

Reti di sensori senza fili per il monitoraggio dell'esposizione ad agenti fisici pericolosi in ambienti di lavoro "difficili" Applicazione alla Radiazione UltraVioletta

Pievanelli E. Plesca A. Stefanelli R. Trincherò D.

iXem Labs – Politecnico di Torino

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni

corso Duca degli Abruzzi, 24, 10129 Torino

info@ixem.polito.it

Abstract - L'articolo presenta il progetto di un dispositivo per effettuare valutazioni dosimetriche personali e di gruppo. Viene proposta una rete di sensori senza fili costituita da nodi sensore, a basso costo, indossabili, lavabili, miniaturizzati. I nodi comunicano con un gateway preposto alla raccolta dei dati. Nel caso di dosimetria personale, quest'ultimo è un semplice smartphone collegato tramite Bluetooth al nodo sensore. Mentre nel caso di dosimetria di coorte, i dati raccolti sono immagazzinati e ritrasmessi a un centro di controllo remoto, utilizzando lo standard ZigBee, oppure un'architettura di rete dedicata. Il dispositivo è autosufficiente, non ha bisogno di una periodica sostituzione delle batterie, grazie all'utilizzo di un energy harvester. L'architettura proposta è applicabile al monitoraggio di qualsiasi agente fisico o chimico. In questo testo il metodo è applicato, a titolo di esempio, al monitoraggio dell'esposizione ai raggi ultravioletti (UV).

INTRODUZIONE

Il monitoraggio di un fenomeno fisico che per sua natura potrebbe essere pericoloso per la salute dell'individuo può essere effettuato con due metodologie dosimetriche, quella personale o quella di coorte.

I dosimetri personali possono essere efficaci strumenti di monitoraggio per la protezione del singolo individuo, ma possono essere soggetti a condizioni di utilizzo non appropriato e possono risultare inefficaci. Inoltre possono essere oggetto di rotture e malfunzionamenti, soprattutto quando indossati in condizioni ambientali "difficili", ad esempio da lavoratori ubicati in spazi aperti, con grandi carichi di lavoro e che utilizzano il proprio corpo per svolgere le proprie mansioni.

In generale, esistono tre gradi di esposizione: nel breve, nel medio e nel lungo termine. I dosimetri personali sono efficaci nel breve termine, poco nel medio e per nulla per monitoraggi nel lungo periodo. I dosimetri di coorte, invece, possono essere efficaci in ogni contesto.

In un sistema di coorte si possono estrarre i dati relativi all'esposizione media sia nel breve sia nel lungo periodo. I dati possono essere eventualmente corredati dall'informazione GPS, circa la localizzazione del lavoratore all'interno del luogo di lavoro; in questo modo, a ogni lavoratore può essere associata l'informazione circa l'esposizione personale acquisita in una determinata posizione e controllare con quella di lavoratori dislocati in posizione simile o differente.

Questo lavoro presenta la realizzazione di un sistema dosimetrico di coorte attraverso una piattaforma di WSN (wireless sensor network) ibrida, in parte ad-hoc e in parte a standard WPAN (wireless personal area network). Il sistema è in grado di funzionare su scale medio/grandi, ma anche su scala personale.

Grazie ai dati acquisiti su larga scala, possono essere effettuate valutazioni statistiche che generano:

- Monitoraggio in tempo reale delle condizioni di vita che si realizzano in aree di lavoro e associazione a ogni lavoratore del contributo di esposizione ricevuto durante la giornata
- Analisi di funzionamento dei dispositivi indossati dai singoli lavoratori e relativi allarmi di rottura
- Analisi delle condizioni di applicazione e di utilizzo degli stessi dispositivi per ogni lavoratore

L'informazione ottenuta è personalizzata per il singolo lavoratore, ma svincolata da problemi di funzionamento, poiché verificata istante per istante con i lavoratori che in quel preciso momento si trovano nella stessa posizione.

In questo testo il metodo è applicato, a titolo di esempio, al monitoraggio dell'esposizione ai raggi ultravioletti (UV), particolarmente rilevante nel caso di lavoratori occupati all'aperto, nelle fasce diurne, normalmente in estate, o in luoghi maggiormente esposti alla radiazione ultravioletta, indipendentemente dalla stagione: lavoratori in alta montagna, o in aree desertiche, tropicali o

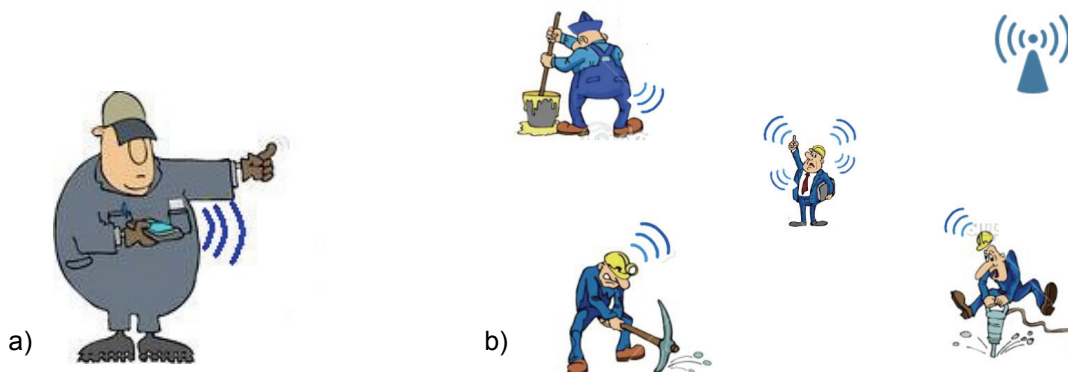
equatoriali del Pianeta.

Lo stesso metodo, con varianti legate esclusivamente ai tempi di acquisizione dei dati e al numero di casi/controllo adottati, può essere efficacemente sfruttato per il monitoraggio di una grande varietà di parametri fisici: esposizione ai campi elettromagnetici di forte intensità, esposizione alle radiazioni ionizzanti, esposizione in luoghi a elevato rumore ambientale, esposizione a inquinanti dell'aria.

ARCHITETTURA DI RETE

L'obiettivo del progetto è la realizzazione di un'unità di rilevamento che possa essere utilizzata sia come dosimetro personale sia di coorte, in base al contesto applicativo. In entrambi i casi, la rete è composta dal nodo sensore, utilizzato per rilevare il grado di esposizione al fenomeno, e da un gateway, in grado di ricevere, immagazzinare e trasmettere i dati. Quest'ultimo, nel caso del dosimetro personale, è un semplice dispositivo in grado di ricevere dati attraverso il canale Bluetooth, ad esempio uno smartphone. Nel caso di un gruppo di persone, il gateway è un dispositivo dedicato, che raccoglie i dati ricevuti dai nodi sensore, li immagazzina o li ritrasmette ad un centro di controllo remoto.

Figura 1 – Esempio di architettura di rete: a) dosimetro personale, b) dosimetro di coorte



In base alla tipologia di dosimetro scelto la frequenza di lavoro può essere diversa. I dosimetri personali sfrutteranno la tecnologia Bluetooth, quindi lavorano con una frequenza di 2.4 GHz. I dosimetri di coorte, se installati in aree piccole, utilizzano uno standard robusto come lo ZigBee a 2.4 GHz. Se le aree crescono in dimensioni, è possibile utilizzare lo standard ZigBee a 868 MHz, anche se questi dispositivi sono caratterizzati da consumi significativi e la banda ZigBee intorno a 900 MHz è differenziata a seconda dei Paesi. Per questo motivo, nelle aree più grandi è preferibile creare reti ad-hoc, addirittura scendendo in frequenza (433 MHz), utilizzando una banda ISM comune a tutto il Pianeta.

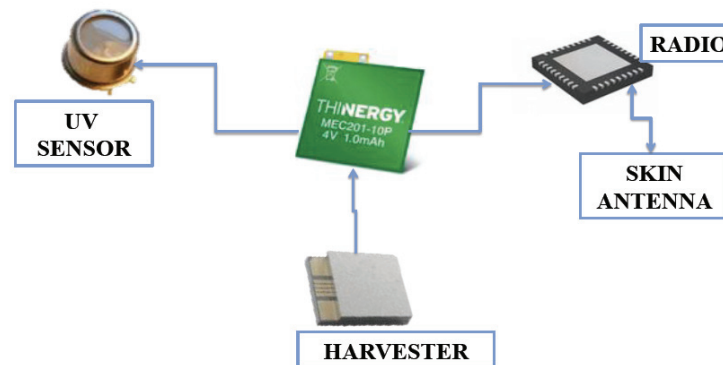
Tabella 1 – Classificazione delle diverse architetture di rete

Architettura di rete	Standard di trasmissione dati	Applicazione
Dosimetro di coorte	ZigBee @ 2.4 GHz	Spazi Limitati
Dosimetro di coorte	Ad Hoc @ 433 MHz	Ampi Spazi
Dosimetro personale	Bluetooth @ 2.4 GHz	Personale

ARCHITETTURA DEL NODO SENSORE

Il sistema è composto da diverse parti: il sensore, utilizzato per rilevare il fenomeno; l'alimentatore, che include sia la batteria sia l'energy harvester usato per ricavare energia dall'ambiente; la radio, la quale permette di trasmettere i dati rilevati e, infine, l'antenna.

Figura 2 – Composizione del nodo sensore



ALIMENTAZIONE

La realizzazione del sistema di alimentazione è un aspetto importante della progettazione, poiché è richiesto un sensore che sia autonomo. La dimensione del sistema è direttamente proporzionale alla quantità di energia necessaria immagazzinata ed è il contributo maggiore in termini di dimensioni globali del sensore [1]. Il sistema deve essere ottimizzato in modo da avere un basso consumo di potenza e, grazie all'utilizzo delle tecniche di energy harvesting si può estendere in modo rilevante la vita dell'intero dispositivo.

L'energy harvester è un dispositivo che raccoglie l'energia – meccanica, termica o solare – dall'ambiente e la converte in energia elettrica [1]. Ci sono diversi tipi di sorgenti da cui ricavare energia elettrica, come si può vedere nella tabella 2.

Tabella 2 – Classificazione delle fonti di energia [2]

Sorgente	Potenza	Efficienza	Potenza ricavata
Luce: - interna - esterna	0.1mW/cm ² 100 mW/cm ²	5-30%	10 µW/cm ² 10 mW/cm ²
Vibrazioni: - umane - industriali	1 m/s ² @ 1 Hz 10 m/s ² @ 1 kHz	1-10%	4 µW/cm ² 100 µW/cm ²
Energia termica: - umana - industriale	20 mW/cm ² 100 mW/cm ²	± 0.1 % ± 3 %	30 µW/cm ² 1-10 mW/cm ²
RF (telefoni cellulari)	0.3 µW/cm ²	± 50 %	0.1 µW/cm ²

Le possibili tecniche di energy harvesting sono:

a) *Energia ricavata dal movimento e dalla vibrazione*

L'energia cinetica può essere convertita in energia elettrica utilizzando meccanismi elettromagnetici, elettrostatici o piezoelettrici [2]. Attualmente, questi tipi di energy harvester sono disponibili solo per oscillazioni molto grandi, quelle prodotte da macchinari industriali, quindi questa opzione è stata scartata.

b) *Energia ricavata dalla differenza di temperatura*

I sensori termoelettrici posti a contatto con il corpo umano sono in grado di generare energia rilevando la differenza di temperatura esistente tra il corpo e l'ambiente in cui esso si trova [3]. Esistono harvester di questo tipo che lavorano con differenze di temperatura molto piccole, quindi ottimali per alimentare il dispositivo.

c) *Fotovoltaico*

In questo caso i fotoni che vanno a incidere sulla cella fotovoltaica vengono convertiti in elettricità. Quando il livello d'illuminazione è basso, l'efficienza di queste celle diminuisce in modo considerevole, quindi non è possibile utilizzare questo tipo di energy harvester in ambienti chiusi. Inoltre, se la cella ha dimensioni piccole, l'energia ottenuta sarà molto bassa [1]. Questo harvester non è utile per il nostro dispositivo.

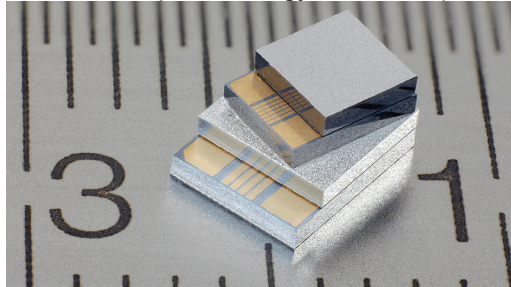
d) *Energia ricavata da RF*

L'energia prodotta dai sistemi di telecomunicazioni pubblici, come GSM e WLAN, può essere una fonte per l'energy harvesting. Questo tipo di energia però è troppo basso, quindi non è possibile usarlo per alimentare i sistemi wireless [1].

Per la realizzazione di un dispositivo wireless che sia piccolo e indossabile la soluzione ottimale, è utilizzare la tecnica di energy harvesting che si basa sulla differenza termica tra il corpo umano e l'ambiente.

Come harvester termoelettrico si è scelto il dispositivo MPG-D602 prodotto da Micropelt (figura 3) in grado di lavorare con soli 10°C di differenza termica, di dimensioni ridotte, 3.375 mm x 2.5 mm x 1.07 mm, e che produce in uscita una tensione di 1.75 V per ogni Watt in ingresso.

Figura 3 – Esempio di energy harvester (Micropelt)

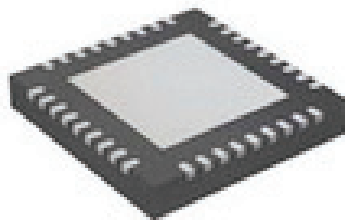


MODULO RADIO

Per la realizzazione della parte radio del dispositivo, si è indagato sul tipo di prodotti già sul mercato, analizzato le caratteristiche e infine si è deciso quale fosse il più adatto allo scopo. Sapendo di voler lavorare a basse frequenze, 800-900 MHz, si è intuito che l'utilizzo dello standard ZigBee non fosse una buona scelta; questi dispositivi consumano troppa energia. Quindi si è optato per una modulazione più semplice che permetta di risparmiare i consumi di energia. Se, invece, si vuole utilizzare frequenze più alte, ad esempio 2.4 GHz, allora si può usufruire delle tecnologie ZigBee e Bluetooth.

Come modulo radio si è scelto il modello CC1110F32 prodotto da Texas Instruments, presentato in figura 4. Questo dispositivo integra diversi elementi: il transceiver adatto a lavorare con frequenze minori di 1 GHz, il microcontrollore e la memoria flash da 32 kB. Inoltre, permette di lavorare con modulazioni semplici, come FSK, avendo consumi particolarmente limitati, come richiesto dall'intero sistema.

Figura 4 – Esempio di modulo radio (Texas Instruments)



RILEVATORE

Il dispositivo è stato pensato per essere adottato in situazioni nelle quali i lavoratori siano esposti ad agenti che possono essere dannosi per la loro salute. Un esempio può essere quello dell'esposizione prolungata ai raggi UV, questo può provocare lo sviluppo di patologie come il cancro della pelle; oppure la sotto-esposizione ai raggi UV che può causare bassi livelli di vitamina D, la quale è indispensabile per lo sviluppo delle ossa.

Il sensore UV è usato per rilevare la quantità di radiazioni solari assorbite dal corpo, convertirle in un segnale analogico continuo che verrà successivamente trasmesso. Questo dispositivo misura l'incidenza dei raggi UV ed emette una corrente elettrica proporzionale alla radiazione quando è esposto alla luce.

Considerando che il dispositivo deve essere di dimensioni piccole, con un basso rumore e con una buona efficienza spettrale i fotodiodi in silicio (Si) sono un'ottima scelta. In particolare, i sensori in carburo di silicio (SiC) permettono di evitare una serie di problemi legati alla bassa corrente fotoelettrica del fotodiodo. Questo si verifica quando il segnale misurato si trova molto vicino alla corrente di buio del fotodiodo, ma questo tipo di sensori hanno una corrente di buio molto bassa, di qualche fA, quindi il problema è evitato. Un altro rischio, però, è legato all'interferenza elettromagnetica causata dalla bassa corrente fotoelettrica, che può essere limitato utilizzando fotodiodi preamplificati [4].

La società Scitec propone diversi tipi di sensori UV, tra cui quelli preamplificati più adatti a questo progetto. In particolare, il modello TOCON Standard, con un'area di solo 0.22 mm², offre un buon livello di sensibilità (210 nm - 380 nm), adatto quindi alla rilevazione dei raggi UVA e UVB (figura 5).

Figura 4 – Esempio di sensore UV (Scitec)



ANTENNA

L'elemento del sistema che richiede una maggiore attenzione è l'antenna. Deve essere compatta e leggera; c'è inoltre la necessità di minimizzare l'effetto di accoppiamento con il corpo umano. Solitamente, le antenne nei nodi WBAN sono realizzate utilizzando antenne patch, che sono efficienti ma grandi per quest'applicazione specifica. L'obiettivo è di trovare delle metodologie d'implementazione che minimizzino il più possibile le dimensioni dell'antenna e l'impatto delle radiazioni sul corpo umano [5].

L'antenna del dispositivo qui descritto è attualmente in fase di progetto. Si stanno analizzando soluzioni che permettano l'integrazione della stessa all'interno dei tessuti e ne permettano la lavabilità.

CONCLUSIONI

L'articolo presenta un metodo per effettuare dosimetria personale oppure di gruppo comparata. Il metodo permette di monitorare sia l'esposizione personale che quella di una coorte di persone, caratterizzate dalle stesse mansioni lavorative, localizzate in spazi potenzialmente grandi ma con caratteristiche ambientali e di lavoro omogenee, normalmente esposte a fenomeni fisici che per loro natura possono essere pericolosi per la salute dell'individuo.

Viene così proposto un progetto preliminare di un innovativo nodo sensore per il monitoraggio di un fenomeno fisico ambientale. Vengono presentati tutti i componenti di tale nodo, in particolare come esempio applicativo un sensore UV come unità di rilevamento. Il nodo è autoalimentato, a basso costo, scalabile, indossabile e lavabile. Poiché è indossabile e molto piccolo, il nodo è anche non invasivo cosicché il soggetto può indossarlo persino in condizioni critiche in cui anche l'aspetto estetico è importante.

Bibliografia

- [1] Li Huang, Maryam Ashouei, Firat Yaziciogl, Julien Penders, Ruud Vullers, Guido Dolmans, Patrick Merken, Jos Huisken, Harmke de Groot, Chris Van Hoof, and Bert Gyselinckx, "Ultra-Low Power Sensor Design for Wireless Body Area Networks: Challenges, Potential Solutions, and Applications", *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, Volume 3, Number 3, September 2009
- [2] R.J.M. Vullers, R. van Schaijk, I. Doms, C. Van Hoof, R. Mertens, "Micropower energy harvesting", *Solid State Electronics*, 2009
- [3] Qadeer A Khan, Sarvesh J Bang, "Energy Harvesting for Self Powered Wearable Health Monitoring System", *Oregon State University*
- [4] "SiC UV photodiode selection guide" www.scitec.uk.com
- [5] Yahya Rahmat-Samii, "Wearable and implantable antennas in body-centric communications", *University of California*