



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA 'TOR VERGATA'

FACOLTÀ DI MEDICINA

DOTTORATO DI RICERCA IN
ROBOTICA ED INNOVAZIONI INFORMATICHE APPLICATE ALLE
SCIENZE CHIRURGICHE
Ciclo XXI

Identificazione e tracciamento di materiali chirurgici con tecniche RFId

Giulia Tartaglia
A.A. 2008/2009

Docente Guida/Tutor: Prof. **Nicola Di Lorenzo**
Coordinatore: Prof. **Achille Lucio Gaspari**

Indice

1	La Tecnologia RFId	3
1.1	Introduzione	3
1.2	Generalità sui sistemi RFId	5
1.3	Classificazione dei tag	6
1.4	Reader	11
1.5	Standard Tecnologici	11
2	Principi fisici della tecnologia RFId	15
2.1	Introduzione	15
2.1.1	Campo vicino e campo lontano	15
2.1.2	Accoppiamento induttivo	16
2.1.3	Diffusione elettromagnetica all'indietro	18
2.1.4	Accoppiamento stretto	19
2.2	Trasmissione, codifica e sicurezza del segnale	20
2.2.1	Trasmissione duplex o sequenziale	20
2.2.2	Accesso multiplo e sistema anti-collisione	20
2.3	Frequenze, regolamentazioni e standard	22
2.3.1	Frequenze RFId	22
2.3.2	Regolamentazioni	23
2.3.3	Gli standard	24
2.4	Il tag	25
2.4.1	Tag ad un bit	25
2.4.2	Sistemi di sola lettura	29
2.4.3	Sistemi di lettura e scrittura	30
2.4.4	Portata dei sistemi RFId	31
2.4.5	Transponder con capacità di sensore	33
2.5	Antenne nei Sistemi RFId	33
2.5.1	Orientamento e polarizzazione dl segnale	33
2.5.2	Antenne per i tag ad accoppiamento elettromagnetico .	34
2.5.3	Antenne per reader di tag passivi	35
2.6	Polarizzazione delle antenne del reader	37

2.7	Infrastrutture Informative per Sistemi RFId	37
3	Sistemi di tracciamento e monitoraggio	41
3.1	Introduzione	41
3.2	Le Applicazioni	42
3.3	Comprendere opportunità e problematiche	47
3.3.1	Potenzialità della tecnologia RFId	47
3.3.2	Criticità e opportunità di sviluppo	49
3.4	Applicazioni RFId in Sanità	52
3.4.1	Prevenzione degli errori	53
4	Garze chirurgiche	57
4.1	Introduzione	57
4.2	Gestione della strumentazione chirurgica in sala operatoria . .	58
4.3	La Soluzione ' <i>Inventario Elettronico</i> '	59
4.3.1	Scelta della tecnologia	59
4.3.2	Architettura del sistema	63
4.3.3	Middleware di gestione	68
4.3.4	Verifica sperimentale	69
4.4	La Soluzione ' <i>Tracciamento Elettronico</i> '	73
4.4.1	Scelta della tecnologia	74
4.4.2	Architettura del sistema	76
4.4.3	Middleware di gestione	78
4.4.4	Verifica sperimentale	78
5	Conclusioni	81
	Bibliografia	85
	Ringraziamenti	87

Prefazione

Questo lavoro di tesi consiste in una discussione sulla tecnologia RFID e nello studio di un'ipotesi di applicazione di tale tecnologia nel settore sanitario. I sistemi RFID costituiscono una nuova realtà attraverso la quale “comunicare con gli oggetti” e ricevere dagli stessi una moltitudine di informazioni. Le opportunità offerte da questo sistema di etichettatura e comunicazione, che mediante un microchip applicato ad un oggetto, consente di allegare informazioni allo stesso e di trasmetterle in radiofrequenza affinché queste vengano captate da un lettore e successivamente gestite, sono molteplici e molteplici sono gli ambiti in cui possono essere impiegate. La continua evoluzione della tecnologia apre in particolare opportunità sempre nuove e nuovi scenari agli RFID, aumentandone il potenziale competitivo.

Come studio di applicazione nel settore sanitario, è stato realizzato un dispositivo di identificazione e tracciamento di materiali chirurgici all'interno di una camera operatoria al fine di fornire il personale medico di un valido supporto nella gestione del materiale e di un preciso strumento di localizzazione in caso di perdita accidentale all'interno del paziente.

Sono stati in particolare realizzati due progetti relativi alla camera operatoria, riguardanti una specifica tipologia di materiale chirurgico costituito dalle garze adoperate durante un intervento; uno di conteggio delle bende chirurgiche da effettuare prima dell'uso e da controllare alla fine dell'operazione, l'altro per la ricerca di garze eventualmente disperse nel paziente.

Il primo progetto, da noi denominato inventario elettronico, è stato realizzato attraverso un prototipo di RFID ad alta frequenza (13,56 MHz) ed una antenna di grandi dimensioni (50 cm x 65 cm), adattabile ad un contenitore. Il ricevitore, di piccole dimensioni e portatile, è collegato tramite connessione USB ad un calcolatore dotato di software dedicato per il controllo elettronico della congruenza pre- e post-operatoria delle bende utilizzate.

Il secondo progetto, denominato tracciamento elettronico, è stato realizzato attraverso due prototipi RFID con diversa portata di rilevazione delle etichette elettroniche. Deve infatti tenersi conto del fatto che la radiazione elettromagnetica di alta frequenza e bassa intensità, viene fortemente at-

tenuata dal passaggio attraverso tessuti e liquidi. Si tratta di un'antenna portatile con connessione USB di piccole dimensioni ed una portata fino a circa 70 *cm*, largamente sufficiente per l'analisi della zona operatoria del paziente. Il secondo prototipo è costituito da un'antenna di dimensioni minori, che permette quindi un'analisi più puntuale e localizzata, e con collegamento remoto di tipo bluetooth, a scapito di una portata più limitata dell'ordine di circa 20 *cm* al massimo.

Anche in questo caso si opera alla stessa frequenza dell'inventario elettronico e con un collegamento ad un calcolatore con software dedicato.

Per l'utilizzazione e l'analisi dei dati prodotti dai vari prototipi si è sviluppato un programma di interfaccia fra rivelatori di tipo USB o bluetooth e calcolatore, realizzato a partire dalle caratteristiche fornite dal costruttore dell'apparecchiatura ricevente. Si è utilizzato il linguaggio di programmazione Visual Basic che ha permesso la realizzazione di una interfaccia utente di facile utilizzazione. Gran parte del lavoro associato al progetto è stato svolto nell'ambito dello sviluppo del software originale.

Una soluzione di maggior impegno, del problema dell'individuazione delle bende disperse, potrebbe prevedere l'utilizzo della tecnologia RFID a frequenze più elevate (UHF) che dispone anche di antenne di grandi dimensioni. In questo caso si potrebbe realizzare un rivelatore che permetterebbe la scansione simultanea e completa di tutto il tavolo operatorio in un tempo relativamente breve. Una volta definita la fattibilità della tecnica ad alte frequenze (HF), si può utilizzare l'esperienza acquisita per ampliare l'intervallo di frequenze a quelle più alte (UHF). L'impiego delle frequenze UHF è stato regolamentato in Italia solo in tempi molto recenti.

Il lavoro è organizzato come segue. Nei primi due capitoli viene presentata la tecnologia RFID e vengono descritti i principi fisici che ne caratterizzano il comportamento. Nel terzo capitolo si procede ad un'analisi dei principali settori di applicazione dei dispositivi RFID, della loro diffusione sul mercato e delle prospettive future della tecnologia; nel quarto e nel quinto si descrivono i prototipi costruiti e si illustrano i risultati ottenuti dalla fase di verifica sperimentale, volta a dimostrare la realizzabilità tecnica ed il valore economico dell'applicazione realizzata.

Capitolo 1

La Tecnologia RFId

1.1 Introduzione

Con il termine RFId si indicano sistemi per l'identificazione attraverso trasmissione a radiofrequenza. Tale tecnologia è capace di conferire agli oggetti un'identità univoca ed una propria memoria, offrendo la possibilità di eseguire su di questi operazioni di identificazione, di tracciamento, di ricerca, selezione e localizzazione. La tecnologia di identificazione a radiofrequenza rappresenta un'evoluzione dei sistemi di identificazione basati sui codici a barre ma rispetto a questi offre numerosi vantaggi. Il primo e più importante, consiste nel fatto che la lettura dei dati non richiede il contatto diretto, né la “vista ottica” (ovvero non è più necessaria la corretta orientazione verso lo scanner). In secondo luogo, i sistemi hanno una maggiore capacità di resistenza alle condizioni operative riuscendo a lavorare correttamente in ambienti sporchi, contaminati e sopportando diversi tipi di sollecitazioni (termiche, chimiche e meccaniche), ad operare anche se immersi in un fluido, all'interno dell'oggetto che si vuole identificare o all'interno di un contenitore. Per quanto riguarda l'immagazzinamento dei dati, offrono la possibilità di memorizzare una quantità maggiore di informazioni rispetto ai sistemi barcode, oltre alla possibilità di riscrivere od aggiornare i dati in essi contenuti; è possibile, inoltre, gestire la lettura simultanea dei tag grazie alla presenza di sistemi anti-collisione. I tag RFId sono sicuramente più costosi dei sistemi utilizzanti codici a barre ma il rapporto costi/benefici è generalmente vantaggioso [1, 2, 3].

Al contrario di quanto si possa comunemente pensare, quella dei sistemi RFId non è una tecnologia di recente sviluppo; in realtà i primi dispositivi RFId risalgono a circa settanta anni fa e sono stati sviluppati in Inghilterra durante la seconda guerra mondiale. Dalle applicazioni militari, la tecnologia

si è poi evoluta per coprire anche applicazioni civili e, già negli anni '60, è iniziata la commercializzazione dei primi sistemi di “sorveglianza elettronica” per il controllo dei furti nei supermercati. La vera diffusione dei sistemi RFID è avvenuta però a partire dagli anni '90, quando gli sviluppi della tecnologia hanno consentito di ottenere sistemi molto più piccoli, più efficienti e di costi ridotti.

Nel 1998 i ricercatori dell'Auto-ID Center, con sede presso il Massachusetts Institute of Technology, si misero alla ricerca di un nuovo modo per localizzare e identificare lo spostamento degli oggetti da un luogo fisico all'altro. La ricerca era incentrata sulla tecnologia a radiofrequenze e su come le informazioni contenute nei tag potessero essere lette e condivise con i partner aziendali quasi in tempo reale ma, in particolare, il lavoro dell'Auto-ID Center era focalizzato su:

- riduzione dei costi di produzione dei tag RFID;
- miglioramento delle reti dati, in modo da memorizzare e distribuire una quantità maggiore di informazioni;
- sviluppo di open standard.

Risultò evidente che le soluzioni proposte, combinate con continue attività tecnologiche e di standardizzazione su scala globale, avrebbero potuto favorire una riduzione dei costi del sistema RFID. Nel 2003 l'Auto ID Center contava già oltre 100 sponsor provenienti da quattro continenti diversi. L'obiettivo finale era quello di condurre un esperimento su vasta scala, con 40 aziende partecipanti in 10 città degli Stati Uniti. L'Auto-ID Center ha concluso ufficialmente la propria attività nell'ottobre 2003, trasferendo i risultati del lavoro svolto a EPC global, società che si occuperà in futuro della gestione e dello sviluppo degli standard proposti [4].

Oggi, le applicazioni basate sugli RFID sono dunque in rapido sviluppo e sfruttano da un lato le continue evoluzioni di tale tecnologia e dall'altro la consapevolezza, che progressivamente il mercato sta acquisendo, sui vantaggi apportati dall'introduzione di tali tecnologie in diversi settori. Gli ambiti di impiego sono numerosissimi, dalla Pubblica Amministrazione all'industria. In quest'ultimo settore, la tracciabilità della filiera produttiva consentita dalla tecnologia RFID migliora sia l'offerta sia la domanda, permettendo agli utenti di consumare prodotti più sicuri e di alta qualità e alle aziende di operare senza sprechi ottimizzando le risorse. Le problematiche della tracciabilità assumono un'importanza strategica anche nel settore sanitario; anche in tale ambito risulta infatti fondamentale garantire la tracciabilità di strumentazione elettromedicale, di varie tipologie di dispositivi

medici, di farmaci e, idealmente, anche degli stessi medici o pazienti. I vantaggi che deriverebbero dallo studio e dall'introduzione di nuove tecnologie sono molteplici e vanno dalla riduzione della documentazione cartacea, alla prevenzione di possibili errori, alla attuazione di procedure più veloci ed efficaci, ecc.

1.2 Generalità sui sistemi RFId

Un sistema RFId consiste tradizionalmente di tre elementi fondamentali: Il tag (o trasponder), costituito da un circuito integrato dotato di memoria e da un'antenna per la ricezione e la trasmissione di segnali radio. Il circuito e l'antenna sono integrati su di un supporto fisico. Il reader, costituito da un ricetrasmittitore controllato da un microprocessore usato per la lettura del tag RFId e per la comunicazione con eventuali sistemi informativi esterni. Il Sistema di Gestione, ovvero un sistema informativo connesso in rete con il reader che consente, a partire dai codici identificativi dei tag, di ricavare e gestire in base agli scopi dell'applicazione, tutte le informazioni contenute nei tag.

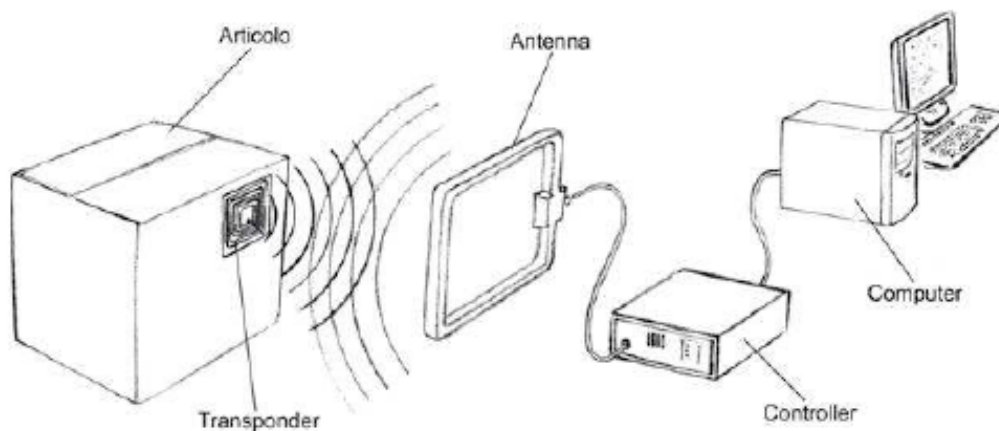


Figura 1.1: Architettura operativa di un sistema RFId.

Il compito di un sistema RFId è quello di utilizzare le comunicazioni in radiofrequenza per lo scambio di dati fra un dispositivo portatile dotato di memoria e un computer o PLC host. L'antenna del tag consente al circuito integrato di trasmettere le informazioni contenute nella memoria al lettore (reader); il lettore converte in informazioni digitali le onde radio trasmesse dal tag RFId e ne permette l'invio al sistema informativo esterno tramite

il quale i dati possono essere lavorati e gestiti. In questi sistemi i tag sono generalmente associati ad oggetti e nella loro memoria è inserita una certa quantità di informazioni relative all'oggetto stesso. Si crea in tal modo una sorta di database remoto che si muove insieme all'oggetto. Tipicamente, i dati contenuti nella memoria sono limitati ad un codice univoco (identificativo) ma è comunque possibile inserire e modificare una serie di altre informazioni caratterizzanti l'oggetto (es. date di produzione, composizione dell'oggetto, ecc.).

1.3 Classificazione dei tag

Una prima classificazione è legata alla gestione delle fonti di alimentazione. Ne esistono tre differenti tipologie:

- Passivi - non possiedono alimentazione interna ma ricavano la potenza necessaria ad attivare i circuiti ed a trasmettere dalle onde radio inviate dal reader. L'assenza di campo di energia li spegne completamente;
- Semiattivi - dotati di una batteria usata esclusivamente per l'alimentazione del microchip o di apparati ausiliari (come sensori di temperatura o di movimento) ma non per la parte di trasmissione. Per l'irradiazione utilizzano parte dell'energia dell'onda radio inviata dal lettore;
- Attivi - Alimentati da batterie e costituiti, come i reader da ricevitore e trasmettitore.

I tag passivi sono tipicamente dei dispositivi a basso costo e di piccole dimensioni che consentono di realizzare numerosi tipi di applicazioni.

I maggiori obiettivi tecnologici riguardano il basso consumo e la capacità di gestire segnali a radiofrequenza affetti da rumore; la principale limitazione è legata invece alla mancanza di una sorgente di energia propria. La potenza ricavabile dal segnale del reader è generalmente bassa ed inoltre decresce molto rapidamente con la distanza ed è limitata dalle normative: questo comporta distanze operative piuttosto basse (al massimo qualche metro) ed altre criticità nel funzionamento. Le memorie di cui sono equipaggiati hanno solitamente dimensioni ridotte e, in termini di potenza computazionale non si va oltre una logica elementare: sono sistemi in grado di eseguire esclusivamente istruzioni di base. Questa tipologia di tag risulta essere decisamente la più diffusa ed impiegata nelle applicazioni massive; viene realizzata su quasi tutte le bande di frequenza consentite per applicazioni RFID.

I tag semiattivi, come quelli passivi, utilizzano il campo generato dal segnale del reader come sorgente di energia per la trasmissione ma sono dotati



Figura 1.2: Tag passivi.

di una batteria interna che consente di alimentare i propri circuiti. Questo permette al chip di avere una funzionalità più articolata, hanno la possibilità di montare memorie di maggior capacità e riscrivibili, nonché sensori ambientali per la realizzazione di funzioni più complesse (come misura della temperatura, pressione, movimento, ecc.).

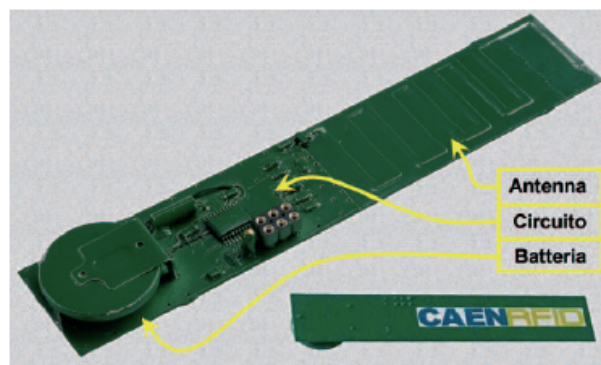


Figura 1.3: Tag semiattivo in banda UHF (870-915 MHz) dotato di batteria e sensore di temperatura, da utilizzare in applicazioni *Temperature Logging* per medicinali e merci deperibili.

Possono operare anche quando il tag non riceve energia dal reader ma la distanza operativa è limitata (come nei tag passivi) dal fatto che il tag è obbligato ad usare il segnale del reader per la trasmissione. Presentano

inoltre gli svantaggi connessi all'utilizzo di batterie di alimentazione, ovvero maggiori costi e problemi legati alla durata.

I tag attivi sono muniti di una propria batteria di alimentazione e da un ricetrasmittitore a radio frequenza. Le distanze operative sono molto superiori rispetto a quelle dei tag passivi o semiattivi e sono limitate solo dall'antenna e dall'energia disponibile nelle batterie (si può arrivare a qualche Km).

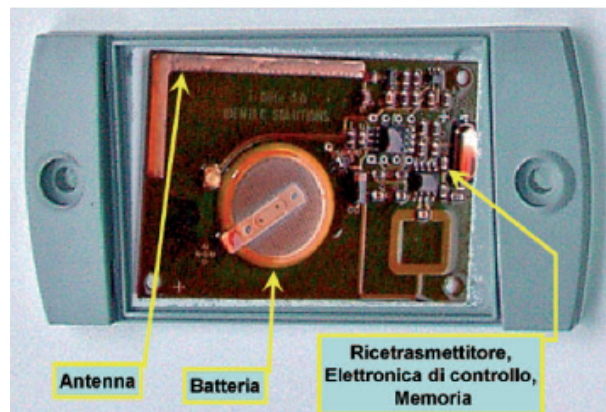


Figura 1.4: Tag attivo.

Sono dotati di memorie generalmente più ampie di quella dei tag passivi e su di esse possono essere eseguite operazioni di lettura e scrittura. Spesso sono dotati di sensori di vario genere e vengono generalmente prodotti per frequenze elevate. Il costo di questi apparati è abbastanza superiore rispetto alle altre tipologie di tag.

Una seconda classificazione è dipendente dalla tipologia di memoria utilizzata; esistono etichette:

- RO (read only) - sono tag di sola lettura, contenenti dati disponibili per la sola consultazione.
- RW (read and write) - sono tag che consentono oltre alla lettura anche la modifica e la riscrittura dei dati memorizzati.

I tag con memoria RO costituiscono un'evoluzione tecnologica del codice a barre, con tutti i vantaggi che la trasmissione a radiofrequenza offre. Le memorie sono registrate in fabbrica, solitamente attraverso l'incisione laser. Hanno il vantaggio di avere dimensioni e costi più ridotti.

I tag con memoria RW diventano un articolato sistema di identificazione capace di tenere traccia della storia di un prodotto fin dalla fase di lavorazione

ed essere poi utilizzata in modo interattivo lungo tutta la filiera fino alla distribuzione al dettaglio e in alcuni casi sino al consumatore. A seconda della tipologia di memoria che integrano, hanno caratteristiche differenti che si riassumono in tempi differenti per le operazioni di lettura/scrittura, differente numero di cicli di lettura/scrittura effettuabili e durata del tag, differenti consumi, dimensioni e costi.

In passato, i tag passivi erano principalmente di tipo read-only sia perché la fase di scrittura richiede la disponibilità di una quantità elevata di energia che si ricava con difficoltà dal segnale ricevuto, sia perché le memorie riscrivibili hanno un costo relativamente elevato. I tag passivi riscrivibili sono comunque in rapida diffusione.

La terza e più importante classificazione è legata alla banda di frequenze di lavoro. Questa è una delle caratteristiche fondamentali degli RFID, sia perché la scelta della banda di frequenze è strettamente legata al tipo di applicazione che si vuole realizzare, sia perché è una delle proprietà che deve essere sottoposta a rigidi standard di conformità (per prevenire le interferenze e controllare le emissioni di potenza). Le porzioni di bande più comunemente utilizzate sono:

- basse frequenze (LF, 120 - 145 kHz);
- alte frequenze (HF, 13,56 MHz);
- altissime frequenze (UHF, sottobande 865 - 870 MHz in Europa 902 - 928 MHz in USA 950 MHz in Asia);
- micro-onde (superiori ai 2,4 GHz).

La banda LF si trova nella parte più bassa dello spettro RF ed è storicamente la prima frequenza utilizzata nei sistemi di identificazione automatica. La banda HF ed in particolare la sottobanda centrata sui 13,56 MHz, è l'unica banda di frequenze che si può considerare unificata in tutto il pianeta: questo ha reso gli RFID di tipo HF i più diffusi fino ad oggi.

Entrambe le bande (LF ed HF) sono utilizzate per la realizzazione di tag esclusivamente passivi.

Le bande UHF e quelle relative alle micro-onde sono considerate le “nuove bande” per gli RFID e sono utilizzate soprattutto in ambito industriale, per la logistica e l'identificazione di oggetti. La maggiore limitazione all'utilizzo di tali tipologie di RFID risiede nel fatto che tali bande non sono assegnate in modo uniforme nelle varie nazioni.

La scelta della frequenza di lavoro influisce in modo determinante su numerose caratteristiche di funzionamento dei sistemi RFID, quali la distanza

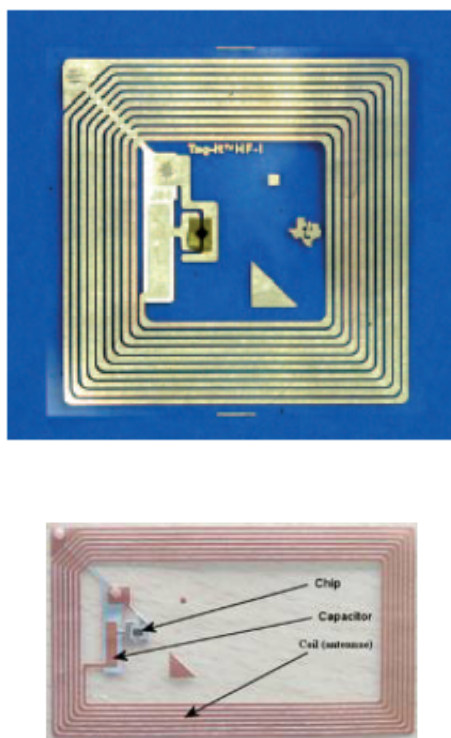


Figura 1.5: a: Tag passivo in banda HF con antenna in alluminio 45x45mm, standard ISO/IEC 15692-3, 18000-3, adatto all'assemblaggio in carta o PVC per applicazioni di identificazione oggetti, catalogazione libri, biglietti elettronici. b: Struttura tag passivo

(range) di operatività del sistema, le interferenze con altri sistemi radio, la velocità di trasferimento dei dati e le dimensioni delle antenne. I sistemi che utilizzano frequenze più basse sono spesso basati su tag passivi, mentre i sistemi che operano a frequenze più elevate sono, oltre ad alcuni tag passivi, per la maggior parte tag attivi. I sistemi a frequenza più bassa sono caratterizzati da distanze di lettura minori (generalmente non più di un metro e mezzo) e da una minore velocità di trasferimento dati; anche le potenze utilizzate sono di piccola entità, per tale motivo hanno una migliore capacità di attraversare materiali non metallici e liquidi (come ad es. l'acqua o i tessuti del corpo umano) ed una migliore resistenza alle condizioni operative. La distanza di lettura e la quantità di informazioni trasferibili nell'unità di tempo aumentano al crescere della frequenza; i tag attivi possiedono, dunque, range operativi maggiori anche se limitati dai valori massimi di potenza irradiata stabiliti dagli organismi internazionali che regolano l'uso dello spettro radio. Inoltre, le alte frequenze lavorano meglio con oggetti metallici e presentano difficoltà nell'attraversamento dei materiali non metallici.

Un'ultima classificazione viene fatta relativamente ai metodi di propagazione utilizzati nella tecnologia RFID: ad accoppiamento magnetico, dove la comunicazione è generata attraverso l'induzione magnetica. Generalmente questo principio fisico è utilizzato con frequenze relativamente basse, ovvero dai tag LF od HF. ad accoppiamento elettrico, che utilizzano un classico sistema radio per realizzare la propagazione di energia del ricetrasmittitore verso il transponder. L'accoppiamento elettromagnetico è utilizzato per tutti i tag UHF e ad altissima frequenza

1.4 Reader

Il reader è l'elemento che, nei sistemi RFID, consente di assumere le informazioni contenute nel tag. Costituisce un vero e proprio ricetrasmittitore gestito da un sistema di controllo che consente di scambiare informazioni con i tag e nella quasi totalità dei casi è connesso in rete con sistemi informatici di gestione. In tali casi il lettore RFID è in grado di convertire il segnale radio ricevuto dal tag in un segnale digitale che pu essere trasferito in un computer. Il reader è chiamato anche 'controller' se distinto dalla sua antenna.



Figura 1.6: Esempi di antenne esterne.

Il Controller gestisce l'interfaccia di comunicazione fra un'antenna e un generico sistema host (un PC, un palmare, un Server). Il sistema host si interfaccia con il Controller e dirige l'interrogazione del tag tramite comunicazione in parallelo, in serie o bus.

1.5 Standard Tecnologici

Per il successo di un'applicazione, tag e reader devono comunicare tra loro facilmente e senza disturbare altri servizi a radiofrequenza. Pertanto, un

aspetto tecnologico essenziale riguarda gli standard di comunicazione. I due principali obiettivi che gli standard devono assicurare sono:

- Interoperabilità tra reader e tag di differenti fabbricanti
- Non interferenza delle operazioni con altri apparati radio elettrici

Nel primo caso, è necessario stabilire delle norme per parametri quali i protocolli di comunicazione tra i vari elementi del sistema, la codifica dei dati, procedure anticollisione, ecc. Il processo di standardizzazione è attualmente gestito da 2 differenti organismi: ISO[9] ed EPC. Nel secondo caso, le normative devono regolare la natura fisica delle comunicazione radio (bande di frequenza, potenza, ecc.); il processo di standardizzazione è gestito, a livello mondiale, dall'ITU (International Telecommunications Union) mentre, in Europa, un ruolo essenziale è giocato dalla CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations), un organo preposto al coordinamento di 46 Paesi europei in materia di Comunicazioni Postali e Radio. Organi della CEPT sono ERC (European Radiocommunications Committee) ed ERO (European Radiocommunications Office); mentre l'Istituto Europeo di Standardizzazione nelle Telecomunicazioni (ETSI) emette normativa nelle materie omonime (essenzialmente compatibilità elettromagnetica).

Il principale problema degli standard di comunicazione è dovuto al fatto che, ad oggi, non è stata ancora raggiunta la convergenza e l'unificazione a livello internazionale né per gli standard di architettura e protocollo, né per gli standard di conformità per le emissioni in radiofrequenza. Gli standard ISO per i tag RFID sono molto numerosi e risultano essere quelli più largamente usati nelle applicazioni RFID più tradizionali (come l'identificazione di persone, di veicoli, per il controllo delle fasi di lavorazione nei processi industriali, ecc), soprattutto gli standard per i tag ad alta (ISO 18000-3) e ad altissima frequenza (ISO 18000-6). Gli standard EPC sono invece meno numerosi e sono stati sviluppati soprattutto per i tag a media ed alta frequenza: ci sono quelli di Classe 0 (UHF), di Classe 1 (13,56MHz e UHF) e di Classe 2 (UHF). Da qualche anno è stato per rilasciato un nuovo standard denominato Gen 2, che risulta essere il protocollo EPC di seconda generazione ed è stato progettato per operare a livello internazionale. La situazione per gli standard di conformità delle emissioni è invece più complessa. Le norme per le concessioni delle frequenze radio variano da paese a paese (Europa, Asia e Giappone) e risulta pertanto complicato riuscire a trovare bande di frequenze da riservare agli RFID su scala globale. L'unica frequenza che al momento si può considerare unificata a livello mondiale è quella HF (fissata ovunque a 13,56 MHz); per tutte le altre la normativa non è uniforme e la

situazione più penalizzante è legata alla banda UHF, essendo uno spettro di frequenza utilizzato dalla maggior parte dei dispositivi elettronici.

Capitolo 2

Principi fisici della tecnologia RFId

2.1 Introduzione

Le onde radio sono onde elettromagnetiche che si propagano facilmente nell'aria e nel vuoto e con maggiori difficoltà nei solidi e nei liquidi. Un'onda elettromagnetica è caratterizzata da una frequenza, che ne determina le caratteristiche di funzionamento e le prestazioni. Per esempio, i telefoni cellulari o le schede di rete Wireless funzionano tutti con onde radio. Un sistema RFId è costituito da un ricetrasmittitore (lettore o reader), una o più antenne e da uno o più transponders capaci di comunicare tra di loro mediante un segnale modulato a radiofrequenza[5, 6, 7].

2.1.1 Campo vicino e campo lontano

La soluzione delle equazioni di Maxwell per il campo elettromagnetico nelle vicinanze di un'antenna, contiene potenze inverse della distanza r^{-1} , r^{-2} e r^{-3} . A brevi distanze dominano le alte potenze, a distanze più elevate le potenze più basse: in altre parole l'onda elettromagnetica diventa indipendente dall'antenna per le lunghe distanze. Non esiste un confine preciso fra campo vicino e lontano, usualmente posto ad una distanza pari a $\lambda/2\pi$. Nel caso degli RFId un'onda al di fuori della regione di campo vicina non influisce sull'antenna stessa, il che implica che l'accoppiamento induttivo è possibile solo in campo vicino.

2.1.2 Accoppiamento induttivo

Si ha accoppiamento dovuto ad induzione elettrica quando transponder ed antenna sono accoppiati dal flusso magnetico relativo ad entrambe le spire (come avviene in un trasformatore) e, l'energia utilizzata dal tag, è fornita dalla spira primaria dell'antenna. La condizione per il massimo trasferimento di energia è rappresentata dall'ortogonalità fra la spira dell'antenna ed il campo magnetico nell'altra spira, in modo da massimizzare il flusso magnetico attraverso le spire. La spira del tag deve essere sottoposta al campo magnetico per un tempo sufficiente ad accumulare la quantità di energia necessaria al suo funzionamento.

Induzione

La distanza fra il lettore ed il transponder è molto piccola rispetto alla lunghezza d'onda della radiazione utilizzata. La forza elettromotrice indotta ϵ , può essere calcolata utilizzando la legge di Faraday:

$$\epsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}, \quad (2.1)$$

in cui Φ_B è il flusso del campo magnetico. Il campo magnetico generato da una spira è invece calcolato tramite la legge di Ampere:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (i_c + i_d), \quad (2.2)$$

con i_c pari alla corrente che percorre il circuito lungo il percorso di integrazione e, i_d , pari alla corrente di spostamento che interviene nelle equazioni di Maxwell. Di conseguenza, l'induzione mutua fra la spira dell'antenna primaria e quella del transponder è pari a:

$$\epsilon_2 = - M \frac{d i_1}{dt} \quad (2.3)$$

che dimostra come la forza elettromotrice indotta nella spira del transponder sia proporzionale ad un fattore geometrico M ed alla variazione della corrente i_1 nella spira primaria. Il fattore geometrico M dipende dalla distanza fra le spire, dalle loro dimensioni e dalla loro orientazione.

L'energia prodotta nella spira può essere raccolta utilizzando diodi e capacitori al fine di rettificare la corrente come mostrato in Fig. (2.1). Tutta la potenza usata dal transponder si ottiene dalla spira primaria, ovvero:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2, \quad (2.4)$$

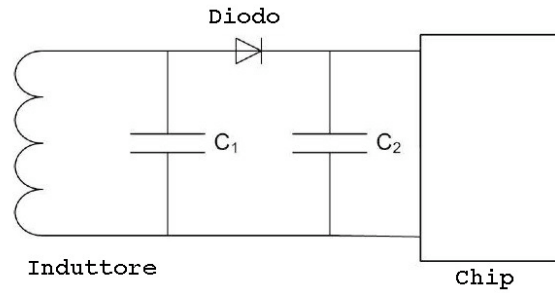


Figura 2.1: Il tag fornisce potenza all'elettronica per mezzo di accoppiamento induttivo. Il condensatore C_1 accorda il chip alla frequenza corretta e attraverso il diodo il condensatore C_2 si carica e fornisce potenza all'elettronica.

che, usando l'eq. (2.1), diventa

$$U_1 I_1 = \left(-\frac{di_1}{dt} \right) \frac{1}{R_2}, \quad (2.5)$$

da cui si deduce che, un cambiamento nella resistenza della spira del transponder, può essere rilevato come corrente o tensione nell'antenna primaria.

Modulazione

Al fine di inviare l'informazione in esso contenuta il segnale viene modulato, ad esempio con una modulazione di carico. Ciò significa che la variazione di resistenza del transponder causa una perdita di potenza variabile nella spira primaria, che viene vista come una piccola caduta di potenziale sull'antenna. In Fig. (2.2) è disegnato un semplice circuito per la modulazione di carico.

Nella pratica è abbastanza complicato ottenere la modulazione di ampiezza del segnale portante: per tale motivo spesso si utilizza un segnale sottoportante per trasferire l'informazione. Generando un segnale a frequenza f_s minore della frequenza principale f_m , si ottengono le due frequenze di modulazione $f_m \pm f_s$ quindi, usando un filtro passa-banda su una di queste frequenze, si può facilmente recuperare il segnale originale ed estrarre da quest'ultimo le informazioni utili. La variazione dell'ampiezza della sottoportante si chiama *spostamento di chiave di ampiezza*, o ASK.

Altre 2 differenti modalità di modulazione dei segnali spesso utilizzate sono lo spostamento di chiave di frequenza (FSK) e di fase (PKS). Questi coinvolgono spostamenti di frequenza o fase della portante per poter trasportare l'informazione digitale.

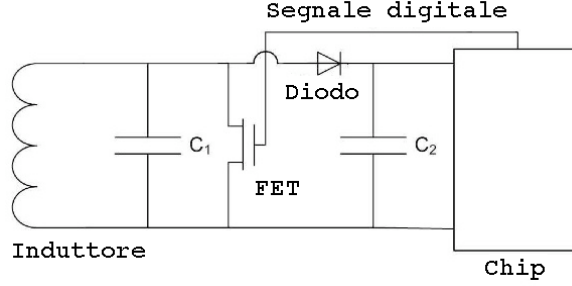


Figura 2.2: La comunicazione attraverso la modulazione di carico può essere realizzata con un resistore variabile od un transistor FET ad effetto di campo. Un segnale digitale dal chip è connesso ad un FET che modifica la resistenza totale del chip. Questo cambio di resistenza può essere rilevato come cambio di tensione nello scanner.

2.1.3 Diffusione elettromagnetica all'indietro

La seconda tecnica utilizzata per la comunicazione negli RFID è la diffusione elettromagnetica all'indietro, una tecnica molto simile a quella dei radar. In dipendenza delle sue caratteristiche, un'antenna riflette parte dell'onda elettromagnetica incidente, all'indietro, verso la sorgente [8]; inoltre le onde elettromagnetiche sono riflesse dalla maggior parte degli oggetti che incontrano sul proprio cammino e in particolare da tutti quelli che siano più grandi di mezza lunghezza d'onda: questo è il principio di funzionamento del radar. La sua efficienza di riflessione si chiama *sezione d'urto di riflessione* ed è particolarmente elevata per antenne che risultino in risonanza con le onde incidenti. Tale sezione d'urto di riflessione può essere comunque variata tramite un resistore connesso in parallelo con l'antenna.

Un tag RFID a scattering elettromagnetico all'indietro utilizza proprio il meccanismo descritto per inviare le informazioni al lettore. In sostanza, l'energia che viene riflessa all'indietro riesce a raggiungere l'antenna del lettore e da questa può essere filtrata, tramite un accoppiatore direzionale, rispetto al segnale uscente molto più forte.

Confrontata con l'accoppiamento induttivo, la diffusione elettromagnetica all'indietro funziona su distanze maggiori, ovvero al di là del campo vicino. Ciò dà in particolare al transponder la possibilità di accumulare l'energia sufficiente a far funzionare la propria elettronica. È possibile stabilire l'energia disponibile per il transponder calcolando la perdita sul cammino libero α_F tra lettore e transponder. L'attenuazione nello spazio libero è data da

$$\alpha_F = 20 \log \left(4\pi \frac{rf}{c\sqrt{G_T G_R}} \right), \quad (2.6)$$

dove f è la frequenza, r la distanza, c la velocità della luce e G_T e G_R i guadagni dell'antenna. Usando questa formula e conoscendo la dissipazione di potenza del microchip, è possibile stimare la portata del sistema. Poiché un microchip consuma circa $5 \mu W$ e l'efficienza di raccolta della potenza è circa del 10%, si ha bisogno di una potenza di $50 \mu W$ al transponder. Il limite per la trasmissione RFID in Europa è di $0.5 W$ EIRP (potenza effettiva irradiata isotropicamente) e la perdita in spazio libero non può essere superiore a $40 dB$. Usando una frequenza di circa $900 MHz$ otteniamo

$$\frac{c\sqrt{G_T G_R} \alpha_F}{4\pi f} \approx 3 m. \quad (2.7)$$

Cambiando di poco i parametri si possono ottenere distanze maggiori. Il problema più importante è fornire potenza al chip; in alcuni casi il chip stesso viene fornito di una batteria che dà potenza all'elettronica, mentre la trasmissione non viene alimentata dalla batteria.

2.1.4 Accoppiamento stretto

Il termine accoppiamento stretto è spesso utilizzato in connessione con gli RFID. Esso descrive l'accoppiamento di *smart card* a lettori con portata al di sotto di $1 cm$ ed è essenzialmente simile all'accoppiamento induttivo, anche se la sua implementazione è leggermente diversa. La piccola portata permette il trasferimento di una quantità di energia maggiore di quella necessaria alla *smart card*, che può dunque anche contenere microprocessori per funzioni più avanzate.

Esistono due diversi tipi di accoppiamento stretto, di tipo induttivo e di tipo capacitivo. Quello induttivo ricorda un trasformatore, ovvero spire connesse da un materiale di tipo ferrite al fine di rinforzare l'accoppiamento. Sia il rivelatore che il *transponder* contengono nuclei di ferrite che devono essere allineati per funzionare. L'accoppiamento capacitivo è simile a quello induttivo ma è basato su grandi condensatori che connettono fra loro il *transponder* ed il rivelatore. Questo si ottiene allineando sul *transponder* grandi aree conduttive in corrispondenza delle analoghe aree del rivelatore e facendole funzionare come dei condensatori.

2.2 Trasmissione, codifica e sicurezza del segnale

2.2.1 Trasmissione duplex o sequenziale

Affinché un sistema RFID funzioni sono necessari tre processi, il trasferimento di energia e gli accoppiamenti a valle e a monte. Di conseguenza i sistemi RFID possono essere divisi in tre differenti gruppi: *full duplex*, *half duplex* e sequenziali.

Nelle trasmissioni in *full duplex* o *half duplex* l'energia viene trasferita in maniera continua mentre, nel caso sequenziale, viene dapprima effettuato il trasferimento di energia e, solo in seguito, il *tag* risponde. In particolare, nei sistemi *half duplex* l'informazione è trasferita induttivamente attraverso la modulazione di carico oppure tramite il principio della diffusione elettromagnetica all'indietro; nei sistemi *full duplex* l'informazione è invece inviata su una frequenza separata, solitamente una subarmonica e, il flusso delle informazioni, può essere bidirezionale e continuo.

Il trasferimento sequenziale consiste al contrario di due fasi distinte; nella prima si invia energia al tag che la accumula in un condensatore. Successivamente il tag, utilizzando la potenza ricevuta, è in grado di funzionare per un certo tempo ed inviare la sua risposta. In questo caso si ha il vantaggio che, estendendo il tempo di carica ed aumentando la capacità, è possibile acquisire più energia per i circuiti elettronici.

2.2.2 Accesso multiplo e sistema anti-collisione

Spesso i sistemi RFID si trovano nella situazione nella quale molti tag sono in vicinanza di uno stesso rivelatore. Questo può causare problemi poiché i segnali provenienti da diversi tag possono interferire e rendere impossibile risolvere i singoli campi. Problematiche di questo tipo non sono né nuove né legate esclusivamente ai sistemi RFID, si presentano infatti nella maggior parte dei sistemi radio. Ad oggi esistono fondamentalmente quattro differenti approcci a tale problema, si possono usare accessi multipli nel dominio spaziale (SDMA), accessi multipli nel dominio della frequenza (FDMA), accessi multipli nel dominio temporale (TDMA) o accessi multipli a divisione di codice (CDMA). Di seguito una breve descrizione delle 4 possibili tecniche anticollisione.

SDMA

SDMA si ha quando l'area di lettura è abbastanza piccola da leggere un solo tag per volta. Una antenna direzionale può usare un piccolo angolo per riuscire ad attivare un solo tag per volta. Questa soluzione è piuttosto costosa e poco utilizzata.

FDMA

La tecnica FDMA usa frequenze diverse per separare le comunicazioni fra tag. I sistemi RFID induttivi o a diffusione all'indietro hanno la possibilità di usare segnali delle sottoportanti per trasmettere i loro messaggi, tuttavia questo significa che il rivelatore deve essere in grado di utilizzare tutte le diverse frequenze. Esistono poi alcuni sistemi UHF che hanno la capacità di utilizzare varie frequenze (salti di frequenze) per la trasmissione: tali salti di frequenza possono essere considerati come una forma di FDMA.

Sistemi FDMA per i tag hanno comunque poche applicazioni a causa del loro costo elevato.

TDMA

TDMA è la procedura più usata per i sistemi RFID. In termini semplici TDMA consiste di tutte le tecniche disponibili per prevedere più trasmissioni sequenziali sullo stesso canale. Le procedure possono essere o guidate da chi interroga, o guidate dal *transponder*. Quest'ultimo metodo è sicuramente più lento e meno flessibile a causa delle limitate risorse, tuttavia alcune procedure guidate da *transponder* hanno molto successo.

Le procedure guidate da un interrogatore si dividono in procedure a campione ed a ricerca binaria. Quelle di campionamento richiedono la presenza di una lista di tutti i tag disponibili. Possono essere lente in caso di presenza di grandi quantità di tag. Gli algoritmi di ricerca binaria sono al contrario molto flessibili e versatili e, per tale motivo, quelli più comunemente usati nei sistemi RFID. La procedura richiede dapprima a tutti i tag di identificarsi con un numero di serie unico; lo scanner riceve dunque i numeri di serie trasmessi simultaneamente e rivela tutti i bit, costruendo un albero binario per identificare i possibili candidati.

CDMA

Il metodo CDMA, o accesso multiplo a divisione di codice, non divide un canale di trasmissione in termini di tempo ma sovrappone molti canali codificati su una singola frequenza, basandosi sulla proprietà matematica di

ortogonalità. Codificando un messaggio usando vettori ortogonali si possono sovrapporre molti messaggi sullo stesso canale e questi possono essere decodificati se i vettori sono noti.

Il metodo CDMA richiede un trattamento del segnale più avanzato rispetto al metodo TDMA ed alle altre procedure. Questo lo rende un candidato improbabile per tag RFID a basso costo, tuttavia tale metodo è ampiamente utilizzato nella telefonia mobile e per le reti UMTS, basate su una variante di questa tecnica.

2.3 Frequenze disponibili, regolamentazioni e standard

2.3.1 Frequenze RFID

I sistemi RFID generano segnali radio che possono interferire con altre applicazioni radio. Di conseguenza devono assoggettarsi alle regolamentazioni che stabiliscono quali frequenze possano essere usate e la massima potenza ammissibile nella trasmissione. In Europa questo compito di regolazione delle frequenze è svolto dalla Commissione Europea per le Radiocomunicazioni (ERC).

La maggior parte delle frequenze sono già utilizzate per la navigazione e la localizzazione, radio, televisione e televisione satellitare, telecomunicazioni ed uso militare. Alcune bande di frequenza sono inoltre riservate ad usi industriali-scientifici-medici, le cosiddette bande ISM, ma sono quelle spesso utilizzate dalle applicazioni RFID.

Gli intervalli di frequenza sono qui di seguito descritti.

- L'intervallo di basse frequenze che include 134,2 kHz, denominato LF (low frequency) è spesso usato per applicazioni RFID, ma la velocità di trasmissione di dati è lenta a causa della bassa frequenza e viene quindi utilizzato esclusivamente per applicazioni di controlli di accesso, identificazione animale e controllo di proprietà.
- L'intervallo di frequenze fra 13,553 e 13,567 MHz è parte delle piccole lunghezze d'onda, spesso indicato come HF (high frequency) ed è comunemente usato da sistemi RFID induttivi a causa dell'intervallo più ampio del campo vicino. La velocità di trasmissione dei dati non è molto elevata ma migliore di quella LF, grazie alla frequenza più elevata. La comunicazione RFID per carte di prossimità in questo intervallo di frequenze è lo standard ISO 14443.

- Le frequenze nell'intervallo 868-870 MHz sono usate per applicazioni RFId soltanto in Europa, mentre fuori dell'Europa si usano le bande 888-889 MHz e 902-928 MHz. Sistemi che operano su questa banda usano il metodo della diffusione all'indietro e vengono usualmente chiamate bande UHF (ultra-high frequency).
- L'intervallo di frequenze 2,40-2,4835 GHz viene anche utilizzato da sistemi RFId commerciali ed è lo stesso intervallo usato da sistemi WLAN.

2.3.2 Regolamentazioni

Tutte le bande di frequenza autorizzate hanno anche restrizioni legate alla massima potenza che può essere trasmessa ed altre restrizioni speciali atte ad evitare il sovraffollamento delle frequenze. In Europa è centrale la direttiva REC 70-03 per sistemi a corta portata, infatti prodotti basati su RFId che aderiscono alla direttiva possono utilizzare il marchio CE (dichiarazione di conformità EC) senza bisogno di ulteriori licenze. In aggiunta al REC 70-03 esistono standard dell'ETSI (Istituto degli standard per le telecomunicazioni europeo), che sono gli EN 300330, EN 300220 ed EN 300440 che regolano gli intervalli di frequenza 9-25 MHz, 25-1000 MHz ed 1-25 GHz rispettivamente. In aggiunta a questi esiste un nuovo standard EN 302-208 che permette potenze più elevate di trasmissione nella banda UHF.

Riassumendo gli standard europei sono i seguenti [10].

- Lo standard EN 300330. Riguarda principalmente sistemi accoppiati induttivamente, il campo magnetico H massimo è misurato a 10 m dall'antenna con un segnale non modulato e dipende dall'area dell'antenna e dalla frequenza, permettendo emissione più alta su alcune frequenze, ad esempio 13,56 MHz.
- Lo standard EN 300220. Riguarda trasmettitori radio che includono gli RFId UHF e specifica la massima potenza di trasmissione invece della massima ampiezza del campo. La potenza massima trasmessa è definita come la potenza di uscita trasmessa a 50Ω o la potenza equivalente irradiata (ERP) usando un'antenna a dipolo.
- Lo standard EN 302208 estende la banda UHF e permette trasmissioni con potenza fino a 2 W ERP, ma non include alcuna regolamentazione sui cicli di lavoro. Introduce il concetto di ascoltare poi parlare, che significa che il ricevitore deve ascoltare per individuare la presenza di altre trasmissioni prima di trasmettere a sua volta, al fine di evitare

interferenze su una specifica banda. Richiede inoltre che sia introdotta una interruzione di trasmissione ogni 4 secondi per permettere ad altri ricevitori di utilizzare la stessa banda.

- Lo standard EN 300440. Specifica la potenza massima emessa come potenza irradiata effettiva ed isotropa (EIRP), cioè l'effetto necessario ad un'antenna isotropa per raggiungere la stessa densità di flusso alla posizione del ricevitore.

L'insieme degli standard della regolamentazione europea è invece riassunto nella tabella 2.1.

Tabella 2.1: Standard ETSI per la potenza massima ed altre regolamentazioni per frequenze ISM

Banda di frequenza	Potenza	Commento
119-135 kHz	$\approx 37.7 \text{ dB } \mu \text{ A/m @ } 10 \text{ m}$	Aumenta di 3 dB per ottava
7400-8800 kHz	9 dB $\mu \text{ A/m}$	sistemi EAS
13,553-13,567 MHz	42 dB $\mu \text{ A/m @ } 10 \text{ m}$	9 dB $\mu \text{ A/m @ } 150 \text{ kHz}$
865,000-865,600 MHz	100mW ERP	ascolta prima di parlare
865,600-867,600 MHz	2 W ERP	ascolta prima di parlare
867,600-868,600 MHz	500 mW ERP	ascolta prima di parlare
868,000-868,600 MHz	25 mW ERP	< 1% ciclo di lavoro
868,700-869,200 MHz	25 mW ERP	< 0.1% ciclo di lavoro
869,300-869,400 MHz	10 mW ERP	
869,400-869,650 MHz	500 mW ERP	< 10% ciclo di lavoro
869,700-870,000 MHz	5 mW ERP	
2400-2483,5 MHz	10 mW EIRP	
5725-5875 MHz	25 mW EIRP	
24,00-24,25 GHz	100 mW EIRP	

2.3.3 Gli standard

Esiste un ampio spettro di standard che riguardano l'uso di RFID, il principale tra questi è lo standard ISO dal quale sono stati emessi standard per la maggior parte delle applicazioni. Il secondo e più importante organismo che lavora con la standardizzazione delle tecnologie RFID è invece l'EPC Global [11], che si è occupato tra l'altro di emettere un codice elettronico unico che può essere utilizzato per l'individuazione dei singoli apparati. Tramite gli

standard ISO sono stati definiti campioni per i tag ‘smart card’ di vicinanza e di prossimità, ovvero gli ISO 14443 e ISO 15693. Più importante è il campione ISO 18000, tramite il quale si definisce l’interfaccia dell’aria per quasi tutte le frequenze RFId; è costituito da parti differenti, ognuna delle quali specifica le comunicazioni su determinate frequenze. C’è poi una parte che si occupa delle frequenze UHF, suddivise nelle bande 902-928 MHz in America e 888-889 MHz in Europa. Esistono inoltre norme ISO con lo scopo dell’identificazione animale, le ISO 11748/11785. Altri campioni rilevanti sono infine quelli applicabili alla catena di fornitura, ovvero ISO 17358, ISO 17363-17367 ed ISO 10374.2.

Contrariamente all’ISO che comprende principalmente scienziati ed accademici, l’EPC è uno standard più rappresentativo delle aziende che sono in procinto di usare la tecnologia. Ciò può essere anche desunto dal modo nel quale la EPC classifica gli RFId, la tecnologia è classificata nei campioni in base alle capacità di lettura o scrittura ed alla tipologia attiva o passiva. Ci sono differenti versioni dei campioni EPC, il primo è stato denominato Gen-0 ed è quello più ampiamente in uso oggi. Successivamente sono stati definiti Gen-1 e Gen-2. Il Gen-2 sta attualmente sostituendo le versioni più vecchi ma ha ancora alcuni problemi di compatibilità con le ISO-18000-6 nella banda UHF.

2.4 Il tag

2.4.1 Tag ad un bit

I tag ad un bit possono essere identificati ma non hanno la possibilità di contenere altre informazioni, questo è molto utile, ad esempio, per la protezione degli articoli in un negozio contro i furti. Un sistema come questo è denominato sorveglianza elettronica degli articoli (EAS) ed è in uso sin dagli anni ’70. Di seguito una rapida panoramica delle soluzioni più comuni di tali tipologie di tag.

Tag ad un bit di tipo EAS

Il tag ad un bit a radiofrequenza consiste di una bobina e di un condensatore a formare un cosiddetto circuito risonante LC perché risuona con i campi magnetici esterni a determinate frequenze, secondo i valori dei componenti LC. Un tag come questo può essere rilevato quando entra in un campo magnetico. Quando il tag inizia a risuonare assorbe energia dal campo magnetico oscillante delle bobine primarie, come mostrato in Fig. 2.3. Questo

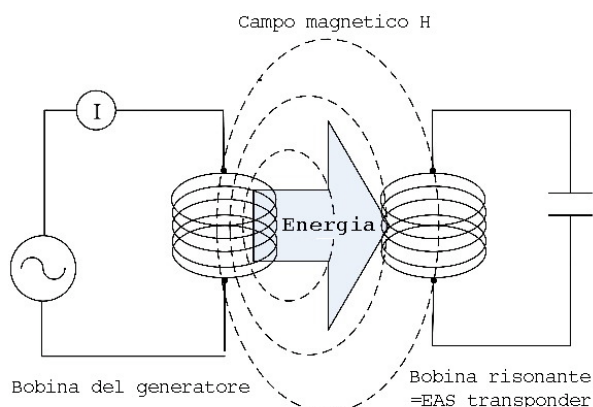


Figura 2.3: Il circuito risonante LC accoppiato induttivamente al circuito primario.

effetto viene usualmente osservato come una caduta della tensione sulla bobina primaria, che dipende dalla distanza fra il tag ed il lettore, la qualità del tag LC e la rapidità di penetrazione nel campo. Per avere un segnale di massima ampiezza, la frequenza delle bobine non è costante, ma varia in un intervallo, compensando così la velocità del tag in avvicinamento. La sensibilità del sistema dipende quindi dalla variazione di frequenza, si ottiene in questo modo un rateo di rilevazione del 70 %. Tuttavia i metalli interferiscono con il campo magnetico, rendendo difficile la rilevazione dei tag vicino a grandi superfici metalliche. Al giorno d'oggi tag RFID si trovano spesso dietro l'etichetta del codice a barre e, usualmente, i tag non sono rimossi ma distrutti alla consegna dell'oggetto identificato. Per far questo viene indotto un forte voltaggio nel circuito LC, che pone in cortocircuito il condensatore e distrugge così il tag.

EAS alle microonde

Il principio dei tag alle microonde è molto semplice, utilizza infatti la generazione di segnale attraverso diodi di armoniche, cioè frequenze che sono un multiplo intero della frequenza originale. Il tag è costituito da una antenna con un diodo nel mezzo, come illustrato in Fig. 2.4. Poiché il diodo lascia passare la corrente in un solo verso, le oscillazioni che rimangono intrappolate dietro il diodo generano una frequenza doppia di quella originale. Il sistema invia un segnale a microonde, ad esempio di 2,45 GHz e rimane in attesa della prima armonica, cioè 4,90 GHz quindi se è presente un tag genera armoniche che possono essere rivelate. Esiste però la possibilità di falsi allarmi causati da questa particolare frequenza, per evitare i quali si può usare una modu-

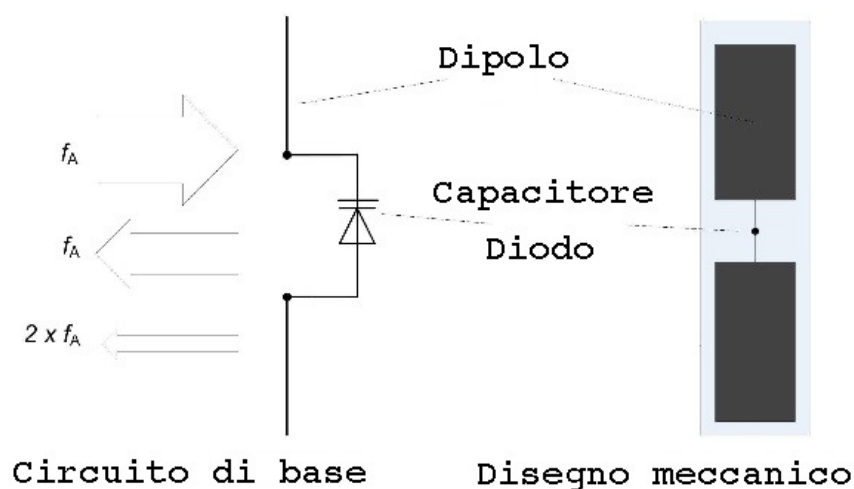


Figura 2.4: Un'antenna con un diodo genera un'onda armonica di frequenza doppia dell'originale, a causa della proprietà del diodo di lasciar passare corrente in una sola direzione, intrappolando così alcune oscillazioni.

lazione e lo stesso segnale modulante lo si può ritrovare nelle riflessioni del tag. I tag EAS a microonde vengono generalmente impiegati per proteggere articoli dai quali vengono poi rimosse e riusate.

EAS elettromagnetici

Il sistema EAS elettromagnetico consiste di una lega con alta permeabilità che può essere rivelata quando sia soggetta ad un campo elettromagnetico oscillante, poiché se il campo ha un'ampiezza elevata va in saturazione. Le leghe utilizzate sono appositamente studiate affinché raggiungano la saturazione in maniera abrupta, hanno cioè una curva di isteresi molto ripida ed il campo magnetico è a bassa frequenza, circa 20 Hz. Ogni volta che la lega magnetica raggiunge il suo punto di saturazione produce un piccolo disturbo nel campo oscillante, disturbo che può essere rivelato dal sistema come mostrato in Fig. 2.5. Il vantaggio del sistema elettromagnetico sta nel fatto che può essere disattivato e riattivato; infatti se la lega è polarizzata da un forte campo magnetico non può essere depolarizzata dal debole campo del sistema di rivelazione e quindi la polarizzazione la disattiva. I tag possono essere poi riattivati per depolarizzazione. Questi sistemi vengono usualmente usati nelle librerie dove i vari articoli vengono riconsegnati e devono essere riattivati.

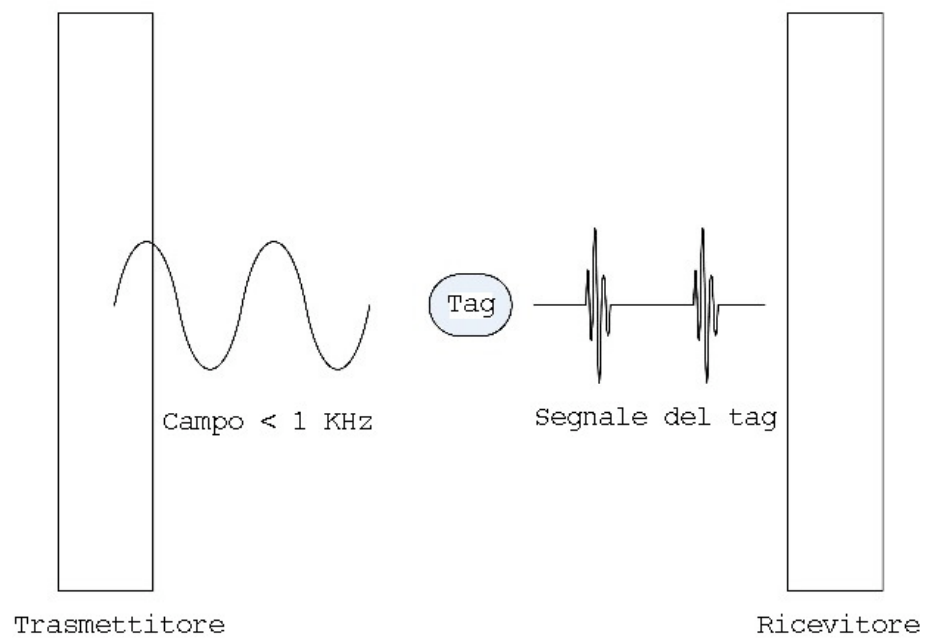


Figura 2.5: L'EAS elettromagnetico rivela le disturbanze nel campo elettromagnetico ogni volta che il magnete del tag raggiunge il suo punto di saturazione.



Figura 2.6: Il tag acustomagnetico funziona come un diapason. Il tag inizia ad oscillare con il segnale di attivazione e l'eco può essere rilevato.

EAS acustomagnetici

La sorveglianza elettronica è basata sul fatto che un metallo magnetostrittivo può convertire energia magnetica in energia meccanica e viceversa, infatti quando un tale tipo di metallo riceve un breve impulso di un campo magnetico oscillante inizia a vibrare meccanicamente come un diapason ed emette radiazione elettromagnetica di piccola ampiezza. Il sistema di rilevamento invia brevi impulsi a circa 58 kHz e rimane in attesa di risposta. Se un tag acustomagnetico è presente assorbirà energia ed oscillerà nel periodo dell'impulso decadendo lentamente durante il periodo di assenza di segnale, come avviene per un diapason (Fig. 2.6). Il sistema rivela il segnale di risposta e, per assicurarsi della sua corretta origine, sia fase che ampiezza sono confrontate con il segnale interrogante. Il vantaggio di questo tipo di EAS è che i tag acustomagnetici possono essere accesi e spenti ed hanno la capacità di funzionare nelle vicinanze di metalli. Contrariamente ai tag elettromagnetici, quelli acustomagnetici sono disattivati dalla depolarizzazione e riattivati per polarizzazione.

2.4.2 Sistemi di sola lettura

Ci concentreremo d'ora in poi su tag RFID caratterizzati da memorie di più di un bit, tag che hanno cioè la capacità di immagazinare una certa quantità di informazioni e di comunicarle al reader. I tag di sola lettura sono sem-

plici, contengono un numero seriale unico, che viene trasmesso su richiesta e che viene usualmente scritto durante il processo di costruzione, solitamente codificato costruendo dei ponti elettrici specifici sul chip. Usualmente questi circuiti semplici contengono anche la logica per evitare le collisioni, permettendo quindi la lettura simultanea di più tag.

Cristalli SAW

I circuiti ad onda acustica superficiale (SAW) sono tag RFID passivi che operano su livelli di energia estremamente bassi. Sono in realtà circuiti di tipo acustico più che elettronico, che consistono di un cristallo piezoelettrico che cambia dimensioni in dipendenza del campo elettrico nel quale viene immerso e di una piccola antenna che cattura il campo elettrico e lo invia al cristallo piezoelettrico. Il cristallo piezoelettrico viene sottoposto al campo oscillante e genera onde acustiche che si propagano lungo la superficie ad una velocità di circa 3-4 Km/s e che vengono riflesse, all'indietro, all'antenna da molti riflettori sul cristallo. Le onde riflesse sono trasformate nuovamente in impulsi elettromagnetici che possono essere rivelati dal cristallo.

Le onde acustiche di superficie sono sostanzialmente più lente delle onde elettromagnetiche, il che implica che le riflessioni dal cristallo SAW arrivano con molto ritardo rispetto alle onde riflesse direttamente. Ad esempio una riflessione delle onde radio a più di 100 m, impiega circa 0.5 ms e viene smorzata di più di 160 dB. Poiché sono necessari al chip SAW circa 1.5 ms per rispondere, tutte le riflessioni radio del segnale iniziale sono comunque completamente attenuate. Questo lascia poco spazio per l'interferenza e rende il segnale SAW più facile da rivelare anche per piccole ampiezze.

2.4.3 Sistemi di lettura e scrittura

Alcuni sistemi permettono una sola scrittura del tag e molte letture, sono i sistemi chiamati WORM (Write Once Read Many). Questi tag sono molto versatili poiché è possibile scriverci un proprio numero di serie, quando applicate ad un particolare oggetto, invece di utilizzare il numero predifinito. Circuiti più avanzati permettono poi sia la scrittura che la lettura dei tag un numero elevato di volte ed il contenuto può essere modificato in modo remoto dal rivelatore di tipo scanner. Un tale sistema può contenere informazioni sul proprietario, la data di costruzione o il momento in cui è stato scritto per l'ultima volta, tutte azioni che richiedono più funzioni logiche da parte del circuito elettronico e che lo rendono più complesso. Inoltre il circuito deve essere in grado di risolvere gli accessi ed impedire il cambiamento del suo contenuto, utilizzando eventualmente la crittazione dei dati.

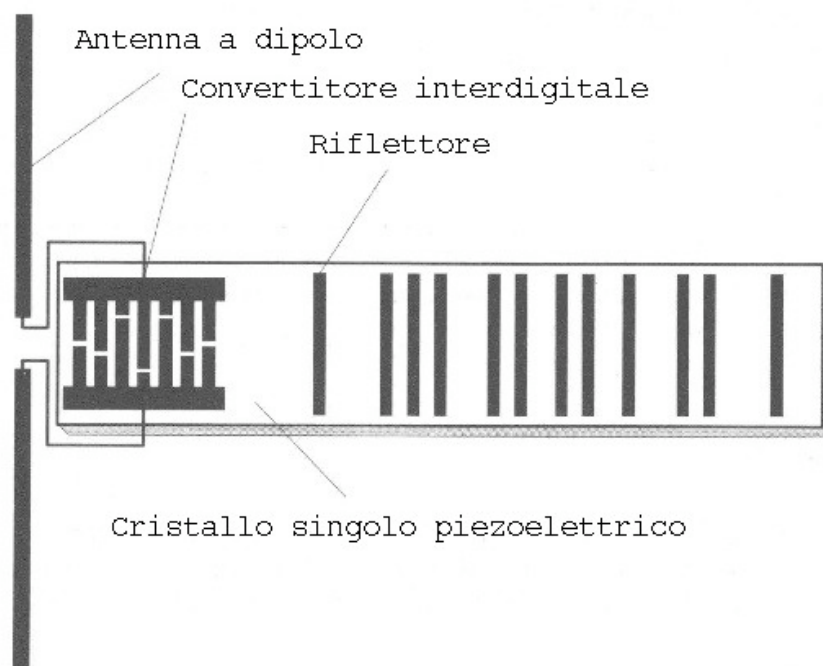


Figura 2.7: Il tag SAW consiste di un cristallo piezoelettrico con un reticolo di barriere riflettenti alla superficie.

2.4.4 Portata dei sistemi RFID

Come già discusso, tutti i sistemi RFID hanno due modi di base di scambiare informazioni, l'accoppiamento induttivo o la diffusione elettromagnetica all'indietro. Accoppiamento induttivo significa che il campo magnetico del sensore si accoppia con la bobina del tag, come avviene in un trasformatore, cosa che richiede che il tag sia all'interno del campo vicino del sensore. La diffusione elettromagnetica all'indietro implica invece che l'onda sia riflessa da un'antenna in certe specifiche condizioni e non in altre. In questo modo un sensore può rivelare la presenza o la mancanza di diffusione ed interpretarla come un segnale digitale. Inoltre la comunicazione elettromagnetica a diffusione lavora anche al di fuori della regione di campo vicino del rivelatore. Le applicazioni RFID vengono usualmente classificate in base alla portata dell'apparato, accoppiamento vicino, di prossimità, di vicinanza e a lungo raggio, come descritto nella tabella 2.3.

- L'accoppiamento vicino si riferisce a tag RFID o carte intelligenti che devono essere molto vicine al lettore, cosa che ha il vantaggio di un

efficace trasferimento di energia e permette di usare microprocessori più potenti.

- L'accoppiamento di prossimità è relativo alle cosiddette carte intelligenti che possono essere usate sulle piccole distanze (come ad esempio i biglietti per il trasporto pubblico) e l'utente deve porre la carta intelligente vicino al rivelatore.
- L'accoppiamento di vicinanza ha una portata leggermente maggiore di quello di prossimità. Può essere usato a distanze più lunghe ma è comunque necessaria un'orientazione corretta per una rivelazione positiva. È possibile utilizzare antenne speciali che possono indurre flussi magnetici in tutte e tre le dimensioni spaziali per assicurare rivelazioni ad alta efficienza.
- Gli RFID di lungo raggio sono utilizzati usualmente per rilevare ed identificare proprietà, quali ad esempio i contenitori.

La portata dei sistemi RFID può essere fortemente influenzata dalla presenza di altri materiali vicini o posti nella direzione del rivelatore, come ad esempio grandi oggetti metallici. La presenza di oggetti metallici nelle vicinanze di un circuito può modificare la frequenza di risonanza dell'accoppiamento induttivo, comportando una riduzione della portata del segnale. Il problema si presenta anche il segnale RFID che utilizza l'effetto scattering, anche tali tipologie di tag sono facilmente alterate dalla presenza di materiali diversi in dipendenza della frequenza. Frequenze UHF o frequenze dell'ordine di 900 MHz sono facilmente riflesse da superfici metalliche ed assorbite in maniera effettiva dall'acqua. Frequenze più elevate, quali i 2.45 GHz, sono attenuate in maniera minore da diversi materiali, ma sono più costose e spesso richiedono di essere semipassive, devono cioè includere una batteria per alimentare l'elettronica.

Tabella 2.2: Tab. 2.3: Gli RFID sono usualmente catalogati secondo la loro portata.

Nome	Portata	Metodo
Accoppiamento stretto	$< 1 \text{ cm}$	Induttivo
Accoppiamento di prossimità	15 cm	Induttivo
Accoppiamento di vicinanza	$< 1 \text{ m}$	Induttivo
Lunga portata	$1 - 10 \text{ m}$	Diffusione all'indietro

2.4.5 Transponder con capacità di sensore

I circuiti RFID possono essere equipaggiati con un convertitore analogico digitale che permetta la misura dei segnali. Si possono utilizzare diversi apparati di misura, l'unico vincolo è che la potenza impiegata sia abbastanza bassa da far sì che una semplice batteria possa garantirne un tempo di funzionamento ragionevole. Esistono ad esempio sensori di temperatura miniaturizzati che possono essere combinati a sistemi RFID. I tag di tipo SAW hanno invece un'interessante caratteristica che permette di utilizzarli come sensori: i cristalli SAW riescono infatti a convertire le onde elettromagnetiche in acustiche e viceversa. Tuttavia la velocità delle onde acustiche di superficie dipende dalle proprietà del materiale della superficie, infatti se il materiale è sottoposto a sforzi meccanici, quali allungamenti, curvature o compressioni, la velocità delle onde di superficie viene modificata. In alcuni cristalli, inoltre, la velocità delle onde di superficie dipende anche dalla temperatura del materiale. Cambiamenti della velocità delle onde di superficie possono essere rilevati come uno sfasamento lineare rispetto all'impulso di interrogazione originario. I cristalli SAW usati come sensori hanno comunque l'addizionale vantaggio di avere un intervallo di temperature d'uso molto ampio, possono lavorare anche a temperature molto basse, anche se la loro sensibilità diminuisce. Alcuni tipi speciali di tag costruiti con langasite e platino possono funzionare fino a circa 1000° C.

2.5 Antenne nei Sistemi RFID

Come si è accennato in precedenza, un ruolo di grande rilevanza nei sistemi RFID passivi è giocato dalle antenne del tag e del reader. Le antenne infatti sono la fonte primaria di energia per i tag ed i problemi di orientamento e polarizzazione influiscono significativamente sulle prestazioni.

2.5.1 Orientamento e polarizzazione del segnale

Il collocamento del tag senza rispetto della polarizzazione del campo generato dal reader provoca significative riduzioni nella distanza operativa, fino al caso di non riuscire a leggere un tag orientato ortogonalmente rispetto al campo generato dal reader. Gli apparati con accoppiamento induttivo sono particolarmente sensibili all'orientamento delle antenne che, si ricorda, sono assimilabili agli avvolgimenti primario e secondario di un trasformatore elettrico. L'orientamento ottimale per le spire delle due antenne di tag e reader è quello parallelo tra loro. Gli apparati con accoppiamento EM, sia passivi

che attivi, devono tener conto di due caratteristiche principali delle antenne (sia del reader che del tag)

- diagramma di radiazione;
- polarizzazione del campo EM.

Il diagramma di radiazione è la rappresentazione tridimensionale del guadagno d'antenna, quest'ultimo misurato (in unità logaritmiche dB) per confronto tra l'antenna considerata e un'antenna di riferimento isotropa (cioè che irradia egualmente in tutte le direzioni). Solitamente si preferisce considerare le sezioni orizzontali e verticali del diagramma (tridimensionale) di radiazione. L'intensità del campo generato da un'antenna è funzione del diagramma di radiazione dell'antenna medesima. Per il trasferimento ottimale di potenza tra reader e tag, i vettori di massima intensità dei diagrammi di radiazione delle due antenne devono essere allineati. Polarizzazione del campo EM Il campo EM è rappresentabile con due vettori campo elettrico E e magnetico H ortogonali tra loro e rispetto all'asse (X) di propagazione del segnale. Se la direzione dei due vettori rimane inalterata e solo l'intensità ed il verso variano in modo sinusoidale, il segnale si dice polarizzato linearmente. Se i vettori del campo elettrico E e magnetico H ruotano attorno all'asse X (direzione di propagazione del segnale), il segnale è detto a polarizzazione circolare. Una direzione parallela dei due vettori di campo elettrico (e necessariamente anche i due di campo magnetico) delle antenne del tag e del reader provoca il massimo trasferimento di energia. In altri termini, se le antenne sono a polarizzazione lineare è necessario che i relativi dipoli siano paralleli. Se almeno una delle antenne è a polarizzazione circolare, quest'ultima condizione non è necessaria ed è sufficiente che coincidano gli assi di massima propagazione del segnale.

2.5.2 Antenne per i tag ad accoppiamento elettromagnetico

Le antenne dei tag ad accoppiamento elettromagnetico sono generalmente dei dipoli progettati anche per favorire la diffusione all'indietro. Per un trasferimento ottimale dell'energia, la lunghezza del dipolo deve essere pari a multipli della lunghezza d'onda. In via ottimale dovrebbe essere uguale a $\lambda/2$, il che comporta (per la banda UHF media) una dimensione intorno ai 16 cm. In realtà il dipolo è spesso costruito a $\lambda/4$, accordandolo con varie tecniche, comunque deviare da questi sottomultipli di lunghezza d'onda comporta gravi perdite di prestazioni. A proposito delle prestazioni, difficilmente le speci-

che tecniche o gli standard forniscono i valori di due importanti parametri connessi alle antenne dei tag:

- Sensibilità energetica (energizing sensitivity) indica l'energia del campo EM necessaria al funzionamento del tag.
- Riflettività (reflectivity) indica il rapporto tra potenza RF incidente e riflessa dall'antenna del tag.

Per quanto riguarda il problema della polarizzazione, a volte si opera per rendere i tag UHF meno sensibili alla polarizzazione del campo EM, ricorrendo ad una antenna con due dipoli sistemati in posizione ortogonale che dovrebbe minimizzare la sensibilità alla polarizzazione del segnale incidente.

2.5.3 Antenne per reader di tag passivi

Nei sistemi RFID le antenne dei reader sono componenti di complessa progettazione. Un tag che funziona in con accoppiamento magnetico ha una antenna che è costituita da una spira chiusa sui due contatti del microchip e pertanto ha un costo di produzione più elevato di un tag che funziona con accoppiamento elettrico e la cui antenna è sostanzialmente un semplice dipolo (due fili attaccati ai contatti del microchip).

Per applicazioni in prossimità ($< 10\text{ cm}$) ed a bassa potenza, tipicamente carte senza contatto e NFC, le antenne sono integrate nel reader. Per applicazioni a più lunga distanza (10 cm a 1 m per HF; $< 10\text{ m}$ per UHF) le antenne sono quasi sempre esterne. Nella progettazione è necessario specializzare l'antenna per le varie applicazioni ed ambienti di collocazione. Il progetto delle antenne è radicalmente differente per le bande UHF o superiori e per quelle LF ed HF a causa del funzionamento ad accoppiamento induttivo in quest'ultime. La maggior parte delle antenne per RFID devono essere accordate sulla risonanza alla frequenza operativa. Questo espone il sistema all'influenza di molti fattori esterni che possono desintonizzare l'antenna dalla frequenza di risonanza, riducendo la distanza operativa. Le cause sono varie e dipendenti anche dalla frequenza operativa. Se ne elencano di seguito alcune.

- Effetto pelle.
- Perdite dovute a prossimità di masse metalliche.
- Disadattamento con il cavo d'antenna.
- Fading del segnale.

- Prossimità con altre antenne di reader.
- Variazioni ambientali.
- Effetti armonici.
- Interferenze con altre sorgenti RF.
- Riflessioni del segnale.
- Intermodulazioni (cross talk).

Effetti generati dal movimento di una delle due antenne nel campo magnetico generato dall'altra, che genera correnti indotte (di Foucault o eddy current) come in un generatore elettrico. Queste correnti interferiscono con quelle prodotte dall'accoppiamento induttivo tra tag e reader. I problemi di de-sintonizzazione causati dai fattori elencati possono essere minimizzati ricorrendo a circuiti di auto sintonia dinamica che lavorano sui parametri di sintonia come sistemi in controreazione. Una tecnica adoperata di frequente nelle applicazioni di carico e scarico delle merci è quella delle antenne a Portale. Un portale prevede una configurazione di antenne in grado di leggere i tag sugli oggetti che transitano attraverso di esso. I portali sono spesso previsti per il transito di pallet (pedane) o per nastri trasportatori; un'altra applicazione molto diffusa li vede operare all'uscita dei punti vendita come punto di transito obbligato per i clienti che portano merci acquistate fuori dal locale. Alcune caratteristiche dei portali sono elencate nel seguito.

- Spesso nei portali vengono usate antenne a polarizzazione circolare per minimizzare gli effetti dell'orientamento degli oggetti.
- La tecnica dei portali riduce sia la probabilità di leggere tag indesiderati sia le interferenze tra porte vicine.
- Con configurazione a portale è possibile leggere il 98,5% dei cartoni dotati di tag sulle pedane che passano attraverso le porte.
- Equipaggiando i portali con sensori di moto si pu distinguere automaticamente tra il carico (in entrata) e lo scarico (in uscita) delle merci.

Un'ulteriore configurazione per lettura di pallet e imballaggi, che prevede costi inferiori rispetto ai portali con antenne multiple, è quella che prevede che le pallet siano poste su piattaforme rotanti. Le soluzioni commerciali assicurano, con alta probabilità, la lettura della totalità dei tag contenuti.

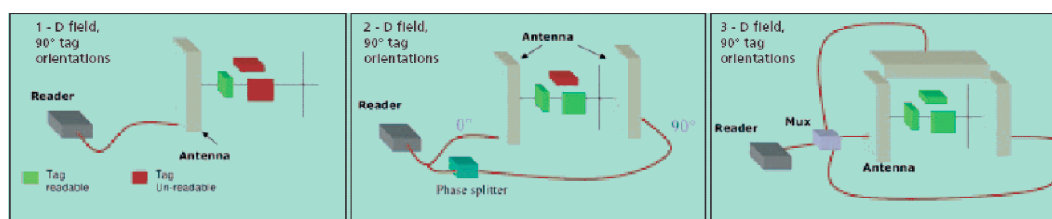


Figura 2.8: Sistemi di antenne ad una, due e tre dimensioni spaziali.

2.6 Polarizzazione delle antenne del reader

Per quanto riguarda il problema della polarizzazione, questo pu essere superato con vari accorgimenti nella realizzazione delle antenne del reader come illustrato nella tabella 2.3 seguente.

Tabella 2.3: Antenne del reader.

Banda di frequenza	Antenna del reader
UHF	Antenna con polarizzazione circolare
HF	Antenne in diverse locazioni con differenti orientamenti
qualsiasi	Due antenne a 90°
qualsiasi	Tunnel di reader 3D

I sistemi di antenna a portale, operano con diverse antenne aventi polarizzazioni tra loro ortogonali per minimizzare gli effetti già descritti in precedenza.

2.7 Infrastrutture Informative per Sistemi RFId

La funzionalità di un sistema RFId è in gran parte dipendente dall'infrastruttura informativa associata al sistema medesimo. In particolare i sistemi che trattano EPC (Electronic Product Code), sono sempre più frequentemente interconnessi a reti IP, sia a Intranet private sia all'Internet pubblica. La politica per gestire gli identificatori RFId è simile alla gestione dei nomi in ambiente IP: fondamentalmente gli identificatori devono essere unici e tale unicità richiede un coordinamento. Una celebre proposta di architettura di

sistema RFID è stata sviluppata da EPC global. Cardine di questa architettura è il servizio Object Name Service (ONS). Dato che i tag Etichette intelligenti associati ai singoli oggetti memorizzano, in genere, solamente l'EPC dell'oggetto medesimo, il servizio ONS collega l'EPC letto da un tag con le informazioni specifiche del prodotto associato a quel tag. Quindi l'ONS stabilisce il collegamento tra una risorsa fisica (identificata dal tag che trasmette l'EPC) e la relativa informazione (che è formattata mediante il cosiddetto Physical Mark-up Language o PML) attraverso Internet. L'informazione su un prodotto pu consistere di dettagli sul prodotto medesimo, altri dati o dettagli sull'origine e la storia della merce. Questo servizio Object Name Service (ONS) è molto simile al servizio della rete Internet Domain Name Service (DNS), che fornisce un indirizzo simbolico denominato URL (Uniform Resource Locator) all'indirizzo IP (una serie di numeri) del computer che contiene i dati. L'ONS gestisce la corrispondenza tra gli EPC e gli URL. Lo scopo dell'infrastruttura per la gestione dell'EPC è di consentire l'immediato accesso all'informazione, non solo allo scopo di ottimizzare i servizi esistenti quali l'ASN, ma anche la creazione di nuovi servizi, ad esempio l'attivazione di offerte speciali, quando si approssima la data di scadenza del prodotto, oppure il richiamo automatico in fabbrica di stock di prodotti da parte del fabbricante. L'architettura informativa (detta anche rete EPC) è composta da cinque elementi funzionali. Nel seguito viene illustrata una sintetica descrizione delle componenti del sistema.

- L'Electronic Product Code, l'identificativo contenuto nei tag etichette elettroniche e da queste restituito sotto interrogazione, è un numero (comunemente di 96 bit) che identifica la versione del codice EPC medesimo e gli identificativi del fabbricante, della classe di oggetti e del singolo oggetto.
- Un Identification System composto essenzialmente dall'insieme di tag e reader che operano per ottenere gli identificativi.
- Il Middleware o Savant Software.

Il sistema offre servizi per ridurre il carico ed il traffico in rete verso i sistemi server a standard PLM in rete back-end systems, svolgendo vari compiti relativi alle informazioni acquisite dai tag associati ai prodotti. Il volume di dati potenzialmente generato da miliardi di tag EPC, infatti, paralizzerebbe molto velocemente gran parte dei sistemi software e delle infrastrutture informative aziendali esistenti. La risposta a tale problema è costituito dal middleware o Savant. I middleware RFID sono dei software di transito che sono situati in maniera quasi invisibile tra i reader RFID e i server che memorizzano l'informazione dei prodotti. Ci consente alle aziende di elaborare

dati di tag, relativamente poco strutturati, ottenuti da molteplici reader, indirizzandoli verso opportuni sistemi informativi. Tali software sono in grado di operare differenti tipi di operazioni quali il monitoraggio dei dispositivi reader, gestire false letture, realizzare una cache di dati ed infine interrogare l'Object Naming Service (ONS).

- Object Name Server (ONS); L'ONS fa corrispondere il codice EPC all'informazione sul prodotto attraverso un processo di interrogazione simile al DNS (Domain Name Service) utilizzato in Internet, che è già provato essere una tecnologia in grado di gestire i volumi di dati generati da un sistema EPC RFID. Il server ONS fornisce l'indirizzo IP di un server PML che possiede l'informazione relativa al particolare EPC.
- Physical Markup Language (PML); è un linguaggio basato su XML e fornisce una rappresentazione standardizzata dell'informazione proveniente dalla rete EPC. Infatti mentre l'EPC è in grado di identificare il particolare prodotto, l'informazione realmente utile è descritta mediante il PML che è concepito come un formato di documento per lo scambio di dati attraverso Internet. Il linguaggio PML è utilizzato per descrivere tutte le informazioni rilevanti per un prodotto, qui elencate.
 - Informazioni di locazione del prodotto, ad esempio il tag X è stato rilevato dal reader Y, che è situato presso il molo di carico Z.
 - Informazioni telemetriche (proprietà fisiche di un oggetto, ad esempio la sua massa; proprietà fisiche dell'ambiente nel quale un gruppo di oggetti è inserito, ad esempio la temperatura).
 - Informazioni di composizione, ad esempio la composizione di una unità logistica comprendente pallet, scatole, oggetti. Il modello informativo comprende anche la possibilità di memorizzare la storia dei differenti elementi elencati in precedenza, ad esempio un insieme di letture relative a posizioni distinte di un singolo oggetto rappresenta una traccia del percorso dell'oggetto stesso.
 - Date di produzione e di scadenza.

Da quanto esposto appare che l'adozione di un'infrastruttura informativa, oltre agli innegabili vantaggi, fa emergere anche una nuova esigenza nel processo di standardizzazione. L'attuale normativa infatti è polarizzata sull'interoperabilità tra tag e reader. Questo dovrebbe assicurare l'intercambiabilità dei tag in un sistema, ma non può garantire quella dei reader. Per assicurare quest'ultima, infatti andrebbe normalizzata l'interfaccia tra il reader medesimo ed il sistema informativo.

Capitolo 3

Sistemi di tracciamento e monitoraggio

3.1 Introduzione

Tra le varie tecnologie elettroniche ed informatiche che si sono imposte negli ultimi decenni, quelle relative alla identificazione a distanza ed in particolare i sistemi RFId, sono tra le più interessanti, permettendo l'immissione di dati in un sistema di calcolo (un computer, un palmare o qualsiasi altro dispositivo controllato mediante microprocessore) senza far ricorso ad una tastiera. Rappresentano uno strumento estremamente efficace per identificare e tener traccia di qualsiasi elemento: oggetti, posizioni, animali o persone.

In un periodo di estrema competitività le tecnologie di Data Collection RFId possono costituire un decisivo elemento di vantaggio nella gestione dell'intera filiera produttiva e logistica intervenendo ad automatizzare ed ottimizzare le varie fasi del processo: gestione dei materiali e delle risorse, produzione, controllo qualità, confezionamento, vendita e distribuzione, protezione del marchio e assistenza clienti. È evidente che l'utilità della tecnica di riconoscimento a radiofrequenza viene esaltata dal suo impiego in un sistema automatico di raccolta dati.

In questo capitolo, viene effettuata un'analisi sull'attuale diffusione e sulle prospettive future dei sistemi di identificazione a radiofrequenza, focalizzandosi sull'importanza che la problematica della tracciabilità assume nel settore sanitario e su alcune storie di successo di applicazione di tale tecnologia in quest'ambito [12].

3.2 Le Applicazioni

Per i sistemi di riconoscimento a radiofrequenza è possibile schematizzare in tre grandi settori le diverse aree di impiego.

Sistemi di sicurezza, costituiti da un lettore dedicato che riconosce o comunica semplicemente con un numero limitato di transponders (a questo gruppo appartengono, ad esempio, gli immobilizzatori per autoveicoli, le serrature elettroniche per i quali non è previsto un sistema di raccolta dati,...).

Sistemi di riconoscimento, costituiti da un numero anche grande di lettori che si prendono cura di molti transponders ma con sistemi di raccolta dati abbastanza semplici o addirittura senza (tra questi ci sono, ad esempio, i sistemi di controllo accessi, quelli anti-contraffazione, quelli basati su tessere prepagate,...).

Sistemi di controllo integrati, con i quali l'identificazione a radio frequenza associata ad un complesso sistema di raccolta dati garantisce la gestione completa di situazioni anche molto variegata. Secondo tale logica, possono essere realizzate le applicazioni più svariate, si pensi, per esempio, alla possibilità di marcare, smistare e rintracciare in ogni momento i bagagli in tutti gli aeroporti del mondo, di seguire in tutte le sue fasi la fabbricazione di un certo prodotto o di tenere sotto controllo il movimento delle fiches in una casa da gioco.

Relativamente alle diverse aree di impiego individuate, sicurezza, riconoscimento e controllo, la quantità di applicazioni realizzabili nei diversi settori è comunque vastissima e in continua crescita. In particolare, il rapido sviluppo delle applicazioni basate sulle tecnologie RFID, sfrutta da un lato le continue evoluzioni di tale tecnologia e, dall'altro, la consapevolezza che progressivamente il mercato sta acquisendo, sui vantaggi apportati dall'introduzione di queste tecnologie nei diversi settori. Di seguito viene fornito un elenco, sicuramente non esaustivo, delle principali applicazioni negli ambiti di applicazione attualmente più sviluppati.

Anticontraffazione - I tag RFID sono utilizzati come strumento di identificazione nei passaporti, in documenti, in certificati. Il primo paese ad adottare i passaporti con RFID (il cosiddetto 'e-passport') è stato il governo malese nel 1998; in questi passaporti il tag contiene, oltre alle informazioni dell'intestatario, la storia dell'utilizzo (data, giorno e luoghi) per tutte le entrate e le uscite dal paese. Dal 2006 i tag RFID sono utilizzati nei nuovi passaporti Inglesi e Americani. Gli Stati Uniti hanno emesso 10 milioni di passaporti nel 2005 e le aspettative sono per 13 milioni nel 2006. I chip memorizzeranno le stesse informazioni stampate nel passaporto e includeranno anche una fotografia digitale del proprietario. Si prevede di inserire inoltre

una sottile membrana metallica al fine di rendere difficile le letture non autorizzate quando il passaporto chiuso. Anche il Governo italiano ha adottato tale standard e, anche in Italia, i nuovi passaporti sono disponibili dall'ottobre 2006. Lo standard per il passaporto RFId è stato in particolare definito dalla International Civil Aviation Organization (ICAO); lo standard individua i chip RFId ISO 14443 come circuiti integrati contactless per i passaporti e richiede che i passaporti RFId siano identificabili da un logo standard di riconoscimento sulla copertina.

Un'altra applicazione diffusa è quella delle etichette con transponder RFId implementate contro la contraffazione di beni di lusso (abbigliamento, borse, cinture, liquori, profumi,...).

Controllo accessi - In questo settore le applicazioni sono molteplici: sistemi di apertura porte e cancelli, sistemi di accesso parchi divertimenti, zone sciistiche, zone pubbliche in generale, gestione parcheggi. Vengono utilizzati per la gestione di varchi motorizzati o il controllo delle presenze all'interno di una determinata zona. L'RFId rappresenta inoltre una valida alternativa sia alle tecnologie di 'personal identification' tradizionali (badge, tesserini, ecc.), sia alle tecnologie di 'strong authentication' basate sul riconoscimento degli attributi biometrici di un individuo. A differenza di tali tecnologie non richiede contatto visivo per l'identificazione e permette il riconoscimento anche a distanza. I tag possono essere stampati o inseriti in oggetti di forma diversa, come ad esempio un badge identificativo e, quindi, personalizzati con stampe, immagini, loghi, fotografie e codici a barre. Possono essere registrate informazioni come: dati anagrafici, foto di riconoscimento, data e ora di transito, verso di transito e altre informazioni.

La tecnologia più comunemente utilizzata è quella dei tag a 15 kHz o 13,56 MHz, ISO 14443 o ISO 15693.

Ticketing - Uno degli ambiti di maggiore applicazione planetaria delle soluzioni contactless RFId è data dai sistemi di bigliettazione elettronica. Le città di Parigi, Londra, Roma, Torino, Milano, Venezia utilizzano contactless smartcard con tecnologia RFId per permettere l'accesso ai mezzi di superficie e metropolitana. Esistono inoltre sistemi di pagamento per ferrovie, telefono; sistemi per la gestione di carte prepagate o distributori automatici; abilitazione a computer, stampanti, copiatrici,...

Le tecnologie più usate fanno riferimento allo standard ISO 14443 o allo standard ISO 15693.

Gestione archivi - Applicando i tag sui beni delle biblioteche (libri, video, CD, audio, ecc.) è possibile rilevare a distanza le informazioni in esso contenute (tipo di oggetto, descrizione, numero inventario, rappresentazioni fotografica, ecc.), consentendo di amministrare i beni in dotazione con estrema facilità ed efficacia. La tecnologia RFId presenta vantaggi anche nelle



Figura 3.1: Il telepass è uno degli esempi più noti di sistema RFID per il controllo accessi. Tag attivo sulla frequenza 5,795-5,815 GHz

operazioni di attivazione di un prestito e restituzione alla biblioteca, grazie all'introduzione di stazioni self service estremamente facili da usare.

È inoltre possibile utilizzarli per operazioni di tracciamento pratiche. L'applicazione di una etichetta RFID a ogni pratica consente di automatizzare la ricerca di queste negli archivi cartacei, di effettuare automaticamente la registrazione del prelievo e della restituzione e di mantenere traccia dei vari spostamenti tra uffici e depositi. Applicare un tag RFID su una pratica significa poterne gestire gli spostamenti e quindi, poterne gestire il workflow. Sistemi di questo tipo mirano all'ottimizzazione della gestione delle pratiche negli uffici.

Automotive - immobilizzatori per auto, motocicli; veicoli con transponder implementato nella chiave di accensione; sistemi di sicurezza.

Settore industriale - robotica e automazione; controllo nei processi di produzione; gestione dati nel controllo qualità. Interessante è l'applicazione di sistemi RFID nella manutenzione degli impianti.

Settore logistico - identificazione pallets, stazioni di lavoro, movimentazione delle merci; gestione rifiuti; magazzini automatici.

Rilevare ogni contenitore e ogni scaffale di magazzino con tag riduce gli errori nei prelievi e fornisce una identificazione certa dell'item; in funzione delle entità controllate si parla di 'Item Tagging' (oggetto unico) o 'Box Tagging'. La tecnologia RFID permette di leggere contemporaneamente più etichette, in generale fino a 100 in contemporanea, ciò fa sì che non sia più necessario aprire gli imballaggi per verificare il contenuto cercando il codice



Figura 3.2: a: tag HF incorporato in un bullone per uso automobilistico (Ford) - EMS, gruppo Datalogic (Italia). b: Car Immobilizer (Texas Instruments).

a barre, così come non è più necessario effettuare il conteggio manuale per la verifica dell'inventario fisico; con una serie di scansioni a distanza diventa possibile identificare e verificare la presenza di specifici oggetti in magazzino. La tecnologia maggiormente utilizzata è quella dei tag 868 MHz, ISO 18000-6.

In particolare, una classe di applicazioni nella quale l'uso degli RFID sta diventando pervasivo è quella relativa alla catena di distribuzione delle merci (supply chain). A questo proposito il Parlamento Europeo ha varato, già nel 2005, una legislazione che rende obbligatoria la tracciabilità dei beni lungo la catena di distribuzione. Questo ha favorito lo sviluppo degli RFID che si prestano molto meglio dei tradizionali codici a barre a veicolare informazioni sugli oggetti ed a trasferirle ai sistemi che li interrogano.

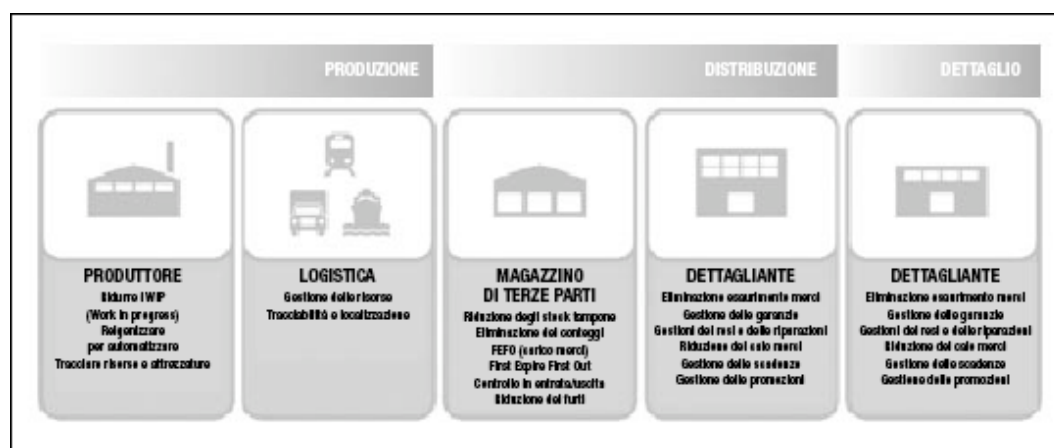


Figura 3.3: La catena di fornitura.

Gli RFID vengono usati, nella catena di distribuzione, principalmente co-

me supporto dei codici identificatori universali di oggetti EPC (Electronic Product Code). Questi estendono le informazioni contenute nei codici a barre (tipo di merce, produttore, ecc.), con identificativi univoci per i singoli oggetti, nonché, in alcuni casi, con molti altri dati sulle merci. La diffusione della tecnologia RFID, in un contesto di costi ridotti per i tag, renderà accessibile a tutti gli attori della catena di distribuzione (fabbricanti, distributori, trasportatori, dettaglianti) una quantità di dati sui prodotti mai vista finora.

Campo animale - Applicazioni tipiche sono quelle di identificazione: identificazione animali domestici con transponder iniettato, identificazione animali da laboratorio e controllo migrazioni, identificazione animali in comunità come mucche, pecore, prodotti ittici, con registrazione caratteristiche di origine.

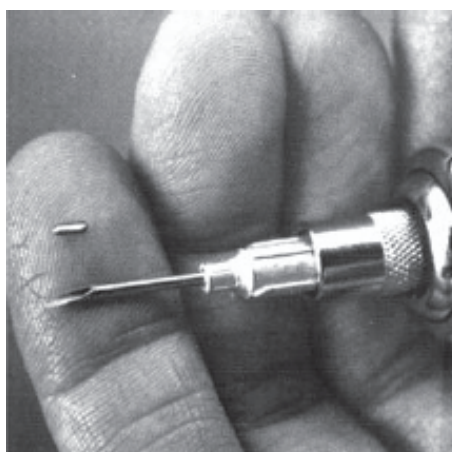


Figura 3.4: Il tag, racchiuso in un contenitore di vetro, viene iniettato in posizione sottocutanea negli animali di dimensioni più contenute.

In quest'ultimo caso, l'utilizzo degli RFID presenta notevoli vantaggi rispetto agli altri metodi utilizzati per l'identificazione degli animali (marchiatura sull'orecchio, tatuaggio, passaporto cartaceo); con l'applicazione dei tag tutte le informazioni necessarie sono residenti anche sui capi di bestiame e, grazie all'emissione di onde elettromagnetiche a bassa frequenza del tutto innocue, risultano accessibili ovunque l'animale si trovi. I chip possono contenere le informazioni indispensabili a garantire la qualità del capo come ad esempio: il codice dell'animale, i dati anagrafici del proprietario, le aziende presso le quali il capo è transitato, i controlli veterinari a cui l'animale è stato sottoposto ed i trattamenti subiti.

Altre applicazioni in sperimentazione sono quelle relative all'automazione macelli.



Figura 3.5: tag per identificazione animali da inserire nello stomaco dei bovini.

Settore Sanitario - controlli di manutenzione sulla strumentazione elettromedicale; gestione cartelle cliniche; tracciabilità sacche di sangue; gestione biancheria ospedaliera.

3.3 Comprendere opportunità e problematiche

3.3.1 Potenzialità della tecnologia RFId

Quello RFId, anche se spesso presentato come ambito tecnologico ben definito, è in realtà strettamente legato con la famiglia ben più ampia dei dispositivi elettronici delocalizzati interagenti tramite campi elettromagnetici. Di questa famiglia fanno parte oggetti assai più comuni come telefoni cellulari, computer portatili connessi tramite W-LAN e sistemi Wi-Fi ma anche sistemi più complessi ed evoluti come le Wireless Sensor Networks, reti composte da molti e piccoli sensori con funzionalità ricetrasmittenti, in grado ad esempio di monitorare un ambiente e di trasmettere le informazioni ad una base, facendo ‘rimbalzare’ il segnale attraverso nodi intermediari. In quest’ottica l’ascesa degli RFId non è altro che una tappa nella marcia verso un’intelligenza distribuita, o una ‘internet delle cose’, come spesso si sente dire, dove gli oggetti potranno interagire tra di loro e con l’ambiente scambiandosi informazioni, attraverso sensori ed attuatori. In un contesto però meno remoto e più concreto, la tecnologia RFId può cambiare il modo di fare business delle

aziende: ed è proprio questo il fattore trainante in grado di promuoverne una diffusione imponente.

Lo scenario consiste nell'attivazione di una rete globale del business che tracci i prodotti attraverso l'intera catena fornitori-consumatori, aiutando le imprese a migliorare la visibilità delle loro risorse e ad incrementare l'efficienza della gestione.

I vantaggi che le reti RFId saranno in grado di offrire alle aziende sono molteplici. Le reti hanno lo scopo di incrementare l'efficienza tracciando in maniera continuativa i dati del prodotto, la cui raccolta automatica si traduce in informazioni sempre aggiornate. Viene migliorata l'accuratezza nella gestione delle informazioni poiché vengono eliminate le immissioni manuali dei dati; inoltre, raccogliendo le informazioni in tempo reale, la rete rende possibile l'integrazione immediata dei dati all'interno delle logiche di produzione aziendali, ottimizzando qualità di gestione ed efficienza dei processi, nonché offrendo alle imprese l'opportunità di adottare, istante per istante, la miglior soluzione possibile. L'introduzione di una RFId network può inoltre produrre una sensibile riduzione dei costi, migliorando e automatizzando la comunicazione tra i partner commerciali all'interno della catena di fornitura. I meccanismi di identificazione propri di una rete RFId permetteranno poi di garantire l'integrità di merci e prodotti, monitorati costantemente dalla manifattura alla distribuzione al dettaglio.

È comunque ovvio che lo sviluppo di una tale tipologia di struttura non sarà un compito semplice: gestire, controllare e rendere sicure le informazioni all'interno della smisurata rete globale costituisce un'enorme sfida.

L'implementazione di una rete RFId globale efficace avrà in primo luogo un profondo impatto nel business e ci si aspetta che cambi abbastanza radicalmente il *modus operandi* delle imprese. Se da una parte questo rappresenta un impegno significativo per un'azienda, da un altro punto di vista, il business potrà in tal modo soddisfare la necessità sempre più urgente di rispondere istantaneamente alle nuove richieste del mercato. Le informazioni raccolte in tempo reale aiuteranno a minimizzare le perdite, ad accelerare l'elaborazione degli ordini e a migliorare la sensibilità alle richieste dei consumatori, grazie alla possibilità data alle aziende di gestire al massimo dell'efficienza le loro risorse in tutte le fasi, dalla ricezione alla spedizione, dall'organizzazione alla vendita.

È importante poi valutare il bisogno che le imprese hanno, per avere vantaggio competitivo, di modificare il business in funzione della realtà che cambia. I processi commerciali devono mutare perché gli uomini stanno per essere sommersi dall'incredibile mole di dati generata dalle moderne tecnologie e travolti dalla velocità con cui le informazioni giungono in tempo reale. Da qui la necessità di una RFId network che supporti il business in maniera

adeguata, affinché sia demandata alle ‘macchine’ la gestione dei dati grezzi e l’applicazione delle operazioni di routine e gli uomini spendano le loro risorse unicamente per definire strategie commerciali di alto livello.

Anche l’innovazione tecnologica gioca un ruolo importante nello sviluppo e nella diffusione della tecnologia RFId. Mentre la tecnologia RFId esiste ormai da più di 50 anni, l’RFId solo ultimamente sta traendo beneficio da un certo numero di evoluzioni tecnologiche. Una vasta iniziativa industriale, legata e promossa dallo *Uniform Code Council* (l’organizzazione sorta per regolamentare l’utilizzo dei codici a barre), ha definito un set di standard a proposito degli RFId, al fine di abbassare i costi a livello tale per cui queste nuove tecnologie possano essere largamente adottate.

La straordinaria crescita di Internet e la massiccia diffusione di connessioni di rete a banda larga, impensabile solo fino a pochi anni fa, permette inoltre ai reader RFId di trasmettere le informazioni raccolte da sensori sparsi ovunque nel mondo a tutte quelle applicazioni aziendali che, agendo sui database aziendali, possano trarre giovamento da una raccolta immediata, costante e precisa dei dati. Si parla in particolare di quei sistemi software dedicati all’impresa per la pianificazione delle risposte, per l’organizzazione della catena di fornitura e produzione, per la gestione dei magazzini e dei rapporti con i consumatori i quali, se opportunamente alimentati dai dati percorrenti la global RFId network, permettono di ottimizzare le decisioni commerciali, riducendo i costi e incrementando la sensibilità delle aziende nei confronti del mercato.

3.3.2 Criticità e opportunità di sviluppo

Nonostante il prevedibile e rapido successo, la tecnologia RFId presenta però, oggi e per il prossimo futuro, un certo numero di criticità rispetto alle caratteristiche ideali desiderate dall’utenza. Esistono, infatti, problematiche che, se da un lato potranno essere risolte con lo sviluppo tecnologico, dall’altro costituiscono ancora un freno all’introduzione massiva della tecnologia nella catena di distribuzione ed in altri ambiti applicativi.

Le principali, sono legate a diversi fattori e sono descritte di seguito. La scarsa ‘compatibilità’ della tecnologia RFId nei vari paesi a causa della non uniformità delle frequenze operative e delle potenze in trasmissione in tutto il pianeta; la notevole difficoltà che si ha nell’allestimento delle applicazioni: non esistono sistemi RFId cosiddetti ‘chiavi in mano’ ma ogni singola applicazione deve essere realizzata a seguito di articolati studi di progettazione e sviluppo software. Gli elevati costi del software applicativo. Le prestazioni modeste che spesso hanno tag e reader rispetto alle specifiche dichiarate dagli integratori o alle aspettative dell’applicazione; le prestazioni modeste si pos-

sono tradurre in una scarsa distanza operativa, nella possibilità di fallimenti nelle operazioni di lettura, in una bassa velocità di lettura-scrittura, in una modesta sicurezza e protezione dei dati.

A tutto questo si deve aggiungere una ancora scarsa flessibilità nella progettazione delle antenne con conseguenti limiti su forma, dimensioni e contenitori dei tag e un alto costo dei tag (da molti percepito, forse a torto, come il maggior fattore ostativo alla diffusione della tecnologia).

Si hanno infine, i problemi legati ad una incompleta applicabilità su tutte le merci o gli oggetti, una frequente ‘immaturità tecnica’ dei sistemi di middleware con i quali integrare l’applicazione RFID e ad una difficoltà ad ottenere fiducia da consumatori ed aziende.

Qualunque siano i veri fattori ostativi di tale tecnologia, emerge comunque una reale difficoltà ad individuare il valore aggiunto dei sistemi RFID nel contesto aziendale, specie in contrapposizione a tecnologie consolidate quali i codici a barre. Ne consegue, ovviamente, una uguale difficoltà a giustificare gli investimenti verso tale tecnologia. Secondo una indagine condotta dalle risposte di aziende, comunque in maggioranza favorevoli all’implementazione della tecnologia RFID, si evince una sorta di classifica dei fattori più limitanti allo sviluppo degli RFID, che vede al primo posto le proposte di applicazioni che, almeno in apparenza, non forniscono un grande valore aggiunto, seguite dal costo dell’infrastruttura (che sembra dipendere nella maggior parte dei casi dagli elevati costi del software), il costo dei tag, la mancanza di standard globali e le prestazioni modeste, specie nella lettura dei tag [12].

In molti ritengono che, senza troppo attendere futuri sviluppi tecnologici che comunque si prospettano come un processo lontano dalla stabilizzazione, la via migliore sarebbe quella di non puntare al contesto aziendale per l’introduzione della tecnologia RFID ma, come accaduto per i codici a barre, coinvolgere nel processo tutta la catena di distribuzione, ripartendo i costi e condividendo i benefici tra tutti gli attori. In quest’ottica l’attenzione non andrebbe posta tanto nelle prestazioni esasperate di tag e reader, quanto alla funzionalità dei sistemi di gestione e ‘middleware’ e soprattutto alla loro accessibilità da parte di tutti gli attori della catena.

Inoltre, piuttosto che focalizzarsi sul costo assoluto dei tag, sembra un approccio migliore quello di valutarne il costo relativo rispetto ai benefici introdotti nelle situazioni d’impiego. Ad esempio, in molte applicazioni nell’ambito della produzione, tag di costo pari a quello attuale, possono non risultare onerosi se si effettua un confronto con soluzioni alternative o con il costo derivante dalle problematiche che vengono risolte con il loro uso.

Ad oggi, comunque, l’ordine di grandezza del costo dei sistemi RFID è il seguente:

- per tag passivi e per grandi volumi di acquisto, dai 20-30 centesimi, per le etichette più semplici, ad alcuni euro per tag in contenitori plastici;
- per tag attivi dai circa 10 fino ai 50/60 euro, in dipendenza dalla dimensione delle batterie, dalla quantità di memoria, dal tipo di contenitore, dall'eventuale presenza di sensori;
- per i reader, da un minimo di 200/300 fino a 3000 euro in dipendenza delle loro funzionalità.

Se da un lato, gli elevati costi di implementazione e la difficoltà di documentare in che modo i sistemi RFID possano garantire risparmio e ritorno dell'investimento, sono i più forti ostacoli alla diffusione della tecnologia; dall'altro lato sembra largamente plausibile che con l'ausilio delle tecnologie più avanzate, presto o tardi ogni prodotto venduto sarà dotato di tag e le applicazioni RFID diverranno, velocemente e senza clamore, una delle tecnologie più massivamente realizzate nella nostra epoca.

Inoltre, con il progredire della tecnologia, lo sviluppo di sistemi RFID può rafforzare il ruolo delle tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni come promotrici dell'innovazione e della crescita economica. I principali settori di ricerca riguardano le applicazioni innovative, i sensori intelligenti e i meccanismi di comando dotati di dispositivi RFID, nonché le reti intelligenti con funzionalità in termini di intelligenza, memoria, rilevamento e identificazione a radiofrequenza. Nel prossimo futuro è stimato un consistente incremento dei sistemi RFID che entreranno a far parte dei più svariati processi: dal controllo degli alimenti alle applicazioni mediche, dalla domotica all'automazione di ufficio, dalla gestione dei ricambi al controllo dei processi aziendali.

La Abi Research, società che si occupa di ricerche di mercato nel campo delle tecnologie emergenti, crede che il tasso di crescita annuale composito (Compound annual growth rate) per l'RFID salirà del 15% tra il 2008 e il 2013, escludendo il settore della sicurezza automobilistica. La società ha stimato che il mercato dell'RFID varrà 5,3 miliardi di dollari nel 2008 e nei prossimi cinque anni il suo profitto continuerà a crescere, accelerando, nel medio termine, per le applicazioni più affermate come la gestione della supply chain, i documenti RFID, i biglietti elettronici e le carte di credito contactless. In totale, tra cinque anni, dovrebbe arrivare a quasi dieci miliardi di dollari (circa otto se si escludono ancora i sistemi per i veicoli). Le applicazioni tradizionali domineranno il mercato sia nel 2008 che nel breve termine. Tra queste, troviamo il controllo per gli accessi, l'identificazione automatica dei veicoli, l'immobilizzazione delle automobili e i documenti RFID. Il tasso di crescita annuale composito per applicazioni non tradizionali, invece, sarà del 20 per cento annuo, sempre nel quinquennio 2008-2013.

3.4 Applicazioni RFId in Sanità

La diffusione delle reti wireless, così come delle tecnologie RFId, non ha invece avuto ancora molto spazio all'interno delle strutture sanitarie ed è stata inizialmente rallentata dal pericolo di interferenze con le apparecchiature elettromedicali utilizzate per la diagnostica ed il monitoraggio. Anche in questo caso, però, il progredire delle tecnologie e la disponibilità di sistemi di modulazione che consentono trasmissioni efficienti anche con una bassa potenza di emissione, hanno consentito il superamento della maggior parte dei problemi tecnici e hanno aperto le porte di questo mondo alle tecnologie wireless; si è resa possibile la realizzazione di varie applicazioni, di cui molte ancora in fase sperimentale, con notevoli benefici per i pazienti e gli operatori sanitari.

Per determinate tipologie di applicazioni un secondo fattore limitante è stato per molto tempo il problema della resistenza dei sistemi RFId all'acqua e ai processi di sterilizzazione in genere; ma anche questo sembra essere definitivamente risolto sempre grazie all'evoluzione avuta in questi ultimi anni dalla tecnologia RFId.

Tra le applicazioni più diffuse, attualmente in sperimentazione se non già in uso in diverse parti del mondo, ci sono la cartella clinica elettronica, la gestione della terapia e del farmaco, la localizzazione del paziente all'interno della struttura, la tracciabilità delle sacche di sangue, le applicazioni di supporto all'attività degli infermieri in generale, il controllo della corretta sterilizzazione dei vari strumenti in sala operatoria e il controllo delle somministrazioni di prodotti sanitari a domicilio.

Diversi studi confermerebbero in particolare che, sia le aziende farmaceutiche che ospedaliere, incrementeranno in larga misura i propri investimenti nel campo dell'RFId nei prossimi anni. Un rapporto della Kalorama Information, società impegnata in ricerche di mercato per il settore sanitario, che rivela un aumento tra le 7 e le 9 volte del mercato RFId in questi due ambiti, durante il prossimo quinquennio. Nel settore ospedaliero, secondo il rapporto, il maggiore beneficio potrebbe derivare dall'applicazione di un tag a ogni paziente, per monitorarne gli spostamenti, tenere sotto controllo gli esami cui viene sottoposto, la loro fatturazione o rimborso in modo rapido ed efficiente. Per questo motivo l'industria sanitaria dovrebbe aumentare i propri investimenti nell'RFId dagli attuali 474 milioni di dollari ai 3 miliardi del 2013. I vantaggi delle industrie farmaceutiche, invece, non si limitano alla gestione dell'inventario e al controllo della catena dei rifornimenti. Un grande potenziale, infatti, risiede secondo la Kalorama nell'ambito della contraffazione: ogni scatola originale di farmaci potrebbe essere dotata di un piccolo tag che ne verifichi l'autenticità. Anche la Food and Drug Administration (FDA) sa-

rebbe favorevole a questo tipo di iniziative. L'investimento in questo settore, indica il rapporto, dovrebbe subire un incremento dai 70 milioni di dollari del 2008 ai 600 milioni del 2013. I principali ostacoli alla diffusione della tecnologia RFID in questi settori, sempre secondo la Kalorama, sono i costi di implementazione, soprattutto per le industrie farmaceutiche, e la difficoltà di documentare in che modo i sistemi RFID possano garantire risparmio e ritorno dell'investimento.

Nel seguito vengono descritte alcune tra le applicazioni di tracciabilità e monitoraggio già in uso in Italia e in altre parti del mondo. Gli esempi di realizzazione sono stati tutti recuperati effettuando opportune ricerche sulla rete.

3.4.1 Prevenzione degli errori

Le applicazioni che consentono una prevenzione degli errori, sono tra le applicazioni chiave della tecnologia RFID.

Tracciabilità sacche di sangue

Su questo tema, ci sono svariati esempi di sperimentazioni di successo realizzate sia in Italia che all'estero.

Il progetto sviluppato presso il Servizio di Immunoematologia e Medicina Trasfusionale dell'Ospedale San Raffaele di Milano è mirato alla riduzione del rischio clinico legato al processo di autotrasfusione. Il progetto prevede una fase iniziale di sperimentazione sui processi di autotrasfusione per identificare il sangue prelevato ai pazienti prima degli interventi chirurgici e destinato ad essere trasfuso ai pazienti stessi in caso di necessità nel corso dell'operazione o nel periodo post operatorio. Al fine di correlare le sacche di sangue ai rispettivi pazienti, prima del prelievo viene applicato al polso del paziente un tag RFID, che contiene i suoi dati identificativi personali crittografati con sistema di crittografia asimmetrica e una sua foto, e, dopo il prelievo, vengono applicate delle etichette identificative alle sacche di sangue.

Anche la sperimentazione effettuata presso il Reparto Trapianto Midollo Osseo (TMO) della Fondazione IRCCS Istituto Nazionale dei Tumori di Milano è un esempio concreto di successo di applicazione della tecnologia RFID in ambito sanitario, per il controllo e il monitoraggio della filiera trasfusionale.

Il progetto aveva come obiettivo quello di garantire una maggiore efficienza ed affidabilità nella tracciabilità della filiera trasfusionale, dalla selezione della sacca di sangue fino alla conclusione della trasfusione stessa, contribuendo così a migliorare la sicurezza clinica del paziente. La soluzione adottata

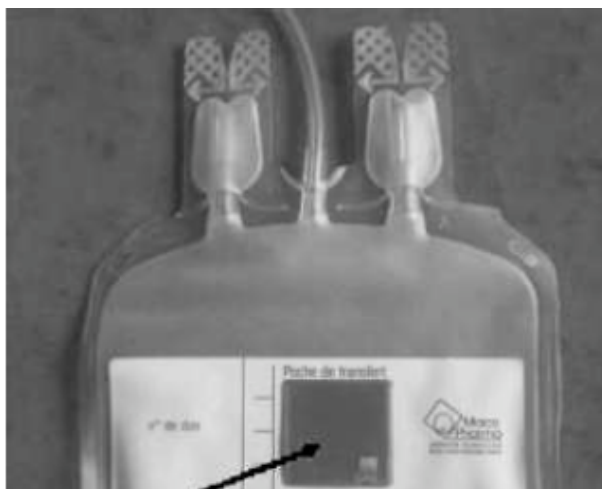


Figura 3.6: Tutte le sacche di sangue vengono marcate con tag RFId. Prima di una trasfusione, queste vengono identificate e comparate con le informazioni contenute nel braccialetto RFId del paziente.

consente oggi di identificare in modo univoco sia il paziente, tramite l'adozione di un braccialetto RFId, sia ogni sacca di sangue grazie all'applicazione di etichette RFId. L'utilizzo di palmari permette, inoltre, di verificare i dati anagrafici e accedere a informazioni dettagliate di supporto alle decisioni del personale medico, garantendo maggiore tempestività di intervento e congruenza con i dati rilevati. Alla luce dell'esperienza maturata e del riscontro positivo ottenuto in questa realtà, il management della Fondazione IRCCS Istituto Nazionale dei Tumori di Milano ha previsto l'ampliamento del progetto anche verso l'etichettatura delle provette per i prelievi di campioni ematici, nonché l'estensione dell'esperienza acquisita anche ad altri campi applicativi come la tracciabilità informatizzata di farmaci oncologici e reperti di anatomia patologica.

Nella Klinikum Saarbruecken, in Germania, si sta sperimentando un sistema basato su chip track-and-trace per il controllo delle trasfusioni di sangue. Il sistema ha l'obiettivo di aiutare lo staff medico a eliminare qualsiasi errore verificando che ciascuna sacca di sangue sia effettivamente utilizzata con il paziente giusto attraverso le informazioni contenute nel tag RFId fissato alla sacca. Il chip è collegato alle informazioni contenute in un database sicuro centrale. Gli infermieri possono scannerizzare il tag utilizzando PDA o tablet PC equipaggiati di lettore RFId e verificare la rispondenza delle informazioni con quelle contenute in un altro tag inserito in un braccialetto indossato dai pazienti. Il bracciale, attualmente fornito a tutti i pazienti ammessi al

Saarbruecken, è dotato infatti di un chip RFIId che consente l'identificazione del malato e l'accesso ad altre informazioni mediche di base relative alla sua storia clinica e ai trattamenti cui è sottoposto.

Manutenzione delle apparecchiature elettromedicali

L'Azienda Ospedaliera Istituti Clinici di Perfezionamento (ICP) rappresenta una parte significativa dell'offerta sanitaria pubblica della città di Milano. L'attività degli ICP si sviluppa in collaborazione con l'Università degli Studi di Milano. La manutenzione delle apparecchiature elettromedicali degli ICP viene effettuata da un'azienda esterna specializzata, che ha in carico tutte le attività e che è coordinata dalla struttura interna di Ingegneria Clinica. È stato sviluppato un sistema che prevede l'applicazione su ogni apparecchiatura elettromedicale di un'etichetta Rfid che riporta le informazioni relative alla natura e alla tipologia dell'apparecchio, l'elenco degli interventi svolti sia in regime di manutenzione ordinaria che straordinaria, note dettagliate sui singoli interventi e sulle componenti sostituite, nonché informazioni utili per gli interventi programmati futuri. Il sistema è stato poi integrato con i sistemi informativi già presenti presso gli ICP.

I vantaggi di un'applicazione di questo genere sono: possibilità di censire tutte le apparecchiature elettromedicali della struttura; monitorare costantemente lo stato di manutenzione delle apparecchiature; diminuire la circolazione di documentazione cartacea e rendere le informazioni disponibili in modo semplice, veloce e sicuro; garantire la tracciabilità dei dati.

Il braccialetto di sicurezza

Al pronto soccorso dell'ospedale Saint-Roch di Nizza arrivano ogni anno circa 70000 pazienti. Tramite l'utilizzo della tecnologia RFIId è stata sviluppata e sperimentata una soluzione che contribuisce a migliorare la gestione del paziente, a ridurre le attese e ad assicurare la priorità ai casi più gravi. L'applicazione consiste nel tracking dei pazienti tramite chip RFIId. Un braccialetto di plastica con un tag incorporato viene applicato ad ogni paziente che arriva in ospedale; i medici, usando pc-tablet senza fili, possono monitorare il paziente e sanno in ogni momento presso quale servizio è il malato e quale assistenza gli viene prestata, quali analisi ha fatto, qual'è il decorso.

Il progetto 'Health Link'

VeriChip è una società americana specializzata in chip RFIId, della grandezza di un chicco di riso, destinati all'impianto sottocutaneo; lo scopo è il riconoscimento e il monitoraggio degli individui nelle situazioni più svariate,

come ad esempio, l'identificazione dei pazienti nelle strutture ospedaliere. Il progetto *Health Link* di VeriChip è un progetto che prevede di dotare gli ospedali di reader RFId in grado di identificare i tag sottopelle impiantati nei pazienti, in modo da avere a disposizione, in tempo reale, tutte le loro informazioni mediche. Il sistema è in particolare pensato per velocizzare il riconoscimento e l'accesso ai dati in situazioni di emergenza. Il sensore RFId è pensato per essere soltanto identificativo mentre, le informazioni sui pazienti, vengono raccolte in un database a cui si accede una volta che il reader ha effettuato il riconoscimento.

I presupposti, per il progetto Health Link non sono mai stati troppo buoni; le perplessità del mercato nei confronti di una soluzione di questo genere riguardavano il problema della privacy, quello della sicurezza dei dati personali, la paura per i danni che i tag possono arrecare alla salute. In particolare, tutte queste difficoltà e le feroci polemiche nate intorno ad Health Link, avevano portato il progetto di VeriChip al naufragio quasi totale. La situazione si è invece completamente ribaltata in quest'ultimo periodo (dicembre 2008), grazie alla nascita di una partnership con la Microsoft, che, attraverso *HealthVault*, ha preso in mano la situazione diventando il socio forte che Verichip non sperava più di trovare.

Ed è proprio sulla problematica della gestione dei database con i dati dei pazienti che Microsoft ha deciso di inserirsi con la sua piattaforma HealthVault, concentrandosi sulla gestione dei dati medici e sul software che permette di accedere ad essi, lasciando invece a VeriChip la parte RFId, ossia tag e reader. La piattaforma di Microsoft è pensata infatti come un'enorme risorsa online che racchiuderà le informazioni sanitarie dei pazienti; secondo il programma, saranno poi i cittadini stessi a decidere se mettere a disposizione le loro informazioni sanitarie su HealthVault, informazioni che saranno protette da password e criptate per evitare problemi di privacy. Inoltre, chiunque lo potrà fare, indipendentemente dalla presenza o meno di un tag RFId sottocutaneo.

È ovvio che, nonostante la nuova linfa data a Health Link da HealthVault, le perplessità emerse in passato su una soluzione del genere continuano a rimanere vive; quello di VeriChip è però un esempio indicativo delle opportunità e dei problemi che sono dietro allo sviluppo e alla diffusione della tecnologia RFId.

Capitolo 4

Identificazione e tracciamento delle garze chirurgiche

4.1 Introduzione

Nel precedente capitolo sono state descritte differenti applicazioni e studi relativi alla tecnologia RFID nel settore sanitario; l'attuale capitolo espone invece lo studio oggetto del presente lavoro di tesi finalizzato a realizzare una specifica applicazione degli RFID in ambito sanitario e descrive dettagliatamente l'architettura proposta ed i prototipi realizzati.

Come già accennato, il tema è quello della perdita accidentale di strumentazione chirurgica, e più specificatamente delle garze chirurgiche, all'interno di una camera operatoria durante l'esecuzione degli interventi. Lo studio propone un differente approccio al problema, basandosi sull'idea di marcare il materiale interessato con dei tag RFID in grado di essere rilevati elettronicamente con rapidità e facilità. Tramite tali etichette ed opportuni reader RFID si vuole in particolare realizzare un sistema di identificazione, conteggio automatico e localizzazione delle garze marcate che abbia lo scopo di fornire al personale medico un valido supporto nelle procedure di gestione del materiale durante l'esecuzione di un intervento chirurgico ed un sistema automatico e sicuro di ricerca in caso di perdita accidentale all'interno del paziente. L'argomento qui trattato è stato parzialmente trattato in [13, 14].

4.2 Gestione della strumentazione chirurgica in sala operatoria

Negli anni passati, nel nostro paese, eventi critici per i pazienti, legati al permanere di garze e strumentazione medica all'interno del paziente a fine intervento chirurgico, hanno avuto un rilievo considerevole nella critica che i media hanno mosso alla Sanità, sia pubblica che privata. La possibilità che accada questo evento è divenuta nota al pubblico grazie ad alcune denunce che sono state mosse alle strutture ospedaliere in merito a casi avvenuti in passato. Una dimenticanza di questo tipo ha, in particolare, una serie di ricadute negative sia per il paziente, che per il chirurgo e l'ospedale. In primo luogo il malessere dovuto alla presenza di questi corpi estranei è difficilmente diagnosticabile, il che comporta danni prolungati ed eventualmente gravi per il paziente, che dovrà comunque essere nuovamente operato per la rimozione del materiale. Dall'altra parte si verificano importanti ricadute legali e patrimoniali per il chirurgo e per la sua equipe. In questa ottica si è assistito ad un proliferare di tecniche atte alla risoluzione del problema. Queste tecniche non hanno però trovato ampia diffusione a causa di alcuni vincoli caratteristici come la difficile usabilità, i grandi ingombri o la scarsa accuratezza ed affidabilità delle misure e, ad oggi, la perdita accidentale delle garze chirurgiche e più in generale di strumentazione utilizzata all'interno di una sala operatoria, è rimasto ancora un problema irrisolto.

In letteratura medica esistono numerosi studi e pubblicazioni nei quali viene descritta l'incidenza di tale problematica e le conseguenze ad essa legate; tali studi rivelano anche che le garze chirurgiche risultano essere il materiale che più è soggetto a perdite accidentali all'interno delle camere operatorie.

Gli ospedali sono stati obbligati a sviluppare protocolli rigorosi per la gestione della strumentazione e delle garze chirurgiche da parte dell'apposito personale medico, durante gli interventi operatori. Tali protocolli prevedono l'introduzione nella camera di un numero di garze e tamponi sempre noto e l'effettuazione durante l'intervento chirurgico di più conteggi incrociati sulle garze utilizzate e su quelle rimosse dal paziente, al fine di tener sempre traccia del materiale. Ovviamente il fatto che tali conteggi siano ancora oggi effettuati manualmente li rende estremamente sensibili all'errore. Inoltre, il verificarsi di circostanze, come le urgenze e le complicazioni inattese, che facilitano la distrazione del chirurgo e generano confusione e distrazione sul campo operatorio, incide notevolmente sull'affidabilità di tali protocolli.

Negli ultimi anni, inoltre, l'adesione da parte degli ospedali alle procedure che implicano l'utilizzo di spugne chirurgiche contenenti fili di materiale rile-

vabile ai raggi X, ha in parte contribuito a ridurre l’incidenza di tali casi ma il problema continua a persistere. Tali sistemi non consentono in effetti una prevenzione dell’errore ma semplicemente di diagnosticare con più facilità i sintomi del paziente in cui la garza è stata dimenticata; è infatti impossibile pensare che al termine di un intervento chirurgico tutti i pazienti vengano sottoposti ad una radiografia per un’eventuale ricerca delle garze, sia per evitare l’esposizione ad una dose non necessaria di radiazioni, sia per una questione di costi per la struttura ospedaliera.

4.3 La Soluzione ‘*Inventario Elettronico*’

Quella definita soluzione ‘Inventario Elettronico’ costituisce la prima fase dell’applicazione in studio.

Il progetto è stato suddiviso in due passi successivi che prevedono la realizzazione di un primo sistema, che si limiti all’identificazione ed al conteggio automatico delle garze marcate, con lo scopo di automatizzare le procedure di gestione del materiale durante l’esecuzione degli interventi chirurgici e, l’implementazione di un secondo sistema, come integrazione del primo, che consenta la localizzazione delle garze marcate in caso di perdita accidentale.

Lo sviluppo di entrambe le soluzioni è stato articolato in tre differenti fasi. In primo luogo si è effettuata un’approfondita analisi delle tecnologie RFID attualmente esistenti in relazione all’ambito applicativo di interesse, al fine di effettuare la scelta del sistema più adeguato. Successivamente si è proceduto alla realizzazione del prototipo ed alla costruzione dell’opportuno middleware di gestione dell’apparecchiatura ed infine si è passati alla fase di verifica sperimentale, volta a dimostrare l’effettiva validità dello strumento realizzato.

4.3.1 Scelta della tecnologia

Come in precedenza accennato, quella RFID è una tecnologia fortemente sensibile alla tipologia di applicazione che si progetta ed alle interferenze con l’ambiente in cui si trova ad operare, per tale motivo, la scelta della tecnologia da utilizzare per la realizzazione di una qualsiasi applicazione RFID costituisce generalmente una fase di enorme importanza dello studio. Durante l’analisi e la selezione dei vari sistemi è in particolar modo indispensabile valutare separatamente le caratteristiche di ognuna delle componenti dell’RFID, tag e lettore, perché ognuna di esse incide in maniera determinante sul comportamento dell’intero sistema. Nella maggior parte dei casi, inoltre, tali caratteristiche non sono compatibili tra loro e diventa necessario

riuscire a trovare il giusto compromesso tra le varie specifiche, in funzione dell'architettura del sistema che si vuole realizzare.

Di seguito viene fatta una dettagliata descrizione dell'analisi eseguita per la selezione di tag e reader utilizzati nella realizzazione del sistema 'Inventario elettronico'.

Tag

L'insieme delle caratteristiche fisiche e tecniche da tenere in conto per la scelta dei tag nell'ambito di una particolare applicazione RFID è sicuramente vasto, tra le principali sono generalmente citate:

- dimensioni, forma e tipologia delle etichette, in relazione alla collocazione del tag;
- durata e riutilizzabilità delle etichette;
- frequenze operative del tag (LF, HF o UHF);
- distanza di comunicazione tra tag e Reader;
- polarizzazione, ovvero orientazione del tag rispetto al campo del Reader;
- quantità di dati da memorizzare nel tag;
- standard e protocolli di comunicazione supportati (ISO, EPC, ecc.);
- soddisfacimento di regolamentazioni regionali (USA, Europa, Asia);
- caratteristiche dell'ambiente operativo (presenza di rumore elettrico, presenza di altri apparati radio, ecc);
- caratteristiche anticollisione, ovvero numero massimo di tag nel range di operabilità e velocità di identificazione;
- resistenza in ambienti critici (corrosivi, ad alta pressione, ecc.);
- influenza nelle trasmissioni da parte di eventuali materiali metallici e liquidi;
- necessità di protezione dei dati del tag.

La tipologia del tag, ovvero tag di tipo passivo o attivo, è stato il primo parametro ad essere valutato nella scelta per il sistema 'Inventario elettronico': è uno dei parametri più importanti delle etichette RFID, dal quale dipendono molte delle caratteristiche sopra elencate. Le etichette passive sono dispositivi costituiti da un'antenna, solitamente stampata e da un circuito integrato generalmente miniaturizzato; ciò garantisce la possibilità di avere dimensioni più limitate, una vasta gamma di forme e costi notevolmente più ridotti. Le etichette attive rappresentano invece dei veri e propri apparati ricetrasmittenti; a tali dispositivi, l'evoluzione tecnologica ha, in molti casi, consentito di avere funzioni che superano di gran lunga la pura identificazione, come ad esempio funzioni di radiolocalizzazione o funzioni di misura di parametri ambientali attraverso l'utilizzo di sensori esterni (di temperatura, movimento, ecc.). Nello specifico, avrebbero garantito una maggiore portata del segnale radio, utile nel caso di localizzazione all'interno del corpo umano ma dimensioni e costi proibitivi, soprattutto se si tiene conto che i tag disposti sulle garze chirurgiche non devono essere riutilizzabili. Si è pertanto proceduto alla scelta di tag di tipologia passiva.

La frequenza di lavoro è stato il secondo parametro ad essere valutato; questa influisce sulla distanza di operatività del sistema, sulle interferenze con altri sistemi radio, sulla velocità di trasferimento dei dati e sulle dimensioni dell'antenna. Generalmente i sistemi caratterizzati da frequenze più basse (LF o HF) sono basati su tag passivi mentre i sistemi a frequenze più elevate utilizzano tag attivi. Nel caso in esame sono stati selezionati tag a frequenza di lavoro nella banda HF. Le frequenze di questi tag costituiscono l'unica banda che può considerarsi unificata a livello mondiale; questa caratteristica, oltre a rendere le frequenze di lavoro HF le frequenze fino ad oggi più diffuse, ha reso le forme ed il tipo di packaging dei tag i più numerosi dell'attuale offerta RFID ed i costi dei dispositivi tra i più bassi dei sistemi ad oggi in commercio. Entrambe le caratteristiche sono state ritenute fondamentali per l'applicazione in studio.

Per le etichette HF, la distanza di comunicazione tra tag e reader non è elevata (in particolare, nel caso di tag coperti dallo standard ISO/IEC 15693, si possono ottenere range operativi dai 30 ai 100 cm); tuttavia ciò non sembra costituire un problema, considerato che nel progetto in studio non è necessario garantire distanze di lettura oltre i 50cm, ampiamente sotto il range operativo massimo che gli sviluppi tecnologici garantiscono oggi a queste etichette. Tali frequenze presentano, poi, il grande vantaggio che la trasmissione tag-reader non risulta particolarmente influenzata dalla presenza di acqua o liquidi, problema al contrario rilevante a frequenze più elevate come le UHF.

La velocità massima di trasmissione dei dati non è alta ma non avendo bisogno di trasferire ampie quantità di dati in tempi brevi, non è una delle

caratteristiche necessarie all'applicazione.

I tag più adatti al sistema in studio sono inoltre di tipo RO, ovvero caratterizzati da una memoria non riscrivibile. Nello specifico, si ha solo la necessità di scrivere all'interno della memoria di ogni etichetta un'informazione, aggiuntiva rispetto al codice identificativo già presente, che consenta di identificare la tipologia di garza; non si ha invece la necessità di aggiungere o modificare il contenuto della memoria del tag durante il periodo di vita di quest'ultimo.

Relativamente agli standard di comunicazione, si è deciso di utilizzare uno degli standard più diffusi per la tecnologia a frequenza HF, ovvero l'ISO15693, in modo da garantirsi una più ampia gamma di scelta.

La tipologia di applicazione in studio obbliga infine alla scelta di etichette di dimensioni inferiori ai 30 mm, caratterizzate da sistema anticollisione per la lettura simultanea di più tag e resistenti a temperature al di sopra dei 120 gradi centigradi, temperature alle quali solitamente il materiale chirurgico viene sottoposto per la sterilizzazione.

Reader

Analogamente ai tag, i reader costituiscono un elemento chiave dei sistemi RFID e, come per i tag, le caratteristiche da valutare per la selezione della tecnologia più adatta alle proprie necessità sono numerose ed articolate; di seguito un elenco delle principali:

- banda di frequenza (LF, HF o UHF);
- distanza di lettura;
- struttura del reader (ovvero reader con antenna integrata o costituiti da un controller e da una o più antenne esterne; dispositivi fissi o portatili e dimensioni);
- standard e protocolli di comunicazioni supportati (ISO, EPC, ecc.);
- capacità di gestire i dati (Gestione di più Reader, interfacce per prodotti middleware esterni, uscite per sensori o circuiti di controllo,...);
- comunicazioni con la rete ed i centri di controllo (TCP/IP, Wireless LAN, Ethernet LAN, RS 485,...);
- capacità di aggiornare il software del Reader (via Internet o via interfaccia con il sistema di controllo);
- capacità di gestire più antenne;

- adattamento delle antenne alle condizioni al contorno (auto tuning).

Le principali proprietà del lettore sono ovviamente guidate dalla scelta fatta per i tag; è stato dunque necessario selezionare lettori per tag passivi, a frequenza HF e regolati dagli standard ISO15693.

Per poter sfruttare il range di lettura maggiore dell'insieme dei reader a frequenza HF e per poter avere un sistema che consenta di realizzare architetture più articolate, sono stati selezionati lettori costituiti da un controller e da un'antenna esterna. In tali dispositivi il controller, che contiene la sola logica di controllo del lettore, è solitamente di piccole dimensioni mentre l'antenna può assumere svariate forme e dimensioni e, maggiori sono le dimensioni, maggiore è la distanza di lettura.

L'antenna scelta è un'antenna piatta, rettangolare, non portatile, caratterizzata da una distanza massima di lettura $\cong 45cm$.

Il controller è quindi caratterizzato da una connessione USB verso il PC o più genericamente verso un centro di controllo esterno ed è dotato del sistema anticollisione.

Di seguito una descrizione delle caratteristiche generali ed un dettaglio delle specifiche tecniche del reader selezionato per la realizzazione del prototipo 'Inventario elettronico'.

- ID ISCMR101(USB) è un controller Mid Range (medie distanze) di lettura e scrittura Multi-tag che opera con Smart Labels basate su transponders con frequenza operativa di 13,56 MHz, standard ISO 15693 ed EPC. I lettori sono interfacciabili con diversi tipi di antenna e, in dipendenza dal tipo di antenna, hanno una distanza massima di lettura/scrittura fino a 40 cm.
- ID ISC.ANT650/500-M Industrial - Manual Tuning è un'antenna consente la lettura/scrittura di tag RFId con frequenza operativa di 13,56 MHz, standard ISO 14443A/B, ISO 15693 e non ISO (es. I-CODE, Tag-it, ecc.). Ha la possibilità di operare congiuntamente a controller Mid Range (medie distanze) e Long Range (lunghe distanze). In corrispondenza di transponder in formato ISO Card di dimensioni di 76 x 45 mm, l'antenna raggiunge nell'area centrale la distanza di lettura di circa 75 cm (orientamento parallelo all'antenna).

4.3.2 Architettura del sistema

L'attuale processo di gestione delle garze da utilizzare durante un intervento chirurgico si articola in una serie di operazioni fondamentali. Le bende

Housing	Plastic ABS
Colour	Papyrus white RAL 9018
Dimensions (WxLxH)	85 x 145 x 31 mm (3.35 x 4.72 x 1.77 inch)
Protection class	IP 30
Weight	200 g (0.44 lb)
Supply voltage	typical 12 V DC max. 12 - 24 V DC +/- 15%
Current draw	max. 0.5 A
Power consumption	max. 8 VA
Operating frequency	13.56 MHz
Transmitting power	1 W +/- 2dB
Antenna connection	SMA plug (50 Ohm)
Reading distance	max. 40 cm with ID ISC.ANT300/300
Interfaces	RS232 / RS485 (configurable) or USB (12 Mbit)
Signal generator	1 LED (multicoloured; red/green)
Protocol modes	ISO HOST Mode, Scan Mode
Supported transponders	- ISO15693, ISO18000-Mode1 (EM HF ISO chips, Fujitsu HF ISO chips, KSW Sensor chips, Infineon my-d, NXP I-Code, STM LRI ISO chips, TI Tag-it) - NXP I-Code1, I-Code UID, I-Code EPC
Adress setting for interface - variant -A (RS232/RS485)	Software (up to 254 addresses)
- variant -USB	Devise ID of the reader
Temperature range - operation - storage	-25°C to 60°C (-13°F to 140°F) -25°C to 70°C (-13°F to 185°F)
Humidity	5 - 95% (non condensing)

Figura 4.1: Dati tecnici controller ID ISCMR101(USB).

entrano in camera operatoria già predisposte in pacchi sterilizzati, contenenti un numero costante di garze della stessa tipologia; il personale medico effettua una prima operazione di conteggio manuale, quindi le predispone come è più opportuno all'interno della sala. Le garze vengono utilizzate per lo svolgimento dell'intervento e parallelamente il personale medico effettua la sistemazione del materiale usato in apposite zone della camera operatoria per consentirne il monitoraggio ed il conteggio al termine dell'operazione chirurgica. Alla fine di questo, viene effettuata una seconda operazione di conteggio di verifica finale; nel caso tale verifica non vada a buon fine, si procede alla ricerca del materiale accidentalmente perso, ricorrendo anche alle apparecchiature radiologiche nel caso in cui si abbia il forte sospetto che le



Figura 4.2: controller ID ISCMR101(USB) - FEIG.

garze siano all'interno del paziente.

Il sistema di identificazione e conteggio realizzato consente di automatizzare tali operazioni di gestione delle garze chirurgiche, impegnando il personale medico nelle sole fasi di disposizione iniziale di garze e tamponi da utilizzare nell'intervento e di rimozione delle stesse a seguito dell'utilizzo. Il lettore RFId, caratterizzato da un controller e da un'antenna esterna, deve essere collocato sopra uno dei tavoli normalmente presenti in camera operatoria (da ora denominato 'banco di conta'). Tale disposizione dell'antenna consente di sfruttare l'area di massima intensità del campo magnetico e permette di annullare il vincolo della distanza di lettura.

L'insieme delle garze chirurgiche marcate da utilizzare nell'intervento, sempre predisposte in pacchi sterili contenenti stessa quantità e stessa tipologia di materiale, devono essere sottoposte ad una preliminare operazione di registrazione e conteggio automatico. Per tale motivo, prima di essere sistemate all'interno della sala operatoria secondo le modalità solite, devono essere passate all'interno del campo d'azione dell'antenna RFId sistemata sul cosiddetto banco di conta. Si presuppone che in fase di produzione delle garze marcate, queste vengano sottoposte ad una preliminare operazione di

	ANT650/500-M ANT650/500-DA
Housing	Plastic ABS
Colour	gray
Dimensions (W x H x D)	651x500x38 mm
Weight	2,0 kg
Protection class	IP 65
Admissible transmitting power	4 W (without shield)
Reading distance (*)	up to 75 cm
Antenna connection	Coax cable RG58 (3,6 m), SMA-plug
Operating frequency	13,56 MHz
Temperature range ▪ operation ▪ storage	-25°C up to 60°C -25°C up to 70°C
Vibration 10 Hz up to 150 Hz:	EN60068-2-6 0,15 mm / 2g
Shock acceleration:	EN60068-2-27 30g

Figura 4.3: Dati tecnici antenna ID ISC.ANT650/500-M.

scrittura della memoria del tag con un'informazione relativa alla tipologia di garza. Tramite l'utilizzo del PC utilizzato per comandare il lettore RFID ed il software di interfaccia sviluppato per l'applicazione, si deve effettuare la registrazione del materiale marcato ed il successivo conteggio automatico. Sul PC sarà visualizzato il totale delle garze predisposte, raggruppate per tipologia. A seguito di questa prima operazione di conteggio, la preparazione e l'utilizzo delle garze avviene secondo le normali regole di impiego condivise tra chirurgo e personale medico. Al termine dell'intervento deve essere effettuata una nuova operazione di registrazione e conteggio, per procedere poi all'operazione di verifica finale. Le garze utilizzate devono essere nuovamente passate all'interno del campo di azione dell'antenna per essere identificate una seconda volta.

Se il materiale utilizzato è stato già sistemato all'interno di un apposito contenitore di scarto, è possibile effettuare la registrazione ed il conteggio mantenendo il materiale all'interno del contenitore. Tramite lo stesso soft-



Figura 4.4: Il 'banco di conta'. Le garze marcate devono essere passate all'interno del campo di azione dell'antenna per essere sottoposte alle operazioni di identificazione e conteggio.

ware di interfaccia è quindi possibile effettuare l'operazione di verifica tra le due diverse fasi di identificazione. Il confronto automatico tra il materiale registrato nella prima e nella seconda operazione di conteggio, consentirà di avvertire l'operatore medico tramite messaggi sul monitor del PC di eventuali garze mancanti, indicandone quantità e tipologia.

L'architettura descritta rappresenta la struttura più semplice che il sistema può assumere, ovvero quella adottata per il prototipo realizzato in questo lavoro di tesi. Tale struttura è sicuramente migliorabile al fine di renderla più efficace e di pratico utilizzo. Un'evoluzione possibile è rappresentata dall'idea di sostituire il 'banco di conta' con due differenti contenitori per le garze. Il primo contenitore sarebbe quello in cui posizionare le pezze per la prima operazione di registrazione e conteggio, il secondo quello in cui gettare le garze da eliminare a seguito dell'utilizzo durante l'intervento; a tali contenitori andrebbe associata l'antenna per la lettura dei tag. In questo caso, potrebbe essere utile utilizzare un reader costituito da un controller multiplexer, ovvero un controller che ha la possibilità di comandare più antenne esterne, a cui associare due antenne, con caratteristiche simili a quelle dell'antenna utilizzata per il banco di conta ma di dimensioni più contenute, disposte nella configurazione a varco. Questa configurazione consentirebbe



Figura 4.5: Il materiale marcato può essere correttamente identificato e contato anche all'interno di un contenitore di scarto.

di sfruttare l'area di massima intensità del campo magnetico prodotto dalle antenne ed annullerebbe il vincolo della distanza di lettura.

4.3.3 Middleware di gestione

Un sistema RFId non costituisce, come si usa dire in linguaggio informatico, un sistema 'plug and play'; al contrario di quanto avviene con la maggior parte dei dispositivi elettronici, per realizzare una qualsiasi applicazione con questa tecnologia non è sufficiente scegliere il sistema da acquistare e montarlo ma è necessario associare al dispositivo che si acquista un opportuno sistema di gestione che consenta di comandare tag e reader e di rendere funzionante l'applicazione. Tale sistema di gestione deve essere progettato in relazione all'architettura dell'applicazione che si vuole realizzare.

Nella soluzione 'Inventario elettronico', è stato realizzato sistema di gestione costituito da un software che consente l'interazione con il sistema RFId e da un programma di interfaccia utente che permette di effettuare le operazioni di identificazione e conteggio delle garze marcate.

Per l'interazione con il sistema RFId è stata in primo luogo realizzata quella parte di software che permette di interpretare il segnale che il reader scambia con il PC tramite la connessione USB, quindi tutto il codice che

consente di effettuare con il reader una serie di operazioni base; in particolare sono state implementate le operazioni di lettura e scrittura di una o più etichette simultaneamente in modalità impulsata, ovvero lanciate da un comando di avvio e caratterizzate da un intervallo di emissione dell'antenna limitato. Per la realizzazione di tale sistema di interazione sono state utilizzate le librerie software per Windows associate al sistema RFId acquistato.

Successivamente è stata sviluppata l'interfaccia utente del sistema. La struttura pensata per tale software di interfaccia è quella di seguito descritta:

- Operazione di registrazione, è l'operazione tramite la quale si effettua l'identificazione del materiale marcato e si acquisisce qualsiasi altra informazione scritta nella memoria del tag, nello specifico l'informazione sulla tipologia aggiunta nella memoria del tag. Deve essere eseguita prima delle due operazioni di conteggio del materiale.
- Operazione di conteggio, effettua il conteggio del materiale marcato restituendo in output il totale suddiviso in base alla tipologia di garza; dal totale è sempre escluso eventuale materiale registrato più volte. Le operazioni di conteggio vengono effettuate all'ingresso del materiale in sala operatoria ed al termine dell'intervento chirurgico.
- Operazione di verifica, effettua un confronto tra i totali opportunamente memorizzati delle operazioni di conteggio iniziale e finale e restituisce in output dei messaggi per l'utente, un messaggio di 'OK' in caso di verifica andata a buon fine oppure un messaggio di 'alert' in caso di verifica errata, indicando quantità e tipologia del materiale perso.

È stata infine analizzata la possibilità di integrare l'applicativo all'interno di un sistema informativo deputato alla gestione dei dati, una sorta di 'database delle garze chirurgiche', che consenta una gestione più efficiente e centralizzata del materiale.

4.3.4 Verifica sperimentale

La fase di verifica sperimentale è consistita in una serie di misure tramite le quali è stato possibile verificare l'andamento del campo elettromagnetico prodotto dall'antenna del reader e studiare la dipendenza dei rilevamenti dall'orientamento dei tag; parallelamente hanno consentito di studiare e valutare le prestazioni in termini di distanza di lettura in aria, in presenza di liquidi ed in presenza di tessuto biologico. A tale fase di misure è seguita una fase di collaudo che ha consentito di testare le prestazioni dell'intero sistema in varie condizioni di utilizzo.

Risultati sperimentali

Per la tipologia di campo generato dalle antenne HF, la distanza di lettura è strettamente legata all'orientazione del tag; in particolare è massima se il tag è posto parallelamente all'antenna, praticamente nulla se il tag è perpendicolare all'antenna. Di seguito è illustrato il tipico andamento dei lobi di radiazione di un'antenna magnetica, in funzione dell'orientamento del tag.

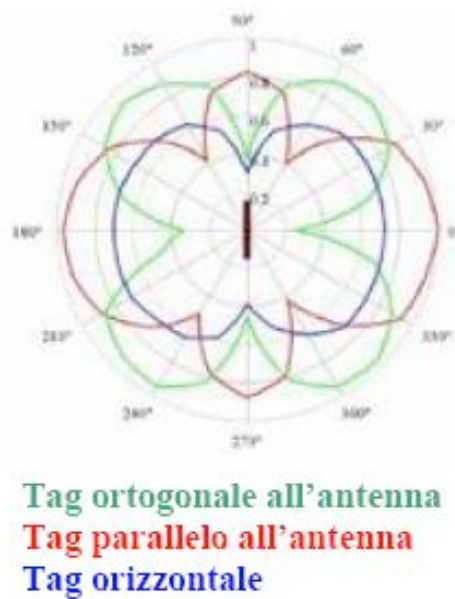


Figura 4.6: Il campo elettromagnetico generato è perpendicolare alle spire dell'antenna, di conseguenza la maggiore distanza di lettura si ottiene con tag transponder posto parallelamente all'antenna.

Le prestazioni in termini di distanza di lettura sono fortemente condizionate dalle dimensioni del tag e delle antenne. Di seguito il risultato di rilevamenti eseguiti con l'antenna scelta per la realizzazione del banco di conta (antenna rettangolare di dimensioni 50 cm x 65 cm) su due differenti tipologie di tag:

- tag card 8.5 cm x 5.5 cm;
- tag rettangolari 18 mm x 28 mm.

La distanza di lettura è massima nella regione centrale dell'antenna. Tale distanza diminuisce lentamente avvicinandosi ai bordi dell'antenna, per

arrivare ad un minimo in corrispondenza di questi. Diminuisce, invece, bruscamente all'esterno dell'antenna dove non si riesce ad identificare i tag ad una distanza superiore ai 10cm ca. (in ogni direzione). Per i tag di dimensioni inferiori, il range di lettura pari ad un 40% circa del massimo rilevato per i tag card. La 'distanza di discriminazione' dei tag, ovvero la minima distanza affinché 2 tag vengano correttamente rilevati, è trascurabile. L'unico caso in cui il reader non riesce a discriminare 2 differenti tag è il caso in cui siano in contatto e perfettamente sovrapposti. I risultati sono mostrati nella Fig. 4.7. Lo stesso insieme di misure è stato quindi eseguito in presenza di

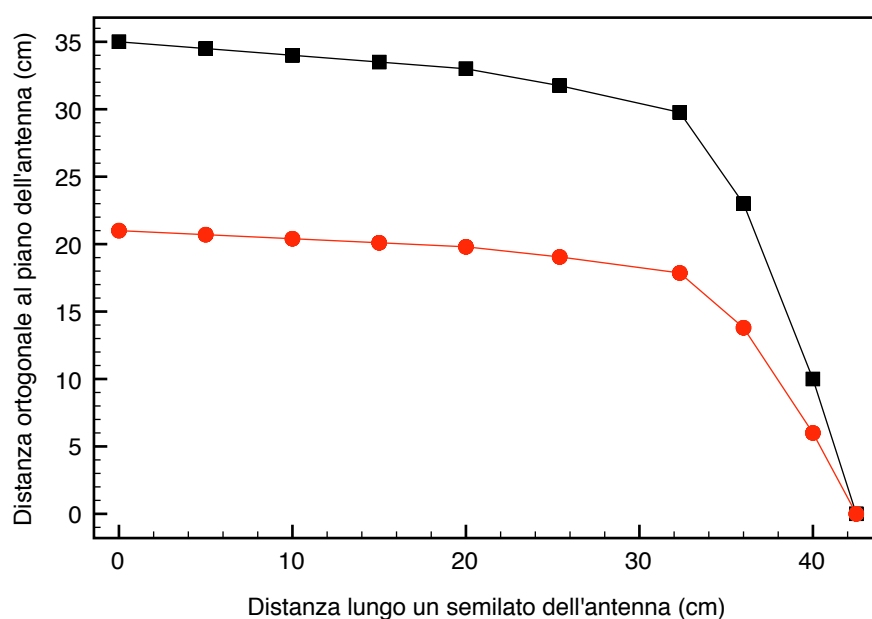


Figura 4.7: Distanza di lettura in funzione della distanza misurata parallelamente ad un lato dell'antenna a partire dal centro ed in assenza di liquidi. I quadrati si riferiscono al tag tipo card, i cerchi al tag rettangolare.

liquidi, ovvero con tag completamente immersi in acqua, come mostrato in Fig. 4.8. È noto infatti che le onde radio sono onde elettromagnetiche che si propagano facilmente nell'aria e nel vuoto ma con maggiori difficoltà nei solidi e nei liquidi. È stato verificato che, in presenza di liquidi, per entrambe le tipologie di tag, la distanza di lettura si riduce di un 30% ca. Le ultime misure eseguite hanno infine permesso di stabilire che:

- se il tag è avvolto da tessuto, anche bagnato, la distanza di lettura resta praticamente invariata. La presenza del tessuto delle garze non influisce dunque sulle prestazioni del sistema.

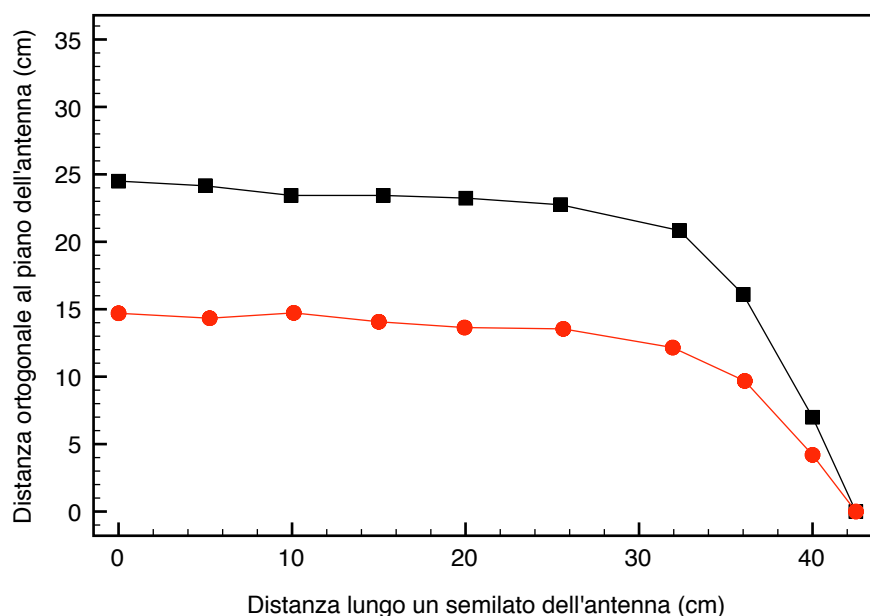


Figura 4.8: Stesse misurazioni della figura precedente ma in presenza di liquidi. Risulta chiara la riduzione della distanza di lettura.

- L'antenna è sempre in grado di rilevare il passaggio del tag.

L'insieme delle misure effettuate ha consentito di valutare la tecnologia RFID scelta come idonea all'applicazione di identificazione e conteggio delle garze chirurgiche.

Collaudo del sistema

Sei garze chirurgiche di 3 differenti tipologie sono state marcate con tag HF di dimensioni inferiori ai 30 mm. Le 4 tipologie scelte costituiscono le tipologie di garze più comunemente utilizzate:

- garze rettangolari 24 x 25 mm;
- strisce rettangolari 78 x 4 mm;
- tamponcini di dimensioni inferiori ai 40 mm.

A seguito della marcatura, le garze sono state sottoposte ad una prima operazione di 'scrittura', effettuata tramite il software di gestione, per salvare all'interno della memoria del tag un'informazione aggiuntiva relativa alle

dimensioni della garza. Su tali garze sono state quindi effettuate differenti operazioni di identificazione e conteggio.

In primo luogo le quattro differenti coppie di garze della stessa tipologia sono state sistemate in pacchi di carta o plastica, per simulare la modalità con cui tale materiale entra nella sala operatoria (ovvero in pacchi sterili contenenti una quantità fissa di garze dello stesso tipo). Il materiale così sistemato è stato successivamente inserito all’interno dell’antenna posta sopra un piano metallico per effettuare le opportune prove di utilizzo. Il pacchetto di tamponcini circolari è stato sempre correttamente ed istantaneamente identificato e conteggiato. I pacchi di garze rettangolari sono sempre correttamente ed istantaneamente identificati e conteggiati, a meno del caso particolare di contatto e perfetta sovrapposizione dei 2 tag fissati sulle garze. Le prove hanno consentito di verificare che i diversi pacchi possono essere anche identificati e contati tutti contemporaneamente.

In una seconda fase le singole garze sono state bagnate in acqua per simulare la presenza di garze già utilizzate e inserite all’interno dell’antenna posta sul piano metallico. In questa seconda prova le garze vengono correttamente ed istantaneamente identificate e conteggiate nel 100% dei casi.

In un’ultima fase, le singole garze sono state posizionate all’interno di una scatola non metallica (per simulare l’eventuale sistemazione delle garze utilizzate all’interno di un apposito contenitore di scarto) e l’intero contenitore è stato inserito all’interno dell’antenna posta sul piano metallico. Anche in quest’ultima prova le singole garze vengono correttamente ed istantaneamente identificate e conteggiate nel 100% dei casi.

4.4 La Soluzione ‘*Tracciamento Elettronico*’

La soluzione ‘Tracciamento Elettronico’ costituisce un’implementazione successiva al sistema di identificazione e conteggio automatico, che consiste nella realizzazione di un sistema di localizzazione delle garze marcate al fine di fornire uno strumento di ricerca nel caso di perdita accidentale del materiale all’interno del paziente.

Come nel caso della soluzione ‘Inventario elettronico’, lo sviluppo del progetto è stato articolato nelle tre fasi di analisi delle tecnologie RFID esistenti, per poter effettuare la scelta del sistema più adeguato, realizzazione del prototipo e sviluppo del middleware di gestione del sistema e verifica sperimentale sullo strumento realizzato.

4.4.1 Scelta della tecnologia

Nello studio di questa nuova soluzione, l'obiettivo è quello di integrare in un unico apparato il sistema per l'identificazione ed il conteggio automatico ed il sistema di localizzazione automatico che costituisce la soluzione 'tracciamento elettronico'; il sistema di localizzazione è stato dunque progettato, sia nella scelta della tecnologia che nell'architettura proposta, come un completamento del sistema di identificazione già definito.



Figura 4.9: ID ISC.ANTH200/200-A; Hand-Held antenna per lettura e scrittura Multi-tag, 13.56MHz, standard ISO15693 (FEIG) utilizzata per il prototipo del sistema 'Tracciamento elettronico'

L'ipotesi è quella di sostituire il reader RFId utilizzato nella soluzione 'Inventario elettronico' con un lettore costituito da un controller multiplexer, ovvero un controller al quale possono essere agganciate più antenne. A tale controller vengono associate due differenti antenne, una con le caratteristiche selezionate per il sistema di identificazione e conteggio, la seconda con le caratteristiche richieste dal sistema di localizzazione. I tag da utilizzare

per il marcaggio delle garze saranno invece gli stessi già predisposti per la precedente soluzione.

Housing	Plastic ABS
Dimensions (WxHxD)	460 x 200 x 160 mm
Weight	350 g
Protection class	IP 20
Operating frequency	13.56 MHz
Transmitting power	maximum 2 W
Antenna connection	SMA plug (50 Ohm)
Connection cable	RG 58, 50 Ohm, 360 cm
Temperature range	
- operation	0°C up to 55°C
- storage	-25°C up to 85°C
Rel. air humidity	95% (non condensing)

Figura 4.10: Dati tecnici dell’antenna ID ISC.ANTH200/200-A.

Le principali caratteristiche dell’antenna per il sistema di localizzazione sono, anche in questo caso, guidate dalla tipologia di tag utilizzati; è stata dunque selezionata un’antenna per tag passivi, a frequenza HF e relativa allo standard ISO15693. Per il sistema di localizzazione è inoltre importante poter garantire delle distanze di lettura sufficientemente elevate, perché i tag devono poter essere localizzati all’interno del corpo del paziente, affiancate dalla necessità di utilizzo di antenne portatili, e quindi di dimensioni limitate, così da permetterne un facile utilizzo nel caso di ricerca del materiale all’interno del paziente.

Per tale motivo è stata scelta una tipologia di antenna caratterizzata da un range di lettura non inferiore ai 40cm, utilizzabile su controller a potenza più elevata al fine di aumentare la distanza di lettura.

Di seguito una descrizione delle caratteristiche generali ed un dettaglio delle specifiche tecniche del reader selezionato per la realizzazione del prototipo ‘Tracciamento elettronico’:

ID ISC.ANTH200/200-A una Single Loop Antenna, ottimizzata per il collegamento ai Mid Range Reader.

Alimentando il reader con 1W di potenza ed utilizzando transponder in formato ISO Card (dim. 54x86 mm), l'antenna raggiunge nell'area centrale la distanza di lettura di circa 40 cm (orientamento parallelo del transponder).

Sono inoltre possibili applicazioni con altri reader alla frequenza 13.56 MHz grazie alla impedenza di 50 Ohm; in particolare con controller caratterizzati da una più alta potenza di trasmissione, fino a 1,7 watt, il range di lettura/scrittura raggiunge i 70 cm.

È infine da sottolineare che la stessa organizzazione è stata realizzata utilizzando però un'antenna di dimensioni più limitate e di conseguenza portata più ridotta. L'utilizzazione di questo secondo rivelatore è legato alla sperimentazione della comunicazione via collegamento bluetooth, sicuramente più funzionale perché 'wireless'.



Figura 4.11: Antenna con collegamento di tipo Bluetooth.

Nella Fig. 4.12 sono riportate le caratteristiche tecniche del dispositivo.

4.4.2 Architettura del sistema

Nel caso in cui al termine di un intervento operatorio non ci fosse riconciliazione nei conteggi di verifica effettuati dal personale medico sulle garze chirurgiche, si deve procedere alla ricerca del materiale potenzialmente perso. Si interrompe dunque l'intervento e non si procede alla chiusura del taglio del paziente per tutta la durata della ricerca, che avviene secondo procedure completamente manuali. Nei casi più gravi, ovvero quando si ha il ragionevole dubbio che il materiale perso possa essere all'interno del paziente, si ricorre all'utilizzo di apparecchiature radiologiche portatili, sfruttando il filo

Housing	Plastic ABS (closed)
Color	RAL 9002 / RAL 7044
Dimensions (LxWxH)	230 x 100 x 80 mm
Weight	320 g (without batteries)
Protection class	IP 30
Power supply	4 Mignon cells 1,2-1,5 V AA (not included)
Power consumption	maximum 2,5 W
Operating frequency	13.56 MHz
Transmitting power	0,5 Watt +/- 2dB
Antenna	integrated
Interfaces	Bluetooth (class 1)
Signal generator - optical - acoustic	1 LED (red/green/blue) Buzzer
Protocols	FEIG ISO Host
Processable transponders	ISO 15693 tags, ISO 18000-3 tags optional: further tag types
FLASH	Firmware Update possible
Temperature range - operation - storage	-0° C up to 50° C -20° C up to 70° C
Umidità	90% (not condensing)
Shock	1,5 mt. On concrete
Accessories: Battery Charger	ID CHA.NiMH-A Battery Charger

Figura 4.12: Caratteristiche dell'antenna con collegamento di tipo Bluetooth.

di materiale radiopaco che ad oggi contraddistingue tutte le garze per uso chirurgico. Ciò implica, come già ampiamente esposto, di dover sottoporre il paziente ad una dose nociva di radiazioni, ritardando il termine dell'intervento e la chiusura del paziente stesso. Il sistema di localizzazione consente di automatizzare e velocizzare le procedura di ricerca, evitando di ricorrere all'utilizzo di radiazioni nocive, in tutti quei casi in cui si ha il fondato sospetto che il materiale sia all'interno del paziente.

Se a seguito delle operazioni automatiche di conteggio, la verifica sul materiale non va a buon fine, il sistema di identificazione e conteggio avverte il personale medico dell'anomalia e lo informa sulla quantità e sulla tipologia del materiale perso. A questo punto, lo stesso personale medico, tramite l'utilizzo della seconda antenna associata al sistema, procede alla ricerca all'interno del corpo del paziente. L'antenna deve essere attivata tramite un opportuno comando lanciato dal PC, che ne consente l'emissione in manie-

ra continuativa, quindi passata nelle vicinanze di tutta la zona interessata dall'incisione. In caso di rilevamento di una garza, sul PC viene visualizzato un opportuno messaggio con la tipologia del materiale ritrovato e viene effettuato un nuovo conteggio di verifica; se la verifica da esito positivo, si può procedere alla rimozione della garza ed alla chiusura del paziente, altrimenti è ovviamente necessario proseguire con la ricerca.

4.4.3 Middleware di gestione

Anche dal punto di vista del sistema software di gestione, l'obiettivo è quello di unire le due soluzioni applicative in studio creando un unico sistema di identificazione, conteggio e localizzazione delle garze chirurgiche marcate. Nello specifico, per integrare al sistema di gestione già sviluppato per la soluzione 'Inventario elettronico' la nuova antenna pensata per la localizzazione, è stato necessario sia modificare il software sviluppato per l'interazione con l'antenna RFId, sia integrare l'applicativo di interfaccia con nuove funzionalità.

Alle operazioni base effettuabili con il reader, già sviluppate per la soluzione 'Inventario elettronico', è stata aggiunta l'operazione di lettura in modalità 'scan', ovvero la lettura lanciata da un comando di avvio e caratterizzata da una emissione continuativa dell'antenna.

Al software di interfaccia utente è stata invece aggiunta l'operazione di 'ricerca'. Mediante tale funzionalità è possibile avviare l'emissione dell'antenna portatile del sistema e, nel caso di localizzazione da parte di quest'ultima di una delle garze marcate, essere avvisati attraverso un opportuno messaggio sul display del PC della presenza del materiale con l'indicazione su quantità e tipologia.

Un'evoluzione futura del software di gestione realizzato, potrebbe essere lo sviluppo di una funzionalità che consenta di fornire indicazioni sull'area in cui la garza marcata è localizzata.

4.4.4 Verifica sperimentale

Anche nello studio della soluzione 'Tracciamento elettronico' la fase di verifica sperimentale è consistita in una serie di misure atte a studiare le proprietà fisiche della nuova antenna aggiunta al sistema e le sue prestazioni in termini di distanza di lettura. Alla fase di misure è quindi seguita una fase di collaudo per valutare le prestazioni dell'intero sistema in varie condizioni di utilizzo.

Per la tipologia di campo generato dalla nuova antenna HF, valgono le stesse risultanze dell'antenna a più ampia portata scelta per la realizzazione del primo prototipo. Ed anche in questo caso, l'insieme delle misure

effettuate ha consentito di valutare la tecnologia RFId scelta come idonea all'applicazione di localizzazione delle garze chirurgiche.

Relativamente alle prove di utilizzo del prototipo realizzato, sono state utilizzate le 3 garze chirurgiche di 3 differenti tipologie già utilizzate per le prove effettuate sul sistema ‘Inventario elettronico’, marcate con gli stessi tag HF di dimensioni inferiori ai 30mm:

- 1 garza rettangolare 24 x 25 mm;
- 1 striscia rettangolare 78 x 4 mm;
- 1 tamponcino di dimensioni inferiori ai 40 mm.

Le garze, sempre marcate con tag contenenti nella loro memoria, oltre al codice identificativo, l'informazione relativa alla tipologia, sono state sottoposte a diverse operazioni di rilevamento.

In primo luogo le garze sono state immerse in un contenitore con acqua della profondità di 150 mm. Nel 100% dei casi le garze sono state correttamente rilevate ed identificate dal sistema in un tempo inferiore ai 5sec

In una seconda fase sono state effettuate delle prove di rilevamento attraverso tessuti biologici. In tutti i casi in cui l'antenna ha dovuto rilevare tag a distanze non superiore ai 100 mm, queste sono state sempre correttamente identificate in un tempo inferiore ai 5 secondi. Per distanze superiori le prestazioni del sistema cominciano a decadere.

Capitolo 5

Conclusioni

La tecnologia RFId si presenta come una tecnologia di notevole potenziale nonostante le problematiche ad essa legate e le difficoltà che ha avuto a convincere in molti settori.

In molti la ritengono una tecnologia ormai matura ed ampiamente testata, che può essere inserita a pieno titolo tra gli strumenti di miglioramento dei processi di business. Si pensa infatti che tale tecnologia, se introdotta correttamente e dopo valutazioni esperte, consente di abbattere i costi e migliorare la qualità. È inoltre una tecnologia invisibile che interviene nei processi senza necessariamente modificarne le attività e può integrarsi perfettamente con le infrastrutture tecnologiche esistenti.

I sistemi RFId costituiscono una tecnologia dalle enormi potenzialità anche nel settore sanitario; soprattutto in questi ultimi anni in cui i progressi tecnologici hanno consentito di superare la quasi totalità dei problemi di compatibilità delle reti wireless con le apparecchiature elettromedicali presenti negli ambienti medici. Ed anche in questo ambito, le problematiche di identificazione e tracciabilità assumono un'importanza strategica: è importante garantire la tracciabilità di dispositivi medici, di farmaci, dei dati relativi ai pazienti, e potenzialmente anche dei pazienti stessi.

Lo studio effettuato ha consentito di realizzare un primo sistema, il sistema 'Inventario elettronico', per l'automatizzazione delle procedure di gestione e conteggio delle garze chirurgiche durante un intervento.

Il prototipo realizzato è basato sull'utilizzo di una tecnologia RFId di tipo passivo, a frequenza HF (13,56MHz), caratterizzata da un lettore costituito da un controller e da un'antenna esterna. L'architettura proposta per il sistema prevede la sistemazione dell'antenna su uno dei tavoli chirurgici presenti all'interno di una camera operatoria, al fine di realizzare il cosiddetto 'banco di conta'. Tale banco di conta deve essere utilizzato dal personale medico per la registrazione ed il conteggio automatico delle garze nelle due fasi,

iniziale e finale, dell'intervento chirurgico, tramite il semplice passaggio del materiale all'interno del campo di azione dell'antenna. L'utilizzo dell'RFID per le operazioni di identificazione, conta e verifica finale è consentito tramite l'utilizzo di un apposito software di gestione sviluppato per tale applicazione. Il software fornisce un output di facile lettura caratterizzato da quantità e tipologia delle garze conteggiate, quantità e tipologia delle garze mancanti nel caso di non riconciliazione nei conteggi.

Le verifiche sperimentali effettuate sul sistema hanno consentito di dimostrare la validità del sistema progettato. In particolare, i benefici apportati dalla soluzione 'Inventario elettronico', sono diversi:

- Per il fatto che ogni singola garza chirurgica viene univocamente identificata, le operazioni di conteggio delle spugne, così come le operazioni di verifica finale per la rilevazione del materiale eventualmente perso, diventano rapide ed efficienti.
- Il sistema consente la completa eliminazione dell' 'errore umano'.
- Riduce l'obbligo da parte del personale medico di dover maneggiare le garze utilizzate, riducendo i rischi per il contatto con materiale potenzialmente infetto.
- Offre la possibilità di integrazione con il sistema informatico della struttura ospedaliera.

Ai vantaggi, si aggiungono la facilità di utilizzo del sistema 'Inventario elettronico' e la compatibilità di questo con le attuali procedure per la gestione delle garza durante l'intervento chirurgico: consente l'eliminazione delle fasi di conteggio e verifica manuali ma non altera o impone modifiche particolari alle restanti fasi della gestione.

Il secondo sistema realizzato, denominato 'Tracciamento elettronico', consente invece la ricerca all'interno del paziente del materiale eventualmente perso. È stato concepito come evoluzione del primo con lo scopo di realizzare un sistema completo che, all'efficienza del conteggio automatico, affianchi la sicurezza di un sistema di localizzazione e ricerca. Il prototipo realizzato è basato sull'utilizzo di una tecnologia RFID con le stesse caratteristiche della tecnologia selezionata nella soluzione 'Inventario elettronico', ovvero un sistema di tipo passivo, a frequenza HF (13,56MHz), con un lettore costituito da controller ed antenna esterna, questa volta portatile. La tecnologia dei 2 sistemi è semplicemente integrabile tramite l'utilizzo di un controller multiplexer, cioè di un sistema di controllo del reader predisposto per il

collegamento di più antenne. L'architettura proposta per la soluzione 'Tracciamento elettronico' prevede l'utilizzo dell'antenna portatile nel solo caso di mancata riconciliazione dei conteggi. Tale antenna deve essere passata dal personale medico nella zona dell'incisione, prima della chiusura della stessa, per consentire il rilevamento delle garze eventualmente lasciate all'interno del paziente. Anche per questo secondo sistema, l'utilizzo dell'RFId per l'operazione di rilevamento è consentito tramite l'utilizzo di apposito software di gestione sviluppato per l'applicazione. Il software fornisce un output di facile lettura caratterizzato da quantità e tipologia delle garze eventualmente rilevate. Anche in questo caso la fase di verifica sperimentale ha dato risultati confortanti sebbene il sistema progettato possa essere perfezionato. Va infine aggiunto che è stata eseguita una serie di misure, analoghe alle precedenti, utilizzando un lettore con portata più ridotta rispetto all'altra antenna portatile, ed interfaccia di tipo Bluetooth, con risultati abbastanza soddisfacenti.

Di seguito sono evidenziati i vantaggi legati all'introduzione del sistema 'Tracciamento elettronico':

- Il sistema consente una rapida rilevazione delle garze accidentalmente perse all'interno del paziente.
- Il sistema è di immediato utilizzo, per praticità e semplicità.
- In caso di mancata riconciliazione nei conteggi di verifica, evita al paziente una inutile esposizione ai raggi X, inoltre l'intensità dei campi elettromagnetici generati dagli RFId non è nociva per gli esseri umani ed è garantita la compatibilità di questi con la restante strumentazione elettronica presente in sala operatoria.
- Aumenta la sicurezza del paziente, consentendo di prevenire il problema delle garze chirurgiche lasciate all'interno del paziente.
- Riduce i costi della struttura ospedaliera legati ad eventuali cure successive a cui dover sottoporre il paziente vittima di una dimenticanza di questo tipo o ad eventuali denunce da parte di questo verso la struttura.

Una possibile evoluzione, di maggior impegno, del sistema di localizzazione delle garze eventualmente disperse, potrebbe prevedere l'utilizzo di tecnologia RFId a frequenza UHF [15], con antenne di grandi dimensioni, per realizzare un rivelatore che permette la scansione simultanea e completa dell'intero tavolo operatorio. L'impiego delle frequenze UHF è stato regolamentato in Italia solo in tempi molto recenti.

A seguito delle risultanze positive provenienti dalle attività di verifica sperimentale precedentemente descritte, al momento attuale, si ritiene opportuno effettuare un'analisi dei costi e dei benefici finalizzata alle risultanze economiche attese dal progetto di ricerca, al fine di completare la valutazione preliminare sull'effettiva opportunità di lanciare sul mercato il sistema descritto. Tale ulteriore valutazione consentirebbe a potenziali investitori interessati al prodotto di stimare in termini economici ed in maniera ancor più completa l'effettivo valore aggiunto che l'attività di ricerca è in grado di offrire rispetto alle attuali procedure.

Bibliografia

- [1] R. Want, An Introduction to RFID Technology, IEEE Pervasive Computing, vol. **5**, 25, Jan.-Mar. 2006.
- [2] Manfred Aigner and Martin Feldhofer. Secure symmetric authentication for rfid tags. In *Telecommunication and Mobile Computing*, TCMC 2005, Graz, Austria, March 2005.
- [3] A Basic Introduction to RFID Technology and its Use in the Supply Chain, LARAN RFID, <http://www.laranrfid.com>, April 2005.
- [4] Storia della Tecnologia RFID, <http://www.eximia.it>, Dicembre 2003.
- [5] Martein Meints, A Structured Collection on Information and Literature on Technological and Usability Aspects of Radio Frequency Identification (RFID), FIDIS deliverable **3**, 7, 2007.
- [6] K. Finkenzeller, RFId Handbook - Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, 2nd ed. John Wiley and Sons Ltd, 2004.
- [7] Zhang, Y, Amin M.G., Localization and tracking of passive RFID tags, in *Wireless Sensing and Processing*. Edited by Rao, Raghuveer M.; Dianat, Sohail A.; Zoltowski, Michael D. Proceedings of the SPIE, Volume 6248, pp. 624809 (2006).
- [8] R. Harrington, Electromagnetic Scattering by Antennas, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. **11**, 595, 1963.
- [9] International Organization for Standardization. www.iso.org
- [10] European Telecommunications Standards Institute. www.etsi.org.
- [11] Electronic Product Code global. www.epcglobalinc.org.

- [12] Paolo Talone, Giuseppe Russo, *RFId TECNOLOGIA E APPLICAZIONI - Fondamenti delle tecniche e cenni sulle applicazioni di una tecnologia silenziosamente pervasiva*, 2006.
- [13] Alex Macario, Dean Morris, Sharon Morris, Initial Clinical Evaluation of a Handheld Device for Detecting Retained Surgical Gauze Sponges Using Radiofrequency Identification Technology. *Arch Surg.* 2006, **141**, 659-662
- [14] Carl E. Fabian, Electronic tagging of surgical sponges to prevent their accidental retention. *Surgery* 2005, **137**, 298-301
- [15] J.-P. Curty, N. Joehl, C. Dehollain, and M. J. Declercq, Remotely powered addressable UHF RFID integrated system, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, **40**, 2193 (2005).

Ringraziamenti

Ringrazio i Proff. Gaspari e Di Lorenzo per avermi proposto questo interessante tema di ricerca e per la possibilità di collaborare in un campo di così vasto interesse come quello dell'Ingegneria applicata alla Medicina. Desidero anche ringraziare tutti coloro che hanno collaborato con me durante lo svolgimento del progetto, fornendomi in particolare gli strumenti necessari per la realizzazione e la sperimentazione sui prototipi.