei materiali utilizzati.

L'investimento sulla tecnologia dell'asfalto collettore può determinare una serie di vantaggi: aumenta il ciclo di vita di una strada livellando le variazioni di temperatura durante l'anno, l'acqua calda è prodotta da una

fonte rinnovabile senza contribuire all'emissione in atmosfera di inquinanti, l'energia solare è una fonte locale e quindi non è necessario importarla da altri paesi riducendo così quegli impatti ambientali legati al trasporto e alla dipendenza dal petrolio. Non sono da trascurare però gli svantaggi che questa tecnologia può portare con sé: essendo una tecnologia recente ha dei costi di realizzazione abbastanza alti, l'energia solare è una fonte variabile e non costante nel senso che dipende dalle condizioni meteorologiche del territorio in cui viene installato un impianto.

Di seguito si riporta una lista dei riferimenti individuati:

1 – Asfalto come collettore solare in Svizzera (scheda n.21)

2 – Asfalto come collettore solare in Olanda (scheda n.22)

SCHEDA N°21

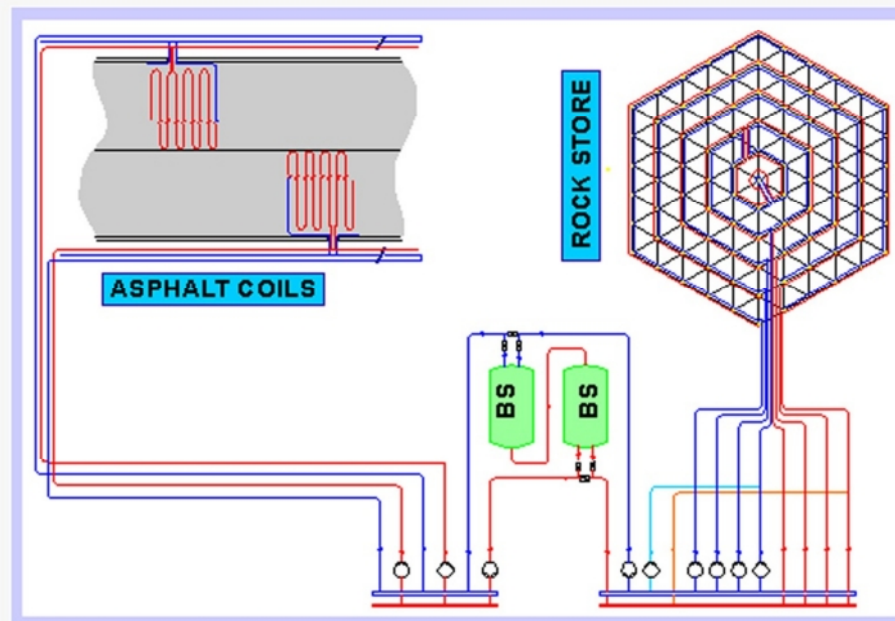
ASFALTO COME COLLETTORE SOLARE

LOCALITA' - Svizzera

CREDITS - Dipartimento dei trasporti svizzero

DESCRIZIONE - L'obiettivo del progetto SERSO (Solar Energy Recuperation from the Road Pavement 1989) era quello di scaldare il manto stradale di un ponte situato in montagna per evitare la formazione di ghiaccio e quindi migliorare la durabilità del manto stesso

PRODUTTIVITA' - da 77 a 138,5 kWh/mq all'anno di energia generata



SCHEMA N°22

ASFALTO COME COLLETTORE SOLARE

LOCALITA' - Rotterdam - Olanda

CREDITS - Road Energy System SpA

DESCRIZIONE - L'obiettivo del progetto è quello di scaldare il manto stradale di un ponte per evitare la formazione di ghiaccio e quindi migliorare la durabilità del manto stesso e viene implementato un sistema che comprende delle pompe di calore per gli edifici soddisfacendo parte del fabbisogno di acqua calda sanitaria

PRODUTTIVITA' - 18,5 kWh/mq all'anno di energia generata.
Un ufficio di 10.000 mq ha bisogno di 4.000 mq di asfalto collettore solare e una pompa di calore da 340 kW. Produce il 55% in meno di CO₂ rispetto ad un edificio riscaldato e raffrescato a gas e usa il 55% di combustibili fossili in meno per riscaldare e raffrescare



2.4.5 AEROGENERAZIONE

Il vento può essere sfruttato per la generazione di elettricità attraverso l'uso di turbine eoliche le quali mosse dal vento producono energia elettrica grazie ad un generatore. In tutte le maggiori applicazioni hanno sempre funzionato sfruttando il vento naturale presente in territori battuti costantemente da venti, ma da qualche anno alcuni ricercatori hanno rivolto la loro attenzione nei confronti di una fonte meno dipendente dalla geografia del luogo e più "artificiale", ovvero il movimento d'aria prodotto dai veicoli in movimento. Infatti è possibile applicare dei piccoli sistemi eolici che sfruttano il movimento dell'aria causato dal passaggio dei veicoli, preferibilmente in tracciati a percorrenza elevata e con una grande portata di veicoli (autostrade).



Figura 10 - Concept aerogenerazione
fonte: Arizona State University

Dato che l'applicazione della tecnologia eolica all'autostrada è un tema nato recentemente, i progetti che lo riguardano sono quasi tutti allo stato di "concept" o di singole installazioni sperimentali.

Di seguito si riporta una lista dei riferimenti individuati:

- 1 – Aerogenerazione in Francia (scheda n.23)
- 2 – Aerogenerazione concept barriera (scheda n.24)
- 3 – Aerogenerazione concept autostrada (scheda n.25)

SCHEDA N°23

AEROGENERAZIONE

LOCALITA' - Autostrada A6 tra Parigi e Lione

CREDITS - Cita Production

DESCRIZIONE - L'obiettivo del progetto è quello di sfruttare il movimento dell'aria causato dal passaggio a velocità elevata dei veicoli sul tracciato autostradale. Grazie ad una struttura posta sul lato della carreggiata è possibile catturare i venti e generare energia elettrica per il fabbisogno dell'autostrada

PRODUTTIVITA' - assenza di dati



SCHEDA N°24

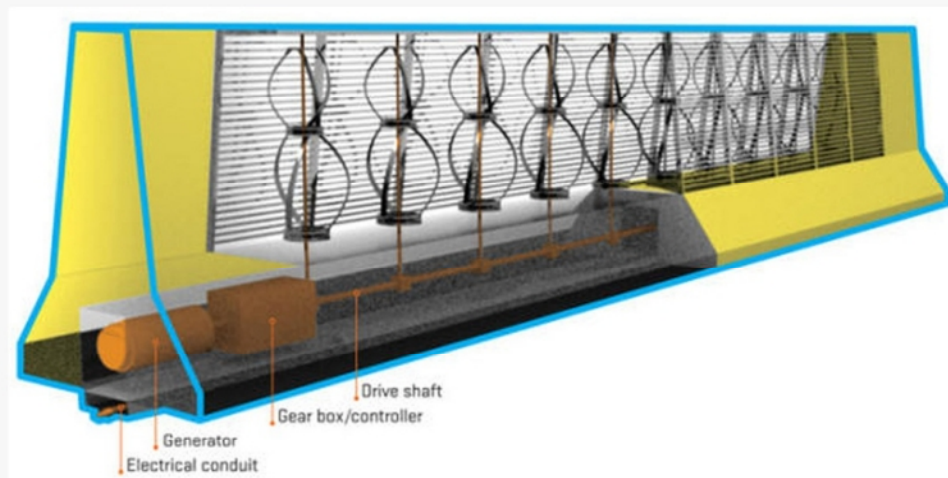
AEROGENERAZIONE

CONCEPT - The New Jersey Barrier

CREDITS - Mark Oberholzer

DESCRIZIONE - L'obiettivo del progetto è quello di sfruttare il movimento dell'aria causato dal passaggio a velocità elevata dei veicoli sul tracciato autostradale integrando i dispositivi eolici nelle barriere poste ai lati della carreggiata. E' così possibile catturare i venti e generare energia elettrica per il fabbisogno dell'autostrada

PRODUTTIVITA' - assenza di dati



SCHEDA N°25

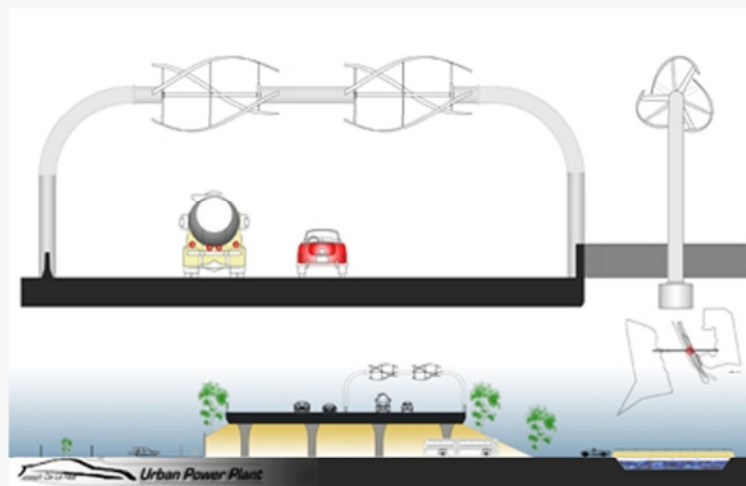
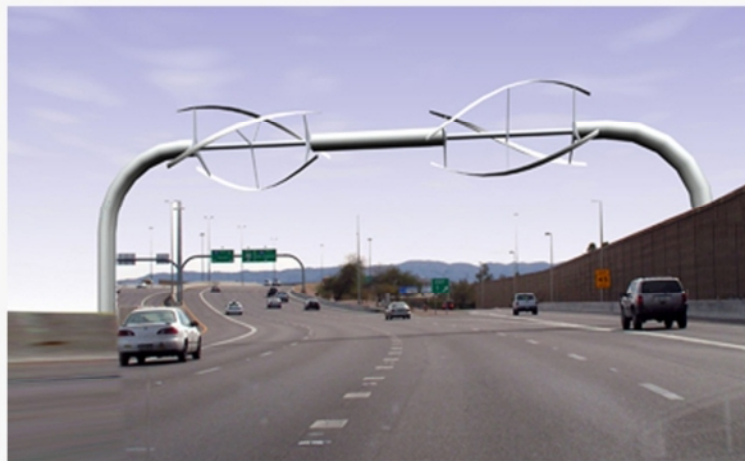
AEROGENERAZIONE

CONCEPT - Parasitic Catalyst

CREDITS - Arizona State University student

DESCRIZIONE - L'obiettivo del progetto è quello di sfruttare il movimento dell'aria causato dal passaggio a velocità elevata dei veicoli sul tracciato autostradale integrando i dispositivi eolici in strutture che sovrastano il tracciato. E' così possibile catturare i venti e generare energia elettrica per il fabbisogno dell'autostrada

PRODUTTIVITA' - 9.600 kWh/a di energia prodotta tenendo conto della velocità media annuale del vento in Arizona e di quella delle vetture che percorrono le autostrade statunitensi



2.4.6 GENERAZIONE PIEZOELETTRICA

Grandi passi avanti sono stati fatti nella sperimentazione e nella compressione della tecnologia piezoelettrica. La piezoelettricità è l'energia generata dal peso, dal movimento, dalla vibrazione, dalla variazione di temperatura che si manifestano nel momento in cui due oggetti vengono a contatto. E' un'energia sprigionata naturalmente quando ad un oggetto si applica una forza, quindi come succede tra veicoli e strade, biciclette e percorsi ciclabili, pedoni e marciapiedi. Questo attrito crea una tensione che può essere trasformata in energia utilizzabile.

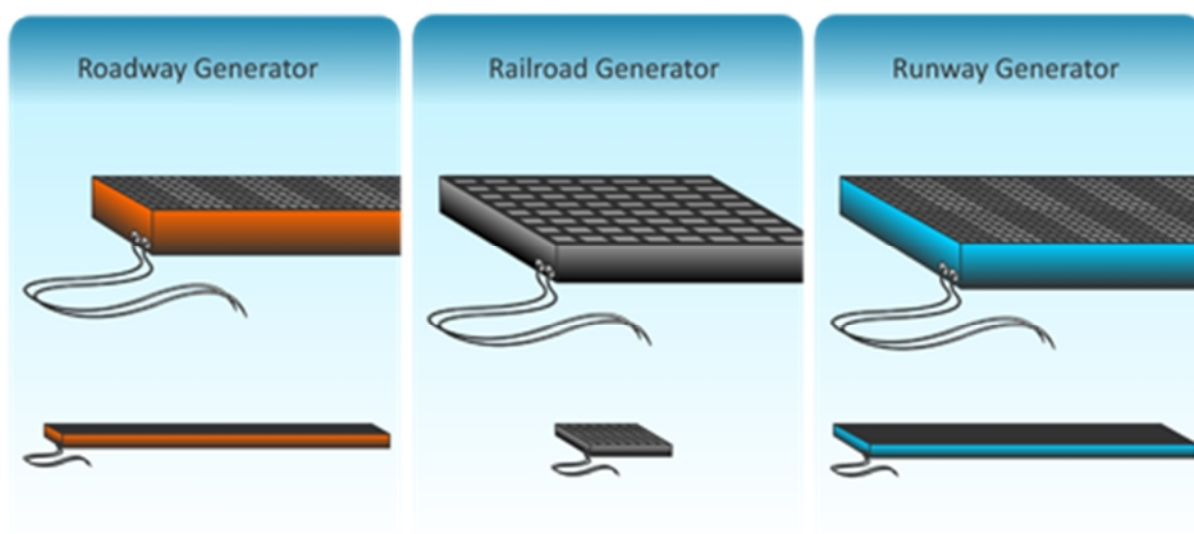


Figura 11 – Sistema di generazione piezoelettrica
fonte: Innowattech

Sono pochi i progetti realizzati localizzati per lo più in Israele e in Giappone. Dato che l'applicazione della tecnologia piezoelettrica all'autostrada è un tema nato recentemente, i progetti che lo riguardano sono quasi tutti allo stato di "concept" o di singole installazioni sperimentali.

Di seguito si riporta una lista dei riferimenti individuati:

- 1 – Autostrada piezoelettrica in Italia (scheda n.26)
- 2 – Ponte piezoelettrico in Giappone (scheda n.27)

SCHEDA N°26

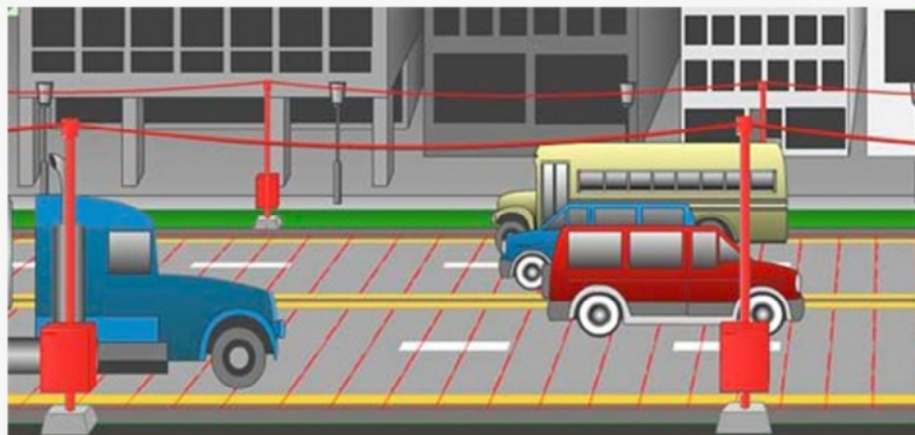
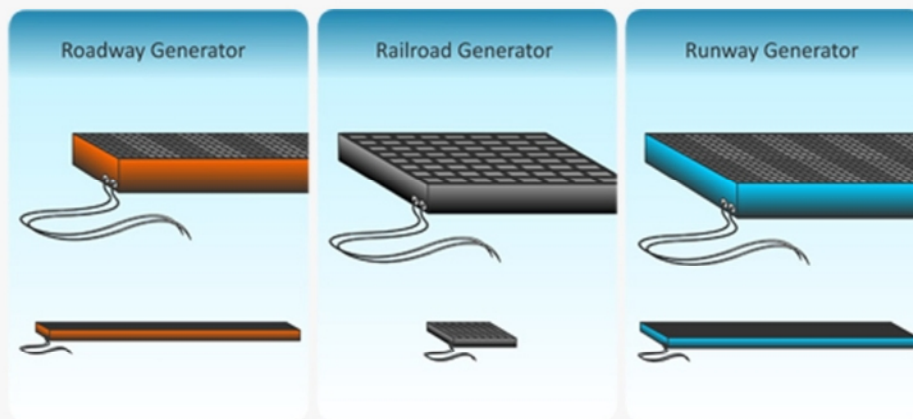
GENERAZIONE PIEZOELETTRICA

LOCALITA' - Autostrada Venezia - Trieste

CREDITS - Innowattech (Israele)

DESCRIZIONE - L'obiettivo del progetto è quello di sfruttare il passaggio dei veicoli sul manto stradale generando energia elettrica grazie alle vibrazioni che si creano.

PRODUTTIVITA' - generatori installati per 45 m di autostrada con un traffico di 600 camion/ora genera una corrente elettrica equivalente a 250 kWh



SCHEDA N°27

GENERAZIONE PIEZOELETTRICA

LOCALITA' - Tokyo

CREDITS - Power Generating Floors™

DESCRIZIONE - L'obiettivo del progetto è quello di sfruttare il passaggio dei veicoli sul manto stradale generando energia elettrica grazie alle vibrazioni che si creano. Sono stati installati dieci generatori sul ponte Goshiki Zakura Ohashi per soddisfare parte del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione

PRODUTTIVITA' - assenza di dati



2.4 – IL CASO STUDIO: L'AUTOSTRADA PEDEMONTANA LOMBARDA

L'Autostrada Pedemontana Lombarda è una grande infrastruttura viaria che si inserisce in un ambito territoriale sostanzialmente urbano, densamente abitato e fortemente edificato: la cosiddetta città infinita a nord di Milano. Al termine dei lavori collegherà cinque province (Bergamo, Monza e Brianza, Milano, Como, Varese) riducendo i tempi di percorrenza e favorendo gli scambi e lo sviluppo socio-economico nell'area più ricca e produttiva della Lombardia.

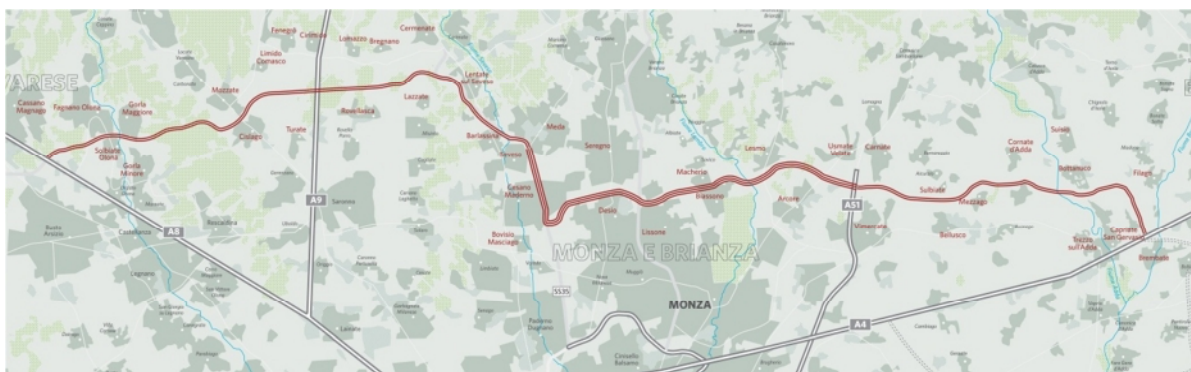


Figura 12 – Tracciato Autostrada Pedemontana Lombarda
fonte: Autostrada Pedemontana Lombarda SpA

Il tracciato è composto da 67km di autostrada che costituiscono l'asse principale da Cassano Magnago a Osio Sotto, 20km di tangenziali articolati tra Varese e Como e 70km di opere stradali connesse che interesseranno il territorio in senso verticale, esattamente come l'autostrada lo attraverserà orizzontalmente, migliorando i collegamenti alla nuova infrastruttura e contribuendo a risolvere la storica congestione di molte direttrici provinciali che oggi attraversano i centri abitati. Dei 67km di autostrada poco meno di 20km saranno a tre corsie per senso di marcia, mentre i restanti tratti così come le tangenziali saranno a due corsie per senso di marcia. L'autostrada si differenzia dalle autostrade esistenti soprattutto per come attraverserà il territorio: infatti per minimizzare l'impatto ambientale e per la difficoltà di attraversare una delle aree più edificate d'Europa correrà per quasi i tre quarti degli 87km sotto il livello

di campagna in trincea e galleria naturale o artificiale. In particolare Pedemontana corre scavata in galleria naturale per circa 12km (14% del tracciato) obbligatoriamente per gran parte delle tangenziali che corrono nelle fasce moreniche e per la discesa e la risalita dai ponti sull'Olona e sull'Adda. La sezione della galleria naturale sarà quella classica a botte. Altri 13km (15% del tracciato) verranno realizzati in galleria artificiale che avrà sezione quadrata. In queste tratte si scaverà prima a cielo aperto e quindi si chiuderà la scatola con una soletta in cemento armato sopra la quale verrà ricollocato terreno vegetale. Altri 36km (41% del tracciato) saranno in trincea in cui il piano stradale correrà tra 6 e 9 metri sotto il livello di campagna, a cielo aperto e con pareti laterali che possono essere diagonali o verticali in cemento armato. Infine Pedemontana attraverserà con ponti e viadotti cinque importanti fiumi lombardi: l'Olona, il Seveso, il Lambro, l'Adda e il Brembo.

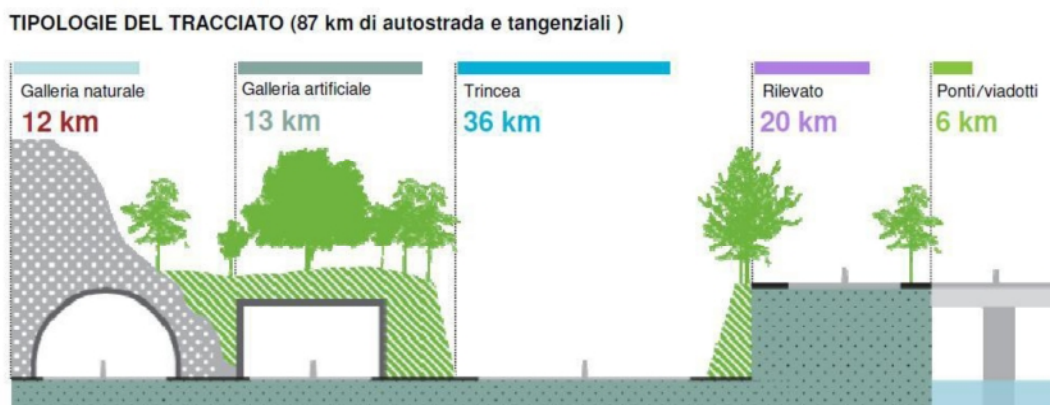


Figura 13 – Tipologie del tracciato
 fonte: Autostrada Pedemontana Lombarda SpA

Dal punto di vista energetico Autostrada Pedemontana punta a perseguire l'autosufficienza energetica installando 60.000 mq di pannelli fotovoltaici per un valore di 9MWh di potenza in grado di abbattere l'impatto energetico del proprio funzionamento.

3. FASE PROGETTUALE

ABSTRACT CAPITOLO 3

Il presente capitolo introduce la fase progettuale del lavoro che consiste nell'interpretazione analitica del territorio attraversato dal tracciato autostradale, nell'individuazione degli elementi strutturali del tracciato stesso e nella quantificazione dell'energia producibile dall'applicazione delle tecnologie necessarie per ogni elemento strutturale individuato.

3.1 – INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il tracciato della Pedemontana attraversa un territorio a forte diffusione insediativa, innervato su reti storiche policentriche, almeno in parte formate da città medie che hanno saputo sviluppare dinamiche industriali. Negli ultimi decenni queste reti storiche sono andate trasformandosi in ampi distretti industriali, ovvero in quel tessuto produttivo diffuso che rappresenta una delle chiavi del successo delle economie regionali circostanti. Questo sviluppo, cui vanno oggi sovrapponendosi i processi diffusivi generati dal grande polo metropolitano di Milano, ha condotto ad un fortissimo incremento della domanda di mobilità determinando gravi problemi di congestione e impatto ambientale ed in generale di inadeguatezza della rete stradale storica che deve sopportare intensi flussi di breve e medio raggio (Debernardi, 2004).

L'area pedemontana lombarda ha più di due milioni di abitanti e mezzo milione di addetti all'industria: questi numeri determinano un notevole squilibrio fra la domanda di mobilità e l'offerta infrastrutturale ancora oggi imperniata, specie sulle relazioni trasversali, su reti in buona parte obsolete, fragili ed interne ai centri abitati. La Pedemontana si pone come una tra le prime realizzazioni di autostrada che va ad inserirsi in una rete già molto interconnessa e che dunque ottiene una parte consistente del suo effetto deviando il traffico non dalla rete stradale ordinaria ma da altre direttrici autostradali come la A8 Milano-Varese e la A4 Milano-Brescia.

Inoltre la Pedemontana deve porsi il problema del rapporto con i territori che attraversa, cioè con quell'insediamento metropolitano diffuso destinato a costituire una gran parte delle origini e destinazioni degli spostamenti serviti. Un problema che implica notevoli modificazioni dei termini progettuali circa la capillarità del tracciato, la sua capacità di distribuzione, l'attrattività o l'impermeabilità rispetto ai flussi di traffico locale, il rapporto con le varie aree urbane nelle loro differenti caratterizzazioni (zone industriali, grandi poli di attrazione di traffico, zone residenziali, ecc.). Tutti questi temi sono in realtà nuovi per la progettazione di grandi strade: realizzare una grande strada in un contesto di questo genere non significa soltanto costruire un'infrastruttura ma contribuire alla trasformazione di un territorio. E' qui che entra in gioco l'assunzione del territorio come rete di relazioni. La rete va intesa sia tra elementi puntuali, i nodi, luoghi di incontro tra geometrie lineari, che tra elementi areali per caratterizzazioni territoriali e sociali. Progettare il territorio a rete si traduce in progetti infrastrutturali non solo come singole tratte di collegamento tra origini e destinazioni ma, alla grande scala, come sistemi di connessione su trame policentriche dotate di radialità e trasversalità (Moretti, 2004).

L'allegato 1 si colloca nella fase iniziale della fase progettuale con l'intento di costruire una base di rappresentazione territoriale di tipo analitico e svolge un ruolo di descrizione oggettivante del contesto di riferimento. La rappresentazione è tesa al riconoscimento degli elementi strutturali del territorio attraversato dal tracciato della Pedemontana Lombarda relativamente a tre campi descrittivi: il sistema infrastrutturale, il sistema insediativo e il sistema ambientale. Per quanto riguarda il sistema infrastrutturale si evidenziano gli assi autostradali principali che connettono i centri urbani di maggiori dimensioni e le loro intersezioni con il tracciato della Pedemontana Lombarda, la quale inizia nel punto d'intersezione con l'A8 Milano-Varese e si conclude nell'intersezione con l'A4 Milano-Brescia. Per quanto riguarda il sistema insediativo il suolo urbanizzato messo in evidenza delinea come il territorio possa essere diviso in tre fasce principali: nella fascia centrale l'urbanizzazione è molto

più consistente rispetto alle fasce ad Ovest e ad Est. Al contrario, per quanto riguarda il sistema ambientale, le suddette fasce hanno un carattere molto più agricolo e boschivo rispetto a quella centrale. Infatti sono presenti una notevole quantità di campi agricoli, di parchi regionali e di aste fluviali.

Per individuare e quantificare le potenzialità del tracciato della Pedemontana Lombarda dal punto di vista della generazione di energia è necessario comprenderne la sua struttura, per questo ne sono stati individuati gli elementi base suddivisi in sezioni tipo, svincoli e stazioni di servizio.

3.1 – SEZIONI TIPO

Una volta individuate le diverse sezioni del tracciato, ognuna di esse è stata categorizzata in base alla tipologia della sezione e del territorio che essa attraversa. Le tipologie individuate sono le seguenti:

- Sezione a trincea "tipo A" (allegato 2): la trincea consiste in un piano stradale che si trova ad un livello più basso rispetto al piano di campagna.

Il tipo A attraversa territori caratterizzati da una notevole urbanizzazione.

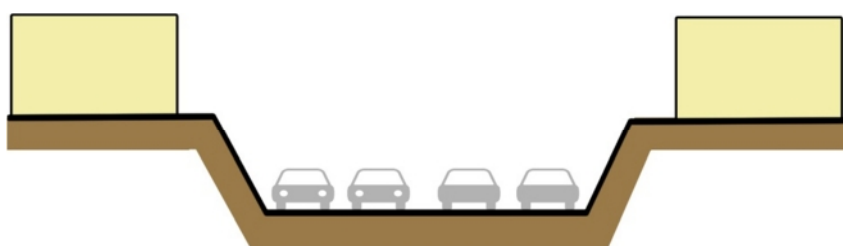


Figura 14 – Sezione a trincea tipo A

- Sezione a trincea "tipo B" (allegato 3): il tipo B attraversa territori caratterizzati da presenza di aree boschive

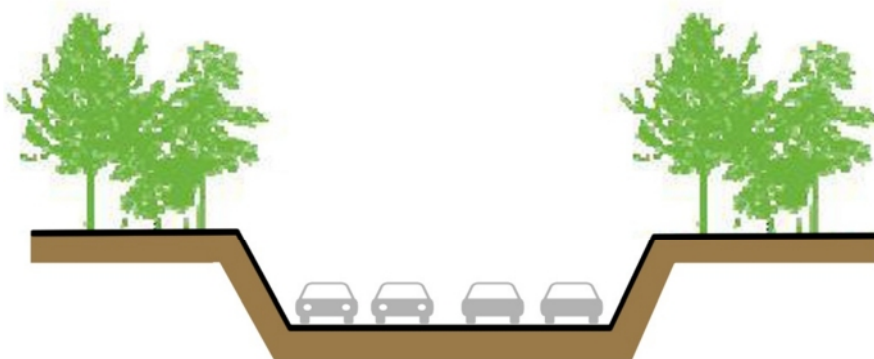


Figura 15 – Sezione a trincea tipo B

- Sezione a trincea "tipo C" (allegato 4): il tipo C attraversa territori caratterizzati da presenza di edificato e aree destinate all'agricoltura.

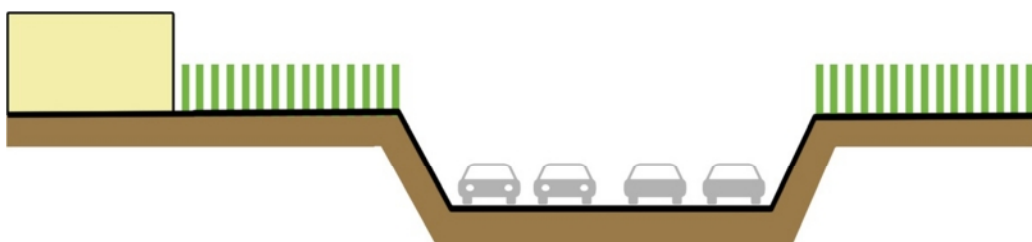


Figura 16 – Sezione a trincea tipo C

- Sezione in rilevato (allegato 5): il rilevato consiste in un piano stradale rialzato rispetto al piano di campagna. In genere lo si trova in continuità di tratti in trincea per seguire l'orografia del terreno.

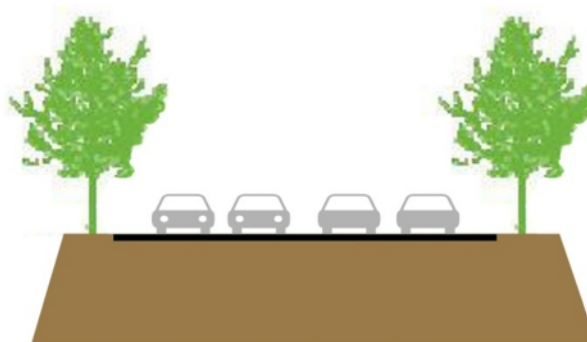


Figura 17 – Sezione in rilevato

- Sezione a galleria artificiale (allegato 6): la galleria consiste in un percorso sotterraneo realizzato scavando prima a cielo aperto e quindi chiudendo la "scatola" con una soletta di cemento armato sopra la quale viene ricollocato il terreno vegetale.

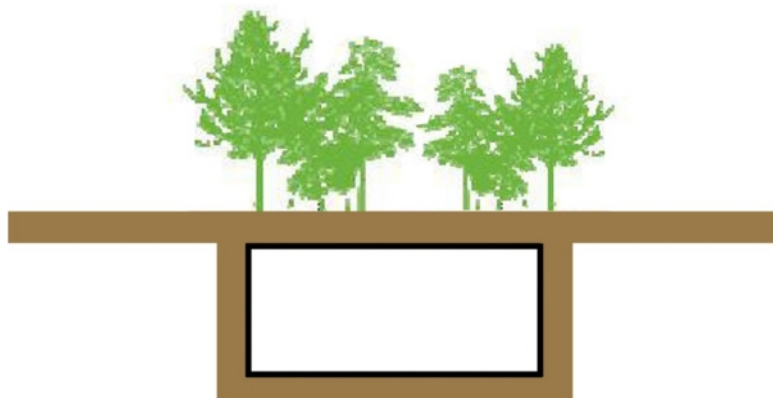


Figura 18 – Sezione a galleria artificiale

In seguito è stata definita una linea temporale delle tecnologie applicabili ad ogni tipologia di sezione (figura 15). Si riporta di seguito l'esempio che riguarda la sezione a trincea "tipo A":

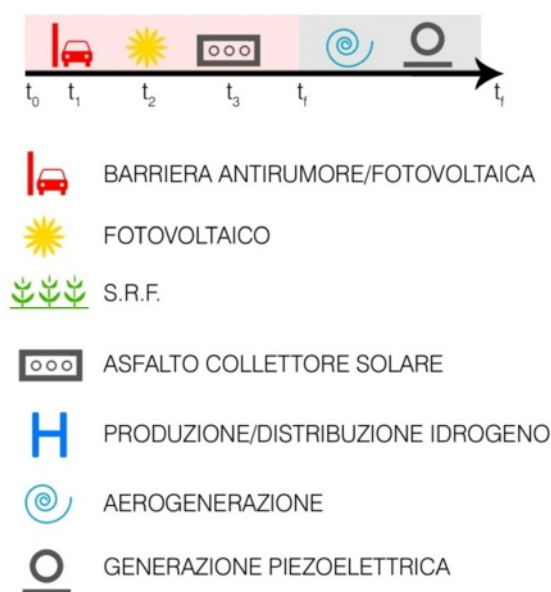


Figura 19 – Linea temporale sezione trincea tipo A

Il criterio con cui è stata pensata la linea temporale si basa sulla fattibilità che ogni tecnologia presenta attualmente: le tecnologie raccolte da t_0 a t_f sono quelle con un bagaglio tecnico che permette di applicarle su larga scala fin da subito, quelle invece che si trovano dopo l'istante t_f sono le tecnologie più recenti e meno sviluppate e che quindi sono più futuribili.

Dopo aver individuato le tecnologie applicabili ad ogni tipologia di sezione è stato fatto un calcolo sommario per comprendere le quantità di energia potenzialmente producibili. Sono calcoli che tengono conto della lunghezza al km lineare di ogni tipologia di sezione in relazione alla tecnologia applicata (nello specifico parco fotovoltaico e short rotation forestry a causa della mancanza di dati tecnici pratici per le altre tecnologie). Per quanto riguarda il calcolo dell'area da destinare alla short rotation forestry si è voluto individuare un buffer utilizzabile lungo il tracciato della sezione a trincea "tipo C" (tabella 1).

SEZIONE "TRINCEA" TIPO C	km/l	Produzione	Linee guida per l'inserimento
PARCO FOTOVOLTAICO	20	6.300.000 kWh/a	è possibile installare impianti fotovoltaici lungo le pendici dei terrapieni rivolti a Sud che costituiscono la trincea stessa. Le pendici offrono 126.000 mq di spazio disponibile.
SHORT ROTATION FORESTRY	20	9.600t 26.915.887 kWh/a	il buffer utilizzabile per la s.r.f. è variabile ma la sua estensione media è di 150m dal tracciato autostradale. Buffer totale=[20.000x(150*2)]mq = = 6.000.000 mq * 0,8 = 4.800.000 mq
ASFALTO COLLETTORE SOLARE	n.d.	n.d.	è possibile utilizzare l'energia solare captata e immagazzinata dall'asfalto per scaldare il manto d'inverno e raffreddarlo d'estate
AEROGENERAZIONE	n.d.	n.d.	è possibile installare impianti di aerogenerazione che sfruttano il movimento dei veicoli lungo tutta l'estensione della sezione a "trincea"
GENERAZIONE PIEZOELETTRICA	n.d.	n.d.	è possibile generare elettricità sfruttando le vibrazioni causate dal movimento dei veicoli

Tabella 1 – Produzione energetica sezione trincea tipo C

Il buffer è un'entità areale creata sulla base di una distanza generalmente, ma non necessariamente, costante rispetto all'entità di riferimento, che può essere puntuale, lineare o areale. Nel caso studio l'entità di riferimento lineare è il tracciato della Pedemontana e l'estensione trasversale del buffer è la media matematica delle molteplici distanze dal tracciato moltiplicata per un fattore di riduzione di 0,8 dato che nella realtà non si potrà destinare a short rotation forestry tutta l'area

adiacente alla trincea.

I dati di produzione conseguiti sono i seguenti:

TRINCEA TIPO A: *parco fotovoltaico* 2.268.000 kWh/a

TRINCEA TIPO B: *parco fotovoltaico* 2.457.000 kWh/a

TRINCEA TIPO C: *parco fotovoltaico* 6.300.000 kWh/a

short rotation forestry (6.000t) 26.915.887 kWh/a

RILEVATO: *barriera fonoassorbente fotovoltaica* 8.273.520 kWh/a

short rotation forestry (12.000t) 53.831.775 kWh/a

GALLERIA: *parco fotovoltaico in sommità* 3.900.000 kWh/a

3.2 – TIPOLOGIE SVINCOLI

Un altro elemento che caratterizza la struttura del tracciato della Pedemontana Lombarda è rappresentato dallo svincolo autostradale. Per ognuno dei sedici svincoli individuati è stato fatto lo stesso tipo di analisi eseguita per le sezioni per quanto riguarda le tecnologie applicabili e la linea temporale di quest'ultime, inoltre per ogni svincolo sono state quantificate le aree di risulta presenti suddivise in aree intercluse ed aree esterne.



SVINCOLO 6	TOTALE (mq)	EFFETTIVA 40% (mq)
SUPERFICIE DI RISULTA	51.749	20.700
SUPERFICIE INTERCLUSA S.I.	16.700	6.680
SUPERFICIE ESTERNA S.E.	35.049	14.020

	SCENARIO 1			SCENARIO 2		
	PV	S.R.F.	kWh/a	PV	S.R.F.	kWh/a
S.I.		100%	37.458	50%	50%	185.729
S.E.	100%		700.980	100%		700.980

Tabella 2 - Scenari svincolo n°6 (allegato 7)

Lo scopo di quantificare le aree di risulta è quello di comprendere quanta energia si può ricavare sfruttandole per l'installazione di parchi fotovoltaici o di coltivazioni di short rotation forestry. Sono stati scelti dei criteri con cui selezionare le aree di risulta da considerare: superficie minima di 500mq (riferimento documento "PVs in Bloom" - E.C.), accessibilità viaria e accessibilità solare. Lo scopo non è quello di proporre un totale sfruttamento delle aree di risulta con tecnologie produttrici di energia

togliendo lo spazio alle mitigazioni ambientali spesso necessarie, ma è quello di fornire delle quantità di produzione di energia per meglio comprendere le potenzialità di queste operazioni.

Per quanto riguarda il calcolo del fotovoltaico la superficie totale disponibile di un'area di risulta viene ridotta del 40% in modo da avere dei risultati il più realistici possibili; questo a causa della distanza minima che i pannelli fotovoltaici devono avere per evitare di ombreggiarsi a vicenda e quindi ridurre l'efficienza dell'impianto. La stima del "40%" è stata ricavata dal confronto di alcuni progetti di parchi fotovoltaici rapportando la superficie totale dell'area alla superficie effettiva captante dei moduli. Per ogni svincolo sono stati ipotizzati due scenari di applicazione delle tecnologie: uno in cui tutte le superfici esterne sono utilizzate per l'installazione di parchi fotovoltaici e quelle intercluse per le colture di short rotation forestry, l'altro in cui quelle esterne sono utilizzate come nel primo scenario invece quelle intercluse per il 50% sono utilizzate per l'installazione di parchi fotovoltaici e per l'altro 50% sono destinate alle colture di short rotation forestry. A questo punto sommando le quantità di energia ricavabili da ogni svincolo si è ricavato il totale d'energia producibile da tutti gli svincoli, ovvero:

SCENARIO 1: 5.148.826 kWh/a

SCENARIO 2: 7.973.629 kWh/a

3.3 – STAZIONI DI SERVIZIO

Un altro elemento che caratterizza la struttura del tracciato della Pedemontana Lombarda sono i nodi rappresentati dalle stazioni di servizio. I progetti di Pedemontana Lombarda sono orientati a connotare le aree di servizio come spazi polifunzionali destinati a rispondere non solo alle necessità degli utenti del sistema autostradale ma anche alle esigenze dell'intero contesto urbano, attraverso un efficiente sistema di svincoli e connessioni con le reti stradali ordinarie. In quest'ottica ciascuna delle tre aree previste lungo il tracciato, in progetto nei comuni di Bellusco, Desio e Mozzate, sarà dotata di servizi fruibili dall'intera collettività quali aree di parcheggio e strutture ricettive e alberghiere. Le aree di servizio costituiranno inoltre punti di accesso alle zone verdi che verranno disegnate intorno all'autostrada, attraverso interconnessioni con la Greenway ciclabile e con i parchi limitrofi. Tra i servizi offerti agli automobilisti anche punti ristoro, aree commerciali con prodotti locali, aree per la sosta e l'assistenza dei TIR, infopoint di Pedemontana Lombarda e postazioni dedicate alla manutenzione dell'autostrada. In continuità con l'attenzione per le tematiche ambientali, Pedemontana Lombarda attrezzerà le aree di servizio per l'erogazione di carburanti alternativi, quali idrogeno, metano e gpl. Per ognuna delle tre stazioni di servizio è stato fatto lo stesso tipo di analisi eseguito per gli altri elementi del tracciato per quanto riguarda le tecnologie applicabili e la linea temporale di quest'ultime (allegato 8).

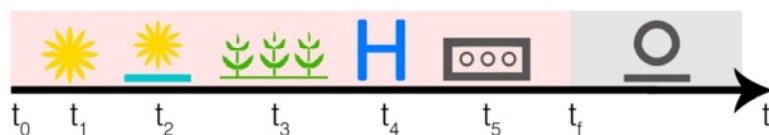


Figura 20 - Linea temporale stazione di servizio

4. APPROFONDIMENTO PROGETTUALE DI UN LUOGO

ABSTRACT CAPITOLO 4

Il presente capitolo affronta tre approfondimenti progettuali di tre luoghi differenti: una stazione di servizio, uno svincolo ed una sezione tipo. L'approfondimento ha l'obiettivo di scendere di scala e fornire delle indicazioni di massima per l'organizzazione spaziale delle tecnologie applicabili ai tre luoghi, quantificando per ognuno di essi l'energia producibile e individuando lo scopo di utilizzo di quest'energia attraverso la definizione di diversi scenari applicativi.

4.1 – STAZIONE DI SERVIZIO N°2 (allegato 9)

Dopo aver quantificato l'energia producibile da ogni elemento della struttura del tracciato pedemontano, si affronta un approfondimento progettuale riguardante la stazione di servizio n°2 presso Desio. Lo scopo di questo approfondimento progettuale è quello di individuare le tecnologie di generazione d'energia realizzabili, in che modo organizzarle all'interno della struttura distributiva già definita dal progetto/concept della Pedemontana e per quali scopi utilizzare l'energia prodotta.

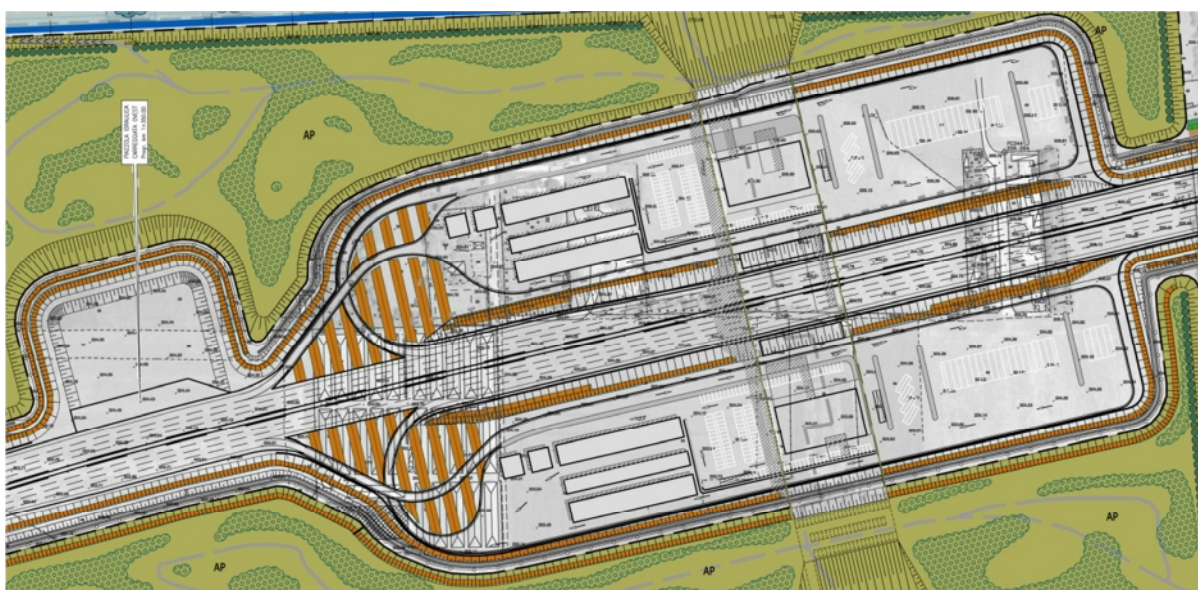


Figura 21 - Stazione di servizio Desio

Dalla planimetria della stazione di servizio si può comprendere l'organizzazione spaziale della stessa: è caratterizzata da una struttura distributiva atipica in cui il punto d'ingresso dei veicoli si trova vicino al punto d'uscita ed è concettualmente divisa in due da un ponte ciclo-pedonale che connette le aree verdi a nord e sud del tracciato autostradale. A sinistra del ponte sono presenti quattro pensiline destinate all'erogazione di carburanti quali idrogeno, metano e gpl, un edificio destinato ad ospitare i servizi commerciali della stazione e un'area di parcheggio per automobili, a destra del ponte sono presenti tre aree di parcheggio destinate agli autoarticolati ed infine al di sotto del ponte sono presenti un edificio destinato ad ospitare altri servizi commerciali e un'area di parcheggio per automobili. La stessa struttura distributiva si trova dall'altro lato del tracciato autostradale.

Inizialmente è stata definita una linea temporale delle tecnologie applicabili e realizzabili per la stazione di servizio tra cui il solare termico, solare fotovoltaico, short rotation forestry, produzione e distribuzione di idrogeno, asfalto collettore e generazione piezoelettrica.

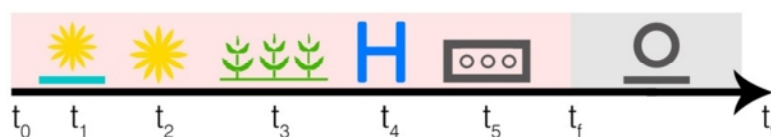


Figura 22 - Linea temporale stazione di servizio Desio

Successivamente si è data un'organizzazione delle tecnologie all'interno della struttura spaziale già definita dal progetto della Pedemontana Lombarda:

- Impianti fotovoltaici e termici possono essere installati sulle coperture degli edifici, delle pensiline di rifornimento, dei parcheggi per le automobili e gli autoarticolati e sulla pendice rivolta a Sud della trincea.
- Colture a short rotation forestry possono essere realizzate nelle aree verdi.
- Grazie al fotovoltaico è possibile alimentare un impianto che produce e distribuisce idrogeno per il rifornimento delle vetture.
- E' possibile installare dei condotti nel manto stradale della stazione di

servizio in modo da soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria per i servizi della stazione stessa.

- E' possibile ricavare energia elettrica dal continuo passaggio dei veicoli in ingresso e in uscita dalla stazione di servizio attraverso un sistema piezoelettrico.

A questo punto lo scopo dell'approfondimento è quello di quantificare l'energia producibile dalle tecnologie presentate (quelle per cui sono disponibili dati numerici di riferimento affidabili) e individuare le funzioni per cui è destinata questa energia (allegato 10).

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva che riguarda il calcolo delle superfici disponibili e i quattro scenari di applicazione delle tecnologie con le relative quantità d'energia prodotta.

AREA DI SERVIZIO DESIO	TOTALE (mq)	EFFETTIVA 40% (mq)
SUPERFICIE COPERTURE PARCHEGGI S.P.	3.530	1.412
SUPERFICIE COPERTURE EDIFICI S.C.	3.100	1.240
SUPERFICIE AREE VERDI S.A.	10.950	4.380
SUPERFICIE PENDICI TRINCEA S.T.	2.000	

	SCENARIO 1			SCENARIO 2			SCENARIO 3			SCENARIO 4		
	PV	S.R.F.	kWh/a	PV	S.R.F.	kWh/a	PV	S.R.F.	kWh/a	PV	S.R.F.	kWh/a
S.P.				100%		70.600	100%		70.600	100%		70.600
S.C.	100%		62.000	100%		62.000	100%		62.000	100%		62.000
S.A.								100%(41t)	61.402	100%		219.000
S.T.							100%		100.000	100%		100.000
TOT.			62.000			132.600			294.002			451.600

Tabella 3 - Scenari applicativi stazione di servizio n°2

Per quale scopo usare l'energia prodotta?

- Per rendere energeticamente autosufficiente la stazione di servizio.
- Per la produzione di idrogeno e la distribuzione dello stesso e carburanti alternativi come metano e gpl. L'idrogeno prodotto soddisferà il fabbisogno in un anno di 10 veicoli.
- Per soddisfare il fabbisogno in un anno di 10 veicoli elettrici.

Per il calcolo di questi consumi si sono presi in considerazione dei riferimenti progettuali reali da cui si sono ricavati i dati necessari.

Per il fabbisogno totale della stazione di servizio si è preso come

riferimento la stazione multienergy dell'ENI presso Collesalveti. Grazie ad un impianto fotovoltaico, ad uno eolico e ad uno di rigenerazione con microturbina a metano è in grado di soddisfare il proprio fabbisogno di energia producendo 350.000 kWh/a ca. Questo dato è stato preso come parametro di quantità minima di energia per soddisfare il fabbisogno energetico per la stazione di servizio di Desio. Per quanto riguarda la produzione di idrogeno si è preso come riferimento il progetto di un impianto di produzione d'idrogeno presso Bolzano Sud sull'Autostrada del Brennero. Rapportando i metri cubi di idrogeno prodotto in un anno con la quantità di veicoli le cui esigenze di rifornimento sono coperte, si trova il fabbisogno annuale di idrogeno di un veicolo ovvero 2.000 metri cubi ca. Se per generare un metro cubo di idrogeno ho bisogno di 6,3 kWh (impianto di Collesalveti), la quantità di energia necessaria a soddisfare un veicolo sarà di 12.600 kWh/a. Per quanto riguarda il rifornimento di elettricità si è preso come riferimento il progetto E-Mobility di Smart ed Enel. Le 100 Smart consumano 750.000 kWh per i 4 anni di durata del progetto. Dividendo i kWh per 4 e a sua volta per 100 si trova il consumo annuale di una vettura ovvero 1.875 kWh. Rapportando questo dato ad altri trovati in rete si utilizza il parametro dei 2.000 kWh/a per il consumo di una vettura elettrica.

Una volta definiti i consumi totali è necessario delineare quattro diversi scenari di applicazione delle tecnologie in modo da affrontare quattro situazioni diverse e soprattutto perché nella realtà il caso più ottimistico è spesso di difficile realizzazione. Il primo scenario prevede l'installazione di impianti fotovoltaici su tutte le coperture degli edifici e delle pensiline presenti. La produzione totale è di 62.000 kWh/a che permette di soddisfare il 18% del fabbisogno d'energia elettrica della stazione di servizio. Il secondo scenario prevede l'installazione di impianti fotovoltaici su tutte le coperture, le pensiline e le coperture dei parcheggi. La produzione totale è di 132.600 kWh/a che permette di soddisfare il 38% del fabbisogno d'energia elettrica della stazione di servizio o il 32% del fabbisogno e il 100% del fabbisogno per le auto elettriche. Il terzo scenario prevede l'installazione di impianti fotovoltaici su tutte le

coperture, le pensiline, le coperture dei parcheggi, sulla pendice della trincea rivolta a Sud e la realizzazione di colture short rotation forestry nelle aree verdi. La produzione totale è di 294.002 kWh/a che permette di soddisfare l'85% del fabbisogno di energia elettrica della stazione di servizio o il 42% del fabbisogno, il 100% del fabbisogno per la produzione di idrogeno e il 100% del fabbisogno per le auto elettriche. Il quarto ed ultimo scenario prevede l'installazione di impianti fotovoltaici su tutte le coperture, le pensiline, le coperture dei parcheggi, sulla pendice della trincea rivolta a Sud e nelle aree verdi. La produzione totale è di 451.600 kWh/a che permette di soddisfare l'85% del fabbisogno d'energia elettrica della stazione di servizio e il 100% del fabbisogno per le auto elettriche, oppure il 60% del fabbisogno della stazione di servizio, il 100% del fabbisogno per la produzione di idrogeno e il 100% del fabbisogno per le auto elettriche.

4.2 – SVINCOLO N° 6 (allegato 11)

Lo svincolo preso in esame è il n°6 il quale si trova in una posizione strategica rispetto al centro abitato del comune di Lentate sul Seveso.

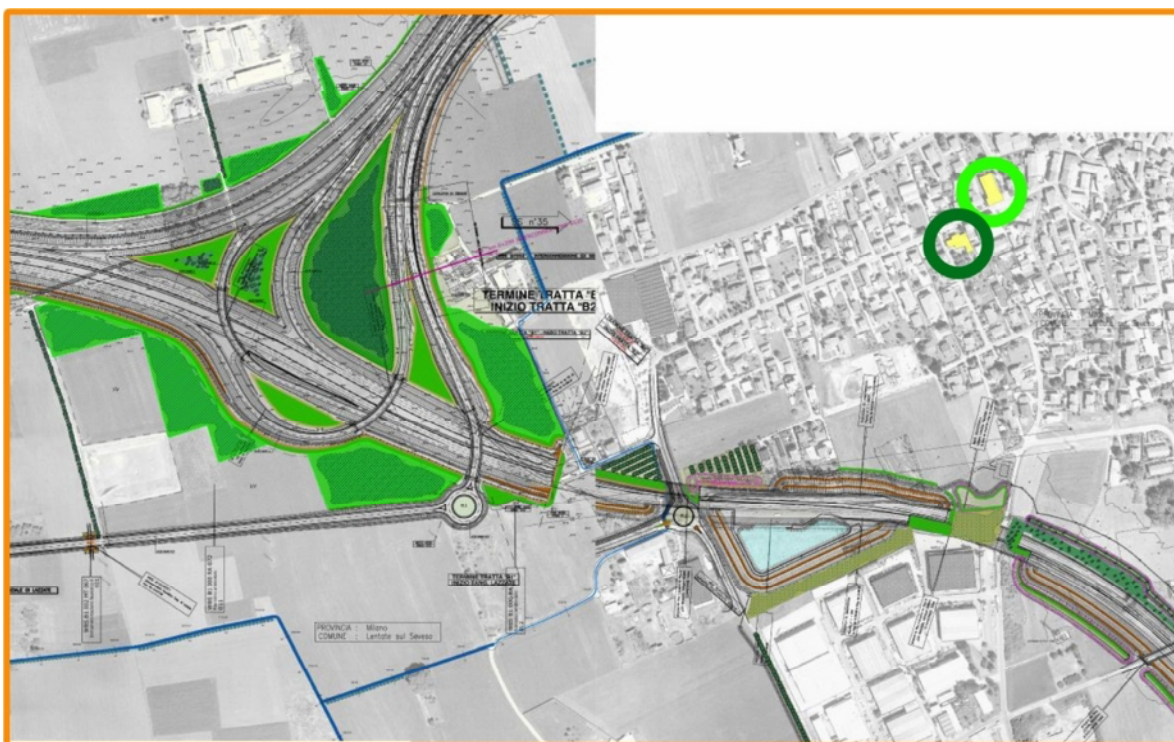


Figura 23 - Svincolo n°6

Dalla planimetria si può notare la vicinanza dello svincolo e delle sue aree verdi alle abitazioni e a due scuole, primaria e dell'infanzia, che possono fungere da destinatarie dell'energia prodotta dallo svincolo stesso. Inizialmente è stata definita una linea temporale delle tecnologie applicabili e realizzabili nello svincolo tra cui il solare fotovoltaico, short rotation forestry, asfalto collettore e generazione piezoelettrica.

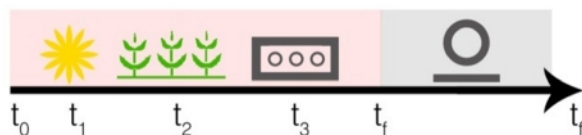


Figura 24 - Linea temporale svincolo n°6

Successivamente si è data un'organizzazione delle tecnologie all'interno della struttura spaziale già definita dal progetto della Pedemontana Lombarda:

- Impianti fotovoltaici possono essere installati nelle aree verdi intercluse ed esterne dello svincolo.
- Colture a short rotation forestry possono essere realizzate nelle medesime aree.
- E' possibile installare dei condotti nel manto stradale dei cavalcavia dello svincolo in modo da soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria per alcune abitazioni limitrofe o per il mantenimento del manto stradale contro il ghiaccio e il calore.
- E' possibile ricavare energia elettrica dal continuo passaggio dei veicoli attraverso un sistema piezoelettrico.

A questo punto lo scopo dell'approfondimento è quello di quantificare l'energia producibile dalle tecnologie presentate (quelle per cui sono disponibili dati numerici di riferimento affidabili) e individuare le funzioni per cui è destinata questa energia (allegato 12).

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva che riguarda il calcolo delle superfici disponibili e i due scenari di applicazione delle tecnologie con le relative quantità d'energia prodotta.

SVINCOLO N°6 LENTATE SUL SEVESO	TOTALE (mq)	EFFETTIVA 40% (mq)
SUPERFICIE ESTERNA S.E.	48.179	19.272
SUPERFICIE INTERCLUSA S.I.	21.366	8.546

	SCENARIO 1			SCENARIO 2		
	PV	S.R.F.	kWh/a	PV	S.R.F.	kWh/a
S.E.		100%(96t)	270.163	100%		963.580
S.I.	100%		427.320	100%		427.320
TOT.			697.483			1.390.900

Tabella 4 - Scenari applicativi svincolo n°6

Per quale scopo usare l'energia prodotta?

- Rendere energeticamente autosufficienti la scuola primaria e dell'infanzia.
- Fornire l'energia elettrica prodotta al comune di Lentate sul Seveso.

Per il calcolo di questi consumi si sono presi in considerazione dei riferimenti progettuali reali da cui si sono ricavati i dati necessari.

Per il fabbisogno di energia elettrica delle scuole si è preso come riferimento l'analisi energetica della scuola primaria "G.Galilei" del Comune di Corsico (MI) effettuata nell'ambito del progetto "EcoJoule", cofinanziato dalla Regione Lombardia. Nel report viene indicato che il consumo annuale di energia elettrica della scuola è di 120.000 kWh. Essendo le dimensioni della scuola paragonabili a quelle del caso studio si è preso questo dato come riferimento. Per quanto riguarda l'energia elettrica fornita al comune di Lentate sul Seveso si è voluto individuare il numero di famiglie a cui si soddisferebbe il fabbisogno energetico e per questo il dato di riferimento è quello del consumo medio annuo di energia elettrica di una famiglia di quattro persone, ovvero 3.000 kWh.

Una volta definiti i dati di riferimento si sono delineati due diversi scenari di applicazione delle tecnologie in modo da affrontare situazioni applicative diverse. Il primo scenario prevede l'installazione di impianti fotovoltaici nelle aree intercluse dello svincolo e di colture a short rotation forestry nelle aree esterne; questo perché l'area interclusa è quella di maggiori dimensioni e quindi più adatta ad ospitare un parco fotovoltaico. La produzione totale è di 697.483 kWh/a che permette di soddisfare il 100% del fabbisogno d'energia elettrica delle due scuole e soddisfa il fabbisogno d'energia elettrica di 152 famiglie. Il secondo scenario prevede l'installazione di impianti fotovoltaici nelle aree intercluse ed esterne dello svincolo. La produzione totale è di 1.390.900 kWh/a che permette di soddisfare il 100% del fabbisogno d'energia elettrica delle due scuole e soddisfa il fabbisogno d'energia elettrica di 384 famiglie.

4.3 – SEZIONE TIPO TRINCEA (allegato 13)

Il tratto di sezione a trincea preso in esame si trova in una posizione strategica rispetto al centro abitato del comune di Cesano Maderno a causa della presenza nelle vicinanze di una Scuola Secondaria e alla previsione di una barriera antirumore che protegge l'abitato.

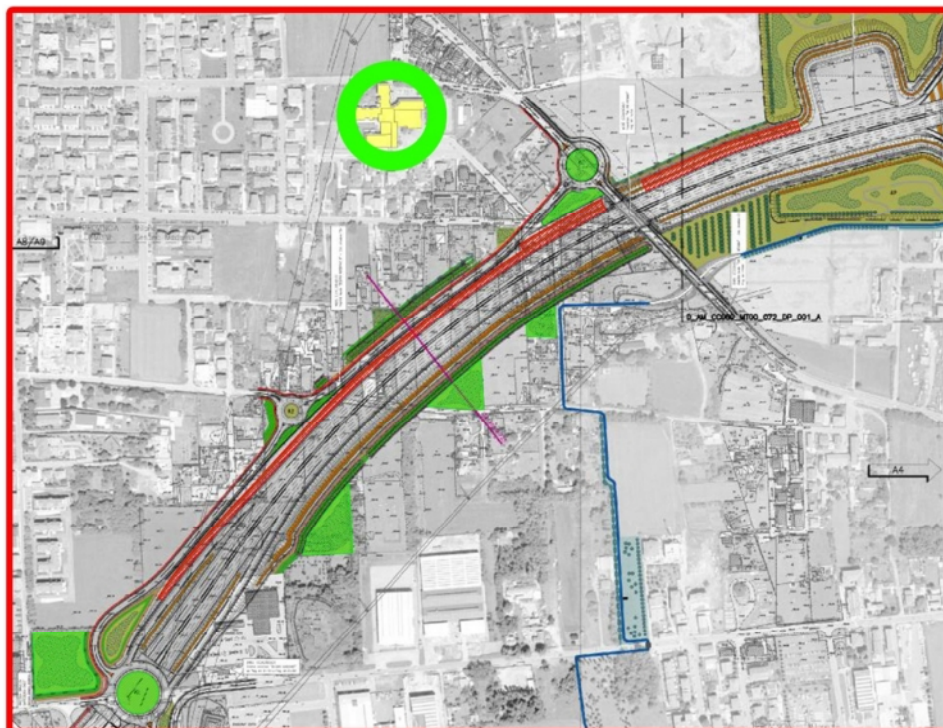


Figura 25 - Trincea tipo A

Inizialmente è stata definita una linea temporale delle tecnologie applicabili e realizzabili per il tratto di trincea in esame tra cui la barriera antirumore fotovoltaica, solare fotovoltaico, asfalto collettore, aerogenerazione e generazione piezoelettrica.

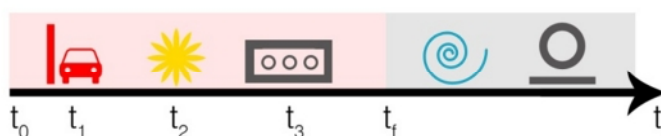


Figura 26 - Linea temporale trincea tipo A

Successivamente si è data un'organizzazione delle tecnologie all'interno della struttura spaziale già definita dal progetto della Pedemontana Lombarda:

- Impianti fotovoltaici possono essere installati nelle aree verdi adiacenti al

tracciato, sulla pendice della trincea rivolta a Sud e integrati nella barriera antirumore.

- Colture a short rotation forestry possono essere realizzate nelle aree verdi adiacenti al tracciato.

- E' possibile installare dei condotti nel manto stradale in modo da soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria per alcune abitazioni limitrofe o per il mantenimento del manto stradale contro il ghiaccio e il calore.

- E' possibile ricavare energia elettrica dallo spostamento d'aria causato dal passaggio dei veicoli attraverso delle turbine eoliche poste sul lato della carreggiata.

- E' possibile ricavare energia elettrica dal continuo passaggio dei veicoli attraverso un sistema piezoelettrico.

A questo punto lo scopo dell'approfondimento è quello di quantificare l'energia producibile dalle tecnologie presentate (quelle per cui sono disponibili dati numerici di riferimento affidabili) e individuare le funzioni per cui è destinata questa energia (allegato 14). Di seguito si riporta una tabella riassuntiva che riguarda il calcolo delle superfici disponibili e i due scenari di applicazione delle tecnologie con le relative quantità d'energia prodotta.

TRINCEA TIPO A CESANO MADERNO	TOTALE (mq)	EFFETTIVA 40% (mq)
SUPERFICI VERDI S.V.	17.286	6.914
BARRIERA FOTOVOLTAICA (l. 420m) B.F.		
FOTOVOLTAICO PENDICE TRINCEA F.P.	9.690	

	SCENARIO 1			SCENARIO 2			SCENARIO 3			SCENARIO 3		
	PV	S.R.F.	kWh/a	PV	S.R.F.	kWh/a	PV	S.R.F.	kWh/a	PV	S.R.F.	kWh/a
S.V.					100%(34t)	96.931	100%		345.720	100%		345.720
B.F.	100%		272.412	100%		272.412	100%		272.412	100%		272.412
F.P.										100%		484.500
TOT.			272.412			369.343			618.132			1.102.632

Tabella 5 - Scenari applicativi sezione a trincea

Per quale scopo usare l'energia prodotta?

- Rendere energeticamente autosufficiente la scuola secondaria.
- Fornire l'energia elettrica prodotta al comune di Cesano Maderno.

Per il calcolo di questi consumi si sono presi in considerazione dei riferimenti progettuali reali da cui si sono ricavati i dati necessari.

Per il fabbisogno di energia elettrica della scuola si è preso come riferimento l'analisi energetica della scuola primaria "G.Galilei" del Comune di Corsico (MI) effettuata nell'ambito del progetto "EcoJoule", cofinanziato dalla Regione Lombardia. Nel report viene indicato che il consumo annuale di energia elettrica della scuola è di 120.000 kWh. Essendo le dimensioni della scuola paragonabili a quella del caso studio si è preso questo dato come riferimento. Per quanto riguarda l'energia elettrica fornita al comune di Cesano Maderno si è voluto individuare il numero di famiglie a cui si soddisferebbe il fabbisogno energetico e per questo il dato di riferimento è quello del consumo medio annuo di energia elettrica di una famiglia di quattro persone, ovvero 3.000 kWh.

Una volta definiti i dati di riferimento si sono delineati quattro diversi scenari di applicazione delle tecnologie in modo da affrontare situazioni applicative diverse. Il primo scenario prevede la realizzazione di una barriera antirumore fotovoltaica che protegge acusticamente le abitazioni in prossimità del tracciato autostradale. La produzione totale è di 272.412 kWh/a che permette di soddisfare il 100% del fabbisogno d'energia elettrica della scuola e soddisfa il fabbisogno d'energia elettrica di 50 famiglie. Il secondo scenario prevede la realizzazione della barriera antirumore fotovoltaica e di colture a short rotation forestry nelle aree di risulta adiacenti al tracciato. La produzione totale è di 369.343 kWh/a che permette di soddisfare il 100% del fabbisogno d'energia elettrica della scuola e soddisfa il fabbisogno d'energia elettrica di 83 famiglie. Il terzo scenario prevede la realizzazione della barriera antirumore fotovoltaica e l'installazione di impianti fotovoltaici nelle aree di risulta adiacenti al tracciato. La produzione totale è di 618.132 kWh/a che permette di soddisfare il 100% del fabbisogno d'energia elettrica della scuola e soddisfa il fabbisogno d'energia elettrica di 166 famiglie. Il quarto scenario

prevede la realizzazione della barriera antirumore fotovoltaica e l'installazione di impianti fotovoltaici nelle aree di risulta adiacenti al tracciato e sulla pendice della trincea rivolta a Sud. La produzione totale è di 1.102.632 kWh/a che permette di soddisfare il 100% del fabbisogno d'energia elettrica della scuola e soddisfa il fabbisogno d'energia elettrica di 327 famiglie.

5. GESTIONE DELL'ENERGIA

Un tema che non si deve sottovalutare nell'analisi di tutto il procedimento di attuazione di qualsiasi impianto di produzione d'energia è quello della gestione dell'intero iter che sta dietro alla realizzazione dello stesso. Per fare in modo che un progetto sia sostenibile non solo ambientalmente ma anche economicamente è necessario comprendere chi possono essere gli attori coinvolti nel processo di attuazione di un'opera: chi è il proprietario del terreno su cui si vuole realizzare un impianto? Chi gestirà l'impianto stesso? A chi converrà economicamente o energeticamente la realizzazione dell'impianto?

Per questo si è svolta una ricerca mirata ad individuare gli attori che stanno dietro all'attuazione di alcuni dei progetti precedentemente illustrati e di seguito se ne mettono in evidenza le caratteristiche.

ROTATORIA FOTOVOLTAICA AD AFFI:

L'area di progetto è di proprietà della Regione Veneto e il costo dell'opera è stato sostenuto dalla ditta tedesca realizzatrice per un valore di 5 milioni e 75mila euro la quale gestirà l'impianto per 20 anni. Inoltre incasserà per 20 anni i contributi europei Gse spa, società che si occupa dell'incentivazione delle fonti rinnovabili in Italia. Il Comune riceverà l'energia elettrica per alimentare l'illuminazione pubblica, con un risparmio di circa 90mila euro l'anno, oltre ad un introito di altri 120mila euro con la vendita dell'energia elettrica prodotta dall'impianto. Il tutto a fronte del pagamento di 10mila euro di affitto all'anno alla Regione Veneto per l'occupazione dell'area.

BARRIERA FONOASSORBENTE FOTOVOLTAICO AD OPPEANO:

Grazie ad un accordo tra Anas e la ditta appaltatrice italiana il costo dell'opera è stato sostenuto da quest'ultima per un valore di oltre 5 milioni di euro e gestirà l'impianto per 20 anni. Il Comune riceverà l'energia elettrica per alimentare l'illuminazione pubblica.

PARCO FOTOVOLTAICO LUNGO UN'AUTOSTRADA NELL'OREGON:

L'area di progetto è di proprietà dell'Oregon Department of Transportation. Il costo dell'opera è stato sostenuto dalla Portland General Electric per un valore di 1,3 milioni di dollari la quale è incaricata di realizzare l'opera ed incasserà gli incentivi dall'Energy Trust of Oregon. L'elettricità prodotta di giorno sarà ceduta alla Portland General Electric che la restituirà di notte per l'illuminazione dello svincolo autostradale.

TUNNEL FOTOVOLTAICO IN GERMANIA:

L'area di progetto era di proprietà dello Stato ma è stata acquistata dalla compagnia Goldbach-Hoesbach, l'azienda locale fornitrice di elettricità. Il costo dell'opera è stato sostenuto dalla Goldbach-Hoesbach e dall'azienda installatrice dell'impianto per un valore di 11 milioni di euro che verranno ripagati in 16 anni grazie al risparmio energetico ottenuto. Il vicino comune di Aschaffenburg riceverà l'energia e potrà così soddisfare il fabbisogno energetico medio annuo di circa 600 abitazioni.

Il modello più utilizzato per l'attuazione di questi progetti è il P.P.P. (Public-Private Partnership). Il ricorso al P.P.P. si è diffuso sempre più a livello europeo ed internazionale fondamentalmente per il fatto che il settore pubblico trae beneficio in termini economico-finanziari dalla presenza dei privati attraverso una riduzione del proprio impegno finanziario complessivo e, più in generale, da un miglioramento della qualità dei servizi erogati. Le forme di collaborazione tra settore pubblico e privato garantiscono significativi vantaggi nella progettazione e realizzazione di interventi relativi allo sviluppo infrastrutturale; tra i principali vantaggi si segnalano:

- Incremento del potenziale di dotazione infrastrutturale a parità di risorse pubbliche impegnate;
- Miglioramento dell'efficacia della fase di programmazione degli interventi;

- Miglioramento della qualità complessiva delle infrastrutture realizzate e dei servizi erogati;
- Introduzione di meccanismi che stimolano un'effettiva concorrenza sui costi di realizzazione e gestione delle infrastrutture.

6 – IPOTESI DI FORNITURA DI ENERGIA DA PEDEMONTANA AL TERRITORIO

ABSTRACT CAPITOLO 6

Il presente capitolo propone delle ipotesi di fornitura di energia dal tracciato della Pedemontana al territorio attraversato da essa. Viene quindi applicato il concetto di autostrada come condotto energetico in modo che l'autostrada si rapporti osmoticamente con i luoghi che attraversa, con differenti modalità, rispetto alle diverse aree lungo il tracciato, leggendo e interpretando i diversi layers che si sovrappongono e intersecano: paesaggio agrario, paesaggio urbano, elementi sensibili, sovrapponendoli al tracciato per ricavarne la trama delle relazioni energetiche.

Nell' allegato 15 sono state individuate e mappate una serie di funzioni ritenute "sensibili" all'energia prodotta dal tracciato autostradale e, per ogni elemento strutturale del tracciato che si relazione con una funzione, si evidenzia uno scenario applicativo di fornitura energetica dal tracciato alla funzione stessa. Viene quindi applicato il concetto di autostrada come condotto energetico in modo che l'autostrada si rapporti osmoticamente con i luoghi che attraversa, con differenti modalità, rispetto alle diverse aree lungo il tracciato, leggendo e interpretando i diversi layers che si sovrappongono e intersecano: paesaggio agrario, paesaggio urbano, elementi sensibili, sovrapponendoli al tracciato per ricavarne la trama delle relazioni energetiche.

L'obiettivo è quello di mettere in evidenza tutti i casi possibili di relazione energetica tra tecnologia, elemento strutturale e funzione.

L'impostazione dell'allegato 15 consiste in una serie di "box" che, riprendendo il colore dell'elemento strutturale del tracciato, contengono le tecnologie e gli scopi dell'uso dell'energia ricavata da esse insieme ad una breve spiegazione del procedimento che si mette in atto. Per quanto riguarda gli svincoli (box arancione) i casi possibili individuati

sono tre: nel primo caso gli impianti fotovoltaici installati nelle aree di risulta dello svincolo producono l'energia elettrica destinata a soddisfare parte del fabbisogno elettrico di alcune abitazioni e dell'autostrada; nel secondo caso gli impianti fotovoltaici installati nelle aree di risulta dello svincolo producono l'energia elettrica destinata a contribuire alla produzione di idrogeno e alla ricarica delle vetture elettriche della stazione di servizio di Mozzate; nel terzo caso gli impianti fotovoltaici installati nelle aree di risulta dello svincolo producono l'energia elettrica destinata a soddisfare parte del fabbisogno elettrico del vicino Centro Scolastico del comune di Lissone.

Un'altra applicazione possibile riguarda la sezione a trincea tipo A (box rosso) in cui l'impianto fotovoltaico installato sulla pendice rivolta a Sud e l'impianto di aerogenerazione producono l'energia elettrica destinata a soddisfare parte del fabbisogno elettrico di alcune abitazioni e dell'autostrada.

Un'ulteriore applicazione riguarda la sezione della galleria artificiale (box giallo) in cui l'impianto fotovoltaico installato sulla copertura della galleria e l'impianto di aerogenerazione producono l'energia elettrica destinata a soddisfare parte del fabbisogno elettrico del vicino Ospedale di Desio. Si deve tenere in considerazione che in molti casi la galleria artificiale è utilizzata per garantire la continuità ambientale di aree verdi e di conseguenza gli eventuali impianti fotovoltaici dovranno essere integrati progettualmente all'interno delle aree interessate.

Un'altra applicazione possibile riguarda la sezione in rilevato (box blu) in cui la barriera antirumore fotovoltaica e l'impianti di aerogenerazione producono l'energia elettrica destinata a soddisfare parte del fabbisogno elettrico di alcune abitazioni e dell'autostrada. In questo caso la barriera svolge un duplice compito: contribuisce alla riduzione del rumore generato dal passaggio dei veicoli e genera elettricità per il comune adiacente.

Un'ulteriore applicazione possibile riguarda la stazione di servizio di Bellusco (box azzurro) in cui l'asfalto collettore solare e l'impianto di generazione piezoelettrica producono energia termica ed elettrica destinate a soddisfare parte del fabbisogno termico ed elettrico della

stazione di servizio stessa. Il caso in esame rappresenta uno scenario futuribile dato il carattere ancora sperimentale delle tecnologie proposte. Infine l'ultima applicazione possibile riguarda la sezione a trincea tipo C (box verde) in cui vengono presi in considerazione due scenari di trasformazione: il primo in cui la biomassa è trasformata in una centrale di teleriscaldamento la quale fornisce l'energia termica ed elettrica ad alcune abitazioni, il secondo in cui la biomassa è trasformata in materia prima (pellet) usata dagli impianti di riscaldamento delle singole abitazioni.

E' presente la consapevolezza che vengono proposti degli scenari ideali che non vengono approfonditi ad una scala necessaria per far si che si possa verificare la loro attuabilità ma la volontà è quella di fornire una proposta di nuovi strumenti per la progettazione del binomio infrastruttura/territorio; un nuovo modo di intendere il concetto di autostrada e conseguentemente una necessaria innovazione dei modi progettuali, delle procedure e delle politiche gestionali.

7. CONCLUSIONI

La presente tesi approfondisce il tema dell'infrastruttura come "condotto energetico" con l'obiettivo di dimostrare la sua potenzialità di generatore di energia al servizio del territorio che attraversa. L'obiettivo della tesi è quello di individuare, attraverso degli scenari attuativi ideali, delle strategie di applicazione del tema affrontato che riguardino l'organizzazione spaziale delle tecnologie e la gestione necessaria alla loro attuazione, mettendo in evidenza come produrre l'energia, in che modo utilizzarla per il tracciato stesso o per il territorio e quali tipologie di accordi tra enti mettere in atto per la loro attuazione. La ricerca nel dibattito teorico contemporaneo sulle varie posizioni circa il tema dell'autostrada come condotto energetico ha permesso di comprendere al meglio in cosa consiste il cambiamento nel modo di concepire l'autostrada rispetto al modello tradizionale e quale sia la strada condivisa che si vuole percorrere nell'affrontare progettualmente il rapporto tra infrastruttura e territorio: dall'autostrada tubo all'autostrada membrana osmotica. In seguito si è ritenuto necessario incanalare questo concetto in un caso studio in modo da comprendere quali possono essere le nuove modalità con cui affrontare il tema del rapporto d'energia tra infrastruttura e territorio. Per questo motivo nella fase progettuale iniziale si è voluto descrivere oggettivamente il contesto di riferimento attraverso una rappresentazione territoriale di tipo analitico. La rappresentazione è tesa al riconoscimento degli elementi strutturali del territorio attraversato dal tracciato della Pedemontana Lombarda relativamente a tre campi descrittivi: il sistema infrastrutturale, il sistema insediativo e il sistema ambientale. Ciò ha permesso di comprendere la struttura del territorio attraversato dalla Pedemontana Lombarda in modo da avere un quadro di riferimento chiaro per poter intraprendere ogni tipo di discorso riguardante il suo rapporto d'energia con il tracciato. Rapporto d'energia che non può prescindere anche dalla conoscenza della struttura del tracciato della Pedemontana Lombarda, infatti sono stati individuati quelli che si ritengono

gli elementi strutturali del tracciato suddivisi in svincoli, tipi di sezione e stazioni di servizio e si sono ricavate delle quantità di energia producibili dallo sfruttamento di tecnologie realizzate negli elementi stessi. A questo punto per mettere in evidenza le dinamiche che si creano in operazioni di energia tra infrastruttura e territorio si è deciso di affrontare degli approfondimenti progettuali di tre luoghi differenti: una stazione di servizio, uno svincolo ed una sezione tipo. L'approfondimento ha l'obiettivo di scendere di scala e fornire delle indicazioni di massima per l'organizzazione spaziale delle tecnologie applicabili ai tre luoghi, quantificando per ognuno di essi l'energia producibile e individuando lo scopo di utilizzo di quest'energia attraverso la definizione di diversi scenari applicativi. Infine il lavoro si conclude con le ipotesi proposte di fornitura di energia dal tracciato della Pedemontana al territorio attraversato da essa. Viene quindi applicato il concetto di autostrada come condotto energetico in modo che l'autostrada si rapporti osmoticamente con i luoghi che attraversa, con differenti modalità, rispetto alle diverse aree lungo il tracciato, leggendo e interpretando i diversi layers che si sovrappongono e intersecano: paesaggio agrario, paesaggio urbano, elementi sensibili, sovrapponendoli al tracciato per ricavarne la trama delle relazioni energetiche.

La tesi vuole dimostrare che è presente un potenziale per effettuare delle operazioni di fornitura di energia dal tracciato autostradale al territorio attraversato, basate sulla progettazione integrata tra pianificazione spaziale degli interventi e della gestione necessaria all'attuazione degli interventi stessi. Inoltre la volontà non è quella di proporre un totale sfruttamento delle aree di risulta con tecnologie produttrici di energia togliendo lo spazio alle mitigazioni ambientali spesso necessarie, ma è quella di fornire una proposta di nuovi strumenti per la progettazione delle reti infrastrutturali, le quali possono diventare il motore dei processi di riqualificazione del territorio e delle città. E' presente la consapevolezza che vengono proposti degli scenari ideali che non vengono approfonditi ad una scala necessaria per far sì che si possa verificare la loro attuabilità ma la volontà è quella di fornire una proposta

di nuovi strumenti per la progettazione del binomio infrastruttura/territorio, un nuovo modo di intendere il concetto di autostrada e conseguentemente una necessaria innovazione dei modi progettuali, delle procedure e delle politiche gestionali.

8. BIBLIOGRAFIA

- Angelucci, F. (2011). *La costruzione del paesaggio energetico*. Milano. Franco Angeli s.r.l.
- Belli, A. et al. (2008). *Territori regionali e infrastrutture. La possibile alleanza*. Milano. Franco Angeli s.r.l.
- Bulkeley, H. et al. (2010). *Cities and low carbon transitions*. New York. Routledge.
- Fabbri, F. (2007). *Le colture a scopo energetico sul territorio nazionale*. In: *Colture a scopo energetico e ambientale. Sostenibilità, diversità e conservazione del territorio*, Convegno APAT, Roma, 13-14.
- Facciotto, G., Mughini, G. (2003). *Modelli colturali e produttività della selvicoltura da biomassa*. *L'informatore Agrario*, 10: 95-98.
- Ferraresi, G., Moretti, A., Facchinetti, M. (2004). *Reti, attori, territorio. Forme e politiche per progetti di infrastrutture*. Milano. FrancoAngeli s.r.l.
- Velikov, K., Thun, G. (2010). "Conduit urbanism", *Landscapes of energy*. Harvard University Graduate School of Design, 2, 83-94.
- Ambrosiano, M.F., Bordignon, M., Etro, F. (2004). *Investimenti in infrastrutture. Patto di stabilità e Partnership pubblico-privata*. Milano. UCSC.
- Etro, F. (2007). *Public-Private Partnership*. Working paper. Milano Bicocca.

SITOGRAFIA

- Angelucci, F. (2010). *Paesaggi energetici e strade dell'energia*.
<http://gefisecologia.blogspot.it/2010/01/paesaggi-energetici-e-strade.html>
- Arizona State University project (2007).
<http://archinect.com/blog/article/21451130/here-goes-please-comment>
- Autostrada del Brennero SpA.
<http://www.autobrennero.it/it/Area-Tecnica/Sviluppo-sostenibile/Fotovoltaico>
- Autostrade per l'Italia: il piano fotovoltaico (2007).
http://www.autostrade.it/sostenibilita/piano_fotovoltaico.html
- Barriere antirumore fotovoltaiche
<http://www.barrierafotovoltaica.it/index.php/it/-barriera-oppeano>
<http://www.barrierafotovoltaica.it/index.php/it/barriera-a22>
- British Columbia, Canada Hydrogen Highway (2005)
<http://www.hydrogencarsnow.com/BC-Canada-hydrogen-highway.htm>
- Bulkeley, H. (2011). *Cities and the low carbon transition*.
<http://www.europeanfinancialreview.com/?p=3541>

- Diamantini, C. et al. (2011). "Verso infrastrutture osmotiche".
<http://a22eco.wordpress.com>
- E-Mobility. <http://www.e-mobilityitaly.it/il-progetto/gli-obiettivi>
- E-Moving. <http://www.e-moving.it/home/cms/emv/progetto>
- Energy Harvesting (2010).
<http://www.officinaenergie.net/trasformateria/2010/12/energy-harvesting-tappeti-piezoelettrici>
- Ferraresi, G., Moretti, A. (2001). *Progetto di territorio e progetto di rete: sul caso della rete pedemontana lombarda*.
<http://www.francoangeli.it/riviste>
- FreeWays to Fuel. <http://freewaystofuel.org>
- Genera Energy Partners to plant switchgrass along interstates (2010).
<http://advancedbiofuelsusa.info/genera-energy-partners-with-tennessee-dot-to-plant-switchgrass-along-interstates>
- Green light on wind energy produced by French lorries (2010).
<http://e-blogs.wikio.co.uk/france-green-light-on-wind-energy-produced-by-lorries-zooming-by>
- Harvesting clean energy along the road (2009).
<http://green.blogs.nytimes.com/2009/07/23/harvesting-clean-energy-along-the-road>
- HyWays. <http://www.hyways.de>
- Innowattech (2007). <http://www.innowattech.co.il>
- Kmzeroroad (2010). <http://www.kmzeroroad.it>
- Pedemontana Lombarda (2009). <http://www.pedemontana.com>
- Photovoltaic Noise Barriers (2001).
<http://www.pvresources.com/PVSystems/NoiseBarriers.aspx>
- Scandinavian Hydrogen Highway Partnership.
<http://www.scandinavianhydrogen.org>
- Solar roadways. <http://solarroadways.com>
- The Oregon Solar Highway (2012).
http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/OIPP/inn_solarhighway.shtml
- The power beneath your feet (2010).
http://web-japan.org/trends/09_sci-tech/sci100107.html
- Wind from Passing Trucks Powers Highway Equipment (2011).
<http://cleantechconcepts.com/?p=7>

9. ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – INTERPRETAZIONE ANALITICA
- ALLEGATO 2 – SEZIONE TRINCEA TIPO A
- ALLEGATO 3 – SEZIONE TRINCEA TIPO B
- ALLEGATO 4 – SEZIONE TRINCEA TIPO C
- ALLEGATO 5 – SEZIONE IN RILEVATO
- ALLEGATO 6 – SEZIONE GALLERIA ARTIFICIALE
- ALLEGATO 7 – SVINCOLO N°6
- ALLEGATO 8 – STAZIONI DI SERVIZIO
- ALLEGATO 9 – STAZIONE MULTIENERGY DESIO
- ALLEGATO 10 – SCENARI STAZIONE MULTIENERGY DESIO
- ALLEGATO 11 – SVINCOLO N°6 LENTATE SUL SEVESO
- ALLEGATO 12 – SCENARI SVINCOLO N°6 LENTATE SUL SEVESO
- ALLEGATO 13 – SEZIONE TRINCEA CESANO MADERNO
- ALLEGATO 14 – SCENARI SEZIONE TRINCEA CESANO MADERNO
- ALLEGATO 15 – IPOTESI FORNITURA ENERGIA