

Maria Cristina Vigo Majello

**Sistemi innovativi per l'implementazione energetica del patrimonio edificato:
dispositivi piezoelettrici applicati alle pavimentazioni**

tesi di dottorato
XXV ciclo 2010 - 2013

tutors
GABRIELLA CATERINA
SERENA VIOLA

coordinatore
MARIA RITA PINTO

aprile 2013

DOTTORATO DI RICERCA IN RECUPERO EDILIZIO E AMBIENTALE
Università degli Studi di Napoli “Federico II” – Università degli Studi di Genova – Università degli Studi di Palermo

INDICE

CAPITOLO I: RECUPERO DEGLI SPAZI APERTI DI FRUIZIONE COLLETIVA E SISTEMI PIEZOELETTRICI.

1.1 Recupero del patrimonio edificato per la produzione di energia pulita.

1.1.1 Spazi aperti di fruizione collettiva e consumi energetici.

1.1.2 Sistemi innovativi sperimentali per la produzione di energia pulita.

1.1.3 Integrabilità dei sistemi piezoelettrici per il recupero degli spazi aperti di fruizione collettiva.

ALLEGATI:

SCHEDE Sistemi innovativi sperimentali

1.2 Materiali piezoelettrici per la produzione di energia “pulita”.

1.2.1 L'evoluzione della tecnologia piezoelettrica per la produzione di energia “pulita”.

1.2.2 Comportamento piezoelettrico diretto per la generazione di energia “pulita”.

1.2.3 Materiali ceramici piezoelettrici.

1.3 Analisi dei sistemi, brevettati e sperimentati, di pavimentazioni piezoelettriche per la produzione di energia dal movimento.

1.3.1 Tappeti piezoelettrici.

1.3.2 Piastrelle piezoelettriche.

1.3.3 Dispositivi piezoelettrici per pavimentazioni.

ALLEGATI:

SCHEDE DA 1 A 10

Brevetti depositati: dispositivi che sfruttano il processo piezoelettrico diretto.

SCHEDE DA 1 A 9

Esperienze sperimentali: dispositivi che sfruttano il processo piezoelettrico diretto.

Bibliografia

CAPITOLO II: L'ELEMENTO TECNICO PAVIMENTAZIONE E LA PRODUZIONE DI ENERGIA PIEZOELETTRICA

2.1 Le pavimentazioni degli spazi aperti di fruizione collettiva nei centri storici.

2.2 Requisiti per le pavimentazioni piezoelettriche per il recupero dei percorsi pedonali nelle aree urbane (Norma UNI 7999:1979 Edilizia. Pavimentazioni. Analisi dei Requisiti)

2.2.1 Requisiti derivanti da fattori meccanici.

2.2.2 Requisiti derivanti da fattori fisici e/o fisico tecnici.

2.2.3 Requisiti derivanti da fattori idraulici.

2.2.4 Requisiti derivanti da fattori chimico fisici.

- 2.2.5 *Requisiti derivanti da fattori elettrici.*
- 2.2.6 *Requisiti derivanti da fattori biologici.*
- 2.2.7 *Requisiti derivanti da fattori pirici.*
- 2.2.8 *Requisiti derivanti da fattori di conformazione.*

2.3 Vincoli all'integrazione tecnologica dei dispositivi piezoelettrici per le pavimentazioni degli spazi aperti di fruizione collettiva.

- 2.3.1 *Vincoli derivanti da aspetti tecnologici.*
- 2.3.2 *Vincoli derivanti da aspetti ambientali, sociali, economici e finanziari.*

Bibliografia

CAPITOLO III: PIANO SPERIMENTALE PER LA REALIZZAZIONE DI UN DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO INTEGRABILE NELL'ELEMENTO PAVIMENTAZIONE.

3.1 Pianificazione delle attività sperimentali e delle prove.

3.2 Abaco dei materiali impiegati.

- 3.2.1 *Piastrine piezoelettriche prestressate.*
- 3.2.2 *Lamiere in acciaio pressopiegate.*
- 3.2.3 *Resina poliuretanica elastica.*
- 3.2.4 *Masselli di calcestruzzo prefabbricato.*
- 3.2.5 *Considerazioni sulla compatibilità dei materiali prescelti e sulle caratteristiche dei masselli di calcestruzzo per la certificazione CE.*

3.3 Realizzazione del prototipo del dispositivo piezoelettrico.

- 3.3.1 *Elaborazione delle lamiere pressopiegate.*
- 3.3.2 *Assemblaggio del circuito energetico piezoelettrico con le lamiere.*
- 3.3.3 *Assemblaggio del dispositivo piezoelettrico con l'elemento di pavimentazione.*

3.4 Prove di misura dell'energia prodotta dal prototipo

- 3.4.1 *Misura dell'energia prodotta dal dispositivo.*
- 3.4.2 *Misura dell'energia prodotta dal dispositivo integrato nell'elemento di pavimentazione.*
- 3.4.4 *Elaborazione dei risultati ottenuti per il calcolo della potenza del dispositivo.*

Bibliografia

CAPITOLO IV: APPLICAZIONE DEL DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO PER IL RECUPERO DEGLI SPAZI APERTI DI FRUIZIONE COLLETTIVA

4. 1 Individuazione del caso pilota.

- 4.1.1 *Interagibilità e fruibilità degli accessi delle stazioni della mobilità su ferro ricadenti nel centro storico di Napoli.*
- 4.1.2 *Integrabilità della pavimentazione piezoelettrica nei varchi di accesso delle stazioni della mobilità su ferro ricadenti nel centro storico di Napoli.*

4.2 Analisi del sito pilota: la stazione della metropolitana di Montesanto a Napoli.

4.2.1 Caratteristiche fisiche e morfologiche del sito.

4.2.2 Consumi energetici di piazzetta Olivella.

4.2.3 Individuazione di fasce di affluenza degli utenti.

4.3 Prestazioni attese per la riduzione dei consumi energetici.

4.3.1 Simulazioni di applicazione di una pavimentazione piezoelettrica.

4.3.2 Considerazioni sulla riduzione dei consumi energetici.

Bibliografia

CAPITOLO I

RECUPERO DEGLI SPAZI APERTI DI FRUIZIONE COLLETTIVA E SISTEMI PIEZOELETTRICI

1.1 Recupero del patrimonio edificato e produzione di energia pulita.

1.1.1 Spazi aperti di fruizione collettiva e consumi energetici

Gli spazi aperti di fruizione collettiva definiscono il tessuto connettivo dell'ambiente urbano, attraverso l'identificazione di piazze, strade, luoghi antistanti monumenti, scuole ed edifici pubblici, che oggi, come in passato, rappresentano e sono destinati a sostenere le funzioni aggregative delle città come l'incontro, il mercato, l'attesa e soprattutto ad accogliere i flussi pedonali delle persone che si spostano da un luogo ad un altro.

Il sistema urbano dei centri storici¹ oggi, definito per lo più da strade² di piccole dimensioni che collegano, piazze, monumenti, spazi verdi di diversa natura e dimensioni, e edifici pubblici e privati, è chiamato ad affrontare nuove esigenze sociali, economiche, culturali, ambientali ed energetiche, per le quali non era stato pensato. L'adattamento a queste nuove esigenze rappresenta da una parte una sfida ed una necessità³ e dall'altra una minaccia per la sua conservazione. Il tema delle pavimentazioni⁴, come sottosistema

¹ I centri antichi, palinsesti di storie e culture diverse che si sono succedute nel corso dei secoli, caratterizzano le nostre città attribuendo loro tratti distintivi identitari che dovrebbero rappresentare il motore dello sviluppo economico del turismo culturale. In questo scenario, in cui il patrimonio edificato rappresenta un'importante filiera economica, il mantenimento e la conservazione diventano fonte di opportunità e di investimento nel tempo, come elementi chiave per garantire alle generazioni future di usufruirne.

² Nei centri storici la strada rappresenta l'elemento più soggetto alle trasformazioni determinate da manutenzioni o rifacimenti, essendo soggetta ad usura ed alle mutanti condizioni di movimento di uomini e mezzi; in questo senso è di notevole importanza l'aspetto della conoscenza dei materiali e delle loro caratteristiche, non solo da un punto di vista tecnico-prestazionale, ma anche storico-culturale ed estetico-formale.

³ Per secoli, il patrimonio culturale ha dimostrato di avere una capacità di servire le persone adattandosi al cambiamento delle necessità, e di essere una risorsa connessa allo sviluppo economico, sia nelle sue fasi di crescita che nei periodi di declino. Ost C., (2009), *Cultural Heritage, Local Resources and Sustainable Tourism an Towards Operational Framework for Policy and Planning*, in Fusco Girard L. e Nijkamp P., ASHAGATE, Burlington, USA.

⁴ Il disegno delle pavimentazioni, costituito da ricorsi di materiale diverso, o da limiti di discontinuità, o da altri e vari accorgimenti, coinciderà con il sistema delle pendenze e dei raccordi di piano, interpretando ed armonizzando gli andamenti attraverso i materiali e le relative apparecchiature.

tecnologico di questi spazi pubblici è tra i più significativi da affrontare per restituire dignità a forme civili degradate da incuria o interventi superficiali, recuperando antiche e preziose pavimentazioni in pietra, testimonianza delle pratiche tradizionali del fare connesse all'impiego dei materiali locali⁵.

Ogni organismo costruito è un sistema organizzato di spazi che attraverso livelli di adeguatezza e soddisfacimento ad esigenze espresse dalle attività degli individui che ospita, è portatore di valori intrinseci, connaturati al bene stesso, materiali, personali e collettivi, vissuti nel presente o nella memoria e valori estrinseci che interagiscono con fattori esterni di natura economica, sociale e culturale.

Nell'affrontare la problematica del recupero di questi tessuti connettivi la tecnologia dell'architettura⁶, orientata verso interventi che riescano a coniugare preesistenza con advenienza⁷, promuove l'innovazione tecnologica come strumento per conservare e tramandare identità e caratteri tradizionali, che connotano lo spazio urbano, e rispondere alle istanze moderne di sicurezza, inquinamento, impatto ambientale e consumo di risorse e di energia⁸.

⁵ Il rinnovato interesse per il recupero dei centri antichi ha determinato la rinascita di una coscienza fondata sullo studio filologico necessario per una migliore comprensione dell'ambito storico e culturale in cui si opera.

⁶ La cultura tecnologica, attraverso approcci teorici, metodologie e strumenti per la previsione, mitigazione e comprensione delle criticità materiali, apre la strada al recupero del patrimonio edificato attraverso un insieme di operazioni tese al governo integrato dei processi conservativi e trasformativi, coniugando le funzioni tradizionali con le istanze moderne degli agglomerati urbani. Nella prefigurazione di interventi sull'esistente risulta strategico rintracciare quei legami con il contesto che consentano l'impianto di nuove valenze e funzionalità in continuità con la preesistenza ed allo stesso tempo valutate in relazione alla sua capacità di adeguarsi alle trasformazioni possibili, in cui nuovi layout integrati al contesto insediativo possano promuovere sviluppo sostenibile. Viola S., (2012), *Nuove sfide per le città antiche. Prosperità, innovazione tecnologica e bellezza. New challenges for ancient cities. Prosperity, technological innovation and beauty*, Liguori ed., Napoli

⁷ Caterina G., (2007) *Recupero e valorizzazione del Real Albergo dei Poveri*, in a cura di Caterina G. e De Joanna P. *Il Real Albergo dei Poveri di Napoli. La conoscenza del costruito per un ideale strategia di riuso.*, Liguori ed., Napoli

⁸ La riduzione dei consumi energetici nei centri storici rappresenta, inoltre, uno dei temi prioritari nell'ambito delle problematiche affrontate dalle politiche europee per il recupero del patrimonio edificato, in quanto questo patrimonio dissipava una considerevole quantità di risorse, rispetto ai consumi globali, molto spesso in conseguenza di diverso uso delle strutture dalle funzioni originarie e di non idonei interventi di adeguamento funzionale alle esigenze moderne. Nell'affrontare il discorso della riduzione dei consumi quello che si registra è un ricorso alle tecnologie rinnovabili volte alla diminuzione dei consumi energetici e delle risorse, Dottoranda Arch. Maria Cristina Majello
Tutors Prof.ssa Arch. Gabriella Caterina
Prof.ssa Arch. Serena Viola

In questo studio si è affrontato il tema del recupero degli spazi di fruizione collettiva per generare energia “pulita” promuovendo l’integrazione di tecnologie sperimentali come sistemi innovativi⁹ per ridurre i consumi legati all’illuminazione pubblica di piazze e strade. L’illuminazione notturna di questi luoghi, spesso frequentati molto nelle ore diurne

all’impiego di materiali sostenibili, e alla produzione di energia pulita, con una tendenza all’integrazione parziale o totale sul sistema edilizio. L’impiego di queste tecnologie per lo sfruttamento delle fonti rinnovabili negli interventi di recupero dell’esistente, in ambito europeo, rappresenta uno degli obiettivi principali del pacchetto legislativo *Clima Energia 20-20-20* per l’abbattimento e la riduzione dei consumi energetici. Con la Direttiva Europea 2002/91/CE EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*), si mette a fuoco la problematica della riqualificazione energetica dell’esistente - correlata al discorso di sostenibilità del costruito - promuovendo a livello internazionale politiche che individuano nella necessità di un sostanziale cambiamento nel modo di costruire, di gestire e di mantenere gli edifici esistenti, la chiave di volta, in ambito edilizio, per la salvaguardia dell’ambiente e per la tutela della salute e del benessere dell’uomo. Il tema della riqualificazione energetica dell’edilizia esistente rappresenta un settore di rilievo nelle politiche e nei finanziamenti europei, che mirano al recupero del valore storico del patrimonio, alla sostenibilità economica dell’intervento, alla riduzione di materiale di risulta da smaltire ed alla riduzione delle emissioni nell’ambiente. Gli esempi più diffusi di interventi di retrofit, rivolti al recupero ed al riuso dell’esistente, sono quelli di recupero e riuso di un parco edilizio che permette di essere integrato totalmente o parzialmente con le tecnologie innovative volte al soddisfacimento del fabbisogno energetico. Questi interventi sono il risultato tangibile dell’applicazione delle nuove normative in campo energetico, delle politiche europee, e anche dei bandi di finanziamento europeo. I progetti di ricerca e sviluppo hanno, infatti, favorito la creazione di incentivi per attrarre e promuovere azioni per la conservazione e per il miglioramento dell’efficienza energetica degli edifici esistenti in linea con le politiche dello sviluppo sostenibile. Secondo i dati forniti dal CRESME, già a partire dalla seconda metà degli anni 90 si è avuta un’inversione negli investimenti nella manutenzione straordinaria rispetto alla nuova produzione edilizia. Se si considera l’aumento percentuale del mercato edilizio, che si occupa del patrimonio edilizio esistente, risulta quasi immediato ritenere che il futuro della costruzione sostenibile è nel recupero del già costruito.

⁹ La promozione delle energie da fonti rinnovabili rientrava già nelle azioni promosse nel Libro Bianco per una strategia ed un piano di azione della Comunità Europea del 1997, *Energie per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili*. COM(97) 599, novembre 1997. In questo documento si prevedeva che per il 2010 il contributo principale delle energie poteva essere fornito dalle biomasse triplicando l’allora attuale livello di applicazione, al secondo posto l’energia eolica, seguito dal solare termico, il fotovoltaico, energia geotermica e le pompe di calore. Le previsioni non sono state del tutto positive anche se gli incentivi e le politiche nazionali hanno promosso la diffusione e lo sviluppo del mercato delle tecnologie che sfruttano le fonti rinnovabili. Le fonti rinnovabili rappresentano oggi come allora un considerevole supporto per la riduzione delle importazioni di energia, con i risultanti effetti positivi per il bilancio economico e la sicurezza dell’approvvigionamento. Il primo grande problema, che si poneva allora e che ad oggi non è ancora completamente risolto, è dato dalle difficoltà che incontrano queste tecnologie con il mercato delle costruzioni, in quanto i costi d’installazione e mantenimento, in relazione ai tempi di ammortamento, non sono ancora competitivi rispetto al libero mercato delle forniture energetiche, anche se sono stati promossi diversi programmi a livello nazionale e locale per incentivare l’installazione e l’applicazione delle tecnologie che sfruttano le fonti energetiche rinnovabili. Si pensi ad esempio, al “Programma nazionale 10.000 Tetti fotovoltaici” del 2001, o al “Conto energia” del 2005, alla diffusione delle Certificazioni Energetiche e delle relazioni con i valori immobiliari, alla Covenant of Mayors ed alla relativa diffusione degli Energy Action Plan a partire dal 2010. Rispetto al Libro Bianco del 1997 e ai risultati ottenuti nel 2010, si riscontra nelle politiche e negli orientamenti più recenti, un’attenzione maggiore al patrimonio costruito esistente, in quanto ci si è resi conto che questo ha dei consumi molti alti in termini energetici e rappresenta un rilevante settore, in termini quantitativi, nel mercato delle costruzioni. Secondo i dati forniti dal CRESME, già a partire dalla seconda metà degli anni 90 si è avuta un’inversione negli investimenti nella manutenzione straordinaria rispetto alla nuova produzione edilizia. Se si considera l’aumento percentuale del mercato edilizio, che si occupa del patrimonio edilizio esistente, risulta quasi immediato ritenere che il futuro della costruzione sostenibile è nel recupero del già costruito.

e poco in quelle notturne, non solo è necessaria per la sicurezza e la fruibilità, ma assume un ruolo fondamentale anche nella restituzione di immagini cariche di caratteri estetici e poetici di grande fascino. In accordo con quanto previsto dalle normative europee¹⁰ lo scopo non è quello di ottenere un risparmio energetico misurabile attraverso i parametri di legge stabiliti per nuove edificazioni, ma piuttosto quello di adottare delle soluzioni tecnologiche che permettano un uso più razionale delle risorse, sfruttando le potenzialità del luogo e contenendo i consumi¹¹.

1.1.2 Sistemi innovativi sperimentalati per la produzione di energia pulita.

La ricerca tecnologica che finora ha promosso lo sviluppo delle tecnologie rinnovabili¹² come possibile risposta ai bisogni di riduzione dei consumi delle risorse naturali¹³, si sta

¹⁰ L'emanazione della Direttiva Europea 2002/91/CE (Energy Performance of Buildings Directive - EPBD) ha rivitalizzato e dato nuovo impulso alle tematiche proprie dell'efficienza energetica in edilizia, obbligando, in un contesto internazionale vivacizzato dalle problematiche ambientali e legate all'approvvigionamento energetico, gli Stati membri dell'Unione verso nuovi e comuni traguardi da raggiungere relativamente alla riduzione improrogabile della domanda di energia nel settore edilizio. Parallelamente i governi di molti Stati europei hanno introdotto incentivi economici per agevolare interventi di riqualificazione energetica che garantiscono tempi di ritorno degli investimenti compatibili con le possibilità di spesa dei proprietari degli immobili e il ciclo di vita delle tecnologie impiegate. Il recepimento, anche se parziale della EPBD, in Italia, che si è confrontata con la legge 10/91, è avvenuto attraverso il D.Lgs. 192/05, che ha introdotto l'obbligo della certificazione energetica e ha riscritto il quadro delle regole in merito all'efficienza energetica degli edifici. Successive modifiche sono state riportate nel D.Lgs. 311/06 e in seguito dal D.P.R. 59/09. *La Direttiva EPBD rappresenta l'atto legislativo da cui deriva ogni successiva disposizione in merito all'efficienza energetica degli edifici, ed è importante in quanto da questa deriva un'intensa attività di legislazione e di redazione di norme tecniche sul rendimento energetico del costruito definisce parametri di efficienza sempre più restrittivi e criteri di risparmio sempre più vincolanti, imponendo interventi di adeguamento del patrimonio esistente a standard prestazionali più elevati.* A. Carotti, Riqualificazione energetica degli edifici, 2011, UTET, Mialnofiori Assago (MI)

¹¹ In particolare nei confronti del più specifico argomento della conservazione architettonica, il dibattito culturale è orientato verso azioni operative che si concentrano sull'adeguamento funzionale del patrimonio edificato con interventi tecnologici in grado di migliorare l'efficienza energetica, e allo stesso tempo rispettare le caratteristiche storico, artistiche, sociali e culturali. Promuovere l'integrabilità di tecnologie innovative sul sistema beni culturali, significa, prefigurare un insieme di relazioni tra diverse componenti coinvolte, in base agli obiettivi di recupero e riqualificazione sostenibile. In questo senso risulta necessario, stabilire le strategie possibili, ai fini di un miglioramento energetico, per individuare quelle compatibili con il bene architettonico.

¹² Per tecnologie rinnovabili si intendono quelle che recuperano energia da fonte rinnovabile ossia: energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idrotermica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas così come definite nella DIRETTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE, Articolo 2, lettera a.

orientato verso nuovi sistemi sperimentali, per la produzione di energia “pulita”, vagliando le opportunità offerte da:

- sistemi di nanotecnologie integrate;
- sistemi fotosintetici;
- sistemi piezoelettrici.

I *sistemi di nanotecnologie integrate*, sono quelli che impiegano nanotecnologie rinnovabili, in una combinazione di sistemi contemporaneamente. La combinazione e l'integrazione di più sistemi si rende necessaria per far fronte alla generazione di piccole quantità di energia dovuta alle ridotte dimensioni dei dispositivi che captano le fonti rinnovabili. Il modello di anno tecnologie integrate scelto è quello che di un albero artificiale¹⁴ elaborato dal Centro di ricerca Inglese Solarbotanic, basandosi sul sistema naturale delle piante per utilizzare l'energia del vento e del sole. Questo modello è in grado di generare energia pulita sfruttando tre meccanismi principali: fotovoltaico (conversione di luce in energia elettrica), termovoltaico (conversione di calore in energia elettrica) e piezoelettrico (conversione di energia cinetica in energia elettrica). Il sistema tecnologico per captare sole, calore e movimento è integrato nelle foglie, i circuiti di collegamento e i trasformatori di energia nel tronco. Ulteriori vantaggi dell'albero artificiale sono:

- barriera dal vento;
- barriera acustica,
- ombreggiatura dal sole;
- non ha bisogno di essere innaffiato;
- Ha delle prestazioni energetiche significative da 0,23 fino a 1,37 kWh.

Questo sistema è un elemento di arredo urbano e può essere installato lungo autostrade, aree verdi delle città, parchi, giardini privati, ma presenta dei punti deboli:

¹³ Il patrimonio edificato non sempre offre degli scenari in cui è possibile prevedere un'integrazione nel rispetto della conservazione e della tutela. Nell'ultima Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea del 18 giugno 2010, articolo 4 sul rendimento energetico dell'edilizia (2010/31/UE) il patrimonio tutelato è escluso dai provvedimenti restrittivi, anche se la necessità di ridurre il consumo di energia in questi ambiti rappresenta una sfida non solo culturale ma necessaria per la sua sostenibilità e manutenzione.

¹⁴ Vedi anche scheda sintetica 1 allegata al paragrafo

- la capacità d'integrazione ha degli impatti visivi sull'ambiente soprattutto se si considera un giardino o un centro storico;
- utilizza delle porzioni di terreno che potrebbero invece essere coltivate con piantumazioni naturali;
- la sua installazione deve prevedere un piano di manutenzione dei terreni e del sistema tecnologico per favorire il suo funzionamento;
- il rendimento energetico è calcolato in base a un lavoro dei tre meccanismi contemporaneamente, quindi non può essere considerato nel pieno delle sue capacità in quanto se c'è pioggia c'è una produzione di energia, se c'è sole si raggiunge un ulteriore valore, se c'è vento ancora un altro valore, se ci sono due agenti atmosferici insieme ci sarà ancora un altro valore.

Il *sistema che sfrutta l'energia proveniente dai processi di fotosintesi*¹⁵, è stato studiato dai ricercatori del Dipartimento di biologia e tecnologia dell'ambiente del Centro sperimentale dell'Università di Wageningen (Olanda). I primi esperimenti sono stati fatti verificando la possibilità di estrarre energia dalle radici di sei piantine di gramigna nell'arco di un mese. Il sistema funziona attraverso una sfera di grafite inserita nel terreno, con la funzione di anodo, che è in grado di assorbire il debole flusso di elettroni prodotto dall'attività batterica di scomposizione molecolare e trasferirlo all'altro polo, il catodo. Il flusso elettrico prodotto è stato misurato in 250 millivolt. La ricerca ha portato come risultato la possibilità di produrre energia elettrica da queste piante, senza bisogno di raccoglierle.

*"... l'energia che si produce nelle piante viventi è molto più efficiente di quella che si trae dalla biomassa inerte. La maggiore efficienza deriva dal fatto che nella pianta viva ci troviamo più vicini alla fonte stessa del processo di fotosintesi. In esso, i materiali di scarto che la pianta produce e che vengono immessi nel terreno per mezzo delle radici, sono a loro volta scomposti dai batteri. Questi ultimi, nella loro opera di spazzini, "spezzano" le catene molecolari e liberano elettroni. Questo flusso di elettroni è ciò che noi abbiamo raccolto dal terreno*¹⁶.

Dai dati rilevati dall'Università Olandese si ritiene che un ettaro potrebbe arrivare a produrre 14.000W, che è sufficiente a fornire energia elettrica per ventotto famiglie in un anno. Ma difficilmente sufficiente ad alimentare un sistema di pubblica illuminazione.

¹⁵ Vedi anche scheda sintetica 2 allegata al paragrafo

²¹Dott. Jan Snel, Universita' di Wageningen (Olanda), esperto del processo di fotosintesi clorofilliana in Gigli R., data di pubblicazione: 26/06/2008 su www.freshplaza.it, Fonte di riferimento: Nieuwsbrief Plant Sciences Group

Dottoranda Arch. Maria Cristina Majello
Tutors Prof.ssa Arch. Gabriella Caterina
Prof.ssa Arch. Serena Viola

Risulta infatti evidente che per impiegarlo in un uso di pubblica utilità sarebbe necessaria una pezzatura di terreno coltivato troppo estesa per poter garantire dei valori prestazionali sufficienti ad alimentare dei sistemi d'illuminazione. Questo ci porta a dedurre che questo sistema potrebbe essere presa in considerazione in un sistema agrario, ma difficilmente in un contesto urbano, o di complessi monumentali, che per quanto possono essere dotati di spazi verdi non arrivano a raggiungere delle quadrature tali per poter permettere l'illuminazione dei percorsi. Inoltre questo sistema deve prevedere una costante manutenzione del terreno e delle piante, nonché degli impianti collegati per far arrivare l'energia prodotta a dei sistemi di accumulo.

I sistemi legati all'*energia piezoelettrica*¹⁷ sono quelli che si basano sulla capacità di alcuni cristalli di generare una carica elettrica quando sono sottoposti ad una deformazione meccanica tipo di compressione o inflessione.

Le ricerche sull'argomento si stanno muovendo i diverse direzioni in quanto le proprietà dei cristalli piezoelettrici sono dupli ed inverse e trovano svariate applicazioni nelle strumentazioni tecniche che vanno dai macchinari ecografici alle strumentazioni aerospaziali. La piezoelettricità ha una storia relativamente recente ma sino alla fine del secolo scorso non si erano ancora messi a punto dei prodotti piezoelettrici con caratteristiche di resistenza e prestazioni energetiche tali da considerarli interessanti nel campo delle energie intelligenti. Rispetto alle ricerche effettuate sui materiali piezoceramici si sono valutate le possibilità offerte dai sistemi piezoelettrici applicati alle pavimentazioni, sperimentati e brevettati negli ultimi quindici anni in diversi paesi del mondo (USA, Giappone, CINA, Gran Bretagna, Francia, Olanda Italia). Questi sistemi raggruppabili in tre grandi famiglie, tappeti, piastrelle e componenti, mostrano la

¹⁷ Vedi scheda sintetica 3 allegata al paragrafo

possibilità di generare energia dal movimento del corpo umano, in luoghi chiusi ed aperti¹⁸.

I vantaggi di questa tecnologia sono rappresentati da:

- i valori prestazionali in funzione del flusso di persone che vi camminano sopra;
- la possibilità di essere integrati nelle pavimentazioni calpestabili, la cui percorribilità garantisce la generazione di energia;
- la possibilità dell'alloggiamento degli impianti elettrici direttamente al disotto delle superfici calpestabili senza dover prevedere ulteriori collegamenti;
- questa energia una volta accumulata potrebbe essere utilizzata per illuminare i percorsi in oggetto.

L'installazione di questo sistema deve prevedere comunque una manutenzione costante della pavimentazione e del sistema tecnologico posto al di sotto, deve quindi prevedere un'operatività per la sostituzione di parti lese o usurate, proprio perché l'utilizzo continuo che genera maggiore energia è direttamente proporzionale al consumo della materia prima e del sistema tecnologico.

Rispetto agli spazi di fruizione collettiva si è scelto di analizzare la possibilità, di generare energia, offerta dalla tecnologia piezoelettrica, in quanto gli alberi artificiali non sembrano essere facilmente compatibili con un patrimonio edificato soprattutto per gli impatti visivi; e l'energia foto sintetica è, d'altro canto, difficilmente applicabile ad un contesto urbano.

La tecnologia piezoelettrica invece, che viene attivata dal passaggio delle persone può essere impiegata nei luoghi di percorrenza pedonale pubblica delle città.

¹⁸ Vedi schede indicate al paragrafo 1.3 sui sistemi piezoelettrici brevettati e sperimentati.
Dottoranda Arch. Maria Cristina Majello
Tutors Prof.ssa Arch. Gabriella Caterina
Prof.ssa Arch. Serena Viola

SISTEMI INNOVATIVI PER L'IMPLEMENTAZIONE ENERGETICA DEL PATRIMONIO EDIFICATO:
SISTEMI PIEZOELETTRICI APPLICATI ALLE PAVIMENTAZIONI

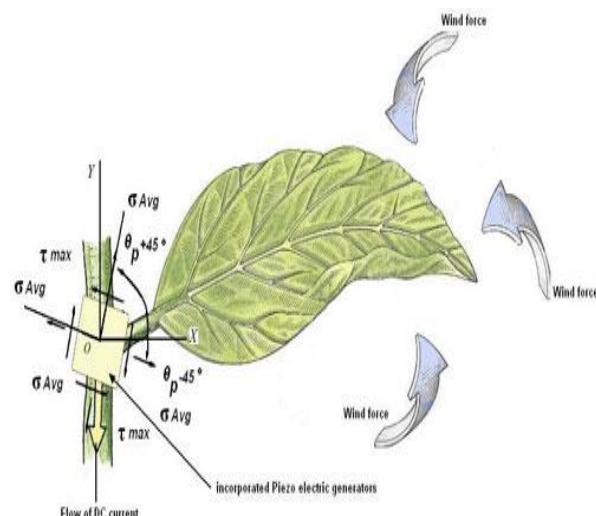
ALLEGATI:

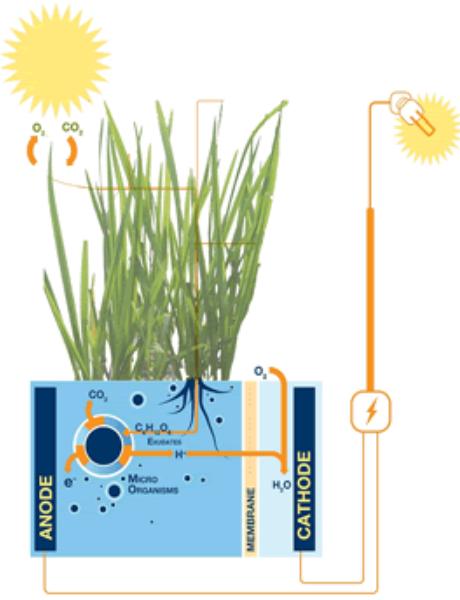
Energia Pulita dalle Nanotecnologie Integrate
Energia dalla Fotosintesi Clorofilliana
Energia Piezoelettrica

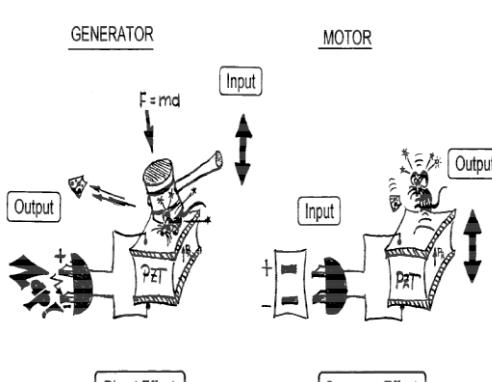
SISTEMI TECNOLOGICI INNOVATIVI

SCHEDE SINTETICHE

1	SCHEDA SINTETICA DEL SISTEMA TECNOLOGICO		
PRINCIPIO:	<p>Energia da sistema tecnologico integrato: Fotovoltaica-Termovoltaica-Piezoelettrica</p>		
ENTE DI RICERCA:	<p>Centro di ricerca Solarbotanic (Gran Bretagna)</p>		
OGGETTO DELLA RICERCA:	<p>Piante finte che generano energia elettrica.</p>		
BREVE DESCRIZIONE:	<p>Alberi artificiali per generare energia rinnovabile. Ivantaggi di un albero: barriera dal vento, barriera acustica, ombreggiatura d'estate. Gli alberi artificiali sono costituiti da due parti fondamentali: foglie e tronco. Le nanofoglie producono energia dal sole, vento e in generale dal loro movimento, sono progettate per generare energia utilizzando i tre meccanismi: <ul style="list-style-type: none"> • <i>fotovoltaico</i> (conversione di luce in energia elettrica), • <i>termovoltaico</i> (conversione di calore in energia elettrica) • <i>piezoelettrico</i> (conversione di energia cinetica in energia elettrica). Il tronco contiene il circuito per raccogliere, concentrare e rendere fruibile l'energia prodotta.</p>		
PRESTAZIONI:	<p>un albero con ampiezza della chioma di circa 6 m² è sufficiente a soddisfare il fabbisogno di una famiglia media.</p>		
BREVETTI: SI in corso di presentazione	<p>REFERENCES: http://www.solarbotanic.com/</p>		
OPERATIVITÀ:	<p>• Aree limitrofe autostrade, aree verdi delle città, parchi, giardini privati.</p> <p>• Manutenzione costante dei terreni e del sistema tecnologico.</p> <p>• Sfruttamento della superficie utile dei terreni coltivati.</p>	<p>VALORI PRESTAZIONALI:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Da 0,23 a 1,37 KWh 	<p>INTEGRABILITÀ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impianti elettrici nel terreno. • Impianti elettrici sotto i pavimenti. • Impianti elettrici di collegamento.



2 SCHEDA SINTETICA DEL SISTEMA TECNOLOGICO	
<p>PRINCIPIO: Energia Elettrica dalle Piante</p> <p>ENTE DI RICERCA: Centro sperimentale dell'Università di Wageningen (Olanda)</p> <p>OGGETTO DELLA RICERCA: Raccogliere energia dalle radici delle piante</p> <p>BREVE DESCRIZIONE: È possibile produrre energia elettrica dalle piante, senza bisogno di raccoglierle e bruciarle. Gli esperimenti sono stati fatti per un mese su sei piantine di gramigna Nel terreno, in funzione di anodo, è stata inserita una sfera di grafite, in grado di assorbire il debole flusso di elettroni prodotto dall'attività batterica di scomposizione molecolare per poi trasferirlo all'altro polo, il catodo. Il flusso elettrico prodotto è stato misurato in 250 millivolt.</p>	 <p>schema di come le piante viventi possono fornire energia elettrica</p>
<p>BREVETTI: NO</p>	<p>PRESTAZIONI: Si potrebbero produrre 14.000 watt per ogni ettaro: una potenza sufficiente a fornire di elettricità 28 famiglie per un intero anno.</p>
<p>OPERATIVITA':</p> <ul style="list-style-type: none"> • Terreni coltivati con estensione di almeno un ettaro. • Manutenzione costante dei terreni coltivati. • Costi di manutenzione dei terreni. 	<p>VALORI PRESTAZIONALI:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,0016 KWh <p>INTEGRABILITÀ':</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impianti elettrici nel terreno. • Impianti elettrici sotto i pavimenti. • Impianti elettrici di collegamento.
<p>REFERENCES: http://www.wur.nl/uk/</p>	

S3 SCHEDA SINTETICA DEL SISTEMA TECNOLOGICO	
<p>PRINCIPIO: Energia Piezoelettrica</p> <p>ENTI DI RICERCA: MIT Boston US vedi scheda S11 KEIO University Tokyo- Giappone vedi scheda S12 NEDO Tokyo- Giappone vedi scheda S15 CNR-Istec Faenza Italia vedi scheda S13-S16- S17- Università di Delft e Eindhoven Olanda vedi scheda S14 Innowattech Israele vedi scheda S18 Pavegen system Londra Gran Bretagna vedi scheda S19</p> <p>REFERENCES: www.mit.edu - www.keio.ac.jp - www.istec.cnr.it - www.nedo.go.jp - www.tue.nl- www.tudelft.nl- www.innowattech.co.il - www.pavegen.com</p>	 <p>Effetto piezoelettrico nelle ceramiche ferroeletriche</p>
<p>OGGETTO DELLA RICERCA: Utilizzare l'effetto piezoelettrico diretto per generare energia dal passo umano</p>	<p>BREVETTI: CN2375954 - CINA 2000 Tappeto vedi scheda brevetti S1</p>
<p>BREVE DESCRIZIONE: La piezoelettricità è una proprietà basata sulla capacità di alcuni cristalli di generare una carica elettrica quando sono sottoposti ad una deformazione meccanica tipo compressione o inflessione – questo comportamento viene denominato effetto piezoelettrico diretto. La prima applicazione risale alla Seconda Guerra Mondiale, nei campi militari americani, da allora la successiva applicazione risale al 1999 presso il MIT di Boston.</p>	<p>JP2002250532 – Giappone 2002 Tappeto vedi scheda brevetti S2</p> <p>CN201590775 (U) - CINA 2010 Tappeto vedi scheda brevetti S3</p> <p>CN 201878378 (U) - CINA 2011 Tappeto vedi scheda brevetti S4</p> <p>CN2567287 - CINA 2003 Piastrella vedi scheda brevetti S5</p> <p>CN101334148 (A) - CINA 2008 Piastrella vedi scheda brevetti S6</p> <p>GB2462643 – Gran Bretagna 2010 Piastrella vedi scheda brevetti S7</p>
<p>PRESTAZIONI: La capacità energetica delle piastrine piezoceramiche sottoposta a un carico di circa 70 kg, è pari a 0,25 watt al secondo.</p>	<p>WO2010116348 (A1) – Israele 2010 Dispositivo vedi scheda brevetti S9</p> <p>US2011291526 (A1) – STATI UNITI 2011 Dispositivo vedi scheda brevetti S9</p>
<p>OPERATIVITÀ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pavimentazioni per interni e per esterni (piazze, strade pedonali, giardini, complessi monumentali). • Manutenzione della pavimentazione e del sistema tecnologico. • Sfruttamento della superficie calpestabile e dei flussi dei fruitori 	<p>VALORI PRESTAZIONALI:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Da 0,9 kWh <p>INTEGRABILITÀ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impianti elettrici direttamente sotto le superfici calpestabili. • Impianti elettrici di collegamento con sorgenti luminose a pavimento.

1.1.3 Integrabilità dei sistemi piezoelettrici per il recupero degli spazi aperti di fruizione collettiva.

L'integrabilità dei sistemi piezoelettrici per il recupero degli spazi aperti di fruizione collettiva è stata affrontata in relazione ai vantaggi offerti dalla tecnologia piezoelettrica determinati da:

1. la capacità di questi sistemi generare energia in funzione del flusso degli utenti
2. la capacità che questi sistemi hanno di essere integrati nel rivestimento delle pavimentazioni o al di sotto di esso.

Rispetto al primo punto bisogna tener presente che non tutti gli spazi aperti di fruizione collettiva si prestano ad ospitare in maniera redditizia dei sistemi piezoelettrici. La piazza ad esempio, che ha un'estensione molto ampia, risulta molto spesso essere più luogo di sosta che luogo di percorrenza. Una percorso piezoelettrico deve offrire la possibilità tecnica di raggiungere una destinazione attraverso un senso di agevole accesso, di chiara direzione, per avanzare con sicurezza e fluidità. Infine poter integrare questo sistema nel rivestimento della pavimentazione permette di pensare un'integrazione nei percorsi pedonali dei nei centri storici.

Rispetto alla capacità d'integrare l'elemento tecnologico nel sistema pavimentazione, rappresenta un'opportunità per coniugare le esigenze della conservazione dei caratteri identificativi di un luogo e le istanze della produzione di energia da una fonte rinnovabile¹⁹. L'opportunità di contribuire alla generazione di energia per il recupero degli spazi pubblici di fruizione collettiva, offerta dalla tecnologia piezoelettrica, è quindi rafforzata dalla sua capacità d'integrarsi nel subsistema pavimentazione. Nella determinazione dell'assetto formale e funzionale di una pavimentazione piezoelettrica, per uno spazio pubblico di fruizione collettiva si devono tenere in considerazione l'elemento pavimentazione ed il contesto nel quale è inserito. La pavimentazione ed il contesto

¹⁹ Il piezoelettrico non è ancora stata riconosciuta come una fonte che sfrutta energia rinnovabile, le si attribuisce in questo studio tale definizione considerando l'energia cinetica provocata dalla pressione del passo umano come una fonte che non frutta energia dal CO₂.

rappresentano un insieme difficilmente scindibile, che il passare del tempo ha consolidato, favorendo l'intrecciarsi di relazioni cromatiche, formali e percettive molto complesse, pertanto, in un'azione sull'elemento tecnico pavimentazione è fondamentale il rispetto di queste relazioni, dei valori estetici e formali. Agendo sull'elemento tecnico pavimentazione esistente bisogna tener presente dei fattori fisici e di quelli derivati dal tempo. I fattori fisici dipendono dalla forma, dalla cromia, dal materiale, dalla posa in opera, dalla tessitura e dal disegno, i fattori derivati dal tempo sono dovute alle azioni dell'uomo ed alle azioni naturali. L'usura del materiale prodotta dai fruitori della pavimentazione e dal trascorrere del tempo determina delle trasformazioni del materiale posto in opera; tale mutamento dello stato originario può conferire maggior pregio alla pavimentazione o determinarne il progressivo degrado. L'esposizione della pavimentazione può mutare il suo aspetto in relazione alle condizioni atmosferiche esterne, acquistando tonalità più o meno scure a seconda del tipo di pietra impiegata. Inoltre la luce naturale, o artificiale con le sue diverse inclinazioni ed intensità, provoca condizioni differenti di percezione nei cromatismi, nei riflessi e nelle ombre; per esempio le porzioni interessate da ombre persistenti tendono a neutralizzare colori e trame²⁰. In un discorso di recupero dei spazi aperti di fruizione collettiva risulta fondamentale la scelta di un materiale di rivestimento, con dimensioni e cromia che rispettino la pavimentazione esistente e il contesto nel quale è inserita. La determinazione del materiale di finitura e del disegno della pavimentazione costituiscono l'elemento percettivo che si relaziona con le

²⁰ La scelta di un materiale di finitura, con dimensioni e cromia che rispettino la pavimentazione esistente e il contesto nel quale è inserita. La determinazione del materiale di finitura e del disegno della pavimentazione costituiscono l'elemento percettivo che si relaziona con le caratteristiche del sito e dell'uso previsto; la superficie può essere trattata uniformemente o può presentare discontinuità materiche, cromatiche e di tessitura. Se si ricorre a disegni che non presentano carattere di ripetitività, ma a forme differenziate ed autonome, occorre tener presente l'insieme dei rapporti che tra loro intercorrono anche in relazione alle presenze volumetriche del contesto rispettando la conservazione dei valori che sono impressi nella forma relativa all'immagine ambientale, architettonica e paesaggistica. L'impiego di elementi di finitura diversi da quelli esistenti, sempre nel rispetto delle cromie, della tessitura e del contesto circostante, solo in condizioni di parti di percorso che servano a rimarcare varchi di accesso o di uscita, o di segnaletica stradale a terra.

caratteristiche del sito e dell'uso previsto; la superficie può essere trattata uniformemente o può presentare discontinuità materiche, cromatiche e di tessitura. Se si ricorre a disegni che non presentano carattere di ripetitività, ma a forme differenziate ed autonome, occorre tener presente l'insieme dei rapporti che tra loro intercorrono anche in relazione alle presenze volumetriche del contesto rispettando la conservazione dei valori che sono impressi nella forma relativa all'immagine ambientale, architettonica e paesaggistica. Ne caso di impiego di elementi di finitura diversi da quelli esistenti, sempre nel rispetto delle cromie, della tessitura e del contesto circostante, solo in condizioni di parti di percorso che servano a rimarcare varchi di accesso o di uscita, o di segnaletica stradale a terra. Queste osservazioni riguardano principalmente lo strato superficiale dell'elemento tecnico pavimentazione. Ma questo elemento tecnico è determinato da uno strato superficiale, che è quello che noi percepiamo caratterizzato dal materiale impiegato come rivestimento, e dallo strato di supporto che determinata anche le tecniche di posa in opera.

Dallo studio condotto in questa ricerca si evince che, uno dei vantaggi della tecnologia piezoelettrica è che può essere disposta ad disotto dell'elemento di finitura, o all'interno, senza mai manifestarsi all'esterno. Questo permette una grande flessibilità di applicazione e di integrabilità, nel rispetto del sistema architettonico preesistente, dei suoi valori e nei limiti che ne derivano. Facendo riferimento alla normativa UNI 8289 che individua nell'integrabilità *l'insieme delle condizioni relative all'attitudine delle unità e degli elementi del sistema edilizio a connettersi funzionalmente tra loro*²¹ ed al documento di

²¹ La UNI 8289:1981 Esigenze utenze finali, enuclea le sette classi esigenziali in *Benessere: insieme delle condizioni relative a stati del sistema edilizio adeguati alla vita, alla salute, ed allo svolgimento delle attività degli utenti. Fruibilità: insieme delle condizioni relative all'attitudine del sistema edilizio ad essere adeguatamente usato dagli utenti nello svolgimento delle attività. Aspetto: insieme delle condizioni relative alla fruizione percettiva del sistema edilizio da parte degli utenti. Gestione: insieme delle condizioni relative all'economia di esercizio del sistema edilizio. Integrabilità: insieme delle condizioni relative all'attitudine delle unità e degli elementi del sistema edilizio a connettersi funzionalmente tra loro. Salvaguardia dell'ambiente: insieme delle condizioni relative al mantenimento e miglioramento degli stati dei sovrasicemi di cui il sistema edilizio fa parte.*

“Studio, sviluppo e definizione di linee guida per interventi di miglioramento per l’efficienza energetica negli edifici di pregio e per la gestione efficiente del sistema edificio-impianto”²² elaborato nel 2011 da ENEA che rilegge, attraverso un approccio meta progettuale, le aree di valutazione elaborate dal Protocollo Itaca come classi esigenziali²³, si deduce che i requisiti per l’integrabilità sono quelli che permettono d’individuare le soluzioni tecniche, volte al risparmio delle risorse, più idonee ad un sistema architettonico preesistente, nel rispetto dei suoi valori e nei limiti che ne derivano. L’integrazione dei sistemi piezoelettrici per la riduzione dei consumi e la produzione di energia pulita, nonché per la gestione dei flussi, contribuendo a incrementare il valore architettonico, economico e sociale del bene, risulta un intervento compatibile con il contesto circostante perché agendo sotto l’elemento di rivestimento propone soluzioni che non stravolgono il sistema

²²AA.VV., (2011), *Studio, sviluppo e definizione di linee guida per interventi di miglioramento per l’efficienza energetica negli edifici di pregio e per la gestione efficiente del sistema edificio-impianto*, ENEA, Report RdS/2011/63

²³ L’Istituto per l’innovazione e trasparenza degli appalti e la compatibilità ambientale (ITACA) con la formazione di un gruppo di lavoro specifico nell’anno 2001 ha elaborato un protocollo comune tra le Regioni Italiane per la valutazione dei requisiti e delle soglie di edilizia sostenibile, denominato Protocollo Itaca. Tale protocollo segue i metodi e gli standard già studiati in altri paesi come quello Britannico definito BREEAM (BRE Environmental Assessment Method), e Statunitense LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), che sono una serie di valutazioni e strumenti per aiutare l’edilizia professionale a capire e mitigare l’impatto ambientale nello sviluppo del disegno e della costruzione degli edifici. Sono stati stabiliti 10 principi base che devono caratterizzare la Bioedilizia:

1. *Armonia e sostenibilità del sito e dell’intervento edilizio.*
2. *Tutela e mantenimento dell’ambiente storico.*
3. *Riduzione del consumo d’energia e utilizzo di fonti rinnovabili.*
4. *Sicurezza e salubrità del costruito.*
5. *Sostenibilità ambientale, economica e sociale delle tecnologie edilizie.*
6. *Eco-compatibilità certificata dei materiali.*
7. *Differenziazione progettuale per la diversa qualità dell’abitare.*
8. *“Safety” e di “Security” dell’edificio.*
9. *Qualità abitativa e domotica*
10. *Formazione e training partecipato professionale e progettuale.*

Il protocollo completo è articolato in settanta schede di valutazione e stabilisce requisiti minimi di sostenibilità edilizia. Affiancato ad esso è stato elaborato anche un protocollo semplificato di 28 schede. Il Protocollo Itaca, articolato in settanta criteri o requisiti suddivisi in sette aree di valutazione, individua nella prima area di valutazione *qualità ambientale esterna* il requisito 1.3.1 *integrazione con l’ambiente naturale* e 1.3.2 *integrazione con l’ambiente costruito*. In realtà il Protocollo Itaca è stato pensato principalmente per l’edilizia residenziale anche se viene utilizzato comunemente in altri ambiti come guida alla progettazione sostenibile. Nello studio presentato da ENEA l’esigenze sono soddisfatte qualora risulta possibile integrare sistemi per la riduzione dei consumi, per la produzione di energia pulita, per la gestione dei flussi senza stravolgere il patrimonio esistente, contribuendo a incrementare il valore architettonico, economico e sociale del bene.

edilizio che definisce il contesto di riferimento. La viabilità pedonale dei centri storici, che attraversa e collega emergenze architettoniche di carattere religioso, edifici pubblici e privati, e attività ricettive di diversa natura, rappresentano contesti privilegiati per i percorsi turistici, con un'elevata concentrazione di flussi di persone che si muovono in entrambi i sensi di marcia. Questi percorsi potrebbero assurgere il ruolo di fulcro nodale in una proposta di percorso piezoelettrico che mira ad istituire una rete connettiva in grado di sfruttare l'energia prodotta dal movimento pedonale per l'alimentazione dell'impianto di illuminazione pubblica.

Alla luce di quanto sopra rilevato, in un intervento di recupero per rispettare le esigenze di conservazione del contesto di riferimento si deve agire sul sistema che viene integrato al disotto o all'interno dell'elemento di finitura. Per rispettare invece le esigenze di conservazione del sottosistema pavimentazione bisogna tenere conto degli strati del sopporto, delle tecniche di posa in opera e della sua manutenzione verificando la capacità d'integrazione degli elementi che definiscono il sistema piezoelettrico quali impianti e apparecchiatura tecnica.

1.2 Materiali piezoelettrici per la produzione di energia “pulita”.

1.2.1 *L'evoluzione della tecnologia piezoelettrica per la produzione di energia “pulita”.*

L'effetto piezoelettrico fu scoperto da Jacques²⁴e Pierre Curie verso la fine del XIX secolo²⁵ mettendo a punto un esperimento²⁶ in cui si dimostrava che esisteva una

²⁴ Jaques Curie era professore di chimica presso l'università di mineralogia di Montpellier.

²⁵ Gene H. Haertling, *Ferroelectric Ceramics: History and Technology*, in *Journal of the American Ceramic Society—Haertling* Vol. 82, No. 4, 1999, pp 797-818

²⁶ Nel 1880 i due fratelli Curie mettono a punto una dimostrazione sperimentale di un collegamento fra i fenomeni piezoelettrici macroscopici e una struttura cristallografica. Il loro esperimento consisteva nella misura conclusiva delle cariche superficiali che compaiono su cristalli preparati in modo particolare (tormalina, quarzo, topazio, zucchero di canna e sale Rochelle) che erano stati sottoposti ad uno sforzo meccanico. Questi risultati furono un accreditamento all'immaginazione dei Curie e alla loro perseveranza,

corrispondenza univoca fra gli effetti elettrici della variazione di temperatura e lo sforzo meccanico in un dato cristallo. In realtà quello che avevano scoperto era il comportamento piezoelettrico indiretto²⁷. Il comportamento piezoelettrico diretto fu dedotto matematicamente, seguendo i principi termodinamici fondamentali, da Jonas Ferdinand Gabriel Lippmann nel 1881. I Curie confermarono l'esistenza "dell'effetto opposto," con delle prove quantitativa della reversibilità completa delle deformazioni elettro-elastomeccaniche nei cristalli piezoelettrici²⁸. Le prime applicazioni dei dispositivi piezoelettrici, che impiegavano il comportamento piezoelettrico indiretto, vennero effettuate durante la Prima Guerra Mondiale²⁹, da cui derivarono la maggior parte delle applicazioni piezoelettriche classiche con cui ora abbiamo familiarità (microfoni, accelerometri, trasduttori ultrasonici, pickups del fonografo, filtri di segnale, ecc.). L'impiego invece del comportamento piezoelettrico diretto trova le prime applicazioni, sempre per scopi militari, durante la Seconda Guerra Mondiale poiché il primo pavimento piezoelettrico non era altro che un particolare tappeto sul quale i soldati americani producevano energia elettrica

considerando che sono stati ottenuti con nient'altro che carta stagnola, colla, filo di ferro, magneti e una sega da gioielliere.

²⁷ Manbachi, A. e Cobbold R.S.C. (2011). *Development and Application of Piezoelectric Materials for Ultrasound Generation and Detection*, Ultrasound, the Royal Society of medicine Journal.

²⁸Dopo due anni di lavoro interattivo all'interno della Comunità Scientifica Europea, venne stabilito il nucleo della scienza delle applicazioni piezoelettriche attraverso tre punti fondamentali: primo, l'identificazione dei cristalli piezoelettrici in base alla struttura asimmetrica del cristallo; secondo, lo scambio invertibile di energia elettrica e meccanica; terzo, l'utilità della termodinamica nelle complesse relazioni fra le variabili meccaniche, termiche ed elettriche. Nei successivi venticinque anni, gli studi portarono alla definizione di venti categorie di cristalli naturali in cui si presentano gli effetti piezoelettrici e furono definiti diciotto coefficienti piezoelettrici macroscopici possibili che accompagnano un trattamento termodinamico rigoroso dei solidi cristallini usando un'analisi tensoriale appropriata. Questo studio fu presentato nel 1910 daLerbuch der Kristallphysik di Voigt, diventando il documento di riferimento standard che comprendeva la totalità di ciò che si era raggiunto nella ricerca. Fonti reperite dalla bibliografia di P. Curie sul sito http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/pierre-curie.html

²⁹ Nel 1917, P. Langevin ed i colleghi francesi cominciarono a perfezionare un rilevatore sottomarino ultrasonico. Il loro trasduttore era un mosaico di cristalli sottili di quarzo incollati fra due piastre d'acciaio (il composito aveva una frequenza di risonanza di circa 50 kHz), montate in un alloggiamento adatto all'immersione. Grazie al suo funzionamento dopo la guerra, riuscirono a misurare la profondità dell'oceano tramite l'emissione di un'alta frequenza "di stridio" subacquea, cronometrando l'eco di ritorno. L'importanza strategica del loro successo non venne trascurata da nessuna nazione industriale e da allora lo sviluppo di trasduttori, di circuiti, di sistemi e di materiali per il sonar non è si è mai arrestato. Il successo del sonar stimolò l'intensa attività di sviluppo di tutti i generi di dispositivi piezoelettrici, sia risuonanti che non-risuonanti.

attraverso gli esercizi che vi svolgevano al di sopra. È evidente che questo impiego dei materiali piezoceramici aveva un valore d'uso molto alto, in quanto poter usufruire di un generatore di corrente autonomo nei campi militari era un grande vantaggio, per la trasportabilità e per la capacità di ricarica (l'energia generata dall'esercizio dei militari era comunque uno sforzo umano costante). I difetti erano rappresentati dai materiali disponibili al tempo, che spesso limitavano la prestazione di un qualsiasi dispositivo e certamente ne limitavano lo sfruttamento commerciale. Ma questa idea ha comunque stimolato gli Stati Uniti, il Giappone e l'allora Unione Sovietica, con isolati gruppi di ricerca³⁰ a lavorare sul miglioramento dei materiali, portando alla scoperta che determinati materiali ceramici (preparati sinterizzando polveri di ossidi metallici) esibivano costanti dielettriche fino a cento volte superiori ai cristalli di taglio comune. Questa classe di materiali (denominati ferroelettrici) venne opportunamente selezionata per esibire miglioramenti simili nelle proprietà piezoelettriche e fu scoperto e brevettato da Vernitron il PZT, il più conosciuto e diffuso materiale piezoceramico. La scoperta della ceramica piezoelettrica facilmente producibile con stupefacenti caratteristiche prestazionali naturalmente generò una rinascita dell'intensa ricerca e dello sviluppo di dispositivi piezoelettrici³¹. Gli sforzi persistenti nella ricerca dei materiali hanno generato nuove

³⁰ Il mercato è sempre stato dominato dai gruppi industriali degli Stati Uniti che si sono assicurati una marcia in più con i brevetti principali. Per cause inerenti alla politica, queste aziende non hanno mai comunicato e lo sviluppo di un mercato per i dispositivi piezoelettrici è stato lasciato indietro dallo sviluppo tecnico per molto tempo. In contrasto con questa politica della segretezza, esercitata dai fornitori statunitensi di piezoceramici agli inizi della fase industriale, parecchie aziende giapponesi e università hanno formato un'associazione cooperativa in modo competitivo, il "Comitato di ricerca per le applicazioni del titanato del bario", nel 1951. Questa associazione ha rappresentato un precedente organizzativo non soltanto per il superamento delle sfide tecniche e delle barriere produttive, ma anche per la definizione delle zone del nuovo mercato.

A cominciare dal 1965 le imprese commerciali giapponesi hanno iniziato a trarre vantaggio dal costante studio delle applicazioni e dal lavoro di sviluppo dei materiali.

³¹ D. Benasciuttia, E. Brusaa, L. Moroa, S. Zelenikaa, *Ottimizzazione di dispositivi piezoelettrici per accumulo di energia*, in XXXVII Convegno Nazionale, 10-13 settembre 2008, Università di Roma "LA SAPIENZA". Gli avanzamenti nella scienza dei materiali che sono stati fatti ricadono in tre settori:

- Lo sviluppo della famiglia dei piezoceramici del titanato di Bario e successivamente della famiglia del titanato zirconato di Piombo (PZT);
- Lo sviluppo di una comprensione della corrispondenza della struttura del cristallo di perovskite con l'attività elettromeccanica;

famiglie di piezoceramici competitive con il PZT di Vernitron, ma esenti dalle limitazioni di brevetto³². Il successo commerciale degli sforzi giapponesi ha attratto l'attenzione dell'industria in molte altre nazioni ed ha stimolato un nuovo sforzo nello sviluppo di prodotti piezoceramici di successo. Oggi a produrre piezoceramici sono gli Stati Uniti, Giappone, Russia, Cina e India³³. Da questa breve evoluzione storica si evince che l'impiego dei materiali ceramici piezoelettrici per la produzione di energia, sfruttando il comportamento diretto dei cristalli artificiali:

- è ancora in fase sperimentale, in quanto sono solo quindici anni consecutivi che la ricerca si sta interessando al problema;
- rappresenta per il mercato mondiale un nuovo campo di utilizzo, in cui produrre attuatori sempre più affidabili e utili a costi più bassi.

1.2.2 *Comportamento piezoelettrico diretto per la generazione di energia “pulita”.*

La piezoelettricità è una proprietà basata sulla capacità di alcuni cristalli di generare una carica elettrica quando sono sottoposti ad una deformazione meccanica ad esempio una compressione o un'inflessione – questo comportamento viene chiamato comunemente effetto piezoelettrico diretto. Nello specifico il funzionamento di un cristallo piezoelettrico è il seguente: quando viene applicata una pressione (o inflessione) esterna, le cariche di segno opposto che sono nel cristallo, si posizionano sulle facce opposte. Questo fenomeno fa sì che il cristallo si comporta come un condensatore al quale è stata applicata una

³² Lo sviluppo di una base logica per il droggaggio di entrambe le famiglie con le impurità metalliche per realizzare delle proprietà desiderate quali la costante dielettrica, la rigidezza, i coefficienti piezoelettrici di accoppiamento, ecc.

Tutti questi avanzamenti hanno contribuito a stabilire un metodo interamente nuovo di sviluppo del dispositivo piezoelettrico - cioè, adeguare un materiale ad un'applicazione specifica.

³³ Con questi materiali disponibili, i fornitori giapponesi hanno sviluppato rapidamente parecchi tipi di filtri piezoceramici di segnale, che hanno risposto ai bisogni che si presentavano nel campo della televisione, della radio e nei mercati delle apparecchiature per le comunicazioni. Con il progredire del tempo, i mercati per questi prodotti hanno continuato a svilupparsi e ne sono stati trovati altri ugualmente importanti. I più notevoli erano i cicalini audio (allarmi antifumo, generatori compatibili di tono della TTL), rilevatori ultrasonici di inquinamento, allarmi antintrusione e telecomandi per televisori, trasduttori (dispositivi che impiegano gli effetti di superficie dell'onda acustica per realizzare un segnale ad alta frequenza che filtra).

³³ Il Movimento Semi Conduttore è attualmente la singola frontiera più importante. Gli obiettivi tecnici della frontiera sono di ottenere attuatori utili e ragionevolmente economici con bassa alimentazione e consumo e alta affidabilità e facilità di produzione.

differenza di potenziale. Se poi le due facce vengono collegate tramite un circuito esterno, viene generata una corrente elettrica detta corrente piezoelettrica³⁴. Questo comportamento è quello che interessa questo studio, in quanto di intende sfruttare la pressione del passo umano per generare corrente piezoelettrica. Ma al tempo stesso è molto importante tener presente che questi cristalli hanno anche un comportamento inverso, ossia se viene applicata una differenza di potenziale al cristallo, questo subisce una deformazione controllata espandendosi o contraendosi - questo comportamento è denominato effetto piezoelettrico inverso³⁵. Quando si applica una differenza di potenziale al cristallo, esso si espande o si contrae lungo un asse determinato provocando una vibrazione anche violenta. L'espansione volumetrica è facilmente pilotabile ed è strettamente dipendente dalla stimolazione elettrica. Questa caratteristica è fondamentale se si considera che la corrente generata dalla pressione è una corrente piezoelettrica e deve essere convertita in corrente elettrica attraverso dei circuiti che funzionano da trasformatori (Energy Harvesting)³⁶. Questi circuiti possono raccogliere energia da più elementi piezoceramici ma lo stesso circuito può restituire energia agli elementi piezoceramici, provocando delle deformazioni degli stessi³⁷.

³⁴ R. Guigon, J.-J. Chaillout, T. Jager and G. Despesse, *Harvesting raindrop energy: theory*, in Smart Materials And Structure, n.17, 2008, pp1-8

³⁵ I comportamenti tipici delle ceramiche piezoelettrica sono:

1)Se si applica una pressione o una forza ad un campione di ceramica piezoelettrico, questo genererà una tensione. Questo effetto è usato nei microfoni, nei sonar e nell'apparecchiatura medica per ultrasuoni.
2)Quando viene invece applicata una tensione alla ceramica piezoelettrica, questa si espande e si contrae, deformandosi. Inoltre comincia a vibrare o a esercitare pressione su qualunque cosa stia toccando.

³⁶ Anton S. R. and Sodano H. A., (2007), *A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003–2006)*, in Smart Materials and Structures, n 16, p.1-21

³⁷ Mahammadi F., Cass R.B., *Energy harvesting from multiple piezoelectric sources*, Brevetto n. US2008/0252174A1, US, 2008. Immaginiamo di avere un sistema per generare energia piezoelettrica, costituito da sei elementi piezoceramici, un circuito di trasformazione dell'energia e una batteria di accumulo. Possiamo avere due conformazioni la prima in cui gli elementi piezoceramici sono collegati tra loro e poi collegati insieme al circuito, che a sua volta è collegato a una piccola batteria di accumulo; la seconda conformazione prevede invece il collegamento singolo di ogni elemento piezoceramico al circuito (in parallelo) sul quale è collegata sempre separatamente anche una batteria di accumulo (in parallelo anche questa). Nel caso della prima conformazione, quando viene esercitata una pressione su una o più di questi elementi piezoceramici, questi generano una corrente che viene inviata al circuito, trasformata e rinviate contemporaneamente alle medesime piastrine, deformandole e disperdendo energia e solo in parte alla

Risulta quindi evidente che un requisito operativo fondamentale per la generazione di energia di un sistema piezoelettrico, è rappresentato dal collegamento in parallelo degli elementi piezoceramici e della batteria di accumulo (o di una sorgente luminosa). Se questo requisito manca viene a mancare anche la produzione di energia³⁸.

1.3.3 *Materiali ceramici piezoelettrici*

I materiali piezoelettrici si possono trovare in natura (cristalli piezoelettrici), oppure possono essere realizzati direttamente in laboratorio (cristalli piezoelettrici artificiali), in entrambi i casi rispondono alle sollecitazioni approssimativamente con gli stessi comportamenti³⁹. Il Quarzo ad esempio che è un cristallo naturale, anche se può essere riprodotto sinteticamente, è utilizzato negli orologi ed nelle radio come standard vibratorio (di frequenza). I cristalli piezoelettrici naturali più conosciuti ed impiegati sono la Tormalina, il Sale Rochelle, il Litio (Niobato di Litio-LiNbO₃, Litio Tantale- LiTa O₃ , Li₂B₄ O₆), Langasite, ossido di Zinco (ZnO)⁴⁰.

Il Titanio Zirconato di Piombo (PZT)⁴¹, è tra i materiali piezocermanici artificiali quello maggiormente utilizzato in quanto può essere facilmente prodotto in laboratorio⁴², come

batteria di accumulo. Nel caso della seconda conformazione quando verrà esercitata una pressione su uno o più di loro anche in contemporanea, questa energia viene trasformata e restituita direttamente alla batteria senza dispersioni o deformazioni.

³⁸ Yang Y. and Tang L., *Equivalent Circuit Modeling of Piezoelectric Energy Harvesters*, in Journal of Intelligent Material Systems and Structures, n 20, 2009 p. 2223-2235

³⁹ AAVV,(1999), Manuale di Progettazione edilizia, Fondamenti, strumenti e norme. Volume 5, *Materiali e prodotti*, Hoepli, Milano.

⁴⁰ I materiali piezoceramici policristallini che vengono realizzati artificialmente rientrano nella famiglia dei Ferroelettrici e Piroelettrici, e sono caratterizzati da un dipolo naturale che permette di generare una tensione abbastanza elevata, anche se hanno una scarsa resistenza alla variazioni di temperatura.

⁴¹ Gene H. Haertling, Vol. 82, No. 4, 1999, op.cit.

⁴² Seguendo il metodo convenzionale di sintesi delle polveri mediante reazione degli ossidi allo stato solido sono stati sviluppati processi riproducibili per la produzione di alcuni materiali nel sistema PZT mediante diverse combinazioni di droganti. Quando i materiali elaborano una polarizzazione elettrica una volta sollecitati con un forte campo elettrico applicato (1-4 MV/m), si definiscono piezoelettrici. Un senso polare può essere sviluppato in una ceramica ferroelettrica applicando un campo statico : questo processo è conosciuto come "poling". Per realizzare il processo di poling degli elettrodi devono essere applicati al pezzo di ceramica. Il campo di poling può essere applicato in modo tale che le risposte della ceramica piezoelettrica si dispongano in vari sensi o in una combinazione dei sensi. Il risultato del processo di poling è una

soluzione solida di PbTiO₃ (52-54%) e PbZr O₃ (48-46%) dalla caratteristica struttura cristallina denominata “perovskite” grazie ad un processo semplice ed economico. Il suo brevetto risale agli anni '50. Le caratteristiche dei materiali piezoceramici⁴³ sono:

- *Spessore*: i materiali ceramici piezoelettrici hanno uno spessore molto ridotto, compreso tra i 0,4 e i 2,5 mm, che aumenta proporzionalmente con le forme e le dimensioni delle piastrine;
- *Forma*: dal punto di vista della struttura cristallina, i materiali piezoelettrici hanno varie configurazioni geometriche equivalenti dal punto di vista dell'energia, cioè della stabilità del sistema, ma orientate diversamente. Ad esempio il titanato di bario (BaTiO₃) ha una cella di forma romboidale che può allungarsi lungo uno qualsiasi dei tre assi principali.
- *Dimensione*: le dimensioni possono variare da 2 a 22 cm², e sono legate al grado di fragilità che è direttamente proporzionale;
- *Fragilità*: sono materiali molto fragili, in quanto il loro procedimento di produzione che è assimilabile a quello delle ceramiche, da cui prendono il nome e hanno le stesse caratteristiche di fragilità di un materiale ceramico;



Figura 2 Esempi di forme tipiche di PLZT e PZT

polarizzazione residua con i dipoli non perfettamente orientati nella direzione del campo, in seguito all'anisotropia del cristallo che caratterizza questi materiali.

⁴³ AAVV, (1999), Manuale di Progettazione edilizia, Fondamenti, strumenti e norme. Volume 5, *Materiali e prodotti*, Hoepli, Milano

- *Resistenza al calore*: pari a 350°C, conservano la cella elementare a struttura tetragonale non simmetrica fino alla temperatura di Curie (compresa tra i 220-350 °C), per poi passare a una cella a struttura cubica simmetrica per temperature superiori.
- *Generazione di energia piezoelettrica*: per fare acquisire proprietà piezoelettriche il materiale viene riscaldato e immerso in un campo elettrico in modo da farlo polarizzare e raffreddare. Alla fine del processo il materiale ha tutte le celle deformate nella stessa direzione; è importante notare che solo lungo questa direzione si hanno proprietà piezoelettriche. I materiali piezoelettrici sottoposti a uno sforzo di compressione o flessione sono in grado di generare una corrente elettrica che varia da 1 a 250 milliwatt al secondo, e questo valore è proporzionale alla forza ed al peso esercitato.

Le caratteristiche relative allo spessore esiguo, le dimensioni ridotte e le forme variabili lasciano individuare una facile applicazione in un discorso d'integrabilità di un sistema piezoelettrico.

La caratteristica invece relativa alla fragilità mettono in evidenza un problema soprattutto se si intende impiegare il materiale a sollecitazioni costanti di compressione.

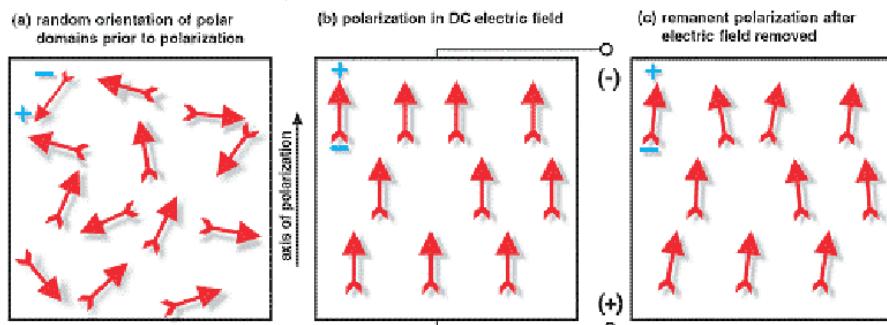


Figura 1 Poling

La caratteristica relative alla resistenza al calore ci offrono delle indicazioni per comprendere con quali materiali è possibile integrare il materiale piezoceramico e soprattutto in che fase del processo di produzione è possibile integrare l'elemento prescelto.

La caratteristica relativa alla generazione di energia mette in evidenza la capacità che hanno questi materiali di produrre una quantità di energia, che può essere calcolata e regolata in base alla forza esercitata (direttamente proporzionale al peso dinamico esercitato) e alla frequenza con il quale questa forza viene esercitata.

1.3 Analisi dei sistemi brevettati e sperimentati di pavimentazioni piezoelettriche per la produzione di energia.

Per comprendere le caratteristiche tecniche delle pavimentazione piezoelettriche, si sono analizzate i brevetti inerenti dispositivi e le esperienze di ricerca sperimentali che sfruttano il processo piezoelettrico diretto riconducibili agli ultimi quindici anni. Per approntare questa analisi si sono strutturate delle schede sintetiche, che si riportano in allegato a questo paragrafo. Le schede sono state divise in due sottocategorie:

- quelle inerenti le proposte brevettate;
- quelle inerenti le ricerche sperimentali.

Le schede inerenti le proposte brevettate sono state strutturate in base a:

- tipologia di pavimentazione (tappeti, piastrelle, dispositivi per pavimentazioni);
- elementi che costituiscono il sistema tecnologico;
- le caratteristiche;
- le prestazioni energetiche;
- prestazioni d'impiego.

Le schede inerenti le ricerche sperimentali sono state strutturate in base a:

- tipologia di pavimentazione (tappeti, piastrelle, dispositivi per pavimentazioni);
- luogo di sperimentazione;
- caratteristiche dimensionali;
- finalità;
- risultati in termini prestazionali;
- descrizione della sperimentazione.

1.3.1 *Tappeti piezoelettrici*

Per tappeti piezoelettrici si intende una categoria di pavimentazioni piezoelettriche molto sottili che hanno una versatilità d'impiego elevata perché possono essere disposti al disopra di pavimentazioni esistenti esterne o interne indifferentemente. I tappeti rappresentano dei sistemi che hanno una grande capacità d'integrazione degli elementi piezoelettrici all'interno di una guaina isolante in materiale gommoso. Il problema che presentano è dovuto all'impiego dei film piezoelettrici, che non riescono a restituire un rendimento energetico sufficiente ad alimentare una sorgente luminosa. Per la maggior parte vengono impiegati infatti per alimentare sistemi wireless di allarme per segnalare la presenza di intrusi, o nei sistemi di rilevamento del calore.

Il primo esempio di tappeto piezoelettrico è quello elaborato nel 1966 nei laboratori del MIT di Boston: un Magic Carpet per la creazione di ambienti interattivi dove poter dialogare con lo spazio e i suoi suoni con il solo movimento sul tappeto. Il monitoraggio dei movimenti avviene attraverso l'uso di:

- una coppia di sensori doppler che misurano gli spostamenti della parte superiore del corpo in termini di quantità, velocità e direzione del movimento
- una rete di fili piezoelettrici posta sotto il tappeto che analizza la posizione dinamica dei piedi e la pressione esercitata. Il tappeto è stato poi utilizzato soprattutto per performance musicali in cui i movimenti captati dai sensori venivano poi trasformati in suoni MIDI. Il Media Lab's Interactive Cinema group, ha impiegato questo tappeto per un'installazione al T-Expo 2003⁴⁴ di Roma, trasformandolo in un mouse pad su cui il performer come un mouse muoveva l'immagine proiettata sulla parete⁴⁵.

⁴⁴ Media Lab's Interactive Cinema group references: <http://members.xoom.it/deliranti/index.htm>

⁴⁵ Qualsiasi applicazione se ne faccia, la fase fondamentale è l'impostazione logica che consiste in una attenta mappatura dei movimenti a cui associare le risposte interattive (suono o immagine).

Il primo brevetto di tappeto piezoelettrico, depositato in Cina nel 2000⁴⁶, descrive un progetto per un sensore di allarme alimentato da elementi piezoelettrici incapsulati in guaine isolanti soggetti ad una pressione esercitata dal passo umano. È composto da una guaina isolante flessibile che ingloba film piezoceramici disposti in sequenza, longitudinalmente e trasversalmente, e provvisti di elettrodi metallici; gli elettrodi superiori ed inferiori sono rispettivamente collegati ai fili conduttori.

Questo modello presenta i seguenti vantaggi:

- la possibilità che da un modulo unico possono essere tagliati dei sottomoduli di qualsiasi dimensione;
- può essere disposto al di sotto moquette, pavimenti, ecc. in quanto ha uno spessore sottile che lo rende quasi invisibile e non facilmente danneggiabile;
- resiste all'umidità e al tempo;
- la sensibilità di rilevamento della pressione è alta e pertanto può essere collegato con un dispositivo di allarme; gli elementi piezoceramici lavorano sottoposti ad impulsi singoli;
- è costituito da una semplice tecnologia con bassi costi di realizzazione.

Gli svantaggi sono:

- essere un sensore di allarme
- non essere in grado di produrre energia.

Un secondo tappeto brevettato⁴⁷ nel 2002 in Giappone, definisce un modello piezoelettrico in grado di monitorare la temperatura corporea rilevando le vibrazioni causate dalla respirazione di un corpo vivente e dal battito cardiaco con l'ausilio di un sensore capace di rilevare una variazione di pressione. La sezione di elaborazione del segnale regola la temperatura della sezione riscaldante che si basa su una variazione di pressione causata da un corpo in movimento o simili, rilevata dal sensore del film piezoelettrico.

Il tappeto è costituito da un film piezoelettrico, impiegato come sensore, inglobato in una schiuma avente una struttura con delle bolle, e una sezione di elaborazione del segnale per

⁴⁶ Brevetto Cinese CN2375954 del 26. 04. 2000 - Piezoelectric sensor for burglar alarm - vedi scheda allegata S1

⁴⁷ Brevetto Giapponese JP2002250532 del 06.09.2002 - Electric Carpet - vedi schede allegate S2

amplificare il segnale emesso dal film piezoelettrico. La sezione di elaborazione di segnale regola la temperatura della sezione del riscaldatore, basato su una variazione di pressione causata da un corpo vivente e rilevata dal sensore di film piezoelettrico.

La sperimentazione di questo tappeto ha avuto luogo a Tokyo, sui marciapiedi all'uscita della metropolitana di Shibuya, tra quelle più affollate durante tutto l'arco della giornata. I tappeti⁴⁸ disposti sui marciapiedi servivano per fornire indicazioni direzionali ai pedoni (l'installazione sperimentale è stata rimossa il 26 dicembre 2008). I vantaggi di questo sistema sono:

- un tappeto piezoelettrico sorprendentemente sottile (soli 2,5cm di spessore)
- una consistenza paragonabile a quella dei tappeti in feltro stile 'red carpet'⁴⁹.

Gli svantaggi di questo dispositivo sono rappresentati da:

- l'unica capacità di monitorare il calore corporeo emesso dalle persone che lo calpestavano rimandando il segnale ad un display a LED che teneva il conto di tutta l'energia prodotta dal calore dei passanti⁵⁰;
- non produrre energia.

Un altro brevetto Cinese⁵¹, depositato nel 2010, propone un modello di tappeto piezoelettrico per alimentare una batteria.

La scatola contenitore per accogliere gli elementi piezoceramici è composto da un tappeto superiore e da un tappeto inferiore, all'interno del quale sono allocati un cavo di alimentazione, uno stabilizzatore di tensione e altri componenti elettrici. Questo tappeto è stato pensato come oggetto d'arredo per abbellire l'ambiente. Gli elementi piezoceramici producono energia elettrica e rappresentano il cuore del generatore; lo stabilizzatore di tensione è disposto tra la ceramica piezoelettrica e la batteria di carica e scarica, e viene

⁴⁸ Vedi scheda allegata S12

⁴⁹ Questa sperimentazione ha verificato che la gomma di rivestimento del tappeto applicata sul film piezoelettrico migliora le sue prestazioni, rispetto a un film disposto in una mattonella sandwich rigida, probabilmente perché il materiale plastico asseconda meglio la pressione sul film. <http://www.greenstyle.it/energia-dal-pavimento-a-tokyo-164.html>

⁵⁰ vedi schede allegate S12

⁵¹ Brevetto Cinese CN201590775 del 22.09.2010 Piezo-electricity generator applied to steps in front of building vedi scheda S6

usato per stabilizzare istantaneamente l'alta tensione generata dai piezoceramici in un certo intervallo, facilitando così la ricarica sicura della batteria. I vantaggi di questo brevetto sono:

- è l'unico tappeto piezoelettrico, tra quelli brevettati, che riesca a generare una piccola quantità di energia che accumulata in una batteria, possa alimentare sorgenti luminose a basso consumo come i LED.

Infine nel 2011 è stato depositato sempre in Cina⁵², un altro brevetto per un tappeto usato come sistema di controllo wireless della luce, basato su un film polimerico piezoelettrico. Il sistema di controllo della luce wireless è costituito da un tappeto di rilevamento della pressione e una lampada. Il tappeto di rilevamento della pressione è costituito a sua volta da una elaboratore di segnale, un modulo trasmittente e sensori piezoelettrici. Ogni modulo piezoelettrico di rilevamento è costituito da un film piezoelettrico tra due strati isolanti. I diversi moduli piezoelettrici sono collegati in parallelo, come i moduli di rilevamento che sono posizionati sul corpo tappeto. Le estremità dei circuiti positivo e negativo sono collegati rispettivamente con l'estremità di ingresso del modulo per l'elaborazione e la trasmissione del segnale. La lampada è alimentata da un segnale di ricezione attraverso la lampada di controllo e una serie di lampade laser. L'insieme delle lampade laser è collegato con il segnale di ricezione della lampada di controllo attraverso un cavo morbido e un trasmettitore wireless che elabora un segnale. Il sistema ha le caratteristiche di struttura semplice, può essere impiegato come antifurto. I vantaggi di questo sistema sono:

- che anche con un uso costante non si compromette la funzionalità;
- è a basso costo;
- super-sottile
- può essere piegato e facilmente smontato e montato.

Gli svantaggi sono che:

- l'energia prodotta non viene impiegata per alimentare la lampada.

⁵² Brevetto Cinese CN 201878378 del 22.06.2011 - Wireless stage light control system based on piezoelectric polymeric film vedi scheda S7

1.3.2 Piastrelle piezoelettriche

Per piastrelle piezoelettriche si intendono dei prodotti da porre in opera come rivestimento delle superfici orizzontali, come mattonelle o pannelli, in grado di resistere al calpestio. Sono stati individuati a tal proposito tre brevetti, due cinesi ed uno inglese ed un sistema di pannellatura sperimentato dalla Pavegen System.

Il primo brevetto cinese⁵³ che propone una piastrella piezoelettrica è stato depositato nel 2003, ed ha la caratteristica di emettere luce quando viene esercitata su di essa una forza dinamica.

Questo pavimento, è costituito da uno strato superiore, una piastrella in materiale trasparente o semi-trasparente, uno strato intermedio che è composto di uno o più elementi ceramici piezoelettrici in sovrapposizione, intervallati da uno strato di gomma ed uno strato inferiore. Lo strato intermedio può essere costituito da uno o più fogli ceramici piezoelettrici disposti sul medesimo piano orizzontale. Lo strato superiore della piastrella è provvisto di uno o più fori dove sono allocati diodi emettitori di luce collegati attraverso cavi elettrici con gli elementi piezoceramici.

I vantaggi di questo sistema sono:

- l'integrazione degli elementi piezoelettrici nell'elemento di rivestimento

Gli svantaggi di questo sistema sono:

- l'alimentazione della sorgente luminosa, che è limitata a un procedimento di causa effetto determinato dal calpestio, che è indice di una ridotta capacità di produrre energia.

Un altro brevetto sempre cinese⁵⁴, del 2008 propone una piastrella illuminante costituita da un foglio piezoelettrico e un supporto. Nella parte centrale è fissato il foglio piezoelettrico

⁵³ Brevetto Cinese - CN2567287 del 20-08-2003 (Y) - Floor tile with piezoelectric ceramic flat for luminous by external force vedi scheda S3

⁵⁴ Brevetto Cinese CN101334148 del 31-12-2008 - Induced light emitting ground tile – vedi scheda S4
Dottoranda Arch. Maria Cristina Majello
Tutors Prof.ssa Arch. Gabriella Caterina
Prof.ssa Arch. Serena Viola

appoggiato su un circuito stampato nel corpo principale. Quando una persona cammina sulla mattonella trasparente si genera una vibrazione o una deformazione; la vibrazione o deformazione del supporto viene trasmessa al circuito di amplificazione di segnale dopo essere stata trasformata in un segnale elettrico dal foglio piezoelettrico; il segnale amplificato viene trasmesso ad un dispositivo esterno di comando collegato tramite il circuito di amplificazione di segnale, a un dispositivo di controllo di una lampada LED. Un circuito di pilotaggio modifica il colore o la luminosità della luce quando una persona cammina sulla mattonella e la lampada a LED può generare variazioni di illuminazione differenti, così da creare una piastrella con particolari effetti decorativi.

I vantaggi di questo sistema sono:

- l'integrazione degli elementi piezoelettrici nell'elemento di rivestimento

Gli svantaggi di questo sistema sono:

- il sistema necessita di un amplificatore di segnale per generare corrente
- ha una applicabilità finalizzata al decoro non alla produzione di energia o all'illuminazione.

Un quarto brevetto di pavimentazione è stato depositato nel 2010 in Gran Bretagna. Questo brevetto⁵⁵ presenta una mattonella a sandwich piezoelettrica sensibile alla pressione. Il sandwich è costituito da un strato piezoelettrico sensibile alla pressione contenuto tra due rivestimenti conduttori. Il rivestimento inferiore è protetto da un resiliente film plastico, di spessore 1 mm. Lo strato conduttore superficiale è protetto da uno strato di materiale di pavimentazione convenzionale, poi c'è uno strato di 5 mm di un materiale gommoso o schiumosa. Un numero elevato di singole mattonelle possono essere messe insieme per monitorare aree di grandi dimensioni, dalla presenza di intrusi.

I vantaggi di questo sistema sono:

⁵⁵ Brevetto Inglese GB2462643 del 17. 02. 2010 -Piezoelectric pressure-sensitive tiles for surveillance and monitoring of large areas vedi scheda S5.

- l'integrazione degli elementi piezoelettrici nell'elemento di rivestimento.

Gli svantaggi di questo sistema sono:

- il dispositivo è un sensore di monitoraggio;
- non è di supporto a sistemi di illuminazione o a sorgenti di alimentazione.

Il modello presentato dalla Pavegen System, è un sistema di pavimentazione con elementi piezoelettrici collegati direttamente ad una sorgente luminosa. È costituito da un pannello sandwich con strutture in ferro e rivestimenti - superiore ed inferiore - in materiali riciclati, al centro c'è un dispositivo luminoso collegato direttamente con il dispositivo piezoelettrico. Quando viene calpestato questo elemento trasparente si illumina. Da questo progetto è stato poi realizzato il dispositivo dei pavimenti galleggianti della discoteca di Rotterdam⁵⁶ e di Londra.

I vantaggi di questo sistema sono:

- la realizzazione di un pavimento galleggiante che si assembla in fabbrica e si posa in opera a secco;
- l'integrazione degli elementi piezoelettrici sotto l'elemento di rivestimento.

Gli svantaggi di questo sistema sono:

- l'insufficienza del sistema a generare energia⁵⁷.

Dall'analisi delle piastrelle si evince l'importanza di una struttura a sandwich, per permettere una deformazione degli elementi piezoceramici, sufficiente a generare energia elastica per permettere l'impulso sulle componenti piezoceramiche. Queste piastrelle sono state pensate per gli interni, fatta esclusione per il Pavegen System, e sono realizzate con piastrelle comuni o in plastica trasparente o in ceramica, in cui gli elementi piezoelettrici sono collegati direttamente con una sorgente luminosa, e dove la mattonella stessa o parte di essa si illumina. Sono infatti impiegati come sistemi antifurto per segnalare la presenza d'intrusi, o per illuminare i percorsi molto frequentati. La tecnologia impiegata sfrutta le

⁵⁶ Vedi scheda sperimentazioni S13

⁵⁷ In realtà questa pavimentazione piezoelettrica funziona insieme a sistemi di alimentazione a dinamo e a batterie. Questa informazione è frutto di una ricerca del centro Istec-CNR di Faenza.

azioni di impulso principalmente, e questo favorisce la produzione di energia sufficiente a far illuminare gli elementi luminosi per un breve periodo.

1.3.3 Dispositivi piezoelettrici per pavimentazioni.

Per dispositivi piezoelettrici per pavimentazione si intendono elementi che possono trovare o hanno trovato applicazione nel sottosistema pavimentazione e riescono a generare una quantità di energia rilevante. In realtà i brevetti depositati descrivono dei dispositivi piezoelettrici, le sperimentazioni effettuate propongono dei dispositivi posti al di sotto dell'elemento di rivestimento della pavimentazione, applicabili principalmente in luoghi chiusi. Dal punto di vista delle prestazioni energetiche questi esempi riportano dei valori molto interessanti.

I primi due brevetti analizzati sono stati depositati negli Stati Uniti e in Israele entrambi da Innowattech una società israeliana, e sono pensati principalmente per strade a percorribilità carrabile e per linee ferroviarie. Il primo brevetto presentato nel 2010⁵⁸ è costituito da un generatore modulare piezoelettrico per la conversione di energia meccanica, ottenuta dal passaggio di veicoli, ad energia elettrica che può essere inserita sotto il livello superiore di asfalto di una strada. Il progetto presentato è un apparecchio modulare, che può essere utilizzato sfruttando l'energia meccanica prodotta dai veicoli in movimento (per esempio la pista di un aeroporto, linee della ferrovia o marciapiedi). L'apparecchio può essere utilizzato all'aperto o al coperto in qualsiasi posto dove passano un gran numero di pedoni.

Il brevetto presentato nel 2011⁵⁹, è un modello costituito da una pila di elementi piezoelettrici, in forma di barra allungata diviso in segmenti, per generare energia elettrica

⁵⁸ Brevetto WO2010116348 in Israele il 14.10.2010 - Modular piezoelectric generators, vedi scheda sintetica S9

⁵⁹ Brevetto US2011291526 depositato negli Stati Uniti il 1.12.2011 - Piezoelectric stack compression generator. vedi scheda sintetica S10

in risposta a sollecitazione di compressione. Il modello comprende elementi piezoelettrici impilati uno sull'altro in modo che gli elettrodi abbiano tutti la stessa polarità. I dischi piezoelettrici sono impilati intorno ad una struttura, ad esempio una vite, tra di loro ci sono dei morsetti atti a trasferire le sollecitazioni di compressione meccanica. La struttura di contenimento accetta sollecitazioni di taglio, fornisce una tensione di precarico sulla pila e impedisce la piegatura della pila sotto pressione. Una cavità nella parte terminale, più profonda della testa della vite, assicura che il carico posto sulla pila sia in grado di comprimere gli elementi piezoelettrici e non sulla vite. Secondo quanto riportato dall'associazione inglese ETA (Environmental Transport Association) gli ingegneri della Innowattech stanno testando, su un pezzo di strada lungo 100 metri, un sistema basato su i PEG, (Piezo Electric Generators). Nel sistema messo a punto da Innowattech, dei particolari cristalli sono in grado di trasformare la pressione meccanica in corrente elettrica e, allo stesso tempo, raccogliere informazioni digitali sul traffico⁶⁰. Gli obiettivi del progetto israeliano sono: 1) produrre fino a 400 kilowatt per un tratto di strada di un chilometro, 2) utilizzare lo stesso sistema su reti ferroviarie e piste d'atterraggio aeroportuali. La strada, però, è lunga: le tecnologie per ricavare energia piezoelettrica sono ancora in fase embrionale e, anche se si stanno evolvendo rapidamente, al momento non permettono di immagazzinare elettricità in modo abbastanza efficiente⁶¹. Inoltre gli elementi piezoelettrici, che esistono oggi sul mercato, previsti per questo sistema, non riescono a sopportare i carichi ipotizzati.

Per quanto riguarda i dispositivi per pavimentazioni sperimentati si sono analizzate il caso della Tokyo Station in Giappone, quello delle discoteche di Rotterdam, e alcuni dimostratori prototipali realizzati dall'Istituto Istecc-CNR di Faenza.

⁶⁰ www.reteingegneri.it/notizie/energia/materiali-piezoelettrici-nella-produzione-di-energie-rinnovabili.html

⁶¹ <http://fuoridalghetto.blogosfera.it/2009/02/secondo-quanto-riportato-dallassociazione-inglese.html>

L'intervento promosso dalla East Japan Railway, proprietaria della Tokyo Station, è un sistema di sottopavimentazione piezoelettrica disposta ai Gates di ingresso delle stazioni della metropolitana. Ogni qualvolta un passeggero sale su una mattonella per attraversare il gate, o salire le scale, la pressione che esercita viene immagazzinata come energia elettrica nei cristalli piezoelettrici sottostanti. Questi cristalli infatti reagiscono alla pressione accumulando, su facce opposte, cariche elettriche di segno opposto, di fatto comportandosi come condensatori. Se si pensa a quante persone quotidianamente attraversano le metropoli di tutto il mondo, l'ammontare di energia gratuita ricavabile potrebbe essere notevole.

Questo sistema è stato sperimentato per produrre energia elettrica che viene immessa in rete ed impiegata per ridurre i consumi energetici della stazione dei treni.

Un altro componente di sottopavimentazione è quello sperimentato nella Dicoteca olandese di Rotterdam. Watt è il nome della discoteca ecosostenibile che ha come motto “We want your energy”. L'idea è che ballando si può produrre energia sfruttando le sollecitazioni meccaniche che si generano sulla pista, e che, per il principio della piezoelettricità e di sistemi dinamo su molle, si trasformano in elettricità. Il progetto è stato realizzato in collaborazione con lo studio di architettura Döll-Atelier voor Bouwkunst che ha sviluppato la tecnologia, l'associazione Enviu, impegnata nell'attivismo ambientale, e le Università di Delft e Eindhoven. Si tratta di un pavimento galleggiante, “Sustainable Dance Floor” sospeso su molle e cristalli piezoelettrici che, se compressi o fatti vibrare, producono energia⁶² in grado di alimentare un sistema di illuminazione rigorosamente a

⁶² La pista da ballo è costata 257.000 dollari, ma il vero obiettivo di questa discoteca è la diffusione di uno stile di vita ecosostenibile, i giovani, infatti, dimostrando di essere arrivati al locale in bicicletta, a piedi o con i mezzi pubblici, usufruiscono di un ingresso è gratuito <http://www.ghnet.it/2006-2010/Article647.html>. e <http://www.yeslife.it/Si-ball-a-e-si-ricaricano-le-pile>.

LED⁶³. Il sistema piezoelettrico è supportato da un sistema a dinamo e delle batterie di accumulo.

Infine si descrivono i prototipi di sottopavimentazione piezoelettrica realizzati dal centro Istec-CNR di Faenza, sotto la direzione della Dott.ssa C. Galassi. Il primo prototipo è stato realizzato, su commissione, per il Festival della Scienza e della Tecnologia di Genova (23 ottobre-1 novembre 2009); una pedana quadrata con 16 mattonelle di legno rivestite in PVC. Le mattonelle sono di dimensioni 30X30 cm e sono solo appoggiate, sono facilmente smontabili ed intercambiabili. Al di sotto delle mattonelle ci sono gli elementi piezoceramici, che rivestono circa il 50% della superficie della mattonella, questi sono collegati con un misuratore di potenza, posizionato sul pilastro centrale che calcola l'energia prodotta dai 30 milliwatt ai 300 milliwatt. Quando si sale sulla pedana e si esercita una pressione, le luci a led del misuratore si illuminano, dal basso verso l'alto, secondo una cromia che va dal verde al rosso per indicare l'intensità dell'energia prodotta. Il colore rosso, corrispondente all'ultimo led, rappresenta la massima potenza raggiunta che si aggira intorno ai 300 milliwatt. Quando il prototipo è stato realizzato aveva gli elementi piezoceramici sotto tutte le mattonelle.

Problemi riscontrati:

- estrema fragilità degli elementi piezoceramici⁶⁴

Un altro dimostratore è stato presentato nella trasmissione Geo&Geo del 18.10.2011 ed è costituito da un'unica mattonella trasportabile di dimensioni 31X31 cm, sempre in legno rivestita in PVC. Le prestazioni energetiche sono le stesse del primo prototipo. Però a

⁶³ <http://www.architetturaecosostenibile.it/curiosita/varie/discoteche-ecosostenibili-a-rotterdam-il-watt-a-new-york-la-greenhouse.html>

⁶⁴ Dopo essere stato esposto per circa dieci giorni al festival, sotto un frequente esercizio, esercitato in maniera anche poco corretta per l'affluenza di gruppi scolastici, il prototipo ha avuto necessità di essere messo a punto. Gli elementi piezoceramici, sottoposti ad uno sforzo eccessivo si erano infatti rotti, principalmente a causa della loro fragilità. Il prototipo è stato poi ricostruito ponendo però gli elementi piezoceramici solo nella parte centrale, quella costituita da solo quattro mattonelle delimitata dalla bordatura blu con la x al centro.

differenza della prima, questa sperimentazione è stata messa a punto confrontando questo modulo con un modulo di uguali dimensioni realizzato solo in PVC con all'interno un film piezoelettrico. Quello che si è verificato è che il rendimento della mattonella in legno è maggiore rispetto al tappetino in PVC nella misura dell'80%. Questo accade in quanto il film piezoelettrico ha un rendimento minore rispetto all'elemento ceramico piezoelettrico, anche se una resistenza maggiore. Inoltre gli elementi piezoceramici all'interno della mattonella subiscono una deformazione, il film piezoelettrico invece subisce solo una pressione. Per portare il tappeto piezoelettrico in PVC ad un rendimento più simile a quello della piastrella in legno, si dovrebbe realizzare un film a base di piombo, ma il suo peso sarebbe eccessivo soprattutto se si pensa a un tappetino in PVC, il suo costo sarebbe elevatissimo, senza considerare che il piombo non può più essere utilizzato nei materiali da costruzione anzi il suo uso è contrario ai principi di sostenibilità.

Infine un ultimo prototipo è stato realizzato su commissione di una ditta di ceramiche di Faenza, ancora in corso di realizzazione. Non è stato possibile fotografarlo in quanto è stato commissionato da un'azienda e gli accordi non prevedono una divulgazione dei risultati, ed è costituito da un modulo 60X60 di una pavimentazione galleggiante in gres porcellanato. I test effettuati hanno dimostrato che il rendimento è simile a quello degli altri due prototipi con mattonelle in legno si aggira intorno ai 250 milliwatt. Questo dato è importante perché dimostra che a differenza di materiale e di dimensioni le prestazioni fornite dai diversi tipi di mattonelle non cambiano considerevolmente.

Da questa analisi dei sistemi brevettati e sperimentati è possibile stracciare alcune considerazioni che hanno costituito un supporto di riferimento alla determinazione della configurazione di un dispositivo prototipale per le pavimentazioni degli spazi aperti di fruizione collettiva:

- La tipologia delle piastrelle risulta non utilizzabile in spazi aperti, in quanto sono state pensate per spazi chiusi; non è possibile individuare un contesto specifico nel quale inserirle in quanto non sono definiti materiali di finitura e dimensioni e non sono specificate tecniche di posa in opera e tipo di supporto di sottopavimentazione.
- La tipologia dei sistemi per sottopavimentazione non è utilizzabile in spazi aperti in quanto è prevista una posa in opera su supporto galleggiante, in cui le mattonelle sono solo accostate le une alle altre, e non è stato previsto un dispositivo di riparo dagli agenti atmosferici per il sistema piezoelettrico.
- I tappeti sperimentati, che integrano all'interno il sistema piezoelettrico costituiscono degli elementi da porre sopra la pavimentazione. La loro capacità d'integrarsi in un sistema preesistente consiste nella possibilità di essere rimovibili ed asportabili, e pertanto risultare installazioni temporanee, o permanenti come segnaletica stradale a terra sui marciapiedi.
- Gli elementi di finitura che possono essere presi in considerazione per delle pavimentazioni piezoelettriche devono avere delle misure minime di 10 per 10 cm e delle massime pari a 30 per 30 cm. Queste limitazioni sono state verificate in base alle dimensioni contenute in una pedata media di un uomo⁶⁵.

⁶⁵ AAVV,(1999), Manuale di Progettazione edilizia, Fondamenti, strumenti e norme. Volume 1, *Tipologie e criteri di dimensionamento*, Hoepli, Milano

ALLEGATI:

- S1 *TAPPETO CINA 2000*
- S2 *TAPPETO GIAPPONE 2002*
- S3 *TAPPETO CINA 2010*
- S4 *TAPPETO CINA 2011*
- S5 *PIASTRELLA CINA 2003*
- S6 *PIASTRELLA CINA 2008*
- S7 *PIASTRELLA GRAN BRETAGNA 2010*
- S8 *DISPOSITIVO THUNDER 2001*
- S9 *DISPOSITIVO PER PAVIMENTAZIONE ISRAELE 2010*
- S10 *DISPOSITIVO PER PAVIMENTAZIONE STATI UNITI 2011*

**BREVETTI DEPOSITATI: SISTEMI PIEZOLETTTRICI PER
PAVIMENTAZIONI**

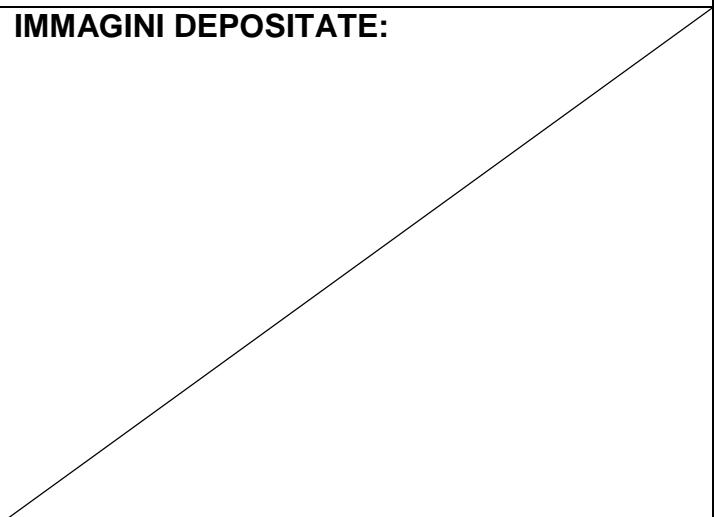
SCHEDE SINTETICHE

S1	DISPOSITIVI CHE SFRUTTANO IL PROCESSO PIEZOLETTICO DIRETTO BREVETTI DEPOSITATI	
	TIPOLOGIA: Tappeto	
OGGETTO DEL BREVETTO: Sensore di allarme	TITOLO DEL BREVETTO: Piezoelectric sensor for burglar alarm	
BREVETTO: CN2375954	INVENTORE: ZHANG HAIYAN	
NAZIONE: CINA	CLASSIFICATION INTERNATIONAL: G01H11/00; (IPC1-7): G01H11/00	
ANNO: 26. 04. 2000	AZIENDA O INDUSTRIA SPERIMENTATRICE: ZHANG HAIYAN	
BREVE DESCRIZIONE: L'oggetto del brevetto è un dispositivo di allarme che viene azionato ed alimentato con la pressione del passo umano attraverso degli elementi piezoelettrici incapsulati in guaine isolanti. Il modello è un tappeto costituito da una guaina isolante flessibile nella quale sono disposti longitudinalmente e trasversalmente in sequenza elementi piezoceramici provvisti di elettrodi metallici; gli elettrodi superiori ed inferiori sono rispettivamente collegati da fili conduttori.	IMMAGINE DEPOSITATA:	
CARATTERISTICHE: <ul style="list-style-type: none"> • Flessibilità dimensionale dei moduli; • Spessore sottile.; • Collegamento con un dispositivo di allarme; • Resistente nel tempo; • Resistente all'umidità; • È costituito da una semplice tecnologia con bassi costi di realizzazione. 	ABACO DEGLI ELEMENTI: <ul style="list-style-type: none"> • guaina isolante; • film piezoelettrico; • circuiti elettrici. 	
TIPO DI AZIONE ESERCITATA: impulso	PRESTAZIONI: <ul style="list-style-type: none"> • Energetiche: alimentazione sensore di rilevamento • d'Impiego: ambienti interni può essere facilmente disposto al di sotto di pavimenti e moquette 	

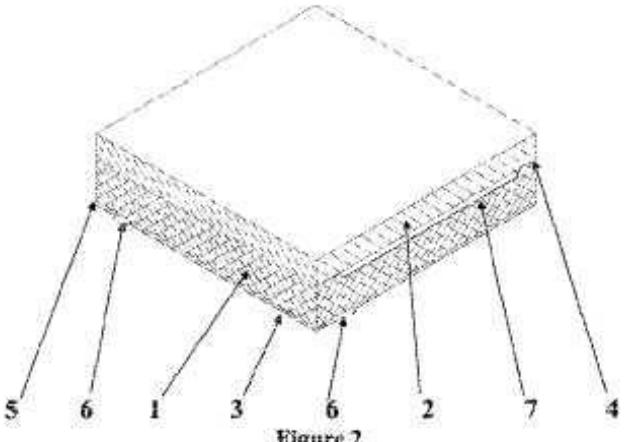
S2	DISPOSITIVI CHE SFRUTTANO IL PROCESSO PIEZOLETTICO DIRETTO BREVETTI DEPOSITATI	
	TIPOLOGIA: Tappeto	
OGGETTO DEL BREVETTO: sensore di monitoraggio	TITOLO DEL BREVETTO: Electric Carpet	
BREVETTO: JP2002250532	INVENTORE: KOMAKI KATSUJI	
NAZIONE: GIAPPONE	CLASSIFICATION INTERNATIONAL: F24D13/02; F24D19/10; H01L41/08; H01L41/09; (IPC1-7): F24D13/02; F24D19/10; H01L41/08; H01L41/09	
ANNO: 06.09.2002	AZIENDA O INDUSTRIA SPERIMENTATRICE: MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD	
BREVE DESCRIZIONE: Un tappeto elettrico in grado di monitorare la temperatura corporea di chi lo calpesta, rilevando le vibrazioni causate dalla respirazione di un corpo vivente e dal battito cardiaco con l'ausilio di un sensore capace di rilevare una variazione di pressione. La sezione di elaborazione del segnale regola la temperatura della sezione riscaldante che si basa su una variazione di pressione causata da un corpo in movimento o simili, rilevata dal sensore del film piezoelettrico. Con questo brevetto sono stati realizzati i tappeti per le indicazioni stradali applicati sulle pavimentazioni dei marciapiedi di Tokyo nel 2008. (vedi scheda S. 4)	IMMAGINI DEPOSITATE: 	
CARATTERISTICHE: <ul style="list-style-type: none"> • resistenza a compressione • spessore sottile • percezione al passo di un tappeto in feltro 	ABACO DEGLI ELEMENTI: <ul style="list-style-type: none"> • film piezoelettrico come sensore; • una guaina poliuretanica di rivestimento; • una schiuma avente una struttura con delle bolle; • una sezione di elaborazione del segnale per amplificare il segnale emesso dal film piezoelettrico. 	
TIPO DI AZIONE ESERCITATA: impulso	PRESTAZIONI: <ul style="list-style-type: none"> • Energetiche: alimentazione sensore di monitoraggio • d'Impiego: ambienti esterni viene appoggiato sulla pavimentazione esistente 	

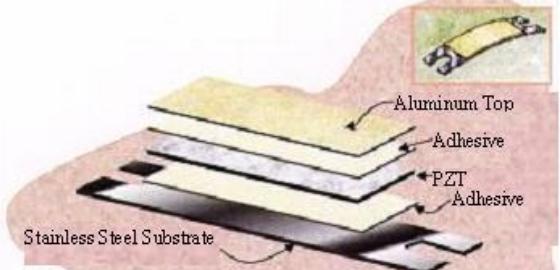
S3	DISPOSITIVI CHE SFRUTTANO IL PROCESSO PIEZOLETTICO DIRETTO BREVETTI DEPOSITATI	
	TIPOLOGIA: Tappeto	
OGGETTO DEL BREVETTO: generatore di energia	TITOLO DEL BREVETTO: Piezo-electricity generator applied to steps in front of building	
BREVETTO: CN201590775 (U)	INVENTORE: MEI BIAN; JIWEN CHEN; DEFANG JIA; SHITENG LI; XINQUAN MA; GUANGJIU QIN; XIAOWEI YANG; FUSHENG YU	
NAZIONE: CINA	CLASSIFICATION INTERNATIONAL: <u>H02J7/32; H02N2/18</u>	
ANNO: 22.09.2010	AZIENDA O INDUSTRIA SPERIMENTATRICE: XINQUAN MA	
BREVE DESCRIZIONE: Il progetto brevettato si riferisce invece a un modello di pavimentazione piezoelettrica per alimentare una batteria. Il contenitore per accogliere gli elementi piezoceramici è composto da un tappeto superiore e da un tappeto inferiore, all'interno del quale sono allocati anche un cavo di alimentazione, uno stabilizzatore di tensione e altri componenti elettrici. Gli elementi ceramici piezoelettrici devono produrre energia e rappresentano la parte principale del generatore piezo-elettrico.	IMMAGINI DEPOSITATE:	
CARATTERISTICHE: • I tappeti possono servire come elementi di arredo o abbellimento dell'ambiente interno;	ABACO DEGLI ELEMENTI: • Elementi piezoceramici • Stabilizzatore di tensione Batteria di carica	
TIPO DI AZIONE ESERCITATA: impulso	PRESTAZIONI: • Energetiche: alimentazione batterie di accumulo d'Impiego: ambienti interni	

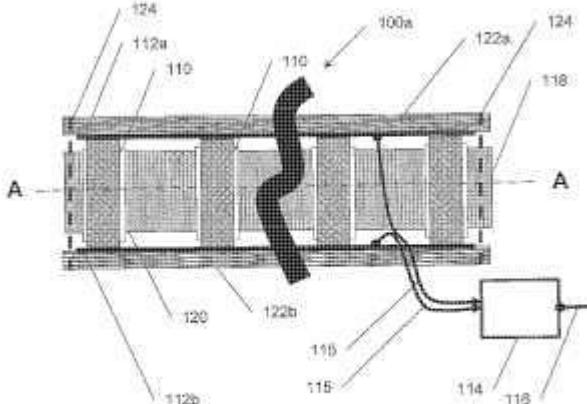
S4	DISPOSITIVI CHE SFRUTTANO IL PROCESSO PIEZOLETTICO DIRETTO BREVETTI DEPOSITATI	
	TIPOLOGIA: <i>Tappeto</i>	
OGGETTO DEL BREVETTO: Sistema wireless di controllo luce per dispositivi di allarme	TITOLO DEL BREVETTO: Wireless stage light control system based on piezoelectric polymeric film	
BREVETTO: CN 201878378 (U)	INVENTORI: YAWEI SHAN; FENGQUN GUO; KUI YUAN; ZHAOLONG MENG; HUI XIAO; XIAOQING ZHANG; ZHUANLAN SUN	
NAZIONE: CINA	CLASSIFICATION INTERNATIONAL: <u>G08C17/02; H05B37/02</u>	
ANNO: 22 – 06 – 2011	AZIENDA O INDUSTRIA SPERIMENTATRICE: UNIV TONGJI	
BREVE DESCRIZIONE: Il sistema è composto da: un tappeto di rilevamento della pressione una lampada. Il tappeto è costituito da una elaboratore del segnale, un modulo trasmittente e sensori piezoelettrici. Il film piezoelettrico è tra due pellicole isolanti. La lampada è alimentata da un segnale di ricezione attraverso un modulo di controllo e una serie di lampade laser, che collegano il segnale di ricezione con il modulo lampada di controllo attraverso un cavo morbido e un trasmettitore wireless sul elaborazione di un segnale. Gli elementi piezoelettrici alimentano il sistema wireless.	IMMAGINI DEPOSITATE:	
CARATTERISTICHE: <ul style="list-style-type: none"> • Collegamento in parallelo degli elementi piezoelettrici • Struttura semplice • Basso costo • Super-sottile • Può essere piegato • Può essere facilmente smontato e rimontato. 	ABACO DEGLI ELEMENTI: <ul style="list-style-type: none"> • Film piezoelettrico • Pellicole isolanti • Lampada laser • Trasmettitore wireless 	PRESTAZIONI: <ul style="list-style-type: none"> • Energetiche: alimentazione sistema di sensori wireless • d'Impiego: ambienti interni e/o esterni
TIPO DI AZIONE ESERCITATA: impulso		

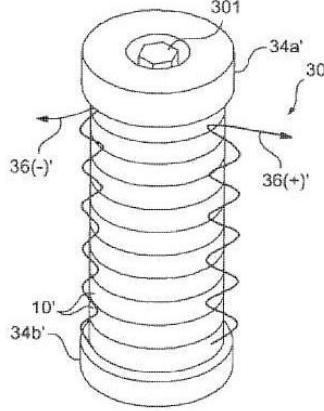
S5	DISPOSITIVI CHE SFRUTTANO IL PROCESSO PIEZOLETTTRICO DIRETTO BREVETTI DEPOSITATI	
	TIPOLOGIA: <i>Piastrella</i>	
OGGETTO DEL BREVETTO: Piastrella autoilluminante	TITOLO DEL BREVETTO: Floor tile with piezoelectric ceramic flat for luminous by external force	
BREVETTO: CN2567287	INVENTORE: YU JIANFENG	
NAZIONE: CINA	CLASSIFICATION INTERNATIONAL: E04F15/02; F21S6/00; (IPC1-7): E04F15/02; F21S6/00	
ANNO: 20-08-2003	AZIENDA O INDUSTRIA SPERIMENTATRICE: YU JIANFENG	
BREVE DESCRIZIONE: Una piastrella da pavimento in grado di emettere luce quando viene esercitata una forza. Il modello è realizzato come un sandwich in mezzo al quale sono disposti elementi ceramici piezoelettrici in sovrapposizione, intervallati da uno strato di gomma.	IMMAGINI DEPOSITATE: 	
CARATTERISTICHE: <ul style="list-style-type: none"> Elementi ceramici piezoelettrici disposti in sovrapposizione e separati da una membrana in gomma; Lo strato intermedio può essere costituito da uno o più fogli ceramici piezoelettrici disposti sul medesimo piano orizzontale; Lo strato superiore della piastrella è provvisto di uno o più fori dove sono allocati diodi emettitori di luce collegati attraverso cavi elettrici con gli elementi piezo. 	ABACO DEGLI ELEMENTI: <ul style="list-style-type: none"> piastrella superiore trasparente o semitrasparente fogli ceramici piezoelettrici; uno strato di gomma intermedio; una mattonella nello strato inferiore. 	
TIPO DI AZIONE ESERCITATA: impulso	PRESTAZIONI: <ul style="list-style-type: none"> Energetiche: alimentazione sorgente luminosa d'Impiego: ambienti interni 	

S6	DISPOSITIVI CHE SFRUTTANO IL PROCESSO PIEZOLETTICO DIRETTO BREVETTI DEPOSITATI	
	TIPOLOGIA: <i>Piastrella</i>	
OGGETTO DEL BREVETTO: Piastrella auto illuminante	TITOLO DEL BREVETTO: Induced light emitting ground tile	
BREVETTO: CN101334148 (A)	INVENTORE: XIAODONG OUYANG	
NAZIONE: CINA	CLASSIFICATION INTERNATIONAL: F21V15/02; F21V23/00; H03K17/94; F21Y101/02	
ANNO: 31-12-2008	AZIENDA O INDUSTRIA SPERIMENTATRICE: XIAODONG OUYANG	
BREVE DESCRIZIONE: Quando una persona cammina sulla mattonella, può essere calpestato o toccato, e si genera una vibrazione o deformazione; la vibrazione o deformazione del supporto viene trasmessa al circuito di amplificazione di segnale dopo essere stata trasformata in un segnale elettrico dal foglio piezoelettrico; il segnale amplificato viene trasmesso ad un dispositivo esterno di comando collegato tramite il circuito di amplificazione di segnale, a un dispositivo di controllo di una lampada LED, un circuito di pilotaggio che modifica il colore o la luminosità della luce, ossia, quando una persona cammina sulla mattonella, la lampada a LED può generare variazioni di illuminazione differenti, così generare una piastrella con effetto particolari decorativi.	IMMAGINI DEPOSITATE:	
CARATTERISTICHE: • uno strato trasparente superiore; • variazioni cromatiche della lampada a LED per generare effetti decorativi.	ABACO DEGLI ELEMENTI: • un foglio piezoelettrico • il foglio piezoelettrico è appoggiato su un circuito stampato nel corpo principale • un supporto costituito da una mattonella; • circuito di amplificazione di segnale; • dispositivo di controllo lampada LED.	
TIPO DI AZIONE ESERCITATA: impulso	PRESTAZIONI: • Energetiche: alimentazione lampada LED • d'Impiego: ambienti interni	

S7	DISPOSITIVI CHE SFRUTTANO IL PROCESSO PIEZOLETTTRICO DIRETTO BREVETTI DEPOSITATI	
	TIPOLOGIA: <i>Piastrella</i>	
OGGETTO DEL BREVETTO: Piastrella per il monitoraggio e la sorveglianza delle grandi aree	TITOLO DEL BREVETTO: Piezoelectric pressure-sensitive tiles for surveillance and monitoring of large areas	
BREVETTO: GB2462643	INVENTORE: HALE JACK MICHAEL; STEPHENSON ROBIN	
NAZIONE: Gran Bretagna	CLASSIFICATION INTERNATIONAL: G08B13/10	
ANNO: 17. 02. 2010	AZIENDA O INDUSTRIA SPERIMENTATRICE: HALE JACK MICHAEL; STEPHENSON ROBIN	
BREVE DESCRIZIONE: Il progetto brevettato consiste in una mattonella sandwich al cui interno c'è un strato piezoelettrico sensibile alla pressione contenuto tra due rivestimenti conduttori 4, 5. Un numero elevato di mattonelle possono essere messe insieme per monitorare aree di grandi dimensioni, per gli intrusi o simili.	IMMAGINI DEPOSITATE:  Figure 2	
CARATTERISTICHE: <ul style="list-style-type: none">• Struttura a sandwich• Il dispositivo sensore non richiede una sorgente di alimentazione.	ABACO DEGLI ELEMENTI: <ul style="list-style-type: none">• Manto superficiale materiale gommoso o schiumosa come vinile, o moquette spessore 5 mm• Sotto il manto superficiale una mattonella comune (2) che serve per proteggere lo strato conduttore superficiale• Lo strato adduttore superficiale di materiale piezoceramico spessore 5mm• Circuito e connessioni(6 e 7)• Il rivestimento inferiore in resina Film plastico in resina di protezione spessore 1 mm.	
TIPO DI AZIONE ESERCITATA: impulso	PRESTAZIONI: <ul style="list-style-type: none">• Energetiche: alimentazione di sensori di allarme a LED• d'Impiego: ambienti interni	

S8	DISPOSITIVI CHE SFRUTTANO IL PROCESSO PIEZOLETTTRICO DIRETTO BREVETTI DEPOSITATI	
	TIPOLOGIA: <i>Dispositivo</i>	
OGGETTO DEL BREVETTO: Apparato per un attuatore e sensore con elevate capacità di deformazione	TITOLO DEL BREVETTO: Thunder Actuators	
BREVETTO: US006257293	INVENTORE: Face, Jr.; Samuel A. (Norfolk, VA), Clark; Stephen E. (Norfolk, VA)	CLASSIFICATION INTERNATIONAL: B32B 37/14 (20060101); H01L 41/24 (20060101); H01L 41/09 (20060101); B32B 031/04 (); B32B 031/20
NAZIONE: STATI UNITI	ANNO: July 10, 2001	AZIENDA O INDUSTRIA Sperimentatrice: Face International Corp. (Norfolk, VA)
BREVE DESCRIZIONE: Il Thunder actuators, è un wafer di piezoceramico incollato tra una superficie di acciaio inossidabile curva posta al di sotto e una superficie di alluminio. Questo elemento ha una curvatura caratteristica realizzata attraverso una pressione a caldo di tutti gli elementi. Questa procedimento e questa conformatore finale hanno migliorato le prestazioni in termini energetici e di renitenza del materiale. Lo strato superficiale di saldatura serve principalmente per la connessione dei cavi e poi come protezione superficiale.	IMMAGINI DEPOSITATE: 	
CARATTERISTICHE: <ul style="list-style-type: none">Raggio di curvatura a 0,61 mm a 9,57mm	ABACO DEGLI ELEMENTI: <ul style="list-style-type: none">Strato superficiale in AlluminioStrato adesivo in resinaStrato PZTStrato adesivo in resinaAcciaio inox PRESTAZIONI: <ul style="list-style-type: none">Energetiche: alimentazione di sensori luminosi con potenza da 30 a 60 Voltd'Impiego: scarpe che si illuminano	
TIPO DI AZIONE ESERCITATA: impulso		

S9	DISPOSITIVI CHE SFRUTTANO IL PROCESSO PIEZOLETTTRICO DIRETTO BREVETTI DEPOSITATI	
	TIPOLOGIA: <i>Dispositivo per pavimentazioni</i>	
OGGETTO DEL BREVETTO: Generatore modulare di energia	TITOLO DEL BREVETTO: Modular Piezoelectric Generators	
BREVETTO: WO2010116348 (A1)	INVENTORI: ABRAMOVICH HAIM [IL]; HARASH EUGENY [IL]; MILGROM CHARLES [IL]; EDERY AZULAY LUCY [IL]; TSIKHOTSKY EUGENY [IL]; AMIT URI [IL]	
NAZIONE: ISRAELE	CLASSIFICATION INTERNATIONAL: H01L41/113	
ANNO: 14.10.2010	AZIENDA O INDUSTRIA SPERIMENTATRICE: INNOWATTECH LTD	
BREVE DESCRIZIONE: Il modello presentato è costituito da un generatore modulare piezoelettrico per la conversione di energia meccanica, ottenuta dal passaggio di veicoli, ad energia elettrica che può essere inserita sotto il livello superiore di asfalto di una strada. Il progetto presentato è un apparecchio modulare, che può essere utilizzato sfruttando l'energia meccanica prodotta dai veicoli in movimento (per esempio la pista di un aeroporto, linee della ferrovia o marciapiedi). L'apparecchio può essere utilizzato all'aperto o al coperto in qualsiasi posto dove passano un gran numero di pedoni.	IMMAGINI DEPOSITATE:  Fig 1a(i)	
CARATTERISTICHE: • Elemento da inserire ad di sotto di un rivestimento	ABACO DEGLI ELEMENTI: non specificati	
TIPO DI AZIONE ESERCITATA: impulso	PRESTAZIONI: • Energetiche: non specificate • d'Impiego: marciapiedi o strade, percorsi al chiuso	

S10	DISPOSITIVI CHE SFRUTTANO IL PROCESSO PIEZOLETTICO DIRETTO BREVETTI DEPOSITATI	
	TIPOLOGIA: Dispositivo per pavimentazioni	
OGGETTO DEL BREVETTO: Elementi impilati per produrre energia	TITOLO DEL BREVETTO: Piezoelectric stack compression generator	
BREVETTO: US2011291526 (A1)	INVENTORI: ABRAMOVICH HAIM [IL]; MILGROM CHARLES [IL]; HARASH EUGENY [IL]; EDERY-AZULAY LUCY [IL]; AMIT URI [IL]	
NAZIONE: STATI UNITI	CLASSIFICATION INTERNATIONAL: F03G7/08; H01L41/053; H01L41/083; H02N2/18	
ANNO: 1.12.2011	AZIENDA O INDUSTRIA SPERIMENTATRICE: INNOWATTECH LTD [IL]	
BREVE DESCRIZIONE: Il modello è costituito da una pila di elementi piezoelettrici, in forma di barra allungata diviso in segmenti, per generare energia elettrica in risposta a sollecitazione di compressione. Il modello comprende elementi piezoelettrici impilati uno sull'altro in modo che gli elettrodi abbiano tutti la stessa polarità. I dischi piezoelettrici sono impilati intorno ad una struttura, ad esempio una vite, tra di loro ci sono dei morsetti atti a trasferire le sollecitazioni di compressione meccanica. La struttura di contenimento accetta sollecitazioni di taglio, fornisce una tensione di precarico sulla pila e impedisce la piegatura della pila sotto pressione. Una cavità nella parte terminale, più profonda della testa della vite, assicura che il carico posto sulla pila sia in grado di comprimere gli elementi piezoelettrici e non sulla vite.	IMMAGINI DEPOSITATE: 	
CARATTERISTICHE: <ul style="list-style-type: none">incastro degli elementicarico distribuito sul supporto	ABACO DEGLI ELEMENTI: <ul style="list-style-type: none">elementi piezoelettrici impilativite di acciaio come struttura portante PRESTAZIONI: <ul style="list-style-type: none">Energetiche: 40 kilowatt/secondod'Impiego: binari ferroviari	
TIPO DI AZIONE ESERCITATA: Risonanza		

ALLEGATI:

- S11 *MAGIC CARPET*
- S12 *ELECTRIC CARPET*
- S13 *TAPPETINO PIEZOELETTRICO*
- S14 *SUSTAINABLE DANCIN FLOOR*
- S15 *POWER GENERATING FLOOR*
- S16 *DIMOSTRATORE PIEZOELETTRICO*
- S17 *MATTONELLA PIEZOELETTRICA*
- S18 *STRADE CARRBILI PIEZOELETTRICHE*
- S19 *PAVEGEN SYSTEM*

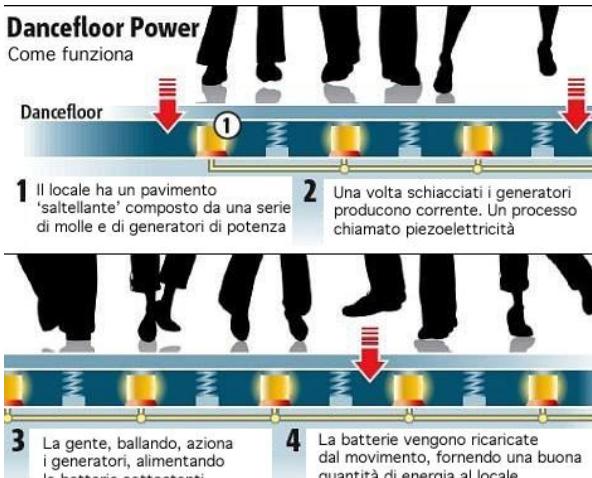
ESPERIENZE Sperimentali: DISPOSITIVI PIEZOELETTRICI

SCHEDA SINTETICHE

S1	SPERIMENTAZIONI DI PAVIMENTAZIONI PIEZOLETTTRICHE: MAGIC CARPET			
	TIPOLOGIA: Tappeto			
NAZIONE: STATI UNITI	OGGETTO: sensore di monitoraggio per i movimenti			
CITTA': BOSTON				
ANNO: 1996-2003				
BREVETTO: Nessuno				
ENTE ATTUATORE: MIT di Boston e Media Lab's Interactive Cinema group				
REFERENCES: http://members.xoom.it/deliranti/index.htm				
LUOGO DELL'ESPERIMENTO: T-Expo 2003 a Roma				
SUPERFICIE ORIZZONTALE: 3,87 m ²				
UTILIZZO MANUFATTI ESISTENTI: Expo di Roma				
CONFIGURAZIONI DI LAVORO: Tappeti piezoelettrici per la creazione di ambienti interattivi				
DATI ASSEGNAZI: Tappeto calpestabile pedonale Dimensioni 1,524 m X 2,54 m				
PRESTAZIONI ESITATE: Monitoraggio movimenti attraverso performance musicali.				
<p>DESCRIZIONE E OSSERVAZIONI: Il Magic Carpet è un tappeto piezoelettrico che quando viene calpestato a seconda del peso e del movimento emette dei suoni. Gli elementi piezoelettrici vengono impiegati come sensori di pressione in cui i movimenti sono captati dai sensori e trasformati in suoni MIDI.</p> <p>Il monitoraggio dei movimenti avviene attraverso l'uso di:</p> <ul style="list-style-type: none"> - una coppia di sensori doppler che misurano gli spostamenti della parte superiore del corpo in termini di quantità, velocità e direzione del movimento; - una rete di cavi piezoelettrici posta sotto il tappeto che analizza la posizione dinamica. <p>Il Media Lab's Interactive Cinema group, ha presentato con questo tappeto un'installazione al T-Expo 2003 a Roma, dove il tappeto diventa un mouse pad su cui il performer, come un mouse, muove l'immagine proiettata sulla parete. Questo tipo di esperimento è interessante per l'impiego dei cavi piezoelettrici come sistema di captazione di movimento ed emissione di segnale corrispondente, che mette in evidenza i molteplici usi che si possono fare del piezoelettrico.</p>				
FINALITA': L'uso del piezoelettrico è finalizzato a sistemi di sensori e non alla generazione di energia.				

S12	SPERIMENTAZIONI DI PAVIMENTAZIONI PIEZOLETTTRICHE: ELECTRIC CARPET	
	TIPOLOGIA: Tappeto	
NAZIONE: Giappone	OGGETTO: sensore di monitoraggio per il rilevamento del calore	
CITTA': Tokyo		
ANNO: 2007 - 2008		
BREVETTO: JP2002250532		
ENTE ATTUATORE: Japan Railways - KEIO University		
REFERENCES: http://www.greenstyle.it/energia-dal-pavimento-a-tokyo-164.html		
LUOGO DELL'ESPERIMENTO: Uscita stazione ferroviaria di Shibuya		
SUPERFICIE ORIZZONTALE: 0,64 m ²		
UTILIZZO MANUFATTI ESISTENTI: Pavimentazione stradale		
CONFIGURAZIONI DI LAVORO: Tappeto piezoelettrico sui marciapiedi pubblici		
DATI ASSEGNAZI: <ul style="list-style-type: none"> • Tappeto calpestabile pedonale • Spessore 2,5 cm • Dimensioni 240 cm x 320 cm • Carico medio di 30 kg che corrisponde a una persona di 60 kg 	IMMAGINI:	
PRESTAZIONI ESITATE: 0.5 W/s per un carico di una persona media		
DESCRIZIONE E OSSERVAZIONI: La sperimentazione prevede l'integrazione nei tappeti per le indicazioni sui marciapiedi di Tokyo dei sistemi piezoelettrici. Il prototipo è stato installato, per i test, all'esterno della stazione ferroviaria di Shibuya, (l'installazione sperimentale è stata rimossa il 26 dicembre 2008) ed è uno speciale tappeto piezoelettrico sorprendentemente sottile: soli 2,5cm di spessore, ed ha una consistenza paragonabile a quella dei tappeti da 'camminata' in stile 'red carpet'. Questo esperimento è servito a testare la migliore rispondenza delle superfici gommese rispetto a quelle dure dei mattoni provate in laboratorio. Il singolo risultato non è molto soddisfacente ma tutto cambia quando il tappeto viene posto, ad esempio all'esterno della suddetta stazione ferroviaria che ha un intenso traffico pedonale.		
FINALITA': Misurare la possibilità di generare energia in relazione al traffico pedonale, attraverso l'alimentazione di un display a LED che la rendicontava, testando il prototipo in un ambiente molto affollato.		

S13	SPERIMENTAZIONI DI PAVIMENTAZIONI PIEZOLETTTRICHE: TAPPETINO PIEZOLETTTRICO	
	TIPOLOGIA: Tappeto	
NAZIONE: Italia	OGGETTO:	
CITTA': Faenza	sensore di monitoraggio per il rilevamento dell'energia prodotta	
ANNO: 2009-2011	IMMAGINI:	
BREVETTO: No		
ENTE ATTUATORE: Istec-CNR Faenza – Responsabile Prof.ssa Carmen Galassi		
REFERENCES: www.istec.cnr.it		
LUOGO DELL'ESPERIMENTO: Laboratorio Istec-CNR Faenza		
SUPERFICIE ORIZZONTALE: 9,61 cm ²		
UTILIZZO MANUFATTI ESISTENTI: No		
CONFIGURAZIONI DI LAVORO: Tappetino piezoelettrico in pvc per generare energia		
DATI ASSEGNAZI: Dimensioni mattonella escluso il supporto in materiale plastico 31 cm X 31 cm Film piezoelettrico		
PRESTAZIONI ESITATE: 2milliwatt/30Kg		
DESCRIZIONE E OSSERVAZIONI: Questa sperimentazione mette a confronto il modulo di pavimentazione in legno descritto nella precedente scheda con un modulo in PVC che impiega del Film piezoelettrico al suo interno. Quello che si è verificato è che il rendimento della mattonella in legno è maggiore rispetto al tappetino in PVC nella misura dell'80%. Questo accade in quanto il film piezoelettrico ha un rendimento minore rispetto all'elemento ceramico piezoelettrico, inoltre ha anche una resistenza inferiore. Per portarlo a un rendimento più simile a quello del materiale ceramico ed a una resistenza maggiore, si dovrebbe realizzare un film a base di piombo, ma il suo peso sarebbe eccessivo soprattutto se si pensa a un tappetino in PVC, il suo costo sarebbe elevatissimo, senza considerare che il piombo non può più essere utilizzato nei materiali da costruzione anzi il suo uso è contrario ai principi di sostenibilità.		
FINALITA': Mettere a confronto due sistemi di pavimentazione piezoelettrica di uguali dimensioni e materiale differente per verificare le prestazioni energetiche.		

S14	SPERIMENTAZIONI DI PAVIMENTAZIONI PIEZOELETTRICHE: SUSTAINABLE DANCE FLOOR	
	TIPOLOGIA: <i>Dispositivi per pavimentazioni</i>	
NAZIONE: Olanda	OGGETTO: sensore di monitoraggio per il rilevamento dell'energia prodotta	
CITTA': Rotterdam		
ANNO: 2006	IMMAGINI:	
BREVETTO: NO		
ENTE ATTUATORE: Studio di architettura Döll-Atelier voor Bouwkunst L'associazione Enviu, Università di Delft e Eindhoven	REFERENCES: http://www.sustainabledanceclub.com/products http://www.dollarchitecture.com/flash/index.html	
LUOGO DELL'ESPERIMENTO: Discoteca Watt		
SUPERFICIE ORIZZONTALE:		
UTILIZZO MANUFATTI ESISTENTI:		
CONFIGURAZIONI DI LAVORO: Sotto pavimentazione con impianto piezoelettrico per generare energia.	DATI ASSEGNAZI:	
PRESTAZIONI ESITATE: soddisfacimento del fabbisogno energetico del locale.		
DESCRIZIONE E OSSERVAZIONI: Il progetto consiste in una discoteca ecosostenibile che sfrutta le sollecitazioni meccaniche che si generano sulla pista quando si balla, grazie a un pavimento speciale in grado di trasformare l'energia cinetica in energia elettrica. Si tratta di un pavimento sospeso su cristalli piezoelettrici che, se compressi o fatti vibrare, producono energia piezoelettrica. Il sistema di illuminazione per abbattere i costi è a LED. In realtà da alcune indagini svolte anche dal CNR di Faenza sembra che il sistema piezoelettrico non sia il solo disposto al di sotto della pavimentazione ma che è affiancato da un sistema dinamo per generare energia sufficiente ad tenere in esercizio il locale.		
FINALITA': La pista da ballo è costata 257.000 dollari, ma il vero obiettivo di questa discoteca è la diffusione di uno stile di vita ecosostenibile tra i giovani, ad esempio, dimostrando, di essere arrivati al locale in bicicletta, a piedi o con i mezzi pubblici, l'ingresso è gratuito.		

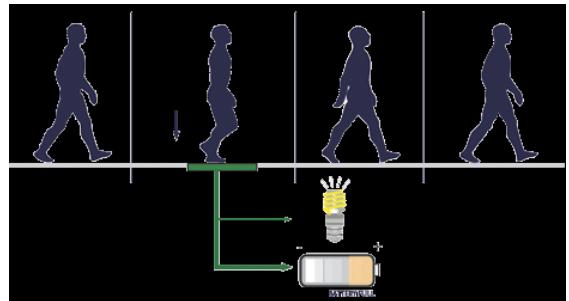
S15	SPERIMENTAZIONI DI PAVIMENTAZIONI PIEZOLETTTRICHE: POWER GENERATING FLOOR	
	TIPOLOGIA: <i>Dispositivi per pavimentazioni</i>	
NAZIONE: Giappone	OGGETTO: dispositivo per la produzione di energia	
CITTA': Tokyo		
ANNO: 2007 - 2008		
BREVETTO: No		
ENTE ATTUATORE: Japan Railways East - New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).		
REFERENCES: http://www.jreast.co.jp/e/environment/		
LUOGO DELL'ESPERIMENTO: Tokyo Station	IMMAGINI:	
SUPERFICIE ORIZZONTALE: 25 m ²		
UTILIZZO MANUFATTI ESISTENTI: Pavimentazione esistente della stazione.		
CONFIGURAZIONI DI LAVORO: Piastra sotto pavimentazione per alloggiare circuiti piezoelettrici per la generazione di energia		
DATI ASSEGNAZI: Percorsi pedonali rivestiti con pavimentazione in gres Dimensioni dell'area ai controlli 4 m X 4 m Dimensioni dell'area sulle scale 3,5 m X 2,5 m		
PRESTAZIONI ESITATE: 4W/s a persona 730 kW/s in un giorno		
DESCRIZIONE E OSSERVAZIONI: Si tratta di una pavimentazione appoggiata su una piastra metallica in cui sono adagiati i sensori piezoelettrici ed i circuiti. L'energia prodotta dovrebbe mantenere in funzione i gates della metropolitana. È interessante la conformazione dell'elemento piezoelettrico che è incollato su una piastrina metallica con cui diventa un unico corpo che favorisce la flessione dell'elemento per generare energia.		
FINALITA': Un programma di sviluppo energetico del prototipo che prevede un incremento di energia fino a 10W/s		

S16	SPERIMENTAZIONI DI PAVIMENTAZIONI PIEZOLETTTRICHE: DIMOSTRATORE PIEZOLETTTRICO	
	TIPOLOGIA: <i>Dispositivi per pavimentazioni</i>	
NAZIONE: Italia	OGGETTO:	
CITTÀ: Faenza	dimostratore per la produzione di energia	
ANNO: 2006-2009		
BREVETTO: No		IMMAGINI:
ENTE ATTUATORE: Istec-CNR Faenza – Responsabile Prof.ssa Carmen Galassi		
REFERENCES: www.istec.cnr.it		
LUOGO DELL'ESPERIMENTO: Laboratorio Istec-CNR Faenza		
SUPERFICIE ORIZZONTALE: 1,44 m ²		
UTILIZZO MANUFATTI ESISTENTI: No		
CONFIGURAZIONI DI LAVORO: Pavimentazione pedonale piezoelettrica in legno rivestita in pvc		
DATI ASSEGNNATI: Mattonelle legno multistrato rivestite in PVC Dimensioni mattonelle 30 cm X 30 cm Dimensioni area calpestabile iniziale 120 cm x 120 cm Dimensioni area calpestabile ricostruzione 60 cm x 60 cm Piastrine ceramiche piezoelettriche spessore 0,5 mm		
PRESTAZIONI ESITATE: 200 milliwatt/30 kg		
DESCRIZIONE E OSSERVAZIONI: Il prototipo consiste in una pedana quadrata con 16 mattonelle di legno rivestite in PVC. Le mattonelle sono di dimensioni 30X30 cm e sono solo appoggiate, sono facilmente smontabili ed intercambiabili. Al di sotto delle mattonelle ci sono gli elementi piezoceramici, che rivestono circa il 50% della superficie della mattonella, questi sono collegati con un misuratore di potenza, posizionato sul pilastro centrale che calcola l'energia prodotta dai 30 milliwatt ai 300 milliwatt. Dopo essere stato esposto per circa dieci giorni al festival, sotto un frequente esercizio, si sono riscontrati seguenti problemi: rottura degli elementi piezoceramici; causa la loro fragilità. Il prototipo è stato poi ricostruito ponendo però gli elementi piezoceramici solo nella parte centrale, come si evince dalla figura.		
FINALITA': Dimostrazione della capacità dei cristalli piezoelettrici che sottoposti a una pressione meccanica hanno generato una corrente trasformabile in energia elettrica.		



S17	SPERIMENTAZIONI DI PAVIMENTAZIONI PIEZOELETTRICHE: MATTONELLA PIEZOELETTRICA	
	TIPOLOGIA: <i>Dispositivi per pavimentazioni</i>	
NAZIONE: Italia	OGGETTO: dimostratore per la produzione di energia	
CITTA': Faenza		
ANNO: 2009-2011	IMMAGINI:	
BREVETTO: No		
ENTE ATTUATORE: Istec-CNR Faenza – Responsabile Prof.ssa Carmen Galassi		
REFERENCES: www.istec.cnr.it		
LUOGO DELL'ESPERIMENTO: Laboratorio Istec-CNR Faenza		
SUPERFICIE ORIZZONTALE: 9,61 cm ²		
UTILIZZO MANUFATTI ESISTENTI: No		
CONFIGURAZIONI DI LAVORO: Elemento di pavimentazione pedonale piezoelettrica in legno rivestita in pvc		
DATI ASSEGNAZI: Mattonella in legno rivestita in PVC Dimensioni mattonella escluso il supporto in materiale plastico 31 cm X 31 cm Piastrine ceramiche piezoelettriche spessore 0,5 mm		
PRESTAZIONI ESITATE: 200 milliwatt/30 kg		
DESCRIZIONE E OSSERVAZIONI: Il prototipo è stato presentato nella trasmissione Geo&Geo del 18.10.2011; è costituito da un'unica mattonella trasportabile in legno rivestita in PVC. Il materiale piezoelettrico è nella misura del 50% della superficie della mattonella, ed è costituito da piastrine piezoelettriche di spessore 0,5 mm. La mattonella è collegata a un indicatore di potenza che a seconda del carico esercitato restituisce la potenza rilevata in milliwatt. Il prototipo non si differenzia in alcunché dal dimostratore presentato a Genova, ma è stato realizzato per essere raffrontato un tappetino piezoelettrico in PVC descritto nella successiva scheda.		
FINALITA': Mettere a confronto due sistemi di pavimentazione piezoelettrica di uguali dimensioni e materiale differente per verificare il rendimento energetico		

S18	SPERIMENTAZIONI DI PAVIMENTAZIONI PIEZOLETTTRICHE: STRADE CARRABILI PIEZOLETTTRICHE	
	TIPOLOGIA: <i>Dispositivi per pavimentazioni</i>	
NAZIONE: Israele	OGGETTO: piastrella piezoelettrica da applicare sotto il rivestimento	
CITTA':		
ANNO: 2010-2011		
BREVETTO: US2011291526 (A1) - WO2010116348 (A1)		
ENTE ATTUATORE: Innowattech		
REFERENCES: http://www.innowattech.co.il/index.aspx	IMMAGINI:	
LUOGO DELL'ESPERIMENTO: Laboratori Innowattech		
SUPERFICIE ORIZZONTALE: 100 metri di strada carrabile		
UTILIZZO MANUFATTI ESISTENTI: strada carrabile		
CONFIGURAZIONI DI LAVORO: Sistema sottopavimentazione per sfruttare l'energia esercitata dal passaggio veicolare		
DATI ASSEGNAZI: 100 m di strada asfaltata		
PRESTAZIONI ESITATE: 40 kilowatt/secondo		
DESCRIZIONE E OSSERVAZIONI: Alcuni ingegneri israeliani della società Innowattech stanno testando, su un pezzo di strada lungo, un sistema basato su IPEG, Piezo Electric Generators. Nel sistema messo a punto da Innowattech, dei particolari cristalli sono in grado di trasformare la pressione meccanica in corrente elettrica e, allo stesso tempo, raccogliere informazioni digitali sul traffico. Innowattech è ancora alla ricerca di trasduttori piezoelettrici in grado di supportare lo sforzo meccanico richiesto.		
FINALITA': Produrre fino a 400 kilowatt per un tratto di strada di un chilometro; utilizzare lo stesso sistema su reti ferroviarie e piste d'atterraggio aeroportuali.		

S19	SPERIMENTAZIONI DI PAVIMENTAZIONI PIEZOLETTTRICHE: PAVEGEN SYSTEM	
	TIPOLOGIA: Piastrelle	
NAZIONE: Regno Unito	OGGETTO:	
CITTÀ: London	mattonella generatrice di energia	
ANNO: 2009	IMMAGINI:	
BREVETTO: No		
ENTE ATTUATORE: Pavegen System		
REFERENCES: http://www.pavegen.com/		
LUOGO DELL'ESPERIMENTO: Strade e piazze pedonali - stazioni metropolitane		
SUPERFICIE ORIZZONTALE: 1,60 cm ²		
UTILIZZO MANUFATTI ESISTENTI: No		
CONFIGURAZIONI DI LAVORO: pavimento auto illuminante dotato di sistema energetico piezoelettrico e sorgente luminosa		
DATI ASSEGNAZI: Mattonella rivestita in PVC Dimensioni 40 cm x 40 cm Inglobato sistema illuminazione		
PRESTAZIONI ESITATE: Accensione di lampade alimentate a LED		
DESCRIZIONE E OSSERVAZIONI: Il modello presentato dalla Pavegen system, è un sistema di pavimentazione con elementi piezoelettrici collegati direttamente ad una sorgente luminosa. Come si vede nell'immagine in alto si vede come la pressione del passo dell'uomo sulla sorgente luminosa trasparente attiva una scarica energetica sufficiente ad illuminare la semisfera. Il dato interessante di questo studio riguarda la frequenza delle persone che attraversano questi luoghi che sono strade pedonali, piazze, stazioni ferroviarie o metropolitane, dove il flusso è costante e rilevante. Si parla di circa 52.000 persone all'ora nell'area, non sul singolo elemento, per alimentare un sistema di illuminazione.		
FINALITA': Promuovere l'energia piezoelettrica.		

Bibliografia:

Viola S., (2012), *Nuove sfide per città antiche. Prosperità, innovazione tecnologica e bellezza.* (New challenges for ancient cities. Prosperity, technological innovation and beauty), Liguori ed., Napoli

Manbachi, A. e Cobbold R.S.C. (2011). *Development and Application of Piezoelectric Materials for Ultrasound Generation and Detection*, Ultrasound, the Royal Society of medicine Journal.

T. Rodigw and A. Schonecker, *A Survey on Piezoelectric Ceramics for Generator Applications*, in *Journal of the American Ceramic Society—Haertling* Vol. 93, No. 4, 2010, pp 901-912

Z.Hadas, V. Singule, S. Vechet and C.Ondrusek, *Development of Energy Harvesting Sources for Remote Applications as Mechatronic systems*, in 14th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC, 2010, pp.10-19

Fusco Girard L. e Nijkamp P., (2009), *Cultural Tourism and Sustainable Local Development*, ASHGATE, Burlington USA.

Adhikari S., Friswell M. I. and Inman D. J., *Piezoelectric energy harvesting from broadband random vibrations*, in Smart Materials and Structures, n 18, 2009, p.1-7

Amoroso F., Pecora R., Ferraro S., Lecce L.K.A., *Design and testing of piezoelectric energy harvesting system from vibrations for wireless sensors*, 2009, University of Naples “Federico II”, Italy

Yang Y. and Tang L., *Equivalent Circuit Modeling of Piezoelectric Energy Harvesters*, in Journal of Intelligent Material Systems and Structures, n 20, 2009 p. 2223-2235

Mahammadi F., Cass R.B., *Energy harvesting from multiple piezoelectric sources*, Brevetto n. US2008/0252174A1, US, 2008

R. Guigon, J.-J. Chaillout, T. Jager and G. Despesse, *Harvesting raindrop energy: theory*, in Smart Materials And Structure, n.17, 2008, pp1-8

D. Benasciuttia, E. Brusaa, L. Moroa, S. Zelenikaa, *Ottimizzazione di dispositivi piezoelettrici per accumulo di energia*, in XXXVII Convegno Nazionale, 10-13 settembre 2008, Università di Roma “La Sapienza”.

Franco G., (2007), “*Strategie di riqualificazione dei patrimoni immobiliari. Certificazione energetica e sostenibilità ambientale*”, in Fiore V. (a cura di), Atti del convegno nazionale *La cultura della Manutenzione nel progetto edilizio e urbano*, LetteraVentidue Edizioni.

Augè M. (2007), tra i confini, città, luoghi, integrazioni, Bruno ondadori, Milano

Anton S. R. and Sodano H. A., *A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003–2006)*, in Smart Materials and Structures, n 16, 2007, p.1-21

Caterina G. (a cura di), (2005), *Per una cultura manutentiva. Percorsi didattici ed esperienze applicative di recupero edilizio e urbano*, Liguori editore, Napoli

AA.VV., (2004), *Libro bianco "Energia-ambiente- Edificio"*, Edizione il sole 24 ore, Milano.

S. Roundy and P. K.Wright, *A piezoelectric vibration based generator for wireless electronics*, in Smart Materials And Structure, n.13, 2004, pp 1131-1142

Cantone F. e Viola S., (2002), *Governare le Trasformazioni. Un progetto per le corti di Ortigia in Siracusa*, Alfredo Guida Editore, Napoli

Gene H. Haertling, *Ferroelectric Ceramics: History and Technology*, in *Journal of the American Ceramic Society—Haertling* Vol. 82, No. 4, 1999, pp 797-818

AAVV,(1999), *Manuale di Progettazione edilizia, Fondamenti, strumenti e norme. Volume 1, Tipologie e criteri di dimensionamento*, Hoepli, Milano

Direttive Europee

Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia

Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (RED)

Direttiva 2006/32/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 5 aprile 2006 concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e recante abrogazione della direttiva 93/76/CEE del Consiglio

Direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia

Brevetti

Brevetto US2011291526, Stati Uniti, 1.12.2011 - *Piezoelectric stack compression generator*

Brevetto CN 201878378, Cina, 22.06.2011 - *Wireless stage light control system based on piezoelectric polymeric*

Brevetto CN201590775, Cina, 22.09.2010 *Piezo-electricity generator applied to steps in front of building*

Brevetto WO2010116348, Israele, 14.10.2010 - *Modular piezoelectric generators*

Brevetto GB2462643, Gran Bretagna, 17. 02. 2010 - *Piezoelectric pressure-sensitive tiles for surveillance and monitoring of large areas*

Brevetto CN101334148, Cina, 31-12-2008 - *Induced light emitting ground tile*

Brevetto CN2567287, Cina, 20-08-2003 (Y) - *Floor tile with piezoelectric ceramic flat for luminous by external force*

Brevetto JP2002250532, Giappone, 06.09.2002 - *Electric Carpet*

Brevetto US006257293, Stati Uniti, 10 Luglio 2001, *Thunder Actuators*

Brevetto CN2375954, Cina, 26. 04. 2000 - *Piezoelectric sensor for burgler alarm*

SITI WEB (data di consultazione ultima: gennaio 2013)

<http://www.innowattech.co.il/index.aspx>
<http://www.jreast.co.jp/e/environment/>
<http://www.ghnet.it/2006-2010/Article647.html>
<http://www.yeslife.it/Si-balla-e-si-ricaricano-le-pile>
<http://www.architetturaecosostenibile.it/curiosita/varie/discoteche-ecosostenibili-a-rotterdam-il-watt-a-new-york-la-greenhuse.html>
<http://www.sustainabledanceclub.com/products>
www.freshplaza.it
<http://www.ppo.wur.nl/UK/>
<http://www.econtamination.it/espositore/castiglione-morelli-design-il-tempo-eco-%C3%A8-timeless-garden>
www.fuji-piezo.com
<http://www.wur.nl/uk/>
<http://members.xoom.it/deliranti/index.htm>
www.mecc.polimi.it/~rovetta/robotica/aa2000_2001/Pareti/piezoelettrici/
www.materials.qmul.ac.uk
www.piezosurgery.com
<http://www.ufficiobrevetti.it/> Banca dati per la ricerca brevetti italiani
<http://www.uibm.gov.it> Banca dati per la ricerca brevetti europei e internazionali
<http://www.espacenet.com> Banca dati per la ricerca brevetti Stati Uniti
www.piezo.com
<http://www.solarbotanic.com/>
<http://www.greenstyle.it/energia-dal-pavimento-a-tokyo-164.html>
<http://www.reteingegneri.it/notizie/energia/materiali-piezoelettrici-nella-produzione-di-energie-rinnovabili.html>
<http://magazine.liquida.it/2009/03/06/energia-pulita-un-passo ALLA VOLTA/>

CAPITOLO II

L'ELEMENTO TECNICO PAVIMENTAZIONE E LA PRODUZIONE DI ENERGIA PIEZOELETTRICA

2.1 La pavimentazione per gli spazi pubblici di fruizione collettiva.

La pavimentazione, come definita dalla norma UNI 7998:1979⁶⁶, è un *sottosistema parziale avente funzione principale di consentire o migliorare il transito e la resistenza ai carichi in determinate condizioni d'uso*; in sintesi è un subsistema tecnologico che deve soddisfare le esigenze⁶⁷ delle utenze in relazione alle attività e alle funzioni tecnologiche di:

- consentire e favorire il transito pedonale;
- resistere ai carichi statici e dinamici in determinate condizioni d'uso produrre energia elettrica.

Le pavimentazioni per gli spazi pubblici di fruizione collettiva, come parte svolgente una funzione definita e distinta, costituiscono un *sottosistema del sistema tecnologico formato dalle unità esterne all'organismo edilizio (allestimenti esterni)*⁶⁸.

Questo sottosistema è costituito da diversi strati funzionali⁶⁹ che, secondo la classificazione della norma UNI 7998:1979 sono i seguenti:

Rivestimento: che costituisce lo strato di finitura avente la funzione di conferire alla pavimentazione predeterminate prestazioni meccaniche, chimiche, fisiche, di benessere e di sicurezza.

⁶⁶ Norma UNI 7998:1979, Edilizia, Pavimentazioni, Terminologia. La norma intende fornire una definizione in termini funzionali del sottosistema parziale “pavimentazione” e degli strati funzionali che lo compongono.

⁶⁷ *Esigenza: ciò che di necessità si richiede per un corretto svolgimento di un'attività dell'utente o di una funzione tecnologica.* Definizione di esigenza presa dalla norma UNI 10838:1999, Edilizia Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia. La detta norma ha lo scopo di unificare le definizioni dei termini di base nel settore dell'edilizia per l'elaborazione normativa e per le attività di programmazione e di progettazione degli interventi edilizi di nuova costruzione, in particolare per la predisposizione dei contenuti delle varie fasi di progettazione, per la redazione dei capitolati, degli elaborati progettuali e delle relazioni tecniche di accompagnamento e nelle fasi di verifica e di controllo del progetto. La terminologia dettata dalla presente norma si applica a tutte le destinazioni edilizie, così come definite nella norma stessa.

⁶⁸ Come definito dalla citata norma UNI 7998:1979, Edilizia, Pavimentazioni, Terminologia.

⁶⁹ Come definito dalla citata norma UNI 7998:1979, Edilizia, Pavimentazioni, Terminologia.

Sopporto: che è costituito dall'insieme integrato degli starti disposti sotto il rivestimento, concorrenti a formare la pavimentazione.

Suolo: che costituisce lo strato del terreno avente la funzione di resistere alle sollecitazioni meccaniche impresse dai carichi alla pavimentazione.

Massicciata: che definisce il mono o il multistrato avente la funzione di trasmettere al suolo le sollecitazioni meccaniche impresse dai carichi alla pavimentazione.

Strato di scorrimento: che costituisce lo strato avente la funzione di compensare e rendere compatibili eventuali scorrimenti differenziati tra strati contigui della pavimentazione.

Strato impermeabilizzante: che costituisce lo strato avente la funzione di conferire alla pavimentazione o ai suoi elementi una prefissata impermeabilità ai liquidi o ai vapori.

Strato portante: che costituisce lo strato avente la funzione di resistere alle sollecitazioni meccaniche impresse dai carichi alla pavimentazione.

Strato ripartitore: che costituisce lo strato avente la funzione di trasmettere allo strato portante le sollecitazioni meccaniche impresse dai carichi esterni, qualora gli starti costituenti la pavimentazione abbiano comportamenti meccanici sensibilmente differenziati.

Strato di compensazione: che definisce il mono o il multistrato avente la funzione di ancorare il rivestimento, di compensare le quote, le pendenze, gli errori di planarità ed eventualmente di incorporare gli impianti.

La composizione dei vari strati e la loro capacità di trasferire i carichi al terreno determinano le differenze tra i vari tipi di pavimentazione. Affrontando la problematica del recupero delle pavimentazioni nei centri storici, per generare energia piezoelettrica,

bisogna considerare non solo la natura dei materiali utilizzati per il rivestimento, ma anche le tecniche di realizzazione.

Ad esempio le pavimentazioni dei centri storici sono per lo più realizzate con elementi lapidei di piccola e media pezzatura, spesso irregolari nelle dimensioni e nelle superfici. A questi tipi di rivestimento corrispondono tecnologie di posa in opera a secco o su massetto cementizio. Le tecnologie di posa in opera dipendono dalle condizioni di contesto, legate al materiale, alla sua pezzatura, ed al traffico previsto e ammissibile; inoltre devono essere tali da garantire la coesistenza delle architetture a margine, rispondendo allo smaltimento delle acque meteoriche ed evitando l'accumulo in prossimità delle fondazioni, e realizzare una permeabilità delle pavimentazioni tale da non compromettere la salubrità delle murature degli edifici adiacenti. Infine bisogna considerare che, in un progetto di recupero di pavimentazioni per gli spazi aperti, si prediligono le tecniche di tradizionali di posa in opera a secco⁷⁰ (elementi lapidei su sabbia, con un adeguato drenaggio e sottofondo) che garantiscono la permeabilità del suolo e favoriscono la raccolta delle acque superficiali in maniera puntuale a distanza adeguata dai fabbricati. L'ipotesi di ricorrere a sottofondi in calcestruzzo è determinata da valutazioni tecniche che ne dimostrino la necessità, a causa di motivi legati alla natura del funzionamento del sistema tecnologico.

La messa a sistema di una pavimentazione tradizionale con un dispositivo piezoelettrico da luogo a una pavimentazione piezoelettrica, che risulta essere *un sottosistema parziale avente funzione principale di consentire o migliorare il transito e la resistenza ai carichi in determinate condizioni d'uso, con la funzione aggiunta di generare energia dal movimento esercitato dal passaggio pedonale dell'uomo*; in sintesi è un subsistema tecnologico che

⁷⁰ La tecnica di posa in opera a secco che prevede la disposizione degli elementi uno di fianco all'altro, senza collanti ma incastri, è applicata anche negli elementi autobloccanti, per rispettare la stabilità morfologica del sistema pavimentazione. La posa in opera a secco fornisce la possibilità di esercitare azioni manutentive del sistema, rimuovendo facilmente gli elementi di finitura, per riparare o sostituire i dispositivi.

deve soddisfare le esigenze delle utenze in relazione alle attività e alle funzioni tecnologiche di:

- consentire e favorire il transito pedonale;
- resistere ai carichi statici e dinamici in determinate condizioni d'uso;
- produrre energia elettrica.

Agli starti funzionali individuati nelle pavimentazioni, nel caso di pavimentazioni piezoelettriche, si aggiunge uno strato che può essere integrato nel rivestimento o nel sopporto immediatamente al disotto del rivestimento. Questo strato lo chiameremo:

Dispositivo piezoelettrico: che costituisce lo strato avente funzione di ricevere le sollecitazioni meccaniche impresse dai carichi dinamici al rivestimento e trasformarle in energia piezoelettrica.

Le considerazioni riportate di carattere tecnologico sul sottosistema pavimentazione, che possono essere assunte anche nel caso di una pavimentazione piezoelettrica, mettono in evidenza che diversi materiali, diverse tecniche di posa in opera e diversi starti del sopporto, danno luogo a delle prestazioni, che rappresentano i comportamenti del sottosistema tecnico nelle effettive condizioni d'uso e di sollecitazione, e che sono relative a corrispondenti requisiti tecnologici. Essendo il requisito tecnologico traduzione di un'esigenza in fattori tecnico-scientifici atti ad individuare le condizioni di soddisfacimento da parte dell'elemento tecnico, si è ritenuto esplicitare le sette classi esigenziali individuate dalla norma UNI 8289:1981⁷¹ attraverso il sottosistema tecnico pavimentazione piezoelettrica.

Le classi di esigenza, come la norma UNI 8289:1981 definisce, sono l'esplicitazione dei bisogni dell'utenza finale tenuto conto dei vincoli che l'ambiente naturale pone

⁷¹ Norma UNI 8289:1981, Edilizia. Esigenze dell'utenza finale. Classificazione. Lo scopo della norma e' di fornire la classificazione delle esigenze degli utenti del sistema edilizio, al fine di:

- unificare l'esposizione nelle attività normative, programmatiche, progettuali, operative e di comunicazione relative al processo edilizio;

- definire il quadro di riferimento di quelle esigenze dell'utenza finale che, opportunamente trasportate, identificano requisiti e/o sistemi di requisiti.

all'ambiente costruito. Seguendo la classificazione della norma si definiscono le sette classi esigenziali rispetto al sottosistema tecnico pavimentazione piezoelettrica come segue:

<i>Sicurezza</i>	Insieme delle condizioni relative alla incolumità degli utenti, nonché alla difesa e prevenzione di danni in dipendenza da fattori accidentali, nell'esercizio della fruibilità dei percorsi e della produzione di energia;
<i>Benessere</i>	Insieme delle condizioni relative a stati della pavimentazione piezoelettrica adeguati alla vita, alla salute, allo svolgimento delle attività degli utenti ed alla produzione di energia;
<i>Fruibilità</i>	Insieme delle condizioni relative all'attitudine delle pavimentazioni piezoelettriche ad essere adeguatamente utilizzate dagli utenti nello svolgimento delle attività di percorrenza;
<i>Aspetto</i>	Insieme delle condizioni relative alla fruizione percettiva delle pavimentazioni e delle unità esterne all'organismo edilizio da parte degli utenti;
<i>Gestione</i>	Insieme delle condizioni relative all'economia di esercizio delle pavimentazioni piezoelettriche, considerando la riduzione dei consumi energetici in funzione dell'unità esterna dell'organismo edilizio;
<i>Integrabilità</i>	Insieme delle condizioni relative all'attitudine del sottosistema tecnico a connettersi funzionalmente con l'unità esterna dell'organismo edilizio e la pavimentazione esistente;
<i>Salvaguardia dell'ambiente</i>	Insieme delle condizioni relative al mantenimento e miglioramento degli stati del sistema di cui il sottosistema pavimentazione fa parte.

La trasposizione a livello tecnico di queste classi esigenziali è rappresentata dai requisiti tecnologici delle pavimentazioni piezoelettriche, con i quali si intende tradurre le esigenze in fattori tecnico scientifici al fine d'individuare le condizioni di soddisfacimento del sottosistema tecnologico.

2.1 Requisiti per le pavimentazioni piezoelettriche per il recupero dei percorsi pedonali nelle aree urbane (Norma UNI 7999:1979 Edilizia. Pavimentazioni. Analisi dei Requisiti)

L'analisi delle tipologie di pavimentazioni piezoelettriche, sperimentate e brevettate, costituisce il presupposto di riferimento per la definizione dei requisiti che sottendono al progetto di recupero di un percorso nei centri storici per produrre energia alternativa dal passaggio delle persone. La determinazione dei requisiti delle pavimentazioni piezoelettriche per gli spazi aperti di fruizione collettiva è stata elaborata attraverso l'enucleazione dei requisiti del sottosistema pavimentazione, che rappresentano le funzioni richieste all'elemento tecnico, in relazione alla presenza del dispositivo piezoelettrico. Pertanto una pavimentazione piezoelettrica dovrà verificare i requisiti individuati rispetto all'elemento di rivestimento, allo strato del supporto e al dispositivo piezoelettrico. Le funzioni richieste all'elemento tecnico dipendono sia dalle azioni che l'ambiente circostante induce sulla pavimentazione, sia dalle azioni indotte dalla pavimentazione stessa sull'ambiente. Secondo quanto prescritto dalla norma UNI 7999:1979⁷² i requisiti delle pavimentazioni sono espressi attraverso:

- l'azione che viene esercitata sulla o dalla pavimentazione;
- l'effetto riscontrato sulla pavimentazione, in conseguenza all'azione;
- l'effetto indotto dalla pavimentazione, in conseguenza all'azione, sull'ambiente circostante e sull'uomo.

Dal momento che si stanno analizzando delle pavimentazioni piezoelettriche i requisiti saranno espressi attraverso:

- l'effetto riscontrato da sistema piezoelettrico in conseguenza delle azioni;

⁷² Norma UNI 7999:1979, Edilizia, Pavimentazioni, Analisi dei requisiti. Con questa norma si intende fornire un'analisi dei requisiti che costituiscono un riferimento generale per l'individuazione delle specificazioni di prestazione e modalità di verifica, da considerare per le pavimentazioni, in relazione alle condizioni d'uso. La norma è applicabile alle pavimentazioni sia per uso esterno che per uso interno con destinazione privata o pubblica, commerciale ed industriale indifferentemente.

- l'effetto indotto dal sistema piezoelettrico in conseguenza delle azioni sull'ambiente circostante e sull'uomo.

La pavimentazione dovrà quindi resistere e/o non dare luogo, in misura adatta agli usi previsti, agli effetti dannosi in corrispondenza delle azioni esterne che li generano.

Seguendo la classificazione della norma UNI 7999:1979 che individua requisiti derivanti da diversi fattori si declinano:

- Requisiti derivanti da fattori meccanici;
- Requisiti derivanti da fattori fisici e/o fisico tecnici;
- Requisiti derivanti da fattori idraulici;
- Requisiti derivanti da fattori chimico fisici;
- Requisiti derivanti da fattori elettrici;
- Requisiti derivanti da fattori biologici;
- Requisiti derivanti da fattori pirici;
- Requisiti derivanti da fattori di conformazione.

Nelle tabelle riassuntive riportate a fine di ogni paragrafo seguente sono sintetizzati i requisiti delle pavimentazioni piezoelettriche, così come descritti, mettendo in evidenza le relazioni tra le azioni sulla pavimentazione e gli eventuali effetti risultati sulla pavimentazione e dalla pavimentazione sull'ambiente fisico e umano, nonché gli effetti sul sistema piezoelettrico o dal sistema piezoelettrico. Queste tabelle riassuntive permettono di individuare le azioni che maggiormente potrebbero influire sul sistema piezoelettrico e forniscono quindi indicazioni che sono alla base dell'elaborazione di un dispositivo prototipale.

2.1.1 Requisiti derivanti da fattori meccanici

I requisiti derivanti da fattori meccanici sono espressione delle funzioni richieste alla pavimentazione rispetto a forze agenti normalmente o tangenzialmente alla sua superficie

nelle condizioni d'uso previste, investono lo strato di rivestimento, lo strato di sopporto e il dispositivo piezoelettrico.

Le azioni indotte sulla pavimentazione comprensive dello stato di rivestimento e di sopporto consistono in:

- carichi distribuiti;
- carichi concentrati;
- traffico pedonale⁷³;
- trascinamento oggetti.

Gli effetti possibili indotti dai carichi statici e dinamici sulla pavimentazione, dove si fa riferimento allo strato di rivestimento e di sopporto sono:

- deformazioni;
- lacerazioni;
- distacchi del rivestimento dal sopporto.

Gli effetti possibili indotti dai carichi statici e dinamici sulla pavimentazione, dove si intende il solo strato di rivestimento sono

- impronte;
- abrasioni;
- incisioni,
- scheggiature;
- lacerazioni;
- variazioni di aspetto;

Gli effetti possibili indotti dai carichi statici e dinamici sul dispositivo piezoelettrico, sono:

- deformazione degli sistemi di supporto degli elementi piezoceramici;
- rottura degli elementi piezoceramici;
- rottura degli sistemi di supporto degli elementi piezoceramici;
- inefficienza del sistema per la produzione di energia.

Alla luce di quanto sopra descritto si declinano i requisiti derivanti da fattori meccanici quali:

- Resistenza ai carichi statici, con cui s'intende l'idoneità delle pavimentazioni piezoelettriche a contrastare efficacemente il prodursi di deformazioni, rotture e lacerazioni, sotto l'azione di fattori meccanico statici;

⁷³ Sono dipendenti dalla frequenza di transito, del tipo di flusso(unidirezionale o incrociato) dalla localizzazione dei flussi (concentrata o diffusa).

- Resistenza ai carichi dinamici, con cui s'intende l'idoneità delle pavimentazioni piezoelettriche a contrastare efficacemente il prodursi di deformazioni, rotture, lacerazioni, abrasioni, scheggiature, variazioni di aspetto, fessurazioni e distacchi dal sopporto, sotto l'azione di fattori meccanico dinamici dipendenti: dal tipo di flusso(unidirezionale o incrociato), dalla localizzazione del flusso(concentrata o diffusa).

<i>Requisiti derivanti da fattori meccanici:</i>						
AZIONI SULLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SULLA/DALLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SUL/DAL SISTEMA PIEZOELETTRICO	REQUISITO	DESCRIZIONE		
Carichi distribuiti	impronte	deformazione degli sistemi di supporto degli elementi piezoceramici	RESISTENZA AI CARICHI STATICI	Attitudine a resistere a fattori meccanico statici		
	deformazioni	rottura degli elementi piezoceramici				
Carichi concentrati	lacerazioni	rottura degli sistemi di supporto degli elementi piezoceramici				
		guasto del sistema per la produzione di energia				
Traffico pedonale	abrasioni	deformazione degli sistemi di supporto degli elementi piezoceramici	RESISTENZA AI CARICHI DINAMICI	Attitudine a resistere a fattori meccanico dinamici dipendente dal tipo di flusso (unidirezionale o incrociato), e dalla localizzazione del flusso (concentrata o diffusa)		
	incisioni					
	scheggiature					
Trascinamento oggetti	lacerazioni	rottura degli elementi piezoceramici				
	variazioni di aspetto					
	distacchi dal sopporto					
Urto	Scivolamenti	rottura degli sistemi di supporto degli elementi piezoceramici				
	rotture					
	fessurazioni					
	deformazioni	guasto del sistema per la produzione di energia				
	scheggiature					
	lacerazioni					

2.1.2 Requisiti derivanti da fattori fisici e/o fisico tecnici

I requisiti derivanti da fattori fisici e/o fisico tecnici sono espressione delle funzioni richieste alla pavimentazione rispetto al microclima esterno, agli agenti atmosferici e ai rumori ed investono lo strato di rivestimento.

Le azioni indotte sulla pavimentazione comprensive dello stato di rivestimento e di sopporto consistono in:

- variazioni di temperatura;
- variazioni di umidità;
- calpestio;
- spostamenti di oggetti;
- impatti accidentali degli oggetti;
- vibrazioni d'impianti;
- irraggiamenti;
- combinazioni di diverse sollecitazioni dovute a pioggia, neve, grandine, nebbia, polvere, sole, gelo.

Gli effetti possibili indotti dai fattori fisici e/o fisico-tecnici sulla pavimentazione, dove si fa riferimento allo strato di rivestimento e di sopporto sono:

- fragilità;
- gelività;
- rammollimenti;
- fessurazioni;
- roture;
- termoossidazioni;
- decadimenti delle prestazioni meccaniche, fisiche, chimiche riassumibili sotto il comportamento di durabilità.

Gli effetti possibili indotti dai fattori fisici e/o fisico-tecnici sulla pavimentazione, dove si intende il solo strato di rivestimento sono:

- alterazioni cromatiche
- eco;
- riverberazioni;
- vibrazioni.

Gli effetti possibili indotti dai fattori fisici e/o fisico-tecnici sul dispositivo piezoelettrico, sono:

- deformazione dei sistemi di supporto degli elementi piezoceramici;
- termoossidazioni;
- inefficienza del sistema per la produzione di energia.

Alla luce di quanto sopra descritto si declinano i requisiti derivanti da fattori fisici e/o fisico tecnici quali:

- Resistenza agli agenti igrotermici, con cui s'intende l'attitudine a resistere a fattori igrotermici;
- Assorbimento rumori, con cui s'intende la capacità di assorbire fattori acustici;

- Resistenza all'irraggiamento, con cui s'intende l'attitudine a non subire mutamenti di aspetto e caratteristiche chimico-fisiche a causa dell'esposizione a fattori ottici, luminosi e cromatici;
- Resistenza agli agenti atmosferici, con cui s'intende l'attitudine a non subire mutamenti di aspetto, forma e caratteristiche chimico-fisiche a causa dell'esposizione a fattori atmosferici.

<i>Requisiti derivanti da fattori fisici e/o fisico tecnici</i>						
AZIONI SULLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SULLA/DALLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SUL/DAL SISTEMA PIEZOELETTRICO	REQUISITO	DESCRIZIONE		
Variazioni di temperatura	variazioni dimensionali	deformazione dei sistemi di supporto degli elementi piezoceramici	RESISTENZA AGLI AGENTI IGROTERMICI	Attitudine a resistere a fattori igrotermici		
	fragilità					
	gelività	termooosidazioni				
	rammollimenti					
Variazioni di umidità	fessurazioni	inefficienza del sistema per la produzione di energia	ASSORBIMENTO RUMORI	Capacità di assorbire fattori acustici		
	rotture					
	termossidazioni					
Calpestio	eco		RESISTENZA ALL'IRRAGGIAMENTO	Attitudine a non subire mutamenti di aspetto e caratteristiche chimico-fisiche a causa dell'esposizione a fattori ottici, luminosi e cromatici		
Impatti accidentali di oggetti	vibrazioni					
Vibrazione di impianti	riverberazioni					
Rumori aerei	rumori					
Irraggiamenti naturali	alterazioni cromatiche		RESISTENZA AGLI AGENTI ATMOSFERICI	Attitudine a non subire mutamenti di aspetto, forma e caratteristiche chimico-fisiche a causa dell'esposizione a fattori atmosferici		
Irraggiamenti artificiali	abbigliamenti					
	distorsioni nella percezione delle immagini					
Combinazioni diverse di sollecitazioni dovute a: pioggia, neve, vento grandine, nebbia, polvere, sole gelo, etc.	Decadimenti delle prestazioni meccaniche, fisiche, chiiche in genere riassumibili sotto il comportamento durabilità	deformazione dei sistemi di supporto degli elementi piezoceramici	RESISTENZA AGLI AGENTI ATMOSFERICI	Attitudine a non subire mutamenti di aspetto, forma e caratteristiche chimico-fisiche a causa dell'esposizione a fattori atmosferici		
		termooosidazioni				
		inefficienza del sistema per la produzione di energia				

2.1.3 Requisiti derivanti da fattori idraulici

I requisiti derivanti da fattori idraulici sono espressione delle funzioni richieste alla pavimentazione rispetto all'azione dell'acqua, sia durante il normale svolgimento delle attività previste sia in relazione a caratteristiche d'uso particolari o situazioni accidentali (allagamenti), ed investono lo strato di rivestimento, lo strato di supporto e il dispositivo piezoelettrico.

Le azioni indotte sulla pavimentazione comprensive dello stato di rivestimento e di supporto consistono in:

- contatto con acqua che dipende secondo una scala graduale da:
 - durata del contatto con l'acqua;
 - fattore di accidentalità del contatto;
 - localizzazione o generalizzazione del contatto;
 - temperatura dell'acqua;
 - inquinamento dell'acqua
 - pressione dell'acqua.

Gli effetti possibili indotti dai fattori idraulici sulla pavimentazione, dove si fa riferimento allo strato di rivestimento e di supporto sono:

- variazione dimensionali e di forma;
- distacchi del rivestimento dal supporto
- putrescibilità
- assorbimento dell'acqua
- dissoluzioni in acqua.

Gli effetti possibili indotti dai fattori idraulici sulla pavimentazione, dove si intende il solo strato di rivestimento sono:

- variazioni di aspetto(macchie)
- variazioni di colore.

Gli effetti possibili indotti dai fattori idraulici sul dispositivo piezoelettrico, sono:

- cortocircuito;
- deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici;
- deterioramento degli elementi piezoceramici;
- guasto del sistema per la produzione di energia.

Alla luce di quanto sopra descritto si declina il requisito derivante da fattori idraulici quale:

- Assorbimento dell'acqua con il quale si intende l'attitudine a non subire mutamenti di aspetto, forma e caratteristiche fisico-chimiche a causa del contatto con fattori idrostatici.

<i>Requisiti derivanti da fattori idraulici:</i>				
AZIONI SULLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SULLA/DALLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SUL/DAL SISTEMA PIEZOELETTRICO	REQUISITO	DESCRIZIONE
Contatto con l'acqua	variazioni dimensionali e di forma	cortocircuito	ASSORBIMENTO DELL'ACQUA	Attitudine a non subire mutamenti di aspetto, forma e caratteristiche fisico-chimiche a causa del contatto con fattori idrostatici
	variazioni di aspetto (macchie)	deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici		
	variazioni di colore			
	distacchi del rivestimento dal supporto	deterioramento degli elementi piezoceramici		
	putrescibilità			
	assorbimento dell'acqua			
	dissoluzioni in acqua	guasto del sistema per la produzione di energia		

2.1.4 Requisisti derivanti da fattori chimico fisici

I requisisti derivanti da fattori chimico fisici sono espressione delle funzioni richieste alla pavimentazione rispetto a sostanze chimiche, considerate nei diversi stati fisici, sia nel caso di contatto accidentale sia di permanenza sulla pavimentazione stessa. Rappresentano inoltre le funzioni richieste alla pavimentazione in termini di emissioni nell'ambiente o trattenimento di sostanze volatili o polveri ed investono lo strato di rivestimento, lo strato di supporto e il dispositivo piezoelettrico.

Le azioni indotte sulla pavimentazione comprensive dello stato di rivestimento e di supporto consistono in:

- aggressioni di sostanze chimiche che dipendono da:
 - agenti chimici specifici;
 - concentrazione di soluzione;
 - temperatura della soluzione;
 - tipo del contatto con la soluzione;
 - durata del contatto con la soluzione;
 - accidentalità del contatto.
- lavaggi per pulizia, disinfezioni e disinfestazioni;
- emissione e/o trattenimento di sostanze aerosospese prodotte dall'ambiente esterno e dal transito;

- emissione di sostanze nocive;
- emissione di odori;
- emissione di sostanze volatili.

Gli effetti possibili indotti da fattori chimico fisici sulla pavimentazione, dove si fa riferimento allo strato di rivestimento e di sopporto sono:

- alterazioni specifiche agli agenti chimici presenti;
- variazioni dimensionali e di forma;
- variazione di composizione chimico fisica,
- termo ossidazione;
- distacchi del rivestimento dal sopporto;
- assorbimento di sostanze chimiche;
- presenza di sostanze nocive;
- presenza di odori.

Gli effetti possibili indotti da fattori chimico fisici sulla pavimentazione, dove si intende il solo strato di rivestimento sono:

- variazioni di aspetto(macchie)
- variazioni di colore;
- pulizia della pavimentazione;
- insudiciamento;
- antiigienicità.

Gli effetti possibili indotti da fattori chimico fisici sul dispositivo piezoelettrico, sono:

- cortocircuito;
- inefficienza del sistema per la produzione di energia.

Alla luce di quanto sopra descritto si declinano i requisiti derivanti da fattori chimico fisici quali:

- Resistenza alle aggressioni da sostanze chimiche, con cui s'intende la capacità di resistere a fattori chimici dipendenti da agenti chimici specifici; concentrazione di soluzione; temperatura della soluzione; tipo del contatto con la soluzione; durata del contatto con la soluzione; accidentalità del contatto.
- Resistenza a soluzioni deterse per pulizia e disinfezioni, con cui s'intende la capacità di resistere a fattori chimici contenuti in detergenti per pulizia, disinfezioni e disinfezioni ;
- Tenuta delle polveri, con cui s'intende la capacità di emettere o trattenere le polveri;
- Tenuta delle sostanze volatili, nocive ed odori, con cui s'intende la capacità di emettere o trattenere sostanze volatili, nocive ed odori.

Requisiti derivanti da fattori chimico fisici						
AZIONI SULLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SULLA/DALLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SUL/DAL SISTEMA PIEZOELETTRICO	REQUISITO	DESCRIZIONE		
Aggressioni di sostanze chimiche	alterazioni specifiche agli agenti chimici presenti	cortocircuito	RESISTENZA ALLE SOSTANZE CHIMICHE	Capacità di resistere a fattori chimici dipendenti da: -agenti chimici specifici; -concentrazione di soluzione; -temperatura della soluzione; -tipo del contatto con la soluzione; -durata del contatto con la soluzione; -accidentalità del contatto.		
	variazioni dimensionali e di forma					
	variazioni di colore					
	variazioni di aspetto (macchie)					
	emissione di odori					
	variazioni di composizione chimico fisica	inefficienza del sistema per la produzione di energia				
	termoossidazioni					
	distacchi del rivestimento dal sopporto					
	assorbimento di sostanze chimiche					
	emissione di sostanze tossiche e/o nocive					
Lavaggi per pulizia	pulizia della pavimentazione	cortocircuito	RESISTENZA ALLE SOLUZIONI DETERSIVE PER PULIZIA DISINFEZIONI E DISINFESTAZIONI	Capacità di resistere a fattori chimici contenuti in detergenti per la pulizia, disinfezioni e disinfestazioni		
	variazioni di colore					
Lavaggi per disinfezione	variazioni dimensionali e di forma	inefficienza del sistema per la produzione di energia				
	alterazioni per aggressioni degli agenti chimici specifici presenti nelle soluzioni detergenti					
Disinfestazione	distacchi del rivestimento dal sopporto	inefficienza del sistema per la produzione di energia				
	variazione di composizione chimico fisica					
Emissione o trattenimento di sostanze aerosospese prodotte dall'ambiente esterno e dal transito	insudiciamento	cortocircuito	TENUTA DELLE POLVERI	Capacità di emettere o trattenere le polveri		
	antigienicità					
	Rimissione della polvere trattenuta o prodotta per azioni abrasive	inefficienza del sistema per la produzione di energia				
Emissione sostanze nocive	presenza di sostanze nocive	cortocircuito	TENUTA DELLE SOSTANZE VOLATILI, NOCIVE ED ODORI	Capacità di emettere o trattenere sostanze volatili, nocive ed odori		
Emissione odori	presenza di odori					
Emissione sostanze volatili	insudiciamento degli oggetti a contatto con la pavimentazione	inefficienza del sistema per la produzione di energia				

2.1.5 Requisiti derivanti da fattori elettrici

I requisiti derivanti da fattori elettrici sono espressione delle funzioni richieste alla pavimentazione rispetto alle cariche elettriche ed investono lo strato di rivestimento, lo strato di sopporto e il dispositivo piezoelettrico.

Le azioni indotte sulla pavimentazione comprensive dello stato di rivestimento e di sopporto consistono in:

- contatti ed attriti tali da generare cariche elettriche;
- dispersioni di corrente dovute a contatti con conduttori e/o guasti del materiale isolante di conduttori inseriti nella pavimentazione.

Gli effetti possibili indotti da fattori elettrici sulla pavimentazione, dove si fa riferimento allo strato di rivestimento e di sopporto sono:

- accumulo di cariche elettrostatiche;
- produzione di scintille;
- conduzione di corrente elettrica,
- folgorazioni;

Gli effetti possibili indotti dai fattori elettrici sul dispositivo piezoelettrico, sono:

- produzione di scintille;
- rischio incendio;
- corto circuito;
- folgorazioni;
- inefficienza del sistema per la produzione di energia;
- guasto del sistema per la produzione di energia.

Alla luce di quanto sopra esposto si individuano i requisiti derivanti da fattori elettrici

quali:

- Conduttività elettrica, con cui s'intende la capacità di relazionarsi con fattori elettrostatici;
- Conducibilità elettrica, con cui s'intende la capacità di relazionarsi con fattori elettrodinamici.

<i>Requisiti derivanti da fattori elettrici:</i>				
AZIONI SULLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SULLA/DALLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SUL/DAL SISTEMA PIEZOELETTRICO	REQUISITO	DESCRIZIONE
Contatti e attriti tali da generare cariche elettriche	accumulo di cariche elettrostatiche	deterioramento degli elementi piezoceramici	CONDUTTIVITÀ ELETTRICA	Capacità di relazionarsi con fattori elettrostatici
	produzione di scintille	formazione di scintille		
		cortocircuito		
Dispersione di corrente dovuta a contatti con conduttori e/o guasti del materiale isolante di conduttori inseriti nella pavimentazione.	conduzione di corrente elettrica	deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici	CONDUCIBILITÀ ELETTRICA	Capacità di relazionarsi con fattori elettrodinamici
		deterioramento degli elementi piezoceramici		
	folgorazioni	guasto del sistema per la produzione di energia		
		incendio		

2.1.6 Requisiti derivanti da fattori biologici

I requisiti derivanti da fattori biologici sono espressione delle funzioni richieste alla pavimentazione rispetto ad insetti, muffe e batteri ed investono lo strato di rivestimento, lo strato di supporto e il dispositivo piezoelettrico.

Le azioni indotte sulla pavimentazione comprensive dello stato di rivestimento e di supporto consistono in:

- presenza d'insetti;
- presenza di batteri;
- presenza di muffe.

Gli effetti possibili indotti dai fattori biologici sulla pavimentazione, dove si fa riferimento allo strato di rivestimento e di sopporto sono:

- insediamento d'insetti;
- danneggiamenti dovuti egli insediamenti d'insetti;
- insediamento di batteri;
- danneggiamenti dovuti egli insediamenti di batteri;
- insediamento di migrororganismi parassiti;
- danneggiamenti dovuti egli insediamenti di parassiti.

Gli effetti possibili indotti dai fattori biologici sulla pavimentazione, dove si intende il solo strato di rivestimento sono:

- mancanza d'igiene;
- alterazioni di aspetto.

Gli effetti possibili indotti dai fattori biologici sul dispositivo piezoelettrico, sono:

- deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici;
- deterioramento degli elementi piezoceramici;
- inefficienza del sistema per la produzione di energia.

Alla luce di quanto sopra esposto si individuano i requisiti derivanti da fattori biologici quali:

- Resistenza agli insetti, con cui s'intende l'attitudine a non subire riduzioni di prestazioni a seguito di contatto con fattori biologici animali;
- Resistenza ai parassiti vegetali, con cui s'intende l'attitudine a non subire riduzioni di prestazioni a seguito di contatto con fattori biologici vegetali;
- Resistenza ai batteri, con cui s'intende l'attitudine a non subire riduzioni di prestazioni a seguito di contatto con fattori batterici.

<i>Requisiti derivanti da fattori biologici:</i>				
AZIONI SULLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SULLA/DALLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SUL/DAL SISTEMA PIEZOELETTRICO	REQUISITO	DESCRIZIONE
Presenza d'insetti	insediamento d'insetti	deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici	RESISTENZA AGLI INSETTI	Attitudine a non subire riduzioni di prestazioni a seguito di contatto con fattori biologico animali
	danneggiamento dovuto all'insediamento d'insetti	deterioramento degli elementi piezoceramici		
	antigienicità	inefficienza del sistema per la produzione di energia		
Presenza di parassiti vegetali	insediamento di microorganismi parassiti	deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici	RESISTENZA AI PARASSITI VEGETALI	Attitudine a non subire riduzioni di prestazioni a seguito di contatto con fattori biologico vegetali
	danneggiamenti dovuti agli insediamenti parassitari	deterioramento degli elementi piezoceramici		
	alterazioni di aspetto	inefficienza del sistema per la produzione di energia		
	antigienicità			
Presenza di batteri	insediamento di batteri	deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici	RESISTENZA AI BATTERI	Attitudine a non subire riduzioni di prestazioni a seguito di contatto con fattori batterici
		deterioramento degli elementi piezoceramici		
	antiigienicità	inefficienza del sistema a produrre energia		

2.1.7 Requisiti derivanti da fattori pirici

I requisiti derivanti da fattori pirici sono espressione delle funzioni richieste alla pavimentazione rispetto alla fiamma o all'incendio ed investono lo strato di rivestimento, lo strato di supporto e il dispositivo piezoelettrico.

Le azioni indotte sulla pavimentazione comprensive dello stato di rivestimento e di supporto consistono in:

- incendio di altre parti edilizie;
- caduta di oggetti incandescenti sulla pavimentazione.

Gli effetti⁷⁴ possibili indotti dai fattori pirici sulla pavimentazione, dove si fa riferimento allo strato di rivestimento e di supporto sono:

- incendio della stessa;
- distacchi del rivestimento dal supporto;
- deformazioni;
- crolli;
- esplosioni;
- emissione di gas tossici.

Gli effetti possibili indotti dai fattori pirici sulla pavimentazione, dove si intende il solo strato di rivestimento sono:

- bruciature localizzate;
- variazioni di aspetto;
- ustioni;
- formazione di fumi.

Gli effetti possibili indotti dai fattori pirici sul dispositivo piezoelettrico, sono:

- formazione di scintille;
- cortocircuito;
- deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici;
- deterioramento degli elementi piezoceramici;
- guasto del sistema per la produzione di energia.

Alla luce di quanto sopra esposto si individuano i requisiti derivanti da fattori pirici quali:

⁷⁴ Gli effetti sull'ambiente e sulla pavimentazione sono funzione della durata dell'incendio o del fuoco , generalizzazione dell'incendio; velocità di propagazione della fiamma.

- Resistenza al calore, con cui s'intende l'attitudine a conservare, entro certi limiti determinati, per un intervallo di tempo determinato, le prestazioni iniziali, sotto l'azione del calore provocato da eventi occasionali quali incendi;
- Resistenza al fuoco, con cui s'intende l'attitudine a conservare, entro certi limiti determinati, per un intervallo di tempo determinato, le prestazioni iniziali, sotto l'azione della fiamma e del fuoco provocato da eventi occasionali quali incendi.

<i>Requisiti derivanti da fattori pirici:</i>				
AZIONI SULLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SULLA/DALLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SUL/DAL SISTEMA PIEZOELETTRICO	REQUISITO	DESCRIZIONE
Incendio di parti edilizie	distacchi del rivestimento	deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici	RESISTENZA AL CALORE	Attitudine a conservare, entro certi limiti determinati, per un intervallo di tempo determinato, le prestazioni iniziali, sotto l'azione del calore provocato da eventi occasionali quali incendi
	deformazioni	deterioramento degli elementi piezoceramici		
	ustioni			
Caduta di oggetti incandescenti	formazione di fumi	guasto del sistema per la produzione di energia	RESISTENZA AL FUOCO	Attitudine a conservare, entro certi limiti determinati, per un intervallo di tempo determinato, le prestazioni iniziali, sotto l'azione della fiamma e del fuoco provocato da eventi occasionali quali incendi
	variazioni di aspetto			
Incendio di parti edilizie	incendio della pavimentazione	deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici	RESISTENZA AL FUOCO	Attitudine a conservare, entro certi limiti determinati, per un intervallo di tempo determinato, le prestazioni iniziali, sotto l'azione della fiamma e del fuoco provocato da eventi occasionali quali incendi
	bruciature localizzate			
Caduta di oggetti incandescenti	distacchi del rivestimento	deterioramento degli elementi piezoceramici		
	deformazioni			
	variazioni di aspetto	guasto del sistema per la produzione di energia		
	formazione di fumi			
	ustioni	formazione di scintille		
	crolli			
	esplosioni			
	emissione di gas tossici	cortocircuito		

2.1.8 Requisiti derivanti da fattori di conformazione

I requisiti derivanti da fattori di conformazione sono espressione delle funzioni richieste alla pavimentazione rispetto ai fattori dimensionali, geometrici e morfologici. In particolare rappresentano l'attitudine della pavimentazione a raggiungere determinate

caratteristiche geometriche di regolarità complessiva e superficiale al momento della sua posa in opera, di mantenerle nel tempo in relazione alle condizioni d'uso e di ripristinarle ed investono lo strato di rivestimento, lo strato di supporto e il dispositivo piezoelettrico.

Le azioni indotte sulla pavimentazione comprensive dello stato di rivestimento e di supporto possono essere assimilate ad imperfezioni dimensionali di produzione e di posizionamento in opera, oppure nel caso di fattori geometrici e morfologici possono essere di origine meccanica, igo-termica, chimico fisica, idrostatica, pirica, o per coazioni interne.

Gli effetti possibili indotti dai fattori di conformazione sulla pavimentazione, dove si fa riferimento allo strato di rivestimento e di supporto sono:

- tolleranze dimensionali del complesso e delle parti;
- giuochi funzionali minimi e massimi fra i giunti;
- inclinazioni;
- imbarcazioni;
- non planarità;
- rugosità;
- difficoltà di manutenzione.

Gli effetti possibili indotti dai fattori di conformazione sul dispositivo piezoelettrico, se non ne sono verificati i requisiti, potrebbero essere:

- integrabilità del dispositivo nell'elemento di pavimentazione
- deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici;
- deterioramento degli elementi piezoceramici;
- inefficienza del sistema per la produzione di energia.

Alla luce di quanto sopra esposto si individuano i requisiti derivanti da fattori di conformazione quali:

- Tolleranze dimensionali, con cui s'intende la capacità di tollerare variazioni dimensionali dei singoli elementi del rivestimento, senza dare luogo ad effetti dannosi;

- Giocchi funzionali fra i giunti, con cui s'intende la capacità di tollerare variazioni di valori minimi e massimi fra i giunti, senza dare luogo ad effetti dannosi;
- Tolleranze di planarità, con cui s'intende la capacità di tollerare variazioni o alterazioni del piano orizzontale dello strato di supporto, senza dare luogo ad effetti dannosi;
- Resistenza allo scivolamento/slittamento, con cui s'intende la capacità del rivestimento di resistere allo scivolamento o allo slittamento.

<i>Requisiti derivanti da fattori di conformazione:</i>						
AZIONI SULLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SULLA/DALLA PAVIMENTAZIONE	EFFETTI SUL/DAL SISTEMA PIEZOELETTRICO	REQUISITO	DESCRIZIONE		
Imperfezioni dimensionali di produzione	non planarità	Integrabilità del dispositivo piezoelettrico nell'elemento di pavimentazione	TOLLERANZE DIMENSIONALI	Capacità di tollerare variazioni dei singoli elementi del rivestimento		
	inclinazioni					
	difficoltà di manutenzione					
	integrità					
	scivolamento					
Imperfezioni dimensionali di posizionamento in opera	non planarità	deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici;	GIUOCHI FUNZIONALI FRA I GIUNTI	Capacità di tollerare variazioni di valori minimi e massimi fra i giunti		
	inclinazioni					
	difficoltà di manutenzione					
	scivolamento					
Imperfezioni dimensionali di posizionamento in opera	inclinazioni	deterioramento delle strutture di supporto degli elementi piezoceramici;	TOLLERANZE DI PLANARITÀ	Capacità di tollerare variazioni o alterazioni del piano orizzontale dello strato di supporto		
	imbarcamenti					
Imperfezioni dimensionali dovute ad azioni occasionali	non planarità	deterioramento degli elementi piezoceramici;				
	difficoltà di manutenzione					
	scivolamento					
Presenza di rilievi, solchi o altre caratteristiche superficiali sull'elemento di rivestimento tali da impedire lo slittamento o lo scivolamento	rugosità		RESISTENZA ALLO SCIVOLAMENTO/SLITTAMENTO	Capacità del rivestimento di resistere allo scivolamento/slittamento		

2.3 Vincoli all'integrazione dei dispositivi piezoelettrici nell'elemento di pavimentazione per la produzione di energia.

La determinazione dei requisiti per le pavimentazioni piezoelettriche rappresenta la base di riferimento per la definizione di una sperimentazione di un dispositivo piezoelettrico da applicare nel recupero dei percorsi pedonali delle aree esterne di fruizione collettiva dei centri storici. La prefigurazione di questa sperimentazione, che deve essere in grado di soddisfare le esigenze di sicurezza, benessere, fruibilità, aspetto, gestione, integrabilità e salvaguardia dell'ambiente, è funzione determinante per l'individuazione dell'insieme dei vincoli all'integrazione tecnologica della pavimentazione piezoelettrica negli spazi aperti di fruizione collettiva dei centri storici.

Per vincoli all'integrazione tecnologica si intendono le *limitazioni progettuali in grado di assicurare la scelta dello scenario tecnologico, classificate, alla scala urbana, distinguendo tra*⁷⁵:

Aspetti tecnologici:

- conformazione fisica e geometrica dell'elemento di finitura;
- conformazione fisica e geometrica del dispositivo piezoelettrico;
- integrazione del dispositivo con l'elemento di rivestimento;
- resistenza a fattori atmosferici;
- durabilità degli elementi piezoelettrici;
- gestione e manutenzione dei componenti;
- semplificazione dei procedimenti di posa e/o la messa in opera.

Aspetti ambientali:

- caratteri costruttivi dell'unità ambientale esterna;
- caratteri morfologici dell'unità ambientale esterna;
- impatti visivi in relazione a dimensioni, tessiture e cromie.

⁷⁵ Viola S., (2012), *Nuove sfide per le città antiche. Prosperità, innovazione tecnologica e bellezza. New challenges for ancient cities. Prosperity, technological innovation and beauty*, Liguori ed., Napoli

Aspetti sociali:

- benessere ed equità sociale;
- fruibilità da parte degli utenti.

Aspetti economici:

- consumo energetico dello spazio di fruizione collettiva;
- valutazione della riduzione dei consumi.

Aspetti finanziari:

- possibilità di finanziamenti o incentivi europei.

Le limitazioni progettuali rispetto agli aspetti tecnologici forniscono indicazioni per l'elaborazione dell'elemento tecnico che porta alla definizione di un dispositivo piezoelettrico integrabile nella pavimentazione degli spazi aperti di fruizione collettiva; i vincoli all'integrazione tecnologica rispetto agli aspetti ambientali, economici e finanziari, forniscono invece indicazioni per l'applicabilità del dispositivo in riferimento a un caso studio, che rappresenta l'opportunità di definire scenari d'intervento, fondati sul rispetto delle identità e dei valori urbani, nella consapevolezza delle problematiche energetiche a scala urbana, e nel riconoscimento dell'occasione di sviluppo offerta dall'innovazione tecnologica, per migliorare la qualità ambientale e ridurre i consumi energetici.

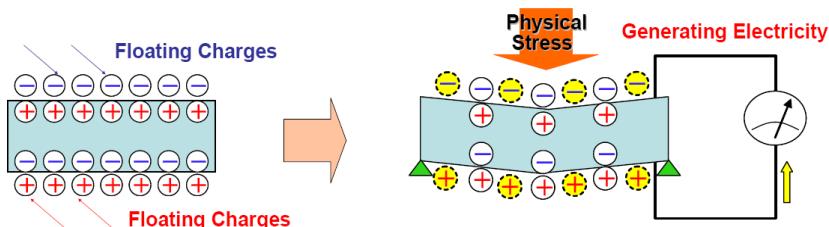
2.3.1 Vincoli all'integrazione in riferimento ad aspetti tecnologici

Per vincoli derivanti da *conformazione fisica e geometrica del dispositivo piezoelettrico* si intende l'influenza che ha la geometria del dispositivo per favorire la deformazione degli elementi piezoceramici. Maggiore è la deformazione, maggiore è la produzione di energia. Proporzionalmente in una scala da 1 a 10 una semplice pressione su un elemento piezoceramico produce una quantità di energia pari a 0,5; una flessione e quindi una deformazione dell'elemento piezoceramico produce una quantità di energia pari a 5;

un'azione detta di risonanza, che è una flessione ripetuta e continua fino ad esaurimento della forza impressa, produce una quantità di energia pari a 10. Dall'analisi condotta sui sistemi sperimentati e brevettati, e dai colloqui intercorsi con gli ingegneri della Physic Instrumente e del CIRA di Capua, si è appreso che un'azione di *risonanza* potrebbe produrre molta più energia rispetto ad un'azione per impulso, in quanto una sollecitazione per risonanza provoca una deformazione ripetuta fino ad esaurimento della forza, un'azione per impulso genera un unico movimento e quindi un'unica emissione di energia. È anche vero però che in considerazione di percorrenze con un flusso di persone continuo l'impulso simula la risonanza.

※ Piezoelectric effect : The phenomenon of generating electricity with physical stress.

- Electric charges (+ and -) within the ceramics decrease.
- Excessive floating charges are accumulated on the surface of the ceramics.
- By setting up an electric loop, the floating charges flow as an electric current.



Schema dell'effetto piezoelettrico che genera energia dalla deformazione degli elementi⁷⁶.

Lo schema della deformazione degli elementi piezoceramici del sistema giapponese sopra riportato, suggerisce la possibilità di poter generare questa deformazione necessaria a produrre energia considerando la deformata come geometria iniziale che ritorna nella posizione orizzontale. Secondo questo principio è stato elaborato un brevetto che ha portato una grande innovazione nel campo dei materiali piezoelettrici, depositato dalla Nasa. L'oggetto presentato è il Thunder actuators⁷⁷, un wafer di piezoceramico prestressato e incollato tra una superficie di acciaio inossidabile curva posta al di sotto e una superficie

⁷⁶ Immagine reperita dal documento di sintesi della sperimentazione della pavimentazione piezoelettrica alla Tokyo Station.

⁷⁷ Brevetto US006257293 depositato negli Stati Uniti il 10 July, 2001 Thunder actuators vedi scheda sintetica S9 allegata al capitolo I

di alluminio posta al di sopra a protezione. Questo elemento ha una curvatura caratteristica realizzata attraverso una pressione a caldo di tutti gli elementi. Questa procedimento e questa conformazione finale hanno migliorato le prestazioni in termini energetici e di resistenza del materiale⁷⁸.

Per vincoli derivanti da *conformazione fisica e geometrica dell'elemento di finitura* si intende l'influenza che le dimensioni piane e lo spessore degli elementi del rivestimento, hanno sul rendimento energetico. Lo spessore del rivestimento permette di sviluppare delle geometrie di deformazione degli elementi piezoceramici maggiori o minori.

In un tappeto piezoelettrico di spessore 2 mm si possono generare solo azioni di pressione, perché non esiste uno spazio sufficiente per far deformare l'elemento piezoceramico. Differente è il discorso per le piastrelle wafer o per i sistemi di sottopavimentazione, che lasciano da 1cm a 2cm di spessore per permettere la deformazione.

Le dimensioni piane dell'elemento di rivestimento influiscono inoltre sul rendimento energetico degli elementi piezoceramici posti al di sotto, in relazione anche alla ripartizione dei carichi in maniera puntuale o distribuita. Un elemento di dimensioni ridotte come 30 per 30 cm quando viene calpestato, rispetto alle dimensioni del piede umano, trasferisce un carico uniforme e puntuale al dispositivo piezoelettrico, e quindi una forza ripartita sul singolo elemento. Un elemento di rivestimento troppo grande esempio 60 per 60 cm disperde parte della forza per una ripartizione naturale dei carichi. Un elemento 10 per 10 cm assorbe ancora di più il peso e quindi favorisce un rendimento maggiore. Pertanto più sono piccole le dimensioni orizzontali dell'elemento di rivestimento più è assicurata una pressione uniforme sul dispositivo piezoelettrico.

⁷⁸ Lo strato superficiale di saldatura serve principalmente per la connessione dei cavi e poi come protezione superficiale.

Dottoranda Arch. Maria Cristina Majello
Tutors Prof.ssa Arch. Gabriella Caterina
Prof.ssa Arch. Serena Viola

Per vincolo derivante dall'*integrazione del dispositivo con l'elemento di rivestimento* si intende la necessità di realizzare un elemento di finitura che comprende anche il dispositivo piezoelettrico con l'uscita dei soli terminali bipolar, al fine di favorire la durabilità, la manutenzione e la posa in opera.

Per vincolo derivanti da *resistenza a fattori atmosferici*, s'intende la necessità di studiare una geometria per l'integrazione dei componenti tali da rendere la pavimentazione piezoelettrica capace di resistere a fattori atmosferici quali pioggia, grandine, neve, sole, vento, rugiada, umidità ecc..

Per vincolo derivante dalla *durabilità degli elementi piezoelettrici*, si intende la necessità di studiare una geometria in grado di integrare il dispositivo piezoelettrico per proteggerlo e conservare più a lungo le prestazioni meccaniche, fisiche e chimiche.

Per vincolo derivante da *gestione e manutenzione dei componenti* una volta integrati, s'intende lo studio di una combinazione di elementi facilmente smontabili, di modo che risultando una pavimentazione posta in opera a secco, facilmente ispezionabili e sostituibile, sia possibile operare azioni di manutenzione, sulle diverse parti dell'elemento tecnico.

Per vincolo di *semplificazione dei procedimenti di posa e/o la messa in opera*, si intende la necessità di prevedere procedimenti di posa e/o messa in opera simili a quelli impiegati dal rivestimento che si intende utilizzare, in modo da utilizzare una manodopera già specializzata che necessita di semplici aggiornamenti per applicare la pavimentazione piezoelettrica. Da cui seguono la necessità di definire istruzioni per la posa e/o la messa in opera e procedure di controllo e verifica di questi procedimenti.

2.3.1 *Vincoli all'integrazione tecnologica dei dispositivi piezoelettrici per le pavimentazioni degli spazi aperti di fruizione collettiva.*

Per vincoli derivanti da *caratteri costruttivi dell'unità ambientale esterna*, s'intendono i caratteri costruttivi appartenenti al subsistema tecnologico pavimentazione esistente e al sistema edilizio che definisce i margini e i confini dello spazio urbano di riferimento.

Per vincoli derivanti da *caratteri morfologici dell'unità ambientale esterna* s'intendono i caratteri morfologici del luogo in riferimento al sub sistema tecnologico, al sistema edilizio che definisce lo spazio urbano di riferimento, ed all'ambiente naturale che caratterizza l'area.

Per vincoli derivanti da *impatti visivi in relazione a dimensioni, tessiture e cromie*, s'intende il rispetto dei valori storico, sociali, cultuali del sistema tecnologico pavimentazione esistente e dell'unità ambientale esterna nel quale s'inserisce. Una pavimentazione rappresenta lo spazio di connessione della scena urbana, e pertanto è un tutt'uno con il sistema edifici, arredo urbano e ambiente naturale.

Per vincoli derivanti da *benessere ed equità sociale* s'intende il rispetto delle condizioni relative alla vita, alla salute ed alla percorribilità, da parte di tutti gli utenti, di spazi aperti di fruizione collettiva, al fine di produrre energia piezoelettrica.

Per vincoli derivanti da *fruibilità da parte degli utenti* s'intende il rispetto dell'attitudine e della capacità delle pavimentazioni piezoelettriche ad essere adeguatamente utilizzate dagli utenti nello svolgimento delle attività di percorrenza per la produzione di energia. Per esplicitare queste relazioni d'interagibilità che sussistono tra flusso di persone e produzione di energia, si può considerare a titolo di esempio la sperimentazione fatta in Giappone, analizzata nel primo capitolo di questa tesi. Partendo dall'analisi condotta sul progetto presentato dalla Japan Rail East Group e la NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization) per la Tokyo Railway Station, nell'anno 2007-

2008, si sono individuati i dati in merito al flusso delle persone che frequentano questa stazione, dalla quale partono circa 3.000 treni al giorno. Il numero di persone stimate è di circa 381.704 passeggeri al giorno⁷⁹.

Rispetto a questo flusso di persone nel progetto di sperimentazione sono stati installati circa 9 mq di pavimentazione piezoelettrica in corrispondenza dei tornelli per validare i biglietti d'ingresso e di uscita dai treni e circa 9 mq su una rampa di scale in uscita. Questo sistema produce, secondo le loro rilevazioni, ogni giorno 730 kWs, con una stima di 4 Ws per passaggio di persona.



Tokyo Station esterno

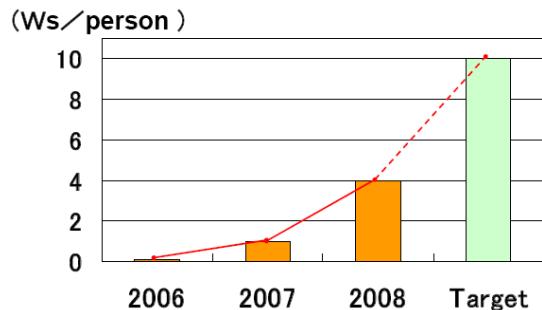
I numeri dei frequentatori sono molto elevati se si rapportano ad una situazione italiana come il caso della stazione Centrale di Napoli, piazza Garibaldi, che registra un'affluenza di un affluenza di circa 137.000 persone al giorno⁸⁰. Il rapporto è di uno a tre. Il vincolo che emerge da questi dati è quello che un dispositivo piezoelettrico risulta funzionante, ed ha un rendimento significativo qualora è verificata un'assidua, costante e numerosa frequentazione di uno spazio, durante i diversi giorni della settimana e dell'anno.

⁷⁹ Questi dati sono stati reperiti dal sito internet della East Japan Railway Company, e fanno riferimento all'ultima stima valutata al 16 gennaio 2012. <http://www.jreast.co.jp/passenger/index.html>

⁸⁰ I dati relativi al traffico su binari e affluenza pedonale sono stati reperiti dal sito internet http://www.napolicentrale.it/it/contact/about_us/

■ **Test Results** (February,2009)

- Total power generated per day: 730kWs.
- Power generated per passenger: 4Ws.
- Power generation increased up to more than 40 times within two years.



Risultati dei test effettuati sulla pavimentazione piezoelettrica nella Tokyo Station

Per vincoli derivanti da *consumo energetico dello spazio di fruizione collettiva* s'intende che il rendimento energetico di un dispositivo piezoelettrico deve essere legato al risparmio energetico di un luogo. I dispositivi piezoelettrici infatti non producono una quantità di energia tale da essere considerata una tecnologia sostitutiva, almeno se impiegata senza l'ausilio di altre fonti di riduzione dei consumi, pertanto può solo contribuire a ridurre i consumi. In questo scenario è chiaro che può essere impiegata solo per ridurre i consumi energetici dell'area per la quale è prevista la sua installazione.

Per vincoli derivanti dalla *valutazione della riduzione dei consumi*, con cui s'intende che l'impiego di dispositivi piezoelettrici è subordinato alla valutazione della riduzione dei consumi dell'area per la quale è prevista la sua installazione, in un ottica di sostenibilità dell'intervento, prendendo in considerazione:

- i consumi energetici dell'area in esame;
- il risparmio energetico con l'impiego dei dispositivi piezoelettrici;
- l'impiego di fonti di energia a basso consumo come le lampade a LED;
- il risparmio energetico con l'impiego congiunto di dispositivi piezoelettrici e fonti di energia a basso consumo come le lampade LED.

Per vincoli derivanti da *possibilità di finanziamenti o incentivi europei*, infine, s'intende che l'elevato costo che oggi questa tecnologia ancora sperimentale ha sul mercato necessita di un contributo finanziario di sostegno che viene dai fondi dell'Unione Europea.

Bibliografia

Viola S., (2012), *Nuove sfide per città antiche. Prosperità, innovazione tecnologica e bellezza.* (New challenges for ancient cities. Prosperity, technological innovation and beauty), Liguori ed., Napoli

Cook-Chennault, N. Thambi and A. M. Sastry, *Powering MEMS portable devices - a review of non-regenerative and regenerative power supply systems with special emphasis on piezoelectric energy harvesting systems*, in Smart Materials And Structure, n.17, 2008, p 9-33

Liang J. and Liao WH., *On the Energy Flow in Piezoelectric Energy Harvesting with SSHI Interface*, 19th International Conference on Adaptive Structures and Technologies October 6-9, 2008 ,Ascona, Switzerland.

Caterina G., De Joanna P., a cura di, (2007), *Il Real Albergo de' Poveri di Napoli : la conoscenza del costruito per una strategia di riuso*, Liguori, Napoli

P. Wierach, H. P. Monner, A. Schönecke, J. K. Dürr, *Application Specific Design of Adaptive Structures with Piezoceramic Patch Actuators*, Vienna Conference 2005

Pinto M.R., (2004), *Il riuso edilizio. Procedure, metodi ed esperienze*, UTET LIBRERIA, Torino

S. Roundy and P. K.Wright, *A piezoelectric vibration based generator for wireless electronics*, in Smart Materials And Structure, n.13, 2004, pp 1131-1142

Torricelli C., (2003) *Materiali e Tecnologie dell'Architettura*, Laterza, Roma

Face International Corporation, (2001), *Thunder With Paper*, Norfolk
Brevetto US006257293, Stati Uniti, 10 Luglio 2001, *Thunder Actuators*

AAVV,(1999), *Manuale di Progettazione edilizia, Fondamenti, strumenti e norme.* Volume 3, *Progetto tecnico e qualità*, Hoepli, Milano

AAVV,(1999), *Manuale di Progettazione edilizia, Fondamenti, strumenti e norme.* Volume 4, *Tecnologie: Requisisti, soluzioni, esecuzione, prestazioni*, Hoepli, Milano

Ciribini G.,(1987), *Tecnologia e progetto. Argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, Celid, Torino

Caterina G., (1989), *Tecnologie del recupero edilizio*, UTET

Normativa UNI

Norma UNI 1338:2004 *Masselli di calcestruzzo per pavimentazioni. Requisiti e metodi di Prova .*

Norma UNI10838:1999 *Edilizia, Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia.*

Norma UNI 8290-3:1987 *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi degli agenti.*

Norma UNI 8290-2:1983 *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti*

Norma UNI 8381:1982, *Edilizia, Strati del sopporto di pavimentazione. Istruzione per la progettazione e l'esecuzione.*

Norma UNI 8380:1982, *Edilizia, Strati del sopporto di pavimentazione. Analisi dei requisiti.*

Norma UNI 8289:1981, *Edilizia. Esigenze dell'utenza finale. Classificazione.*

Norma UNI 8290-1:1981 *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e Terminologia.*

Norma UNI 7998:1979, *Edilizia, Pavimentazioni, Terminologia.*

Norma UNI 7999:1979, *Edilizia, Pavimentazioni, Analisi dei requisiti.*

SITI WEB (data di consultazione ultima: gennaio 2013)

<http://www.piezosurgery.com>

<http://www.jreast.co.jp/passenger/index.htm>

http://www.napolicentrale.it/it/contact/about_us/

CAPITOLO III

PIANO SPERIMENTALE PER LA REALIZZAZIONE DI UN DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO INTEGRABILE NELL'ELEMENTO PAVIMENTAZIONE.

3.1 Pianificazione delle attività preliminari e sperimentali.

L'analisi dei requisiti per le pavimentazioni piezoelettriche e l'individuazione dei vincoli all'integrabilità derivanti da aspetti tecnologici costituiscono il presupposto di riferimento per la realizzazione di un dispositivo piezoelettrico, per ridurre i consumi energetici legati all'illuminazione dei luoghi pubblici, integrabile nell'elemento di rivestimento delle pavimentazioni degli spazi aperti di fruizione collettiva.

La soluzione tecnica proposta prevede un dispositivo piezoelettrico applicabile ad elementi di pavimentazione a spessore (6-8 cm), di piccola dimensione, come i masselli di calcestruzzo prefabbricati, che sfrutta la deformazione degli elementi piezoceramici, prodotta dal passaggio delle persone, per generare energia.

Questa soluzione si pone come obiettivo la generazione di energia sufficiente, per contribuire alla riduzione dei consumi legati alla pubblica illuminazione, ottimizzando le prestazioni degli elementi piezoelettrici attraverso un supporto realizzato in lamiera di acciaio pressopiegata che costituisce corpo unico con l'elemento piezoceramico. Quando l'elemento di pavimentazione viene calpestato dalle persone, la lamiera in acciaio inox precurvata, sulla quale è fissato l'elemento piezoelettrico prestressato, subisce una micro deformazione, che a sua volta deforma l'elemento piezoceramico, che per effetto di questa deformazione genera una carica elettrica. La carica elettrica è trasmessa attraverso un circuito a un modulo elettronico per l'energy harvesting.

La realizzazione del dispositivo piezoelettrico per pavimentazione esterne si è sviluppata in due fasi: una di studio preliminare per l'individuazione dei materiali da impiegare ed una di studio sperimentale per realizzare il prototipo e effettuare delle prove di misura dell'energia prodotta, al fine di formulare ipotesi di rendimento energetico di un percorso piezoelettrico.

Nella prima fase si sono individuati come materiali: l'acciaio inox per realizzare un elemento flessibile di supporto agli elementi piezoelettrici, gli elementi piezoelettrici *DuraAct™ P876.A12* prodotti dalla Physic Instrumente⁸¹, un massello di calcestruzzo prodotto da Vibrapac come elemento di pavimentazione, e della resina poliuretanica elastica come legante. Questi materiali sono stati scelti considerando la loro compatibilità reciproca e la conformità con la marcatura CE secondo la UNI EN 1338:2004, che riguarda i masselli di calcestruzzo prefabbricato per pavimentazioni esterne.

Nella seconda fase si è passati alla realizzazione del prototipo che è avvenuta, prima, presso la fabbrica Guerrasio⁸² di Roccapiemonte dove è stata messa a punto la struttura in lamiera di acciaio Inox e poi al Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II" dove è stato realizzato e collegato il circuito elettrico, si è ultimato il prototipo, e si sono effettuate le prove di misura di produzione di energia. Dalla misura di energia del prototipo si sono elaborate delle considerazioni in merito alla possibile produzione di energia di un percorso pedonale e a possibili interventi migliorativi del prototipo sia per le prestazioni energetiche che per l'integrabilità negli elementi di pavimentazione.

⁸¹ La Physic Instrumente è un'azienda leader nel settore delle Tecnologie Piezoelettriche e movimento assi di precisione. Con sede principale in Germania e Milano Via G. Marconi, 28- 20091 Bresso (MI) <http://www.pionline.it/index.html>

⁸² Guerrasio Vertebra è un'azienda specializzata nella carpenteria metallica leggera, nel 1990 ha brevettato un profilo metallico a "U", facilmente curvabile a mano con il nome commerciale di VERTEBRA. Vertebra è stato premiato come prodotto innovativo dalla giuria del BATIMAT di Parigi nel 1995 ed è stato impiegato in numerose e famose opere come il Guggenheim a Bilbao di Frank O. Gehry. <http://www.vertebra.com/home.html>

3.2 Abaco dei materiali impiegati.

Il dispositivo piezoelettrico è costituito da:

- piastrine piezoceramiche tipo DuraAct della PI;
- elementi in acciaio inox, di spessore 1mm, pressopiegate, con tre sezioni diverse che chiameremo profilo “A” “B e “C”;
- resina poliuretanica;
- massello di calcestruzzo prefabbricato Vibrapac.

3.2.1 Piastrine piezoelettriche prestressate.

Le aziende produttrici di materiali piezoelettrici sono principalmente gli Stati Uniti, il Giappone, la Russia, la Cina e l'India. La Cina e l'India riescono a avere dei costi di produzione molto più bassi e quindi dei prezzi di rivendita competitivi con il mercato mondiale. In questo studio ci si è rivolti alla Physic Instruments (PI), una ditta tedesca che ha sedi e laboratori in tutto il mondo (UK, USA, Canada, Giappone, Corea, Cina, Italia, Francia). È un'azienda leader nel settore delle Tecnologie Piezoelettriche che sta sviluppando, in Italia in collaborazione con il CNR di Faenza⁸³, il comportamento diretto dei materiali piezoelettrici in alcuni sistemi di pavimentazioni.

Gli elementi utilizzati in queste sperimentazioni sono delle lamine piezo molto sottili: le PIC 255. Queste lamine sono una versione modificata del PZT ed hanno le seguenti caratteristiche:

- *Spessore: di 0,1/0,2/0,5 mm;*
- *Forma: variabile (parallelepipedo o circolari);*
- *Dimensione: dimensioni variabili che vanno da 16X13mm a 50X30mm;*
- *Fragilità: la debolezza di queste piastrine sta nella fragilità, essendo di natura ceramica e di spessore molto sottile, quando vengono sottoposti a pressioni e deformazioni continue possono rompersi. La PI ha lavorato molto per risolvere la fragilità di questo materiale fino ad ottenere il DuraAct™;*
- *Resistenza al calore: temperatura di Curie estremamente alta, elevata permittività, un elevato fattore di accoppiamento ed un alta costante di carica. Questo materiale*

⁸³ Per un rapporto su queste sperimentazioni effettuate dal CNR di Faenza e i risultati ottenuti si rimanda al paragrafo 2.2 Analisi delle proposte progettuali brevettate e delle sperimentazioni effettuate in merito a sistemi piezoelettrici.

è stato ottimizzato ai fini dell'utilizzo come attuatore in dinamica ed in elevate temperature ambientali.

- *Generazione di energia piezoelettrica: la loro capacità energetica è pari a 40vF.*

La PI, lavorando sulle caratteristiche di fragilità, deformabilità e rendimento energetico dei PZT come il PIC255, ha brevettato⁸⁴ un prodotto innovativo che ha delle prestazioni meccaniche ed energetiche rilevanti, anche se il costo della sua produzione è dieci volte quello di una piastrina standard (il costo si aggira intorno ai 100 euro per unità, per mille unità si abbassa fino a 10 euro per unità). Il prodotto in considerazione è il DuraAct™, che come tutti i trasduttori piezoelettrici, trasforma energia meccanica in energia elettrica e viceversa. Questo elemento ha alte capacità di produzione di energia proporzionali alla sua flessibilità e resistenza. Questo componente viene infatti prestressato al momento della produzione e questo gli conferisce una maggiore flessibilità e resistenza alla deformazione (caratteristiche necessarie per la produzione di energia). La struttura laminata è composta da una piastrina piezoceramica, elettrodi posti sulle due facce opposte, ed una guaina di rivestimento polimerica. Questa guaina di protezione polimerica aumenta la capacità di resistenza a flessione dell'elemento proteggendolo al tempo stesso. È realizzato attraverso un metodo ad iniezione bubble-free. Esso è composto da una lamina piezo PIC 255 compresa tra due film conduttori e annegata all'interno di una struttura di polimero composito. In questo modo la lamina piezo, inizialmente di fragile struttura, è meccanicamente pre-stressata ed elettricamente isolata rendendola robusta al punto che potrà essere applicata (incollata) anche su superfici con raggio di curvatura fino a 20 mm.

Il DuraAct™ può essere utilizzato per diverse applicazioni, incluso quelle per le quali si richiede una elevata dinamica. La sua elevata resistenza ai danni o lesioni lo rendono inoltre un prodotto ideale dove l'affidabilità e il tempo di vita, giocano un ruolo

⁸⁴ Questo prodotto ha due brevetti :German Patent No. 10051784C1e US Patent No. 6,930,439.
Dottoranda Arch. Maria Cristina Majello
Tutors Prof.ssa Arch. Gabriella Caterina
Prof.ssa Arch. Serena Viola

importante. L'ampiezza utile della sua deflessione dipende fortemente dalle proprietà del sub-strato o della struttura ad esso accoppiata.

Caratteristiche dei DuraAct™

- *Spessore: flessibili da 0,4/0,5/0,8 mm;*
- *Forma: flessibili quadrata o rettangolare;*
- *Dimensione: flessibili da 16x13 mm a 61X35mm:;*
- *Fragilità: rottura sottoposta a flessione con un raggio di curvatura massima compreso tra da 8 a 20mm;*
- *Resistenza al calore: temperatura di Curie estremamente alta, elevata permittività, un elevato fattore di accoppiamento ed un alta costante di carica. Questo materiale è stato ottimizzato ai fini dell'utilizzo come attuatore in dinamica ed in elevate temperature ambientali.*
- *Generazione di energia piezoelettrica:da 8 a 150 vF. La tensione nominale di esercizio va da 100 fino a 1000 V, a seconda dell'altezza del livello attivo.*

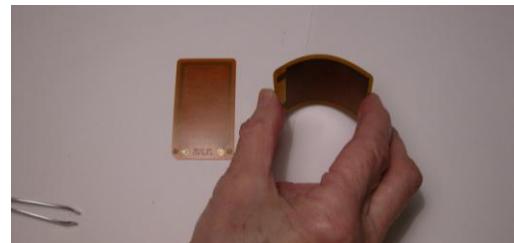
Il trasduttore piezoceramico scelto è il DuraAct™ P876.A12, che funziona come attuatore con un voltaggio nominale che va dai 100 ai 400 V, ed è in grado di produrre energia se sollecitato nell'ordine di 200/500 milliwatt al secondo. Il P876.A12 ha in particolare delle dimensioni che si adattano all'elemento di pavimentazione usato come modello, inoltre tra i vari componenti è quello che a spessore minore restituisce proporzionalmente requisiti di resistenza ed energetici più soddisfacenti soddisfacenti.

Le sue caratteristiche sono:

- *Spessore: 0,5mm;*
- *Forma: rettangolare;*
- *Dimensione: 61X35mm:;*
- *Fragilità: rottura quando arriva a flettersi con un raggio di curvatura superiore a 20mm;*
- *Resistenza al calore: temperatura di Curie estremamente alta, elevata permittività, un elevato fattore di accoppiamento ed un alta costante di carica. Questo materiale è stato ottimizzato ai fini dell'utilizzo come attuatore in dinamica ed in elevate temperature ambientali.*
- *Generazione di energia piezoelettrica:capacità elettrica 90vF, tensione nominale di esercizio da 100 a 400 V, a seconda dell'altezza del livello attivo.*



DuraAct™ P876.A12



Raggio di curvatura massimo 20mm

3.2.2 *Lamiere in acciaio pressopiegate.*

Le lamiere in acciaio Inox sono state pensate per regolare una deformazione minima dell'elemento piezoceramico, tale da generare una carica elettrica e riportare elasticamente l'elemento piezoceramico nella posizione iniziale. Le lamiere deve inoltre regolare e gestire l'abbassamento, sotto il carico del passaggio delle persone, in modo che la deformazione non influisca significativamente sull'andamento del piano di calpestio. Per la realizzazione di queste lamiere si è fatto riferimento al brevetto Thunder⁸⁵, per l'impiego dei materiali ceramici piezoelettrici prestressati e l'uso di un supporto presso piegato in acciaio inossidabile.

L'acciaio è un materiale isotropo, duro, resistente, durevole, duttile, che presenta un'elevata resistenza a compressione e a sforzi longitudinali o trasversali (flessione, taglio, torsione). Ha una struttura compatta, non assorbe umidità, polveri, odori; è igienico, non emana alcun tipo di sostanza tossica né odorosa, neppure se esposto al calore o colpito da fiamma. È un materiale durevole: non modifica infatti le sue caratteristiche nel tempo, oltre a non essere soggetto a fenomeni di disaggregazione eccetto alla ruggine che può comunque essere evitata. Gli acciai Inox in particolare sono acciai speciali legati a basso tenore di Carbonio, con una percentuale di Cromo maggiore del 12-18%, che conferisce la caratteristica di resistenza della superficie alla corrosione e agli acidi forti conservando

⁸⁵ Brevetto NASA Thunder actuators US006257293 depositato negli Stati Uniti il 10 July, 2001 vedi scheda allegata

Dottoranda Arch. Maria Cristina Majello
Tutors Prof.ssa Arch. Gabriella Caterina
Prof.ssa Arch. Serena Viola

lucentezza nel tempo. Il limite maggiore dell'acciaio inossidabile è la saldatura; infatti nel giunto saldato si può perdere l'inossidabilità, se non si opera garantendo un raffreddamento lento e graduale al punto precedentemente scaldato⁸⁶. Nella posa dell'acciaio inossidabile bisogna prestare attenzione perché non può essere accostato ad altri metalli (in presenza di umidità) in quanto si può realizzare una pila elettrochimica, che causa una rapida alterazione e rottura dell'acciaio stesso. È allora importante interporre uno strato separatore tra i due metalli (per esempio della vernice).

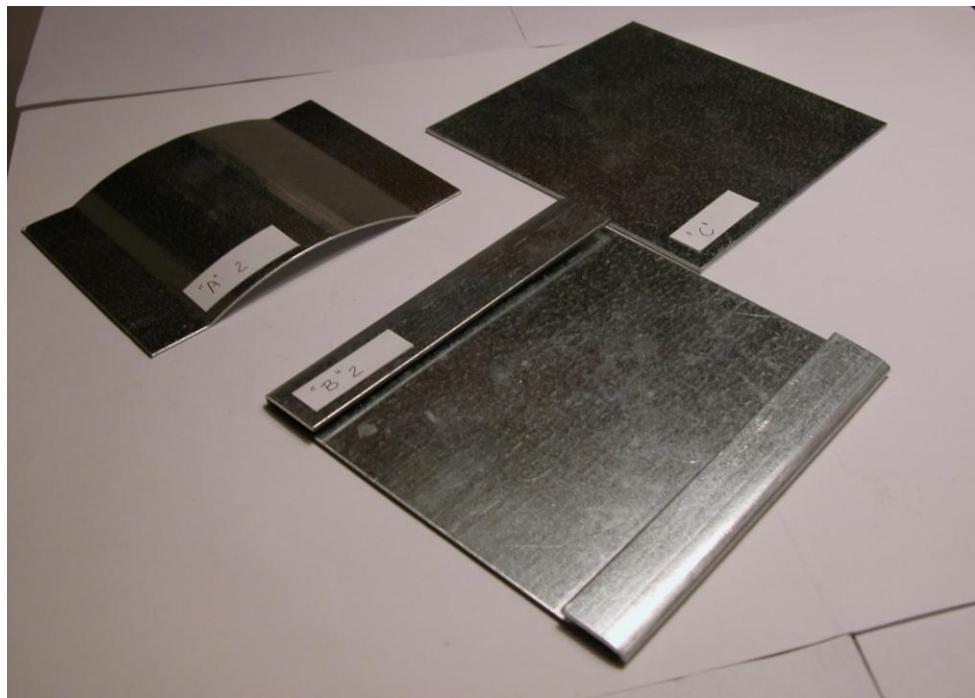
Le lamiera in acciaio, non solo però devono favorire la deformazione elastica del piezoelettrico ma devono anche proteggerlo dall'infiltrazioni di materiali ed elementi estranei al dispositivo. Gli elementi in lamiera sono tre, questi non vengono saldati tra loro proprio per evitare dei punti di debolezza della lamiera. Una prima lamiera, che chiameremo profilo "B" (vedi immagine fondo pagina), disposta sul fondo, ha uno sviluppo in pianta pari alla superficie del massello ed ossia si 125x125. Su due estremità opposte la lamiera è ripiegata su se stessa in modo da creare una sezione ad "U".

Una seconda lamiera, che chiameremo profilo "A", di dimensione 90 x 112 mm, sulla quale è fissato l'elemento piezoelettrico, è curvata al centro ha una sezione a "Ω". Le due estremità piane di questa seconda lamiera vengono inserite nelle sezioni a "U" della prima lamiera. Questa geometria permette al sistema di deformarsi al centro dove c'è l'elemento piezoelettrico e funzionare come una molla che ritorna nella posizione iniziale. Una terza lamiera, che chiameremo profilo "C", infine, che ha uno sviluppo in pianta pari alla superficie del massello ed ossia si 125x125 mm, è posta a protezione superiore del sistema.

Il piatto di lamiera superiore e la lamiera inferiore sono tenute insieme tra loro da una schiuma poliuretanica posta in opera a spruzzo, la quale una volta asciugata ha delle

⁸⁶ AA.VV., (1999), M. Manuale di Porgettazione edilizia, Fondamenti, strumenti e norme. Volume 5 Materiali e Prodotti., Hoepli, Milano, pag. 299

proprietà elastiche per cui permette la deformazione del dispositivo, e favorisce il recupero della geometria iniziale⁸⁷.



Profili "A" "B" "C" realizzati

3.2.3 Schiuma poliurateanica elastica.

La schiuma poliuretanica posta tra le due lamiere è del tipo *ESPAK SOFT* prodotta dalla *PROCHIMA*⁸⁸ ed è la versione espansa di un poliuretanico morbido. L'*ESPAK SOFT* è un formulato poliuretanico privo di solventi, che polimerizza a freddo mediante catalizzatore, dando luogo ad un composto elastico simile alla gomma, stabile e senza ritiro. Il risultato è una schiuma a cellule chiuse del tipo pellante, con una tenace pellicola semi lucida in superficie. Il prodotto standard espande ad una densità di 50-60 kg./m³ in schiumata libera.

⁸⁷ L'elemento piezoelettrico fissato sulla lamiera è disposto tra due piastre di acciaio, una superiore di protezione e finitura, ed una inferiore che ripiegata su due estremità opposte, oltre a costituire un elemento di protezione e finitura, funziona anche da sistema di contrasto per far funzionare la lamiera pressopiegata come una molla. Tra le due piastre di acciaio, inferiore e superiore, una schiuma poliuretanica ha funzione di: chiusura della scatola metallica proteggendone l'interno; supporto per sostenere il peso del massello di calcestruzzo e delle persone che camminano; favorire la deformazione dell'elemento piezoelettrico grazie alle sue caratteristiche elastiche.

⁸⁸ *PROCHIMA* - Impresa leader in Italia nella produzione e commercializzazione di materiali compositi per industria, modellismo, belle arti, oggettistica, scenografia e restauro Via G.Agnelli, 6 - Zona Industriale Laghi 61030 *CALCINELLI* (PU) <http://www.prochima.it/index.htm>

E' disponibile anche il tipo SOFT 25", con il quale si ottiene una schiuma più morbida e leggera con una densità di 25-30 kg/m³.

3.2.4 Masselli di calcestruzzo prefabbricato.

Si è scelto il massello di calcestruzzo prefabbricato come elemento di pavimentazione su cui dimensionare il dispositivo per le sue caratteristiche geometriche e fisiche. Dal punto di vista geometrico i masselli di calcestruzzo hanno una forma solitamente rettangolare o quadrata regolare, hanno dimensioni della superficie orizzontale che vanno dai 100 per 100 mm ai 125 per 250 mm. Tale dimensione rispetto alle dimensioni di una pedata che mediamente misura da 90-140mm per 260-300mm, risulta ottimale per assicurare una pressione omogena sul dispositivo. Inoltre le dimensioni ridotte permettono d'integrare il massello in percorsi di brevi, con pendenze, ed è simile alla conformazione fisica dei sani pietrini molto usati nei centri storici. Sotto l'aspetto delle caratteristiche fisiche i masselli di calcestruzzo presentano una buona resistenza agli agenti atmosferici e alle sollecitazioni meccaniche. Grazie alla discontinuità tra un elemento e l'altro è molto semplice fare dei rappezzi od operazioni di manutenzione senza che questi si notino; inoltre tali discontinuità permettono di avere un ottimo drenaggio nel terreno sottostante.

I masselli di calcestruzzo prefabbricati, così come descritti nella UNI EN 1338:2004, sono elementi per pavimentazioni ad uso pedonale, veicolare e rivestimenti di coperture, per esempio marciapiedi, cortili, piste ciclabili, rivestimento di strade, autostrade, aree industriali (incluse banchine e porti), pavimentazioni aeroportuali, autostazioni e stazioni di rifornimento carburanti. Secondo la detta Norma il massello di calcestruzzo per pavimentazione è un elemento di calcestruzzo prefabbricato, utilizzato come materiale di rivestimento che soddisfa le condizioni seguenti:

- *ad una distanza di 50 mm da qualsiasi bordo, tutte le sezioni trasversali non presentano alcuna dimensione orizzontale minore di 50 mm;*
- *la sua lunghezza totale divisa per il suo spessore è minore o uguale a quattro*⁸⁹.

I masselli possono presentare un singolo strato completamente di calcestruzzo o diversi strati di usura e di supporto⁹⁰. Si sono quindi presi in considerazione i masselli che presentano come ultimo processo di produzione quello dell'essiccazione nei forni a temperatura ambiente. Questi masselli possono essere realizzati in tre diverse cromie: rosso mattone, grigio, giallo tufo e sono differenziati a seconda degli inerti scelti per il composto che restituiscono delle caratteristiche differenti. Lo strato di supporto è costituito da un impasto pressovibrato con trattamento di stabilizzazione capillare a base di legante cementizio e inerti selezionati a curva granulometrica controllata e ottimizzata. Lo strato di finitura è caratterizzato da un riporto antiusura pressovibrato maggiore o uguale a 7 mm con trattamento di stabilizzazione capillare a base di legante cementizio, inerti selezionati di quarzo a curva granulometrica controllata e ottimizzata per un'elevata resistenza all'abrasione e ossidi di ferro ad elevata resistenza. Data la provenienza naturale degli aggregati sono frequenti le variazioni di tonalità del colore tipiche dei manufatti in calcestruzzo.

I masselli sono marcati CE con caratteristiche rispondenti alla norma UNI EN 1338:2004 e sono prodotti in azienda con Sistema Qualità certificato UNI EN ISO 9001. Per evitare gelività e variazione di colore dovute alle efflorescenze i masselli sono prodotti con sistema di "stabilizzazione capillare" tali da avere un "coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità" $c_{w,s} \leq 18 \text{ g / m}^2 \text{ vs}$, testato secondo la norma UNI EN 772-11. I

⁸⁹ Norma UNI EN 1338:2004 Masselli di calcestruzzo per pavimentazioni. Requisiti e metodi di Prova. Autore: Prodotti e Sistemi per l'Organismo Edili

⁹⁰ Vibrapac produce entrambi i tipi, quelli che presentano una finitura antichizzata, vengono sottoposti ad un trattamento d'urto, in fase finale, attraverso macchinari specializzati, che simulano un processo d'invecchiamento. Questo trattamento non può essere applicato al massello piezoelettrico perché rischierebbe di danneggiare il sistema elettronico.

masselli hanno un basso fattore di riflessione solare medio $\rho_{e,m}$ in modo da evitare fenomeni di abbagliamento. La pavimentazione viene posta in opera a secco su un riporto di sabbia dello spessore di 4÷6 cm di granulometria 3/6. Prima della posa dei masselli viene creato un adeguato sottofondo pressato (solo in caso di assenza) e viene fatta una cordonata che ha il compito di contenere il ghiaione (5 cm circa) per evitare lo spostamento dei masselli. Quindi si procede con la posa, solitamente a mano, degli elementi autobloccanti.

Sono stati individuati i masselli prodotti dall'azienda milanese Vibrapac⁹¹, come riferimento per la realizzazione del dispositivo prototipale prototipo, per la linea di produzione a basso consumo e l'impiego di materiali riciclati, proprio nel rispetto degli orientamenti dell'edilizia sostenibile. Il ciclo produttivo della Vibrapac, infatti, non richiede elevate temperature: il calcestruzzo una volta disposto in stampi e pressovibrato, con i macchinari specializzati, viene sottoposto ad un processo di essicatura naturale in forni a temperatura ambiente per 1-2 giorni. I materiali impiegati sono MPS (Materie Prime Secondarie) che sostituiscono gli inerti di cava, riducendo così l'uso di materie prime non rinnovabili, l'impatto sul territorio conseguente all'escavazione e favorendo il recupero di materiale altrimenti destinato a discarica.

Le materie prime secondarie si distinguono in pre e post-consumo a seconda che siano ottenute dalla trasformazione degli scarti di produzione di altri cicli produttivi o dalla dismissione di prodotti già immessi sul mercato. E' importante ricordare che Vibrapac ha certificato questa tecnologia con dichiarazione ambientale asseverata da ICMQ secondo

⁹¹ Vibrapac è un'azienda fondata nel 1958, con sede in via Vallone 1 a Solaro in provincia di Milano, che ha fatto proprio un know-how americano improntato sulla produzione dei "Manufatti in Calcestruzzo" per murature faccia a vista e pavimentazioni industriali ed auto bloccanti. I manufatti da loro prodotti sono stati impiegati nelle opere di architetti come Mario Botta, Renzo Piano, Richard Meier, Massimiliano Fuksas, solo per citarne alcuni. Sito Web: www.vibrapac.it

Norma UNI EN ISO 14021 e che è l'unica azienda del settore inserita in MATREC⁹².

Vibrapac ha, inoltre, certificato vari prodotti per quanto riguarda l'indice di riflessione solare SRI, che come richiesto dal protocollo LEED per le superfici orizzontali, quali piazzali e parcheggi, deve essere inferiore al 29%. I prodotti per pavimentazioni proposti dalla Vibrapac sono dei masselli di calcestruzzo pressovibrato autobloccanti che si differenziano tra loro per forma, dimensione e cromia determinata dagli inerti di riciclo scelti per l'impasto e le lavorazioni.

- Il prodotto Vibrapac utilizzato è del tipo Consolare, con diverse possibili finiture:
- Quarzite (dove la superficie ottenuta con inerti silicei restituisce una particolare durezza ed un'elevata resistenza all'usura),
- Granito (pavimentazione a doppio strato ad alta resistenza con superficie lavata per esaltare gli inerti utilizzati nello strato superficiale),
- TX Active (pavimentazione con effetto antinquinamento ed autopulente)
- Natural (superficie dall'aspetto continuo leggermente strutturato, in particolare modo questo massello può essere prodotto in sei cromie le tre comuni a tutte più tre che presentano gli stessi colori in gradazioni più intense).



Il tipo Consolare è stato scelto in quanto si presenta in tre diversi formati regolari che restituiscono diversi tipi di tessitura che possono essere adattati più facilmente ad un contesto preesistente. Uno dei vantaggi di questi elementi è infatti la possibilità di

⁹² Prima banca dati italiana di Ecodesign.
Dottoranda Arch. Maria Cristina Majello
Tutors Prof.ssa Arch. Gabriella Caterina
Prof.ssa Arch. Serena Viola

realizzare svariate forme geometriche di vari colori a seconda delle esigenze e delle necessità.

Inoltre questi formati rispetto alle dimensioni di un piede umano medio permettono di essere calpestati distribuendo la forza peso in maniera uniforme e sfruttare quindi la deformazione degli elementi piezoelettrici per generare energia. I tre diversi formati in cui sono disponibili i masselli di cls, di spessore pari a 60 mm, sono 250x187mm, 125x125mm e 125x62,5mm che formano rettangolo circoscritto di dimensioni 250x187,5 mm. Il massello prescelto è il tipo *Consolare Natural*, colore giallo Ocra, dimensioni 125x125mm spessore 60 mm.

3.2.5 Considerazioni sulla compatibilità dei materiali prescelti e sulle caratteristiche dei masselli di calcestruzzo per la certificazione CE.

Nel considerare i diversi componenti e le diverse parti che costituiscono il dispositivo piezoelettrico, unitamente agli elementi di giunzione, fissaggio, nonché dell'elemento di pavimentazione, si è tenuto presente la loro compatibilità chimica e meccanica.

Per la compatibilità chimica si sono tenute presenti, nella scelta dei componenti, le reazioni negative che possono provocare l'alterazione e/o il deterioramento degli stessi stando a contatto tra loro. In particolare non ci sono incompatibilità tra acciaio resine e piezoelettrico, l'unica incompatibilità potrebbe nascere tra l'acciaio inox e il calcestruzzo per la conducibilità elettrica, l'aereazione differenziata ed l'effetto galvanico. Per evitare queste incompatibilità si può rivestire l'acciaio inox con una pellicola fine aderente e compatta data da una vernice isolante.

Per la compatibilità meccanica si è tenuto conto che gli sforzi dovuti al passaggio delle persone sul massello, siano distribuiti senza danno e con reazioni tali da non superare i limiti di deformazione o di rottura, assicurando nel suo complesso la stabilità del massello

come elemento di pavimentazione. In particolare il dispositivo è stato pensato in modo che quando il massello viene calpestato il suo abbassamento rispetto al piano orizzontale di calpestio oscilla tra lo 0,5 mm e i 2 mm rispetto ad un carico minimo di 30 kg (peso medio di un bambino) e un carico massimo di 150 kg (peso per persona). Il carico medio è di circa 75 Kg (peso medio di una persona) con un abbassamento di 1mm. Questo abbassamento produce uno sfalsamento tra elementi accettabile che non crea ostacolo alla fruizione e non risulta un pericolo per scivolamento o inciampo tenendo in considerazione quanto prescritto dalla Norma UNI EN 1338:2004⁹³. Un importante riferimento per la realizzazione del dispositivo piezoelettrico è stato fornito proprio da detta norma. Non s'intende dimostrare la conformità alla norma, in quanto dovrebbero essere eseguite prove iniziali all'inizio della fabbricazione del nuovo tipo di pavimentazione. Ma essendo il massello Vibrapac marcato CE secondo questa norma, la si è presa in considerazione per le caratteristiche dimensionali e superficiali del prodotto. Nel rispetto delle caratteristiche dimensionali si è progettato l'abbassamento massimo del dispositivo: le dimensioni, prese come riferimento sono larghezza, lunghezza e spessore. L'elemento piezoelettrico è stato pensato per essere integrato nello spessore del massello, riducendo la sezione del calcestruzzo di 12mm. Per mantenere la planarità della superficie e la caratteristica di resistenza allo scivolamento che interessa la capacità di resistere al movimento relativo tra il piede di un pedone e la superficie trafficata della pavimentazione di masselli di calcestruzzo, si è considerata l'alterazione dovuta all'abbassamento del massello a causa del dispositivo piezoelettrico, ma essendo l'abbassamento massimo pari a 2mm, rientra nelle tolleranze delle caratteristiche dimensionali che arrivano fino a 3mm. La lamiera in acciaio Inox è stata pensata nella sua geometria proporzionalmente al suo spessore proprio

⁹³ UNI EN 1338:2004 Masselli di calcestruzzo per pavimentazioni. Requisiti e metodi di Prova . Tolleranze ammissibili di spessore pari a 3mm

per resistere a questi carichi e supportare il piezoceramico, che a sua volta è stato scelto proprio per la sua capacità di resistenza a carichi elevati e a deformazioni ripetute e continue.

In riferimento alle caratteristiche superficiali si è considerato che la svasatura⁹⁴ non incide sul dispositivo piezoelettrico, mentre invece lo strato di finitura/usura sulla faccia superiore del massello impone dei limiti nella scelta rispetto all'inserimento del dispositivo piezoelettrico durante il processo di produzione. Gli aspetti visivi che si riferiscono allo strato superficiale di finitura dei masselli, come quelli dei masselli Consolare Vibrapac del tipo Quarzite, Granito, TX Active e Natural, è determinato dal processo di cottura in forni a temperatura ambiente. Il loro processo di produzione di questi elementi termina con la cottura in questi forni, e pertanto questo processo di asciugatura del calcestruzzo funziona da legante proprio con il dispositivo piezoelettrico. I macchinari, invece, che producono lo strato di usura o i processi d'invecchiamento dei masselli, sottopongo il prodotto a urti, stress, pressioni, abrasioni e colorazioni delle superfici del tutto casuali, pertanto non controllabili, che potrebbero danneggiare il dispositivo piezoelettrico, e non sarebbe verificata la capacità di produrre energia.

3.3 Realizzazione del dispositivo piezoelettrico.

Definiti gli elementi che costituiscono il dispositivo piezoelettrico si è passati alla realizzazione del prototipo. La prima fase è avvenuta nella fabbrica dei profilati metallici Guerrasio dove con l'arch. F.Bisogno è stato messo a punto il sistema di lamiere in acciaio zincato. Lo spessore delle lamiere in acciaio zincato a disposizione è compreso tra 0,5 e 1,2

⁹⁴ UNI EN 1338:2004 per svasatura s'intende l'angolo superiore previsto tra la superficie laterale e il piano verticale.

mm; i trattamenti di finitura delle lamiere avvengono per fasi successive: profilatura attraverso il taglio, la profilatura, il piegamento e la calandratura. Il taglio e la profilatura sono stati fatti manualmente, per il piegamento e la calandratura, invece si è proceduto con macchinari specializzati:

- la Pressa piegatrice oleodinamica: macchina utensile atta alla piegatura dell'acciaio mediante valvole di equilibratura ed arresto oleodinamico nei cilindri a tre velocità di lavoro per piegare i profili in acciaio più sottili e piccoli;
- la Calandra digitale: macchina industriale costituita da cilindri rotanti a contatto, attraverso i quali si fa passare il profilo in acciaio da rifinire. Il profilo una volta presso piegato viene calandrato per rendere la curva perfettamente tonda in quanto la pressa piegatrice lavora per spezzate e non curve.

Per la realizzazione della lamiera impiegata del prototipo si è lavorato sullo spessore dell'acciaio, sull'altezza dell'arco di curvatura e sul gioco dell'alloggio delle alette laterali del profilo "A" nel profilo "B". Si sono realizzati quattro coppie di lamiere "A" e "B", due con spessori pari a 1mm e due con spessori pari a 0,8mm.

La realizzazione dei diversi provini è stata accompagnata da una prova a resistenza meccanica per verificare la deformabilità delle quattro coppie di lamiere⁹⁵. Si è proceduto così per quattro configurazioni distinte, come è possibile vedere dalle schede di prova allegate al paragrafo, in cui si è lavorato su

- Spessore dell'acciaio.
- Gioco della molla determinato dallo spazio d'incastro tra i profili "A" e "B".
- Altezza della curva.

Dalla risposta della deformazione dei diversi profili si è scelta la seconda configurazione come base per applicare gli elementi piezoelettrici e verificarne le prestazioni energetiche.

⁹⁵ Tale prova è stata svolta direttamente in fabbrica presso la Guerrasio provando a schiacciare semplicemente con il piede il sistema di lamiere prima singolarmente e poi assemblate.

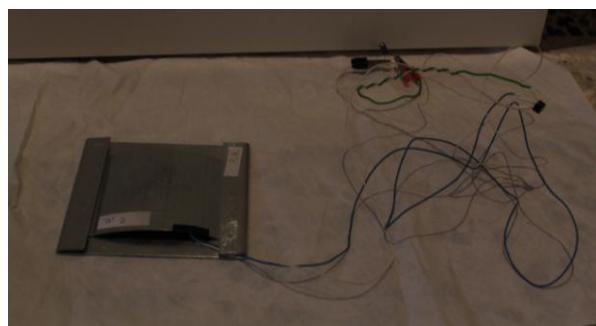
La scelta è stata determinata da

- Maggiore flessibilità della molla.
- Abbassamento massimo dell'arco pari a 3mm.
- Resistenza a compressione maggiore dovuta a spessore maggiore.

3.3.2 Assemblaggio del circuito energetico piezoelettrico con le lamiere

Prescelta la seconda configurazione, si sono trasferite le lamiere presso il Laboratorio d'Ingegneria Aerospaziale dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", dove si è passati prima all'assemblaggio delle lamiere con le piastrine piezoelettriche e i circuiti elettrici e poi alle prove di misura.

Per fissare la piastrina piezoelettrica e i cavi con le lamiere di acciaio si è utilizzata una resina bicomponente appropriata. Una volta fissati gli elementi, si sono disposti dei pesi, per garantire l'aderenza di tutto l'elemento piezoceramico con la lamiera in acciaio, e si è lasciato asciugare la resina per circa ventiquattro ore, necessarie all'indurimento e alla saldatura dei due elementi. Una volta fissati la lamiera con il piezoelettrico ed i cavi elettrici si è passati ad incastrare gli elementi.



Dispositivo piezoelettrico profilo "A" e "B" con cavi in uscita

3.3.3 Assemblaggio del dispositivo piezoelettrico con l'elemento di pavimentazione.

Pertanto si proceduto a montare il dispositivo costituito dal profilo "A" e "B", con i cavi in uscita, con il profilo "C".

In fase di realizzazione del dispositivo prototipale, non si è impiegata come resina la PROCHIMA, ma una spugna poliuretanica, in dotazione del dipartimento di Ingegneria, che avesse delle proprietà molto simili a quelle del materiale ipotizzato nell'abaco.

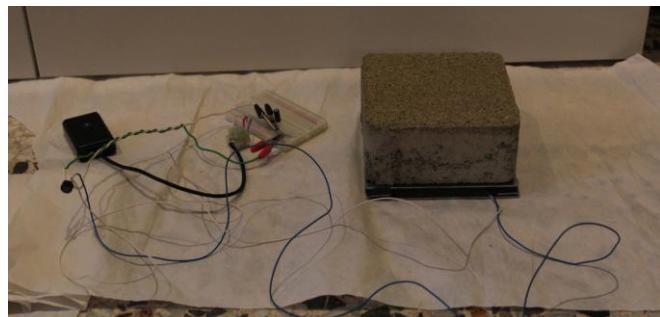
Per fare questo si è disposto un idoneo collante sui bordi della lamiera sul quale è stata applicata un materiale polimerico che ha le stesse caratteristiche elastiche di una schiuma polimerica con fori molto stretti, ma che è reperibile già in forma solida e non schiumosa.

Lo stesso collante è stato disposto sulla parte inferiore del profilo "C" che è stato poi appoggiato sul materiale polimerico. Ne risulta una scatola chiusa tra due lamiere e il materiale polimerico.



Dispositivo piezoelettrico profilo "A" e "B" e "C" con cavi in uscita

Sul profilo "C" è stato disposto un ulteriore strato di collante e vi si è fissato sopra il massello di calcestruzzo Consolare Natural della Vibrapac.

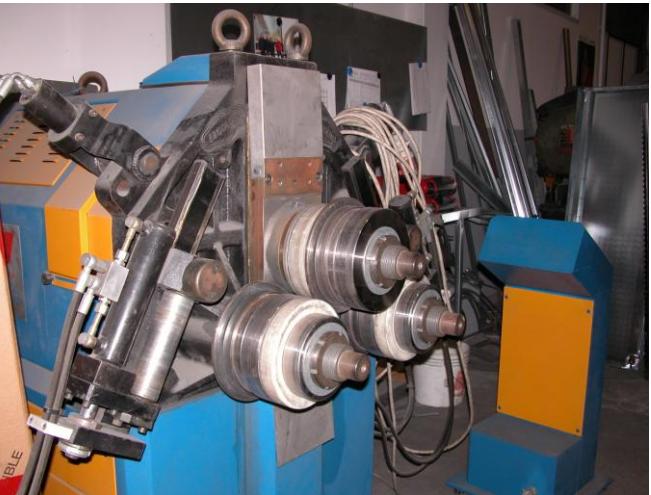


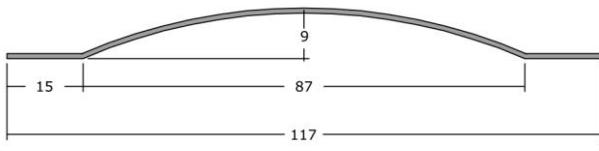
Dispositivo piezoelettrico fissato sotto il massello Vibrapac con cavi in uscita

Realizzazione dispositivo prototipale piezoelettrico per pavimentazioni

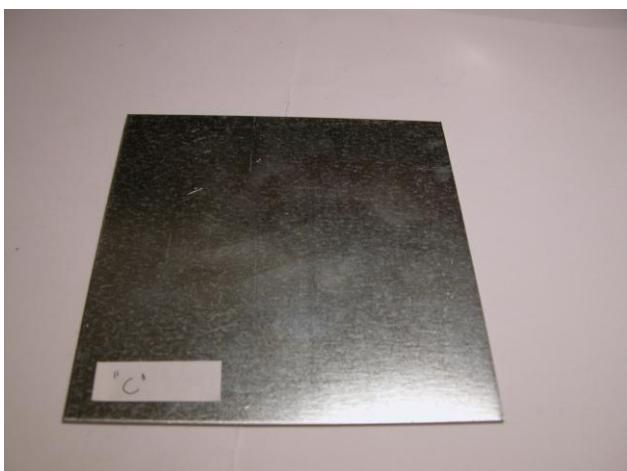
FASE Sperimentale 1

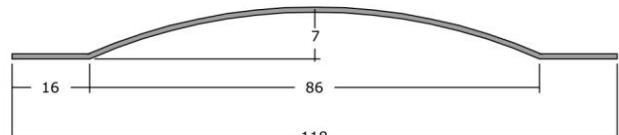
ELABORAZIONE DELLE LAMIERE PRESSOPIEGATE

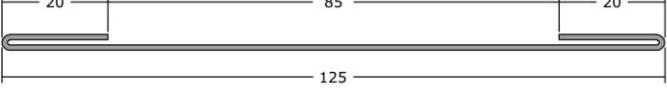
D.1	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE SPERIMENTALE: 1	
TIPOLOGIA DI LAVORO: ELABORAZIONE PROFILO DI ACCIAIO "A" e "B"	
ELEMENTO TECNICO: Lamiera pressopiegata	
MATERIALE IMPIEGATO: Lamiere in acciaio Fe 510 con rivestimento protettivo di zinco che conferisce resistenza alla corrosione superficiale	CARATTERISTICHE DEL MATERIALE: Resistenza a carico unitario di rottura: 510/650 N/mm ² Resistenza a carico unitario di snervamento: 355 N/mm ²
AZIENDA PRODUTTRICE DELL'ELEMENTO: Guerrasio Vertebra Roccapiemonte(SA)	
STRUMENTI: <i>Pressa piegatrice oleodinamica:</i> macchina utensile atta alla piegatura dell'acciaio mediante valvole di equilibratura ed arresto oleodinamico nei cilindri a tre velocità di lavoro per piegare i profili in acciaio più sottili e piccoli. <i>Calandra digitale:</i> macchina industriale costituita da cilindri rotanti a contatto, attraverso i quali si fa passare il profilo in acciaio da rifinire. Il profilo una volta presso piegato viene calandrato per rendere la curva perfettamente tonda in quanto la pressa piegatrice lavora per spezzate e non curve.	<p style="text-align: center;">PRESSO PIEGATRICE</p>  <p style="text-align: center;">CALANDRA DIGITALE</p> 
FINALITA': Elaborazione di provini di acciaio di diverso spessore e diversa curvatura da sottoporre a carico statico di 120 kg per verificarne la resistenza	
ESITI RAGGIUNTI: 4 provini	
DATE: 3 dicembre 2012 18 dicembre 2012 3 gennaio 2013	
LUOGO DI SPERIMENTAZIONE: Fabbrica Guerrasio - Via Acquedotto 1 84086 Roccapiemonte(SA)	
NOTE E COMMENTI:	

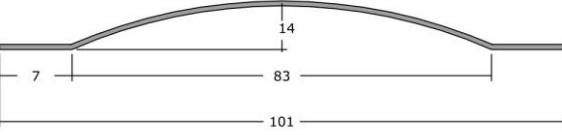
D.1.1 A1	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO PER PAVIMENTAZIONI	
FASE SPERIMENTALE: 1		
TIPOLOGIA DI LAVORO: ELABORAZIONE PROFILO "A"1		
ELEMENTO TECNICO: Lamiera pressopiegata		
MATERIALE IMPIEGATO: Lamiere in acciaio Fe 510 con rivestimento protettivo di zinco che conferisce resistenza alla corrosione superficiale	CARATTERISTICHE DEL MATERIALE: Resistenza a carico unitario di rottura: 510/650 N/mm ² Resistenza a carico unitario di snervamento: 355 N/mm ²	
AZIENDA PRODUTTRICE DELL'ELEMENTO: Guerrasio Vertebra Roccapiemonte(SA)		
STRUMENTI: Pressa piegatrice oleodinamica Calandra digitale	PROFILO "A" 1 	
FINALITA': Elaborazione di una lamiera di acciaio con sezione a "Ω"	SEZIONE PROFILO "A" 1 PROFILO "A" 1 	
PROFILO INIZIALE: lamiera in acciaio zincato piana spessore 1mm profondità 125mm larghezza 125mm		
OPERAZIONI EFFETTUATE: La lamiera viene passata nella pressa piegatrice dopo aver inserito il file del disegno nel supporto digitale. Mantenendo la lamiera con la mano la presso piegatrice calcola la curva e la imprime sulla lamiera nella parte desiderata con un procedimento a freddo. La curva della lamiera che ne esce è costituita da una serie di spezzate che si susseguono. Per rendere veramente curva la lamiera viene passata nella calandra digitale dove attraverso i tre cilindri rotanti la curva viene calandrata.	DATA: 3 dicembre 2012	
PROFILO REALIZZATO: lamiera in acciaio zincato spessore 1mm profondità 125 mm larghezza 117 mm freccia di curvatura 9mm alette orizzontali 15mm		
LUOGO DI SPERIMENTAZIONE: Fabbrica Guerrasio - Via Acquedotto 1 84086 Roccapiemonte(SA)		
NOTE E COMMENTI: Il profilo "A" è stato realizzato in funzione del profilo "B"		

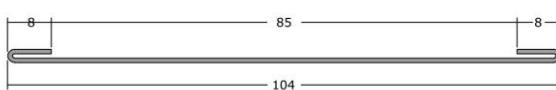
D.1.2 B1	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOLETTTRICO PER PAVIMENTAZIONI			
FASE Sperimentale: 1				
TIPOLOGIA DI LAVORO: ELABORAZIONE PROFILO "B"1				
ELEMENTO TECNICO: Lamiera pressopiegata				
MATERIALE IMPIEGATO: Lamiere in acciaio Fe 510 con rivestimento protettivo di zinco che conferisce resistenza alla corrosione superficiale	CARATTERISTICHE DEL MATERIALE: Resistenza a carico unitario di rottura: 510/650 N/mm ² Resistenza a carico unitario di snervamento: 355 N/mm ²			
AZIENDA PRODUTTRICE DELL'ELEMENTO: Guerrasio Vertebra				
STRUMENTI: Pressa piegatrice oleodinamica	PROFILO "B" 1			
FINALITA': Elaborazione di un piatto di acciaio con due estremità opposte ripiegate su se stesse				
PROFILO INIZIALE: lamiera in acciaio zincato piana spessore 1mm profondità 125mm larghezza 165mm	SEZIONE PROFILO "B" 1			
OPERAZIONI EFFETTUATE: La lamiera viene passata nella pressa piegatrice dopo aver inserito il file del disegno nel supporto digitale. Mantenendo la lamiera con la mano la presso piegatrice calcola la curva e la imprime sulla lamiera nella parte desiderata con un procedimento a freddo.	PROFILO "B" 1			
PROFILO REALIZZATO: lamiera in acciaio zincato spessore 1mm profondità 125 mm larghezza 125 mm alette orizzontali ripiegate 20 mm				
DATA: 3 dicembre 2012				
LUOGO DI Sperimentazione: Fabbrica Guerrasio - Via Acquedotto 1 84086 Roccapiemonte (SA)				
NOTE E COMMENTI: dopo aver inserito il profilo "A" nel profilo "B" ci siamo saliti sopra a turno per vedere cosa succedeva, la curva troppo alta del profilo "A" e lo spazio ridotto nelle alette ripiegate del profilo "B" non permettono una buona elasticità percepibile semplicemente con il calpestio. Ipotesi per procedere: tre nuovi profili di dimensioni minori, curva più bassa, alette più lunghe e prova con lamiera più sottile.				

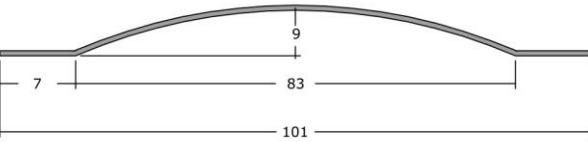
D.1.3 C1	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE SPERIMENTALE: 1	
TIPOLOGIA DI LAVORO: ELABORAZIONE PROFILO "C"1	
ELEMENTO TECNICO: Lamiera pressopiegata	
MATERIALE IMPIEGATO: Lamiere in acciaio Fe 510 con rivestimento protettivo di zinco che conferisce resistenza alla corrosione superficiale	CARATTERISTICHE DEL MATERIALE: Resistenza a carico unitario di rottura: 510/650 N/mm ² Resistenza a carico unitario di snervamento: 355 N/mm ²
AZIENDA PRODUTTRICE DELL'ELEMENTO: Guerrasio Vertebra	
INDIRIZZO: Via Acquedotto 1 84086 Roccapiemonte(SA)	
STRUMENTI: Pressa piegatrice oleodinamica Calandra digitale	PROFILO "C" 1 
FINALITA': Elaborazione un piatto quadrato in lamiera di acciaio zincato	
PROFILO INIZIALE: lamiera in acciaio zincato piana spessore 1mm profondità 125mm larghezza 125mm	
PROFILO REALIZZATO: lamiera in acciaio zincato piana spessore 1mm profondità 125mm larghezza 125mm	SEZIONE PROFILO "C" 1 
DATA: 3 dicembre 2012	
LUOGO DI SPERIMENTAZIONE: Fabbrica Guerrasio - Via Acquedotto 1 84086 Roccapiemonte(SA)	
NOTE E COMMENTI:	

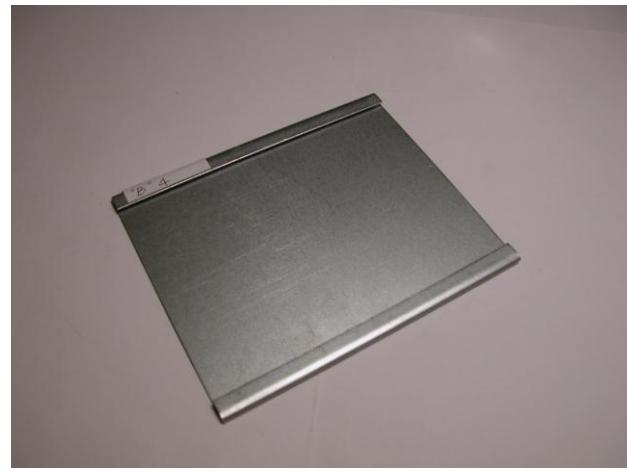
D.1.4 A2	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE SPERIMENTALE: 1	
TIPOLOGIA DI LAVORO: ELABORAZIONE PROFILO "A"2	
ELEMENTO TECNICO: Lamiera pressopiegata	
MATERIALE IMPIEGATO: Lamiere in acciaio Fe 510 con rivestimento protettivo di zinco che conferisce resistenza alla corrosione superficiale	CARATTERISTICHE DEL MATERIALE: Resistenza a carico unitario di rottura: 510/650 N/mm ² Resistenza a carico unitario di snervamento: 355 N/mm ²
AZIENDA PRODUTTRICE DELL'ELEMENTO: Guerrasio Vertebra Roccapiemonte(SA)	
STRUMENTI: Pressa piegatrice oleodinamica Calandra digitale	PROFILO "A" 2 
FINALITA': Elaborazione di una lamiera di acciaio con sezione a "Q"	
PROFILO INIZIALE: lamiera in acciaio zincato piana spessore 1mm profondità 90 mm larghezza 125mm	
OPERAZIONI EFFETTUATE: La lamiera viene passata nella pressa piegatrice dopo aver inserito il file del disegno nel supporto digitale. Mantenendo la lamiera con la mano la presso piegatrice calcola la curva e la imprime sulla lamiera nella parte desiderata con un procedimento a freddo. La curva della lamiera che ne esce è costituita da una serie di spezzate che si susseguono. Per rendere veramente curva la lamiera viene passata nella calandra digitale dove attraverso i tre cilindri rotanti la curva viene calandrata.	SEZIONE PROFILO "A" 2 PROFILO "A" 2 
PROFILO REALIZZATO: lamiera in acciaio zincato spessore 1mm profondità 125 mm larghezza 118 mm freccia di curvatura 7mm alette orizzontali 16 mm	DATA: 18 dicembre 2012
LUOGO DI SPERIMENTAZIONE: Fabbrica Guerrasio - Via Acquedotto 1 84086 Roccapiemonte(SA)	
NOTE E COMMENTI: coordinata con la lamiera "B" 2 si è registrato un abbassamento di 1,5 mm sotto la pedata di 100 kg	

D.1.5 B2	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOLETTTRICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE SPERIMENTALE: 1	
TIPOLOGIA DI LAVORO: ELABORAZIONE PROFILO "B"2	
ELEMENTO TECNICO: Lamiera pressopiegata	
MATERIALE IMPIEGATO: Lamiere in acciaio Fe 510 con rivestimento protettivo di zinco che conferisce resistenza alla corrosione superficiale	CARATTERISTICHE DEL MATERIALE: Resistenza a carico unitario di rottura: 510/650 N/mm ² Resistenza a carico unitario di snervamento: 355 N/mm ²
AZIENDA PRODUTTRICE DELL'ELEMENTO: Guerrasio Vertebra	
STRUMENTI: Pressa piegatrice oleodinamica	PROFILO "B" 2
FINALITÀ: Elaborazione di un piatto di acciaio con due estremità opposte ripiegate su se stesse	
PROFILO INIZIALE: lamiera in acciaio zincato piana spessore 1mm profondità 125mm larghezza 165mm	SEZIONE PROFILO "B" 2
OPERAZIONI EFFETTUATE: La lamiera viene passata nella pressa piegatrice dopo aver inserito il file del disegno nel supporto digitale. Mantenendo la lamiera con la mano la pressa piegatrice calcola la curva e la imprime sulla lamiera nella parte desiderata con un procedimento a freddo.	PROFILO "B" 2
PROFILO REALIZZATO: lamiera in acciaio zincato spessore 1mm profondità 125 mm larghezza 125 mm alette orizzontali ripiegate 20 mm	
DATA: 18 dicembre 2012	
LUOGO DI SPERIMENTAZIONE: Fabbrica Guerrasio - Via Acquedotto 1 84086 Roccapiemonte(SA)	
NOTE E COMMENTI:	

D.1.6 A3	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE SPERIMENTALE: 1	
TIPOLOGIA DI LAVORO: ELABORAZIONE PROFILO "A"3	
ELEMENTO TECNICO: Lamiera pressopiegata	
MATERIALE IMPIEGATO: Lamiere in acciaio Fe 510 con rivestimento protettivo di zinco che conferisce resistenza alla corrosione superficiale	CARATTERISTICHE DEL MATERIALE: Resistenza a carico unitario di rottura: 510/650 N/mm ² Resistenza a carico unitario di snervamento: 355 N/mm ²
AZIENDA PRODUTTRICE DELL'ELEMENTO: Guerrasio Vertebra Roccapiemonte(SA)	
STRUMENTI: Pressa piegatrice oleodinamica Calandra digitale	PROFILO "A" 3 
FINALITA': Elaborazione di una lamiera di acciaio con sezione a "Q"	
PROFILO INIZIALE: lamiera in acciaio zincato piana spessore 1mm profondità 125 mm larghezza 102mm	
OPERAZIONI EFFETTUATE: La lamiera viene passata nella pressa piegatrice dopo aver inserito il file del disegno nel supporto digitale. Mantenendo la lamiera con la mano la presso piegatrice calcola la curva e la imprime sulla lamiera nella parte desiderata con un procedimento a freddo. La curva della lamiera che ne esce è costituita da una serie di spezzate che si susseguono. Per rendere veramente curva la lamiera viene passata nella calandra digitale dove attraverso i tre cilindri rotanti la curva viene calandrata.	SEZIONE PROFILO "A" 3 PROFILO "A" 3 
PROFILO REALIZZATO: lamiera in acciaio zincato spessore 0,8 mm profondità 125 mm larghezza 101 mm freccia di curvatura 14 mm alette orizzontali 7 mm	DATA: 18 dicembre 2012
LUOGO DI SPERIMENTAZIONE: Fabbrica Guerrasio - Via Acquedotto 1 84086 Roccapiemonte(SA)	
NOTE E COMMENTI: coordinata con la lamiera "B" 3 si è registrato un abbassamento di 2,5 mm sotto la pedata di 100 kg	

D.1.7 B3	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO PER PAVIMENTAZIONI			
FASE SPERIMENTALE: 1				
TIPOLOGIA DI LAVORO: ELABORAZIONE PROFILO "B"3				
ELEMENTO TECNICO: Lamiera pressopiegata				
MATERIALE IMPIEGATO: Lamiere in acciaio Fe 510 con rivestimento protettivo di zinco che conferisce resistenza alla corrosione superficiale		CARATTERISTICHE DEL MATERIALE: Resistenza a carico unitario di rottura: 510/650 N/mm ² Resistenza a carico unitario di snervamento: 355 N/mm ²		
AZIENDA PRODUTTRICE DELL'ELEMENTO: Guerrasio Vertebra				
STRUMENTI: Pressa piegatrice oleodinamica	PROFILO "B" 3			
	FINALITA': Elaborazione di un piatto di acciaio con due estremità opposte ripiegate su se stesse			
PROFILO INIZIALE: lamiera in acciaio zincato piana spessore 0,8mm profondità 125mm larghezza 120 mm				
	OPERAZIONI EFFETTUATE: La lamiera viene passata nella pressa piegatrice dopo aver inserito il file del disegno nel supporto digitale. Mantenendo la lamiera con la mano la presso piegatrice calcola la curva e la imprime sulla lamiera nella parte desiderata con un procedimento a freddo.			
PROFILO REALIZZATO: lamiera in acciaio zincato spessore 0,8 mm profondità 125 mm larghezza 14 mm alette orizzontali ripiegate 8 mm	SEZIONE PROFILO "B" 3 			
	DATA: 18 dicembre 2012			
LUOGO DI SPERIMENTAZIONE: Fabbrica Guerrasio - Via Acquedotto 1 84086 Roccapiemonte(SA)				
NOTE E COMMENTI:				

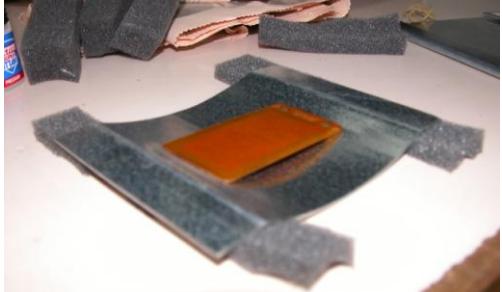
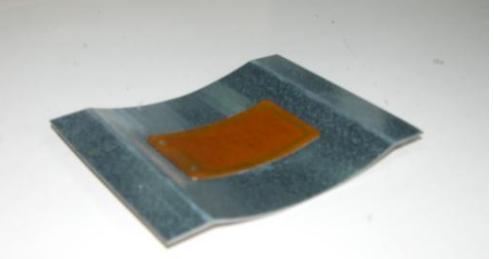
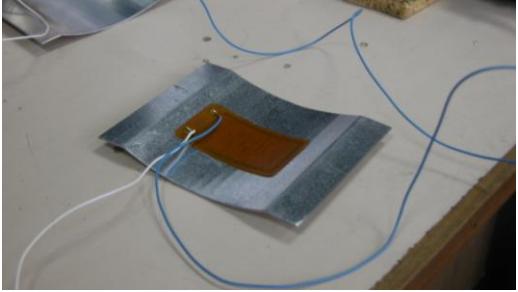
D.1.8 A4	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE SPERIMENTALE: 1	
TIPOLOGIA DI LAVORO: ELABORAZIONE PROFILO "A"4	
ELEMENTO TECNICO: Lamiera pressopiegata	
MATERIALE IMPIEGATO: Lamiere in acciaio Fe 510 con rivestimento protettivo di zinco che conferisce resistenza alla corrosione superficiale	CARATTERISTICHE DEL MATERIALE: Resistenza a carico unitario di rottura: 510/650 N/mm ² Resistenza a carico unitario di snervamento: 355 N/mm ²
AZIENDA PRODUTTRICE DELL'ELEMENTO: Guerrasio Vertebra Roccapiemonte(SA)	
STRUMENTI: Pressa piegatrice oleodinamica Calandra digitale	PROFILO "A" 4 
FINALITA': Elaborazione di una lamiera di acciaio con sezione a "Ω"	
PROFILO INIZIALE: lamiera in acciaio zincato piana spessore 0,8 mm profondità 125 mm larghezza 120mm	
OPERAZIONI EFFETTUATE: La lamiera viene passata nella pressa piegatrice dopo aver inserito il file del disegno nel supporto digitale. Mantenendo la lamiera con la mano la presso piegatrice calcola la curva e la imprime sulla lamiera nella parte desiderata con un procedimento a freddo. La curva della lamiera che ne esce è costituita da una serie di spezzate che si susseguono. Per rendere veramente curva la lamiera viene passata nella calandra digitale dove attraverso i tre cilindri rotanti la curva viene calandrata.	SEZIONE PROFILO "A" 4 PROFILO "A" 4 
PROFILO REALIZZATO: lamiera in acciaio zincato spessore 0,8 mm profondità 125 mm larghezza 115 mm freccia di curvatura 9mm alette orizzontali 7 mm	DATA: 18 dicembre 2012
LUOGO DI Sperimentazione: Fabbrica Guerrasio - Via Acquedotto 1 84086 Roccapiemonte(SA)	
NOTE E COMMENTI: coordinata con la lamiera "B" 3 si è registrato un abbassamento di 3 mm sotto la pedata di 100 kg	

D.1.9 B4	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOLETTTRICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE SPERIMENTALE: 1	
TIPOLOGIA DI LAVORO: ELABORAZIONE PROFILO "B"4	
ELEMENTO TECNICO: Lamiera pressopiegata	CARATTERISTICHE DEL MATERIALE: Resistenza a carico unitario di rottura: 510/650 N/mm ² Resistenza a carico unitario di snervamento: 355 N/mm ²
AZIENDA PRODUTTRICE DELL'ELEMENTO: Guerrasio Vertebra	
STRUMENTI: Pressa piegatrice oleodinamica	PROFILO "B"4
FINALITÀ: Elaborazione di un piatto di acciaio con due estremità opposte ripiegate su se stesse	
PROFILO INIZIALE: lamiera in acciaio zincato piana spessore 0,8mm profondità 125mm larghezza 125mm	
OPERAZIONI EFFETTUATE: La lamiera viene passata nella pressa piegatrice dopo aver inserito il file del disegno nel supporto digitale. Mantenendo la lamiera con la mano la pressa piegatrice calcola la curva e la imprime sulla lamiera nella parte desiderata con un procedimento a freddo.	SEZIONE PROFILO "B" 4 PROFILO "B" 4 
PROFILO REALIZZATO: lamiera in acciaio zincato spessore 0,8 mm profondità 125 mm larghezza 106 mm alette orizzontali ripiegate 8 mm	DATA: 18 dicembre 2012
LUOGO DI Sperimentazione: Fabbrica Guerrasio - Via Acquedotto 1 84086 Roccapiemonte(SA)	
NOTE E COMMENTI:	

Realizzazione del dispositivo prototipale piezoelettrico per pavimentazioni

FASE SPERIMENTALE 2

ASSEMBLAGGIO DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO CON SISTEMA LAMIERE IN ACCIAIO

D.2.1 REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOLETTTRICO PER PAVIMENTAZIONI	
FASE SPERIMENTALE: 2	
TIPOLOGIA DI LAVORO: Assemblamento del dispositivo	
FINALITA': Fissare la piastrina piezoelettrica sulla lamiera e creare i collegamenti elettrici di circuito.	
PROCEDIMENTO:	
disposizione degli elementi pulitura della lamiera con solventi disegno del posizionamento del piezoelettrico sulla lamiera	
disposizione resina bi componente su lamiera e piezoelettrico fissaggio dei due elementi insieme posizionamento di un peso per 5minuti	
collegamento elettrico del piezoelettrico con cavi positivo e negativo e un ponte a diodi potenza nominale 50 V montaggio del profilo A" nel profilo "B"	
collegamento bread board con 4 diversi tipi di condensatori da provare uno alla volta collegamento con dispositivo luminoso LED di 2,5V smontaggio dei due profili e disposizione di un peso sul piezoelettrico per lasciare asciugare la resina per 24 ore DATA: 3 gennaio 2013	
LUOGO DI SPERIMENTAZIONE: Laboratorio del Dipartimento d'Ingegneria Aerospaziale Università degli Studi di Napoli "Federico II"	
INDIRIZZO: Via Claudio 31 - Napoli	
NOTE E COMMENTI:	

3.5 Prove di misura dell'energia prodotta dal prototipo

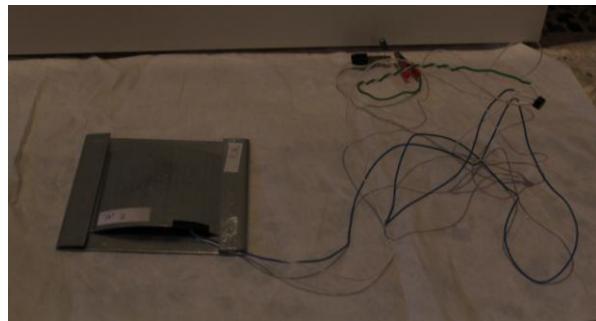
La verifica della funzionalità del prototipo è avvenuta attraverso la misura della produzione di energia del massello. I test di misura per la produzione di energia sono stati elaborati presso i laboratori del dipartimento di Ingegneria Aereospaziale dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", secondo una procedura concordata con l'ingegnere della PI, il fisico del CIRA e gli Ingegneri dell'Università di Napoli. Le prove di misura, dal momento che non esistono delle norme specifiche che le regolano, sono state eseguite seguendo le tipologie di test che normalmente si effettuano sui dispositivi piezoelettrici⁹⁶.

I test di misura si sono eseguiti con un oscilloscopio, uno strumento di misura elettronico che consente di visualizzare, su un grafico bidimensionale, l'andamento temporale dei segnali elettrici e di misurare abbastanza semplicemente tensioni, correnti, potenze ed energie elettriche. L'asse orizzontale del grafico solitamente rappresenta il tempo, rendendo l'oscilloscopio adatto ad analizzare grandezze periodiche. L'asse verticale rappresenta la tensione. La frequenza massima dei segnali visualizzabili, così come la risoluzione temporale, ovvero la più rapida variazione rilevabile, dipende dalla banda passante dello strumento, a sua volta dipendente dalla qualità e in ultima analisi dal costo. Si spazia dalle decine di MHz adatti per lavorare con segnali audio e televisivi, ai costosi modelli digitali da diversi GHz. Può essere considerato uno strumento universale. Collegandovi appropriati trasduttori, si può analizzare qualsiasi fenomeno fisico, anche eventi casuali e non ripetitivi.

⁹⁶ Amoroso F., Pecora R., Ferraro S., Lecce L.K.A., *Design and testing of piezoelectric energy harvesting system from vibrations for wireless sensors*, 2009, University of Naples "Federico II", Italy

3.4.1 Misure dell'energia prodotta dal dispositivo piezoelettrico

Le prime prove sono state effettuate sul dispositivo piezoelettrico non integrato nell'elemento di rivestimento della pavimentazione. Il modello su quale sono state effettuate le prove è quello nella foto sottostante.



Dispositivo piezoelettrico profilo “A” e “B” con cavi in uscita

Le prove sono state effettuate verificando i rendimenti energetici con quattro condensatori con capacità⁹⁷ diverse. Il condensatore è un componente elettrico che immagazzina l'energia in un campo elettrostatico, accumulando al suo interno una certa quantità di carica elettrica.

Individuato con quale condensatore funziona meglio il dispositivo (quello con capacità 4,7 μF), ossia quello con il quale si produce più energia che viene restituita in un tempo più lungo, si è passati a misurare, con questo condensatore, l'energia prodotta dal dispositivo integrato con il massello di calcestruzzo prefabbricato⁹⁸.



Dispositivo piezoelettrico fissato sotto il massello Vibrapac con cavi in uscita

⁹⁷ Le capacità dei condensatori sono state indicate dall'Ingegnere della PI e sono rispettivamente di 1 μf , 2,2 μf , 4,7 μf , 10 μf .

⁹⁸ Il modello su quale sono state effettuate le prove è quello nella foto a fondo pagina.

I test effettuati sul massello piezoelettrico sono stati effettuati in relazione a l'energia prodotta sottponendo l'elemento a tre diversi carichi e a tre differenti impulsi. I carichi impiegati sono stati rispettivamente di 55kg, 75kg e 95kg.

La prova è stata effettuata facendo camminare sul dispositivo tre persone con pesi differenti che calpestavano il massello in tre modi differenti.

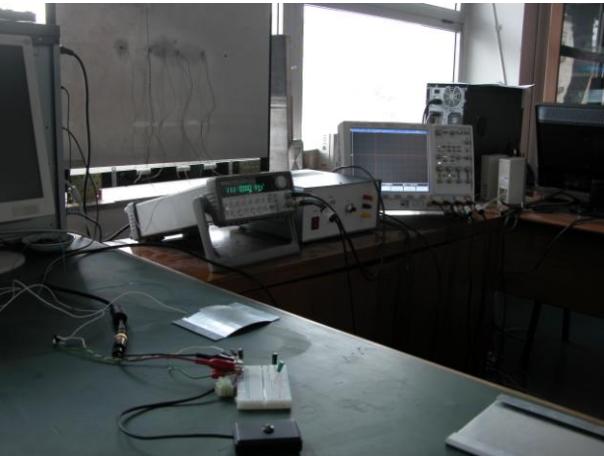
Il primo risultato significativo dei test è stato proprio la verifica di una variabile minima delle prestazioni energetiche, in relazione ai tre passi. Questo risultato può essere considerato una risposta positiva, se si considera l'imprevedibilità del fattore del peso delle persone che camminano sui percorsi e del modo di camminare che varia da individuo ad individuo.

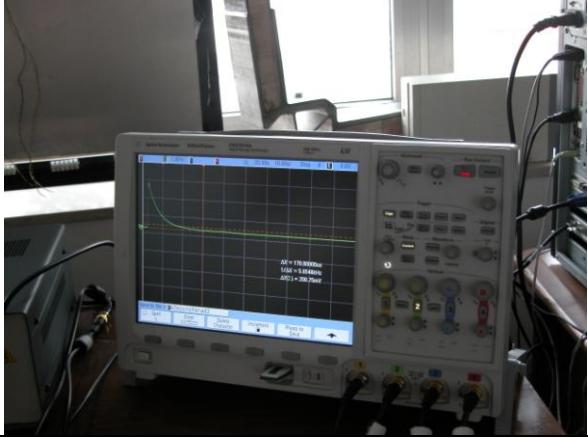
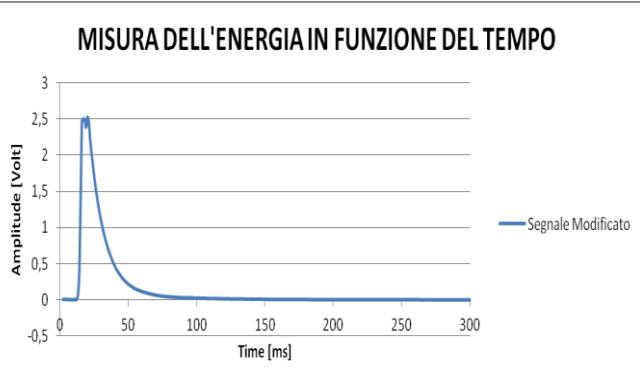
Il secondo risultato significativo dei test è rappresentato proprio dalla misura dell'energia prodotta. Una volta misurata l'energia prodotta si è calcolata tramite funzione derivata il lavoro in funzione del tempo. Integrando la funzione si è poi ottenuta la potenza. Questi dati sono stati un utile strumento di supporto per formulare ipotesi di produzione di energia di un percorso pedonale piezoelettrico applicato ad un caso pilota.

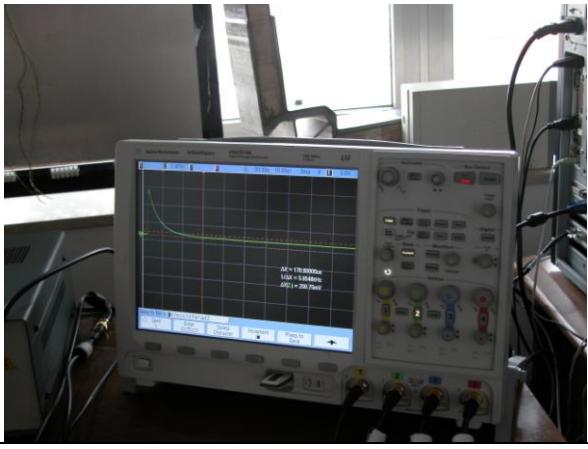
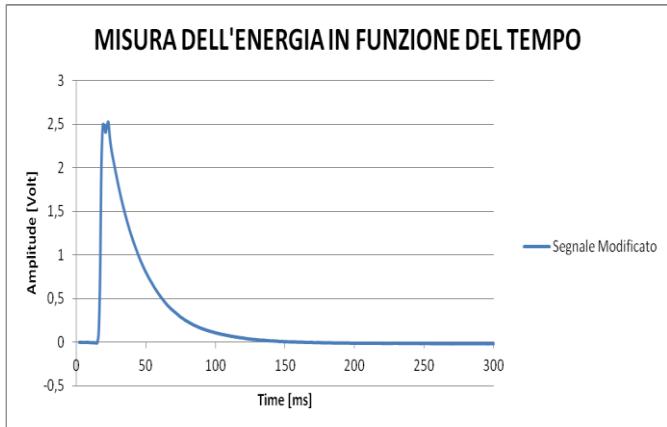
Prove di misura dell'energia prodotta

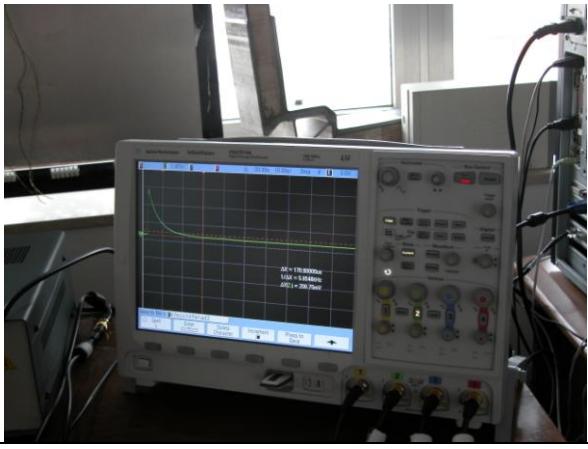
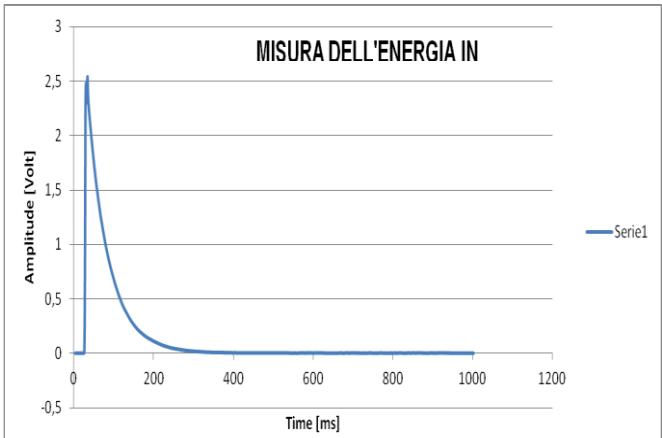
FASE Sperimentale 3

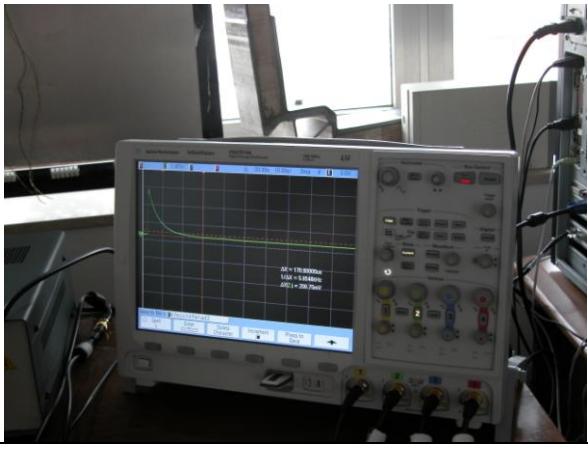
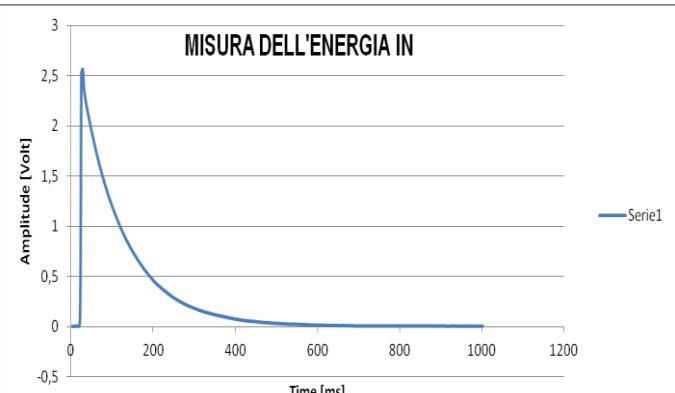
MISURA DELL'ENERGIA PRODOTTA DAL DISPOSITIVO

D.2.2	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE Sperimentale: 3	
TIPOLOGIA DI LAVORO: Misura dell'energia prodotta	
FINALITA': Misurare l'energia prodotta dal movimento sul dispositivo piezoelettrico in funzione del tempo	
APPARECCHIATURA: Oscilloscopio: strumento di misura elettronico che consente di visualizzare, su grafico bidimensionale, l'andamento temporale dei segnali elettrici e di misurare tensioni, correnti, potenze ed energie elettriche. L'asse orizzontale del grafico rappresenta il tempo, rendendo l'oscilloscopio adatto ad analizzare grandezze periodiche. L'asse verticale rappresenta il voltaggio.	<p>OSCILLOSCOPIO</p> 
PRINCIPIO: Raffronto dell'energia prodotta in funzione del tempo in relazione a condensatori con tensione nominale pari a 50V con differente capacità, per verificare quello che meglio risponde all'impulso in relazione al piezoelettrico prescelto. Da questa prima analisi si sceglie il condensatore che risponde meglio e si effettuano le prove di misura dell'energia sul dispositivo inserito nel mattone con carichi ed intensità differenti.	<p>OSCILLOSCOPIO COLLEGATO AL DISPOSITIVO</p> 
ESITI RAGGIUNTI: 4 prove con quattro diversi condensatori per verificare l'intensità dell'energia in funzione del tempo effettuati sul dispositivo nudo 3 prove con carichi diversi effettuati sul dispositivo inserito nel massello	
DATE: 7-10-14-15 gennaio 2013	
LUOGO DI PROVA: Laboratorio del Dipartimento d'Ingegneria Aerospaziale Università degli Studi di Napoli "Federico II"	
INDIRIZZO: Via Claudio 31 - Napoli	
NOTE E COMMENTI:	

D.2.2 E1	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOLETTICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE Sperimentale: 3	
TIPOLOGIA DI LAVORO: Misura dell'energia prodotta FINALITA': Misurare l'energia prodotta dal movimento sul dispositivo piezoelettrico in funzione del tempo in relazione alla capacità del condensatore	
CONFIGURAZIONE: Dispositivo piezoelettrico nudo Pressione manuale Capacità del Condensatore $1\mu\text{F}$	
PROCEDIMENTO DI PROVA: Esercitazione di una pressione con il piede eseguita da una persona di 95Kg sul dispositivo nudo cioè solo sul profilo "A" incastrato nel profilo "B" e collegato con l'oscilloscopio. Arco temporale 1 secondo	MISURA CON OSCILLOSCOPIO 
ESECUZIONE DI PROVA: una sola pressione da verificare nell'arco temporale di un secondo peso esercitato 95 kg	GRAFICO DELLA FUNZIONE <div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">MISURA DELL'ENERGIA IN FUNZIONE DEL TEMPO</p>  <p style="text-align: right;">— Segnale Modificato</p> </div>
ESITI RAGGIUNTI: picco massimo energia prodotta 2,39 V durata del rilascio dell'energia 19 centesimi di secondo	
DATA: 7 gennaio 2013	
LUOGO DI PROVA: Laboratorio del Dipartimento d'Ingegneria Aerospaziale Università degli Studi di Napoli "Federico II"	
INDIRIZZO: Via Claudio 31 - Napoli	
NOTE E COMMENTI:	

D.2.2 E2	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOLETTICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE Sperimentale: 3	
TIPOLOGIA DI LAVORO: Misura dell'energia prodotta FINALITA': Misurare l'energia prodotta dal movimento sul dispositivo piezoelettrico in funzione del tempo in relazione alla capacità del condensatore	
CONFIGURAZIONE: Dispositivo piezoelettrico nudo Pressione manuale Capacità del Condensatore $2,2\mu\text{F}$	
PROCEDIMENTO DI PROVA: Esercitazione di una pressione con il piede eseguita da una persona di 95Kg sul dispositivo nudo cioè solo sul profilo "A" incastrato nel profilo "B" e collegato con l'oscilloscopio. Arco temporale totale 1 secondo	MISURA CON OSCILLOSCOPIO 
ESECUZIONE DI PROVA: una sola pressione da verificare nell'arco temporale di un secondo peso esercitato 95 kg	GRAFICO DELLA FUNZIONE 
ESITI RAGGIUNTI: picco massimo energia prodotta 2,52 V durata del rilascio dell'energia 23 centesimi di secondo	
DATA: 7 gennaio 2013	
LUOGO DI PROVA: Laboratorio del Dipartimento d'Ingegneria Aerospaziale Università degli Studi di Napoli "Federico II"	
INDIRIZZO: Via Claudio 31 - Napoli	
NOTE E COMMENTI:	

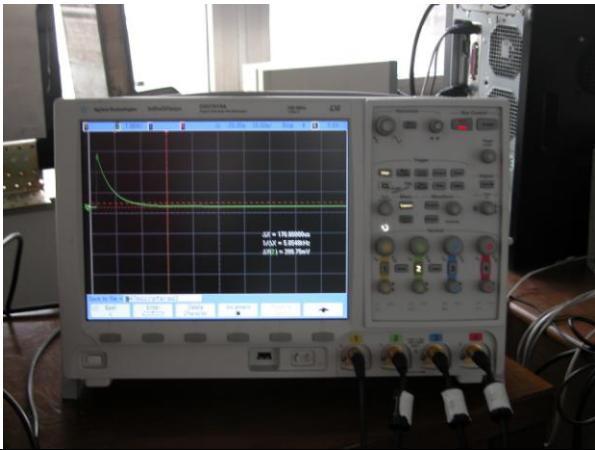
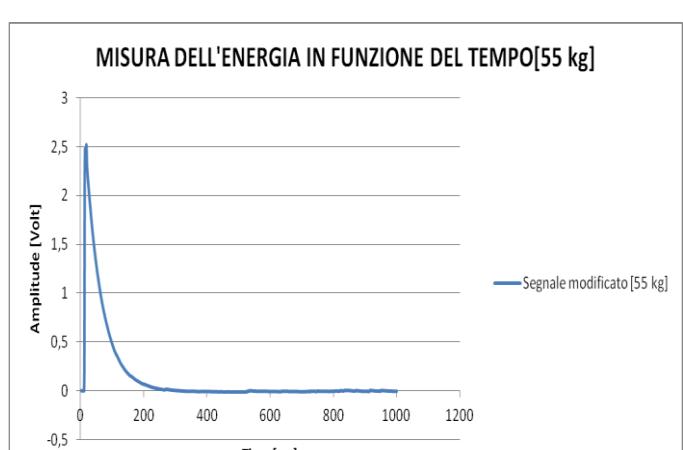
D.2.2 E3	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOLETTTRICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE Sperimentale: 3	
TIPOLOGIA DI LAVORO: Misura dell'energia prodotta	
FINALITA': Misurare l'energia prodotta dal movimento sul dispositivo piezoelettrico in funzione del tempo in relazione alla capacità del condensatore	
CONFIGURAZIONE: Dispositivo piezoelettrico nudo Pressione manuale Capacità del Condensatore $4,7\mu\text{F}$	MISURA CON OSCILLOSCOPIO 
PROCEDIMENTO DI PROVA: Esercitazione di una pressione con il piede eseguita da una persona di 95Kg sul dispositivo nudo cioè solo sul profilo "A" incastrato nel profilo "B" e collegato con l'oscilloscopio. Arco temporale totale 1 secondo	
ESECUZIONE DI PROVA: una sola pressione da verificare nell'arco temporale di un secondo peso esercitato 95 kg	GRAFICO DELLA FUNZIONE 
ESITI RAGGIUNTI: picco massimo energia prodotta 2,54 V durata del rilascio dell'energia 34 centesimi di secondo	
DATA: 10 gennaio 2013	
LUOGO DI PROVA: Laboratorio del Dipartimento d'Ingegneria Aerospaziale Università degli Studi di Napoli "Federico II"	
INDIRIZZO: Via Claudio 31 - Napoli	
NOTE E COMMENTI:	

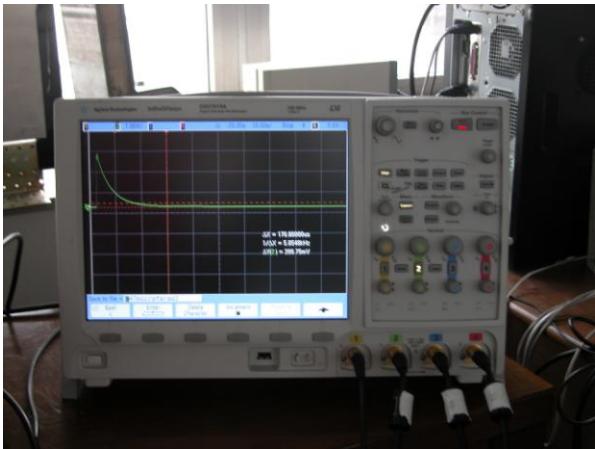
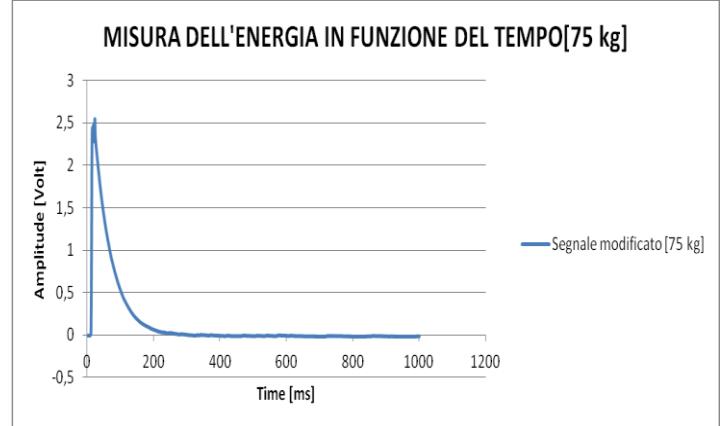
D.2.2 E4	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOLETTTRICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE Sperimentale: 3	
TIPOLOGIA DI LAVORO: Misura dell'energia prodotta FINALITA': Misurare l'energia prodotta dal movimento sul dispositivo piezoelettrico in funzione del tempo in relazione alla capacità del condensatore	
CONFIGURAZIONE: Dispositivo piezoelettrico nudo Pressione manuale Capacità del Condensatore $10 \mu\text{F}$	
PROCEDIMENTO DI PROVA: Esercitazione di una pressione con il piede eseguita da una persona di 95Kg sul dispositivo nudo cioè solo sul profilo "A" incastrato nel profilo "B" e collegato con l'oscilloscopio. Arco temporale totale 1 secondo	MISURA CON OSCILLOSCOPIO 
ESECUZIONE DI PROVA: una sola pressione da verificare nell'arco temporale di un secondo peso esercitato 95 kg	GRAFICO DELLA FUNZIONE 
ESITI RAGGIUNTI: picco massimo energia prodotta 2,56 V durata del rilascio dell'energia 27 centesimi di secondo	
DATA: 10 gennaio 2013	
LUOGO DI PROVA: Laboratorio del Dipartimento d'Ingegneria Aerospaziale Università degli Studi di Napoli "Federico II"	
INDIRIZZO: Via Claudio 31 - Napoli	
NOTE E COMMENTI: dal raffronto tra le quattro prove si evince che con il condensatore con capacità $4,7 \mu\text{F}$ si ottiene il risultato energetico più conveniente in quanto l'energia viene prodotta con un valore medio pari a 2,56 V ma in un arco temporale superiore cioè pari a 0,34 centesimi di secondo e quindi l'area sottesa alla curva della funzione è maggiore e pertanto restituisce un rendimento maggiore	

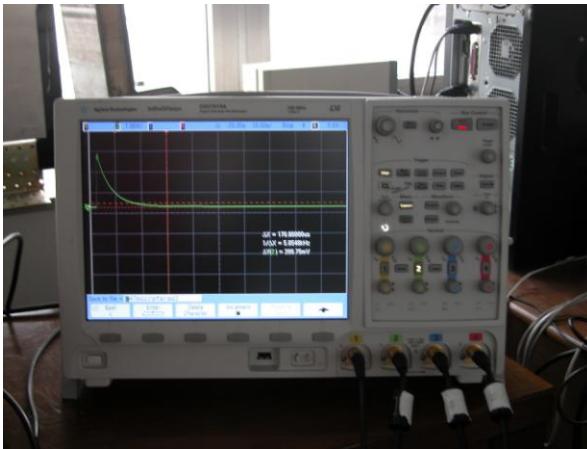
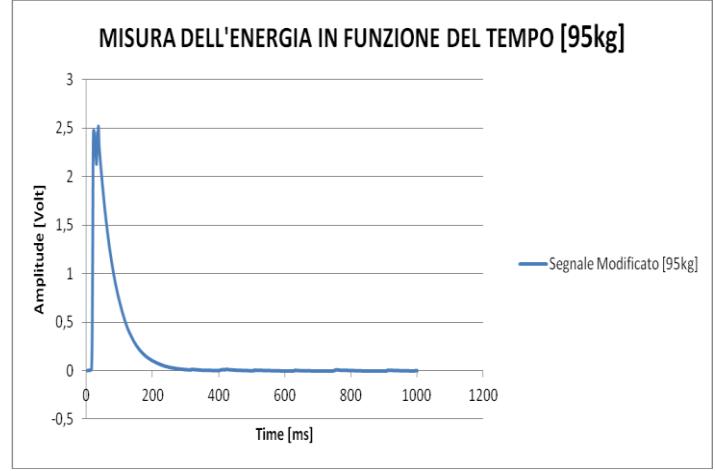
Prove di misura dell'energia prodotta

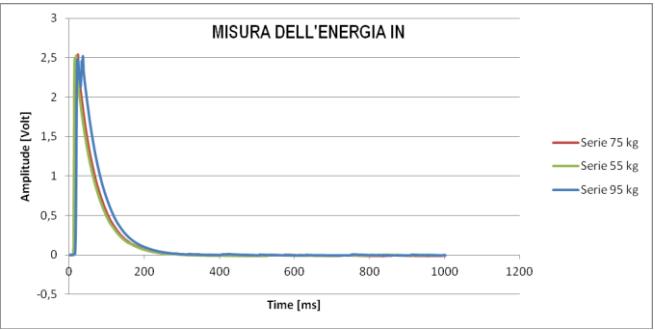
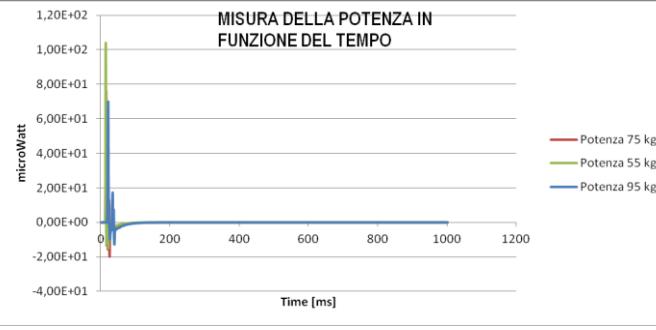
FASE SPERIMENTALE 3

MISURA DELL'ENERGIA PRODOTTA DAL MASSELLO PIEZOELETTRICO

D.2.3 E1 REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOLETTICO PER PAVIMENTAZIONI	
FASE SPERIMENTALE: 3	
TIPOLOGIA DI LAVORO: Misura dell'energia prodotta FINALITA' : Misurare l'energia prodotta dal movimento sul dispositivo piezoelettrico inserito nell'elemento di pavimentazione in funzione del tempo in relazione a carichi ed intensità differenti	
CONFIGURAZIONE: Dispositivo piezoelettrico integrato sotto il massello di calcestruzzo Vibrapac Pressione manuale Capacità del Condensatore 4,7 μ F	MISURA CON OSCILLOSCOPIO 
PROCEDIMENTO DI PROVA: Esercitazione di una pressione con il piede eseguita da una persona di 55 Kg sul dispositivo fissato sotto il massello di calcestruzzo e collegato con l'oscilloscopio. Arco temporale totale 1 secondo	
ESECUZIONE DI PROVA: una sola pressione da verificare nell'arco temporale di un secondo impulso secco peso esercitato 55 kg	GRAFICO DELLA FUNZIONE 
ESITI RAGGIUNTI: picco massimo energia prodotta 2,52 V durata del rilascio dell'energia 18 centesimi di secondo	
DATA: 14 gennaio 2013	
LUOGO DI PROVA: Laboratorio del Dipartimento d'Ingegneria Aerospaziale Università degli Studi di Napoli "Federico II"	
INDIRIZZO: Via Claudio 31 - Napoli	
NOTE E COMMENTI:	

D.2.3 E2	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOLETTICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE Sperimentale: 3	
TIPOLOGIA DI LAVORO: Misura dell'energia prodotta	
FINALITA' : Misurare l'energia prodotta dal movimento sul dispositivo piezoelettrico inserito nell'elemento di pavimentazione in funzione del tempo in relazione a carichi ed intensità differenti	
CONFIGURAZIONE: Dispositivo piezoelettrico integrato sotto il massello di calcestruzzo Vibrapac Pressione manuale Capacità del Condensatore $4,7 \mu\text{F}$	MISURA CON OSCILLOSCOPIO 
PROCEDIMENTO DI PROVA: Esercitazione di una pressione con il piede eseguita da una persona di 75 Kg sul dispositivo fissato sotto il massello di calcestruzzo e collegato con l'oscilloscopio. Arco temporale totale 1 secondo	
ESECUZIONE DI PROVA: una sola pressione da verificare nell'arco temporale di un secondo impulso lento peso esercitato 75 kg	GRAFICO DELLA FUNZIONE 
ESITI RAGGIUNTI: picco massimo energia prodotta 2,54 V durata del rilascio dell'energia 23 centesimi di secondo	
DATA: 14 gennaio 2013	
LUOGO DI PROVA: Laboratorio del Dipartimento d'Ingegneria Aerospaziale Università degli Studi di Napoli "Federico II"	
INDIRIZZO: Via Claudio 31 - Napoli	
NOTE E COMMENTI:	

D.2.3 E3	REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOLETTICO PER PAVIMENTAZIONI
FASE Sperimentale: 3	
TIPOLOGIA DI LAVORO: Misura dell'energia prodotta	
FINALITA' : Misurare l'energia prodotta dal movimento sul dispositivo piezoelettrico inserito nell'elemento di pavimentazione in funzione del tempo in relazione a carichi ed intensità differenti	
CONFIGURAZIONE: Dispositivo piezoelettrico integrato sotto il massello di calcestruzzo Vibrapac Pressione manuale Capacità del Condensatore 4,7 μ F	MISURA CON OSCILLOSCOPIO 
PROCEDIMENTO DI PROVA: Esercitazione di una pressione con il piede eseguita da una persona di 75 Kg sul dispositivo fissato sotto il massello di calcestruzzo e collegato con l'oscilloscopio. Arco temporale totale 1 secondo	
ESECUZIONE DI PROVA: una sola pressione da verificare nell'arco temporale di un secondo impulso lento peso esercitato 95 kg	GRAFICO DELLA FUNZIONE 
ESITI RAGGIUNTI: picco massimo energia prodotta 2,52 V durata del rilascio dell'energia 36 centesimi di secondo	
DATA: 14 gennaio 2013	
LUOGO DI PROVA: Laboratorio del Dipartimento d'Ingegneria Aerospaziale Università degli Studi di Napoli "Federico II"	
INDIRIZZO: Via Claudio 31 - Napoli	
NOTE E COMMENTI:	

D.2.3 REALIZZAZIONE DISPOSITIVO PIEZOLETTICO PER PAVIMENTAZIONI	
FASE SPERIMENTALE: 3	
TIPOLOGIA DI LAVORO: Misura dell'energia prodotta	
FINALITA' : Confronto tra i risultati ottenuti dalla misura con l'oscilloscopio dell'energia prodotta con un condensatore di capacità pari a 4,7 μF	
PROCEDIMENTO: <p>Sovrapposizione delle curve dell'energia in funzione del tempo e del peso del carico:</p> <p>Rispetto a tra carichi differenti con tre andamenti differenti effettuati da tre persone diverse si riscontra che i valori dell'energia subiscono delle oscillazioni minime. Come si vede dal grafico le tre curve sono quasi sovrapponibili anche se a peso maggiore corrisponde comunque una quantità di energia maggiore in un arco temporale più ampio.</p>	
<p>Elaborazione delle curve del lavoro in funzione del tempo:</p> <p>Facendo la derivata delle curve dell'energia in funzione del tempo si sono ottenute le curve del Lavoro misurato in microjoule in funzione del tempo.</p> <p>Anche in questo caso le curve sono molto simili però si riscontra che è l'intensità del passo più che il peso corporeo a migliorare i valori del lavoro, infatti la curva con picco massimo risulta quella della misura fatta con un peso di 75 kg e un andamento più lento</p>	
<p>Elaborazione delle curve della Potenza in funzione del tempo:</p> <p>Attraverso l'equazione: $E=1/2C*V^2$ con i dati ottenuti si sono calcolate le curve della potenza in funzione del tempo e si evince che con un impulso con intensità inferiore si raggiunge una potenza maggiore, ad esempio un salto genera più potenza di un passo. Le curve elaborate evidenziano che si superano i 100 microW con un peso di 55kg, mentre con 75 e 95 kg non si raggiungono gli 80 microwatt.</p>	
DATA: 15 gennaio 2013	
LUOGO DI PROVA: Laboratorio del Dipartimento d'Ingegneria Aerospaziale Università degli Studi di Napoli "Federico II"	
INDIRIZZO: Via Claudio 31 - Napoli	

3.4.3 *Elaborazione dei risultati ottenuti per il calcolo della potenza del dispositivo.*

Dalle prove effettuate presso il laboratorio di Ingegneria Aerospaziale, si evidenzia che:

- il dispositivo è funzionante⁹⁹
- la potenza massima erogata¹⁰⁰ per una pedata è pari a 100microWatt pari a 100^{-6} W.

Non è un valore molto alto ma si deve considerare che il prototipo è stato elaborato per dare risposta a due problematiche: la produzione di energia sfruttando la deformazione dei piezoceramici e l'integrazione in un elemento di pavimentazione per esterni.

Per quanto concerne il problema della produzione di energia si possono applicare alcune migliorie al prototipo:

- il prototipo è stato sperimentato con la diposizione di un elemento piezoelettrico, ma la struttura in acciaio è stata pensata per alloggiare fino a quattro elementi piezoceramici. Con questo s'intende che la produzione di energia si può incrementare di circa l'80%;
- si può migliorare l'aderenza tra acciaio e piezoelettrico con uno strato di resina disposto con strumentazioni meccaniche, che faciliterebbe la deformazione dell'elemento piezoelettrico;
- si può migliorare la flessibilità e l'elasticità con l'impiego di un acciaio nobile;
- Si possono impiegare dei materiali polimerici con migliore risposta elastica alla deformazione.

Per quanto riguarda la problematica dell'integrazione si evidenzia che il prototipo si presenta oggi con una serie di cavi ed elementi elettronici di connessione esterni che sono serviti per le misure di energia, ma la geometria delle lamiere in acciaio è stata pensata per alloggiare i circuiti di modo che dal dispositivo escano semplicemente i due cavi di connessione. La spazio che intercorre, infatti, tra il profilo "A" ed il profilo "B" è abbastanza ampio per alloggiare il un modulo elettronico per l'Energy Harvesting, come

⁹⁹ Risulta possibile, semplicemente calpestandolo, accendere un LED con potenza nominale pari a 2,5 Volt

¹⁰⁰ Dalle misure effettuate dell'energia in funzione del tempo, si è ricavato attraverso la derivata, il lavoro esprimibile in Joule e poi attraverso la funzione dell'energia si è ricavata la potenza in Ws, o meglio in micro watt su microsecondo.

quello prodotto dalla Physic Instrumente proprio per i DuraAct : l'E821¹⁰¹, impiegato per la generazione di energia da oscillazioni. È possibile avere fino a sette ingressi su questo circuito per un buon funzionamento, di cui sei sono in entrata e uno in uscita. Su ogni modulo possono esserci fino a sei collegamenti in input e uno in output, per cui possono essere collegati fino a sei elementi piezoceramici, che immettono energia, e una sorgente luminosa o una batteria di accumulo. Ad esempio è possibile collegare tre masselli che hanno integrato un dispositivo con due piezoelettrici. Un modulo così composto dovrebbe essere in grado di alimentare un batteria da 1,5 Volt (pila) con una potenza pari a 4 milliwatt/s. Inoltre i diversi elementi del dispositivo sono stati assemblati per sovrapposizione, con un massello di calcestruzzo prefabbricato già finito e pertanto il prototipo si presenta con il dispositivo fissato al disotto dell'elemento di pavimentazione. Ma si è valutato che questo dispositivo piezoelettrico, realizzato separatamente dall'elemento di pavimentazione, può essere applicato all'elemento di pavimentazione artificiale durante l'ultima fase di produzione. Il dispositivo può essere posto indifferentemente al di sotto del massello o in una struttura sandwich con due strati di calcestruzzo all'esterno ed il dispositivo all'interno. Inoltre si ritiene che rispetto alla configurazione del prototipo sperimentato, il dispositivo potrebbe essere alloggiato direttamente in una forma di resina polimerica ad alta capacità elastica per essere ulteriormente protetto dall'umidità e dal contatto con i diversi materiali. Questa conformazione migliorerebbe anche la conformazione elastica interna del dispositivo. Gli

¹⁰¹ *Caratteristiche tecniche dell'E821*

- *Spessore: 7 mm;*
- *Forma: rettangolare;*
- *Dimensione: 48X15 mm.;*
- *Fragilità: non specificata;*
- *Resistenza al calore: max 50°C*
- *Generazione di energia piezoelettrica: ha una capacità di immagazzinare fino a cinquecento milliwatt al secondo in entrata e di restituire fino a mille milliwatt al secondo in uscita.*

permetterebbe inoltre di essere fissato direttamente sul fondo del materiale di rivestimento e potrebbe essere impiegato anche con elementi di pietra naturale come i san pietrini. L'invenzione, così migliorata, può essere impiegata nel settore dei materiali da costruzione da impiegare nel recupero delle pavimentazioni pedonali urbane. Costituisce un dispositivo intelligente da applicare ai percorsi pedonali, nelle aree di fruizione collettiva, in grado di sfruttare l'energia cinetica del passo umano e trasformarla in energia elettrica necessaria ad alimentare i sistemi di illuminazione di questi spazi urbani.

Bibliografia

Amoroso F., Pecora R., Ferraro S., Lecce L.K.A., *Design and testing of piezoelectric energy harvesting system from vibrations for wireless sensors*, 2009, University of Naples "Federico II", Italy

Erturk A. and Inman D.J., *An experimentally validated bimorph cantilever model for piezoelectric energy harvesting from base excitations*, in Smart Materials And Structure, n.18, 2009, pp1-18

Erturk A., Inman D. J., *A Distributed Parameter Electromechanical Model for Cantilevered Piezoelectric Energy Harvesters*, in Journal of Vibration and Acoustics, n 130, 2008 p 1-15

Guigon R., Chaillout J-J., Jager T., Despesse G. *Harvesting raindrop energy: experimental study*, in Smart Materials and Structures, n 17, 2008, p.1-8 sez 36

Guan M. J. and LiaoW. H., *On the efficiencies of piezoelectric energy harvesting circuits towards storage device voltages*, in Smart Materials and Structures, n 16, 2007, p.498-505

Petronea N., Masina F., Sacchib D., *Soluzione analitica di piastre circolari soggette a flessione simmetrica, antimetrica e torsione combinate*, Associazione Italiana per l'Analisi delle Sollecitazioni XXXIV Convegno Nazionale — 14–17 settembre 2005, Politecnico di Milano.

P. Wierach, H. P. Monner, A. Schönecke, J. K. Dürr, *Application Specific Design of Adaptive Structures with Piezoceramic Patch Actuators*, Vienna Conference 2005

Face International Corporation, *Thunder With Paper*, Norfolk, 2001

AAVV,(1999), *Manuale di Progettazione edilizia, Fondamenti, strumenti e norme. Volume 1, Tipologie e criteri di dimensionamento*, Hoepli, Milano

AAVV,(1999), *Manuale di Progettazione edilizia, Fondamenti, strumenti e norme.*
Volume 5, *Materiali e prodotti*, Hoepli, Milano

Normativa UNI

Norma UNI 1338:2004 Masselli di calcestruzzo per pavimentazioni. Requisiti e metodi di Prova .

Schede tecniche prodotti

Massello Consolare antica, Vibrapac

DuraAct, trasduttore piezoceramico, Physic Instrumente

Resina Poliuretanica, PROCHIMA

SITI WEB (data di consultazione ultima: gennaio 2013)

<http://www.physikinstrumente.com/en/index.php>

<http://www.vertebra.com/home.html>

<http://www.prochima.it>

www.istec.cnr.it

www.vibrapac.it

CAPITOLO IV

APPLICAZIONE DEL DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO PER IL RECUPERO DEGLI SPAZI APERTI DI FRUIZIONE COLLETTIVA

4.1 Individuazione del caso studio

La determinazione dell'assetto formale e funzionale di un dispositivo prototipale piezoelettrico, integrato con un massello di calcestruzzo prefabbricato, per la produzione di energia dal passaggio delle persone, essendo frutto di un'idea originale, ai fini di valutarne l'innovatività e l'impiegabilità nel campo del recupero edilizio dei percorsi pedonali degli spazi aperti di fruizione collettiva, impone una simulazione di un'applicazione su un caso pilota.

Per l'individuazione del caso pilota¹⁰² si sono analizzati alcuni siti che, in relazione alle loro variabili morfologiche, dimensionali ed ambientali, potessero risultare adatti all'applicazione del sistema, considerando i vincoli all'integrabilità tecnologica derivanti da aspetti ambientali, sociali economici e finanziari, individuati nel corso di questa ricerca e le istanze di:

- *interagibilità del percorso*, intesa come la capacità di interazione tra l'affluenza del flusso pedonale e lo spazio nel quale questo flusso si muove;
- *fruibilità del percorso*, intesa come la capacità di garantire la percorribilità dello spazio individuato in termini di sicurezza, confort e benessere da parte di un flusso pedonale;
- *integrabilità* intesa come la capacità della pavimentazione di relazionarsi con il sottosistema esistente e l'ambiente circostante, nel rispetto dei suoi valori storici, artistici, sociali ed ambientali;

¹⁰² Viola S., (2004), *Innovazione e recupero edilizio. Il Cantiere verticale*, Luciano ed, Napoli
Dottoranda Arch. Maria Cristina Majello
Tutors Prof.ssa Arch. Gabriella Caterina
Prof.ssa Arch. Serena Viola

- *risparmio energetico*, inteso come la capacità della pavimentazione di produrre una quantità di energia che possa servire per diminuire i consumi energetici del luogo con il quale si relaziona.

Partendo da questi presupposti, si sono analizzate diverse aree pedonali ricadenti nell'area del centro storico di Napoli, indagando su caratteristiche morfologiche, dimensionali ed ambientali dei percorsi, e sul sistema d'illuminazione, considerando come indispensabile la possibilità di monitorare e fare previsioni sul flusso delle persone. Da questa prima constatazione, derivante dalla necessità di monitorare il flusso delle persone, emerge la necessità di dover disporre di informazioni che forniscano dati rilevati da sistemi informatici oltre che da una campagna di monitoraggio in loco. Questa considerazione ha portato ad individuare, nei varchi d'accesso delle stazioni della mobilità su ferro, ricadenti nell'area del centro storico di Napoli, i siti più idonei, dove effettuare una campagna dati per individuare il sito pilota dove ipotizzare di applicare una pavimentazione piezoelettrica e valutare il rendimento energetico in relazione ai vincoli all'integrabilità tecnologica derivanti da aspetti economici.

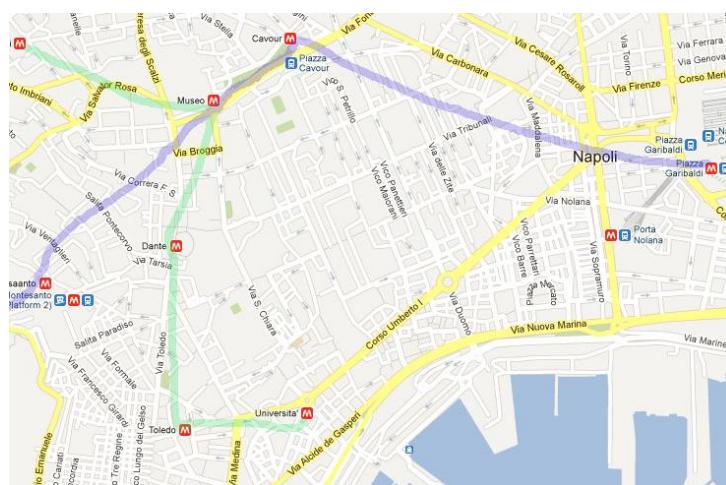
L'analisi delle stazioni della mobilità su ferro, ricadenti nell'area del centro storico della città di Napoli, è stata effettuata attraverso la disamina di dati sui flussi degli utenti e dei treni e le caratteristiche fisiche e morfologiche dei loro varchi di accesso. La campagna dati è stata svolta attraverso la consultazione dei siti internet¹⁰³ dei gestori della mobilità su ferro di Napoli e Provincia, dai quali si sono potuti reperire i dati in merito alla frequenza dei treni e dei passeggeri, ed in alcuni casi dei passeggeri per stazione. A questa indagine ha fatto seguito una campagna dati sui diversi siti che ha permesso da una parte di

¹⁰³ I siti internet consultati per reperire i dati sulla frequenza dei treni e dei viaggiatori sono www.trenitalia.com, www.metronapoli.it, www.sepsa.it, che coprono tutto il sistema di controllo della mobilità su ferro su Napoli e Provincia. Questi dati, non sempre divisi per stazioni, sono stati poi verificati attraverso una campagna dati svolta nelle stazioni delle metropolitane osservando il traffico pedonale e chiedendo informazioni al personale di controllo autorizzato.

verificare, grazie alla collaborazione degli addetti ai controlli delle stazioni, i dati reperiti sul flusso degli utenti, e dall'altra di individuare le caratteristiche fisiche e morfologiche degli accessi caratterizzati da barriere fisiche - come marciapiedi, transenne, muri, dissuasori, cancelli ad apertura automatica, tornelli per il controllo dei biglietti - indicazioni visive – come segnaletica a terra, cambio di pavimentazione – e aspetti morfologici legati alle dimensioni. Da questa prima analisi si è giunti, al fine di definire un sito dove verificare un'ipotesi applicativa, all'individuazione di varchi di accesso delimitati e circoscritti dove è possibile ipotizzare e verificare l'effettivo passaggio degli utenti.

4.1.1 Interagibilità e fruibilità degli accessi delle stazioni della mobilità su ferro ricadenti nel centro storico di Napoli.

Le stazioni analizzate sono: la stazione Centrale dei treni di piazza Garibaldi¹⁰⁴, la stazione della metropolitana di Montesanto, la stazione della Cumana di Montesanto, la stazione della metropolitana di piazza Dante, la stazione della metropolitana Museo, la stazione della metropolitana Toledo, la stazione metropolitana Università ed la stazione della funicolare di Montesanto.



Stazioni mobilità su ferro nel centro storico di Napoli

¹⁰⁴ La stazione di Napoli Centrale insiste ai margini del centro storico della città, la si è voluta considerare comunque, per fare un raffronto tra il numero dei viaggiatori molto elevato perché non serve solo un servizio metropolitano e provinciale, in relazione a spazi ampi e dispersivi che non permettono l'individuazione di percorsi e quindi di luoghi adatti all'installazione di pavimentazioni piezoelettriche.

Stazione dei treni Napoli Centrale

La stazione Centrale dei treni di piazza Garibaldi registra circa 137.000 persone al giorno, è caratterizzata da un'ampia superficie di percorrenza e uno spazio di accesso molto ampio che fornisce numerose possibilità direzionali al fine di favorire l'accessibilità e anche l'attesa attraverso attività commerciali di diversa natura. Un'area così ampia non permette d'individuare uno spazio circoscritto dove poter costruire un'ipotesi di simulazione applicativa, ai fini sperimentali, di verifica del rendimento energetico del dispositivo in funzione del flusso degli utenti.



Stazione Napoli Centrale

Stazione metropolitana linea 2 Montesanto

La stazione della metropolitana di Montesanto registra circa 70.000 viaggiatori al giorno, ed è dotata di un varco d'ingresso e uno di uscita attraverso il quale passano tutti i passeggeri che usufruiscono del servizio di mobilità su ferro offerto dall'infrastruttura.

I varchi di accesso alla stazione sono preceduti da uno spazio di circa 25 m^2 per ciascuno, per un totale di circa 50 m^2 , posti su un gradino rialzato di circa 15 cm e coperti da una pensilina appoggiate al corpo di fabbrica e a pilastri che invitano all'ingresso ed all'uscita attraverso due cancelli aperti soltanto nelle ore di funzionamento del servizio dei treni. Per giungere ai varchi di accesso si attraversa l'area pedonale di piazzetta Olivella.



Stazione Metropolitana Montesanto

Stazione Montesanto linea Cumana

La stazione della Cumana di Montesanto registra circa 60.000 viaggiatori al giorno.

L'accesso è caratterizzato da un unico varco di ingresso e di uscita, diviso da sette aperture, che insiste su di un'area coperta di circa 400 m². Questo spazio di 400 m², interno alla stazione della Cumana serve, inoltre, anche l'ingresso della stazione della Funicolare di Montesanto ed alcune attività commerciali disposte all'interno di esso.

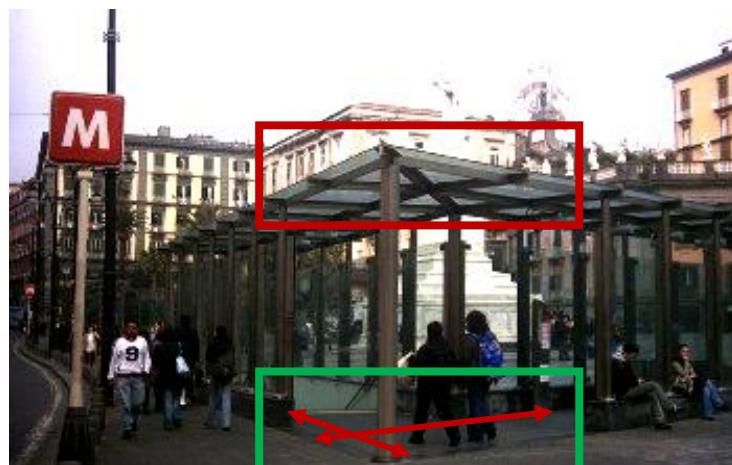


Stazione Cumana di Montesanto

Stazione metropolitana Dante linea 1

La stazione della metropolitana di piazza Dante registra circa 35.000 viaggiatori al giorno nei giorni feriali e 15.000 nei giorni festivi. È dotata di tre varchi di accesso e di uscita su

piazza Dante. Gli accessi, che insistono sulla piazza, sono caratterizzati da uno spazio di smonto e di invito alle scale che porta giù alla stazione, che misura circa 25 m^2 ognuno per un totale di circa 75 m^2 . Questo spazio è delimitato fisicamente da un gradino a circa 10 cm dal piano di calpestio pedonale della piazza ed è caratterizzato da una struttura di copertura in acciaio e vetro che definisce la percorrenza dell'intera scala per accedere al sottostante servizio metropolitano.



Piazza Dante: ingresso stazione metropolitana

Stazione metropolitana Museo-Cavour linea 1 e 2

La stazione della metropolitana Museo-Cavour, che insiste su piazza Cavour, registra all'incirca 40.000 viaggiatori al giorno nei giorni feriali e 18.000 nei giorni festivi. La stazione è un nodo d'interscambio tra la linea 1 e la linea 2 ed è dotata di quattro varchi separati che prevedono sia l'ingresso che l'uscita. Questi varchi sono caratterizzati da un'area di smonto e di invito alle scale di accesso al servizio metropolitano, che misura circa 20 m^2 ciascuno per un totale di circa 80 m^2 .

Ciascuna area di smonto delle scale è delimitata da muri laterali che definiscono un volume chiuso, insieme alla copertura, lasciando aperto il solo varco di accesso che alloggia i cancelli che vengono aperti durante le ore di funzionamento del servizio metropolitano. Questo spazio è caratterizzato da un gradino alto circa 10 cm rispetto l'area pedonale definita dal marciapiede e dalla piazza.



Stazione Museo piazza Cavour

Stazione metropolitana Toledo linea 1

La stazione della metropolitana Toledo, aperta nel settembre 2012, e non ancora ultimata, è una delle recenti stazioni del servizio metropolitano della linea 1. Questa stazione registra ancora, proprio per la sua recente apertura, un numero di viaggiatori incerto che si aggira intorno 10.000 al giorno, anche se nel periodo natalizio si è registrata un'affluenza fino a 20.000 viaggiatori al giorno, ma questo non può essere considerato un dato costante ai fini della sperimentazione.



Via Toledo uscita stazione metropolitana periodo natalizio

La stazione è dotata di due varchi di accesso su via Toledo, e per agosto 2013 dovrebbe essere ultimato un terzo all'interno dei quartieri spagnoli. Questi accessi sono caratterizzati dallo smonto delle scale che danno direttamente sull'area pedonale di via Toledo, senza alcun diaframma intermedio come abbiamo invece riscontrato nelle stazioni metropolitane

precedenti (Montesanto, Dante, Museo-Cavour) così che gli utenti, una volta raggiunta via Toledo, sono invitati a defluire liberamente nello spazio pedonale della città.

Stazione metropolitana Università linea 1

La stazione della metropolitana Università, anche questa di recente apertura, insiste con tre varchi di accesso su piazza Bovio. Questa stazione registra circa 16.000 viaggiatori al giorno nei giorni feriali e 7.000 nei giorni festivi.

Anche in questo caso i varchi sono caratterizzati dallo smonto delle scale di accesso, che danno direttamente su un'area pedonale che si apre verso la piazza e la strada, senza alcun diaframma che sottolinei uno spazio di mediazione tra la città ed il servizio metropolitano che si sviluppa sotto la città. Risulta pertanto difficile individuare un'area sulla quale ipotizzare di testare una simulazione progettuale di pavimentazione piezoelettrica.



Piazza Bovio uscita stazione metropolitana

Stazione funicolare Montesanto linea 4

La stazione della funicolare di Montesanto registra una frequenza di circa 7.000 passeggeri al giorno, che rappresenta un valore molto basso se paragonato agli esempi sopra riportati. Inoltre essendo limitrofa alla stazione della Cumana condivide con essa l'ingresso comune. È dotata invece di un'uscita indipendente. Il varco di uscita è delimitato dal muro di

confine con l'edificio della Cumana e da un parete vetrata appartenente al corpo di fabbrica dell'edificio della funicolare, definendo uno spazio chiuso di circa 15 m².



Uscita Stazione Funicolare Montesanto

4.1.2 Integrabilità della pavimentazione piezoelettrica nei varchi di accesso delle stazioni della mobilità su ferro ricadenti nel centro storico di Napoli.

Dal raffronto di questi dati, si è riscontrato, che per poter elaborare un ipotesi di percorso piezoelettrico, risultano più idonee gli accessi di piccola dimensione, dove convergono grandi affluenze, piuttosto che varchi di accesso multipli o dispersivi, anche se in grado di supportare maggiori affluenze.

Si sono quindi individuate, ai fini di ipotizzare una simulazione progettuale di pavimentazione piezoelettrica, alcune caratteristiche che le aree da prendere in considerazione come caso pilota devono avere:

- preferibilmente un unico senso di marcia, per evitare intoppi nella fluidità del percorso;
- una larghezza minima di 1,5 metri per consentire il passaggio di due persone contemporaneamente e una massima di 5 metri per consentire il passaggio di sette persone contemporaneamente;
- una lunghezza minima di 5 metri necessari a sviluppare circa sette passi di un uomo medio, e circa otto di una donna, ed una lunghezza massima di 10 metri.

Si sono quindi selezionate tra le stazioni della mobilità su ferro ricadenti nel centro storico di Napoli analizzate nel precedente paragrafo, quelle che presentano varchi di accesso in cui è possibile verificare un flusso di utenze in base alle affluenze della stazione, che sia almeno superiore ai 10.000 passeggeri al giorno. Le stazioni individuate sono quelle della metropolitana di Montesanto, Dante e Museo. Come si evidenzia nella seguente tabella di sintesi dei dati relativi alle stazioni analizzate, la Stazione della Metropolitana Montesanto è quella che registra il maggior numero di utenti per m^2 , con un netto distacco da tutte le altre stazioni. A seguire, con la registrazione di circa un terzo degli utenti per m^2 la Stazione della metropolitana Museo e Dante.

STAZIONE	SERVIZIO EROGATO	LUOGO DI ACCESSO	AREA ACCESSO	n. utenti al giorno	n. utenti per m^2
Centrale	treni nazionali metropolitana circumvesuviana	Piazza Garibaldi	1000 m^2	137.000	137 utenti/g per ogni m^2
Montesanto	treni regionali metropolitana linea 2	P.tta Olivella	44 m^2	70.000	1590 utenti/g per ogni m^2
Cumana Montesanto	Circumflegrea linea 4 Cumana	P.tta Montesanto	400 m^2	60.000	150 utenti/g per ogni m^2
Dante	Metropolitana linea 1	Piazza Dante	75 m^2	35.000	466 utenti/g per ogni m^2
Museo	Metropolitana linea 1 Metropolitana linea 2	Piazza Cavour	80 m^2	40.000	500 utenti/g per ogni m^2
Toledo	Metropolitana linea 1	Via Toledo	-	10.000	-
Università	Metropolitana linea 1	Piazza Borsa	-	16.000	-
Funicolare Montesanto	Funicolare linea 6	P.tta Montesanto	15 m^2	7.000	47 utenti/g per ogni m^2

Da questa selezione si è passati a considerare la possibilità d'integrare una pavimentazioni piezoelettrica, in un'ottica di tutela e valorizzazione dei caratteri di identità rispetto alla configurazione morfologica e dimensionale, al lessico costruttivo che connota lo spazio

urbano e al ruolo dell'integrazione con il tessuto insediativo esistente. L'analisi di queste tre stazioni è stata svolta attraverso una lettura del luogo che mettesse in luce le pavimentazioni presenti, in termini di materiali, dimensioni, tessitura, cromie e posa in opera, valutando la possibilità d'integrare una pavimentazione per esterni di dimensioni 10/12 cm assimilabile al prototipo elaborato nel corso di questa ricerca, considerando la possibilità di impiegare un massello di calcestruzzo così come nel prototipo o di utilizzare il dispositivo piezoelettrico sotto una pietra naturale come un cubetto di profondo¹⁰⁵.

Nell'ambito urbano del centro storico napoletano si riscontra principalmente la presenza di basoli e san pietrini. Il *basolato* lavico, è una tecnica adottata a partire dall'Ottocento in Campania ed in Sicilia che utilizza come materiale principale lastre laviche chiamate appunto basoli. Le lastre hanno forma rettangolare o quadrata di spessore compreso tra i venti e gli ottanta millimetri¹⁰⁶, con le due facce principali nominalmente parallele, le cui dimensioni sono comprese tra i venticinque e gli ottanta centimetri. Alla superficie della lastra si può conferire una finitura bocciardata che migliora la capacità di antisdruciolevole del materiale. Il sottofondo della pavimentazione può essere costituito da una massicciata in pietrisco, ghiaia e malta bastarda oppure da un getto di calcestruzzo di cemento. La posa in opera viene generalmente realizzata con una disposizione dei corsi rispetto all'asse della strada ortogonale o obliqua. Fondazione in terra stabilizzata, con interposizione di letto di sabbia o malta, con spesso re del letto di sabbia pari a 8-10 cm su terra. Posa in opera in guisa con i corsi ben allineati e superficie ben piana: dopo due o tre

¹⁰⁵ Per valutare l'integrabilità del dispositivo piezoelettrico sotto gli elementi di pavimentazione si è esaminata la flessibilità dell'elemento tecnico, ossia la disponibilità, in relazione al contesto di riferimento, alle variazioni di materiale e di giunti di collegamento, lasciando invariate le caratteristiche dimensionali, cromatiche e formali.

¹⁰⁶ Lo spessore viene valutato in funzione dei carichi previsti: pedonale, veicolare leggero e pesante. Torricelli C., (2003) *Materiali e Tecnologie dell'Architettura*, Laterza, Roma, pag.320

Dottoranda Arch. Maria Cristina Majello
Tutors Prof.ssa Arch. Gabriella Caterina
Prof.ssa Arch. Serena Viola

settimane eliminazione delle irregolarità e sigillatura dei giunti, previamente scarniti per profondità di 3 cm, mediante mastice bituminoso¹⁰⁷.



Pavimentazione basoli piazza Dante Napoli

Questo materiale presenta una elevata resistenza ai carichi dinamici e statici e agli agenti atmosferici e, di conseguenza, minor costi di manutenzione anche se però non è sempre verificato il comfort di moto a causa delle irregolarità dei basoli.

I *san pietrini* definiscono un tipo di pavimentazione formato da cubetti (o blocchetti detti anche masselli¹⁰⁸) di piccole dimensioni, dell'ordine di una decina di centimetri.



Pavimentazione san pietrini piazzetta Olivella Napoli

Con questo termine si intende un preciso taglio di blocchetti di porfido utilizzato per la realizzazione del lastricato stradale di uso comune, il cui pregio principale è quello di “lasciar respirare il terreno” attraverso gli spazi interposti tra un elemento e l’altro. Si

¹⁰⁷ Marenga B.,(2003) *Lo spazio pedonale, indicazioni di metodo per il controllo di qualità degli spazi urbani pedonali.*, Luciano Editore, Napoli

¹⁰⁸ Torricelli C., op. cit., pag. 317

adatta facilmente alle irregolarità del terreno ed è un molto resistente. Presenta, una superficie non regolare che ha bisogno di una costante manutenzione e, se bagnato, può diventare scivoloso e rappresentare un pericolo per l'utenza.

Le stazioni delle metropolitane individuate presentano in tutti e tre i casi uno spazio di accesso delimitato da un gradino di 15 cm, che definisce un salto di quota rispetto l'area pedonale circostante, a cui corrisponde un cambio di pavimentazione che si può presentare cambio di materiali, cromie differenti, tecniche di finitura differenti che restituiscono altrettanti giochi cromatici.

Stazione metropolitana MONTESANTO

I varchi di accesso alla stazione sono caratterizzati da una pavimentazione in lastre di basalto

Dimensioni dei basoli: 40cm per 40 cm e 60 cm per 40 cm

Tessitura della pavimentazione: a correre con riquadri con lastre di uguali dimensioni non bozziate

Cromia: grigio;

Posa in opera su letto di sabbia a secco



Lo spazio antistante i varchi di accesso alla stazione è caratterizzato da una pavimentazione in porfido tagliato a cubetti: san pietrini.

Dimensioni dei cubetti : 12cm per 12 cm.

Tessitura della pavimentazione: ad archi contrastanti.

Cromia: tra il grigio ed il marrone.

Posa in opera: su letto di sabbia a secco nelle aree pedonali e cementati tra di loro con il catrame nelle aree dove arrivano motorini ed autovetture.



Stazione metropolitana DANTE

I varchi di accesso alla stazione sono caratterizzati da una pavimentazione in lastre di basalto

Dimensioni dei basoli: 40cm per 40 cm e 60 cm per 40 cm

Tessitura della pavimentazione: a correre con riquadri con lastre di uguali dimensioni non bocciardate

Cromia: grigio;

Posa in opera su letto di sabbia a secco



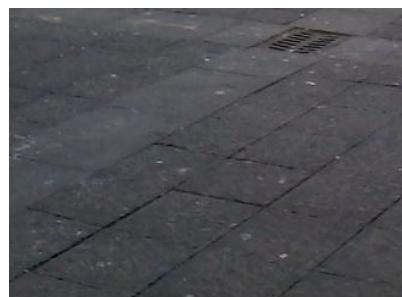
Lo spazio, antistante i varchi di accesso alla stazione è caratterizzato da un pavimentazione con pietra lavica tagliata a lastre (basoli), bocciardata e sagomata con diverse grane proprio a sottolineare l'ingresso.

Dimensioni dei basoli: 40cm per 40 cm e 60 cm per 40 cm.

Tessitura della pavimentazione: a correre con riquadri con lastre di uguali dimensioni non bocciardate.

Cromia: grigio

Posa in opera su letto di sabbia a secco.



Stazione metropolitana MUSEO

I varchi di accesso alla stazione sono caratterizzati da una pavimentazione in lastre di basalto

Dimensioni dei basoli: 40cm per 40 cm

Tessitura della pavimentazione: a correre con riquadri con lastre di uguali dimensioni non bocciardate

Cromia: grigio chiaro

Posa in opera su letto di sabbia a secco



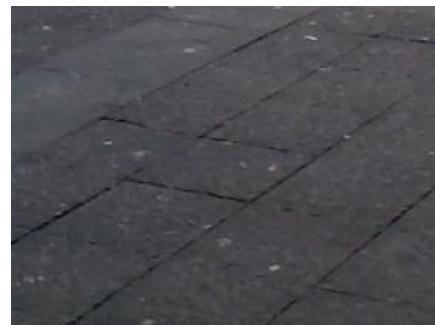
Lo spazio, antistante i varchi di accesso alla stazione è caratterizzato da un pavimentazione con pietra lavica tagliata a lastre (basoli), bocciardata e sagomata con diverse grane proprio a sottolineare l'ingresso.

Dimensioni dei basoli: 40cm per 40 cm e 60 cm per 40 cm.

Tessitura della pavimentazione: a correre con riquadri con lastre di uguali dimensioni non bocciardate.

Cromia: grigio scuro

Posa in opera su letto di sabbia a secco.



Dal raffronto delle pavimentazioni dei varchi di accesso delle stazioni metropolitane di Montesanto, Dante e Museo-Cavour, si evidenzia che solo nel caso della stazione di Montesanto, le dimensioni degli elementi di finitura della piazza, realizzata in cubetti di porfido, sono tali da permettere l'integrazione del dispositivo piezoelettrico. Il dispositivo prototipale, prevede infatti l'integrazione di un componente piezoelettrico al di sotto di un elemento di pavimentazione, che abbia dimensioni comprese tra 10 per 10 cm e 30 per 30 cm, pertanto i basoli sono troppo grandi e non permettono questa integrazione, a meno che non si preveda un progetto di sostituzione della pavimentazione esistente per rimarcare una delimitazione percettiva dello spazio dei varchi di accesso. La sostituzione dei basoli in corrispondenza degli accessi alla stazione con san pietrini o masselli in calcestruzzo che rispettino la cromia del luogo, rappresenterebbero un discorso di continuità tra piazza e ingresso alla metropolitana in un ottica di conservazione e valorizzazione dei caratteri di identità rispetto alla configurazione morfologica e dimensionale, e al lessico costruttivo che connota lo spazio urbano di piazzetta Olivella. Si è pertanto individuato in questa stazione e nei suoi spazi antistanti i varchi di accesso il sito più idoneo ad accogliere la

simulazione dell'applicazione di una pavimentazione che integri il dispositivo piezoelettrico elaborato.

4.2 Analisi del sito pilota: la stazione della metropolitana di Montesanto a Napoli.

La potenza ottenuta dalle prove di misura effettuate sul dispositivo piezoelettrico in laboratorio mostrano un rendimento pari a 100^{-6} W, per comprendere l'entità di questo valore risulta opportuno fare un'ipotesi di simulazione di un percorso pedonale in cui i dati da conoscere sono:

- la lunghezza e la larghezza della percorrenza;
- il numero degli elementi di pavimentazione piezoelettrica;
- i consumi energetici del luogo che si vogliono ridurre;
- il flusso delle persone in funzione del tempo.

4.2.1 Caratteristiche fisiche e morfologiche del sito.

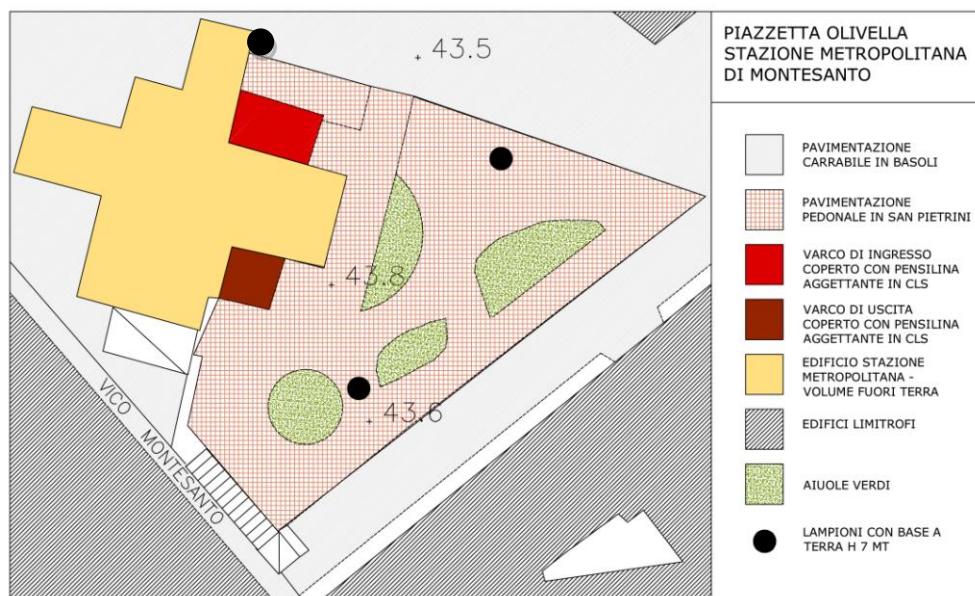
La stazione della linea 2 metropolitana di Montesanto ha rappresentato per lungo tempo una delle porte di accesso al centro storico di Napoli. Le azioni di ampliamento del circuito metropolitano, e lo sviluppo delle stazioni dell'Arte¹⁰⁹, non hanno previsto un recupero ed un adeguamento funzionale di questa stazione, che, pur essendo uno scalo principalmente per treni metropolitani, assurge ora, da circa dieci anni, anche un ruolo di interscambio per i treni regionali diretti a Villa Literno e Formia nonché per alcuni treni diretti a Salerno.

Inoltre la posizione strategica di piazzetta Olivella la mette in comunicazione con le ferrovie della SEPSA: ferrovia Cumana e ferrovia Circumflegrea e con la funicolare di

¹⁰⁹ Le Stazioni dell'Arte nascono da un progetto promosso dall'amministrazione comunale per rendere i luoghi della mobilità più attraenti e offrire a tutti la possibilità di un incontro con l'arte contemporanea. Gli spazi interni ed esterni delle stazioni hanno accolto, con il coordinamento artistico di Achille Bonito Oliva, oltre 180 opere di 90 tra i più prestigiosi autori contemporanei, costituendo uno degli esempi più interessanti di museo decentrato e distribuito sull'intera area urbana, un museo che non è spazio chiuso, luogo di concentrazione delle opere d'arte, ma percorso espositivo aperto, per una fruizione dinamica del manufatto artistico. La realizzazione delle stesse stazioni, affidata ad architetti di fama internazionale ha rappresentato un momento di forte riqualificazione di vaste aree del tessuto urbano.

Montesanto. Rappresenta quindi un nodo per la città, la Provincia di Napoli e la Regione Campania. Proprio per questo suo ruolo raggiunge un livello di frequentazione elevato che la rende un interessante sito per verificare l'applicabilità di una pavimentazione piezoelettrica.

Piazzetta Olivella, che ospita la stazione metropolitana di Montesanto, è caratterizzata da una forma irregolare in cui le quinte degli edifici sono margini per le strade. La piazza pedonale, che costituisce un unico elemento con la stazione della metropolitana, ha anche essa forma irregolare. Sono presenti panchine, aiuole, bancarelle che fanno sottendere a una volontà di ricerca d'intrattenimento nella piazza, che però non si verifica, a causa dei flussi concentrati di persone, che escono dalla stazione metropolitana e si dirigono verso piazza Montesanto per usufruire degli altri mezzi pubblici, della zona del mercato di Montesanto o per accedere al centro storico.



Planimetria piazzetta Olivella

Piazzetta Olivella definisce un'area pedonale posta ad un dislivello di circa 15 cm dalla strada carrabile, che è caratterizzata da una pavimentazione in basoli antichi. L'area pedonale, intervallata da aiuole verdi, è pavimentata con san pietrini di dimensioni 10cm

per 10cm, disposti ad archi contrastanti, con cromia tra il grigio ed il marrone. I san pietrini sono posti in opera su un sottofondo sabbioso a secco, che favorisce la traspirazione del terreno attraverso gli spazi interposti tra un elemento e l'altro. Questo tipo di pavimentazione necessita di una costante manutenzione, che però risulta facilitata da semplici operazioni di riassetto dello strato di sottofondo, e riposizionamento o sostituzione degli elementi. Solo in alcuni punti della piazza, quelli soggetti anche a traffico veicolare, si vedono i san pietrini cementati tra loro con del catrame, per garantire il confort di una superficie regolare; in questo caso la traspirazione del terreno è compromessa.



P.tta Olivella con individuazione dei tre lampioni e dei due accessi

Da quest'area pedonale si raggiungono i due varchi di accesso alla stazione di Montesanto, uno in ingresso che misura 7m di profondità per 4m di larghezza, e uno in uscita che misura 4m di profondità per 4m di larghezza. Entrambi i due varchi sono caratterizzati da una copertura aggettante facente parte del volume della stazione. Questi spazi di accesso, come è stato già evidenziato nell'analisi delle stazioni, sono caratterizzati da un gradino alto circa 15 cm dal piano pedonale della piazza, rivestito di basoli.

Si è valutato, in relazione al tipo di elemento di finitura presente nella piazza, di poter disporre la pavimentazione piezoelettrica in corrispondenza di queste due aree di accesso semicoperte, dove è possibile controllare il flusso degli utenti, in quanto è un percorso obbligato e stimare delle previsioni di rendimento energetico. La presenza delle pensiline aggettanti, che segnano l'ingresso e l'uscita, fornisce un riparo ulteriore per la pavimentazione dagli agenti atmosferici diretti, quali pioggia grandine, sole, etc..

La pavimentazione che si ipotizza di impiegare è caratterizzata da un rivestimento in cubetti di profido, della dimensione 12,5 cm per 12,5 cm, sotto i quali è integrato il dispositivo piezoelettrico, con posa in opera a secco favorendo una combinazione di elementi facilmente smontabili, ispezionabili e sostituibili, ed altre possibili azioni di manutenzione, sulle diverse parti dell'elemento tecnico.

La pavimentazione in cubetti di porfido rispetta i vincoli derivanti da caratteri morfologici dell'unità ambientale esterna definita dalla pavimentazione in cubetti di porfido di piazzetta olivella e da un sistema edilizio privo di una forte identità. Inoltre questo tipo di pavimentazione rispetta i vincoli derivanti da impatti visivi in relazione a dimensioni, tessiture e cromie, rispettando i valori storico, sociali, cultuali del sistema tecnologico pavimentazione esistente e dell'unità ambientale esterna nel quale s'inserisce; ed essendo un sistema già impiegato rispetta i vincoli derivanti dalla fruibilità da parte degli utenti nel rispetto dell'attitudine e della capacità delle pavimentazioni piezoelettriche ad essere adeguatamente utilizzate dagli utenti che entrano ed escono dalla stazione metropolitana al fine di produrre.

4.2.2 *Consumi energetici di piazzetta Olivella.*

Definita l'area d'intervento si è passati ad indagare il sistema d'illuminazione della piazza, inteso come parametro di riferimento per valutare il risparmio dei consumi energetici. Il

sistema d'illuminazione della piazza è affidato a tre lanterne su pali alti circa 7m con lampade a consumo energetico 150W¹¹⁰. Da questi dati è stato possibile ricavare il consumo giornaliero che dovrebbe essere di circa 2.100W e il consumo annuo di circa 766.500W. La distanza tra una sorgente luminosa ed un'altra non risulta costante e l'illuminazione discontinua crea zone di maggiore e minore luce indirizzando il flusso di fruitori nelle ore di buio. Le due aree di accesso risultano però sempre illuminate.

In riferimento ai vincoli derivanti da consumo energetico dello spazio di fruizione collettiva si ritiene che questa pavimentazione piezoelettrica deve essere legato al risparmio energetico di questo consumo. I dispositivi piezoelettrici infatti non producono una quantità di energia tale da essere considerata una tecnologia sostitutiva, almeno se impiegata senza l'ausilio di altre fonti di riduzione dei consumi, pertanto può solo contribuire a ridurre i consumi. In questo scenario è chiaro che può essere impiegata solo per ridurre i consumi energetici dell'area per la quale è prevista la sua installazione. Pertanto si prevede la sostituzione delle sorgenti luminose con lampade LED a basso consumo, e si valuterà il risparmio in relazione al sistema di illuminazione tradizionale e a quello sostitutivo.

4.2.3 Individuazione di fasce di affluenza degli utenti.

Infine, stabiliti i consumi energetici si sono individuate tre fasce di diversa intensità di frequentazione della stazione metropolitana, svolgendo una campagna di osservazione del flusso degli utenti e raccogliendo dati dagli addetti ai controlli del servizio metropolitano. La prima fascia, che ha un'affluenza massima di circa 7.300 viaggiatori all'ora, va dalle ore 8.00 del mattino fino alle ore 12.00 e nelle ore pomeridiane dalle 15.00 alle 18.30; una

¹¹⁰ I dati dell'illuminazione sono stati reperiti dalla normativa stradale del Comune di Napoli che prevede un minimo di 10 LUX. Per garantire questo risultato sono solitamente impiegate delle lampade di 150 W per una altezza che va da 6m a 7m.

seconda fascia con un'affluenza media di circa 3.000 viaggiatori all'ora è stata individuata negli archi temporali dalle 7.00 alle 8.00 del mattino, dalle 12.00 alle 15.00 del pomeriggio e dalle 18.30 alle 20.30 di sera; infine una terza fascia con un'affluenza bassa di circa 300 viaggiatori all'ora che parte dalle 5.30 alle 7.00 del mattino e termina il servizio metropolitano dalle ore 20.30 alle ore 23.00.

4.3 Prestazioni attese per la riduzione dei consumi energetici.

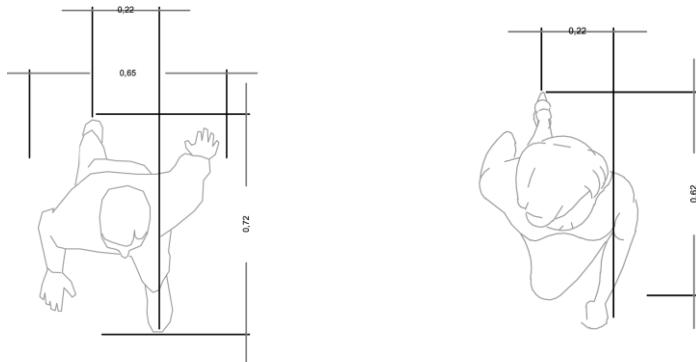
4.3.1 *Simulazioni di applicazione di una pavimentazione piezoelettrica.*

Per valutare la riduzione dei consumi energetici di una pavimentazione piezoelettrica applicata ai due spazi antistanti i varchi di accesso alla stazione metropolitana di Montesanto si sono definite otto possibili simulazioni diverse in relazione all'affluenza rilevata degli utenti e alla capacità energetica di uno o più elementi piezoelettrici applicati al dispositivo prototipale elaborato. Il primo gruppo di quattro simulazioni sono corrispondenti a un dispositivo con un unico elemento piezoelettrico. Il secondo gruppo di quattro simulazioni sono relative ad un dispositivo migliorato con quattro elementi piezoelettrici. I due gruppi di quattro simulazioni ciascuno, sviluppano il rendimento energetico in relazione alle fasce orarie individuate a cui corrispondono i flussi di massima, media e bassa frequentazione degli utenti del servizio metropolitano. La quarta simulazione, di ciascuno dei due gruppi, è stata, invece, elaborata analizzando il rendimento energetico valutando il flusso totale delle persone nell'arco dell'intera giornata.

Per comprendere le relazioni tra flusso di persone e area piezoelettrica si sono considerati i dati antropometrici relativi al passo medio di una persona, che variano tra i 72 e i 62 cm (a seconda se sia uomo o donna)¹¹¹. Per conoscere il numero dei passi in un percorso si è

¹¹¹ AA.VV., (1999), Manuale di Progettazione edilizia, Fondamenti, strumenti e norme. Volume 1 Tipologie e Criteri di Dimensionamento, Hoepli, Milano,
Dottoranda Arch. Maria Cristina Majello
Tutors Prof.ssa Arch. Gabriella Caterina
Prof.ssa Arch. Serena Viola

diviso la lunghezza per il passo medio di 72 cm. Ottenuto il numero dei passi delle persone, lo si è moltiplicato per il numero delle persone, ottenendo un numero orientativo di pedate e quindi d'impulsi piezoelettrici. Moltiplicando questo valore per la potenza ricavata si ottiene una previsione di produzione energetica.



Dati antropometrici rispetto al passo dell'uomo e della donna

Le simulazioni sono state elaborate mettendo a sistema in otto tabelle schematiche:

- il sistema edilizio esistente individuando:
 - superficie della piazza;
 - superficie utile dove installare la pavimentazione piezoelettrica;
 - numero di sorgenti luminose;
 - tipo di sorgenti luminose;
 - consumo delle sorgenti luminose;
 - consumo energetico giornaliero ed annuo.
- il sistema per la riduzione dei consumi energetici individuando:
 - numero di elementi di pavimentazione piezoelettrica;
 - numero di elementi piezoelettrici;
 - tipo di sorgenti luminose da sostituire;
 - consumo delle nuove sorgenti luminose;
 - consumo energetico giornaliero ed annuo.
- la valutazione della riduzione dei consumi energetici in percentuale confrontando:
 - il sistema di illuminazione esistente
 - il sistema di illuminazione a LED

Queste simulazioni sono servite per valutare la riduzione dei consumi energetici in relazione a un sistema d'illuminazione tradizionale e ad un sistema di illuminazione che prevede la sostituzione delle sorgenti luminose tradizionali con quelle a LED¹¹². Per la sostituzione delle lampade tradizionali che hanno un consumo di 150W si è valutato di impiegare delle lampade a LED con consumo pari a 28W, che dovrebbero raggiungere i 10 LUX a terra secondo quanto previsto dalla normativa stradale del Comune di Napoli. L'incidenza dei dispositivi piezoelettrici sui sistemi tradizionali è minima, raggiunge dei valori più interessanti quando invece si pensa di impiegare congiuntamente delle lampade con consumi minori come quelle LED.

Secondo la prima simulazione è possibile affermare che, si possono arrivare a raggiungere fino a 60,23W nelle sette ore di massima affluenza. Questo valore rispetto al consumo energetico giornaliero del sistema d'illuminazione tradizionale, rappresenterebbe un risparmio del 3,153%, mentre rispetto al consumo giornaliero di un sistema alimentato con lampade a LED potrebbe rappresentare un risparmio del 15,518 %.

In base alla seconda simulazione corrispondente a cinque ore di media frequentazione si possono arrivare a produrre fino a 24 W al giorno che rappresentano un risparmio sui consumi energetici pari allo 1,143% nel caso d'illuminazione stradale tradizionale, e il 6,122% nel caso di illuminazione stradale con lampade a LED.

Se osserviamo la terza simulazione, del primo gruppo, quella relativa ad un flusso basso di frequentatori pari a circa 300 persone all'ora, si possono arrivare a produrre fino a 1,92 W al giorno che rappresenta un risparmio energetico pari a 0,091% del consumo di energia giornaliero di un sistema di illuminazione pubblica tradizionale e apri a 0,489% di un sistema d'illuminazione pubblico alimentato con sorgenti luminose a LED.

¹¹² Per ipotizzare un sistema di illuminazione a LED si sono presi a riferimento i valori delle Lampade Aladino azienda produttrice di Serravalle (AL).

Dottoranda Arch. Maria Cristina Majello
Tutors Prof.ssa Arch. Gabriella Caterina
Prof.ssa Arch. Serena Viola

La quarta simulazione è stata fatta valutando il rendimento energetico nell'arco dell'intera giornata indifferentemente dalla fascia oraria e si è poi valutato il rendimento energetico nell'arco dell'intero anno solare di 365 giorni. Da questa simulazione deriva che il rendimento giornaliero è pari a 112 W, quello annuo è pari a 40.880 W che vuol dire un risparmio energetico pari al 5,3 % del consumo di energia giornaliero ed annuo di un sistema di illuminazione pubblica tradizionale ed un risparmio di energia del 28,57 % rispetto ad un sistema d'illuminazione pubblico alimentato con sorgenti luminose a LED.

Il secondo gruppo di simulazioni è stato elaborato in relazione a un dispositivo piezoelettrico come quello realizzato, con quattro elementi piezoelettrici. Secondo la quinta simulazione è possibile affermare che si possono arrivare a raggiungere fino a 240,90W nelle sette ore di massima affluenza che rispetto al consumo giornaliero del sistema d'illuminazione tradizionale, rappresenterebbe un risparmio del 11,47%, mentre rispetto al consumo giornaliero di un sistema alimentato con lampade a LED potrebbe rappresentare un risparmio del 61,45%.

In base alla sesta simulazione corrispondente a cinque ore di media frequentazione si possono arrivare a produrre fino a 96 W al giorno che rappresentano un risparmio sui consumi energetici pari allo 4,57% nel caso d'illuminazione stradale tradizionale, e il 24,5% nel caso di illuminazione stradale con lampade a LED. Infine in base alla settima simulazione, quella relativa ad un flusso basso di frequentatori pari a circa 300 persone all'ora, si possono arrivare a produrre fino a 9,6 W al giorno che rappresenta un risparmio energetico pari a 0,45% del consumo di energia giornaliero di un sistema di illuminazione pubblica tradizionale ed uno 2,5% di un sistema d'illuminazione pubblico alimentato con sorgenti luminose a LED. L'ottava ed ultima simulazione quarta simulazione è stata fatta valutando il rendimento energetico nell'arco dell'intera giornata indifferentemente dalla fascia oraria e si è poi valutato il rendimento energetico nell'arco dell'intero anno solare di

365 giorni. Da questa simulazione deriva che il rendimento giornaliero è pari a 448 W, quello annuo è pari a 163.520 W che vuol dire un risparmio energetico pari al 21,33 % del consumo di energia giornaliero ed annuo di un sistema di illuminazione pubblica tradizionale ed un risparmio di energia del 114,28 % rispetto ad un sistema d'illuminazione pubblico alimentato con sorgenti luminose a LED.

Sito Pilota: Stazione Metropolitana Montesanto, piazzetta Olivella, Napoli

CONSUMI E RISPARMI ENERGETICI CON UN DISPOSITIVO PIEZOELETTRICO

SIMULAZIONI CON UN SOLO ELEMENTO PIEZOELETTRICO

SIMULAZIONE 1					
Luogo:	STAZIONE METROPOLITANA MONTESANTO, PIAZZETTA OLIVELLA, NAPOLI				
					
Piazzetta Olivella 2001			Piazzetta Olivella 2013		
DATI RELATIVI AL SITO			DATI RELATIVI ALL'INTERVENTO		
mq piazza	mq pavimentazione piezoelettrica		Numero di masselli piezoelettrici		Numero di elementi piezoelettrici
1673	44		2800	2800	
CONSUMI ENERGETICI ESISTENTI			CONSUMI ENERGETICI DI PROGETTO		
Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra	Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra
LAMPIONI	3	7 m	LAMPIONE A LED	3	7 m
CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G	CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G
150 W	14	2.100 W	28 W	14	392 W
DATI RELATIVI ALLA FREQUENZA DEL FLUSSO PEDONALE					
ORE MASSIMA AFFLUENZA		INTERVALLO 8:00-12:00 E 15:00-18:30 PARI A 7,5 ORE			
N. PERSONE/ORA	N. PEDATE/ORA	PRODUZIONE DI ENERGIA/PEDATA		PRODUZIONE ENERGIA/ORA	PRODUZIONE ENERGIA NELL'INTERVALLO
7.300	80.300	100⁻⁶ W		8,03 Wh	60,231W
VALUTAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO					
RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE ESISTENTE		3,153%	RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE SOTITUITO A LED		15,518%

SIMULAZIONE 2

Luogo: STAZIONE METROPOLITANA MONTESANTO, PIAZZETTA OLIVELLA, NAPOLI



Piazzetta Olivella 2001



Piazzetta Olivella 2013

DATI RELATIVI AL SITO			DATI RELATIVI ALL'INTERVENTO		
mq piazza	mq pavimentazione piezoelettrica		Numero di masselli piezoelettrici		Numero di elementi piezoelettrici
1673	44		2800	2800	
CONSUMI ENERGETICI ESISTENTI			CONSUMI ENERGETICI DI PROGETTO		
Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra	Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra
LAMPIONI	3	7 m	LAMPIONE A LED	3	7 m
CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G	CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G
150 W	14	2.100 W	28 W	14	392 W
FLUSSO PEDONALE/RENDIMENTO ENERGETICO					
ORE MASSIMA AFFLUENZA		INTERVALLO 7:00-8:00, 12:00-15:00 E 18:30-20:30 PARI A 5 ORE			
N. PERSONE/ORA	N. PEDATE/ORA	PRODUZIONE DI ENERGIA/PEDATA	PRODUZIONE ENERGIA/ORA	PRODUZIONE ENERGIA NELL'INTERVALLO	
3.000	48.000	100^{-6} W	4,8 Wh	24W	
VALUTAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO					
RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE ESISTENTE		1,143%	RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE SOTITUITIVO A LED		6,122%

SIMULAZIONE 3					
Luogo:	STAZIONE METROPOLITANA MONTESANTO, PIAZZETTA OLIVELLA, NAPOLI				
					
Piazzetta Olivella 2001			Piazzetta Olivella 2013		
DATI RELATIVI AL SITO			DATI RELATIVI ALL'INTERVENTO		
mq piazza	mq pavimentazione piezoelettrica		Numero di masselli piezoelettrici	Numero di elementi piezoelettrici	
1673	44		2800	2800	
CONSUMI ENERGETICI ESISTENTI			CONSUMI ENERGETICI DI PROGETTO		
Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra	Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra
LAMPIONI	3	7 m	LAMPIONE A LED	3	7 m
CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G	CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G
150 W	14	2.100 W	28 W	14	392 W
FLUSSO PEDONALE/RENDIMENTO ENERGETICO					
ORE MASSIMA AFFLUENZA		INTERVALLO 5:30-7:00, E 20:30-23:00 PARI A 4 ORE			
N. PERSONE/ORA	N. PEDATE/ORA	PRODUZIONE DI ENERGIA/PEDATA	PRODUZIONE ENERGIA/ORA	PRODUZIONE ENERGIA NELL'INTERVALLO	
300	4.800	100⁻⁶ W	0,48 Wh	1,92 W	
VALUTAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO					
RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE ESISTENTE		0,091%	RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE SOTITUITIVO A LED	0,489%	

SIMULAZIONE 4

Luogo: STAZIONE METROPOLITANA MONTESANTO, PIAZZETTA OLIVELLA, NAPOLI



Piazzetta Olivella 2001



Piazzetta Olivella 2013

DATI RELATIVI AL SITO			DATI RELATIVI ALL'INTERVENTO		
mq piazza		mq pavimentazione piezoelettrica			Numero di masselli piezoelettrici
1673		44			2800
CONSUMI ENERGETICI ESISTENTI			CONSUMI ENERGETICI DI PROGETTO		
Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra	Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra
LAMPIONI	3	7 m	LAMPIONE A LED	3	7 m
CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G	CONSUMO/A	CONSUMO	ORE ACCENSIONE
150 W	14	2.100 W	766.500 W	28 W	14
392 W			143.080 W		

FLUSSO PEDONALE/RENDIMENTO ENERGETICO

ORE MASSIMA AFFLUENZA		INTERVALLO 5:30-7:00, E 20:30-23:00 PARI A 4 ORE			
N. PERSONE/ORA	N. PEDATE/ORA	PRODUZIONE DI ENERGIA/PEDATA	PRODUZIONE ENERGIA/G	PRODUZIONE ENERGIA/A	
70.000	1.120.000	100⁻⁶ W	112 W	40.880 W	

VALUTAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO GIORNALIERO

RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE ESISTENTE	5,3%	RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE SOTITUITIVO A LED	28,57%
---	-------------	---	---------------

VALUTAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO ANNUO

RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE ESISTENTE	5,3%	RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE SOTITUITIVO A LED	28,57%
---	-------------	---	---------------

Sito Pilota: Stazione Metropolitana Montesanto, piazzetta Olivella, Napoli

**CONSUMI E RISPARMI ENERGETICI CON UN DISPOSITIVO
PIEZOELETTRICO**

SIMULAZIONI CON QUATTRO ELEMENTI PIEZOELETTRICI

SIMULAZIONE 5					
Luogo:	STAZIONE METROPOLITANA MONTESANTO, PIAZZETTA OLIVELLA, NAPOLI				
					
Piazzetta Olivella 2001			Piazzetta Olivella 2013		
DATI RELATIVI AL SITO			DATI RELATIVI ALL'INTERVENTO		
mq piazza	mq pavimentazione piezoelettrica		Numero di masselli piezoelettrici	Numero di elementi piezoelettrici	
1673	44		2800	11200	
CONSUMI ENERGETICI ESISTENTI			CONSUMI ENERGETICI DI PROGETTO		
Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra	Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra
LAMPIONI	3	7 m	LAMPIONE A LED	3	7 m
CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G	CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G
150 W	14	2.100 W	28 W	14	392 W
DATI RELATIVI ALLA FREQUENZA DEL FLUSSO PEDONALE					
ORE MASSIMA AFFLUENZA		INTERVALLO 8:00-12:00 E 15:00-18:30 PARI A 7,5 ORE			
N. PERSONE/ORA	N. PEDATE/ORA	PRODUZIONE DI ENERGIA/PEDATA	PRODUZIONE ENERGIA/ORA	PRODUZIONE ENERGIA NELL'INTERVALLO	
7.300	80.300	400⁻⁶ W	32,12 Wh	240,9 W	
VALUTAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO					
RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE ESISTENTE		11,47%	RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE SOTITUITIVO A LED	61,45%	

SIMULAZIONE 6					
Luogo:	STAZIONE METROPOLITANA MONTESANTO, PIAZZETTA OLIVELLA, NAPOLI				
					
Piazzetta Olivella 2001			Piazzetta Olivella 2013		
DATI RELATIVI AL SITO			DATI RELATIVI ALL'INTERVENTO		
mq piazza	mq pavimentazione piezoelettrica		Numero di masselli piezoelettrici	Numero di elementi piezoelettrici	
1673	44		2800	11200	
CONSUMI ENERGETICI ESISTENTI			CONSUMI ENERGETICI DI PROGETTO		
Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra	Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra
LAMPIONI	3	7 m	LAMPIONE A LED	3	7 m
CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G	CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G
150 W	14	2.100 W	28 W	14	392 W
FLUSSO PEDONALE/RENDIMENTO ENERGETICO					
ORE MASSIMA AFFLUENZA		INTERVALLO 7:00-8:00, 12:00-15:00 E 18:30-20:30 PARI A 5 ORE			
N. PERSONE/ORA	N. PEDATE/ORA	PRODUZIONE DI ENERGIA/PEDATA	PRODUZIONE ENERGIA/ORA	PRODUZIONE ENERGIA NELL'INTERVALLO	
3.000	48.000	400⁻⁶ W	19,2 Wh	96 W	
VALUTAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO					
RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE ESISTENTE		4,57%	RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE SOTITUITO A LED		24,5%

SIMULAZIONE 7					
Luogo:	STAZIONE METROPOLITANA MONTESANTO, PIAZZETTA OLIVELLA, NAPOLI				
					
Piazzetta Olivella 2001			Piazzetta Olivella 2013		
DATI RELATIVI AL SITO			DATI RELATIVI ALL'INTERVENTO		
mq piazza	mq pavimentazione piezoelettrica		Numero di masselli piezoelettrici	Numero di elementi piezoelettrici	
1673	44		2800	11200	
CONSUMI ENERGETICI ESISTENTI			CONSUMI ENERGETICI DI PROGETTO		
Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra	Sorgente Luminosa	Quantità	H da terra
LAMPIONI	3	7 m	LAMPIONE A LED	3	7 m
CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G	CONSUMO	ORE ACCENSIONE	CONSUMO/G
150 W	14	2.100 W	28 W	14	392 W
FLUSSO PEDONALE/RENDIMENTO ENERGETICO					
ORE MASSIMA AFFLUENZA		INTERVALLO 5:30-7:00, E 20:30-23:00 PARI A 4 ORE			
N. PERSONE/ORA	N. PEDATE/ORA	PRODUZIONE DI ENERGIA/PEDATA	PRODUZIONE ENERGIA/ORA	PRODUZIONE ENERGIA NELL'INTERVALLO	
300	4.800	400⁻⁶ W	1,92 Wh	9,6 W	
VALUTAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO					
RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE ESISTENTE		0,45%	RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE SOTITUITIVO A LED	2,5%	

SIMULAZIONE 8											
Luogo:	STAZIONE METROPOLITANA MONTESANTO, PIAZZETTA OLIVELLA, NAPOLI										
											
Piazzetta Olivella 2001				Piazzetta Olivella 2013							
DATI RELATIVI AL SITO				DATI RELATIVI ALL'INTERVENTO							
mq piazza	mq pavimentazione piezoelettrica			Numero di masselli piezoelettrici	Numero di elementi piezoelettrici						
1673	44			2800	11200						
CONSUMI ENERGETICI ESISTENTI				CONSUMI ENERGETICI DI PROGETTO							
Sorgente Luminosa	Quantità		H da terra	Sorgente Luminosa	Quantità		H da terra				
LAMPIONI	3		7 m	LAMPIONE A LED	3		7 m				
CONSUMO	ORE	CONSUMO/G	CONSUMO/A	CONSUMO	ORE	CONSUMO/G	CONSUMO/A				
150 W	14	2.100 W	766.500 W	28 W	14	392 W	143.080 W				
FLUSSO PEDONALE/RENDIMENTO ENERGETICO											
ORE MASSIMA AFFLUENZA			INTERVALLO 5:30-7:00, E 20:30-23:00 PARI A 4 ORE								
N. PERSONE/ ORA	N. PEDATE/ORA		PRODUZIONE DI ENERGIA/PEDATA		PRODUZIONE ENERGIA/G		PRODUZIONE ENERGIA/A				
70.000	1.120.000		400⁻⁶ W		448 W		163.520 W				
VALUTAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO GIORNALIERO											
RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE ESISTENTE			21,33%	RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE SOTITUITO A LED			114,28%				
VALUTAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO ANNUO											
RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE ESISTENTE			21,33%	RISPETTO AL SISTEMA D'ILLUMINAZIONE SOTITUITO A LED			114,28%				

4.3.2 Considerazioni sulla riduzione dei consumi energetici.

Dalle simulazioni elaborate si evince che impiegando il dispositivo piezoelettrico con un elemento piezoceramico, abbiamo una riduzione dei consumi giornaliera ed annua pari al 5,3% rispetto ad un sistema d'illuminazione tradizionale. Risultato non molto soddisfacente se si pensa agli orientamenti del pacchetto legislativo Clima Energia 20-20-20¹¹³ per l'abbattimento e la riduzione dei consumi energetici.

Se l'intervento di recupero, attraverso la pavimentazione piezoelettrica, prevede l'azione congiunta della sostituzione delle lampade tradizionali con sorgenti luminose LED, la prospettiva cambia, in quanto il dispositivo piezoelettrico potrebbe arrivare a coprire fino al 28,57% del consumo dell'energia¹¹⁴.

L'impiego di questa tecnologia ha dei costi ancora molto alti e poco competitivi, pertanto potrebbe risultare più vantaggioso migliorare ancora le prestazioni energetiche del dispositivo, prevedendo:

- l'impiego di quattro elementi piezoceramici, che rappresenta in via teorica un implementazione del rendimento energetico di circa l'80%,

¹¹³ Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (RED): stabilisce obiettivi nazionali obbligatori (17% per l'Italia) per garantire che, nel 2020, una media del 20% del consumo di energia dell'UE provenga da fonti rinnovabili. Nel calcolo, a certe condizioni, potrà essere inclusa l'energia prodotta nei paesi terzi. La direttiva fissa poi al 10% la quota di energia "verde" nei trasporti e i criteri di sostenibilità ambientale per i biocarburanti. Il riesame delle misure nel 2014 non dovrà intaccare gli obiettivi generali. La direttiva, inoltre, detta norme relative a progetti comuni tra Stati membri, alle garanzie di origine, alle procedure amministrative, all'informazione e alla formazione, nonché alle connessioni alla rete elettrica relative all'energia da fonti rinnovabili.

¹¹⁴ L'approccio culturale che sottende la proposta di recupero degli spazi di fruizione collettiva, in chiave energetica, assegna priorità alla visione sistematica del sito imponendo il costante confronto degli impatti che un processo di innovazione determina sulla qualità della vita e la qualità ambientale, acquisibili quali obiettivi fondativi dell'attività progettuale e verso cui tendere attraverso un approccio olistico, integrato e transcalare, in grado di guidare i processi di trasformazione e conservazione a scala urbana. Al fine di garantire la sostenibilità etica e la qualità nell'ambiente, la proposta di un percorso pedonale piezoelettrico, nei centri storici si misura con le diversità culturali del territorio con lo scopo di individuare e declinare una strategia condivisa, efficace e competitiva, tesa a coniugare la continuità dei processi che hanno avuto origine nell'interazione nel tempo tra la comunità e il contesto ospitante, con le logiche sottese all'introduzione di soluzioni tecnologiche energeticamente abilitanti.

- il miglioramento del supporto in acciaio, per migliorare la flessibilità e l'effetto molla del supporto;
- un procedimento meccanico assemblare piezoelettrico e lamina di acciaio per migliorare l'aderenza del supporto con l'elemento piezoelettrico¹¹⁵;
- l'impiego di una resina poliuretanica con migliori prestazioni elastiche per favorire l'elasticità.

Il secondo gruppo di quattro simulazioni prendono in considerazione l'ipotesi di un prototipo migliorato con quattro elementi piezoelettrici, una lamiera in acciaio nobile di spessore 0,8mm, che sia in grado di produrre fino a 400^{-6} W. In particolare la quarta simulazione del secondo gruppo analizza un flusso di frequenza nell'arco dell'intera giornata e restituendo dei valori interessanti.

Il rendimento energetico di questa simulazione dimostra che si potrebbe arrivare a coprire addirittura il 21,33% del consumo di energia di un sistema tradizionale¹¹⁶, e il 114,28 % dello stesso sistema d'illuminazione alimentato con lampade LED.

Questi dati permettono di ipotizzare, che delle migliorie al dispositivo prototipale, che permettano di arrivare a produrre una potenza pari o superiore a 400^{-6} W, favorirebbero l'impiego di una pavimentazione piezoelettrica, non solo per produrre energia per alimentare il sistema di illuminazione, ma anche per prevedere un accumulo di energia che possa essere messa in rete ed eventualmente venduta¹¹⁷.

Queste considerazioni dimostrano la fattibilità di un recupero dei percorsi pedonali per produrre energia attraverso pavimentazioni piezoelettriche, considerando che l'integrazione di queste pavimentazioni per gli spazi aperti di fruizione collettiva nei centri storici, si pone in un'ottica di tutela e valorizzazione dei caratteri di identità rispetto alla

¹¹⁵ Come accade per il dispositivo Thunder analizzato nel corso della ricerca.

¹¹⁶ Superando gli obiettivi previsti dal pacchetto legislativo Clima Energia 20-20-20

¹¹⁷ Questa considerazione permetterebbe di prendere in esame le pavimentazioni piezoelettriche in relazione ad un ragionamento costi e benefici.

configurazione morfologica e dimensionale, al lessico costruttivo che connota lo spazio urbano e al ruolo dell'integrazione con il tessuto insediativo esistente.

Bibliografia

AA.VV., Direttiva Europea 2009/28/CE, *Pacchetto clima energia 20-20-20*, Parlamento Europeo e del Consiglio sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (RED).

D. Benasciuttia, E. Brusaa, L. Moroa, S. Zelenikaa, (2008) *Ottimizzazione di dispositivi piezoelettrici per accumulo di energia*, in XXXVII Convegno Nazionale, 10-13 settembre, Università di Roma “La Sapienza”.

Fusco Girard L. e Nijkamp P., (2004), *Energia, bellezza, partecipazione: la sfida della sostenibilità Valutazioni tra conservazione e sviluppo*, Franco Angeli Milano

Viola S., (2004), *Innovazione e recupero edilizio. Il Cantiere verticale*, Luciano ed, Napoli

Malighetti L., (2004), *Recupero edilizio e sostenibilità*, ilSole24ore, Milano

Marenga B., (2003), *Lo spazio pedonale. Indicazioni di metodo per il controllo di qualità degli spazi urbani pedonali*, Luciano ed., Napoli

Torricelli C., (2003) *Materiali e Tecnologie dell'Architettura*, Laterza, Roma

AA.VV. *Regolamento Viario* approvato con delibera del Consiglio Comunale n. 210 del 21.12.2001

AAVV,(1999), *Manuale di Progettazione edilizia, Fondamenti, strumenti e norme. Volume 5, Materiali e prodotti*, Hoepli, Milano

Moretti A., a cura di, (1996), *Le strade. Un progetto a molte dimensioni*, F. Angeli ed., Milano

SITI WEB (data di consultazione ultima: gennaio 2013)

www.trenitalia.com

www.metronapoli.it

www.sepsa.it