



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA
"TOR VERGATA"

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

DOTTORATO DI RICERCA IN
INGEGNERIA DELL'ENERGIA - AMBIENTE

XX CICLO

APPLICAZIONI DELLA TECNOLOGIA RFID IN
AMBITO SANITARIO

ING. LUCA ARMISI

A.A. 2009/2010

Tutor: Prof. Fabio Gori

Co-Tutor: Prof. Nicola Rosato

INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Riassunto | 6 |
| 2 | Introduzione | 7 |
| 3 | La tecnologia RFId..... | 8 |
| 3.1 | Descrizione di un sistema RFId..... | 8 |
| 3.2 | Transponder..... | 9 |
| 3.2.1 | Classificazione dei tag | 11 |
| 3.2.2 | Parametri per la scelta di un tag | 17 |
| 3.3 | Reader | 18 |
| 3.3.1 | Classificazione reader | 21 |
| 3.4 | Frequenze di comunicazione tag-reader | 23 |
| 3.5 | Sistemi di comunicazione RFId | 28 |
| 3.5.1 | Il processo di modulazione della portante | 29 |
| 3.5.2 | La codifica dei dati | 29 |
| 3.5.3 | Rilevamento e correzione degli errori | 30 |
| 3.6 | Standard di comunicazione | 31 |
| 3.6.1 | Lo standard ISO..... | 33 |
| 3.6.2 | Lo standard EPCglobal | 34 |
| 3.7 | Allocazione in frequenza | 37 |
| 3.7.1 | Situazione mondiale..... | 37 |
| 3.7.2 | Situazione europea..... | 39 |
| 3.7.3 | Situazione nazionale | 40 |
| 3.8 | Normative in ambito ospedaliero sulla compatibilità elettromagnetica .. | 41 |
| 4 | Principi fisici dei sistemi RFId | 45 |
| 4.1 | Principi di campi elettromagnetici..... | 45 |
| 4.1.1 | Onda elettromagnetica | 45 |
| 4.1.2 | Le equazioni di Maxwell | 47 |
| 4.2 | Accoppiamento tag/reader | 51 |
| 4.2.1 | L'accoppiamento induttivo | 52 |
| 4.2.2 | L'accoppiamento elettromagnetico | 56 |
| 4.3 | Antenne nei sistemi RFId..... | 62 |
| 4.3.1 | Elementi base di teoria delle antenne | 65 |
| 4.3.2 | Antenne per tag | 69 |
| 4.3.3 | Antenne per reader..... | 72 |
| 4.4 | Read range di un sistema RFId..... | 75 |
| 5 | Le applicazioni..... | 76 |
| 5.1 | Le applicazioni in ambito industriale | 78 |
| 5.1.1 | Trasporto pubblico locale..... | 78 |
| 5.1.2 | Pubblica amministrazione | 79 |
| 5.1.3 | Educazione ed intrattenimento | 79 |
| 5.1.4 | Trasporto merci | 79 |
| 5.1.5 | Gestione dei pagamenti..... | 80 |
| 5.1.6 | Largo consumo | 80 |
| 5.1.7 | Lusso e moda..... | 81 |
| 5.1.8 | Settore alimentare | 81 |
| 5.1.9 | Logistica interna | 82 |
| 5.2 | Le applicazioni in ambito sanitario | 82 |
| 5.2.1 | Identificazione mamma-neonato | 83 |
| 5.2.2 | Logistica e gestione del farmaco | 84 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 5.2.3 | Localizzazione paziente all'interno dell'area del Pronto Soccorso..... | 85 |
| 5.2.4 | Un tag come misuratore di glicemia..... | 85 |
| 5.3 | Analisi costi e benefici..... | 87 |
| 6 | Progetti svolti presso il Servizio di Ingegneria Medica del Policlinico Tor Vergata..... | 89 |
| 6.1.1 | Sistema di supporto alla gestione della filiera trasfusionale..... | 91 |
| 6.1.2 | Finalità del progetto di ricerca | 93 |
| 6.1.3 | Requisiti del sistema | 94 |
| 6.1.4 | Scelta del sistema RFID utilizzato per la sperimentazione..... | 94 |
| 6.1.5 | Conclusioni del progetto | 98 |
| 6.2 | Progettazione di un sistema per conteggio ed identificazione di garze laparotomiche | 99 |
| 6.2.1 | Finalità del progetto di ricerca | 100 |
| 6.2.2 | Requisiti del sistema | 101 |
| 6.2.3 | Scelta del sistema RFID utilizzato per la sperimentazione..... | 104 |
| 6.2.4 | Prove sperimentali | 108 |
| 6.2.5 | Definizione delle caratteristiche ottimali del sistema RFID..... | 116 |
| 6.2.6 | Conclusioni del progetto | 119 |
| 6.3 | Supporto alla gestione della manutenzione..... | 120 |
| 6.3.1 | La gestione della manutenzione presso il Policlinico Tor Vergata..... | 122 |
| 6.3.1 | Finalità del progetto di ricerca | 125 |
| 6.3.2 | Requisiti del sistema | 127 |
| 6.3.3 | Componenti del sistema RFID utilizzato..... | 128 |
| 6.3.4 | Misure effettuate..... | 131 |
| 6.3.5 | Realizzazione del software di gestione del sistema..... | 136 |
| 6.3.6 | Elaborazione del software di scrittura | 138 |
| 6.3.7 | Elaborazione del software di lettura | 142 |
| 6.3.8 | Conclusioni del progetto | 144 |
| 7 | Conclusioni..... | 145 |
| 8 | Bibliografia..... | 146 |
| 9 | Ringraziamenti..... | 149 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|--|-----|
| Tabella 3-1 - Confronto tra tag passivi, semi-passive ed attivi | 12 |
| Tabella 3-2 - Caratteristiche delle frequenze LF..... | 25 |
| Tabella 3-3 - Caratteristiche delle frequenze HF | 26 |
| Tabella 3-4 - Caratteristiche delle frequenze UHF..... | 26 |
| Tabella 3-5 - Caratteristiche frequenze SHF..... | 27 |
| Tabella 3-6 - Classificazione EPCglobal dei tag..... | 36 |
| Tabella 4-1 - Regioni di campo vicino e lontano per le diverse frequenze | 51 |
| Tabella 6-1 - caratteristiche sistema in funzione della frequenza di lavoro..... | 102 |
| Tabella 6-2 - sintesi risultati distanza di lettura | 112 |
| Tabella 6-3 - distanza di lettura dei tag in funzione della potenza di lettura | 132 |
| Tabella 6-4 - codifica dati sul tag | 137 |
| Tabella 6-5 - esempio di generazione codice | 138 |
| Tabella 6-9 - esiti possibili per l'operatore clinico | 142 |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|----|
| Figura 3-1 - Schema generale di un sistema RFID..... | 9 |
| Figura 3-2 - Tag di diverse dimensioni..... | 10 |
| Figura 3-3 - Tag su cinturino da polso per applicazioni ospedaliere..... | 10 |
| Figura 3-4 - accoppiamento induttivo (sx.) ed elettromagnetico (dx.) | 16 |
| Figura 3-5 - Reader HF: unità di controllo ed antenna | 18 |
| Figura 3-6 - Accoppiamento reader-transponder | 19 |
| Figura 3-7 - Reader per due antenne..... | 19 |
| Figura 3-8 - Reader fisso..... | 22 |
| Figura 3-9 - Reader portatile | 22 |
| Figura 3-10 - Esempio di EPC di tipo 1 (96 bit) con notazione esadecimale | 35 |
| Figura 3-11 - Regioni nella ripartizione internazionale delle frequenze dell'ITU | 37 |
| Figura 4-1 - Lo spettro elettromagnetico | 46 |
| Figura 4-2 - Onda elettromagnetica | 47 |
| Figura 4-3 - Schema di principio dell'accoppiamento induttivo | 52 |
| Figura 4-4 - Accoppiamento induttivo tra reader e tag..... | 53 |
| Figura 4-5 - Schema di principio dell'accoppiamento elettromagnetico | 56 |
| Figura 4-6 - Accoppiamento elettromagnetico tra reader e tag..... | 58 |
| Figura 4-7 - Antenne per tag e reader | 62 |
| Figura 4-8 - A) Campo 1D; B) Campo 2d; C) Campo 3D..... | 63 |
| Figura 4-9 - Campo magnetico di un loop | 66 |
| Figura 4-10 - Decadimento del campo magnetico con la distanza..... | 66 |
| Figura 4-11 - Configurazione base delle antenne per un'applicazione RFID | 67 |
| Figura 4-12 - Orientazione dipendente dall'antenna del tag | 68 |
| Figura 4-13 - Varie configurazioni della spira dell'antenna del tag | 69 |
| Figura 4-14 - Circuito risonante parallelo..... | 70 |
| Figura 4-15 - Varie configurazioni del circuito dell'antenna del reader | 72 |
| Figura 4-16 - Un trasformatore ad antenna a spira per reader | 73 |
| Figura 4-17 - Circuito risonante serie | 74 |
| Figura 5-1 - La dinamica delle applicazioni (Rapporto Osservatorio RFID 2007) | 76 |
| Figura 5-2 - La suddivisione delle applicazioni per settore | 77 |
| Figura 5-3 - L'albero dei valori (Rapporto Osservatorio RFID 2007)..... | 87 |
| Figura 6-1 - attuale procedura di gestione della filiera trasfusionale | 93 |

| | |
|--|--|
| Figura 6-2 - logo della 3RFId Italia..... | 94 |
| Figura 6-3 - lettore utilizzato..... | 95 |
| Figura 6-4 -braccialetto con tag..... | 95 |
| Figura 6-5 - tag campione ematico | 95 |
| Figura 6-6 - tag sacca ematica | 96 |
| Figura 6-7 - schermata del software gestionale BTS..... | 96 |
| Figura 6-8 – nuova procedura di gestione della filiera trasfusionale..... | 97 |
| Figura 6-9 - ritaglio articolo RFId journal sulla sperimentazione effettuata | 98 |
| Figura 6-10 - Garza laparotomica e tag RFId..... | 99 |
| Figura 6-11 - Utilizzo zootecnico della tecnologia RFId..... | 104 |
| Figura 6-12 - Tag LF da 11 mm e da 22 mm | 104 |
| Figura 6-13 - Confezione garze utilizzate per la sperimentazione | 105 |
| Figura 6-14 - Display del reader..... | 106 |
| Figura 6-15 - Uploaded Tag Data..... | 107 |
| Figura 6-16 - Rappresentazione del set up di misura | 108 |
| Figura 6-17 - orientamento tag..... | 109 |
| Figura 6-18 - distanze di lettura in funzione dell'orientamento..... | 111 |
| Figura 6-19 - disposizione tag per distanza di discriminazione | 114 |
| Figura 6-20 - Garza laparotomica con il tag | 115 |
| Figura 6-21 - Palmare EDiTID EID PALM..... | 118 |
| Figura 6-22 - schema concettuale del sistema in progetto | 126 |
| Figura 6-23 – palmare AT870 Atid | 128 |
| Figura 6-24 - menu principale lettore | 128 |
| Figura 6-25 - funzione di lettura TAG UHF | 128 |
| Figura 6-26 - lettura TAG | 128 |
| Figura 6-27 - specifiche tecniche lettore..... | 129 |
| Figura 6-29 - Tag Hf 4x2 cm..... | 130 |
| Figura 6-28 - - Tag HF 5x3 cm | 130 |
| Figura 6-31 - TAG UHF 7,7x2,7 cm | 130 |
| Figura 6-32 - TAG UHF 10x1,5 cm | 130 |
| Figura 6-33 - sistema di assi cartesiani utilizzati per le misure..... | 131 |
| Figura 6-34 - distanza di lettura in funzione della tipologia di tag..... | 133 |
| Figura 6-35 - intervento in laparoscopia..... | 134 |
| Figura 6-36 - colonna laparoscopica utilizzata per le misure..... | 134 |
| Figura 6-37 - modello elettrico dell'accoppiamento TAG – involucro..... | Errore. Il segnalibro non è definito. |
| Figura 6-38 - schermata di scrittura..... | 139 |
| Figura 6-39 - esempio di errore di inserimento dati | 139 |
| Figura 6-40 - schermata di avvenuta scrittura sul tag..... | 140 |
| Figura 6-41 - algoritmo del software di scrittura..... | 141 |
| Figura 6-42 - algoritmo del software di lettura | 143 |

1 Riassunto

Il presente elaborato descrive l'attività svolta presso il Servizio di Ingegneria Medica del Policlinico Tor Vergata, nella progettazione, realizzazione e sperimentazione di applicazioni della tecnologia RFId in ambito sanitario.

Sono stati identificati tre ambiti di possibile applicazione della tecnologia RFId, producendo altrettante linee di ricerca che hanno confluito nella realizzazione e sperimentazione di sistemi applicabili nelle pratiche tecniche e cliniche ospedaliere.

In particolare:

- **Progettazione di un sistema di supporto alla gestione della filiera trasfusionale:** tale sistema RFId è basato sull'identificazione e associazione di paziente, richiesta di trasfusione e sacca ematica, per ridurre il rischio di errata somministrazione e conseguentemente il rischio clinico di reazione avversa. Il sistema realizzato è stato sperimentato presso il Policlinico Tor Vergata, con risultati soddisfacenti, realizzando un prodotto pienamente utilizzabile in ambito clinico, previa ottimizzazione e rifinitura di determinati parametri gestionali.
- **Progettazione di un sistema di supporto alla gestione delle garze laparotomiche:** tale sistema RFId è stato ideato per supportare il personale clinico nella conta delle garze utilizzate durante gli interventi chirurgici, al fine di minimizzare il rischio di ritenzione all'interno del paziente e i tempi di conta pre e post operatori, nonché identificare eventuali garze all'interno del corpo del paziente. Il sistema realizzato è stato valutato come parzialmente soddisfacente i requisiti iniziali, risultando funzionale per le operazioni di conta ma inadatto per l'identificazione di garze ritenute.
- **Progettazione di un sistema di supporto alla gestione della manutenzione degli elettromedicali:** tale sistema RFId è finalizzato al supporto di personale clinico e tecnico nell'esecuzione e controllo della manutenzione programmata, al fine di verificare lo stato di utilizzabilità delle apparecchiature sulla base dei requisiti cogenti. Il sistema realizzato è stato valutato come pienamente rispondente ai requisiti posti per il progetto e potenzialmente utilizzabile nella pratica clinica all'interno di una struttura sanitaria.

2 Introduzione

Negli ultimi anni la sanità italiana sta guardando con sempre maggior interesse alle procedure di gestione del rischio clinico, inteso come l'insieme dei processi volti a individuare, monitorare e minimizzare la probabilità che si verifichino eventi avversi connessi alle pratiche cliniche.

Le procedure di gestione del rischio clinico prevedono una serie di fasi correlate tra loro, che vanno dall'individuazione dei potenziali eventi avversi, alla determinazione del rischio a essi connesso, dall'individuazione ed applicazione di opportune azioni correttive, al monitoraggio dell'andamento di opportuni indicatori di rischio in seguito alle azioni intraprese.

Il Servizio Sanitario Nazionale, relativamente a tale tematica, sta compiendo un significativo sforzo nell'impostare le strutture sanitarie sulla base delle procedure di gestione del rischio clinico, con l'obiettivo di minimizzare gli eventi avversi coinvolgenti pazienti e operatori ed i costi connessi al verificarsi di tali eventi.

In quest'ottica, si inquadra l'attività svolta nell'ambito del mio dottorato di ricerca: identificare potenziali miglioramenti nelle procedure assistenziali, mediante applicazione della tecnologia di identificazione a radiofrequenza (RFID).

La tecnologia RFID, basata sulla trasmissione wireless di dati tra un circuito associato a una determinata entità e un lettore, ha verificato una crescita esponenziale negli ultimi decenni, in relazione a numero di applicazioni effettuate, flussi economici, potenzialità tecnologiche.

Tra i settori che più recentemente hanno assistito all'avvento della tecnologia RFID, vi è sicuramente il settore sanitario; la motivazione è da cercarsi nelle caratteristiche contraddistintive di un sistema RFID, quali l'affidabilità, la rapidità di trasmissione dei dati, la distanza di lettura.

L'oggetto delle attività di ricerca svolte nel triennio di dottorato e oggetto del presente elaborato, è appunto l'applicazione della tecnologia RFID in ambito sanitario, con l'obiettivo di ridurre i livelli di rischio clinico e migliorare efficacia, efficienza ed economicità delle pratiche tecniche e cliniche svolte.

3 La tecnologia RFId

I sistemi RFId fanno parte della tecnologia di identificazione automatica a radiofrequenza o Auto-ID. Questa tecnologia presenta due caratteristiche basilari, riducendo sia i tempi che i costi riguardanti l'inserzione manuale dei dati di interesse ed eliminando possibili errori nell'inserimento dei dati stessi.

La tecnologia RFId utilizza quindi un sistema che permette l'acquisizione automatica di dati per l'identificazione e consente l'introduzione automatica, cioè senza l'ausilio di tastiera o di altre operazioni manuali, di questi dati di identificazione e di altri dati complementari all'interno di programmi dedicati presenti in un computer.

Nel presente capitolo verrà effettuata una sintetica descrizione della tecnologia RFId, con particolare riferimento alla descrizione dei componenti costitutivi, la classificazione, gli aspetti contraddistintivi e le diverse potenzialità offerte dall'attuale stato dell'arte.

3.1 Descrizione di un sistema RFId

Un sistema RFId si compone di tre elementi fondamentali:

- *Tag*: un transponder a radiofrequenza di piccole dimensioni che è l'elemento principale del sistema. E' un'etichetta intelligente, di varie forme e dimensioni, che viene posta sugli oggetti da gestire permettendo la trasmissione di dati a corto o medio raggio senza contatto fisico;
- *Reader*: un ricetrasmittitore controllato da un microprocessore ed usato per interrogare e ricevere le informazioni in risposta dai tag. Ne esistono di varie dimensioni e possono essere statici o portatili;
- *Sistema di gestione*: un sistema informativo che, quando esiste, è connesso in rete con i reader. Tale sistema consente, a partire dai codici identificativi provenienti dai tag, di ricavare tutte le informazioni disponibili associate agli oggetti e di gestire tali informazioni per gli scopi dell'applicazione.

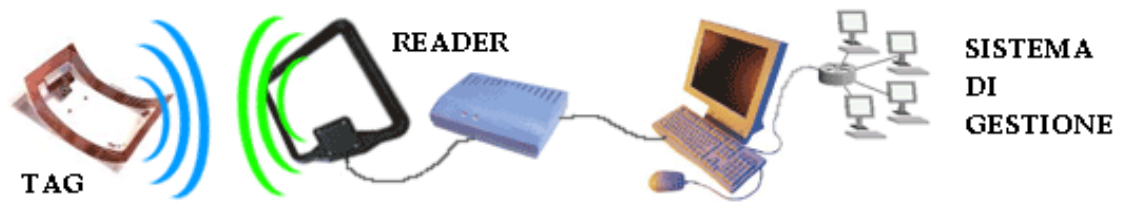


Figura 3-1 - Schema generale di un sistema RFID

Riassumendo, la tecnologia RFID si basa sulla lettura a distanza di informazioni contenute in un tag, usando dei reader e sistemi di gestione quando necessario.

Un reader manda un segnale tramite un campo elettromagnetico generato attraverso un'antenna. Tale segnale permette di caricare (nel caso in cui si adoperi un transponder detto passivo) i componenti interni che costituiscono il circuito di alimentazione, e ciò in un tempo brevissimo, dell'ordine di qualche millesimo di secondo. Il transponder, una volta riconosciuta la correttezza dell'operazione d'interrogazione, manda verso il lettore un segnale che contiene il suo codice di identificazione nonché altri dati contenuti all'interno della sua memoria.

3.2 Transponder

Un transponder (tag) è composto da alcuni componenti elementari:

- *Il circuito integrato (chip):* il componente elettronico intelligente con funzioni di semplice logica di controllo che gestisce tutta la parte di comunicazione e di identificazione. Esso contiene i dati tra cui un numero di identificazione universale univoco scritto nel silicio;
- *L'antenna:* l'apparato che permette al chip di essere alimentato (se privo di batteria) e di ricevere ed eventualmente trasmettere le comunicazioni con il mondo esterno;
- *Il supporto:* il componente che sostiene o protegge il sistema composto da chip e antenna. Può essere un contenitore oppure tag e antenna possono essere incorporati in un'etichetta di carta, una Smart Card, una chiave o integrati in apparati elettronici (orologi, telefonini, etc.).

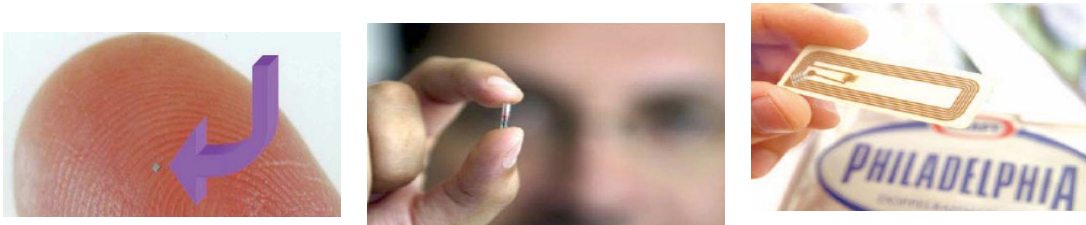


Figura 3-2 - Tag di diverse dimensioni

Esistono un'enorme varietà di contenitori per tag progettati per applicazioni differenti e per l'uso negli ambienti più disparati.

Nel più tipico tag, cioè quello a etichetta, chip e antenna sono generalmente inseriti tra un substrato di materiale plastico ed una copertura di carta. Altre comuni configurazioni di assemblaggio portano alla produzione di tag a tessera, tag su carta, su chiavi o su cinturini da polso, di tag in contenitori di plastica o ceramica. Esistono anche transponder dalle forme più inusuali come quelli a bullone o a tappo in plastica per le bottiglie di vino.

Il tipo di supporto del tag può variare secondo le necessità: può essere una tessera rigida di plastica tipo carta di credito oppure flessibile, può essere un cerotto se devo identificare l'arto di un paziente da operare e quale intervento deve essere fatto, oppure un anello plastico se devo sigillare una valigia, oppure un braccialetto se devo identificare un paziente di una trasfusione, o un adesivo schermato dal lato dove deve essere incollato su una superficie metallica, etc.

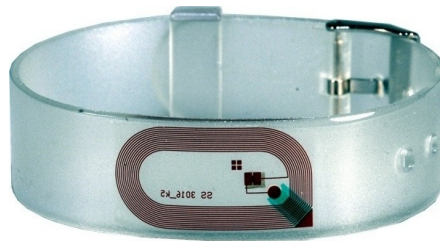


Figura 3-3 - Tag su cinturino da polso per applicazioni ospedaliere

3.2.1 Classificazione dei tag

I transponder hanno diverse tipologie di classificazione a seconda della caratteristica considerata.

Un'importante classificazione dei tag RFID è quella che si basa sulla natura della sorgente di energia che alimenta il transponder e che gli permette di operare e comunicare.

Un'altra classificazione dei tag RFID è quella che si basa sul tipo di memoria posseduta dal transponder, caratteristica fondamentale dipendente dal tipo di applicazione che si vuole fare della tecnologia di identificazione a radiofrequenza.

Una terza classificazione dei transponder si può effettuare sulla base del tipo di accoppiamento esistente tra reader e tag che può essere induttivo o elettromagnetico.

3.2.1.1 Classificazione sulla base dell'alimentazione

Una prima importante classificazione dei tag RFID è quella che si basa sulla modalità d'alimentazione e di trasmissione rispetto al reader.

Questa distinzione permette di suddividere i tag in passivi, semi-passivi e attivi.

Come descritto nella Tab. 1.1 tutti e tre i tipi di tag hanno vantaggi e svantaggi, hanno diverse tipologie di utilizzano e lavorano su bande di frequenza differenti.

| TIPO DI TAG | VANTAGGI | SVANTAGGI | BANDE | UTILIZZO |
|---------------------|--|--|----------------|--|
| Passivi | <ul style="list-style-type: none"> - Tempi di vita elevati - Vasta gamma di forme - Flessibilità meccanica elevata - Costi ridotti | <ul style="list-style-type: none"> - Distanze limitate - Controllati rigorosamente da regolamentazioni locali | LF, HF, UHF | Tipologia maggiormente utilizzata nei sistemi RFID |
| Semi-passivi | <ul style="list-style-type: none"> - In grado di controllare sensori - Non rientrano nelle rigorose normative dei tag passivi | <ul style="list-style-type: none"> - Costi elevati a causa della batteria e degli involucri - Affidabilità limitata, per l'efficienza della batteria | UHF | Nei sistemi in tempo reale per tracciare materiali o dispositivi di elevato valore all'interno di un'azienda |

| | | | | |
|---------------|---|--|-----|---|
| Attivi | <ul style="list-style-type: none"> - In grado di controllare sensori - Non rientrano nelle rigorose normative dei tag passivi - Distanza operativa elevata | <ul style="list-style-type: none"> - Rischio ambientale per la presenza di prodotti chimici potenzialmente tossici nelle batterie | UHF | Nella logistica per il tracciamento di container su treni, camion, ecc. |
|---------------|---|--|-----|---|

Tabella 3-1 - Confronto tra tag passivi, semi-passivi ed attivi

- Tag passivi

I tag passivi sono tipicamente dei dispositivi a basso costo e di piccole dimensioni che consentono di realizzare numerosi tipi di applicazioni in quanto vengono realizzati su quasi tutte le bande di frequenza consentite.

I transponder passivi usano il campo generato dal segnale del reader come sorgente di energia per alimentare i propri circuiti e trasmettere il segnale. In altre parole reirradiano, modulandolo, il segnale trasferito dal reader e riflesso dalla propria antenna. Quindi non possiedono nessuna batteria o qualunque altra sorgente interna di energia.

Questi transponder hanno la necessità di ricevere l'energia elettromagnetica generata da un reader per vedere alimentata la parte dei loro circuiti operante a radiofrequenza (RF), in modo da risultare "accesi", infatti l'assenza di campo di energia li spegne completamente.

La potenza ricavabile dal segnale del reader decresce molto rapidamente con la distanza. Ne risultano distanze operative piuttosto basse (al massimo qualche metro).

Essendo costituiti solamente da un'antenna (tipicamente stampata) e da un circuito integrato generalmente miniaturizzato, l'altezza dei tag passivi può essere anche di poche centinaia di micron. I transponder, quindi, possono essere inseriti in carte di credito, etichette adesive, bottoni ed altri piccoli oggetti di plastica, fogli di carta, banconote e biglietti d'ingresso.

- Tag semi-passivi

I tag semi-passivi usano, come i tag passivi, il campo generato dal segnale del reader come sorgente di energia per trasmettere, ma non per alimentare i propri circuiti. Nel tag infatti è inclusa una batteria, utilizzata però solo per alimentare il chip, non per comunicare con il reader. Questo consente al chip medesimo di realizzare funzioni più complesse e di operare anche quando il transponder non riceve energia dal reader. Tuttavia la distanza operativa è limitata, come nei tag passivi, dal fatto che il

transponder non ha un trasmettitore integrato, ma è obbligato ad usare il segnale del reader per rispondere.

Il vantaggio dei tag semi-passivi è di poter montare memorie riscrivibili e di maggior capacità, nonché, su alcuni modelli, sensori ambientali per misurare temperatura, pressione, movimento, etc. Usufruendo della fonte di energia della batteria i sensori possono compiere misure, conservarle in memoria con le informazioni temporali e restituirle all'interrogazione del reader, fornendo una storia della vita dell'oggetto a cui sono associati.

La batteria con i suoi costi, la sua durata e le connesse problematiche di inquinamento, costituisce la principale criticità per questo tipo di transponder.

- **Tag attivi**

I tag attivi dispongono di un proprio sistema di alimentazione, tipicamente una batteria, e di un trasmettitore/ricevitore a radio frequenza. Normalmente la memoria che possiedono è di dimensioni più ampie rispetto a quella dei tag passivi e possono essere eseguite operazioni di lettura e scrittura su di essa. Altro vantaggio dei transponder attivi è dato dalla distanza operativa molto superiore rispetto a quelli passivi e semi-passivi, in quanto dotati di un vero trasmettitore alimentato da una fonte di energia. La distanza raggiungibile è limitata solo dall'antenna e dall'energia disponibile nelle batterie. Il range di lettura può arrivare fino a qualche chilometro.

Anche i tag attivi, come quelli semi-passivi, possono avere sensori di vario genere (temperatura, pressione, movimento, etc.).

Il costo di questi apparati può raggiungere decine di Euro, vengono generalmente prodotti per frequenze elevate e sono naturalmente dedicati ad applicazioni di rilievo, oppure in casi in cui il tag sia riusabile più volte.

3.2.1.2 Classificazione sulla base della memoria

Una seconda, ma non meno importante, classificazione dei tag RFID è quella che si basa sul tipo di memoria posseduta dai transponder. Infatti in commercio esistono transponder a bit unico, e due tipi di transponder con memoria, cioè quelli con memoria a funzione di lettura (Read Only) e quelli con memoria a funzione di lettura e programmazione (Read/Write).

In passato i transponder 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.

Sia i transponder attivi che quelli semi-passivi sono solitamente Read/Write perché questo tipo di tag necessita della riscrivibilità della memoria.

- **Tag a bit unico**

I transponder a bit unico vengono utilizzati per sistemi EAS (Electronic Article Surveillance), ovvero sistemi antitaccheggio, che indicano solamente gli stati ON e OFF associabili a situazioni regolari o irregolari. Il tag è generalmente realizzato con materiale magnetico o con circuiti risonanti. Questo tipo di transponder è il più conosciuto e, nella sua forma più semplice, è composto di pochi elementi. Questo tag è passivo, in quanto la memoria è di tipo permanente e quindi non è necessario avere una sorgente di energia per la conservazione dei dati in memoria. Può essere realizzato attraverso un alto livello di integrazione e miniaturizzazione e quindi si presenta sottoforma di un piccolo chip collegato ad un'antenna.

- **Tag Read Only**

I transponder Read Only hanno una memoria, chiamata ROM (Read Only Memory), di sola lettura contenente dati disponibili per la sola consultazione. Sono programmate una volta sola al momento della realizzazione attraverso l'incisione laser o l'apposita preparazione della maschera del chip. Tra le poche informazioni in esse contenute vi è un codice univoco del tag secondo la normativa ISO 15936. Un identificativo unico consente il processo dell'anticollisione, ossia dell'identificazione contemporanea di più di un transponder. Queste memorie hanno il vantaggio di occupare, a parità di dati

registrati, la minore area di silicio all'interno del chip risultando così poco costose e con vita lunga.

- **Tag Read/Write**

I transponder Read/Write hanno una memoria che può essere letta e programmata. I dati contenuti possono essere modificati in modo dinamico. Per questo tipo di tag possono essere utilizzate differenti tipi di memorie che sono le WORM, le SRAM, le EEPROM e le FRAM.

Le WORM (Write Once Read Memory) hanno la caratteristica di poter essere scritte una sola volta dall'utilizzatore che può così personalizzare il tag. Richiedono apparecchiature speciali per le operazioni di scrittura in quanto i componenti elettronici vengono bruciati secondo le esigenze per scrivere i dati richiesti.

Le memorie SRAM (Static Random Access Memory) sono riscrivibili illimitatamente e possono raggiungere un'alta densità di dati memorizzati. Sono memorie veloci che dissipano poco e quindi hanno bisogno di poca energia. La necessità di usare molti componenti le rende molto costose e difficili da includere in un chip. Vengono a volte impiegate in tag attivi.

Le EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) sono memorie riscrivibili che hanno la caratteristica di necessitare di fonte di energia solo in fase di lettura/scrittura. La capacità di questo tipo di memoria può arrivare fino a 100 Kbyte, possono sopportare fino a 100.000 cicli di lettura/scrittura e sono in grado di mantenere i dati memorizzati per lunghi periodi (fino a 10 anni). Le EEPROM sono ideali per tag passivi. A differenza di una semplice ROM, sono cancellabili e riscrivibili attraverso opportune tensioni e correnti ad alcuni componenti della memoria. Richiedono un'elevata area di silicio sul chip e sono quindi abbastanza costose.

Le FRAM (Ferroelectric RAM) sono la successiva evoluzione delle EEPROM. Possono memorizzare dati per un lungo periodo di tempo (superiore a 10 anni), richiedono basso voltaggio ed offrono una grande resistenza ai cicli di lettura/scrittura (teoricamente un numero illimitato).

3.2.1.3 Classificazione sulla base dell'accoppiamento reader - tag

Un'altra possibile classificazione per i tag RFID è quella che si basa sulla tipologia di accoppiamento tra transponder e reader che può essere di tipo induttivo o di tipo elettromagnetico.

- Tag ad accoppiamento induttivo

I transponder ad accoppiamento induttivo sono quelli LF e HF. Sono quelli che utilizzano l'accoppiamento induttivo tra l'antenna a spire del reader e quella del tag accoppiate come un trasformatore elettrico.

Dal punto di vista elettrico le due antenne si comportano come un circuito LC ed il trasferimento di energia tra reader e tag è massimizzato alla frequenza di risonanza del circuito che deve quindi essere uguale alla frequenza della portante (ad esempio, nel caso di tag HF, 13.56 MHz).

- Tag ad accoppiamento elettromagnetico

I transponder ad accoppiamento elettromagnetico sono quelli UHF e SHF. In linea generale un trasmettitore invia un'onda elettromagnetica ed un ricevitore rileva lo scattering generato da un oggetto sul quale l'onda incide. Sia il reader che il tag hanno antenne a dipolo.

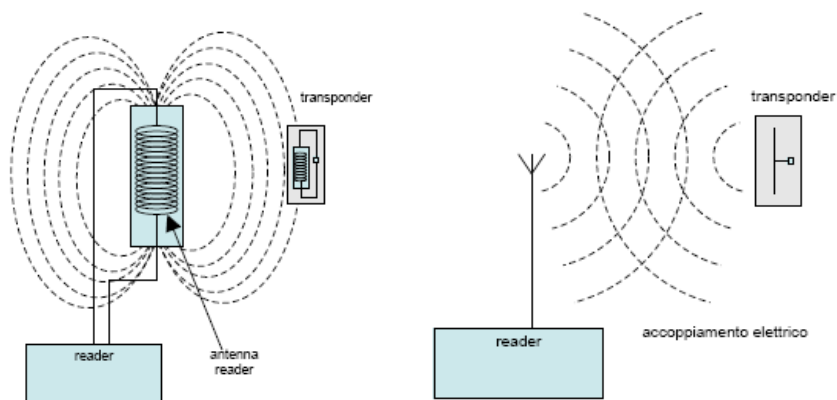


Figura 3-4 - accoppiamento induttivo (sx.) ed elettromagnetico (dx.)

Un tag che funziona in accoppiamento induttivo ha un'antenna che è costituita da una spira chiusa su due contatti del microchip e pertanto ha un costo di produzione più

elevato di un tag che funziona con accoppiamento elettromagnetico e la cui antenna è sostanzialmente un semplice dipolo composta da due fili attaccati ai contatti del microchip.

3.2.2 Parametri per la scelta di un tag

Dopo aver analizzato ogni aspetto tecnologico di un tag facente parte di un sistema RFID è possibile elencare le caratteristiche essenziali per la scelta del transponder nell'ambito di una particolare applicazione.

Queste caratteristiche principali sono:

- Frequenze operative (LF, HF o UHF);
- Standard e protocolli di comunicazione supportati (ISO, EPC);
- Resistenza ad ambienti critici;
- Distanza di comunicazione tra tag e reader;
- Dimensioni e forma in relazione alla collocazione del transponder;
- Influenza da parte di eventuali materiali metallici o liquidi;
- Resistenza ad usura e rotture;
- Distanze reciproche dei tag;
- Riutilizzabilità;
- Polarizzazione (orientazione del transponder rispetto al campo del reader);
- Intervalli di temperatura in cui è richiesto il funzionamento;
- Ambiente operativo (presenza di rumore elettrico, di apparati radio, ecc.);
- Ammontare dei dati da memorizzare nel tag;
- Soddisfamento di regolamentazioni regionali (USA, Europa e Asia);
- Caratteristiche anticollisione;
- Necessità di protezione dei dati contenuti nel tag (eventuale necessità di cifratura).

3.3 Reader

Il reader è l'elemento che, nei sistemi RFID, consente di assumere le informazioni contenute nei transponder. Ha la capacità d'interrogare individualmente i tag e d'inviare o ricevere dati interfacciandosi con i sistemi informativi esistenti.

Il reader standard, chiamato anche controller, interrogator o più semplicemente lettore, è essenzialmente composto da due parti:

- *L'unità di controllo*: un microcalcolatore con un sistema operativo in tempo reale che permette di gestire le interfacce con le antenne, di interrogare i transponder che entrano nel campo d'azione di una antenna, di gestire le collisioni tra i messaggi di risposta dei tag. Questa unità funziona anche da interfaccia con i sistemi informativi aziendali;
- *Le antenne*: le reali interfacce fisiche tra l'unità di controllo e i transponder. Infatti i tag per essere attivati devono entrare nel campo magnetico generato da una antenna che in questo modo ha la possibilità di alimentarli e di comunicare con loro.

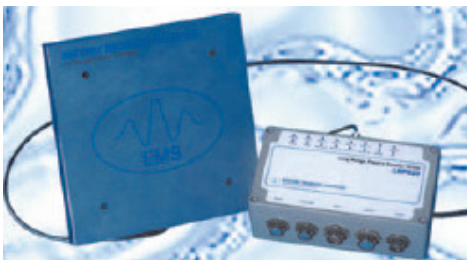


Figura 3-5 - Reader HF: unità di controllo ed antenna

L'antenna collegata con un cavo all'unità di controllo realizza un campo elettromagnetico la cui energia viene raccolta dall'antenna del transponder collegata al chip; questa energia raccolta carica un microcondensatore presente nel circuito integrato che fornisce al chip l'energia sufficiente per funzionare.

In una condizione di quiete, in assenza di un tag, l'antenna del reader emette il campo elettromagnetico e lo "riascolta" rilevando l'assenza di perturbazioni del campo stesso.

Una volta che il tag entra nel campo elettromagnetico, il condensatore alimenta il chip del tag; il chip tramite la sua antenna modula delle perturbazioni del campo che l'antenna del reader capta ed il reader decodifica come una serie di 0 e 1.

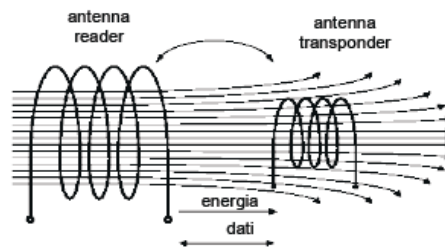


Figura 3-6 - Accoppiamento reader-transponder

E' importante notare come ad una unità di controllo possono essere collegate più antenne in modo cooperativo. In genere le antenne possono essere al massimo quattro.



Figura 3-7 - Reader per due antenne

Inoltre i lettori sono solitamente in grado di leggere diversi tipi di tag, anche con frequenze diverse, purché all'interno della banda di lavoro (LF, HF, UHF o SHF) per la quale sono stati progettati. Normalmente supportano differenti standard nella rispettiva banda di frequenze. Tuttavia, data la moltitudine di standard, frequenze e tipi di tag diversi si può tranquillamente affermare che non esiste un lettore in grado di leggere qualsiasi tipo di tag.

Il reader, quindi, è un vero e proprio ricetrasmittitore, governato da un sistema di controllo e spesso connesso in rete con sistemi informatici di gestione per poter ricavare informazioni dall'identificativo trasmesso dai tag.

Nei transponder passivi l'identificativo è un semplice codice che, a differenza di quello dei codici a barre, ha la particolarità di essere univoco. Entrando quindi in un sistema informativo ed usando questo codice come chiave di ricerca, si possono ricavare

informazioni dettagliate e aggiornate nel tempo sul particolare oggetto a cui il tag è associato.

Le tecniche di comunicazione e trasferimento dati utilizzate nei sistemi RFID sono molto diverse a seconda delle applicazioni che possono andare dalla lettura, a pochi centimetri di distanza, di tag passivi, fino a prevedere letture di tag attivi a distanza di parecchie centinaia di metri.

Ad oggi i reader maggiormente utilizzati sono quelli che utilizzano le frequenze HF ma si prevede che il mercato dei reader UHF cresca molto più velocemente degli altri nel prossimo futuro.

I reader sono l'elemento essenziale di un sistema RFID ed è necessario valutarne attentamente le caratteristiche se si vogliono raggiungere le prestazioni richieste. Fino a poco tempo fa i reader erano soprattutto portali di lettura per il controllo di accessi o per sistemi antitaccheggio. Queste due applicazioni della tecnologia a radiofrequenza necessitano della lettura di un basso numero di tag con poche informazioni per ogni interrogazione. Attualmente la situazione sta mutando perché le applicazioni nelle quali vengono usati sistemi RFID prevedono la lettura di molti transponder contemporaneamente. Per esempio, frequente è il caso in cui si necessita la lettura di un elevato (anche migliaia) numero di tag contenuti in dei colli (scatole, scaffali, ecc.) in cui è conservata della merce. Queste nuove necessità hanno permesso la realizzazione di una generazione dei apparati. Se parliamo di lettura di tag passivi allora le caratteristiche dei nuovi lettori sono: lettura multi banda (HF e UHF), uso di differenti protocolli di comunicazione (ISO, EPC, ecc.), supporto delle regolamentazioni delle diverse aree geografiche, nuove tecniche di comunicazione reader, diversi tipi di comunicazione tra rete e centri di controllo (Wireless LAN, Ethernet LAN, ecc.), diverse modalità di gestione dei dati, capacità di aggiornare il software del reader e capacità di gestire più antenne.

3.3.1 Classificazione reader

I reader possono essere classificati sulla base della distanza di lettura dal transponder oppure possono essere classificati in base al grado di trasportabilità (fissi o portatili).

3.3.1.1 Classificazione sulla base della distanza di lettura

I reader per tag passivi e semi-passivi e quelli per tag attivi sono differenti in quanto i primi necessitano di distanze di lettura minori rispetto ai secondi.

- **Reader per tag passivi e semi-passivi**

I lettori per transponder di tipo passivo e semi-passivo devono emettere segnali RF in grado di fornire al tag anche l'energia necessaria per la risposta. Il range di lettura non è molto elevato.

- **Reader per tag attivi**

I lettori per transponder di tipo attivo sono dei ricetrasmittitori controllati, che possono usare le più diverse tecniche a radiofrequenza. Attualmente i tag attivi sono solo in piccola parte coperti da standard specifici.

3.3.1.2 Classificazione sulla base della trasportabilità

Un'ulteriore distinzione che si può fare tra i reader è quella che li divide in fissi e portatili. A seconda della tipologia di applicazione nella quale si è scelto di utilizzare la tecnologia RFID si può scegliere uno dei due tipi di reader.

- **Reader fissi**

I lettori fissi non possono essere spostati dopo il loro montaggio e vengono utilizzati in applicazioni in cui non devono essere spostati. Infatti sono spesso montati sui portali di accesso ai magazzini, sui nastri trasportatori e negli scaffali e rappresentano (compresi quelli per smart card), ad oggi, più dell'80% del totale a livello mondiale. Vengono utilizzati lì dove è l'oggetto con il tag a muoversi.



Figura 3-8 - Reader fisso

- **Reader portatili**

I lettori di tipo portatile sono una sorta di “pistole elettroniche” esteticamente simili a quelle in uso per i codici a barre. Vengono utilizzati in tutte quelle applicazioni in cui c’è la necessità di muovere il reader perché, per esempio, difficoltoso muovere l’oggetto contenente il tag. Questo modello di reader viene spesso utilizzato in zootecnica.



Figura 3-9 - Reader portatile

3.4 Frequenze di comunicazione tag-reader

Le frequenze di comunicazione tra reader e tag dipendono sia dalla natura fisica del transponder che dalle applicazioni previste e sono regolate, per controllare le emissioni di potenza e prevenire interferenze, da organismi internazionali e nazionali. La regolamentazione, però, è divisa in regioni geografiche con normazione diversa da regione a regione, che comporta spesso incompatibilità quando gli RFID viaggiano da un Paese ad un altro insieme alle merci alle quali sono associati.

Le bande di frequenze maggiormente utilizzate nella tecnologia di identificazione a radiofrequenza sono :

- La banda LF (Low Frequencies) ed in particolare la sottobanda 120÷145 kHz;
- La banda HF (High Frequencies) ed in particolare la sottobanda centrata su 13,56 MHz;
- La banda UHF (Ultra High Frequencies) nella zona bassa ed in particolare la sottobanda 433÷435 MHz;
- La banda UHF (Ultra High Frequencies) nella zona media ed in particolare le sottobande 865÷870 MHz in Europa, 902÷928 MHz in USA e 950 MHz in Asia;
- La banda UHF alta la sottobanda centrata su 2,4 GHz;
- La banda SHF (Super High Frequencies) ed in particolare la sottobanda centrata su 5,8 GHz.

La banda LF si trova nella parte più bassa dello spettro RF ed è storicamente la prima frequenza utilizzata per l'identificazione automatica e rimane ancora oggi con una presenza significativa nel mercato.

La banda HF è considerata la banda di frequenze universale, utilizzabile in tutto il mondo, questo ne ha fatto la banda più diffusa fino ad oggi.

La banda UHF media è la nuova banda per gli RFID per la logistica e la gestione dei singoli oggetti, con range di lettura decisamente più esteso di quanto non sia consentito da LF ed HF. Purtroppo la banda non è assegnata in modo uniforme nelle varie nazioni.

La banda UHF alta ha caratteristiche simili all'UHF media ma permette una ulteriore miniaturizzazione del tag.

La scelta della frequenza di lavoro influisce sul range di lettura del sistema, sulle interferenze con altri sistemi radio, sulla velocità di trasferimento dei dati e sulle dimensioni dell'antenna.

I sistemi che usano frequenze basse sono spesso basati su tag passivi e sono in grado di trasmettere dati a distanze massime dell'ordine del metro e mezzo. Nei sistemi a frequenze più elevate, invece, oltre ai transponder passivi sono diffusi tag attivi che possiedono range operativi maggiori anche se limitati dai valori massimi di potenza irradiata stabiliti dagli organismi internazionali che regolano l'uso dello spettro radio. Per sistemi a frequenza più alta la velocità di trasferimento dati è generalmente maggiore mentre la dimensione delle antenne si riduce. Questo consente di costruire transponder più piccoli.

Attualmente alcune bande di frequenza, soprattutto nelle LF o HF, sono accettate in tutto il mondo. L'esempio principe è la banda dei 13,56 MHz, usata da molti tag passivi incorporati essenzialmente nelle smart card per controllo accessi, identificazione e pagamenti, ma anche nelle etichette associate ad oggetti, quali controllo bagagli, lavanderie, biblioteche, etc.

Per altre bande di frequenza, specie per quelle UHF di uso più recente, le allocazioni sono differenti da regione a regione. Infatti solamente da poco, il 25 Novembre 2006, è stata pubblicata la *Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea* ("Official Journal of the European Union") la quale stabilisce gli estremi per l'impiego delle frequenze UHF.. L'Italia ha recepito la normativa senza eccezioni per le applicazioni interne mentre ha richiesto una deroga di due anni per le applicazioni esterne.

Prima dell'armonizzazione la maggioranza delle applicazioni RFID erano passive HF (13,56 MHz) mentre immediatamente dopo sono nati progetti pilota e test in tecnologia UHF la cui idea di utilizzo si era già diffusa all'interno delle aziende già da alcuni mesi prima della liberalizzazione.

Di seguito sono riportate quattro tabelle riassuntive contenenti le caratteristiche fondamentali per ogni range di frequenza.

| | |
|----------------------------|--|
| Accoppiamento | Induttivo (magnetico) |
| Raggio Operativo | Per transponders passivi varia dal "contatto" fino ai 2 metri, dipendentemente dal lettore e dalla forma e dimensioni delle antenne. Nei sistemi con transponders attivi si possono superare facilmente i 2 metri. |
| Capacità lettura/scrittura | Disponibili transponders sia R/O che R/W |
| Capacità trasporto dati | Da transponders R/O a bassa capacità (64 bits) a transponders R/W con capacità fino a 2 Kbits. |
| Velocità trasf. dati | Bassa velocità di trasferimento, generalmente da 200 bits/sec. fino a 1 Kbits/sec. |
| Tempo di lettura | Dipendente dalla quantità di dati da trasferire e dalla velocità di trasmissione attiva. Per un transponder da 96 bit a 1 Kbits/sec. occorrono circa 0,10 secondi per la lettura. |
| Letture multiple | Sono disponibili transponders sia per letture singole che con meccanismi di anti-collisione. |
| Formati | Sono disponibili in diversi formati e package, dalle capsule in vetro ai boli ceramici per la tracciabilità animale, dalle etichette ai dischi "rinforzati" per l'identificazione dei prodotti o di mezzi meccanici (treni, macchine, etc.). |
| Standards | Questa classe di frequenze si riferisce agli standard ISO 11784/85 e ISO 14223. |
| Applicazioni | Generalmente utilizzata per la rintracciabilità animale, il controllo accessi, l'identificazione di veicoli, treni o container, immobilizer per auto, lavanderie, etc. |
| Note | La comunicazione attraverso liquidi e/o tessuti organici non è ridota significativamente. I transponders sono particolarmente sensibili all'orientamento |

Tabella 3-2 - Caratteristiche delle frequenze LF

| | |
|----------------------------|---|
| Accoppiamento | Induttivo (magnetico) |
| Raggio Operativo | Generalmente passivi, hanno un raggio di azione che varia da 1,2 metri fino ad 1,8 metri per la sola lettura. La distanza di lettura dipende dal reader e dalle sue antenne, ma anche dall'antenna del transponder. |
| Capacità lettura/scrittura | Disponibili transponders sia R/O che R/W |
| Capacità trasporto dati | Genericamente R/W con capacità da 64 bits fino a qualche decina di Kbits. Hanno un codice UID impostato durante la produzione che può essere letto solo R/O. |
| Velocità trasf. dati | Generalmente circa 25 Kbits/sec. |
| Tempo di lettura | Strettamente dipendente dalla quantità di dati da trasferire a dalla velocità di trasmissione impostata. Per 25 Kbits/sec sono necessari 0,02 secondi per leggere 512 bits. |

| | |
|------------------|--|
| Lecture multiple | Sono sempre forniti con meccanismo anti-collisione per un massimale in lettura di 20-30 transponders dipendentemente dal software impostato e dalla caratteristiche delle antenne del lettore. |
| Formati | Sono prodotti in una vastissima varietà e consentono di poterli applicare praticamente ovunque e per qualsiasi applicazione. Il formato più comune è la "smart label" dove etichetta e transponder sono integrate. |
| Standards | Questa classe di frequenze si riferisce agli standard ISO 18000-3, ISO 14443 A/B e ISO 15693. |
| Applicazioni | Servizi logistici, ticketing, bagagli, tracciabilità, controllo produzione, etc. |
| Note | Non sono sensibili a liquidi e a tessuti organici. |

Tabella 3-3 - Caratteristiche delle frequenze HF

| | |
|----------------------------|--|
| Accoppiamento | Elettromagnetico |
| Raggio Operativo | Generalmente i tag UHF sono impiegati in forma passiva ed operano in intervalli da 2 a 6 metri in modalità lettura dipendentemente dalla configurazione del sistema. Il raggio operativo è influenzato dalle regolamentazioni di potenza. In Italia attualmente tale tecnologia è vietata se non espressamente autorizzata dal ministero competente. |
| Capacità lettura/scrittura | Disponibili transponders sia R/O che R/W |
| Capacità trasporto dati | Genericamente R/W con capacità da 64 bits fino a qualche decina di Kbits. Hanno un codice UID impostato durante la produzione che può essere letto solo R/O. |
| Velocità trasf. dati | Generalmente circa 28 Kbits/sec. ma cominciano ad essere commercializzati dispositivi con 100 Kbits/sec. |
| Tempo di lettura | Strettamente dipendente dalla quantità di dati da trasferire a dalla velocità di trasmissione impostata. Per 28 Kbits/sec sono necessari 0,02 secondi per leggere 512 bits. |
| Lecture multiple | Sono sempre forniti con meccanismo anti-collisione per un massimale in lettura di circa 100 transponders contemporanei dipendentemente dal software impostato e dalla caratteristiche del lettore e delle antenne. Le nuove specifiche EPC Class1/Gen2 consentiranno una lettura di circa 100-1500 transponders/sec. |
| Formati | Sono prodotti in una grande varietà e consentono di poterli applicare anche ad unità metalliche. Il formato più comune è la "smart label" dove etichetta e transponder sono integrate. |
| Standards | Questa classe di frequenze si riferisce agli standard EPC Class0, Class1, Class1/ Gen2 e ISO 18000-6. |
| Applicazioni | Tracciabilità degli assets, logistica della filiera e di fornitura, etc. |
| Note | Le prestazioni sono notevolmente ridotte in presenza di metalli, liquidi, tessuti organici ed umidità. |

Tabella 3-4 - Caratteristiche delle frequenze UHF

| | |
|----------------------------|---|
| Accoppiamento | Elettromagnetico |
| Raggio Operativo | Da 2 a 6 metri per tag passivi possono raggiungere i 50-70 metri se attivi. |
| Capacità lettura/scrittura | Disponibili transponders sia R/O che R/W |
| Capacità trasporto dati | Genericamente la capacità di memoria va da 128 bits fino ad alcuni Kbits. |
| Velocità trasf. dati | Possono arrivare anche ad 1 Mbits/sec. con particolari dispositivi. Generalmente hanno una velocità di trasmissione intorno ai 100-250 Kbits/sec. |
| Tempo di lettura | Dipende molto dalla quantità di dati da trasferire e dalla velocità di trasmissione. Per esempio a 100 Kbits/sec. sono utili 0,03 secondi per leggere 32 Kbits. Bastano poche 0,05 secondi per leggere alcune decine di transponders da 128 bits. |
| Lecture multiple | Sono disponibili sia dispositivi a lecture singole che in anti-collisione. |
| Formati | Sono disponibili diversi formati in relazione alle esigenze più comuni, compresa l'applicabilità a metalli. |
| Standards | Questa classe di frequenze si riferisce allo standard ISO 18000-4. |
| Applicazioni | Indispensabili quando la lettura deve essere eseguita su oggetti in movimento estremamente veloci (un esempio è il telepass sulle autostrade italiane). Tipicamente le applicazioni sono il pagamento dei pedaggi, il controllo accessi e la logistica autoveicolare. |
| Note | Le prestazioni sono ridotte in presenza di liquidi, metalli, tessuti organici ed umidità. |

Tabella 3-5 - Caratteristiche frequenze SHF

3.5 Sistemi di comunicazione RFID

La comunicazione tra un sistema emettitore e un sistema ricevitore in un campo elettromagnetico dipende dalla posizione relativa tra le due antenne.

Nel caso di sistemi RFID di tipo passivo, che per funzionare devono essere immessi nel campo elettromagnetico generato dall'antenna del ricetrasmittitore in una posizione tale da poter essere alimentati, l'energia ricevuta dal transponder dipende dal suo orientamento angolare ($\Phi; \theta$) e dalla distanza rispetto all'antenna del ricetrasmittitore.

Il processo di comunicazione può essere suddiviso principalmente in due fasi che possono essere diverse tra di loro quando si utilizzano tag passivi. Infatti mentre in trasmissione i transponder attivi si comportano come i reader, i tag passivi devono essere sempre alimentati dal campo elettromagnetico.

Il processo è concettualmente semplice. L'antenna del ricetrasmittitore genera un campo magnetico. Una parte di questa energia arriva all'interno dell'antenna del tag e induce una tensione dalla quale si ricava una corrente che consente l'accensione dei circuiti interni del transponder. L'energia richiesta è minima dal momento che il tag è un circuito passivo ed è stato disegnato per richiedere un livello molto basso di consumo di energia.

Il voltaggio indotto nel transponder viene rettificato con dei diodi, mentre un circuito di clock recovery riesce a individuare la frequenza del segnale per pilotare il clock del sistema interno.

Sinteticamente il comportamento dei reader e dei tag nel processo di comunicazione può essere suddiviso in due fasi:

1. Trasmissione dati: reader verso tag;
2. Trasmissione dati: tag verso reader.

Nella fase 1 il microprocessore del reader genera un segnale logico compatibile con la durata e la lunghezza della modulazione. La portante alla frequenza definita è modulata attraverso questo segnale in modo da rendere possibile la trasmissione di dati verso il tag.

Nella fase 2 i tag passivi ed attivi utilizzano principalmente il principio della backscatter radiation (retro diffusione). Questa comunicazione è solitamente di tipo half duplex

perché reader e transponder possono trasmettere uno alla volta. E' anche possibile utilizzare un metodo di trasmissione full duplex in cui la ricezione e la trasmissione dei dati può avvenire in modo contemporaneo. Ma le applicazioni full duplex sono ancora poco diffuse a causa della complessità dell'HW e del SW da utilizzare.

3.5.1 Il processo di modulazione della portante

Si dice che un'onda è stata modulata quando si modificano una o più caratteristiche di un'onda elettromagnetica per trasmettere informazioni.

Questa operazione avviene attraverso un circuito chiamato modulatore che trasforma il segnale digitale di informazione in un segnale analogico determinato dalla portante a radiofrequenza.

L'operazione inversa chiamata demodulazione consente di estrarre l'informazione digitale da un segnale modulato a radiofrequenza e avviene grazie all'ausilio di un circuito chiamato demodulatore.

Esistono diversi metodi di modulazione e di demodulazione che sono tutti comunque basati sul principio di cambiare una caratteristica fondamentale della sorgente di onde alternate di forma sinusoidale.

3.5.2 La codifica dei dati

Sia nel tag che nel reader i dati da trasmettere devono essere codificati in maniera tale da generare un segnale binario che verrà usato per la modulazione.

Esistono numerose tecniche di codifica con caratteristiche differenti in base all'occupazione spettrale in banda base, alla complessità di co-decodifica, alla sensibilità ai disturbi, alla difficoltà di ricostruire la temporizzazione in ricezione e all'energia trasferita.

Nella trasmissione da reader verso tag l'energia del segnale deve essere massimizzata per fornire il maggior quantitativo possibile di energia al transponder. Al contrario, nella trasmissione da tag verso reader l'energia del segnale deve essere minimizzata a causa della scarsità dell'energia disponibile ma l'ampiezza del segnale deve essere tale da consentirne la rilevazione da parte del reader.

Il processo di codifica dei dati risulta piuttosto difficoltoso nei sistemi RFID basati su tag passivi a causa della indisponibilità di sorgenti di temporizzazione ad elevata precisione nel transponder, a causa dei vincoli sulla larghezza di banda e, soprattutto, a causa della necessità di massimizzare il trasferimento di potenza per l'alimentazione del tag.

Esistono fondamentalmente due tipologie di codifica:

- Basata sulla durata degli impulsi (PIE);
- Basata sulle transizioni (Manchester, Miller, FM0).

I metodi di codifica Manchester e PIE sono quelli utilizzati nelle comunicazioni da reader verso tag perché sono quelli che massimizzano l'energia del segnale. Questi due metodi di codifica posseggono una caratteristica importante, cioè l'auto-temporizzazione la quale discende dal fatto che queste due metodologie di codifica sono basate sulle transizioni.

Al contrario, i metodi di codifica Miller e FM0 sono quelli utilizzati nelle comunicazioni da tag passivi verso reader perché sono quelli che minimizzano l'energia del segnale e perché hanno la proprietà di possedere la componente spettrale a frequenza zero nulla. Nei metodi di codifica è definita la durata temporale minima dell'impulso. Tale intervallo temporale è denominato TARI (ISO/IEC 18000-6 Type A Reference Interval).

3.5.3 Rilevamento e correzione degli errori

Gli errori di trasmissione sono normalmente dovuti alla presenza di disturbi del canale di comunicazione che impediscono la corretta ricezione dei dati trasmessi.

I criteri di rilevamento e correzione degli errori sono basati su diverse tipologie di algoritmi che hanno in comune il principio di sommare i bit trasmessi e di paragonare il risultato con alcuni bit di controllo (checksum).

Gli algoritmi di checksum maggiormente diffusi sono il parity check, l'LRC e l'CRC.

Il parity check è un algoritmo ampiamente diffuso a causa della sua semplicità. Prevede di inviare 9 bit per ogni byte di 8 bit. Il nono bit è un bit che vale 1 se la somma a coppie degli 8 bit del byte vale 1 e vale 0 nel caso opposto.

Questo metodo è facile da implementare ma ha molti limiti, per esempio, non rileva i bit invertiti nel processo di somma.

L'algoritmo LRC (Longitudinal Redundancy Check) è più sofisticato del precedente perché è generato da un'operazione logica (XOR) ricorsiva tra tutti i dati del byte di un blocco di trasmissione anziché tra i bit di un byte. Il byte LRC è inviato insieme al blocco dei dati e confrontato alla ricezione con il risultato della stessa operazione effettuata sui dati ricevuti.

Anche questo algoritmo non è molto affidabile perché può essere tratto in inganno da trasposizioni di byte, ma permette comunque una prima rapida valutazione della qualità della trasmissione.

Infine, l'algoritmo CRC (Cyclic Redundance Check) rappresenta il criterio più affidabile nella trasmissione dati. Questo algoritmo è stato impegnato diffusamente nei sistemi di registrazione dei dati su hard disk. La sua affidabilità nel rilevamento di errori non è accompagnata alla capacità di correzione degli stessi. Il CRC è il resto ottenuto da una divisione utilizzando un polinomio chiamato generatrice polinomiale che dipende dalla dimensione del byte.

3.6 Standard di comunicazione

E' fondamentale, per lo sviluppo di applicazioni per le quali si prevede un'ampia diffusione, definire degli standard condivisi dai maggiori operatori sul mercato. Infatti gli standard consolidati hanno sempre rassicurato i clienti sul fatto che le scelte di implementazione fatte minimizzassero i rischi tecnologici. Tuttavia la standardizzazione, per sua stessa natura, non può essere la soluzione ottimale per tutte le applicazioni perché rappresenta un intelligente compromesso tra costi e prestazioni.

Quindi è senza dubbio vero che la maggior parte delle applicazioni beneficia dalla copertura di uno standard, ma è altrettanto vero che il compromesso prestazionale può diventare un vincolo alla realizzazione di un progetto.

Tutti i componenti di un sistema RFID devono comunicare tra loro facilmente e senza disturbare altri servizi a radiofrequenza. Pertanto essendo un sistema che richiede interoperabilità tra entità diverse sono essenziali gli standard di comunicazione che devono assicurare l'interoperabilità reader/tag di differenti fabbricanti e la non interferenza delle operazioni con altri apparati radio elettrici.

Il rispetto del principio di non interferenza riguarda la natura fisica della comunicazione radio, ovvero, dal punto di vista della normativa considera le bande di frequenze radio sulle quali si opera, la larghezza di banda all'interno delle bande permesse per il servizio, la potenze radio di emissione, le condizioni ambientali in cui le emissioni avvengono (indoor, outdoor) e l'emissione di segnali spuri indipendentemente dalla causa.

Il dialogo tra reader e tag richiede la normazione di alcuni parametri tecnici come il tipo di modulazione dei segnali, la codifica dei dati, la velocità e l'ordine di trasmissione dei bit, la tecnica di interrogazione del reader e le procedure di anticollisione. Inoltre sono necessari specifiche e standard che riguardino il formato dei dati contenuti nei tag, i contenitori per tag e reader ed i protocolli che specificano come sono stati processati dati e istruzioni.

Gli standard di comunicazione sono una problematica fondamentale per questa tecnologia, come per tutte le applicazioni che richiedono interoperabilità tra entità diverse ed intercambiabilità tra apparati differenti. Le opinioni sulla necessità di standard unici e pubblici non sono unanimi e quindi il processo di standardizzazione, nei primi anni di vita, non è stato ordinato e facile.

Al fine di assicurare una piena corrispondenza tra prestazioni ed interoperabilità dei sistemi RFID parecchi organismi di standardizzazione sono coinvolti nel processo di definizione di specifici standard tecnologici ed applicativi. A questo proposito è bene specificare subito come l'identificazione a radiofrequenza sia un mondo alquanto vario, composto da molteplici tecnologie, caratterizzate non solo dalla diversità di frequenze ma, in primo luogo, dalla diversità dell'ambito di applicazione.

Un primo ed interessante elemento si rileva guardando l'ambito di applicazione. Alcuni ambiti applicativi, come ad esempio l'utilizzo delle carte di prossimità per il controllo accessi, per il ticketing nel trasporto persone o per l'identificazione di animali, sono pienamente standardizzati (si vedano rispettivamente lo standard ISO 15693, lo standard Calypso, e ancora gli standard ISO 117984/5 e 14223 per l'identificazione animale). In questi ambiti il consolidamento dello standard ha accelerato la diffusione delle applicazioni ad oggi pienamente affermate. Il processo di adozione della tecnologia RFID in altri ambiti applicativi è condizionato dal fatto che non si è ancora arrivati ad uno standard consolidato.

Riguardo la tecnologia RFID si possono individuare quattro aree di standardizzazione:

- *gli standard di tecnologia* che descrivono le basi tecniche di un sistema RFID, definendo frequenze, velocità di trasmissione, tempistiche, codifiche, protocolli e sistemi di anticollisione, e mirano ad assicurare la compatibilità e/o l'interoperabilità nei sistemi prodotti da diversi fornitori;
- *gli standard dei dati* che si occupano degli accordi sul modo in cui i dati sono strutturati per i requisiti di compatibilità ed interoperabilità. Descrivono diversi aspetti dell'organizzazione dei dati e sono per lo più indipendenti dalla tecnologia;
- *gli standard d'applicazione* che si occupano di definire l'architettura di una soluzione tecnica rivolta a specifiche applicazioni o per un settore di applicazioni, soluzione all'interno della quale viene poi scelta la soluzione più adatta;
- *gli standard di conformità* che si occupano degli accordi e definiscono il modo in cui i sistemi devono comportarsi per essere considerati rispondenti a particolari performance o a test di verifica operativi.

Sono due le classi di organismi che si occupano del problema della standardizzazione e sono ISO ed EPC, che si differenziano principalmente sugli standard di applicazione e di conformità. Ad oggi gli elaborati di questi due organismi stanno dirigendosi nella stessa direzione.

3.6.1 Lo standard ISO

L'ISO (International Organization for Standardization) è un organismo internazionale fortemente coinvolto nella definizione di standard per l'RFID che si occupa delle interfacce di comunicazione. E' composto da un numero molto grande di comitati che sono dedicati alla standardizzazione di una specifica area.

I primi standard RFID sono stati realizzati dall'ISO, per tag passivi a bassa frequenza e comprendono gli standard sui tag per l'identificazione degli animali, i protocolli per l'interfaccia radio per tag usati nei sistemi di pagamento, smart card senza contatti e carte di prossimità, metodi per il test e la conformità di tag e reader RFID ad uno standard e metodi per il test delle prestazioni di tag e reader RFID.

Per porre fine alla competizione tra standard, recentemente, l'ISO ha portato avanti uno standard costituito da più parti (ISO/IEC 18000) che definisce i protocolli di comunicazione per l'interfaccia radio per tutte le applicazioni e tutte le frequenze comunemente usate nel mondo per l'identificazione degli oggetti nella catena di distribuzione e per ogni altra applicazione.

In questa ottica l'ISO cerca di incorporare gli standard EPCglobal e, in particolare, ha recentemente incluso le specifiche EPCglobal Gen2.

L'ISO/IEC 18000 (*RFID for item management – air interface*) definisce i parametri generali dell'interfaccia radio e fornisce una descrizione dell'architettura nella quale questi parametri vengono utilizzati per ogni possibile frequenza operativa. Questi parametri sono la canalizzazione, le emissioni spurie, la modulazione, la codifica dei dati, l'ordine di trasmissione dei bit. Definisce lo strato fisico, i metodi anticollisione ed il protocollo per i dispositivi RFID utilizzati per l'identificazione degli oggetti per sistemi operanti a 13,56 KHz. Definisce i parametri dell'interfaccia radio per dispositivi RFID operanti a 2,45 GHz in banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) per applicazioni di identificazione di oggetti. Definisce i parametri dell'interfaccia radio per dispositivi RFID operanti a 433 MHz e a 860 MHz e 960 MHz in banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) per applicazioni di identificazione di oggetti.

A livello europeo la normativa ISO viene recepita dal CEN (*Comitato Europeo di Standardizzazione*), per quanto riguarda l'hardware e i protocolli di comunicazione, mentre l'ETSI (*Istituto Europeo di Standardizzazione nelle Telecomunicazioni*) emette normativa nelle materie omonime, essenzialmente compatibilità elettromagnetica.

L'organismo che recepisce gli standard ISO negli USA è l'ANSI (American National Standard Institute).

3.6.2 Lo standard EPCglobal

Anche l'EPCglobal si occupa delle interfacce di comunicazione assicurando l'interoperabilità tra reader/tag di differenti fabbricanti. Questo organismo è nato ed è operante come un'associazione privata.

Esso ha creato normative orientate all'uso della tecnologia RFID nella logistica realizzando una classificazione dei tag, dei formati per la memorizzazione delle

informazioni di identificazione nei tag e uno standard per protocolli di comunicazione a radiofrequenza tra tag e reader. Oltre a ciò EPCglobal ha creato standard e specifiche per l'interconnessione di sistemi informatici che consentono di accedere ad informazioni complete su oggetti identificati tramite codice EPC contenuto nel tag.

Il codice EPC (Electronic Product Code) ha contribuito alla notevole affermazione della tecnologia RFID di questi ultimi anni. Infatti la presenza di questo tipo di codice permette di migliorare l'efficienza della catena di distribuzione e, allo stesso tempo, permette di ridurre i costi operativi. Il fine della presenza di un codice di identificazione universale all'interno di un tag è quello di essere utilizzato come puntatore per ottenere informazioni complete e leggibili contenute in un determinato sistema informativo.

La novità fondamentale del codice EPC sta nel fatto che questo non contiene solamente l'identificativo del prodotto e del produttore, come invece avviene nei codici a barre, ma comprende un numero di serie dell'oggetto che consente di distinguerlo in modo univoco lungo la catena di distribuzione.

La lunghezza del codice EPC può essere di 64 bit, "short" oppure di 96 bit, "standard". E' suddiviso in 4 campi:

1. Header che definisce la lunghezza del codice ed il tipo di EPC;
2. EPC Manager che contiene l'identificativo del fabbricante del prodotto a cui il tag è associato;
3. Object Class che indica il tipo di prodotto secondo il codice SKU (Stock Keeping Unit) che stabilisce la sua unità di vendita.
4. Serial Number che fornisce un identificativo univoco per il singolo prodotto di una singola classe e di un singolo fabbricante.

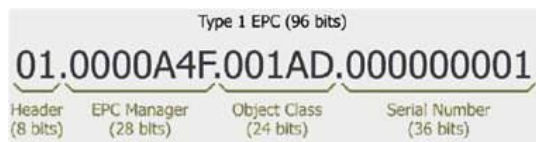


Figura 3-10 - Esempio di EPC di tipo 1 (96 bit) con notazione esadecimale

Inoltre l'EPCglobal ha classificato i tag sulla base della memoria e della capacità di trasmissione:

| Classe | Memoria | Alimentazione | Applicazioni | Descrizione |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---|
| Classe 0 Gen1 | Read only ROM | Passivi | Identificazione EAS (antifurto) | I più semplici con solo codice EPC scritto in fabbrica |
| Classe 1 Gen1 | Read/Write WORM | Passivi | Identificazione | Stanno andando i disuso a favore della Gen2 |
| Classe 1 Gen2 | Read/Write WORM | Passivi | Identificazione | Hanno funzioni innovative come la "Killing" |
| Classe 2 | Read/Write | Passivi Semi-passivi Attivi | Logistica | Possibilità di scrittura "on line" |
| Classe3 | Read/Write | Semi-passivi Attivi | Logistica | Contiene sensori (pressione, moto e temperatura) |
| Classe 4 | Read/Write | Attivi | Logistica Sensori wireless | Comunicazione tag attivo-tag attivo senza reader |
| Classe 5 | Read/Write | Attivi | Logistica Sensori wireless | Comunicazione tag attivo-tag attivo/passivo senza reader |

Tabella 3-6 - Classificazione EPCglobal dei tag

3.7 Allocazione in frequenza

L'allocazione in frequenza possiede una certa variabilità soprattutto nello scenario mondiale. Per questo è opportuno analizzare l'allocazione in frequenza a livello mondiale, europeo e nazionale.

3.7.1 Situazione mondiale

Lo spettro delle frequenze nei vari continenti è regolamentato in maniera differente, creando un ostacolo alla circolazione dei tag standard su scala mondiale, in particolare per la banda UHF.

Dal punto di vista dell'allocazione in frequenza il nostro pianeta può essere suddiviso in tre differenti regioni come stabilito dall'ITU (*International Telecommunications Union*):

1. La regione 1 comprendente Europa, Africa, Medio Oriente e Russia;
2. La regione 2 comprendente America ed Est Pacifico;
3. La regione 3 comprendente Australia, Asia e Ovest Pacifico.

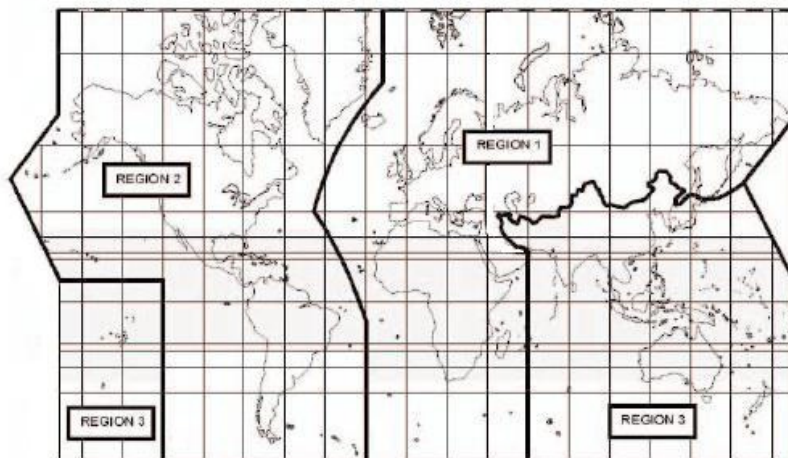


Figura 3-11 - Regioni nella ripartizione internazionale delle frequenze dell'ITU

Vista questa suddivisione geografica, la gestione delle bande di frequenza viene comunemente eseguita su base regionale. In questo modo però può accadere che gli stessi intervalli di frequenza siano destinati ad impieghi differenti in differenti regioni. Se

per alcune applicazioni (smart card, identificazione di animali, ecc.) una regolamentazione regionale non costituisce un problema per altre lo è. Infatti nelle applicazioni di logistica, in cui i tag viaggiano con la merce nei vari continenti, l'allocazione delle bande tra regione e regione può portare a problemi di interoperabilità.

In Italia sono comuni le applicazioni che usano la tecnologia RFID SRD (Short Range Devices) non posseggono una banda esclusiva per operare ma condividono bande anche con altri servizi cercando di seguire il principio della non interferenza (*"Piano nazionale di ripartizione delle frequenze"*, PNRF, 2002). Il principio si basa sul fatto che gli apparati che operano a breve distanza emettono potenze di natura così moderata da generare un campo elettromagnetico solo in prossimità degli apparati e tale da non interferire con sistemi che operano a lunga distanza. Quanto appena detto implica l'utilizzo, in Italia, di potenze emesse a valori estremamente bassi penalizzando notevolmente i sistemi RFID.

I primi sistemi RFID che sono stati utilizzati sono stati senza dubbio quelli ad accoppiamento induttivo le cui bande di frequenza utilizzate (LF e HF) sono allocate in modo abbastanza compatibile in tutto il mondo.

Nella banda HF la frequenza accettata e quella più utilizzata in tutto il pianeta è sicuramente 13,56 MHz.

La banda di frequenza UHF ha avuto il suo maggiore sviluppo solamente negli ultimi tempi ed è sicuramente quella che ha le maggiori possibilità di sviluppo ma è anche quella che ha le frequenze allocate diversamente da regione e regione. Questa non omogeneità nell'allocazione, soprattutto nell'UHF media, è causa di problemi non indifferenti ed ostacola lo sviluppo di tag passivi a basso costo per le applicazioni di logistica.

Inoltre va osservato che le differenti normative presenti nei vari continenti prevedono anche diverse potenze di emissione radio da parte degli apparati trasmettenti. La normativa americana, ad esempio, è molto meno restrittiva di quella europea per le potenze di emissione.

3.7.2 Situazione europea

A livello europeo le varie frequenze di lavoro sono individuate da organismi internazionali preposti alla normazione quali CEPT (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) e l'ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*) che fissano delle regole molto precise per l'utilizzo sia delle frequenze che delle potenze da utilizzare in modo tale da assicurare il principio di non interferenza.

La CEPT è responsabile dell'assegnazione delle frequenze e delle potenze di trasmissione. Non è un trattato internazionale ma un'associazione regionale volontaria tra gli stati con il fine di aumentare la difesa degli interessi europei nei confronti di quelli internazionali.

Questo organismo europeo pubblica, attraverso un suo ente l'ECC (*Electronic Communications Committee*) ed in particolare attraverso Raccomandazioni e Decisioni. Le Raccomandazioni non sono vincolanti per gli stati europei che le implementano con molte eccezioni e varianti nazionali e definiscono la pianificazione riguardo l'allocazione dello spettro. Per le nazioni le Raccomandazioni diventano vincolanti quando vengono trasformate in Decisioni o Direttive della Commissione Europea la cui mancata attuazione porta alla procedura di infrazione con conseguenti sanzioni economiche.

Una decisione dal carattere importante è quella dell'ECC/ERO riguardante l'allocazione delle frequenze, le caratteristiche tecniche degli apparati e l'esenzione da licenze. Le Decisioni vengono prese per ciascuna banda o gruppo di bande dello spettro con il sussidio dell'ETSI.

La CEPT può essere incaricata dalla Commissione Europea (CE) di valutare una determinata situazione problematica e, se necessario, emanare una Decisione. La Decisione torna poi alla CE che stabilirà se è opportuno trasformarla in Decisione o Direttiva della Commissione Europea. Oppure può partire direttamente dalla CEPT la possibilità di analizzare un determinato problema qualora esso sia di interesse generale per i Paesi dell'Unione Europea.

3.7.3 Situazione nazionale

In Italia le principali bande di lavoro della tecnologia di identificazione a radiofrequenza sono la banda LF (9 KHz ÷ 135 KHz), la banda HF (centrata su 13,56 MHz) e quella UHF media (865 ÷ 870 MHz).

Nel nostro Paese lavorando nella banda LF si possono usare sistemi RFID di tipo induttivo. Questo intervallo di frequenze è leggermente più ampio di quello definito a livello europeo. Le due frequenze più utilizzate sono allineate in tutto il pianeta e sono 125 kHz (TAG FDX) e 134,2 kHz (TAG HDX).

La banda HF, di uso globale, è centrata sulla frequenza di 13,56 MHz ed è utilizzata in sistemi RFID di tipo passivo che agiscono in maniera induttiva. Le applicazioni di questa tecnologia che lavorano su questa banda di frequenze sono, senza ombra di dubbio, ad oggi le più numerose e quelle che abbracciano il più ampio numero di settori (industriale, scientifico, medico, etc.).

In Italia la banda UHF media è sicuramente quella più critica nelle applicazioni RFID. Questa banda di frequenze è gestita dal Ministero della Difesa che la utilizza per scopi militari, ciò nonostante in UHF media sono possibili anche applicazioni civili a condizione che non interferiscano con quelle militari.

3.8 Normative in ambito ospedaliero sulla compatibilità elettromagnetica

La Direttiva Europea sulla compatibilità elettromagnetica è una direttiva di armonizzazione totale, ovvero le cui disposizioni erano destinate a sostituire le leggi nazionali in vigore prima della sua applicazione.

Questa Direttiva comprende :

- la Direttiva base: 89/336/CEE;
- la Direttiva di modifica: 92/31/CEE;
- la Direttiva di modifica: 93/68/CEE.

Essa è stata recepita in Italia con il Decreto legislativo n° 476 del 04/12/1992 e stabilisce che tutti gli apparati elettrici ed elettronici immessi sul mercato a partire dal 01/01/1996 devono soddisfare i requisiti essenziali di compatibilità elettromagnetica.

La Direttiva europea si applica a tutti gli apparati elettrici o elettronici ad esclusione degli apparecchi per uso militare e degli apparecchi radio utilizzati dai radioamatori a meno che siano disponibili in commercio.

Detti apparecchi possono essere immessi sul mercato comunitario, o in servizio, soltanto se soddisfano i requisiti fissati dal Decreto legislativo n°476, quando sono installati, sottoposti ad opportuna manutenzione ed utilizzati conformemente alla loro destinazione.

La Direttiva impone che tali apparecchi debbano essere costruiti in modo tale che:

- i disturbi da essi generati siano limitati ad un livello che permetta agli apparecchi radio e di telecomunicazione e agli altri apparecchi di funzionare in modo conforme alla loro destinazione;
- essi abbiano un adeguato livello di immunità intrinseca contro i disturbi elettromagnetici che permetta loro il funzionamento in modo conforme alla loro destinazione.

In particolare i principali criteri in materia di protezione impongono che il livello massimo delle perturbazioni elettromagnetiche generate dagli apparecchi debba essere tale da non disturbare l'utilizzazione in particolare degli apparecchi seguenti:

1. ricevitori di radiodiffusione sonora e televisiva;
2. apparecchi industriali;
3. apparecchiature radio mobili e radiotelefoniche commerciali;
4. apparecchiature mediche e scientifiche;
5. apparecchiature di tecnologia dell'informazione;
6. elettrodomestici ed apparecchiature elettroniche per uso domestico;
7. apparecchi radio per l'aeronautica e la marina;
8. apparecchi didattici elettronici;
9. reti ed apparecchiature di telecomunicazione;
10. trasmettitori di radiodiffusione sonora e televisiva;
11. illuminazione e lampade fluorescenti.

Queste sono direttive di carattere generale e vanno applicate obbligatoriamente a tutte le classi di apparecchi sopra descritti.

In ambito medico ci sono alcune norme italiane CEI che ne trattano l'argomento.

Si parla di compatibilità elettromagnetica nei locali ad uso medico nella CEI 64-56 GUIDA, il cui titolo è *“Edilizia residenziale. Guida per l'integrazione degli impianti elettrici utilizzatori e per la predisposizione per impianti ausiliari, telefonici e di trasmissione dati negli edifici. Criteri particolari per locali ad uso medico.”*

Nel paragrafo 3.8.3 *“Esempi di sorgenti di interferenza”* la guida dice che nei locali ad uso medico i campi elettrici e magnetici degli impianti elettrici possono interferire con le apparecchiature medicali rendendo inaffidabile sia il loro funzionamento sia i dati forniti con conseguente pericolo per il paziente. Se nei locali e nelle loro vicinanze ove vengono effettuate misure dei potenziali elettrici del corpo umano, come ad esempio elettroencefalogrammi (EEG), elettrocardiogrammi (ECG) o elettromiogrammi (EMG), possono essere previsti disturbi a frequenza di rete, devono essere presi opportuni provvedimenti come indicati nei paragrafi successivi della guida stessa.

I locali che possono richiedere la protezione contro i disturbi sono, ad esempio:

- ✓ locali per EEG, ECG e per EMG;
- ✓ locali per terapia intensiva / unità coronariche;
- ✓ locali per cateterismo cardiaco;
- ✓ sale operatorie.

Nel paragrafo 3.8.4 “*Provvedimenti*” la guida dice che tutti i componenti elettrici devono soddisfare le prescrizioni relative alla compatibilità elettromagnetica e devono essere conformi alle relative norme in accordo alla Direttiva Europea 89/336 CEE.

Per gli impianti elettrici si possono adottare le seguenti precauzioni di carattere generale:

- posizionare possibili sorgenti di interferenza lontano da apparecchiature sensibili;
- posizionare le apparecchiature sensibili lontano da condotti sbarre;
- prevedere l’installazione di filtri e/o dispositivi di protezione contro le sovratensioni nei circuiti che alimentano apparecchiature sensibili;
- eseguire il collegamento equipotenziale di involucri metallici e di schermi;
- disporre adeguate separazioni (di stanziamento o schermatura) tra cavi di segnale e cavi di potenza ed elementi dell’eventuale LPS (sistema di protezione contro i fulmini);
- eliminare anelli induttivi scegliendo un percorso comune delle diverse condutture;
- utilizzare cavi di segnale schermati e/o avvolti a spirale ;
- realizzare i collegamenti equipotenziali con la minima lunghezza possibile;
- eventuali condutture con conduttori unipolari racchiusi in involucri metallici connessi al collegamento equipotenziale.

Si ritiene che presso il posto letto del paziente dove vengono sistematicamente utilizzati componenti elettrici sensibili non debbano essere superati i seguenti valori di induzione magnetica a 50 Hz:

- $B=0,1 \mu\text{T}$ per l’elettromiogramma;
- $B=0,2 \mu\text{T}$ per l’elettroencefalogramma;
- $B=0,4 \mu\text{T}$ per l’elettrocardiogramma.

Questi valori non vengono generalmente superati quando fra le parti dell'impianto e le apparecchiature (che possono causare disturbi magnetici) e le aree previste per gli esami al paziente vengono mantenute le distanze in tutte le direzioni riportate nella guida stessa.

Si parla di compatibilità elettromagnetica nei locali ad uso medico nella CEI 62-50, il cui titolo è *“Apparecchi elettromedicali. Parte 1: Norme generali per la sicurezza. 2 – Norma collaterale: Compatibilità elettromagnetica – Prescrizioni e prove”*.

La norma si applica soltanto ad apparecchi e sistemi elettromedicali e ad apparecchi informatici utilizzati in applicazioni elettromedicali e a tutti gli apparecchi che fanno parte di un sistema elettromedicale. Essa ha lo scopo di specificare le prescrizioni generali e le prove di compatibilità elettromagnetica di norme particolari.

In particolare nella norma ci sono dei riferimenti ad altre pubblicazioni internazionali:

- CISPR 11 (1990) *“Limits and methods of measurement of electromagnetic disturbance characteristics of industrial scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment”*;
- CISPR 14 (1985) *“Limiti e metodi di misura delle caratteristiche di radiodisturbo degli apparecchi elettrodomestici, utensili portatili e apparecchi elettrici simili”*.

Nella CEI 60601 Seconda edizione *“Apparecchi elettromedicali - Parte 1: “Prescrizioni generali per la sicurezza”-Norma collaterale: compatibilità elettromagnetica- Prescrizioni e prove”* la sala operatoria viene vista come un ambiente diverso da quelli *“ad uso medico”*. Infatti la sala operatoria e la sala di rianimazione vengono nella normativa classificati come ambienti speciali in cui l'esame dell'ambiente va fatto volta per volta.

Nella normativa vengono riportate alcune tabelle che sono esempi di *“Livelli prova”* che differiscono a seconda dell'apparecchiatura in esame. Ci sono esempi di livelli di prova per l'apparecchio a risonanza magnetica, per il sistema di sostentamento delle funzioni vitali e per l'intensificatore di immagini. Numerosi sono i riferimenti alla CISPR 11.

4 Principi fisici dei sistemi RFID

Nel presente capitolo verranno descritti i principi fisici alla base del funzionamento di un sistema RFID, a partire dalle leggi dell'elettromagnetismo fino alle diverse tipologie di accoppiamento tra tag e lettore, in funzione delle caratteristiche costruttive dei diversi componenti.

4.1 Principi di campi elettromagnetici

Prima di descrivere con maggiore approfondimento le tipologie ed il funzionamento delle antenne presenti nei componenti RFID è opportuno evidenziare alcuni importanti concetti basilari ma sostanziali riguardanti i campi elettromagnetici.

4.1.1 Onda elettromagnetica

Si definisce onda una qualsiasi perturbazione, impulsiva o periodica, che si propaga con una velocità ben definita. Le onde hanno origine da una sorgente che nel caso delle onde elettromagnetiche è un sistema di cariche accelerate opportunamente che producono un campo elettrico e un campo magnetico correlati tra loro.

Qualunque tipo di onda è sempre costituita dall'alternanza di due tipi diversi di energia, che nel caso dell'onda elettromagnetica sono quella elettrica e quella magnetica.

Le onde elettromagnetiche non avendo bisogno di un mezzo materiale per propagarsi possono farlo nel vuoto. La velocità di propagazione di queste onde è costante, indipendente dalla velocità della sorgente, dalla direzione di propagazione e dalla velocità dell'osservatore. Tale velocità, che grazie alle proprietà su esposte risulta una costante fondamentale, prende il nome di velocità della luce, la quale è appunto l'esempio più accessibile all'esperienza quotidiana di onda elettromagnetica.

Nei mezzi materiali e nelle guide d'onda, cioè in quelle strutture che guidano e confinano un campo EM come cavi metallici o fibre ottiche, la propagazione della radiazione elettromagnetica diviene un fenomeno più complesso. Innanzitutto la sua

velocità è diversa rispetto a quella nel vuoto secondo un fattore che dipende dalle proprietà del mezzo o della guida d'onda.

Le onde elettromagnetiche sono classificabili a seconda delle loro caratteristiche e del loro impiego nei vari campi della tecnica, in base alla lunghezza d'onda oppure alla frequenza. Infatti queste grandezze sono legate fra loro dalla seguente espressione:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

dove:

$c = 3 \times 10^8$ m/s = velocità della luce nel vuoto;

λ = lunghezza d'onda (m);

f = frequenza (Hz).

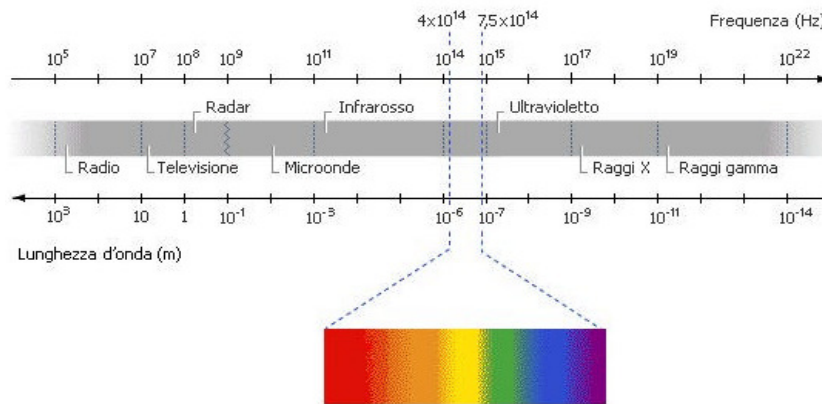


Figura 4-1 - Lo spettro elettromagnetico

Le onde possono essere, in generale, però di due tipi diversi: longitudinali o trasversali a seconda che l'oscillazione avvenga nella stessa direzione della propagazione o in una direzione ad essa perpendicolare. Le oscillazioni del campo elettrico e di quello magnetico avvengono dunque perpendicolarmente alla direzione di propagazione, e i due campi sono inoltre ortogonali tra loro.

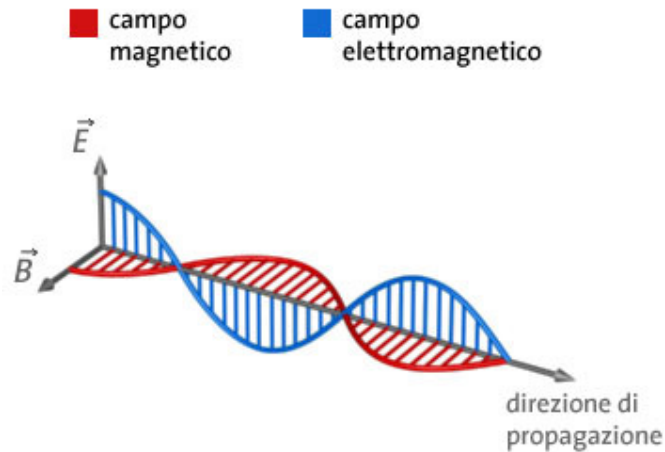


Figura 4-2 - Onda elettromagnetica

la moderna tecnologia per la comunicazione a distanza si basa su un semplice principio. Le antenne dei ripetitori radiotelevisivi, o più semplicemente le antenne dei telefoni cellulari, contengono cariche elettriche le quali, oscillando, emettono onde elettromagnetiche che poi vengono captate da altre antenne.

4.1.2 Le equazioni di Maxwell

Le equazioni di Maxwell sono un sistema di equazioni fondamentale nello studio dei fenomeni elettromagnetici governando l'evoluzione spaziale e temporale dei campi elettrico e magnetico. Appaiono per la prima volta al completo in forma differenziale, in "A Treatise on Electricity and Magnetism", pubblicato da J. C. Maxwell nel 1873. La notazione moderna più comune di queste equazioni fu sviluppata da O. Heaviside. Grazie a queste equazioni la forza elettrica e la forza magnetica, possono essere considerate un'unica forza detta forza elettromagnetica.

Le equazioni di Maxwell possono essere analogamente scritte in forma differenziale ed in forma integrale.

4.1.2.1 Forma differenziale nel vuoto

Nel caso più generale, in cui i campi dipendano dalle coordinate spaziali e dal tempo, la forma differenziale delle equazioni di Maxwell nel vuoto è, nel sistema di unità di misura internazionale:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 \left(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)\end{aligned}$$

Dove

\vec{E} = campo elettrico (V/m);

\vec{B} = campo magnetico (A/m);

μ_0 = permeabilità magnetica nel vuoto ($\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6}$ H/m);

ϵ_0 = costante dielettrica del vuoto ($\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ F/m);

ρ = densità di carica elettrica (C/m³);

\vec{J} = densità di corrente (A/m²);

t = tempo (s).

La costante di permeabilità magnetica nel vuoto (μ_0) e la costante dielettrica del vuoto (ϵ_0) sono legate dalla seguente relazione:

$$\frac{1}{c^2} = \epsilon_0 \mu_0$$

La quarta equazione di Maxwell può quindi essere riscritta nel seguente modo:

$$c^2 \nabla \times \vec{B} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Quando sono espresse in questa forma, nota anche come microscopica, le equazioni di Maxwell permettono di calcolare l'evoluzione del campo elettrico e del campo magnetico nel vuoto una volta assegnate la densità di carica e la densità di corrente.

L'effetto che il campo elettrico e quello magnetico hanno su una carica elettrica può essere espresso attraverso la forza di Lorentz, calcolabile attraverso la seguente formula:

$$\vec{F} = q_0(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Dove:

\vec{F} = forza di Lorentz;

q_0 = carica elettrica (C);

\vec{E} = campo elettrico (V/m);

\vec{B} = campo magnetico (A/m);

\vec{v} = velocità della carica in moto;

Le equazioni di Maxwell, insieme alla forza di Lorentz, descrivono completamente l'interazione elettromagnetica classica, ovvero come una carica in movimento interagisce con un'altra carica in movimento. Le stesse equazioni possono anche essere scritte in forma integrale.

4.1.2.2 Forma integrale nel vuoto

La prima equazione di Maxwell scritta in forma integrale è anche chiamata teorema di Gauss stabilisce il legame tra carica elettrica e campo elettrico. Afferma che il flusso del campo elettrico, prodotto da una distribuzione arbitraria di cariche elettriche in quiete, rispetto ad un sistema di riferimento inerziale, nel vuoto, uscente da una qualsiasi superficie chiusa è direttamente proporzionale alla quantità di carica contenuta al suo interno.

$$\oiint_V \vec{E} \cdot \hat{n} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \int \rho dV = \frac{1}{\epsilon_0} Q$$

Dove:

\hat{n} = normale alla superficie \vec{S}

\vec{S} = superficie

Q = carica presente all'interno della superficie.

La seconda equazione di Maxwell scritta in forma integrale è anche chiamata legge di Faraday mostra che un campo magnetico variabile è sorgente di un campo elettrico. Afferma che la corrente elettrica indotta in un circuito chiuso da un campo magnetico è proporzionale alla variazione di flusso che attraversa l'area abbracciata dal circuito nell'unità di tempo.

$$\oint_{\gamma} \vec{E} \cdot d\vec{S} = -\frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot \hat{n} d\vec{S} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

La terza equazione di Maxwell scritta in forma integrale afferma semplicemente che il campo magnetico è sempre solenoidale e che quindi non esistono cariche magnetiche.

$$\oint_{\gamma} \vec{B} \cdot \hat{n} d\vec{S} = 0$$

La quarta equazione di Maxwell scritta in forma integrale è anche chiamata legge di Ampere e sostiene che la corrente fluente in un conduttore produce un campo magnetico attorno al conduttore stesso. Matematicamente afferma che l'integrale lungo una linea chiusa C del campo magnetico è uguale alla somma delle correnti elettriche concatenate a C, moltiplicata per la permeabilità magnetica del vuoto.

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 i$$

Il fatto che l'integrale non sia nullo verifica che il campo magnetico non è un campo conservativo, a differenza del campo elettrostatico e del campo gravitazionale.

Esiste anche una formulazione differenziale della legge di Ampère, ottenuta applicando un teorema dell'analisi matematica, il teorema di Stokes, il quale afferma che la circuitazione di un campo vettoriale lungo una linea chiusa, C, è uguale al flusso del rotore di tale vettore attraverso una qualunque superficie che si appoggi su C:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_{\Sigma} \nabla \times \vec{B} \cdot \hat{n} d\Sigma$$

Per ricavare le equazioni di Maxwell in forma integrale dalla corrispondente forma locale, è necessario applicare il teorema di Green o il teorema della divergenza.

4.2 Accoppiamento tag/reader

Analizziamo ora il caso più semplice di accoppiamento, cioè quello tra reader e tag passivo. Ricordiamo che i transponder passivi dipendono per la loro alimentazione dall'energia a radiofrequenza che ricevono. Una parte dell'energia trasmessa dal reader che sta interrogando il tag viene modulata e nuovamente irradiata dal transponder stesso. Infatti è possibile modulare il segnale generato dal reader tramite la variazione dell'impedenza dell'antenna del tag che trasforma l'antenna stessa da assorbente a riflettente.

I due principi fisici che permettono al tag di ricavare energia e comunicare con il reader sono l'accoppiamento induttivo in condizioni di campo vicino e l'accoppiamento elettromagnetico in condizioni di campo lontano con effetto backscatter.

Il primo metodo di propagazione è quello che utilizza il campo magnetico e la comunicazione è generata attraverso l'induzione magnetica. In genere, questo principio fisico è utilizzato con frequenze relativamente basse (LF e HF).

Il secondo metodo di propagazione è quello che utilizza il campo elettrico impiegando un classico sistema radio per realizzare la propagazione di energia del ricetrasmittitore verso il transponder. Le frequenze utilizzate sono più alte (UHF e SHF).

La frontiera tra campo vicino e campo lontano varia a seconda della banda di frequenza utilizzata. In particolare il confine tra le due regioni diminuisce all'aumentare della frequenza, come si vede nella Tab. seguente.

| Banda di frequenza | Regione di campo vicino | Regione di campo lontano |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| LF | < 120 m | > 12 Km |
| HF | < 1 m | > 110 m |
| UHF | < 1,65 cm | > 1,65 m |
| SHF | < 0,25 cm | > 0,25 cm |

Tabella 4-1 - Regioni di campo vicino e lontano per le diverse frequenze

4.2.1 L'accoppiamento induttivo

L'accoppiamento induttivo in condizioni di campo vicino si basa sul fatto che, per distanze relativamente brevi rispetto alla lunghezza dell'onda emessa dall'antenna del reader, nell'antenna del tag prevalgono gli effetti della corrente indotta dal campo magnetico che varia periodicamente nel tempo. Poiché il transponder viene a trovarsi immerso in questo campo magnetico, il flusso magnetico variabile nel tempo si concatena con le spire dell'antenna del tag dando così origine ad una corrente indotta nelle spire (Legge di Lenz). Quindi l'accoppiamento induttivo tra le antenne del transponder e del reader avviene in maniera simile ad un trasformatore. L'energia ricavata da questo trasformatore viene usata per attivare il tag. Per ottenere le condizioni di campo vicino alle distanze operative impiegate vengono generalmente sfruttate le bande con maggiore lunghezza d'onda, ovvero LF ed HF.

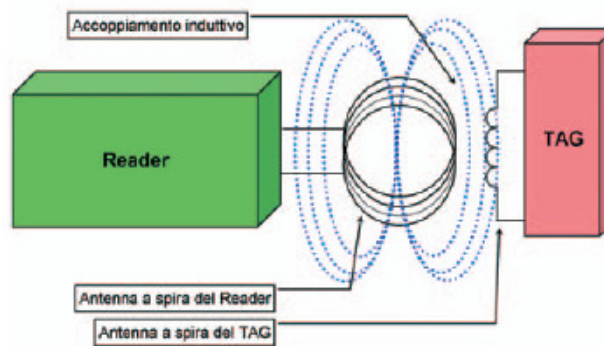


Figura 4-3 - Schema di principio dell'accoppiamento induttivo

Quindi per fornire il tag passivo di energia per trasmettere i transponder LF e HF utilizzano l'accoppiamento induttivo tra l'antenna a spire del reader e quella del tag accoppiate come un trasformatore elettrico.

L'antenna del reader genera un campo magnetico che può essere modulato e trasmesso al tag. Il transponder ha un circuito di ricezione che riconosce il campo modulato e, da questo, decodifica l'informazione trasmessa dal reader. Ma il reader possiede la potenza necessaria per modulare e trasmettere il proprio campo mentre il tag non la possiede. Infatti la comunicazione dal transponder al reader si realizza attraverso accoppiamento induttivo. L'antenna del tag è vista come il secondario di un trasformatore mentre l'antenna del reader come il primario. L'avvolgimento secondario varia il proprio carico,

cioè modula, ed il risultato modulato è visto nell'avvolgimento primario. Il chip del transponder cambia l'impedenza della propria antenna coerentemente con un segnale modulante ottenuto dalla lettura dei dati contenuti nella propria memoria.

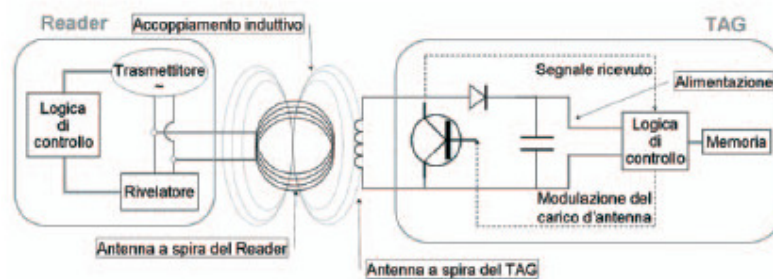


Figura 4-4 - Accoppiamento induttivo tra reader e tag

Si può cercare di riassumere il funzionamento di un sistema RFID ad accoppiamento induttivo in alcuni passi fondamentali:

- I dati dell'interrogazione vengono inviati, dalla logica di controllo del reader, al trasmettitore che genera il segnale per l'antenna a spire;
- Un campo magnetico viene indotto dalla corrente nell'antenna del reader e si concatena con l'antenna a spire del transponder;
- La corrente indotta viene rettificata e carica un condensatore permettendo così l'alimentazione della logica di controllo del tag;
- La logica di controllo del transponder attivata decodifica il segnale di interrogazione del reader;
- I dati sulla memoria del tag vengono letti dalla logica di controllo del transponder attivata. La lettura di questi dati permette la modulazione dell'impedenza dell'antenna del tag stesso;
- Poiché le spire del tag e del reader sono accoppiate come gli avvolgimenti di un trasformatore il reader, tramite il suo rivelatore, percepisce le variazioni d'impedenza dell'antenna e trasmette i dati ricevuti alla sua logica di controllo.

Il problema principale che può insorgere a seguito dell'utilizzo di sistemi RFID in campo vicino deriva dal fatto che se il segnale di risposta modulato ha la stessa frequenza del segnale di interrogazione del reader allora il segnale modulato sarà mascherato dal segnale di interrogazione e quindi esso non sarà facilmente rilevabile a causa del debole accoppiamento tra reader e tag.

4.2.1.1 Tag LF

L'accoppiamento reader/tag avviene per via induttiva, come nei tag HF, con lo stesso principio fisico dei trasformatori elettrici.

Nel caso di transponder passivi la distanza operativa è all'incirca pari al diametro dell'antenna del lettore e varia dai 30 cm a 1 m, al di là di questa portata il campo si riduce con il cubo della distanza e questo significa che il fabbisogno in potenza di trasmissione aumenta con la distanza alla sesta potenza.

Anche per questo motivo la distanza per poter eventualmente scrivere nella memoria, operazione che richiede un maggiore consumo di energia da parte del chip integrato nel tag, è normalmente più bassa di quella di lettura (tipicamente è inferiore del 30÷50%).

I tag in banda LF sono utilizzati principalmente nella tracciabilità animale (134,2 kHz) per la bassissima influenza che l'acqua ed i tessuti hanno sulla trasmissione.

4.2.1.2 Tag HF

L'accoppiamento reader/tag avviene per via induttiva, come nei tag LF.

Le forme ed il tipo di transponder disponibili sono le più disparate, ma al momento la tecnologia RFID ad accoppiamento magnetico utilizza generalmente un transponder passivo. Questa scelta è determinata principalmente dalle dimensioni dell'antenna e dalla distanza di lettura che sono direttamente legate alla frequenza della portante.

Utilizzare tag passivi ad accoppiamento magnetico consente di ridurre considerevolmente il costo del transponder, aumentare molto la durata di funzionamento del tag e accrescere la resistenza di questo tipo di transponder alle più diverse condizioni ambientali. Infatti la vita effettiva del tag anche se non è determinabile è dell'ordine di vita di un circuito elettronico (circa 40 anni), dati in una memoria riscrivibile durano almeno 10 anni e sono possibili almeno 100.000 cicli di programmazione ed è molto esteso il range delle temperature di funzionamento.

L'induzione magnetica è utilizzata sia per la trasmissione dell'energia di alimentazione dal ricetrasmittitore verso il transponder passivo sia per lo scambio dei dati fra le due apparecchiature.

La zona operativa dei tag HF è il campo vicino (near field) dell'antenna collegata al ricetrasmittitore. Teoricamente, il massimo diametro di questa antenna è di λ/π . Per

distanze più grandi di questo valore, l'intensità del campo magnetico si abbassa con il cubo della distanza e questo significa che il fabbisogno in potenza di trasmissione aumenta con la distanza alla sesta potenza.

Normalmente il tag prevede un'antenna formata da un avvolgimento normalmente in rame, ma viene utilizzato anche l'alluminio, formato su un substrato piatto e ottenuto per incisione da un sottile foglio di metallo dello spessore di qualche decina (60-70) di micron, oppure depositato, sul medesimo substrato con inchiostri conduttivi. La dimensione ed il numero di spire determinano la sensibilità e la distanza operativa, insieme, ovviamente, alla dimensione ed alla potenza emessa dall'antenna del reader.

Contrariamente a quello che avviene in UHF, il campo RF a 13,56 MHz non è particolarmente influenzato dall'acqua o dai tessuti del corpo umano o animale. Come tutti i sistemi RFID, anche questo è sensibile agli elementi metallici che possono trovarsi nella sua area.

Le caratteristiche particolari del campo magnetico influiscono direttamente sulla distanza massima di lettura del sistema rispetto all'orientamento del transponder in fase operativa. Una tecnica classica per risolvere questo problema è l'utilizzo di più antenne con campi rotanti o in opposizione di fase.

Oggi esistono molte forme differenti di transponder che sono indipendenti dalle funzionalità dei circuiti integrati.

Chiaramente si prevede che saranno introdotte nuove forme di tag che potranno essere create per rispondere a richieste generate da nuove applicazioni. Le forme di transponder più diffuse quasi sempre non sono state scelte in funzione delle loro caratteristiche intrinseche di accoppiamento magnetico, ma per garantire l'omogeneità con i sistemi esistenti. Per esempio, il diffuso tag a forma di carta di credito (75x46 mm) deve rispettare i criteri dimensionali delle carte di credito tradizionali con banda magnetica per essere fisicamente compatibile con molti lettori che devono poter leggere sia carte RFID sia carte tradizionali.

Esistono notevoli differenze di prestazioni per i diversi tipi di transponder in funzione delle loro caratteristiche fisiche quali l'area dell'antenna, il livello di induttanza, il fattore di qualità dell'antenna del tag e così via.

La forma e le dimensioni dell'antenna del transponder possono essere molto diverse tra di loro e quindi fornire prestazioni altrettanto diverse. Infatti, nonostante con aree uguali si possa concatenare lo stesso flusso, non tutte le forme di antenne hanno lo

stesso livello di efficienza (intesa come rapporto fra distanza di lettura e condizioni dell'antenna del tag).

L'area dell'antenna del transponder è un parametro importante nella valutazione dell'efficienza del transponder, ma non è sufficiente.

Inoltre l'area dell'antenna, e quindi le dimensioni dell'antenna, non possono essere aumentate indefinitamente perché all'aumentare delle dimensioni dell'antenna aumenta in certa misura il livello dell'induttanza del circuito, modificando i parametri necessari all'ottenimento della frequenza di risonanza del circuito. Il funzionamento in risonanza del circuito deve essere assolutamente garantito poiché permette di ottenere la migliore modalità possibile di scambio di energia ed informazioni tra reader e transponder.

4.2.2 L'accoppiamento elettromagnetico

L'accoppiamento elettromagnetico in condizioni di campo lontano con effetto backscatter si basa sul fatto che per distanze relativamente lunghe rispetto alla lunghezza dell'onda emessa dall'antenna del reader, nell'antenna del tag prevalgono gli effetti del campo elettromagnetico, che varia periodicamente nel tempo. L'antenna del transponder riflette parte della potenza elettromagnetica ricevuta. Questa può essere rilevata dall'antenna del reader. Il fenomeno della riflessione delle onde elettromagnetiche è conosciuto come backscattering ed è simile a quello su cui si basa il funzionamento dei sistemi radar. Per ottenere le condizioni di campo lontano alle distanze operative impiegate vengono generalmente sfruttate le bande con minore lunghezza d'onda, ovvero UHF e SHF.

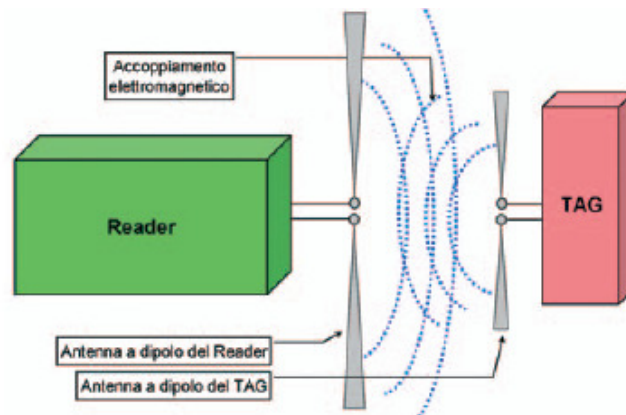


Figura 4-5 - Schema di principio dell'accoppiamento elettromagnetico

Quindi nei sistemi RFID passivi, che usano tag UHF e SHF, un trasmettitore invia un'onda elettromagnetica ed un ricevitore rileva lo scattering generato da un oggetto sul quale l'onda incide. Se il trasmettitore ed il ricevitore sono collocati nella stessa posizione il fenomeno viene chiamato scatter monostatico o backscatter. Si definisce scattering un processo nel quale l'energia di un'onda viaggiante viene dispersa rispetto alla direzione di propagazione, a causa dell'interazione con le non omogeneità del mezzo.

La comunicazione tra tag e reader è consentita attraverso la modulazione del backscatter che avviene a seguito della variazione dell'impedenza dell'antenna del transponder.

Le tecniche di modulazione per sistemi RFID che lavorano in UHF o SHF sono simili a quelle dei transponder che lavorano a frequenze più basse e ricevono, anch'essi, potenza dal campo del reader. La differenza sta nella modalità di trasferimento dell'energia che avviene in condizioni di campo lontano. In questa regione la componente magnetica e quella elettrica del campo in un conduttore, cioè l'antenna, si irradiano e si propagano nello spazio libero come un'onda combinata chiamata elettromagnetica.

In zona di campo lontano si usano le antenne a dipolo che rilevano il campo elettromagnetico poiché in questa regione l'effetto induttivo non è più quello prevalente.

Il reader emette un'onda elettromagnetica che incide sull'antenna del transponder. Una parte di questa energia è assorbita per fornire potenza al tag mentre una parte, per backscatter, è riflessa all'indietro verso il reader.

I transponder UHF non avendo fonti proprie di energia per trasmettere sfruttano la modulazione dell'effetto backscatter ottenuta tramite la variazione dell'impedenza del tag durante la trasmissione del segnale da parte del reader che deve essere in grado di captare le variazioni nel segnale riflesso.

Le antenne utilizzate in sistemi RFID che lavorano a frequenze elevate sono più semplici e di dimensioni ridotte rispetto a quelle utilizzate nei sistemi RFID che lavorano in regione di campo vicino. Anche per questa motivazione è prevedibile una forte espansione della tecnologia RFID lavorante a frequenze molto elevate.

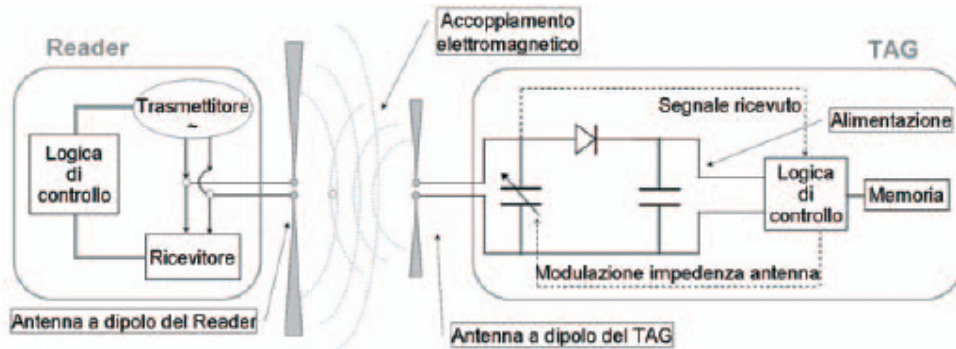


Figura 4-6 - Accoppiamento elettromagnetico tra reader e tag

Si può cercare di riassumere il funzionamento di un sistema RFID ad accoppiamento elettromagnetico in alcuni passi fondamentali:

- I dati dell'interrogazione vengono inviati, dalla logica di controllo del reader, al trasmettitore che genera il segnale per l'antenna a dipolo;
- L'antenna a dipolo del tag riceve il segnale che si è propagato nello spazio nella regione di campo lontano;
- L'energia del segnale ricevuto viene utilizzata per caricare un condensatore permettendo così l'alimentazione della logica di controllo del tag;
- La logica di controllo del transponder attivata decodifica il segnale di interrogazione del reader;
- I dati sulla memoria del tag vengono letti dalla logica di controllo del transponder attivata. La lettura di questi dati permette la modulazione dell'impedenza dell'antenna del tag stesso e di conseguenza modula il backscatter;
- Il reader riceve il segnale di backscatter, lo decodifica tramite il ricevitore e trasmette i dati ricevuti alla logica di controllo.

Il problema principale che può insorgere a seguito dell'utilizzo di sistemi RFID in campo lontano deriva dal fatto che il campo emesso dal reader è riflesso, oltre che dall'antenna del transponder, anche da tutti gli altri oggetti circostanti di dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda impiegata. Questi campi riflessi sovrapponendosi a quello principale emesso dal reader possono provocarne lo smorzamento o perfino la cancellazione.

Inoltre, come nel caso di un sistema RFID ad accoppiamento induttivo, si potrebbero avere problemi se il segnale di risposta modulato è sulla stessa frequenza del segnale di interrogazione del reader.

4.2.2.1 Tag UHF

I tag ad accoppiamento elettromagnetico lavorano in alta frequenza. In questo paragrafo, l'attenzione sarà posta principalmente sulla banda UHF bassa e media anche se utilizzano questo tipo di accoppiamento anche sistemi RFID che lavorano a frequenze ancora più elevate.

La distanza operativa di questa tipologia di tag è decisamente più estesa di quella dei transponder LF e HF. Una distanza operativa di 3 metri è ormai standard, ma sempre più spesso estendibile verso 5 e più metri. Grazie a questo l'UHF è destinata sicuramente ad essere la banda fondamentale nelle applicazioni di logistica e, soprattutto, nella gestione degli oggetti.

Tutti i sistemi UHF utilizzano la propagazione delle onde elettromagnetiche per inviare dati e comandi. Se i transponder sono di tipo passivo, nello stesso modo è possibile trasmettere l'energia di alimentazione.

Il principio di funzionamento dei sistemi UHF ad accoppiamento elettrico è diverso da quello utilizzato nei sistemi passivi ad accoppiamento magnetico. Infatti, l'accoppiamento reader/tag avviene per via elettromagnetica, come nei tradizionali sistemi di radiocomunicazione.

Nei sistemi UHF, il ricetrasmittitore genera un'onda elettromagnetica che si propaga secondo una superficie sferica. L'energia elettromagnetica si propaga in un mezzo o attraverso lo spazio.

A differenza dell'induzione magnetica, dove il decadimento del segnale è proporzionale al cubo della distanza, la trasmissione UHF ha una propagazione che decade con il quadrato della distanza.

I parametri di funzionamento sono quelli classici dei sistemi radio. Quindi la potenza ricevuta dall'antenna del transponder dipende direttamente dalle sue dimensioni, le dimensioni del sistema messo in campo dipendono direttamente dalla lunghezza d'onda e l'onda radio viene attenuata quando si propaga dall'emittente verso il ricevitore (a frequenze alte vi è una perdita aggiuntiva dovuta all'ossigeno ed al vapore acqueo contenuti nell'aria).

L'intervallo di funzionamento dei sistemi RFID UHF è direttamente dipendente dall'energia RF radiata dal ricetrasmittitore, dal guadagno dell'antenna del

ricetrasmittitore, dalla frequenza del sistema, dalle dimensioni dell'antenna del transponder e dalla sensibilità del chip.

La quantità di energia che il tag UHF raccoglie dal campo elettromagnetico ricevuto è funzione del diagramma di radiazione dell'antenna del transponder e della densità di potenza del campo EM presente nella posizione del tag. Il diagramma di radiazione dell'antenna del transponder è correlato con la lunghezza d'onda del segnale e con le dimensioni fisiche dell'antenna medesima. La densità di potenza è correlata con i parametri tecnici del reader quali potenza e antenna.

Nella banda UHF bisogna convivere con problematiche più complesse di quanto non si riscontri a frequenze inferiori. Infatti le strutture metalliche in prossimità dell'antenna possono riflettere le onde elettromagnetiche; queste riflessioni possono, incontrandosi con l'onda diretta dell'antenna in opposizione di fase, generare degli spazi in cui il campo elettromagnetico risulta nullo. I tag in questa area risultano illeggibili. Inoltre l'assorbimento da parte dell'acqua delle onde elettromagnetiche si fa più consistente. L'efficienza di lettura in ambienti particolarmente umidi o con transponder applicati a contenitori di liquidi può diventare difficoltosa.

La velocità di trasmissione risulta superiore a quella dei sistemi operanti a frequenze più basse. I sistemi, inoltre, sono in grado di gestire letture multiple contemporanee (anticollisione) arrivando alla lettura di più di 100 tag al secondo.

Alcune problematiche, ad oggi in via di risoluzione come le frequenze operative, gli standard di comunicazione e le potenze in trasmissione dei reader, hanno rallentato l'introduzione della tecnologia RFID in banda UHF.

Gli Usa, l'Europa e l'Asia si trovano a dover gestire frequenze diverse. Le frequenze già occupate dalla telefonia cellulare, e quindi ormai immutabili, non consentono alle tre aree di utilizzare le stesse bande per l'applicazione RFID. Tuttavia i transponder passivi vengono spesso costruiti con accorgimenti che ne esaltano la capacità di rispondere a "larga banda", il che ne consente l'operatività su bande differenti pagando con un decadimento nelle prestazioni. Per i transponder attivi invece, se necessario, gli apparati ricetrasmittenti vengono tarati su più frequenze a scapito dei costi.

In Usa ed in Europa esistono differenti limitazioni per la potenza massima emessa. Questo porta un vantaggio competitivo, soprattutto in logistica, per gli USA che ammettono potenze maggiori. A potenza maggiore, infatti corrisponde maggiore distanza operativa e di conseguenza un diverso costo del servizio e questo provoca differenti costi operativi tra diversi contesti nazionali. Questa disparità sarebbe risolta con l'impiego di potenze uniformi in tutto il mondo.

Possiamo fare una stima delle dimensioni dei tag UHF ad una frequenza di 900 MHz. A questa frequenza la lunghezza d'onda è circa 33 cm e un'antenna a 1/2 onda risulta lunga 16,5 cm, mentre un'antenna ad 1/4 d'onda risulta di circa 8,3 cm. Queste sono le dimensioni più probabili che ci si può aspettare per i transponder operanti in UHF media.

Nella banda UHF alta (centrata sulla sottobanda a 2,4 GHz) è necessaria la convivenza tra la tecnologia RFID e le reti wireless (WLAN, Bluetooth, ZigBee) che già operano in questa banda. I tag che lavorano in UHF alta sono, nel principio di funzionamento, molto simili ai transponder che lavorano in UHF bassa e media. Il tag è ulteriormente miniaturizzato perché sono ridotte le dimensioni della sua antenna. Ciò è possibile grazie al legame che sussiste tra la dimensione dell'antenna e la lunghezza d'onda. A seguito della riduzione dell'antenna si ha una riduzione della capacità di captare energia dal campo EM incidente, ma quest'ultimo può essere facilmente direzionabile anche con antenne molto compatte ottenendo aree di lettura molto ristrette e direzionali.

4.3 Antenne nei sistemi RFID

Di un sistema RFID fanno parte due antenne, quella del tag e quella del reader aventi dimensioni, forma e caratteristiche diverse tra loro e differenti a seconda dell'applicazione che vuole usare la tecnologia di identificazione a radiofrequenza.

Le antenne del tag e del reader hanno un ruolo basilare nei sistemi RFID soprattutto di tipo passivo.

In un'applicazione RFID è necessaria un'antenna per trasmettere il segnale in radiofrequenza al tag e per ricevere i dati del transponder interrogato. Un segnale radiofrequenza può essere effettivamente irradiato se la dimensione lineare dell'antenna è comparabile con la lunghezza d'onda della frequenza operativa.

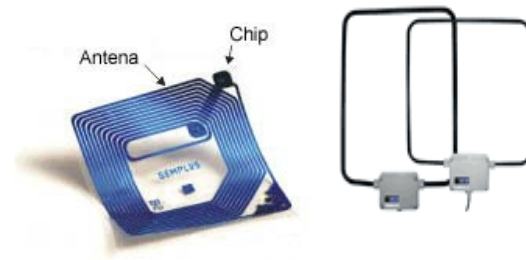


Figura 4-7 - Antenne per tag e reader

L'orientamento ottimale per le spire delle antenne del tag e del reader è quello parallelo tra loro in quanto il massimo trasferimento di energia è ottenuto con la direzione parallela dei due vettori di campo magnetico, e quindi necessariamente anche dei due vettori di campo elettrico. Infatti se il tag ha un orientamento ortogonale rispetto al campo generato dal reader la probabilità di lettura diminuisce.

Per minimizzare la sensibilità alla polarizzazione del segnale incidente, a volte, si usano tag UHF con un'antenna con due dipoli sistemati in posizione ortogonale.

Il problema della polarizzazione può essere oltrepassato seguendo alcuni accorgimenti come porre due antenne ortogonali e fuori fase l'una con l'altra, come creare un tunnel di reader 3D, come utilizzare antenne con polarizzazione circolare in UHF oppure come adoperare antenne in diverse locazioni con differenti orientamenti (x, y, z) in HF.

I sistemi RFID con antenna a portale operano con diverse antenne aventi polarizzazioni tra loro ortogonali. Lo scopo del portale è quello di permettere la lettura di transponder sugli oggetti che transitano attraverso di esso. Un portale avente composto da tre antenne permette la lettura di tag disposti secondo tutti e tre i piani dello spazio rivelandosi la soluzione migliore. La Fig. seguente rappresenta, per differenti configurazioni delle antenne del portale, tre tag disposti lungo direzioni tra loro ortogonali.

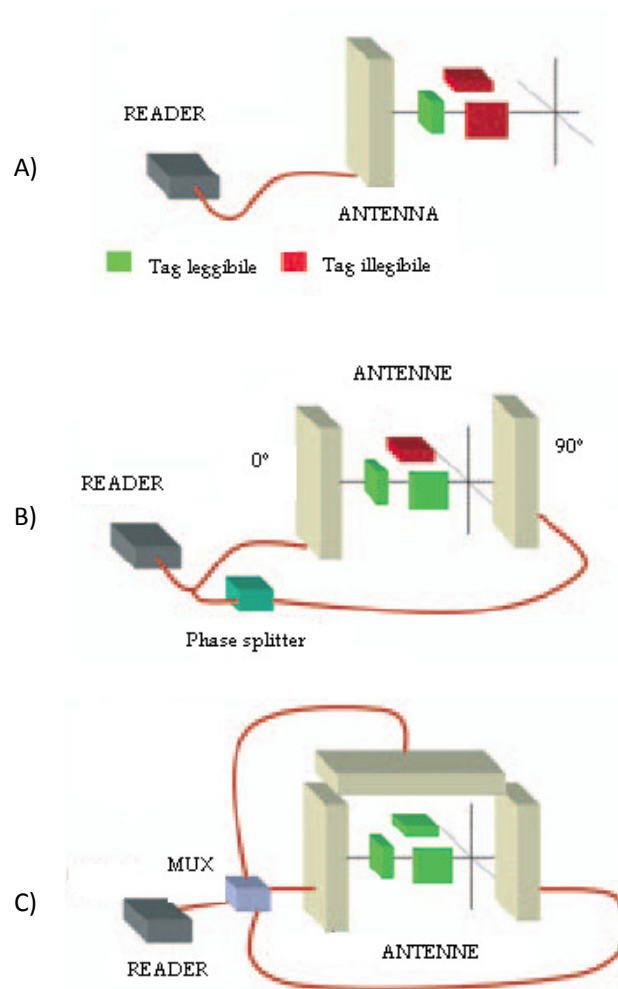


Figura 4-8 - A) Campo 1D; B) Campo 2d; C) Campo 3D

Le antenne utilizzate in transponder ad accoppiamento induttivo sono comunemente delle spire particolarmente sensibili all'orientamento relativo tra di loro poiché sono assimilabili agli avvolgimenti primario e secondario di un trasformatore elettrico.

Le antenne utilizzate in transponder ad accoppiamento elettromagnetico sono comunemente dei dipoli progettati anche per favorire il backscatter. Se la lunghezza del dipolo è pari ad un multiplo della lunghezza d'onda (λ) allora si ha un trasferimento ottimale dell'energia. L'ottimo lo si ottiene con una lunghezza pari a $\lambda/2$ ma in realtà il dipolo è spesso costruito a $\lambda/4$. Importante è utilizzare sottomultipli della lunghezza d'onda per non avere gravi perdite nelle prestazioni.

Le antenne per tag passivi, sia ad accoppiamento induttivo che elettromagnetico, possono essere realizzate in metallo inciso oppure con inchiostro conduttore. A volte, per tag ad accoppiamento induttivo a bassa frequenza (LF) vengono impiegati avvolgimenti in filo.

Per non avere riduzioni sulla distanza di lettura tra tag e reader è necessario che il transponder sia collocato in maniera opportuna nella zona di polarizzazione del campo generato dal reader.

La progettazione dell'antenna del reader è sicuramente più complicata di quella del tag. Le antenne sono integrate nel reader se l'applicazione è in prossimità (<10cm) e a bassa potenza mentre sono quasi sempre esterne se l'applicazione è a lunga distanza.

Se parliamo di sistemi RFID ad accoppiamento induttivo o ad accoppiamento elettromagnetico il progetto dell'antenna è completamente differente.

La maggior parte delle antenne lavorano alla frequenza di risonanza esponendo il sistema RFID a taluni fattori che possono desintonizzare l'antenna da questa frequenza riducendo così la distanza di lettura. Questi fattori sono svariati e dipendenti anche dalla frequenza operativa come le perdite dovute a prossimità di masse metalliche, l'effetto pelle, il fading del segnale, il disadattamento con il cavo d'antenna, le variazioni ambientali, la prossimità con altre antenne di reader, le riflessioni del segnale, le interferenze con altre sorgenti RF, le intermodulazioni e gli effetti generati dal movimento di una delle due antenne nel campo magnetico generato dall'altra.

I problemi di desintonizzazione, portati da uno dei fattori appena elencati, possono essere minimizzati ricorrendo a particolari circuiti che lavorano sui parametri di sintonia come sistemi in controreazione.

In un'applicazione che utilizza la banda di frequenza LF la lunghezza d'onda della frequenza operativa è di alcuni Km. Poiché il valore di λ è elevato un'antenna vera non

potrà mai essere formata negli spazi limitati dei dispositivi. Quindi viene utilizzata un'antenna a bobina con piccoli loop che è risonante alla frequenza di interesse.

Il campo prodotto attraverso un'antenna a spira si attenua all'aumentare della distanza dalla spira stessa e la potenza del campo cade rapidamente all'aumentare della distanza dall'antenna. E' ovvio quindi che l'andamento della potenza del campo è il fattore limitante principale del range di lettura di un sistema RFID.

Quando il campo magnetico variabile nel tempo attraversa l'antenna induce una tensione nella spira che è utilizzata per attivare il tag passivo. L'antenna a spira deve essere disegnata per massimizzare questa tensione indotta. Questa tensione indotta AC è rettificata per provvedere ad una sorgente di tensione per transponder. Quando la tensione DC arriva ad un certo livello il tag inizia ad essere operativo. La comunicazione tra reader e transponder è completata attraverso un'antenna a spira. E' importante che il tag posseda un'antenna a spira adeguata affinché abbia successo l'applicazione RFID.

4.3.1 Elementi base di teoria delle antenne

Le applicazioni RFID in studio presso il Policlinico di Tor vergata di Roma impiegano tag LF e HF, cioè quelle soluzioni che utilizzano il principio dell'accoppiamento induttivo tra reader e tag e che utilizzano per comunicare antenne a spira.

4.3.1.1 Campo magnetico in un'antenna a spira

Il campo magnetico prodotto da un'antenna circolare di N spire è dato dalla seguente equazione:

$$B_z = \frac{\mu_0 INa^2}{2(a^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Dove

I = corrente;

r = distanza dal centro del filo;

a = raggio del loop;

μ_0 = permeabilità magnetica nel vuoto

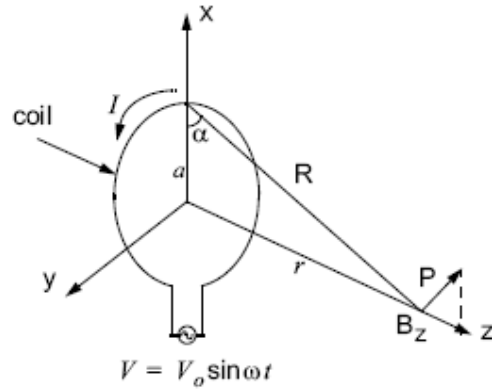


Figura 4-9 - Campo magnetico di un loop

Se $r^2 \gg a^2$

$$B_z = \frac{\mu_0 I N a^2}{2r^3}$$

La precedente equazione indica come il campo magnetico decada con andamento cubico all'aumentare della distanza dal centro del filo (r).

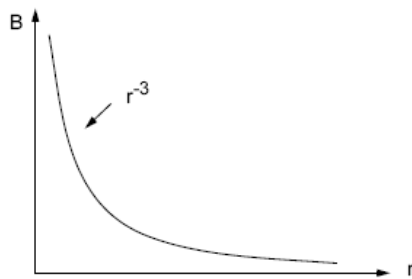


Figura 4-10 - Decadimento del campo magnetico con la distanza

Inoltre si può facilmente notare che il valore massimo del campo magnetico lo si ha nel piano del loop e che esso è direttamente proporzionale sia alla corrente che al numero di spire.

4.3.1.2 Voltaggio indotto in un'antenna a spira

La legge di Faraday afferma che un campo magnetico variabile nel tempo attraverso una superficie limitata da un percorso chiuso induce una tensione intorno alle spire. Questo principio ha conseguenze molto importanti per quello che riguarda dispositivi RFID di tipo passivo.

La Fig. seguente rappresenta una semplice realizzazione geometrica di un'applicazione RFID.

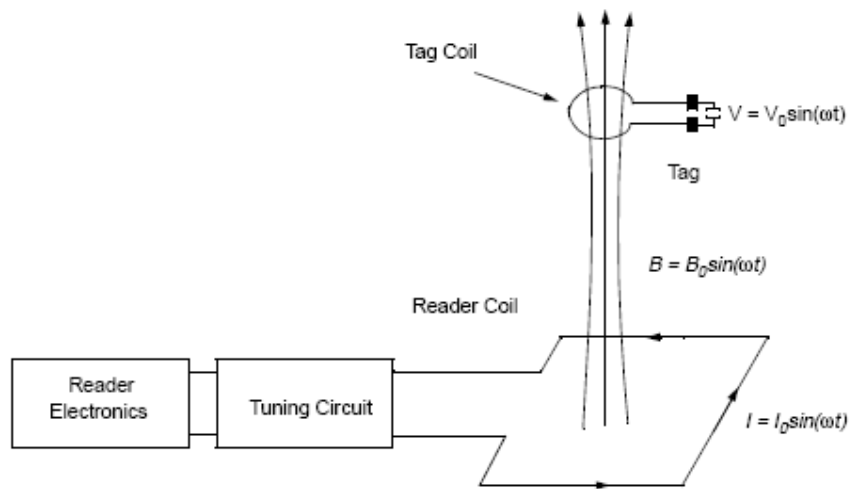


Figura 4-11 - Configurazione base delle antenne per un'applicazione RFID

Quando le antenne di tag e di reader sono così vicine tra loro da essere considerate in prossimità il campo magnetico variabile nel tempo che è prodotto attraverso l'antenna a spira del reader induce una tensione nell'antenna a spira del tag. Questa tensione indotta è chiamata electromotive force o semplicemente EMF. La tensione indotta nell'antenna causa un flusso di corrente nella spira in accordo con la legge di Faraday.

La tensione indotta nell'antenna a spira del tag è proporzionale alla variazione del flusso magnetico (Ψ) nel tempo.

$$V = -N \frac{d\psi}{dt}$$

Dove

V = tensione indotta;

N = numero di spire;

Ψ = flusso magnetico attraverso ciascuna spira;

t = tempo.

Il segno negativo mostra che la tensione indotta agisce in maniera opposta al flusso che l'ha prodotta. Questa è conosciuta come legge di Lenz e accentua il fatto che la direzione del flusso della corrente nel circuito è tale che il flusso magnetico indotto prodotto attraverso una corrente indotta si opporrà al campo magnetico originale.

Il flusso magnetico Ψ è il campo magnetico totale che passa attraverso l'intera superficie dell'antenna e si può calcolare utilizzando la seguente espressione:

$$\psi = \int \vec{B} \cdot \vec{ds}$$

Dove

\vec{B} = flusso magnetico;

\vec{S} = area superficiale dell'antenna.

Il fatto che per calcolare il flusso bisogna effettuare il prodotto tra due vettori suggerisce che il flusso magnetico totale passante attraverso l'antenna è dipendente dall'orientazione delle spire dell'antenna. Il prodotto tra due vettori diventa massimo quando essi sono nella stessa direzione. Quindi, il flusso magnetico che passato attraverso l'antenna del tag sarà massimo quando le due spire, quella del reader e quella del tag, sono posizionate in maniera parallela l'una rispetto all'altra.

La tensione indotta V_0 per un'antenna a spira desintonizzata è data da:

$$V_0 = 2\pi fNSB_0 \cos \alpha$$

Dove α è l'angolo del segnale in arrivo.

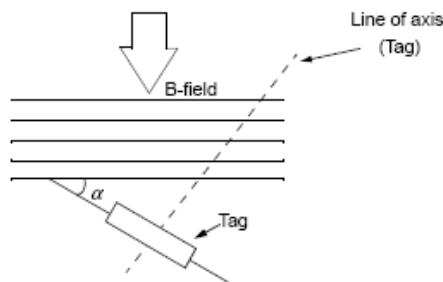


Figura 4-12 - Orientazione dipendente dall'antenna del tag

Se la spira è sintonizzata, attraverso la capacità C, alla frequenza di arrivo del segnale la tensione in uscita V_0 sarà sostanzialmente aumentata.

La tensione indotta sviluppata attraverso le spire dell'antenna è una funzione dell'angolo del segnale di arrivo. Questo valore è massimo quando la spira dell'antenna è posizionata perpendicolarmente alla direzione del segnale di arrivo, cioè quando $\alpha = 0$.

La tensione d'uscita trovata attraverso l'equazione precedente è solitamente moltiplicata per il fattore di qualità Q del circuito, il quale varia da 5 a 50 nelle tipiche applicazioni RFID a bassa frequenza.

Per aumentare il range di lettura si può agire incrementando il raggio delle spire dell'antenna che porta ovviamente ad un aumento delle dimensioni del tag. Spesso però è più efficace aumentare il raggio dell'antenna piuttosto che incrementare il valore della corrente.

4.3.2 Antenne per tag

Un'antenna a spira per un tag RFID può essere configurata in molti modi differenti a seconda dalla finalità dell'applicazione e dei parametri assegnati.

Comunemente per un'applicazione RFID a 125 KHz il numero delle spire dell'antenna si aggira attorno ai 100 mentre per un'applicazione a 13,56MHz il numero delle spire è 3-5.

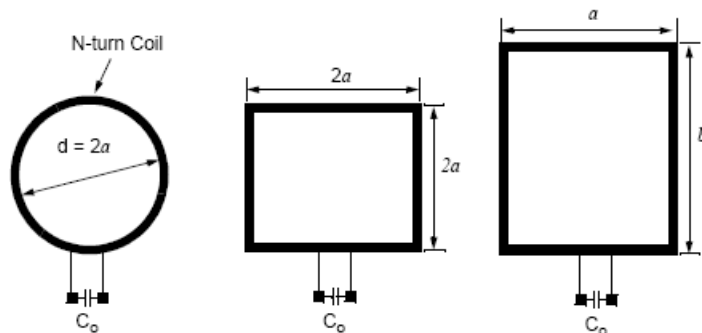


Figura 4-13 - Varie configurazioni della spira dell'antenna del tag

La spira è tipicamente fatta con un filo sottile. L'induttanza ed il numero delle spire possono essere calcolate utilizzando le formule disponibili in letteratura.

Per un ampio range di lettura l'antenna deve essere sintonizzata esattamente alla frequenza di interesse.

La tensione attraverso la spira è massimizzata attraverso la formazione di un circuito risonante parallelo. La sintonizzazione è completata con un capacitore risonante che è connesso in parallelo alla spira.

Nelle applicazioni RFID l'antenna a spira è un elemento del circuito risonante ed il range di lettura del dispositivo è ampiamente influenzato dalla performance di questo circuito. Il tipico circuito risonante, di cui fa parte l'antenna del tag, è quello parallelo formato da un'antenna a spira in parallelo con una capacità di sintonizzazione.

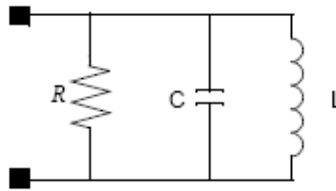


Figura 4-14 - Circuito risonante parallelo

Il circuito risonante parallelo ha l'impedenza massima alla frequenza di risonanza. Questo circuito offre la minima corrente e la massima tensione alla frequenza di risonanza.

Questo circuito è composto da una resistenza, da una capacità e da un induttore posti in parallelo tra di loro. L'impedenza totale equivalente del circuito è data da:

$$Z(j\omega) = \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC + j\frac{\omega L}{R}}$$

Dove

$\omega = 2\pi f$ = frequenza angolare;

R = resistenza di carico;

C = capacità;

L = induttanza.

La massima impedenza la si ha quando il denominatore dell'equazione precedente è minimizzato, cioè quando

$$\omega^2 LC = 1$$

Questa è chiamata condizione di risonanza dalla quale si ricava la frequenza di risonanza (f_0) che dipende esclusivamente dai valori di L e C:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Dove

f_0 = frequenza di risonanza di un'antenna (MHz);

L = induttanza dell'antenna a spira (mH);

C = capacità di sintonizzazione (mF).

Alla frequenza di risonanza l'impedenza totale del circuito diventa

$Z = R$.

Dato che il valore di f_0 è fissato in modo molto preciso dalla frequenza della portante e il valore di C è determinato dalla capacità del circuito e dalla capacità dell'antenna stessa, allora L non può assumere qualsiasi valore, ma deve variare in un intervallo in gran parte già determinato.

La resistenza e la capacità nel circuito risonante parallelo determinano la larghezza di banda (B), che si misura in Hz, del circuito:

$$B = \frac{1}{2\pi RC}$$

Il fattore di qualità (Q) è definito in vari modi come:

$$Q = \frac{f_0}{B}$$

Il fattore Q in un circuito risonante parallelo è dato da:

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

Il fattore di qualità di questo circuito è direttamente proporzionale alla resistenza di carico ed anche alla radice quadrata del rapporto tra la capacità e l'induttanza del circuito.

Quando il circuito risonante parallelo è utilizzato per il circuito dell'antenna del tag, la tensione ai capi del circuito può essere ottenuta con la seguente equazione:

$$V_0 = 2\pi f_0 N Q S B_0 \cos \alpha = 2\pi f_0 N \left(R \sqrt{\frac{C}{L}} \right) S B_0 \cos \alpha$$

La precedente equazione indica che la tensione indotta nella spira del transponder è inversamente proporzionale alla radice quadrata dell'induttanza della spira ma proporzionale al numero di giri e all'area superficiale della spira.

Comunque questo circuito può essere usato anche nell'antenna di un reader per la lettura a lungo raggio poiché si possono ottenere alti valori del voltaggio che possono però compromettere il segnale che deve essere ricevuto.

4.3.3 Antenne per reader

L'induttanza della spira dell'antenna del reader solitamente va da poche centinaia a poche migliaia di μH per applicazioni della tecnologia RFID a bassa frequenza mentre si aggira intorno a pochi μH per applicazioni a 13,56 MHz.

L'antenna del reader può essere fatta di una singola spira che tipicamente forma un circuito risonante serie oppure di una doppia spira che forma un circuito risonante parallelo e che funziona come un trasformatore.

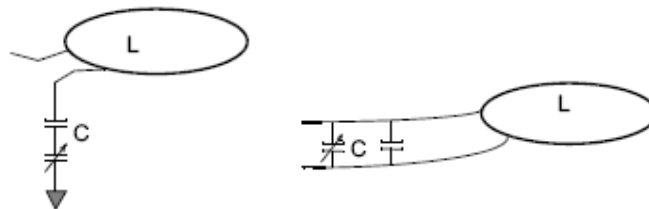


Figura 4-15 - Varie configurazioni del circuito dell'antenna del reader

Il circuito della spira deve essere sintonizzato alla frequenza operativa per massimizzare la potenza. La sintonizzazione del circuito risonante LC è la stessa di un filtro passa banda che passa solo le frequenze di selezionate. Il fattore di qualità, Q , del circuito è in relazione sia con il range di lettura che con la larghezza di banda del circuito.

I circuiti risonanti serie e parallelo, dipendenti dalla topologia circuitale scelta, presentano caratteristiche differenti tra di loro. Il circuito risonante serie porta ad avere impedenza minima alla frequenza di risonanza, quindi si avrà corrente massima alla frequenza di risonanza. Poiché il circuito ha una topologia semplice e un costo relativamente basso, questo tipo di circuito per l'antenna è conveniente per antenne reader di prossimità.

Invece il circuito risonante parallelo porta ad avere impedenza massima alla frequenza di risonanza, quindi si avrà corrente minima alla frequenza di risonanza. Il voltaggio può essere fatto aumentare attraverso la formazione di una doppia spira parallela quindi il

circuito risonante parallelo è spesso usato in quelle applicazioni in cui è richiesto un voltaggio elevato del segnale.

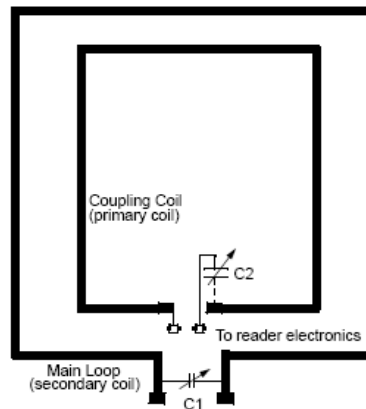


Figura 4-16 - Un trasformatore ad antenna a spira per reader

In Fig. precedente è mostrato un esempio di trasformatore con antenna a spira. La spira principale (secondario) è formata con molti giri di filo su un grande frame, con un condensatore che risuona alla frequenza di risonanza. L'altra spira è chiamata spira d'accoppiamento (primario) ed è formata con pochi, due o tre, giri di filo. Il primario è posizionato in prossimità del secondario, generalmente lontano non più di un paio di centimetri e nel bordo interno. Lo scopo di questa spira è accoppiare il segnale indotto dal secondario con il reader, o viceversa, all'impedenza di accoppiamento più ragionevole.

Il primario fornisce un'impedenza accoppiata all'impedenza ingresso/uscita del reader. La spira è connessa al segnale pilota ingresso/uscita dell'elettronica del reader.

Il secondario deve essere sintonizzato per risuonare alla frequenza di risonanza e non è fisicamente connesso con l'elettronica del reader.

Il primario è generalmente non sintonizzato, ma in alcuni progetti, una capacità di sintonizzazione C2 è posta in serie al primario. Siccome le spire di primario e secondario non sono molto lontane, la spira principale ha un'induttanza piccola. Come risultato, la capacità di risonanza è generalmente molto grande.

Come già detto, nelle applicazioni RFID l'antenna a spira è un elemento del circuito risonante ed il range di lettura del dispositivo è ampiamente influenzato dalla performance di questo circuito.

Il tipico circuito risonante, di cui fa parte l'antenna del reader è quello serie formato da un'antenna a spira in serie con una capacità di sintonizzazione.

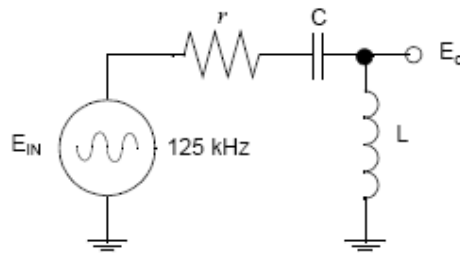


Figura 4-17 - Circuito risonante serie

Il circuito risonante serie ha l'impedenza minima alla frequenza di risonanza. Come risultato il circuito è attraversato dalla massima corrente possibile.

L'espressione dell'impedenza per il circuito risonante serie è la seguente:

$$Z(j\omega) = r + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = r + j(X_L - X_C)$$

L'impedenza è minimizzata quando $X_L = X_C$, cioè è questa la condizione di risonanza. La frequenza di risonanza risulta essere la stessa del circuito risonante serie.

La larghezza di banda del circuito è data da:

$$B = \frac{r}{2\pi L}$$

Il fattore Q in un circuito risonante serie con una resistenza di carico, r , è dato da:

$$Q = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Per il circuito risonante serie la tensione in uscita dalla spira è data da:

$$V_0 = \frac{jX_L}{r + jX_L - jX_C} V_{in}$$

Quando bisogna progettare un'antenna a spira per un reader la tendenza è quella di farlo cercando di ottenere il più alto valore possibile del fattore di qualità, Q.

Tuttavia vi sono tre importanti limitazioni delle quali è opportuno tenerne conto:

- 1) tensioni troppo alte possono portare ad un guasto dell'isolamento sia nella spira che nella capacità di risonanza e possono portare a recuperare difficilmente il segnale di ritorno dal tag;

- 2) la sintonizzazione diventa critica, i componenti ad alta tensione che vengono utilizzati devono avere una buona tolleranza ed un'alta stabilità, caratteristiche difficili da ottenere e costose;
- 3) Dato che il fattore Q del circuito deve essere alto l'ampiezza del segnale di ritorno sarà in proporzione piccola complicando il recupero del segnale attraverso il circuito del reader.

4.4 Read range di un sistema RFID

Il range di lettura, per un'applicazione RFID, è definito come la massima distanza alla quale reader e tag possono ancora comunicare tra loro. La distanza di lettura di una tipica applicazione RFID passiva va da pochi centimetri fino a circa 1 metro, a seconda della configurazione del sistema RFID.

La distanza di lettura di un dispositivo di identificazione a radiofrequenza è solitamente influenzata dai seguenti parametri:

1. frequenza operativa e performance dell'antenna a spira;
2. fattore di qualità Q e sintonizzazione del circuito;
3. orientamento dell'antenna;
4. corrente e tensione di eccitamento;
5. sensitivity del sistema ricevente;
6. algoritmi di modulazione e demodulazione;
7. numero di bits e algoritmi di interpretazione;
8. condizioni operative dell'ambiente (metallo, rumore elettrico, etc.).

Per una data frequenza operativa, le prime tre delle precedenti condizioni sono relative all'antenna e al circuito di sintonizzazione. Le condizioni 4 e 5 sono determinate dalla topologia del circuito del reader. La condizione numero 6 è chiamata di protocollo di comunicazione del dispositivo.

Assumendo il dispositivo operante sotto una data condizione, il range di lettura del dispositivo è largamente influenzato dalla performance dell'antenna a spira. E' sempre vero che un ampio range di lettura presuppone una grande dimensione dell'antenna. Infatti all'aumentare della dimensione del tag aumenta la distanza di lettura sia per applicazioni di prossimità che per applicazioni in campo lontano.

5 Le applicazioni

Le applicazioni che utilizzano la tecnologia RFID stanno aumentando considerevolmente ogni anno che passa coprendo ogni settore del mercato. Uno studio ufficiale, eseguito dall'Osservatorio RFID della *School of Management* del Politecnico di Milano, ha rilevato che in Giugno 2007 erano 835 le applicazioni utilizzando la tecnologia di identificazione a radiofrequenza. In questo conteggio sono state considerate le applicazioni o i progetti di applicazione, indipendentemente dal loro stato di avanzamento.

Negli ultimi tre anni la crescita di queste applicazioni è stata superiore all'80%.

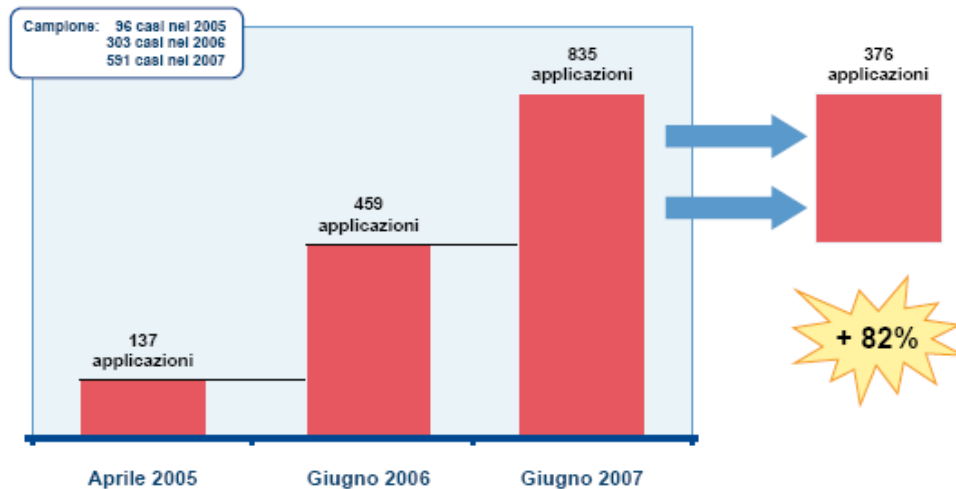


Figura 5-1 - La dinamica delle applicazioni (Rapporto Osservatorio RFID 2007)

Delle 835 applicazioni rilevate dall'Osservatorio, nell'anno 2007, oltre 300 sono già esecutive ed altre 145 sono in fase di concreta sperimentazione (progetti pilota o test tecnologici). Le rimanenti 400 circa sono ancora in una fase di studio della fattibilità.

E' importante sottolineare che nell'arco di un solo anno il numero delle applicazioni esecutive si è raddoppiato passando da 136 (nel Giugno 2006) a 303 (nel Giugno 2007).

L'Osservatorio ha anche studiato le applicazioni con maggior grado di avanzamento. Ai primi quattro posti ci sono i settori dei servizi (education ed entertainment, trasporto persone, pubblica amministrazione e sanità) che rappresentano più del 60% (su un campione di 350 casi) della totalità (Figura 3.3). La sanità rappresenta l'8% della totalità.

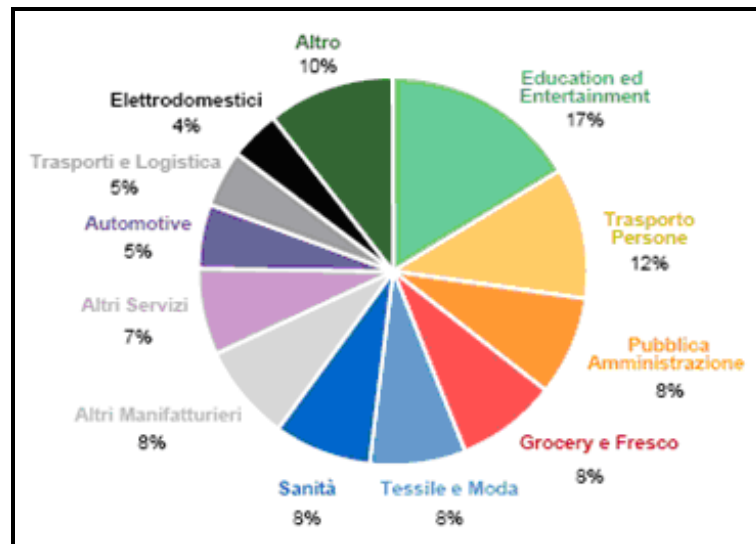


Figura 5-2 - La suddivisione delle applicazioni per settore

E' interessante anche analizzare la ripartizione per settore condotta però separatamente sulle applicazioni esecutive, sui progetti pilota e sui progetti in fase di test tecnologico. La maggior parte delle applicazioni nell'education ed entertainment, nel trasporto persone e nella pubblica amministrazione sono già esecutive, mentre le applicazioni nella sanità aumentano nei progetti pilota. Infatti la sanità rappresenta il 7% delle applicazioni esecutive ed il 15% dei progetti pilota. Inoltre si vede come l'interesse sia passato dai settori manifatturieri a quelli dei servizi.

Da questa visione d'insieme sulle applicazioni della tecnologia RFID si riscontra una loro diffusione in quasi tutti gli ambiti applicativi e praticamente in ogni settore dell'attività economica a dimostrazione della versatilità di questa tecnologia.

5.1 Le applicazioni in ambito industriale

Le applicazioni della tecnologia di identificazione a radiofrequenza in ambito industriale abbracciano praticamente tutti i settori del mercato, ma quelli di maggior interesse sono i seguenti:

- trasporto pubblico locale;
- pubblica amministrazione;
- educazione ed intrattenimento;
- trasporto merci;
- gestione dei pagamenti;
- largo consumo;
- lusso e moda;
- settore alimentare;
- logistica interna;

5.1.1 Trasporto pubblico locale

Nel trasporto pubblico locale l'applicazione fondamentale è il biglietto elettronico già utilizzato in Italia in alcune città mentre è molto diffuso all'estero. Vengono utilizzati degli identificatori a radiofrequenza nominali in sostituzione degli abbonamenti e dei supporti cartacei o magnetici per la corsa semplice.

In Italia sono in sperimentazione anche applicazioni di supporto operations come la tracciabilità dei vagoni delle linee della metropolitana e l'identificazione e la localizzazione dei mezzi nei depositi. La finalità di questa applicazione della tecnologia RFID è quella di facilitare l'ordine di uscita dei veicoli e di aiutare la gestione delle attività di manutenzione.

5.1.2 Pubblica amministrazione

Nella pubblica amministrazione le applicazioni principali sono l'identificazione dei cittadini tramite il passaporto elettronico e la Carta Nazionale dei Servizi (CNS).

La Carta Nazionale dei Servizi non è un documento di riconoscimento a vista, non contiene la fotografia e gli elementi di sicurezza previsti per la carta d'identità. Essa contiene i dati identificativi della persona, il codice fiscale e il certificato di autenticità che ne consente, insieme al PIN, l'autenticazione in rete. Inoltre può contenere la firma digitale e può essere utilizzata per i pagamenti on line.

Altri ambiti applicativi nella pubblica amministrazione possono riguardare la gestione dei beni di valore e la gestione della documentazione.

La gestione della documentazione risulta essenziale nei casi in cui il supporto cartaceo è ineliminabile.

5.1.3 Educazione ed intrattenimento

Nel settore dell'educazione e dell'intrattenimento le applicazioni RFID sono molteplici e riguardano la gestione di pagamenti (nei villaggi turistici, nelle strutture alberghiere, nei cinema e nelle discoteche), il supporto alle operations in ambito museale, il ticketing nelle stazioni sciistiche, l'accesso a stadi ed impianti sportivi e l'utilizzo di braccialetti RFID in luoghi di divertimento.

5.1.4 Trasporto merci

I sistemi utilizzando la tecnologia RFID nel settore del trasporto merci sono quelle legate all'identificazione di container, casse mobili ed altre unità di trasporto, quelle legate all'identificazione automatica dei mezzi di trasporto su strada o in ambito ferroviario o portuale.

L'identificazione di container, casse mobili ed altre unità di trasporto, in particolare nei porti, ha il fine di controllare l'accesso del personale, dei mezzi di trasporto su gomma e dei relativi conducenti all'interno del porto.

Gli obiettivi sono un incremento della produttività accompagnato da una diminuzione degli errori di imbarco con conseguente miglioramento del servizio al cliente.

Nell'ambito dell'identificazione automatica dei mezzi di trasporto su strada lo scopo è quello di identificare univocamente il mezzo di trasporto ed il suo carico.

Nella piccola distribuzione la tecnologia RFID ha lo scopo di identificare automaticamente i veicoli e la merce durante il carico con una conseguente riduzione degli errori di spedizione e un risparmio dei costi di gestione ed un aumento della soddisfazione del cliente.

Soluzioni RFID sono anche adottate per la piccola distribuzione da parte di operatori postali e corrieri espresso.

5.1.5 Gestione dei pagamenti

Nella gestione dei pagamenti il fine della tecnologia RFID è quello di sostituire l'usuale carta a contatto per pagamenti con una nuova carta di credito contactless. La nuova carta ha sicuramente un tempo di utilizzo più rapido e permette il pagamento senza la necessità di apporre la firma di transazione.

Sempre in questo ambito, un'applicazione positiva e in vigore anche in Italia è l'utilizzo della tecnologia RFID per il pagamento del pedaggio autostradale con sistema Telepass.

5.1.6 Largo consumo

Con il termine largo consumo indichiamo tutte quelle applicazioni che coinvolgono i grandi ed i piccoli fornitori ed i produttori. In queste applicazioni la tecnologia RFID è utilizzata per avere informazioni sui prodotti.

Oppure nel settore largo consumo rientrano anche quei sistemi RFID che supportano la lavorazione della carne o la catena di produzione di altri prodotti di tipo alimentare e non. L'utilizzo di RFID permette l'identificazione delle carni e consente di conoscerne la provenienza.

5.1.7 Lusso e moda

L'Italia nel settore lusso e moda è molto coinvolta soprattutto per quello che riguarda lo svolgimento delle attività di tipo logistico, l'anticontraffazione dei prodotti e l'interazione tra consumatore e punto vendita. Il settore in primo piano per questa applicazione della tecnologia RFID è sicuramente il tessile ma in questi ultimi anni la sperimentazione si sta spostando verso altri settori come calzature, profumeria e cosmetica.

Questa tecnologia è utilizzata anche come supporto alla logistica con il fine di automatizzare la spedizione e la ricezione delle merci. Per esempio la possibilità di leggere tag posti su capi di abbigliamento od oggetti posizionati all'interno di colli può notevolmente velocizzare alcune operazioni, come la verifica del contenuto, quotidianamente svolte dal personale addetto.

Nuove applicazioni sono nate negli ultimi anni tra cui quella dell'interazione tra consumatore e punto vendita il quale può tenere traccia degli acquisti dei singoli clienti ed eventualmente ulteriori informazioni che potrebbero risultare utili.

5.1.8 Settore alimentare

Anche nel settore alimentare le applicazioni della tecnologia di identificazione a radiofrequenza riguardano soprattutto la tracciabilità e l'anticontraffazione. Il tag è utilizzato per l'identificazione univoca del prodotto e per ricostruire il suo percorso durante le varie fasi della produzione. Sono due i settori alimentari che utilizzano questo sistema e sono quello degli animali da allevamento e quello agricolo.

L'identificazione univoca e la tracciabilità degli animali da allevamento è un settore caratterizzato da numerose applicazioni esecutive grazie ai benefici ottenibili.

In campo equino l'utilizzo di transponder era già diffuso in ambito sportivo ed ora è stato reso obbligatorio per tutti i capi.

In campo agricolo la tecnologia RFID è utilizzata per la tracciabilità alimentare e per la garanzia di origine dei prodotti.

5.1.9 Logistica interna

Nell'ultimo anno sono aumentate le applicazioni degli RFID a sostegno della logistica interna sia con tag riutilizzabili sia con tag fissi per l'identificazione dei prodotti ad elevato valore. Ne sono due esempi il controllo della movimentazione interna e la gestione dei magazzini.

5.2 Le applicazioni in ambito sanitario

La sanità è un settore che ha particolare interesse per applicazioni basate sulla tecnologia RFID.

Le applicazioni nel settore riguardano un'ampia eterogeneità di ambiti esplorati. Alla gestione del rischio clinico è rivolta la primaria attenzione del settore in quanto l'utilizzo di questa tecnologia può dare un forte contributo nella prevenzione degli errori.

Si trova evidenza di questo nell'elevato numero di applicazioni in studio finalizzate all'identificazione del paziente, quali per esempio:

- l'accesso ai dati presenti sulla cartella clinica o comunque direttamente legati al paziente e alla sua condizione clinica;
- il monitoraggio del percorso clinico del paziente in pronto soccorso.

Le applicazioni di gestione delle apparecchiature elettromedicali, soprattutto portatili, sono ad oggi soffocate dai progetti finalizzati al monitoraggio del percorso di cura dei pazienti perché contribuiscono maggiormente alla giustificazione dell'investimento.

All'estero invece, parlando di gestione delle apparecchiature elettromedicali portatili, vi è già un buon numero di applicazioni che supportano la localizzazione, la tracciabilità e la gestione inventariale di un'ampia gamma di elettromedicali.

Il limite nelle applicazioni della tecnologia RFID in ambito sanitario è riconducibile alla limitata estensione funzionale delle applicazioni ed all'elevata specificità delle applicazioni stesse.

5.2.1 Identificazione mamma-neonato

L'ospedale V. Buzzi di Milano, dove avvengono circa 4000 parti l'anno, ha deciso dal luglio 2006 di adottare braccialetti RFid che associano in modo univoco ogni neonato alla donna che lo ha dato alla luce, e insieme permettono di controllare che il bambino non venga portato fuori dall'ospedale da altre persone. Oltre alla corretta identificazione tra madri e neonati questa soluzione consente di individuare senza errore le rispettive cartelle cliniche nell'ambito della degenza ospedaliera post-parto.

Sia le madri che i neonati vengono dotati di braccialetti RFid HF, per consentire la corretta associazione ogni qualvolta il bambino viene consegnato alla madre durante il periodo di degenza.

Il progetto è stato poi esteso nel 2007 con l'utilizzo di questa tecnologia nella gestione delle sacche parenterali e dei farmaci galenici di cui necessitano i neonati patologici, con lo scopo di garantirne la corretta associazione.

Il progetto è stato presentato e portato a termine perché erano stati evidenziati dei rischi nell'identificazione certa del paziente e nella prescrizione, preparazione e somministrazione dei farmaci al neonato. Il sistema prevede che le prescrizioni dei farmaci vengano memorizzati sui braccialetti RFid di cui sono dotati i neonati alla nascita. In farmacia arrivano le prescrizioni informatizzate e come conseguenza vengono apposte etichette RFid sulle sacche, sulle buste o sui medicinali che hanno l'identificativo del neonato a cui si riferiscono. Gli infermieri utilizzano un palmare per controllare la corretta associazione con il neonato e registrano l'avvenuta somministrazione.

Sono evidenti i vantaggi che l'utilizzo della tecnologia RFid ha portato nell'ospedale perché si è ridotto il livello di rischio di tutte le fasi sopra descritte e perché in questo modo c'è la possibilità di tenere traccia sicura di tutte le attività svolte con il neonato. Un'analisi del rischio effettuata dall'ospedale mette in risalto una possibilità del 4% di errore nell'identificazione del neonato prima dell'introduzione del sistema.

5.2.2 Logistica e gestione del farmaco

All'interno della struttura ospedaliera San Raffaele del Monte Tabor, di Milano, la tecnologia RFid è stata utilizzata, all'interno dei reparti, per informatizzare l'intero ciclo di gestione del farmaco.

Gli operatori di questo ospedale sono in grado di verificare se la somministrazione che stanno per effettuare è corretta grazie a un lettore che legge il codice apposto sul braccialetto identificativo del paziente.

L'applicazione è supportata dall'utilizzo di un PC portatile utilizzato dal medico che può così comunicare direttamente con la farmacia e verificare se ci sono delle incongruenze nella definizione della terapia. La soluzione ottimale sarebbe quella in cui i farmaci venissero dotati di etichettatura RFid direttamente dalla casa produttrice.

Questa applicazione prevede l'utilizzo di un "carrello intelligente", di antenne agli armadietti di reparto e di connessioni wireless per trasmettere i dati al PC portatile che si trova nel carrello.

Studi effettuati dall'Istituto hanno dimostrato una notevole diminuzione del rischio di errore umano.

Come appena detto, la tecnologia RFid aiuterebbe la gestione del farmaco anche all'interno della farmacia dell'ospedale tenendo traccia di tutti i farmaci in ingresso e in uscita. Le informazioni che è opportuno conoscere sono le movimentazioni in ingresso e in uscita delle confezioni di medicinale, il codice identificativo della confezione, il numero progressivo della singola confezione, l'identificativo del mittente e del destinatario, l'identificativo del tipo di movimentazione, il lotto di produzione e la data di scadenza, il prezzo di aggiudicazione delle forniture dei medicinali e tutte quelle altre informazioni utili all'identificazione della singola trasmissione alla banca dati centrale.

5.2.3 Localizzazione paziente all'interno dell'area del Pronto Soccorso

All'ospedale Macchi di Varese l'identificazione a radiofrequenza è utilizzata per la localizzazione del paziente all'interno dell'area di Pronto Soccorso ed in alcune aree adiacenti come Radiologia, Emodinamica e Neuroradiologia. Ad ogni paziente viene consegnato all'accoglienza un tag attivo, che consentirà di individuare la sua posizione all'interno della struttura. Per la realizzazione di questo progetto è stato necessario un supporto logistico dato da una rete di sensori Wi-Fi/RFID distribuiti opportunamente all'interno della struttura sanitaria. Anche i pazienti in sala d'attesa possono seguire gli spostamenti dei loro congiunti all'interno dell'area mediante monitor opportunamente collocati.

Inoltre il corredo che accompagna il paziente (documentazione sanitaria, respiratori, pompe di infusione e monitor) passano di mano in mano a diverse equipe e in diversi reparti con possibilità di ritardi, dispersione e perdite. La necessità di un veloce recupero degli strumenti e degli asset è quanto più critica e decisiva quando si verificano emergenze mediche o necessità specifiche.

L'applicazione di un tag passivo a questa categoria di oggetti consente di monitorare e ricostruire nel tempo quando e dove escono dall'area controllata attraverso appositi gate, costituiti dai reader RFID, limitando o rendendo più difficili i furti di apparecchiature.

5.2.4 Un tag come misuratore di glicemia

In America è in via di realizzazione un tag che, una volta impiantato, mantenga costantemente sotto controllo la percentuale di glucosio nel sangue dei pazienti diabetici.

La maggior parte di coloro che sono affetti da questa patologia hanno la necessità di effettuare frequentemente il controllo della glicemia, ovvero la percentuale della presenza del glucosio all'interno del sangue. Questa operazione, sebbene negli anni sia diventata sempre più rapida e gestibile in totale autonomia, è ancora discretamente invasiva. Infatti per realizzarla è necessario farsi una piccola puntura su una delle dita,

prelevare una goccia di sangue con un strisciolina codificata e inserirla all'interno di un apparecchio portatile, che la analizza e comunica i risultati. Certamente un'abitudine non piacevole per chi è costretto a farlo molto di frequente, oltre al fatto che i risultati, influenzati da possibili fattori ambientali ed errori nella procedura, rischiano di non essere perfettamente accurati.

Per superare questa situazione è in studio una soluzione totalmente basata sulla tecnologia RFID che consenta un agevole controllo del livello di glucosio. Il progetto prevede l'impiego di un bio-sensore dotato di un minuscolo transponder che, una volta impiantato, analizza la presenza e la quantità di zuccheri nel sangue. L'analisi effettuata non è costante e continuativa, ma viene effettuata quando necessario al momento della lettura attraverso un reader, che in seguito visualizza i risultati su un display. In questo modo è possibile pensare di utilizzare sensori autoalimentati direttamente grazie all'energia di lettura, e quindi privi di batteria.

Un'applicazione potenzialmente molto interessante, attualmente ancora in fase di studio in vista del rilascio dei primi prototipi funzionanti entro dicembre 2008, ma che dovrà molto probabilmente fare i conti con l'ostilità generalmente diffusasi nei confronti dell'utilizzo di tag all'interno del corpo umano. Ovviamente si è manifestata la necessità di test e controlli più severi ed accurati, che offrano garanzie assolute di sicurezza, sia in termini fisici che di privacy.

Ricordiamo che in Italia impiantare chip sottopelle è vietato, può essere consentito solo in casi del tutto eccezionali legati allo stato di salute dell'individuo.

5.3 Analisi costi e benefici

Vi sono alcuni settori del mercato in cui l'effettivo nell'utilizzo nelle applicazioni della tecnologia RFID è evidente e riconosciuto, come per esempio l'identificazione dei cittadini o il ticketing elettronico, ma ce ne sono molti altri, soprattutto in ambito sanitario, nei quali non è ancora chiara l'importanza e la potenzialità nell'utilizzo di questa tecnologia.

I benefici che seguono dall'utilizzo della tecnologia RFID possono essere suddivisi in tangibili ed intangibili indipendentemente dal campo di applicazione. Quelli tangibili sono riconducibili ad un incremento di efficacia o di efficienza mentre di quelli intangibili è più difficile la stima dell'impatto economico-finanziario.

I benefici tangibili relativi all'efficienza possono venire suddivisi in due categorie principali quali l'aumento della produttività e l'aumento della qualità interna. Entrambe concorrono ad una riduzione dei costi a parità di volume e ad un incremento dei ricavi.

I benefici tangibili relativi all'efficacia possono, anch'essi, venire suddivisi in due categorie principali quali l'aumento della qualità esterna o della tempestività. Entrambe concorrono ad un incremento dei ricavi perché incrementano i volumi e ad un potenziamento dei margini in quanto è possibile applicare un prezzo superiore.

Infine, i benefici intangibili sono quelli che portano ad un miglioramento dell'immagine, ad un aumento della soddisfazione dei clienti, ad una più piena conformità ai vincoli di legge e ad un ampliamento delle informazioni di mercato con conseguente accrescimento della capacità di pianificazione, controllo e flessibilità delle varie attività.

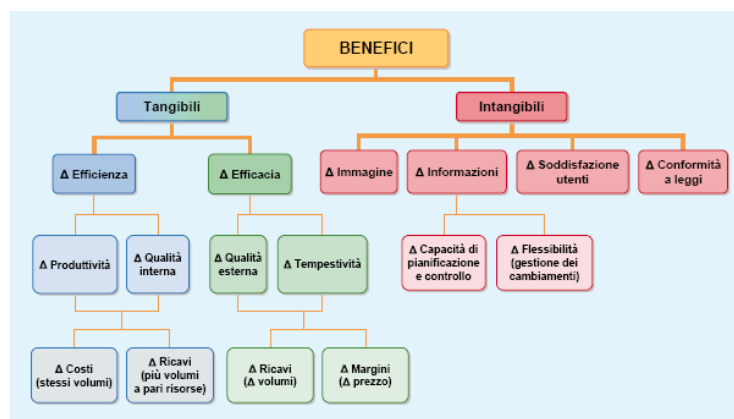


Figura 5-3 - L'albero dei valori (Rapporto Osservatorio RFID 2007)

A seconda delle disponibilità economiche in possesso si possono scegliere diverse soluzioni software ed hardware. All'interno dell'HW stesso le possibilità di scelta sono molteplici potendo essere utilizzati tag, reader e antenne diversificate nelle spese richieste per il loro acquisto.

Dell'intero progetto che utilizza la tecnologia RFID il costo dell'HW può anche risultare la parte meno significativa soprattutto se l'applicazione è in scala limitata ed il tag non sia a perdere. In questa situazione il costo della tecnologia è sicuramente inferiore ai costi per le attività di consulenza sui processi ed il loro ridisegno, l'integrazione dei dispositivi sul campo, lo sviluppo e l'integrazione con i SW applicativi. In definitiva il costo puro della tecnologia è rilevante in quelle applicazioni passive con tag a perdere su larga scala.

Il costo del reader e dell'antenna non è quasi mai un fattore fortemente influenzante il costo per due motivi principali. Il primo è dato dal fatto che il costo è ammortizzabile in alcuni anni, mentre il costo del tag a perdere è ricorrente e periodico. Il secondo motivo è che il costo totale dei tag è almeno un ordine di grandezza superiore a quello dei reader e delle antenne.

Una soluzione per ottenere una diminuzione dei costi è quella di utilizzare HW di lettura più sofisticato e, quindi, con costo maggiore e tag meno performanti, ottimizzando così il costo complessivo dell'applicazione.

Ovviamente come qualsiasi altro prodotto il costo dell'hardware e del software cresce all'aumentare delle prestazioni tecniche richieste. Per quello che riguarda l'HW e in particolare i tag si possono avere sconti anche significativi per un alto volume di acquisto.

Due sono le strategie principali di mercato che possono essere utilizzate per abbattere i costi. La prima consiste nell'utilizzare la tecnologia RFID su larga scala in modo da ottenere elevati volumi produttivi mentre la seconda consiste nell'utilizzo di nuovi processi di produzione.

Per la tecnologia UHF è quasi certa una diminuzione dei costi visto che il volume dei tag prodotti non è elevato e che i processi produttivi sono ancora in fase di sviluppo.

Invece, per la tecnologia HF probabilmente non ci saranno notevoli riduzioni dei costi in quanto questa tecnologia è già utilizzata su larga scala e ha un buon processo di produzione sia da un punto di vista della velocità sia del grado di automazione.

6 Progetti svolti presso il Servizio di Ingegneria Medica del Policlinico Tor Vergata

Il presente capitolo è volto a descrivere l'attività di ricerca e sviluppo effettuata in collaborazione con il Servizio di Ingegneria Medica (SIM) del Policlinico Tor Vergata Roma.

A partire dall'anno 2002, il Policlinico Tor Vergata ha istituito un Servizio di Ingegneria Medica (SIM), con l'obiettivo di assicurare un impiego sicuro, efficace, efficiente ed economico di tutta la strumentazione e le attrezzature biomedicali in uso.

Le attività svolte dal Servizio di Ingegneria Medica sono:

- la gestione della manutenzione programmata, correttiva e straordinaria di tutto il parco tecnologico del PTV, in accordo con le norme cogenti e volontarie;
- la valutazione tecnica dei dispositivi medici da acquisire, la loro successiva installazione e l'esecuzione del collaudo;
- la consulenza tecnica alla Direzione, in relazione alla gestione delle apparecchiature elettromedicali;
- l'elaborazione di soluzioni ingegneristiche appropriate alla soluzione di problemi clinici e gestionali;
- attività di ricerca ed elaborazione di soluzioni ingegneristiche appropriate alla soluzione di problemi clinici e gestionali, rilevati sul campo o segnalati dal personale operatore.

Nell'ambito della suddetta attività di ricerca, si inquadrano i progetti di ricerca svolti nell'ambito dell'applicazione della tecnologia RFID in ambito sanitario durante il triennio di dottorato.

Nei paragrafi successivi verranno analizzati in dettaglio i seguenti progetti sperimentali, gestiti durante il triennio di dottorato:

- Sistema di supporto alla gestione della filiera trasfusionale
- Sistema di tracciabilità delle garze laparotomiche
- Sistema di supporto alla gestione della manutenzione degli elettromedicali

Per i tre progetti, l'attività svolta, oltre alla ricerca documentale oggetto dei precedenti capitoli, ha compreso:

- Analisi della problematica clinica;
- Studio di fattibilità e determinazione delle specifiche di progetto;
- Reperimento di un sistema RFid adatto alle specifiche del progetto, compatibilmente con le risorse economiche disponibili;
- Esecuzione delle prove sperimentali necessarie alla validazione del sistema;
- Analisi dei risultati ottenuti tramite le prove sperimentali;
- Riesame della progettazione per ottimizzare i risultati ottenuti.

6.1.1 Sistema di supporto alla gestione della filiera trasfusionale

Nell'ambito della gestione del rischio clinico uno dei temi più scottanti è senz'altro quello relativo alle trasfusioni sanguigne. La delicatezza di tale processo, la complessità dei fattori in gioco e l'elevatissimo rischio di decesso in caso di trasfusione non compatibile rendono la trasfusione uno dei momenti più a rischio all'interno dell'insieme dei processi ospedalieri.

Il rischio connesso alla gestione della filiera trasfusionale, è di duplice natura: da un lato il rischio infettivo (a titolo esemplificativo, il rischio di contrarre il virus HIV con una trasfusione, in Italia, è di 1 su 500.000 sacche), dall'altro il rischio di reazione immunitaria di tipo ABO, conseguente all'infusione di emoderivati non compatibili con il gruppo sanguigno del ricevente.

Dai sistemi di emovigilanza attivi in alcuni paesi emerge che le reazioni avverse dovute ad errori trasfusionali rappresentano circa il 70% di tutti gli eventi avversi e, tra queste, circa il 20% sono reazioni trasfusionali da incompatibilità ABO.

L'assenza o la mancata applicazione di procedure specifiche rappresenta un importante fattore di rischio che può determinare il verificarsi dell'evento durante una delle diverse fasi del processo trasfusionale.

Da una attenta considerazione, si rileva che spesso un errore è l'insieme di tanti errori: di un insieme di tante fortuite coincidenze senza che alcun "filtro" sia riuscito ad intercettare uno dei tanti errori. Molto spesso, in questi casi di errore, si realizza che il controllo al letto del malato ha fallito l'intercettazione dell'anomalia.

Altro dato importante è che il 35% degli errori avvengono a livello dell'interazione diretta con il malato: l'identificazione del paziente, apparentemente banale, è invece uno degli ostacoli più difficili da superare.

Si rileva quindi che la principale criticità insita nelle procedure di controllo della filiera trasfusionale è insita nella necessità di garantire la tracciabilità di tutti i componenti.

A tal proposito si cita la legge del 21 ottobre 2005, n. 219, dove è previsto che "le regioni adottino tutte le misure atte a garantire la rintracciabilità delle unità di sangue, di

emocomponenti e dei farmaci emoderivati prodotti, che consentano di ricostruirne il percorso dal momento del prelievo fino alla destinazione finale”.

Le procedure adottata presso il Policlinico Tor Vergata di Roma, prevedono che la gestione delle sacche di emoderivati sia affidata al Servizio di Immunoematologia e Medicina Trasfusionale (SIMT).

Tale Servizio svolge i seguenti compiti:

- Raccolta del sangue mediante prelievo da donatori
- Effettuazione delle analisi di laboratorio necessarie alla caratterizzazione del sangue prelevato
- Separazione dei vari emocomponenti
- Conservazione degli stessi in condizioni controllate
- Ricezione delle richieste di fornitura di emoderivati, formulate dai reparti del PTV (prevalentemente l’Ematologia e il Blocco Operatorio)
- Verifica della compatibilità del ricevente
- Consegna della sacca di emazie o emoderivati al reparto richiedente.

Il reparto richiedente, a sua volta, è incaricato di:

- Acquisire i dati ematologici del paziente, con particolare riferimento alla caratterizzazione istologica, connessa alle reazioni immunitarie
- Valutare l’indicazione all’infusione di emazie o emoderivati
- Effettuare la richiesta cartacea al SIMT, corredata da un campione di sangue, necessario alla verifica della compatibilità
- Ricevere la sacca
- Somministrare la sacca al paziente
- Gestire eventuali reazioni avverse

L’intera procedura può essere schematizzata nella seguente figura.

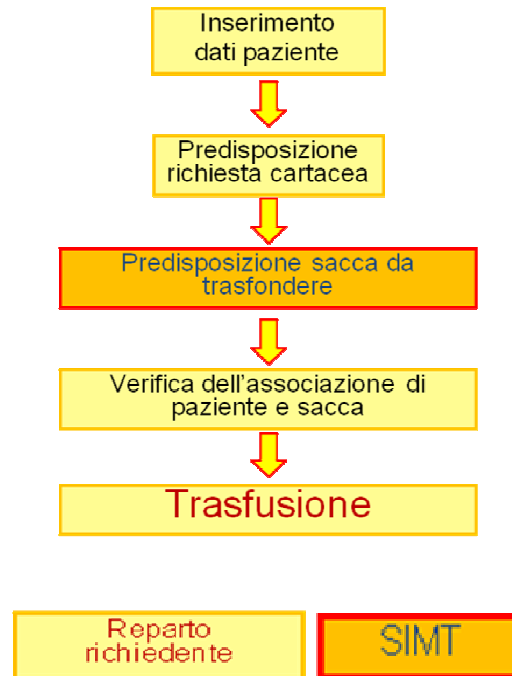


Figura 6-1 - attuale procedura di gestione della filiera trasfusionale

Tutta la procedura si basa su richieste in formato cartaceo e, ad eccezione delle verifiche di laboratorio effettuate con l'ausilio di idonea strumentazione, tutti i controlli vengono effettuati visivamente dagli operatori.

6.1.2 Finalità del progetto di ricerca

Sulla base di quanto detto, appare evidente la necessità di ottimizzare le modalità di gestione della filiera trasfusionale; l'obiettivo del presente progetto è appunto la realizzazione di un sistema di supporto delle procedure descritte mediante la tecnologia RFID.

Tale sistema ha come obiettivo supportare il personale medico e infermieristico in tutte le fasi della gestione degli emoderivati, garantendo il raggiungimento di livelli di sicurezza più elevati mediante l'identificazione a radiofrequenza.

Il sistema prevede l'identificazione e il riconoscimento tramite RFID di:

- Sacca di emoderivati
- Paziente
- Campione ematico utilizzato per verifica della compatibilità

In tutte le fasi della procedura, un sistema di gestione dei dati informatizzato supporta l'operatore effettuando l'associazione univoca paziente-richiesta-sacca e indicando tempestivamente casi di errata associazione.

6.1.3 Requisiti del sistema

Si identificano i seguenti requisiti per il sistema:

- il campo elettromagnetico utilizzato non deve costituire un rischio per il paziente o per l'operatore;
- il sistema deve essere utilizzato nel rispetto della normativa cogente e volontaria di riferimento;
- Capacità di lettura dei tag a stretto contatto con materiali acquosi (le sacche di emazie o emoderivati);
- il tag non deve in nessun modo rappresentare un rischio per l'integrità fisica della sacca;
- deve essere virtualmente impossibile il disaccoppiamento del tag dall'entità cui viene associato (paziente, tag, sacca);
- il lettore utilizzato presso il paziente deve essere di piccole dimensioni e facilmente maneggevole dall'operatore;
- i lettori devono essere configurabili in modo da garantire una distanza di lettura dell'ordine di pochi centimetri, per evitare letture di tag non desiderate.

6.1.4 Scelta del sistema RFId utilizzato per la sperimentazione

La realizzazione del sistema è stata svolta in collaborazione con la ditta 3RFid Italia.



Figura 6-2 - logo della 3RFid Italia

Visti i requisiti progettuali, si è optato per un sistema a 13,56 MHz, composto da:

- Lettori



Figura 6-3 - lettore utilizzato

- Tag paziente, all'interno di un braccialetto in cartoncino plastificato, posto sul braccio del paziente



Figura 6-4 -braccialetto con tag

- Tag da associare alla richiesta, incluso in un adesivo in cartoncino plastificato, da applicare in duplice copia, sulla richiesta in formato cartaceo e sul campione di sangue del paziente che il reparto richiedente invia al SIMT



Figura 6-5 - tag campione ematico

- Tag per la sacca di emazie o emoderivati



Figura 6-6 - tag sacca ematica

- Sistema software di gestione BTS (BTS – Blood Transfusion Safety), con due postazioni di lavoro ubicate presso il SIMT e l’Ematologia.



Figura 6-7 - schermata del software gestionale BTS

Successivamente all’accesso, con nome utente e password, l’operatore ha la possibilità di svolgere operazioni limitate in funzione del profilo personale.

A titolo esemplificativo l’infermiere di Ematologia avrà possibilità di assegnare un tag a richieste di sacche ematiche oppure a un paziente, non avrà la possibilità di assegnare tag a sacche ematiche, compito riservato al tecnico di laboratorio del SIMT; all’arrivo della sacca ematica con tag, avrà la possibilità di verificare l’effettiva associazione univoca tra tag sacca, tag richiesta e tag paziente.

Una volta associato in reparto un paziente ad un tag, e stante l'indicazione alla somministrazione di emazie o emoderivati, si associa un tag alla richiesta ed al campione ematico del paziente e si invia al SIMT. A loro volta i tre tag sono univocamente e irreversibilmente legati tra loro; il processo di scrittura non è reversibile.

Alla ricezione presso il SIMT, si procede alla verifica delle caratteristiche di istocompatibilità del paziente, quindi si predispongono la sacca da consegnare e vi si associa univocamente un tag; da questo momento in poi la terna composta da sacca, richiesta e paziente rappresenta un insieme inscindibile.

Alla consegna presso l'Ematologia, l'infermiere potrà verificare, prima della somministrazione della sacca, che la stessa è esattamente quella destinata al paziente.

La procedura di gestione della filiera trasfusionale appare quindi modificata come segue:

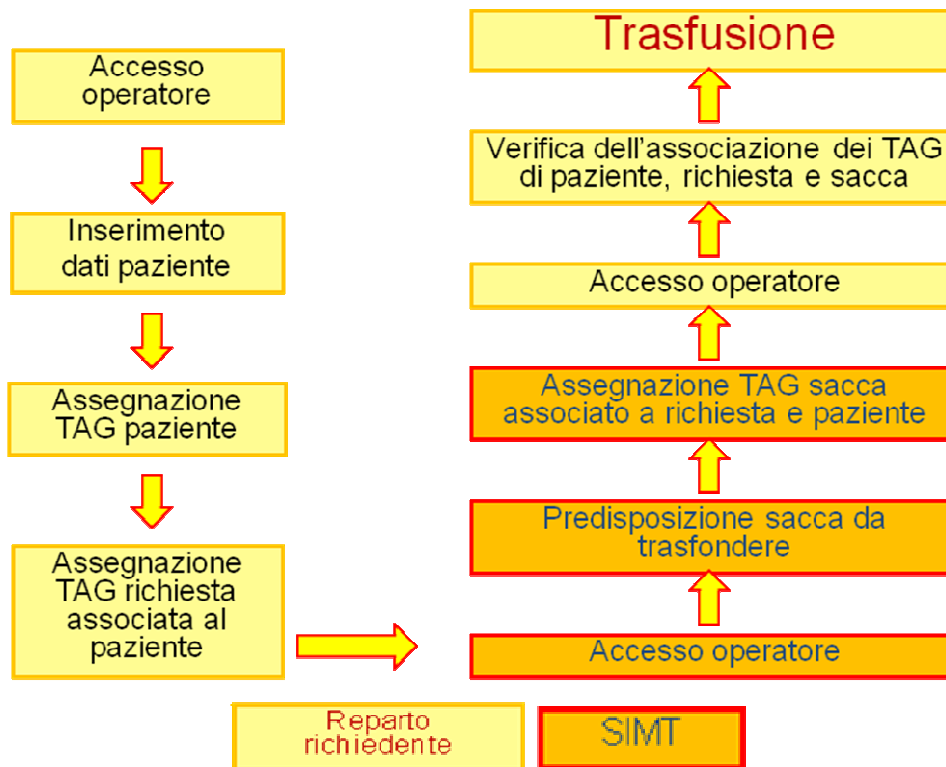


Figura 6-8 – nuova procedura di gestione della filiera trasfusionale

6.1.5 Conclusioni del progetto

Il sistema descritto è stato sperimentato per circa quattro mesi presso il SIMT e il reparto di Ematologia del Policlinico Tor Vergata.

Sono stati gestiti n.78 pazienti, per un totale di 125 somministrazioni effettuate, con il 100% di corrette associazioni.

Pur non essendo elevato il numero di pazienti trattati, sulla base dell'analisi tecnica e clinica effettuata, si è concluso, in accordo con il personale clinico, che il sistema progettato permette di migliorare i livelli di sicurezza connessi con la gestione della filiera trasfusionale, senza un eccessivo aggravio nei carichi di lavoro per gli operatori.

Si rileva che, per ottimizzare il sistema, occorrerebbe predisporre un'interfaccia di comunicazione con il software gestionale utilizzato internamente al SIMT (software con nome commerciale Haemonet) per la gestione delle sacche.

L'attività svolta è stata oggetto di un articolo presso la prestigiosa rivista "Rfid Journal".

The screenshot shows the RFID Journal website interface. At the top, there is a navigation bar with categories: Retail/CPG (Transport/Logistics), Health Care/Pharma (Defense/Aerospace), Chemical (Packaging/Labeling), and Manufacturing (Apparel & Footwear). A search bar and a 'FREE NEWSLETTER' sign-up form are also visible. The main content area features an article titled 'Four Italian Hospitals Use RFID to Share Blood and Monitor Transfusion' by Claire Swedberg, dated March 28, 2008. The article text describes the implementation of an RFID-based system at four Italian hospitals to track blood transfusion processes. A sidebar on the left contains a list of navigation links such as 'RFID News', 'Articles by Keyword', and 'RFID Journal Magazine'. On the right, there are 'ARTICLE TOOLS' including 'Email Article', 'Create PDF', 'Print Article', and 'Digg This', along with a 'Understanding RFID' section.

Figura 6-9 - ritaglio articolo Rfid journal sulla sperimentazione effettuata

6.2 Progettazione di un sistema per conteggio ed identificazione di garze laparotomiche

Nell'ambito della collaborazione con il Servizio di Ingegneria Medica del PTV, è stato svolta la progettazione di un sistema per il conteggio e l'identificazione di garze laparotomiche.

Il progetto di ricerca nasce sulla spinta della forte esigenza dimostrata dal settore sanitario di tenere sotto controllo il percorso delle garze e di altri supporti in tessuto durante tutte le operazioni chirurgiche.

L'attuale gestione delle garze laparotomiche (dal greco *lapara*, ventre e *tome*, incisione), prevede la conta delle stesse prima e dopo un intervento chirurgico. Il conteggio iniziale è rapido in quanto le garze si trovano in confezioni sigillate e sterili riportanti in numero di elementi contenuto; per quello che riguarda il conteggio finale, lo staff di sala operatoria è costretto ad effettuare più volte dei conteggi incrociati sulle garze utilizzate e su quelle rimosse dal paziente. Se la somma delle garze utilizzate e di quelle non utilizzate è pari al numero totale di garze entrate in sala operatoria, il controllo è completo.

E' bene ricordare che le garze commercializzate e utilizzate per uso chirurgico presentano un elemento radiopaco che permette la rilevazione della garza dimenticata tramite raggi X. Tuttavia questo sistema non permette una prevenzione dell'errore, ma consente solo di diagnosticare più facilmente la ritenzione di una garza, mediante esecuzione di radiografia addominale in caso di ammanco di garze dalla conta finale.

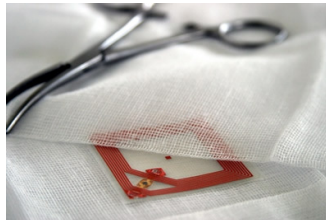


Figura 6-10 - Garza laparotomica e tag RFID

Il conteggio finale e la rimozione delle garze dalla zona operatoria è una operazione complessa, soprattutto quando la garza, a fine intervento, è intrisa di sangue e liquidi biologici e diviene poco riconoscibile rispetto agli altri tessuti che la circondano,

rendendo l'operazione di ricerca lunga e difficoltosa. Il conteggio delle garze già utilizzate presenta inoltre dei problemi di sicurezza in quanto si chiede al personale sanitario di maneggiare, se pur con la dovuta strumentazione, del materiale fortemente contaminato ponendolo quindi in una situazione di rischio e di conseguente stress.

E' capitato che garze di varie dimensioni siano state dimenticate all'interno del corpo del paziente alla fine di un'operazione chirurgica con conseguenze gravissime.

E' facile mettere in evidenza svariati benefici apportati dall'utilizzo di un tale sistema, legati a :

1. le condizioni di sicurezza del paziente;
2. le procedure di lavoro del chirurgo;
3. le condizioni di stress dello staff chirurgico.

6.2.1 Finalità del progetto di ricerca

Obiettivo del presente progetto di ricerca è la progettazione, realizzazione, sperimentazione e validazione di un sistema di supporto alla gestione delle pezze laparotomiche, basato su tecnologia RFId.

Il metodo identificato per procedere al conteggio delle garze laparotomiche prevede che un reader venga fatto passare vicino al contenitore con le garze contenenti il tag, consentendo un conteggio del numero totale di garze all'entrata della sala operatoria e che alla fine dell'operazione il reader venga fatto passare vicino al contenitore con le garze utilizzate e vicino quello con le garze non utilizzate. Nel caso in cui ci sia una discrepanza nel controllo fatto sul numero di garze, verrà utilizzato il reader per ricercare la zona del corpo del paziente in cui la garza laparotomia è stata dimenticata.

Il sistema RFID ideale dovrebbe garantire le seguenti funzionalità:

- conta delle garze laparotomiche all’inizio e alla fine di un intervento chirurgico;
- individuazione della posizione approssimativa della garza accidentalmente dimenticata all’interno del corpo del paziente operato. La localizzazione delle garze è naturalmente finalizzata alla rimozione di tali dispositivi, talvolta di difficile individuazione visiva, in modo molto più semplice e meno invasiva per il paziente in quanto la loro posizione è manifesta al chirurgo.

6.2.2 Requisiti del sistema

Sulla base di quanto detto, sono stati definiti i seguenti requisiti di progetto:

- il campo elettromagnetico utilizzato non deve costituire un rischio per il paziente o per l’operatore;
- il sistema deve essere utilizzato nel rispetto della normativa cogente e volontaria di riferimento;
- il sistema deve consentire la conta delle garze utilizzate e non utilizzate nell’intervento, con distanza di lettura minima dell’ordine dei centimetri;
- deve essere possibile contare garze imbevute di liquidi fisiologici e a distanza di pochi millimetri tra loro; la percentuale di falsi positivi o falsi negativi nella conta deve essere molto inferiore all’attuale incidenza di incidenti legati alla gestione delle garze;
- La conta deve consentire un risparmio dei tempi in sala operatoria;

Ipotizzando di utilizzare il sistema anche nell’identificazione di eventuali garze all’interno del corpo del paziente, devono essere aggiunti i seguenti requisiti:

- l’identificazione e conta delle garze deve avvenire anche con interposizione di tessuto biologico;
- la distanza di lettura minima deve essere di 20-30 cm, per garantire l’identificazione all’interno del torace e dell’addome del paziente.

Sulla base dell’analisi svolta, analizzata nei capitoli 3 e 4, tenendo conto delle caratteristiche delle diverse tipologie di tecnologia RFID, dei riferimenti normativi, della

suscettibilità ai metalli e ai fluidi biologici, nei seguenti paragrafi verranno analizzati i componenti ritenuti più idonei per lo sviluppo del progetto.

6.2.2.1 La frequenza di lavoro

La scelta della frequenza di lavoro del tag è un elemento molto importante in un'applicazione RFID perché da essa dipendono molte caratteristiche del sistema come la distanza di lettura, la velocità di trasferimento dei dati, il numero dei tag leggibili simultaneamente dal lettore.

In generale con l'aumentare della frequenza di lavoro:

- a. Aumentano la distanza di lettura, la velocità di trasferimento dei dati ed il numero di possibili letture simultanee;
- b. Diminuiscono i costi di produzione e la grandezza fisica del tag.
- c. Aumenta la suscettibilità alla presenza di liquidi, che tendono ad assorbire le onde radio;
- d. Aumenta la suscettibilità alla presenza di metalli, che tendono a deviare le onde elettromagnetiche ad alte frequenze.

Nella Tab. seguente vengono sinteticamente riportate le conclusioni descritte nei Cap.3-4 in relazione all'utilizzo delle diverse frequenze di lavoro.

| BANDA DI FREQUENZA | LF | HF | UHF | SHF |
|---|-------------|-------|-------|-------------|
| Distanza di lettura | bassi | media | alta | Molto alta |
| velocità di trasferimento dei dati e numero di possibili letture simultanee | Alta | Media | Bassa | Molto bassa |
| Capacità di lettura con metalli e liquidi | Ottima | media | nulla | nulla |
| Costi di produzione | Molto bassi | bassi | medi | alti |

Tabella 6-1 - caratteristiche sistema in funzione della frequenza di lavoro

Sulla base di tali considerazioni, sono state scartate le bande di frequenza SHF, UHF e HF; la banda LF è stata valutata la più idonea per il progetto, previa verifica di opportune distanze di lettura.

6.2.2.2 I Tag

I transponder da utilizzare per l'identificazione ed il conteggio di garze laparotomiche devono sottostare alle seguenti specifiche:

- ✓ Dimensione massima circa 30mm, dimensioni maggiori potrebbero determinare disagi o difficoltà all'operatore chirurgico durante gli interventi;
- ✓ Resistenza a temperature fino a 50°C, le garze laparotomiche vengono sterilizzate ad ETO (ossido di etilene), raggiungendo al massimo i 50°C;
- ✓ Buona resistenza meccanica, con particolare riferimento agli urti;
- ✓ Elevata resistenza agli agenti chimici e ai fluidi biologici;
- ✓ Elevata protezione dai fluidi, i tag utilizzati devono essere protetti dagli effetti dell'immersione;
- ✓ Materiale biocompatibile.

6.2.2.3 Il reader

Il reader deve soddisfare requisiti meno stringenti e specifici rispetto quelli relativi alla frequenza di utilizzo o ai tag.

E' consigliabile che siano rispettati i seguenti criteri, principalmente per comodità di utilizzo da parte dell'operatore:

- ✓ Dimensioni e peso limitati;
- ✓ Presenza di un display integrato;
- ✓ Presenza di indicatori acustici e visivi del funzionamento;
- ✓ Alimentazione interna;
- ✓ Presenza di un software di gestione dei segnali che svolga operazioni elementari di conta, somma e sottrazione al fine di produrre un output semplice e immediato per l'operatore.

6.2.3 Scelta del sistema RFID utilizzato per la sperimentazione

A questo punto è stata svolta una ricerca di mercato approfondita, anche in settori diversi da quello sanitario, per ricercare un sistema RFID compatibile con le specifiche elencate per i vari elementi costituenti il sistema, tenendo conto dei vincoli imposti dalle risorse economiche disponibili.

Sulla base dell'analisi svolta, è stato identificato come sistema compatibile con le specifiche di progetto ed attualmente utilizzato in zootecnica. Infatti le applicazioni della tecnologia RFID nel mondo zootecnico utilizzano tutte la banda di frequenza LF e tag altamente biocompatibili.



Figura 6-11 - Utilizzo zootecnico della tecnologia RFID

Il sistema scelto opera all'interno della banda di frequenza LF, alla frequenza di lavoro di 134,2 KHz.

I tag impiegati utilizzano il metodo di modulazione ASK (Amplitude Shift Keying) e possiedono una memoria di sola lettura (Read Only Memory) con 128 bits. In questi tag l'univocità del codice garantisce un elevato livello di sicurezza.

Per la sperimentazione sono stati utilizzati transponder di due dimensioni differenti: 11 mm e 22 mm.

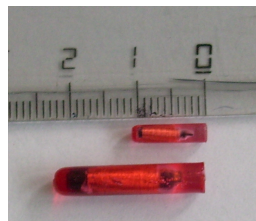


Figura 6-12 - Tag LF da 11 mm e da 22 mm

I tag LF da 11 mm hanno un diametro di 2,86 mm e pesano 0,11 g, mentre i tag LF da 22 mm hanno un diametro di 4,42 mm e pesano 0,59 g. Entrambi possono essere utilizzati a temperature estreme che vanno da -84°C a +100°C e non si evidenziano cedimenti o deterioramenti dopo esposizione a pressioni estreme.

Il tag, resistente a temperature e pressioni molto più elevate di quelle presenti nel processo di sterilizzazione, è stato inserito manualmente all'interno delle garze laparotomiche per consentire le varie fasi della sperimentazione.



Figura 6-13 - Confezione garze utilizzate per la sperimentazione

I transponder sono IP68 il che vuol dire che il tag è totalmente protetto contro le polveri e dalle proiezioni d'acqua simili ad onde e dagli effetti della sommersione.

I transponder in esame sono ottimamente difesi contro gli attacchi chimici. Infatti test sperimentali dimostrano una resistenza chimica elevata che si può tradurre in un'eccellente resistenza agli acidi, agli alcalini, agli alcol e a numerosi altri solventi. Resistono eccellentemente agli urti (IEC 68-2-29) ed alle vibrazioni (IEC 68-2-6).

Il materiale utilizzato per incapsulamento del tag è approvato dall'FDA come materiale di qualità per uso medico. Il Food and Drug Administration è l'ente governativo statunitense che si occupa della regolamentazione dei prodotti alimentari e farmaceutici.

La biocompatibilità di questi tag in materiale plastico è superiore a quella del tag in vetro mentre la distanza di lettura è la stessa.

Questi transponder sono attualmente utilizzati in applicazioni industriali ed in soluzione RFID che prevedono il loro impianto su animali da allevamento, pesci ed animali domestici.

Su questa nuova generazione di tag in plastica sono stati effettuati un gran numero di esperimenti tra cui prove biologiche in vivo necessarie in quanto alcune applicazioni RFID prevedono l'impianto di questi sotto la cute di animali.

Sono stati effettuati esperimenti e prove di validità che hanno portato ad ottimi risultati. Difatti non è stato evidenziato nessun tipo di stress fisiologico cronico nei tessuti, non si sono manifestati reazioni fisiologiche consistenti come invece è avvenuto con altre tipologie di tag, non si è verificato il rigetto del transponder impiantato ed infine non si è rilevato accumulo di metalli pesanti che ricordiamo avere potenzialità tossiche.

Relativamente al reader, questi segue gli standard ISO 11784 e 11785 ed è compatibile con tag ISO HDX e con tag ISO FDX-B. Pesa 950 g e possiede un'impugnatura stabile alle alte temperature e resistente agli impatti. Il range di temperatura all'interno del quale può operare è da +20°C a +40°C.

L'antenna è contenuta all'interno di una barra rinforzata e viene continuamente ed automaticamente sintonizzata.

La distanza di lettura varia a seconda della modalità di potenza impostata che può essere alta o bassa. In condizioni ottimali il read range dichiarato è compreso tra 350 mm e 100 mm, in funzione della modalità di lettura.

Il formato d'uscita del seriale identificativo del tag, di tipo decimale, è visibile immediatamente sul display del lettore.



Figura 6-14 - Display del reader

Il display possiede anche il Real Time Clock (RTC) indicante giorno, mese, anno ed ora.

Il lettore possiede una memoria non volatile di 99 file ciascuno con 999 letture possibili di tag.

Sull'impugnatura sono presenti leds di diversi colori. Quello verde indica il successo di lettura di un transponder mentre quello rosso/blu indica il livello di potenza ed un improvviso basso livello della batteria.

Oltre ai segnali visivi, il reader produce anche dei segnali acustici, in corrispondenza di alcune operazioni quali lettura di un tag, lettura doppia di un transponder, cancellazione di un tag oppure Power up/down.

Tutte le impostazioni del lettore possono essere modificate solo tramite il software di gestione. I dati registrati possono essere letti nella loro integrità (identificativo del tag, data e ora di registrazione) solo in questo modo. Mentre il solo identificativo relativo al semplice rilevamento del transponder è immediatamente visualizzato sul display del lettore.

Il software permette la gestione del trasferimento dei dati relativi ai tag dal lettore al PC, permette la selezione dei file da esportare e permette la cancellazione dal reader di quei dati dei quali non si ha più bisogno.

E' possibile trasferire dal lettore al software sia tutti i dati immagazzinati in tutti i file sia i dati relativi ai transponder memorizzati in uno specifico file del lettore. In entrambi i casi una volta completato l'upload tutti i dati disponibili saranno visualizzati sullo schermo.

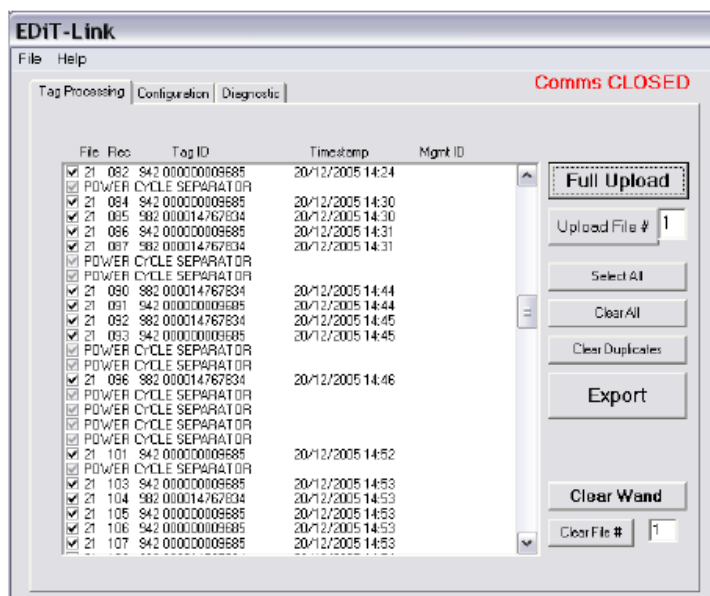


Figura 6-15 - Uploaded Tag Data

Il software permette di modificare direttamente le impostazioni del reader. La schermata di configurazione rispecchia lo stato del reader non permettendo alcun cambiamento nelle sue impostazioni se spento.

6.2.4 Prove sperimentali

Le prove sperimentali, che sono state effettuate per valutare la possibilità concreta della realizzazione di questo progetto, sono state tutte svolte a temperature e pressioni ambientali e sempre con i transponder di entrambe le dimensioni.

I test svolti possono essere raggruppati in due tipologie:

1. quelli atti a valutare l'effettiva distanza di lettura;
2. quelli aventi il fine di valutare la distanza di discriminazione tra due transponder.

Tutte le prove sono state svolte prima in aria, poi sono state ripetute con i tag immersi in soluzione fisiologica ed infine, i test per valutare la distanza di lettura, sono stati svolti con tessuto biologico in vivo interposto tra tag e reader.

Nella figura seguente sono rappresentate, in maniera generale, le condizioni sperimentali per queste prove: in rosso è raffigurato il tag, in azzurro l'antenna del reader mentre in grigio è riprodotto il tavolo sul quale sono posizionati il transponder ed il reader.

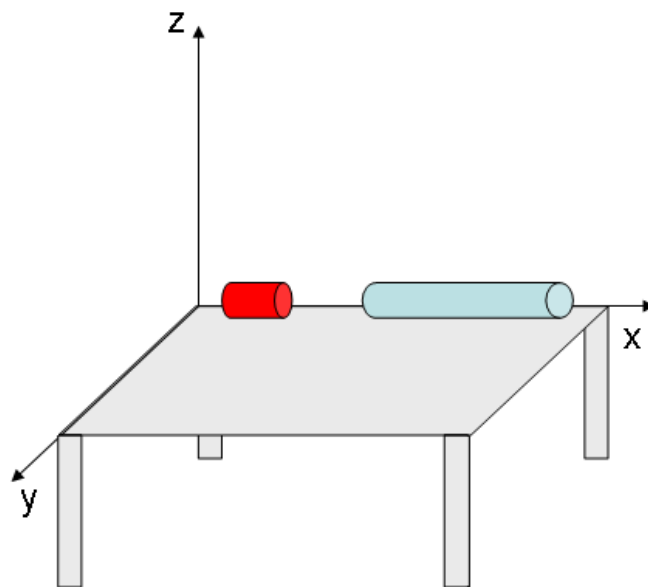


Figura 6-16 - Rappresentazione del set up di misura

6.2.4.1 Distanza di lettura

Il primo gruppo di prove ha avuto lo scopo di definire la distanza di lettura ottenibile con i transponder ed il reader in nostro possesso.

Il read range ottenuto è, senza ombra di dubbio, inferiore a quello riportato sulla scheda tecnica del tag in quanto le condizioni di utilizzo e, soprattutto, l'orientamento relativo tra reader e tag non sono quasi mai ottimali.

Il tag è stato posizionato in prossimità del lettore e di volta in volta è stato allontanato dal reader con un passo di 0,5 cm. Con questo sistema si è visto fino a che distanza il tag veniva letto.

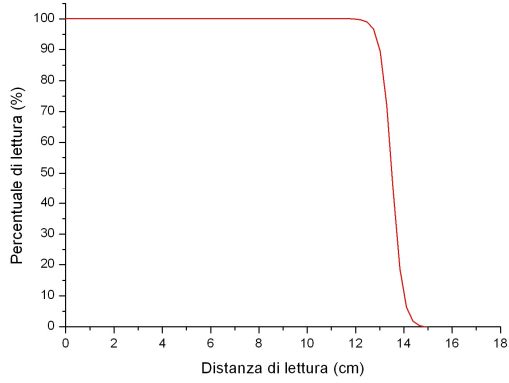
Le prove sono state svolte orientando il tag lungo gli assi principali e a 45° nei piani formati da ciascuna coppia di assi mentre il reader è stato orientato sempre lungo l'asse x. Ovviamente si è prima verificato che il tag è simmetrico relativamente alla distanza di lettura.



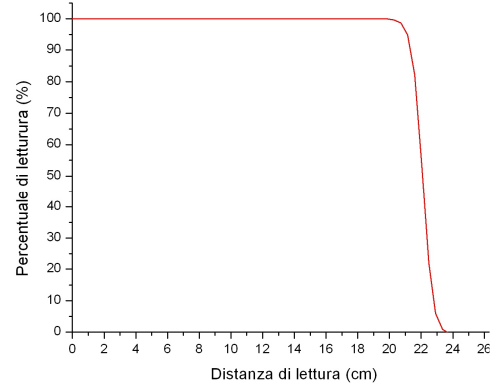
Figura 6-17 - orientamento tag

Di seguito vengono riportati graficamente i risultati ottenuti a seguito dello svolgimento delle prove in aria.

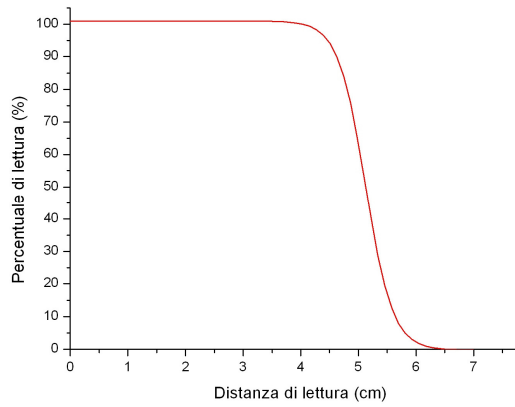
1. Tag asse x 11 mm



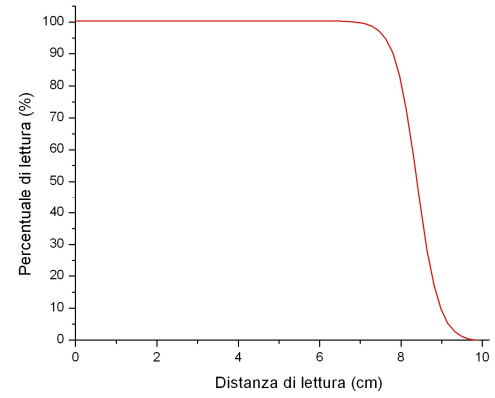
2. Tag asse x 22 mm



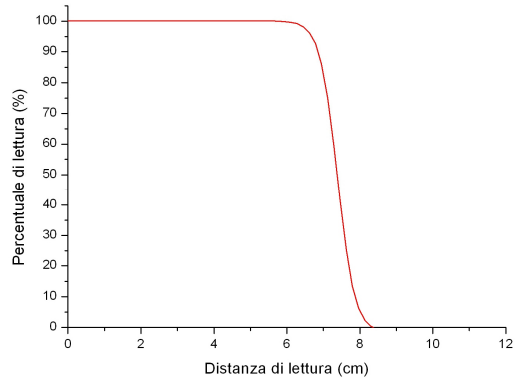
3. Tag asse y 11 mm



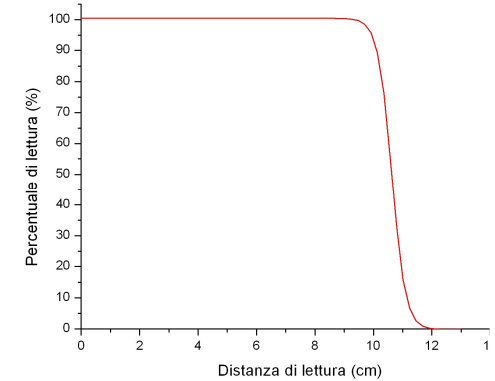
4. Tag asse y 22 mm



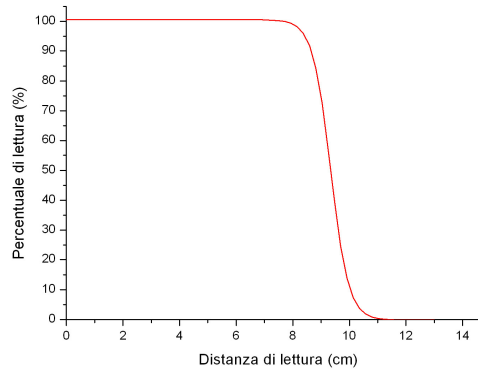
5. Tag asse z 11 mm



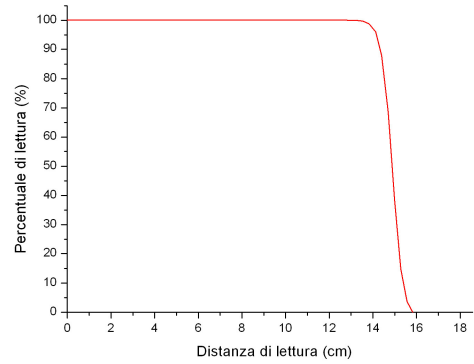
6. Tag asse z 22 mm



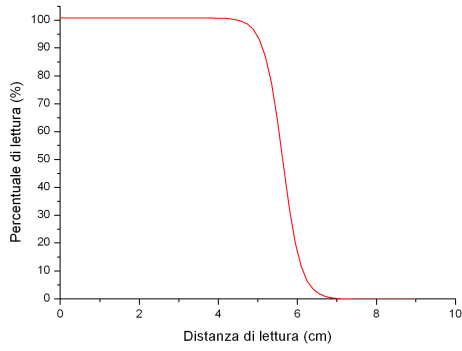
7. Tag asse xy 11 mm



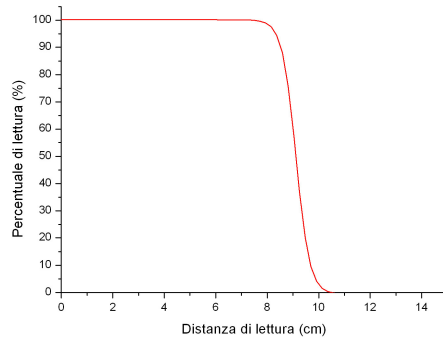
8. Tag asse xy 22 mm



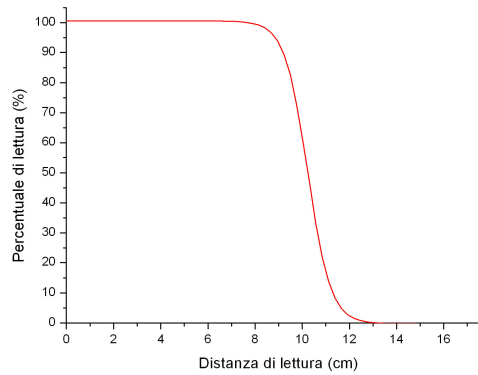
9. Tag asse yz 11 mm



10. Tag asse yz 22 mm



11. Tag asse zx 11 mm



12. Tag asse zx

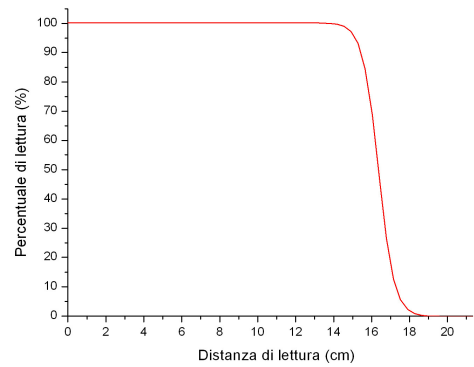


Figura 6-18 - distanze di lettura in funzione dell'orientamento

Tutte le prove riguardanti la distanza di lettura effettuate in aria, sono poi state ripetute immergendo completamente il transponder in soluzione fisiologica.

Le distanze di lettura ottenute sono state le stesse. In accordo con la teoria, la soluzione fisiologica non ha minimamente influenzato il read range.

Ricordiamo che la scelta della frequenza operativa del sistema utilizzato per la sperimentazione è stata fatta basandosi principalmente sul fatto che la capacità di lettura dei tag LF in presenza di liquidi è alta.

Infine tutte le prove, per avvicinarsi maggiormente alla realtà, sono state eseguite interponendo del tessuto umano vivo tra il lettore ed il tag.

Il risultato ottenuto è stato ottimo poiché anche in questa serie di prove la distanza di lettura non è diminuita.

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva dei risultati ottenuti dalle prove sulla distanza di lettura.

| ASSE TAG | DISTANZA DI LETTURA (CM) | |
|----------|--------------------------|-----------|
| | Tag 11 mm | Tag 22 mm |
| x | 12,5 | 21 |
| y | 4 | 7 |
| z | 6,5 | 10 |
| xy | 8 | 14 |
| xz | 8,5 | 15 |
| yz | 5 | 8 |

Tabella 6-2 - sintesi risultati distanza di lettura

Questo primo gruppo di quattro test, svolto sia sui tag da 11 mm che sui tag da 22 mm, ci ha portato risultati prevedibili a seguito della conoscenza dei principi fisici utilizzati dalla tecnologia di identificazione a radiofrequenza.

Il tag 22 mm, indipendentemente dall'asse sul quale è posizionato, ha una distanza di lettura molto maggiore rispetto a quella del tag 11 mm. Esaminando i risultati numerici ottenuti si può dire che la distanza di lettura del tag 22 mm è quasi doppia in confronto a quella ottenuta con il tag 11 mm, in accordo con il fatto che il tag 22 mm ha dimensioni doppie rispetto a quello da 11 mm.

I risultati sperimentali sono in linea con la teoria la quale dice che per non avere riduzioni sulla distanza di lettura tra tag e reader è necessario che il transponder sia collocato in maniera opportuna nella zona di polarizzazione del campo generato dal reader. L'orientamento ottimale per le spire delle antenne del tag e del reader è quello parallelo tra loro. Infatti il massimo trasferimento di energia è ottenuto con la direzione parallela dei due vettori di campo magnetico, e quindi necessariamente anche dei due vettori di campo elettrico.

Infatti nel caso in cui il tag abbia un orientamento ortogonale rispetto al campo generato dal reader la probabilità di lettura diminuisce.

In accordo con quanto appena detto, sia per il tag 11 mm che per quello 22 mm, abbiamo ottenuto la massima distanza di lettura quando il transponder ed il reader sono stati posizionati sullo stesso asse mentre si è ottenuta la distanza di lettura minima quando reader e transponder sono stati posizionati ortogonalmente l'uno rispetto all'altro.

6.2.4.2 Distanza di discriminazione

Le prove sperimentali che verranno di seguito descritte hanno avuto il fine di verificare la distanza di discriminazione dei transponder, ovvero la distanza minima alla quale il lettore riesce a distinguere un tag da un altro leggendo ancora i due differenti identificativi.

I test sono stati effettuati posizionando i tag prima allineati secondo il loro asse principale, poi disposti parallelamente al loro asse principale ed infine disposti casualmente sul piano di appoggio.

Le prove sono state svolte prima in aria e poi con i tag immersi in soluzione fisiologica.

Inizialmente la distanza tra i tag in aria è stata scelta elevata (5 cm) in maniera che la discriminazione tra i diversi transponder fosse del 100%. Poi i tag sono stati avvicinati tra di loro sempre di più, ogni volta con un passo di 0,5 cm.

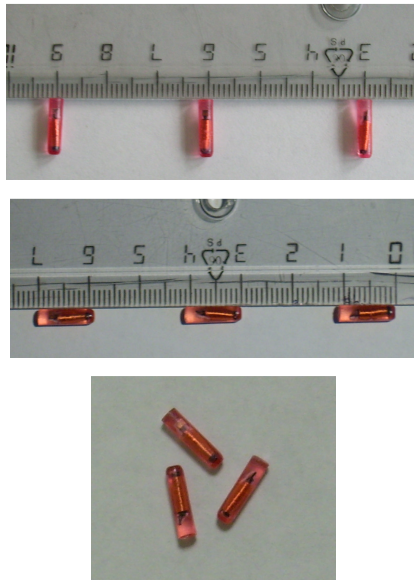


Figura 6-19 - disposizione tag per distanza di discriminazione

Inizialmente i transponder sono stati posizionati parallelamente tra loro secondo il proprio asse principale. Il reader è stato fatto passare davanti ai tag mantenendo il suo asse parallelo a quello dei tag.

Come già detto, i transponder sono stati avvicinati fino ad una distanza di 0,5 cm e si è riscontrato che essi venivano sempre discriminati dal reader.

Successivamente i transponder sono stati allineati secondo il loro asse principale . Il reader è stato fatto passare davanti ai tag mantenendo il proprio asse ortogonale a quello dei tag.

Anche in questo caso, i transponder sono stati avvicinati fino ad una distanza di 0,5 cm e si è riscontrato che essi venivano sempre discriminati dal reader.

Infine i tag sono stati disposti casualmente sul piano d'appoggio utilizzato per la sperimentazione. Il reader è stato fatto passare nelle vicinanze dei tag. In questo caso l'asse del reader e quello del tag a volte erano paralleli, a volte ortogonali e a volte con orientazione intermedia

Il risultato ottenuto è che in tutti e due i casi i tag vengono discriminati fino a quando si trovano a meno di 0,5 cm l'uno dall'altro.

Tutte le prove riguardanti la distanza di discriminazione effettuate in aria, sono poi state ripetute immergendo completamente i transponder in soluzione fisiologica.

In accordo con la teoria, i risultati ottenuti sono stati gli stessi in quanto la soluzione fisiologica non influenza la distanza di lettura e, quindi, non influenza nemmeno la distanza di discriminazione.

Tutte le prove sperimentali per verificare la distanza di discriminazione dei transponder hanno avuto un buon esito. I tag vengono sempre letti sia quando sono allineati ad una distanza di 0,5 cm e vengono sempre letti quando sono disposti parallelamente fino ad una distanza di 0,5 cm. Per misurare la capacità di discriminazione per distanze più piccole di mezzo centimetro i tag sono stati disposti casualmente sul piano di appoggio per avvicinarsi maggiormente ad una possibile situazione reale.

6.2.4.3 Misure con garze laparotomiche

L'ultimo set di misure effettuato è stato finalizzato a verificare l'efficacia del sistema sperimentale nella conta delle garze laparotomiche in condizioni al contorno simili a quelle operative della sala operatoria.

Sono state utilizzate n.10 garze laparotomiche sterilizzabili Ref. LAPCB83S12/12 (produttore Atrifarm srl) utilizzate presso il Blocco Operatorio del Policlinico Tor Vergata, all'interno delle quali sono stati inseriti 10 tag 22mm.

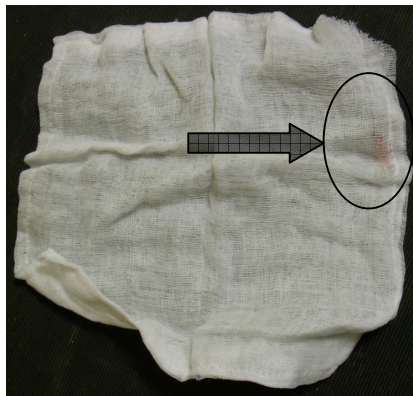


Figura 6-20 - Garza laparotomica con il tag

L'operazione di conta, per cercare di avvicinarsi il più possibile alla realtà, è stata effettuata con garze sia asciutte, sia bagnate in soluzione fisiologica e sia poste su un piano metallico.

Sono state svolte 50 operazioni di conta delle garze, in numero compreso tra 5 e 10, rilevando i seguenti risultati:

- nel 100% dei casi è stato rilevato il numero esatto di garze presenti;
- non sono stati evidenziati falsi positivi o falsi negativi.

6.2.5 Definizione delle caratteristiche ottimali del sistema RfId

Il sistema Rfid utilizzato nella sperimentazione, è stato ottenuto tenendo conto dei vincoli imposti dalle risorse economiche disponibili.

Nonostante ciò, le misure effettuate hanno evidenziato come il suddetto sistema garantisca una buona rispondenza ai requisiti del progetto, rappresentando così una soluzione accettabile per il conteggio e identificazione di garze laparotomiche utilizzate negli interventi chirurgici.

Sulla base dei risultati ottenuti, a questo punto della sperimentazione, è possibile realizzare un progetto di sistema RfId che risponda pienamente alle specifiche richieste, tale da riuscire a migliorare i risultati da noi ottenuti.

In questo capitolo verrà quindi descritto il suddetto sistema, soluzione ottimale per la problematica della conta e dell'identificazione della garze laparotomiche.

La prima parte della trattazione verterà sulla scelta dei componenti del sistema RfId mentre la seconda sui possibili sviluppi futuri del progetto oggetto trattato nel presente lavoro di tesi.

6.2.5.1 Tag ottimali

Per quello che riguarda i tag possiamo con sicurezza affermare che la soluzione utilizzata nello studio iniziale sia pienamente rispondente ai requisiti di progetto.

In particolare:

- Hanno dimensione minore di 30mm;
- Sono resistenti a temperature fino a 50°C;
- Hanno buona resistenza meccanica sia agli urti che alle vibrazioni;
- Sono resistenti agli agenti chimici;
- Sono protetti dai fluidi biologici;
- Sono di materiale biocompatibile.

In più la biocompatibilità di questi tag in materiale plastico è superiore a quella del tag in vetro mentre la distanza di lettura è la stessa. Il materiale utilizzato per l'incapsulamento

del tag è approvato dall'FDA come materiale di qualità per uso medico. Infatti questi transponder hanno superato test di biocompatibilità di vario genere tra cui prove biologiche in vivo su animali da allevamento per verificarne l'interazione con i tessuti.

Le diverse dimensioni di questa tipologia di tag, 11 mm e 22 mm, permettono il loro utilizzo all'interno di garze laparotomiche di disparata grandezza. Per esempio, all'interno delle garze laparotomiche 25X25 cm è possibile utilizzare i tag da 22 mm.

Dove possibile è consigliabile usare il tag da 22 mm poiché ha maggior distanza di lettura, ma laddove questo non sia possibile perché il transponder sarebbe troppo grande in rapporto alle dimensioni della garza chirurgica, si può usare anche il tag da 11 mm. Con questa soluzione diminuisce la distanza di lettura ma il conteggio delle garze laparotomiche all'inizio e alla fine dell'intervento chirurgico è ugualmente possibile.

6.2.5.2 Reader ottimale

Per quello che riguarda il reader possiamo affermare che la soluzione utilizzata inizialmente, seppur garantendo discrete prestazioni, risponde solo parzialmente alle specifiche richieste.

In particolare:

- Possiede di un display integrato;
- Possiede di indicatori acustici e visivi del funzionamento;
- Possiede alimentazione interna;
- Non ha dimensioni ottimali;
- Non è facilmente maneggevole;
- Possiede un software di gestione che va migliorato per essere reso idoneo al nostro scopo.

Il reader usato per la sperimentazione non ha caratteristiche fisiche ottimali per il conteggio delle garze laparotomiche all'interno della sala operatoria. Sarebbe appropriato ottenere una riduzione del peso ed un miglioramento della forma del lettore per renderlo più maneggevole all'interno di un locale critico.

Il lettore utilizzato per lo svolgimento delle prove sperimentali ha delle buone caratteristiche che bisogna mantenere; come l'antenna all'interno di una barra rinforzata che viene continuamente ed automaticamente sintonizzata, una batteria

interna per l'alimentazione con una buona durata temporale e segnali acustici e visivi per vari avvertimenti.

Una buona soluzione sarebbe trovare un lettore palmare di peso e dimensioni migliori rispetto a quello da noi utilizzato ma che mantenga comunque i requisiti necessari per il raggiungimento degli scopi prefissati.

La ricerca di mercato effettuata ha permesso di individuare un dispositivo, di nome EDiT EID PALM, commercializzato dall'azienda neozelandese EdiTID, le cui caratteristiche sono compatibili con le specifiche di progetto sulla conta e l'identificazione delle garze laparotomiche.



Figura 6-21 - Palmare EDiTID EID PALM

Il suddetto palmare, lavorante alla frequenza operativa di 134,5 KHz, possiede una buona interfaccia visiva ed è facilmente maneggevole. Le sue dimensioni sono 17cmX27cmX5cm e pesa 1,5 Kg. E' utilizzabile con una temperatura variabile tra - 10°C e + 80°C. L'involucro esterno di rivestimento è resistente sia alla polvere che all'acqua (IP68). L'antenna è continuamente e automaticamente operante.

Il formato del segnale di uscita, che può essere configurato sull'impostazione singolo o continuo, è decimale ed appare in corrispondenza dell'avvenuta lettura di un tag.

La lettura di un transponder è accompagnata, anche, da un segnale visivo verde e da un segnale acustico.

Possiede una batteria al litio per l'alimentazione interna che può funzionare per 5 ore consecutive.

Il palmare possiede un software per la gestione dei dati che svolge le funzioni minime richieste per la conta delle garze prima e dopo un intervento chirurgico. Inoltre può essere impostato affinché non legga due volte lo stesso identificativo di tag.

6.2.6 Conclusioni del progetto

L'analisi effettuata sui risultati ottenuti nelle prove sperimentali, sulla base dei requisiti definiti all'inizio del presente capitolo ha permesso di giungere alle seguenti conclusioni:

1. in relazione al conteggio delle garze laparotomiche all'inizio e alla fine di un intervento chirurgico, il sistema utilizzato viene valutato idoneo in quanto:
 - il sistema permette di effettuare la conta delle garze con un errore pressoché trascurabile;
 - il sistema permette l'operazione di conta delle garze in tempi notevolmente inferiori (ordine di grandezza dei secondi) rispetto a quelli impiegati nelle attuali procedure cliniche (ordine di grandezza dei minuti)

2. in relazione al conteggio delle garze laparotomiche all'interno del corpo del paziente, il sistema utilizzato viene valutato non idoneo per via della distanza di lettura minima rilevata (4 cm per i tag 11 mm, 12cm per i tag 22 mm) che risulta inferiore rispetto a quella necessaria (25-30 cm); di conseguenza il sistema non garantirebbe l'individuazione di garze all'interno del paziente ad una profondità maggiore di 4 cm (tag 11 mm) o 12 cm (tag 22 mm).

Si ritiene che il sistema definito nel precedente paragrafo, assemblato sulla base delle risultanze della sperimentazione effettuata, permetta di soddisfare pienamente le specifiche di progetto.

6.3 Supporto alla gestione della manutenzione

Il terzo progetto in studio presso il Policlinico Tor Vergata è un sistema di supporto alla gestione delle apparecchiature elettromedicali del PTV, con particolare riferimento al soddisfacimento degli obblighi manutentivi.

L'attività di manutenzione delle tecnologie biomediche sta evolvendo da una concezione di pura operatività (il ripristino delle apparecchiature non funzionanti) verso una vera e propria funzione manageriale volta alla riduzione dei rischi connessi all'uso dei dispositivi medici, alla diminuzione dei tempi di inutilizzo, alla prevenzione dei guasti ed alla garanzia della qualità delle prestazioni erogate.

In tal modo si ottimizza la durata fisiologica del bene contribuendo al miglioramento continuo del percorso assistenziale del paziente (inclusa la degenza media dell'episodio di ricovero) del cui iter diagnostico-terapeutico la tecnologia costituisce un fattore fondamentale.

È, quindi, assolutamente imprescindibile che la manutenzione delle apparecchiature sia gestita in modo corretto ed efficace.

L'obbligatorietà della manutenzione è rilevabile dalla lettura della Legislazione (Sicurezza nei luoghi di Lavoro, Autorizzazione e Accreditamento Istituzionale, Direttive, etc.) di cui si riportano alcuni passaggi particolarmente rilevanti:

- Art. 15, comma 1 del D.Lgs 81/08: "Le misure generali di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori nei luoghi di lavoro sono (...) la regolare manutenzione di ambienti, attrezzature, macchine ed impianti ...".
- Art. 71, comma 4 del D.Lgs 81/08: "Il datore di lavoro prende le misure necessarie affinché le attrezzature di lavoro siano installate ed utilizzate in conformità alle istruzioni d'uso oggetto di idonea manutenzione al fine di garantire nel tempo la rispondenza ai requisiti di sicurezza di cui all'art. 70 e siano corredate, ove necessario, da apposite istruzioni d'uso e libretto di manutenzione".
- Paragrafo "Gestione delle risorse tecnologiche" del DPR 14 gennaio 1997: "Deve esistere un piano per la manutenzione ordinaria e straordinaria delle apparecchiature biomediche; tale piano deve essere documentato per ciascuna apparecchiatura e reso noto ai diversi livelli operativi"

- Art. 3 del D. Lgs. 46/97: “I dispositivi possono essere immessi in commercio o messi in servizio unicamente se rispondono ai requisiti prescritti dal presente decreto, sono correttamente forniti e installati, sono oggetto di un’adeguata manutenzione e sono utilizzati in conformità della loro destinazione”.
- All. I, punto 13.6 del D. Lgs. 46/97: “Le istruzioni per l’uso devono contenere (...) d) tutte le informazioni che consentono di verificare se un dispositivo è installato correttamente e può funzionare in maniera adeguata e sicura, nonché le informazioni riguardanti la natura e la frequenza delle operazioni di manutenzione e di taratura necessarie per garantire costantemente il buon funzionamento e la sicurezza del dispositivo”.

Vi sono, poi, diversi pronunciamenti giurisprudenziali che sottolineano la fondamentale importanza dell’attività manutentiva; in particolare, va evitata la tentazione di conseguire risparmi di budget trascurando lo svolgimento della manutenzione preventiva che, operando su apparecchiature in apparente buono stato di funzionamento, potrebbe apparire meno pressante rispetto alla manutenzione correttiva (che viene eseguita a seguito della rilevazione di una avaria), ma è, invece, un momento di fondamentale importanza per garantire l’utilizzo dei dispositivi in piena sicurezza per operatori e pazienti (cfr. Sentenza Proc. Pen. Reg. Gen. N. 5494/01 della Corte di Appello di Napoli): “Si rendevano promotori, altresì, ... dell’irregolare prassi in materia di manutenzione delle macchine elettromedicali, prassi secondo la quale veniva conferita piena discrezionalità all’ufficio tecnico nell’opzione di sottoporre le macchine a manutenzione programmata o su richiesta, sì che in alcuni casi, come quello in specie, le macchine elettromedicali, sebbene vetuste, venivano sottratte a qualsivoglia manutenzione per periodi addirittura superiori ad un anno (...) la piena coscienza della mancanza di competenze specifiche nel settore delle macchine elettrobiomedicali nell’ambito dell’intera azienda, sia per l’inesistenza di un Servizio di Bioingegneria, sia perché nel Servizio Tecnico non vi era personale con quelle peculiari conoscenze”.

Alla luce di quanto detto, quindi appare assolutamente indispensabile garantire una corretta manutenzione del parco tecnologico di una struttura sanitaria, innanzitutto per garantire i migliori livelli di qualità delle cure, ottimizzando i livelli di sicurezza connessi all’utilizzo, in secondo ordine per garantire il soddisfacimento degli obblighi legislativi.

A tal proposito si ritiene opportuno porre le seguenti definizioni:

- **Manutenzione (CEI 62-122 – UNI 9910):** combinazione di tutte le azioni tecniche ed amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare un dispositivo medico in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta.
- **Manutenzione preventiva (CEI 62-122 – UNI 9910):** manutenzione eseguita ad intervalli regolari predeterminati o in accordo a criteri prescritti e volta a ridurre la probabilità di guasto o la degradazione del funzionamento di un dispositivo medico.
- **Manutenzione preventiva di primo livello (CEI 62-122):** controlli preventivi che dovrebbero essere effettuati dall'operatore consistenti nell'ispezione a vista e, se applicabili in semplici prove utilizzando i dispositivi medici. Queste prove/controlli devono essere descritti nel manuale d'uso.
- **Manutenzione preventiva di secondo livello (CEI 62-122):** manutenzione preventiva effettuata da personale qualificato, consistente nell'ispezione visiva, nelle misure dei parametri importanti ai fini della sicurezza, nell'accertamento che la manutenzione di primo livello sia stata correttamente eseguita, nonché nell'esecuzione dei programmi di manutenzione prescritti dal costruttore.

6.3.1 La gestione della manutenzione presso il Policlinico Tor Vergata

Come introdotto nel cap. 6, il Policlinico Tor Vergata di Roma ha istituito un Servizio di Ingegneria Medica (SIM), con l'obiettivo di collaborare con il personale clinico nel garantire un utilizzo sicuro, efficace, efficiente ed economico del parco tecnologico della struttura.

Le attività svolte dal SIM comprendono, tra le altre, la manutenzione programmata o preventiva di secondo livello delle apparecchiature elettromedicali del PTV, tra cui:

- **Verifiche di sicurezza elettrica:** esecuzione di misure elettriche volte a verificare il soddisfacimento dei requisiti definiti nella normativa di riferimento (IEC 60601-1 – CEI 62-5), con particolare riferimento alla misura di resistenza del conduttore di protezione, le correnti di dispersione e i valori di isolamento. La periodicità nell'esecuzione delle verifiche di sicurezza elettrica è funzione del locale di utilizzo delle apparecchiature e può avere cadenza biennale o annuale.
- **Controlli di qualità delle prestazioni:** esecuzione di controlli e misure di grandezze caratteristiche per verificare le prestazioni di determinate tipologie di

apparecchiature elettromedicali; tali controlli devono essere effettuati per tutte le apparecchiature che svolgono una funzione di misura (cfr. UNI EN ISO 9001:2008 7.6), o che risultano particolarmente critiche nei processi assistenziali. Il primo riferimento nell'esecuzione dei controlli di qualità, è il manuale tecnico a corredo dell'apparecchiatura, in cui vengono specificati tutti i controlli che devono essere svolti, secondo la periodicità consigliata dal produttore. I controlli di qualità hanno periodicità generalmente annuale, laddove non diversamente indicato nella documentazione tecnica. Tra le apparecchiature sottoposte ai controlli di qualità si ricordano il defibrillatori, l'elettrocardiografo, il frigorifero per farmaci, la pompa di infusione.

L'esecuzione delle suddette attività da parte del personale tecnico SIM, deve necessariamente essere evidenziata al personale operatore, che ha la possibilità e l'obbligo di verificare l'avvenuta esecuzione dei controlli, con esito positivo.

L'evidenza dell'avvenuto svolgimento della manutenzione consiste in un'etichetta posta sull'apparecchiatura, riportante il giorno di avvenuto controllo e la data del prossimo controllo.

Come evidenziato nel precedente paragrafo, la manutenzione preventiva di secondo livello non è sufficiente a garantire l'utilizzo delle apparecchiature in condizioni di verosimile sicurezza nonché il rispetto dei requisiti cogenti; per raggiungere tale obiettivo, occorre l'esecuzione della manutenzione ordinaria o preventiva di primo livello da parte degli operatori.

Secondo la teoria degli errori latenti (cfr. "To Erri is Human", J. Reason, 2000), infatti, dopo i controlli effettuati in fase di acquisto, di collaudo e di manutenzione preventiva di secondo livello, il personale clinico, essendo l'utilizzatore finale delle tecnologie biomediche, rappresenta l'ultima barriera per evitare che la traiettoria delle probabilità porti a generare un evento avverso nei confronti del paziente.

L'esecuzione da parte degli operatori clinici della manutenzione preventiva di primo livello, e la verifica dell'avvenuta esecuzione con esito positivo della manutenzione preventiva di secondo livello da parte del personale tecnico del SIM:

- Garantisce il rispetto dei requisiti di legge
- Riduce notevolmente il rischio di malfunzionamento delle apparecchiature e conseguenti possibili eventi avversi

Il sistema di gestione della manutenzione descritto, permette in linea teorica di garantire il rispetto dei requisiti cogenti connessi alla gestione delle apparecchiature elettromedicali, nonché di minimizzare il rischio clinico connesso all'utilizzo delle stesse.

Sono tuttavia rilevabili le seguenti criticità:

1. La verifica dell'avvenuta esecuzione della manutenzione programmata, mediante ispezione delle etichette apposte dal personale SIM, non è sempre esente da difficoltà pratiche, quali:
 - **Limitate risorse dedicate al controllo delle apparecchiature:** si rileva spesso, soprattutto nei locali a maggior criticità (sala operatoria, pronto soccorso), come il personale clinico sia oberato da numerose attività, ritenute a maggior priorità rispetto al controllo dello stato manutentivo delle apparecchiature. Ad accentuare la difficoltà dell'operatore concorre l'elevato numero di apparecchiature da sottoporre a verifica, che, ad esempio in una sala operatoria, può raggiungere anche il numero di svariate decine.
 - **Danneggiamento e/o rimozione fortuita delle etichetta:** le etichette utilizzate per l'identificazione dello stato di avvenuta manutenzione non possono essere inamovibili, in relazione al fatto che devono essere periodicamente sostituite. Ne consegue la possibilità che, in seguito ai processi di sanificazione e/o all'utilizzo, le etichette possano danneggiarsi, venire rimosse o risultare illeggibili. Ne conseguono significativi rallentamenti nell'utilizzo delle apparecchiature, in relazione all'impossibilità di effettuare il controllo manutentivo, o, più frequentemente, l'omissione del controllo stesso.
2. Il sistema adottato risulta carente in relazione alla gestione dei sistemi di apparecchiature elettromedicali; si intende per sistema elettromedicale (cfr. CEI EN 60601-1 III Ed.) una combinazione, specificata dal fabbricante, di più apparecchi, almeno uno dei quali deve essere un apparecchio elettromedicale e interconnessi mediante una connessione funzionale o mediante una presa multipla. L'assemblamento di tali sistemi viene verificato, in relazione a modalità di connessioni ed elementi componenti, in sede di manutenzione preventiva di secondo livello. Tra un intervento e l'altro (in genere con periodicità annuale), tuttavia, si rilevano frequenti modifiche alla composizione dei sistemi, nonché alle connessioni dei vari elementi costituenti, inducendo un significativo aumento del

rischio connesso all'utilizzo, nonché non conformità di natura legale ed amministrativa in relazione all'utilizzo delle apparecchiature in oggetto.

3. Non tutte le apparecchiature vengono sottoposte allo stesso set di controlli di manutenzione preventiva di secondo livello; ne consegue che l'operatore clinico che rileva l'assenza di una determinata etichetta, non essendo mediamente a conoscenza della tipologia di controlli che è necessario effettuare su una data apparecchiatura, può interpretare o come non necessità del controllo in questione o come rimozione fortuita dell'etichetta. Tale fenomeno porta a disorientamento dell'operatore clinico che, spesso tende, conseguentemente a svolgere i controlli con minore accuratezza.

6.3.1 Finalità del progetto di ricerca

Il sistema oggetto del progetto di ricerca ha quindi l'obiettivo di supportare il personale clinico e tecnico della struttura sanitaria in relazione al controllo dello stato di manutenzione delle apparecchiature.

Il sistema, in particolare, prevede che l'attività di manutenzione preventiva di secondo livello relativa ad una determinata apparecchiatura elettromedicali, o a sistemi di apparecchiature, venga tracciato dal personale tecnico del SIM mediante tag posti direttamente sull'apparecchiatura; l'operatore clinico può svolgere il controllo dello stato manutentivo con l'ausilio di un lettore RFID dotato di software gestionale che, sulla base dei dati disponibili sul tag, fornisce immediatamente un esito di utilizzabilità di immediata comprensione (Utilizzabile / Non Utilizzabile/ Utilizzabile con riserva).

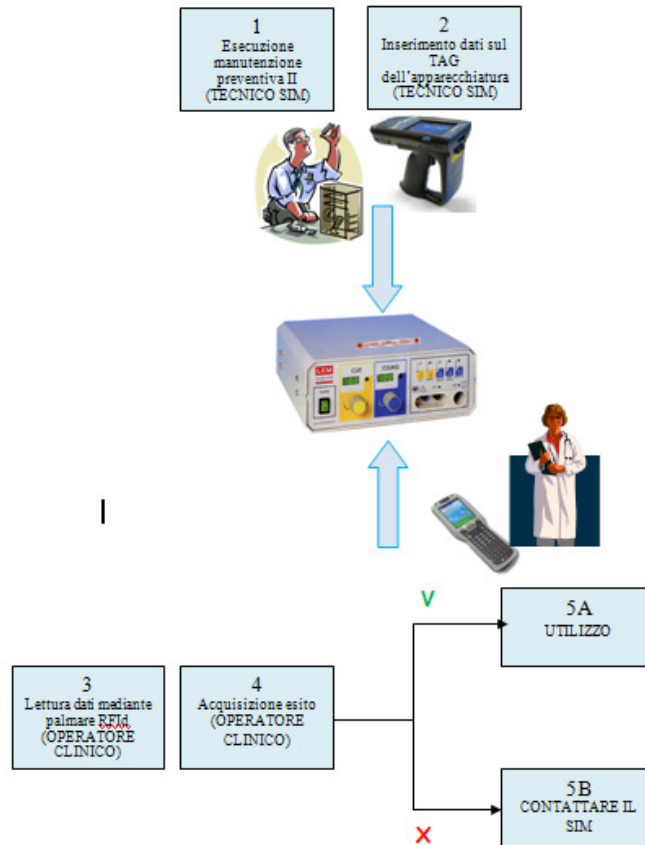


Figura 6-22 - schema concettuale del sistema in progetto

Un sistema di questo tipo porterebbe ai seguenti vantaggi:

- significativa riduzione dei tempi di verifica dello stato di manutenzione delle apparecchiature da parte del personale clinico, non più costretto ad un'ispezione visiva delle etichette delle apparecchiature e successiva analisi di utilizzabilità; l'esito del controllo viene fornito automaticamente all'operatore, che non deve effettuare alcuna analisi dello stato di utilizzabilità in funzione dei controlli svolti o meno.
- Semplificazione del processo di verifica dello stato manutentivo, con verosimile incentivo per il personale che deve effettuare i controlli.
- Il controllo dello stato manutentivo diviene più efficace, dal momento che non viene demandato all'operatore, ma è il software gestionale che esegue automaticamente i check necessari a verificare lo stato di utilizzabilità della particolare apparecchiatura, tenendo conto della classe, delle specifiche del costruttore e di eventuali ulteriori controlli che il SIM valuta necessario effettuare.

- È possibile effettuare con rapidità e precisione il controllo del corretto allineamento dei sistemi di elettromedicali.

L'esecuzione del progetto di ricerca, successivamente alla definizione dei requisiti del sistema, si è svolta su due canali di lavoro paralleli:

- Esecuzione di misure sperimentali volte a definire le caratteristiche ottimali del sistema RFID impiegato;
- Realizzazione del sistema software di gestione, sia relativo alla fase di scrittura del tag da parte del personale SIM, che di lettura e valutazione di utilizzabilità, da parte dell'operatore clinico.

6.3.2 Requisiti del sistema

Si identificano i seguenti requisiti per il sistema:

- il campo elettromagnetico utilizzato non deve costituire un rischio per il paziente o per l'operatore;
- il sistema deve essere utilizzato nel rispetto della normativa cogente e volontaria di riferimento;
- Capacità di lettura dei tag a contatto o in prossimità di materiali metallici (chassis elettromedicali), eventualmente mediante interposizione di materiali di idonee caratteristiche;
- il lettore utilizzato presso il paziente deve essere di piccole dimensioni e facilmente maneggevole dall'operatore;
- i lettori devono essere configurabili in modo da garantire una distanza di lettura compresa tra i 10cm e 60 cm, per evitare letture di tag non desiderate.
- Il software gestionale deve effettuare il controllo di utilizzabilità in un tempo significativamente inferiore rispetto al tempo necessario al controllo visivo.

6.3.3 Componenti del sistema RFID utilizzato

Come elemento portante del sistema, è stato utilizzato come lettore il palmare AT870 prodotto dalla Atid, in grado di leggere tag in HF (13,56 MHz) e UHF (860-960 Mhz) e di comunicare tramite WiFi o bluetooth all'unità centrale le informazioni ricevute.



Figura 6-23 – palmare AT870 Atid

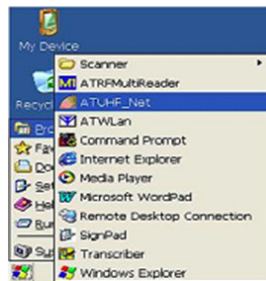


Figura 6-24 - menu principale lettore



Figura 6-25 - funzione di lettura TAG UHF

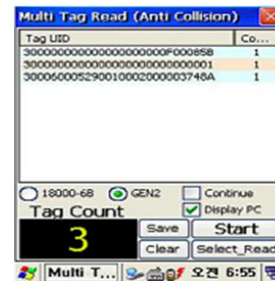


Figura 6-26 - lettura TAG

| | |
|--|--|
| Processore | Marvel PXA270 520MHz |
| Memoria | |
| Ram | 128 MB |
| Rom | 256 MB |
| Memory card | Micro SD |
| Sistema Operativo | Windows CE 5.0 |
| Display | |
| Dimensione | 3.5 TFT LCD |
| Colori | 256K |
| Risoluzione | QVGA (240 x 320) |
| Retroilluminazione | Si |
| User Interface | |
| Tastierino numerico | Si |
| Touchpad | Si |
| Speaker | Si |
| Ingresso microfono | Si |
| Uscita auricolare | Si |
| Porte | |
| USB | Si |
| RS232 | Connettore opzionale |
| Alimentazione DC | Si |
| Ethernet (con base) | Opzionale |
| Wireless | |
| WiFi | 802.11b/g |
| Bluetooth | v2.0, Profilo SPP |
| Rete 2G/3G | GSM/GPRS/EDGE |
| Applicazioni per lettore codice a barre | |
| 1D Laser Scanner | Opzionale |
| 2D Imager | Opzionale |
| RF-ID | |
| HF 13.56 MHz | ISO 15693, ISO 14443 (MIFARE) |
| UHF 866 ~ 954 MHz | EPC Classe 1 GEN2 |
| Fotocamera | 1.3 MP a fuoco fisso con flash |
| GPS | Si, con antenna integrata |
| Alimentazione | Batteria 3000 mAh ai Polimeri di Litio |
| Ambiente d'utilizzo | |
| Temperatura d'utilizzo | Da 20°C a 50°C |
| Temperatura di stand by | Da 30°C a 60°C |
| Umidità | Minore di 95% |
| Dimensioni | 146 x 74 x 26 (mm) |
| Peso | 270g - 330g (in base agli optional) |
| Antenna | |
| Modello | UHF ATRM06 |
| Dimensioni | 44 x 44 x 8.2 (mm) |
| Peso | 25g |
| Alimentazione | 4.2V DC max |

Figura 6-27 - specifiche tecniche lettore

I tag presi in considerazione nella sperimentazione sono di diverse dimensioni e frequenze di lavoro (HF e UHF); sono stati scartati i tag LF (limitata distanza di lettura) e SHF (eccessiva sensibilità alla presenza di materiali metallici).

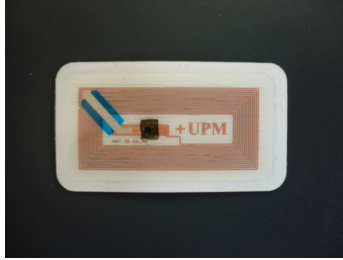


Figura 6-28 - Tag Hf 4x2 cm

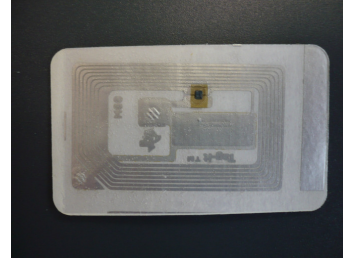


Figura 6-29 - Tag HF 5x3 cm

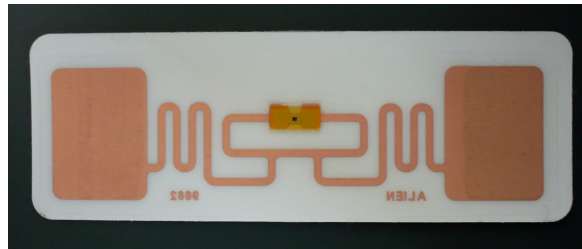


Figura 6-30 - TAG UHF 7,7x2,7 cm

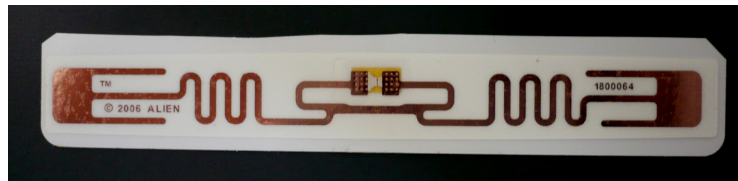


Figura 6-31 - TAG UHF 10x1,5 cm

Per predisporre il sistema RfId ottimale per il progetto, visti i requisiti definiti nel precedente paragrafo, sono state effettuate una serie di misure per testare i diversi lettore e tag all'interno dell'ambiente operativo.

In particolare le misure sono state effettuate prevalentemente all'interno dei locali del Blocco Operatorio B del Policlinico Tor Vergata, sala operatoria 1 e 4, non attive al momento delle attività, ma corredate della maggior parte delle apparecchiature elettromedicali.

Tale ambiente per le misure è stato scelto con la finalità di ricreare un contesto simile a quello in cui il sistema finale dovrebbe operare, vale a dire una sala operatoria in fase di non attività.

6.3.4 Misure effettuate

6.3.4.1 Valutazione della frequenza di lavoro

La prima variabile presa in considerazione, è la frequenza di lavoro del sistema. Si è valutato opportuno scartare a priori le frequenze di lavoro LF e SHF, caratterizzate, rispettivamente, da una limitata distanza di lettura (pochi centimetri, quindi non sufficiente, in relazione alle specifiche di progetto) e da un'elevata sensibilità rispetto alla presenza di metalli (non compatibile quindi con la vicinanza agli involucri metallici delle apparecchiature elettromedicali).

La possibilità di scelta è quindi ricaduta sulla banda HF e UHF.

In riferimento al sistema di assi cartesiani mostrato nella figura sottostante, le misure sono state effettuate posizionando un vertice del tag nell'origine O del sistema di riferimento $Oxyz$ e variando il suo orientamento nello spazio. Il reader, la cui antenna è stata posizionata nel piano xz , è stato fatto traslare lungo l'asse y per misurare la massima distanza di lettura. Sono stati effettuati 3 set di misure impostando la potenza dell'antenna del lettore rispettivamente a 5 dBm, 20 dBm, e 28 dBm.

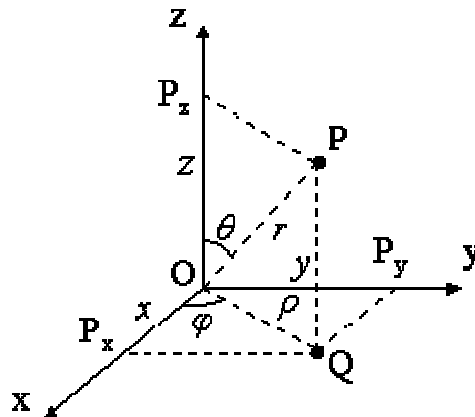


Figura 6-32 - sistema di assi cartesiani utilizzati per le misure

Sulla base delle misure effettuate, è stato rilevato che, in accordo con quanto teoricamente prevedibile, la distanza di lettura in UHF è significativamente superiore rispetto alla distanza di lettura in HF, anche all'interno di una sala operatoria.

In particolare, utilizzando il lettore con la massima potenza di lettura (28 dBm) e tag di dimensioni comparabili, la massima distanza di lettura ottenibile in HF è di circa 10cm,

più di un ordine di grandezza inferiore rispetto alla massima distanza di lettura in UHF (350 cm circa).

Essendo la massima distanza di lettura in HF insufficiente rispetto ai requisiti di progetto, la scelta della frequenza operativa è pertanto caduta sull'UHF.

6.3.4.2 Valutazione della dimensione e forma dei tag

Le misure effettuate nel presente paragrafo sono finalizzate a ottimizzare il sistema in modo da avere, nelle condizioni operative, la distanza di lettura desiderata.

Il primo parametro da sottoporre a valutazione è la potenza di lettura dell'antenna del reader, essendo la stessa impostabile tra 5 e 28 dBm.

Al fine di effettuare una valutazione del livello ottimale, sono state effettuate delle misure di distanza di lettura in funzione della potenza di lettura del lettore, mantenendo il tag all'interno della sala operatoria, senza contatto diretto con apparecchiature elettromedicali.

| | 5 dBm | 20 dBm | 28 dBm |
|-------------|--------------|---------------|---------------|
| Tag 7.7x2.7 | 19,3 cm | 248 cm | 328 cm |
| Tag 10x4 | 16,2 cm | 155 cm | 422 cm |
| Tag 5x3 | 6,6 cm | 67 cm | 182 cm |

Tabella 6-3 - distanza di lettura dei tag in funzione della potenza di lettura

Successivamente è stata presa in considerazione la distanza di lettura in funzione della dimensione del tag.

Nella scelta del tag occorre far riferimento sia al piano di posizionamento del tag rispetto all'antenna del reader, sia all'orientamento del tag stesso (lato lungo o lato corto). Quest'ultimo punto merita un'attenzione particolare, dobbiamo infatti escludere dall'analisi quei posizionamenti del tag fisicamente irrealizzabili, poiché l'altezza del tag supera quella del dispositivo su cui potrebbe essere applicato.

Considerando l'antenna del tag posizionata nel piano xz, sono stati analizzati i tag allineati secondo tre diversi piani:

- il piano parallelo al piano dell'antenna (xz);
- i due piani ortogonali al piano dell'antenna (yz e xy).

Dei due piani ortogonali possiamo escludere dall'analisi il piano xy, perché può capitare che nella composizione della colonna laparoscopica due elementi siano posti uno sull'altro, in questo caso il tag potrebbe essere coperto da una superficie metallica e diventare illeggibile.

Nella figura seguente sono state riportate le medie delle distanze di lettura nei diversi piani, nelle due sale operatorie oggetto delle misure, utilizzando il lettore impostato alla potenza di 20 dBm.

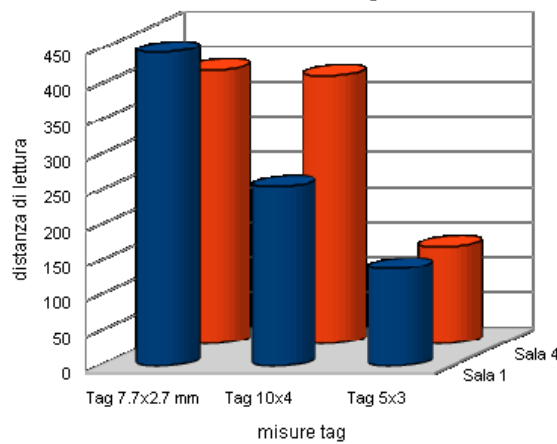


Figura 6-33 - distanza di lettura in funzione della tipologia di tag

6.3.4.3 Misure effettuate su sistemi di elettromedicali

Un elemento di sostanziale miglioramento introdotto dal sistema oggetto dell'attività, è la capacità di gestire i sistemi di apparecchiature elettromedicali, verificando la compatibilità dei singoli componenti e l'utilizzabilità del sistema.

A tale scopo, è stato preso uno dei sistemi di apparecchiature elettromedicali più critico e significativo in relazione ai nostri scopi, la colonna per laparoscopia.

Tale sistema è finalizzato a supportare il chirurgo nell'intervento chirurgico di tipo laparoscopico, in cui l'accesso al sito da operare avviene mediante tre o quattro incisioni di limitate dimensioni, anziché mediante incisione dei tessuti sovrastanti.

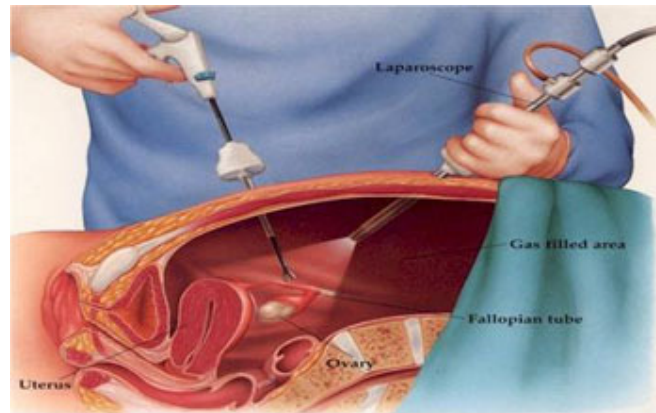


Figura 6-34 - intervento in laparoscopia

La composizione di una colonna laparoscopica tipo può essere:

- Carrello elettrificato
- Monitor
- Processore
- Insufflatore
- Irrigatore
- Fonte luce

Per effettuare le misure di lettura in prossimità delle apparecchiature elettromedicali con più tag simultaneamente, è stata presa in considerazione una colonna per laparoscopia, così come da immagine seguente.



Figura 6-35 - colonna laparoscopica utilizzata per le misure

Per via della natura metallica degli involucri delle apparecchiature elettromedicali costituenti la colonna, nonché della frequenza di lavoro del sistema (UHF) non è stato possibile apporre direttamente il tag sull'apparecchiatura, ma solo mediante uno spessore interposto di polipropilene. I sistemi RFID che lavorano in UHF e SHF sono infatti significativamente influenzati dalla prossimità con elementi metallici.

Inoltre, non è stato sempre possibile orientare il tag nella direzione che ha fornito le maggiori distanze di lettura, i monitor LCD, ad esempio, non sono profondi abbastanza da consentirne l'applicazione secondo il lato lungo, mentre gli altri dispositivi non sono sufficientemente alti da consentirne un orientamento verticale.

I risultati ottenuti in una fase iniziale di misure, hanno portato a risultati non soddisfacenti, ottenendo distanze di lettura di pochi centimetri, anche utilizzando i tag di maggior dimensioni con la maggior potenza di lettura disponibile.

Al termine delle misure effettuate è stato possibile raggiungere una distanza di lettura contemporanea di tutti i tag di circa un metro, ottimale sulla base dei requisiti di progetto. Si è giunti quindi alla conclusione che lo strato di isolante che si pone tra tag e superficie metallica deve essere scelto in modo accurato, perché determinante al pari del tag sull'efficienza di lettura.

6.3.4.4 Conclusioni sulle misure effettuate

Le misure effettuate hanno permesso di concludere che un sistema composto da un lettore con prestazioni analoghe a quello utilizzato, in associazione a tag UHF di dimensioni approssimative di 7.7x2.7 cm, o similari, permette di ottenere le distanze di lettura compatibili con i vincoli di progetto.

Appare evidente come l'ottimizzazione del materiale costituente il supporto interposto tra tag e involucro metallico delle apparecchiature, svolga un ruolo di fondamentale importanza, per garantire una distanza di lettura congrua.

6.3.5 Realizzazione del software di gestione del sistema

La fase di realizzazione del software gestionale è naturalmente cruciale al fine di garantire l'efficacia ed efficienza gestionale del sistema.

Per garantire il raggiungimento dei requisiti di progetto, sono stati svolti i seguenti step:

- Definizione di una codifica di lettura e scrittura dei tag
- Elaborazione della fase di scrittura
- Elaborazione della fase di lettura ed analisi di utilizzabilità

Il linguaggio di programmazione utilizzato è stato il C#.

6.3.5.1 Definizione della codifica

I tag disponibili per la sperimentazione presentavano il limite di disporre di una memoria riscrivibile per l'equivalente di 24 caratteri alfanumerici.

Ne consegue che l'intera codifica è stata strutturata in modo da inserire, in tale numero di caratteri, le seguenti informazioni:

- Inventario di riferimento
- Data di esecuzione della verifica di sicurezza elettrica
- Periodicità delle verifiche di sicurezza elettrica
- Eventuale necessità di manutenzione programmata (controllo di qualità)
- Data di esecuzione della manutenzione programmata (controllo di qualità)
- Periodicità manutenzione programmata (controllo di qualità)

- Eventuale appartenenza dell'apparecchiatura ad un sistema elettromedicale e identificativo dello stesso
- Tipologia di elettromedicale

Il codice definito prevede di suddividere i 24 caratteri disponibili nel seguente modo:

| NUMERO CARATTERI | INFORMAZIONE |
|------------------|---------------------------|
| 1-4 | Inventario |
| 5-12 | Data VS |
| 13-20 | Data CQ |
| 21 | Periodicità VS |
| 22 | Periodicità CQ |
| 23 | Tipologia apparecchiatura |
| 24 | Identificativo sistema |

Tabella 6-4 - codifica dati sul tag

È stato in particolare convenzionalmente stabilito che:

1. Il numero di inventario possa assumere qualsiasi valore compreso tra 0 e 9999; tale scelta permette di coprire il parco macchine di una struttura come il Policlinico Tor Vergata per un periodo ipotizzabile di altri due anni. Si osserva tuttavia come, con l'utilizzo di tag a maggior memoria, tale limitazione non sarebbe più necessaria.
2. La periodicità della verifica di sicurezza elettrica può assumere il valore 1 o 2, in funzione del locale di utilizzo; in base alla norma tecnica CEI 64/8 sez 710, la periodicità di esecuzione delle verifiche di sicurezza elettrica è annuale o biennale a seconda che l'apparecchiatura si trovi in locale di gruppo II o I.
3. Laddove l'apparecchiatura non richieda manutenzione programmata (controllo di qualità), gli otto caratteri destinati alla data CQ sono convenzionalmente pari a 0. La periodicità del controllo di qualità può essere semestrale (convenzionalmente indicata dal valore 1), annuale (2), biennale (3).
4. La tipologia di apparecchiatura (monitor, fonte luce, processore, etc) può assumere solo 10 valori possibili; sebbene la maggior parte delle colonne per laparoscopia sono composte da un numero inferiore di componenti, valgono le considerazioni esposte al punto 1.

5. L'identificativo del sistema può essere "0" nel caso di apparecchiature non utilizzabili in sistemi di elettromedicali (defibrillatore, elettrobisturi, etc), altrimenti può assumere un valore compreso tra 1 e 9, correlato ad una tipologia di sistema possibile; valgono le considerazioni esposte al punto 1

A titolo esemplificativo, si riporta il codice generato dall'apparecchiatura con i seguenti dati:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inventario | 4517 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Data VS | 05/12/2009 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Data CQ | 07/12/2009 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Periodicità VS | Annuale (cod. 2) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Periodicità CQ | Annuale (cod. 2) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipologia apparecchiatura | Processore (cod. 3) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Identificativo sistema | Colonna laparoscopica Storz (cod. 8) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CODICE GENERATO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>4</td><td>5</td><td>1</td><td>7</td><td>0</td><td>5</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>9</td><td>0</td><td>7</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>9</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>8</td> </tr> </table> | | 4 | 5 | 1 | 7 | 0 | 5 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 9 | 0 | 7 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 9 | 2 | 2 | 3 | 8 |
| 4 | 5 | 1 | 7 | 0 | 5 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 9 | 0 | 7 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 9 | 2 | 2 | 3 | 8 | | |

Tabella 6-5 - esempio di generazione codice

6.3.6 Elaborazione del software di scrittura

La fase di scrittura viene svolta dal tecnico SIM al momento dell'esecuzione degli interventi di manutenzione programmata; tale fase è composta da:

- Inserimento dei dati da parte del tecnico SIM: vengono inserite tutte le informazioni relative all'apparecchiatura (v. par. precedente) sul palmare, mediante una schermata definita ad hoc.

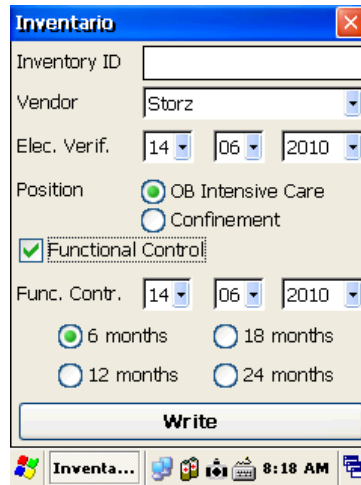


Figura 6-36 - schermata di scrittura

- Verifica di congruenza (ad es: data verifica non successiva alla data corrente) ed accettabilità (inventario in formato numerico) dei dati; eventuale richiesta di modifica dati inseriti, nel caso in cui l'inserimento dei dati abbia generato una situazione di errore

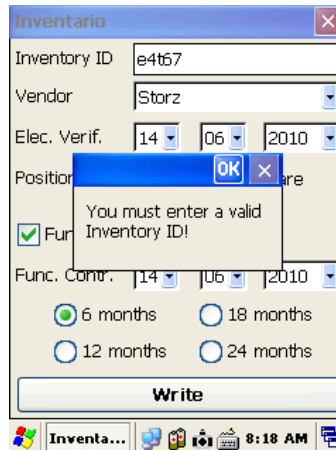


Figura 6-37 - esempio di errore di inserimento dati

- Scrittura sul tag, sulla base della codifica definita nel paragrafo precedente

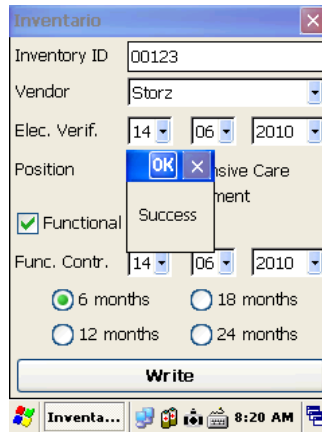


Figura 6-38 - schermata di avvenuta scrittura sul tag

L'algoritmo svolto dal software di scrittura viene descritto nel flow chart in figura seguente.

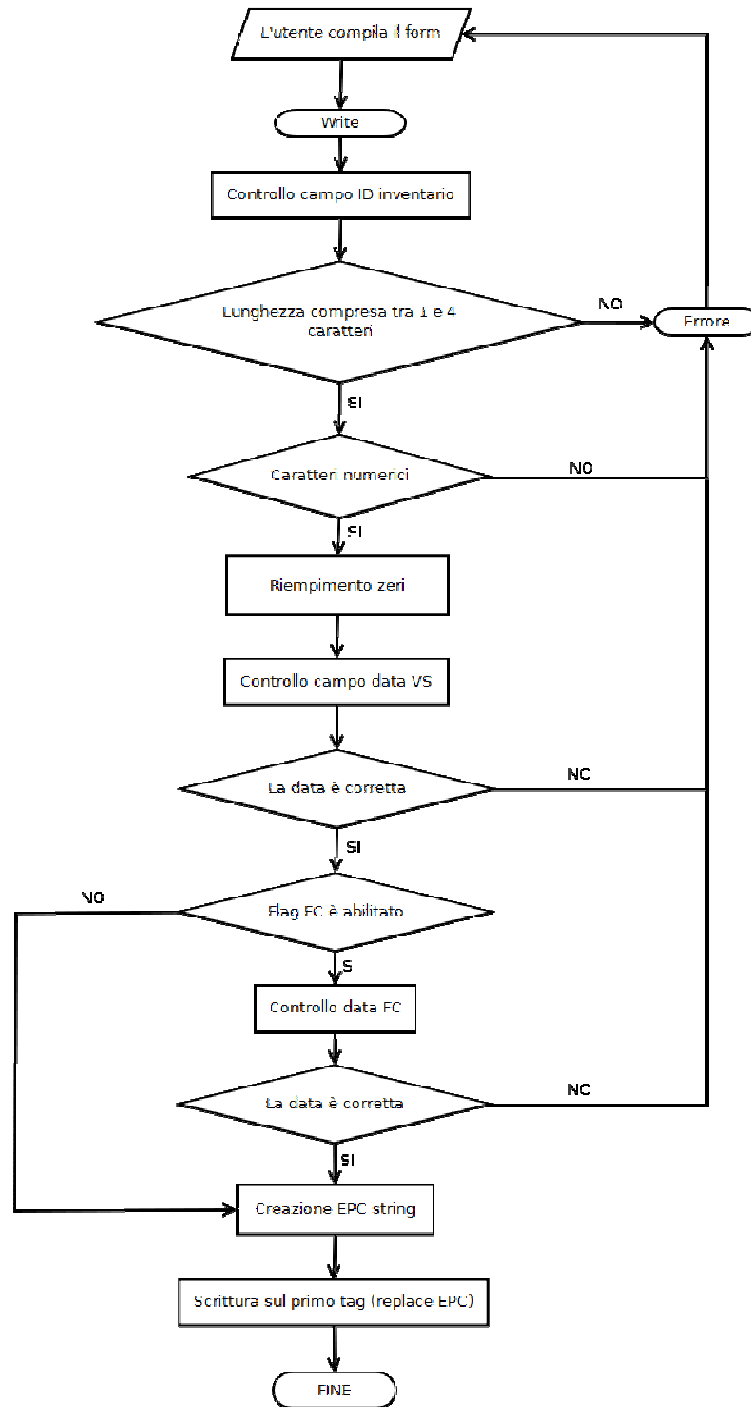


Figura 6-39 - algoritmo del software di scrittura

6.3.7 Elaborazione del software di lettura

La fase di lettura viene svolta dall'operatore clinico che, in prossimità dell'utilizzo dell'apparecchiatura, ha la necessità di verificare l'utilizzabilità delle apparecchiature elettromedicali.

Tale fase è composta da:

- attivazione del sistema da parte dell'operatore clinico;
- lettura dei dati sui tag delle apparecchiature elettromedicali;
- esecuzione delle verifiche: per ogni apparecchiatura viene eseguito il controllo relativo all'avvenuta verifica di sicurezza elettrica e, ove applicabile, di avvenuto controllo di qualità; per il sistema elettromedicale viene verificata la compatibilità delle apparecchiature costituenti e la presenza di tutti e soli i componenti del sistema;
- invio messaggio di esito all'operatore; gli esiti possibili sono descritti nella tabella seguente:

| RISULTATO DEI CONTROLLI | ESITO |
|---|---|
| Tutte le apparecchiature sono state sottoposte ai controlli cogenti e raccomandati e il sistema è correttamente assemblato | SISTEMA UTILIZZABILE |
| Tutte le apparecchiature sono state sottoposte ai controlli cogenti, manca uno o più controlli raccomandati e il sistema è correttamente assemblato | SISTEMA UTILIZZABILE CON RISERVA |
| Tutte le apparecchiature sono state sottoposte ai controlli cogenti e raccomandati e il sistema non è correttamente assemblato | SISTEMA UTILIZZABILE CON RISERVA |
| Non tutte le apparecchiature sono state sottoposte ai controlli cogenti | SISTEMA NON UTILIZZABILE |

Tabella 6-6 - esiti possibili per l'operatore clinico

Sono previsti messaggi aggiuntivi finalizzati a specificare la causa della utilizzabilità con riserva, quali, a titolo esemplificativo, la mancanza o ridondanza di una tipologia di apparecchiatura nel sistema.

L'algorithmo svolto dal software di lettura viene descritto nel flow chart in figura seguente.

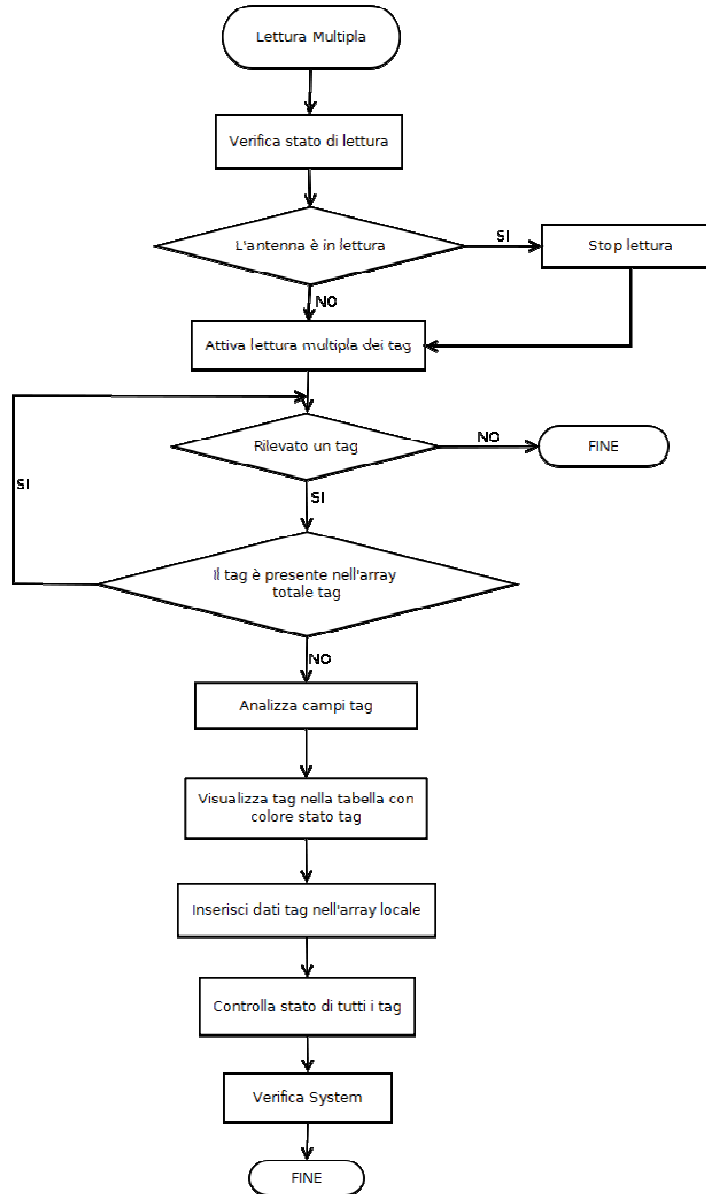


Figura 6-40 - algoritmo del software di lettura

6.3.8 Conclusioni del progetto

Sulla base delle attività svolte, vista la validazione clinica effettuata con il personale operatore, si ritiene che il sistema progettato e realizzato sia pienamente conforme rispetto ai requisiti posti alla base delle attività.

Si ritiene che l'applicazione del sistema in ambito clinico, da parte del personale tecnico del SIM e del personale clinico, possa indurre pienamente i benefici descritti nel par. 6.3.3.

7 Conclusioni

L'attività svolta in questi anni ha permesso di:

- approfondire la tecnologia RFID, con particolare riferimento agli aspetti fisici connessi, le tipologie di sistema, le attuali applicazioni in ambito sanitario e non;
- identificare elementi di criticità in determinate procedure cliniche e assistenziali, potenzialmente ottimizzabili dall'introduzione della tecnologia RFID, con miglioramenti in termini di sicurezza, efficienza ed economicità;
- svolgere i tre progetti di ricerca descritti nell'ambito del presente elaborato, che hanno portato alle seguenti conclusioni:
 - È stato progettato e sperimentato un sistema di supporto alla gestione della filiera trasfusionale, con esito parzialmente positivo. Si ritiene che, con le modifiche identificate, il sistema possa essere utilizzato in ambito clinico con miglioramento dei livelli di sicurezza.
 - È stato progettato e sperimentato un sistema di supporto alla gestione delle pezze laparotomiche, con esito parzialmente positivo. Si ritiene che l'esperienza accumulata possa facilmente condurre alla realizzazione di un sistema pienamente conforme ai requisiti di progetto, con significativa riduzione del rischio clinico connesso all'utilizzo di pezze laparotomiche, nonché riduzione dei tempi di conta delle stesse.
 - È stato progettato e sperimentato un sistema di supporto alla manutenzione delle apparecchiature elettromedicali, con esito pienamente positivo. Si ritiene che il sistema realizzato possa essere utilizzato in ambito clinico.

8 Bibliografia

- RAPPORTO OSSERVATORIO RFID, *“RFId: alla ricerca del valore”*, Politecnico di Milano, Giugno 2007
- L. BATTEZZATI, J. HYGOUNET, *“Identificazione automatica a radiofrequenza”*, Hoepli (2006)
- P. TALONE, G. RUSSO, *“RFId tecnologia e applicazioni”*, Marzo 2007
- G. CONCIAURO, L. PERREGRINI, *“Fonfamenti di onde elettromagnetiche”*, McGraw-Hill, Gennaio 2003
- P. MAZZOLDI, N. NIGRO, C.VOCI, *“Elementi di fisica, elettromagnetismo”*, EdiSES 2002
- Y. LEE, *“RFId coil design”*, Settembre 1998
- Y. LEE, *“Antenna circuit design for RFId applications”*, Ottobre 2003
- AIM ITALIA, *“RFId: tecnologia, standard e progetti europei”*, Maggio 2006
- AIM ITALIA, *“Introduzione alla tecnologia delle etichette intelligenti”*, Maggio 2006
- EDiT-LinK v1.0, *“User Manual”*
- EDiT Wand, *“Technical Brief”*
- Hi Pro, *“Transponder specification and features”*

- G. PASSARO, *“RFID, Identificazione automatica a radiofrequenza, Case Studies, Applicazioni e progetti in Italia nei settori della Sanità”*, 2005
- RILEVA, *“Soluzione RFID per la gestione degli asset, degli spazi edel personale”*, 2007
- COPPELO, *“La sicurezza degli RFID”*, Aprile 2006
- ANTONIO, *“Aspetti tecnici e regolamentari sull’uso degli RFID in Italia”*, Maggio 2006
- *Radio frequency identification*, Wikipedia, Aprile 2006
- J. WILEY, *“RFID handbook fundamentals and applications in contactless smart cards and and identification”*, Seconda edizione, 2003
- HSR, *“Alcun esempi di applicazioni in sanità”*, Febbraio 2006
- DATA BUSINESS, *“Il tag entra in ospedale; non ci saranno più errori nella individuazione della giusta sacca di sangue: lo promette l’ospedale San Raffaele di Srate, grazie all’impegno della tecnologia RFID”*, Maggio 2005
- CISCO SYSTEM, *“L’errore in medicina si cura con l’innovazione, case study: Istituto scientifico Universitario San Raffaele”*, Giugno 2005
- ALFANO, G. BOCCHETTA, D. MONGELLO, *“Sicurezza si sistemi RFID: criticità e vulnerabilità in ambienti eterogenei”*, Marzo 2007
- ROBYPRODUCTION, *“Tecnologia RFID e privacy”*, Prima Edizione, Dicembre 2005
- S. QUINTARELLI, *“Come funzionano gli RFID”*, Settembre 2005
- MICROSOFT, *“Microsoft and RFID, Microsoft white paper”*, Settembre 2004

- MONARCH PRODUCT&SERVICES, *“RFid basic”, PAXAR, Ottobre 2004*
- H. MURTHY, N. SAWHNEY, *“RFid: a perfect blend of convenience and privacy”, Gennaio 2004*
- G. TETTI, *“RFid”, Aprile 2006*
- CNIPA, *“Linee guida per l’impiego dei sistemi RFID nella pubblica amministrazione”, Febbraio 2007*
- Decreto legislativo n° 476 del 04/12/1992
- CEI 64-56 GUIDA, *“Edilizia residenziale. Guida per l’integrazione degli impianti elettrici utilizzatori e per la predisposizione per impianti ausiliari, telefonici e di trasmissione dati negli edifici. Criteri particolari per locali ad uso medico.”*
- CEI 62-50, il cui titolo è *“Apparecchi elettromedicali. Parte 1: Norme generali per la sicurezza. 2 – Norma collaterale: Compatibilità elettromagnetica – Prescrizioni e prove”.*
- CISPR 11, *“Limits and methods of measurement of electromagnetic disturbance characteristics of industrial scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment”, 1990*
- CISPR 14, *“Limiti e metodi di misura delle caratteristiche di radiodisturbo degli apparecchi elettrodomestici, utensili portatili e apparecchi elettrici simili”, 1985*
- RACCOMANDAZIONE PER LA PREVENZIONE DEGLI EVENTI AVVERSI CONSEGUENTI AL MALFUNZIONAMENTO DEI DISPOSITIVI MEDICI/APPARECCHI ELETTROMEDICALI, Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali, aprile 2009

9 Ringraziamenti

Con l'occasione della conclusione del mio dottorato di ricerca, desidero ringraziare il tutor, prof. Fabio Gori, per la disponibilità e professionalità dimostrata in questi anni.

Desidero ringraziare il prof. Nicola Rosato, per la guida ed il coordinamento delle attività svolte in questi anni, nonché il supporto e sostegno umano ancor prima che professionale.

Più che i ringraziamenti, faccio i complimenti al mio collega ed amico dott. Ing. Paolo Abundo, per la pazienza e tenacia dimostrata in questi anni di dottorato (e non solo..), consapevole che rapportarsi quotidianamente per dieci ore con il sottoscritto può essere spesso e volentieri un'impresa davvero ardua, in cui solo un uomo e un professionista come lui poteva riuscire vittorioso.

Ringrazio l'ing. Colangelo e l'ing. Corona, per il supporto e la collaborazione nello svolgimento delle attività.

Ringrazio il personale Policlinico Tor Vergata che ha collaborato durante le attività; in particolar modo il prof. A. L. Gaspari, il prof. N. Di Lorenzo e l'ing. L. Iezzi (Dip. Chirurgia Generale), il prof. S. Amadori, il dott. F. Trenta, la dott.ssa M. Brunetti e la dott.ssa M. Mauroni (UOC Ematologia) il prof. G. Adorno e il dott. S. Serangeli (UOC SIMT).

Ringrazio infine le mie donne Francesca Romana ed Elisa, per l'ennesima battaglia affrontata e vinta insieme, noi tre.