

RF-ID in ambito medico / ospedaliero

MARTA CAVAGNARO

rif. biblio:

lucidi 1 – 34: Libro bianco: **RFID Fondamenti di una tecnologia silenziosamente pervasiva** di Paolo Talone, Giuseppe Russo
Fondazione Ugo Bordonì (http://www.gruppotia.it/index.php?option=com_content&view=article&id=201&Itemid=49)

Wen Yao, Chao-Hsien Chu and Zang Li, **The Use of RFID in Healthcare: Benefits and Barriers**, 2010

H. Alemdar , C. Ersoy, **Wireless sensor networks for healthcare: A survey**, Computer Networks, 54:2688–2710, 2010

RF-ID definizioni

RFID (Radio Frequency IDentification) sta ad indicare la funzione di identificazione attraverso una trasmissione a radio frequenza

L'assunzione di informazioni è relativa ad operazioni di ricerca, identificazione, selezione, localizzazione spaziale e tracciamento

Identificatore ed identificato comunicano mediante segnali a radio frequenza, quindi senza necessità di contatto fisico (a differenza, ad esempio, delle carte a banda magnetica) e senza che gli apparati siano né visibili (a differenza, ad esempio, dei codici a barre), né in visibilità reciproca (non line-of-sight).

Storia

- L'antenato degli RFID è comunemente riconosciuto nel sistema "Identification Friend or Foe (IFF)" sviluppato in Inghilterra durante la seconda guerra mondiale (1940). L'apparato a bordo degli aerei alleati, rispondeva, se interrogato, identificando così gli aerei alleati e distinguendoli da quelli nemici
- La tecnologia è poi evoluta in sistemi per seguire la rotta dei carri ferroviari, per l'automazione di processo nell'industria automobilistica, per la localizzazione del bestiame e degli animali selvatici, in agricoltura e nelle riserve naturali, per l'anti taccheggio nel commercio al minuto, per chiavi e documenti elettronici, ecc
- La diffusione dei sistemi RFID è avvenuta principalmente dagli anni '90 in poi; attualmente esistono numerose soluzioni commerciali a costi contenuti.
- Una tecnologia collaterale agli RFID e di grande rilevanza, è costituita dalle carte senza contatto che alle funzioni di identificazione aggiungono capacità di effettuare transazioni finanziarie in sicurezza.

University of Roma



Tor Vergata

Dall'etichetta³ all'identificazione a microonde

Etichetta stampata



Accessibilità
diretta
all'informazione

Barcode



- Indirizzamento indiretto dell'informazione
- Codice binario
- Lettura ottica con scanner laser
- Distanza di lettura: pochi cm

Radio Frequency Identification RFID



Lettura dati tramite onde radio

Magnetic & Smart Cards



- Immagazzinamento ed elaborazione elettronica di dati
- Lettura tramite contatto galvanico o induzione magnetica
- Energia fornita dall'esterno

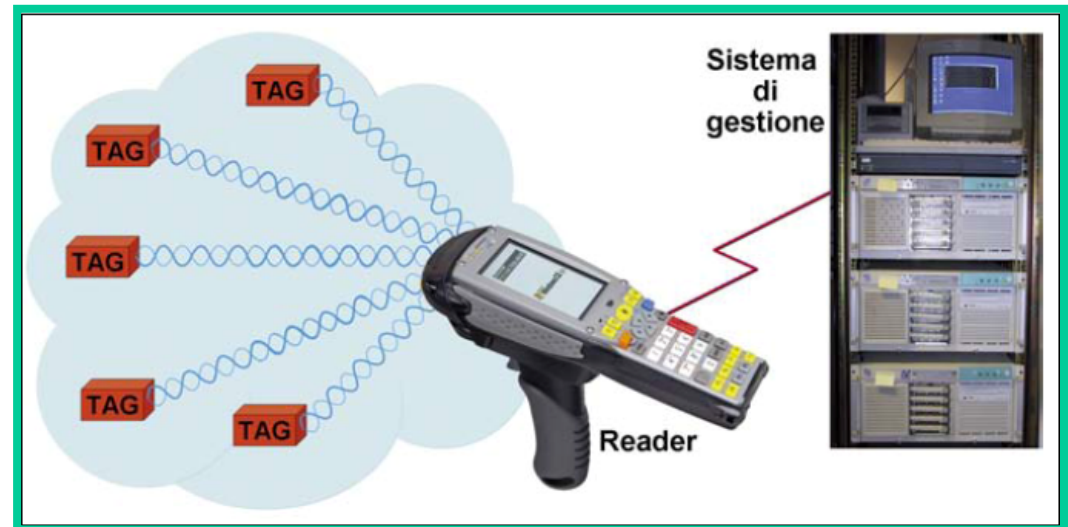
Il sistema

Un sistema RFID si compone di tre elementi fondamentali:

- **TAG**; un transponder a radiofrequenza di piccole dimensioni costituito da un circuito integrato (chip) con funzioni di semplice logica di controllo, dotato di memoria, connesso ad un'antenna ed inserito in un contenitore o incorporato in una etichetta di carta, una Smart Card, una chiave.
- **Reader**; un ricetrasmittitore controllato da un microprocessore ed usato per interrogare e ricevere le informazioni in risposta dai TAG.

- **Sistema di gestione**

(Management system – Host system, ecc.); 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.



I TAG

I TAG (chiamati a volte Trasponder) vengono distinti, in primo luogo, per la gestione delle fonti energetiche. I TAG, infatti, possono essere:

- **Passivi:** ricavano l'energia per il funzionamento dal segnale proveniente dal Reader; non possiedono un vero e proprio trasmettitore, ma reirradiano, modulandolo, il segnale trasmesso dal Reader e riflesso dalla propria antenna. Le distanze a cui possono operare sono, al massimo, dell'ordine di alcuni metri o di alcuni centimetri a seconda della frequenza operativa.

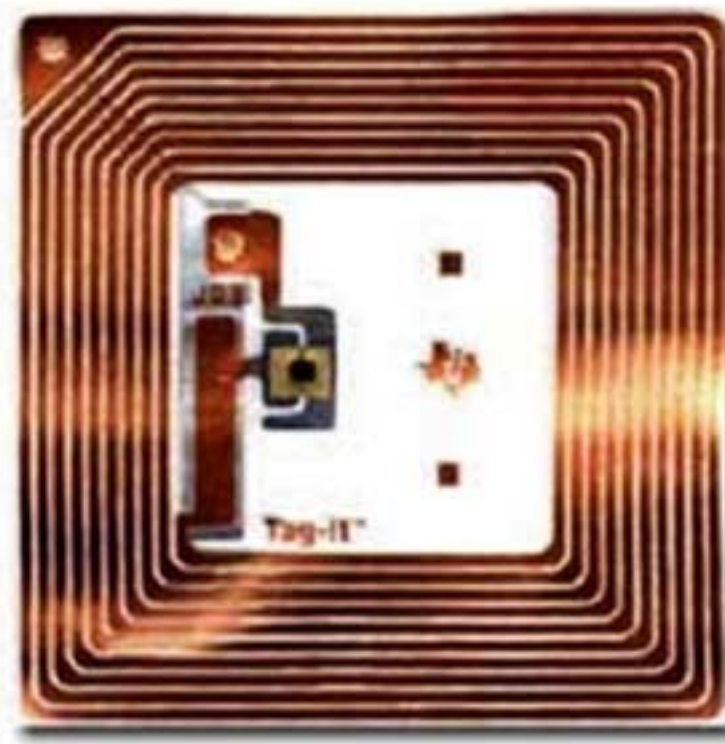


Figura I.2
TAG passivo a bassa frequenza (HF)

I TAG

- **Attivi:** alimentati da batterie. Incorporano ricevitore e trasmettitore come i Reader. Possiedono memorie di dimensioni notevoli, spesso riscrivibili e possono contenere sensori. Le distanze a cui possono operare dipendono da trasmettitore e batterie, in genere sono, al massimo, dell'ordine di 200 metri
- **Battery-Assisted Passive (BAP) TAG:** usano una fonte di energia per alimentare solo alcuni componenti dei TAG. Vengono anche classificati come:
 - **Semi-passivi** dotati di batteria utilizzata solo per alimentare il microchip o apparati ausiliari (sensori), ma non per alimentare un trasmettitore in quanto in trasmissione si comportano come TAG passivi. Le distanze a cui possono operare sono, al massimo, dell'ordine di qualche decina di metri.
 - **Semi-attivi** definizione di uso incerto e spesso confusa con quella di semi-passivi. Propriamente dovrebbe indicare TAG dotati di batteria utilizzata per alimentare chip e trasmettitore. Per motivi di risparmio energetico, però, il TAG è normalmente disattivato. L'attivazione si ottiene tramite un ricevitore che opera con la tecnologia dei TAG passivi. In assenza di interrogazioni il TAG può quindi operare per tempi molto lunghi



Figura I.4
TAG attivo per bassa frequenza
(LF) 32K di memoria riscrivibile,
uso in presenza di metalli
EMS - gruppo Datalogic (Italia)

TAG passivi

In un TAG passivo si possono distinguere almeno tre componenti: il circuito (chip) l'antenna e il substrato.

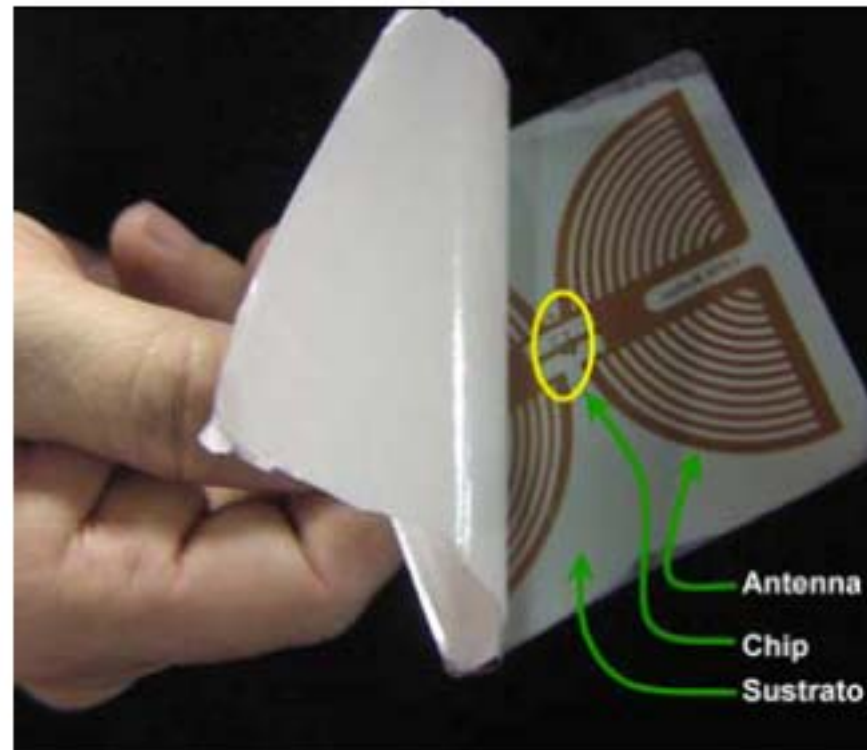


Figura I.8
TAG passivo UHF "Butterfly" montato come
"etichetta intelligente" adesiva su carta
UPM Raflatac

TAG passivi – il chip

- Il chip opera tutte le funzioni necessarie all'operatività del TAG, essenzialmente l'immagazzinamento dei dati (del TAG), la conversione dell'energia RF ricevuta dall'antenna in alimentazione elettrica, le funzioni di modulazione della riflessione dell'energia ricevuta necessaria per la trasmissione dei dati. La memoria del chip può essere read-only (RO), write-once, read-many (WORM), oppure read-write (RW). Vari tipi di memoria possono coesistere nello stesso chip. Tipicamente un chip RFID memorizza qualche centinaio di bit (96 per il solo identificativo univoco). La capacità di memoria, comunque, può variare da un numero minimo di bit ($1 \div 2$) che indicano la semplice presenza del TAG (antitaccheggio) fino a qualche migliaio di bit divisi in varie sezioni (RO, WORM, RW).
- Oltre all'alimentazione, alla memoria ed alla funzione di modulazione della riflessione a RF, il chip può, nei casi più evoluti, possedere una logica di controllo. Le sue capacità sono necessariamente limitate dalla scarsità di alimentazione, ma sufficienti per qualche funzione di sicurezza e protezione dell'informazione.

TAG passivi – l'antenna

- L'antenna è collegata elettricamente al chip. Le sue funzioni consistono nel raccogliere la maggior quantità possibile di energia RF irradiata dal Reader (per consentire l'alimentazione del TAG) e nel rifletterne una parte (per trasmettere). Le prestazioni di un TAG passivo (distanza operativa, capacità della logica di controllo) dipendono quindi fortemente dalla capacità dell'antenna di raccogliere energia e di rifletterla. Tutto ciò viene influenzato essenzialmente dalle dimensioni dell'antenna medesima.
- La forma dell'antenna varia a seconda delle frequenze operative:
 - per le frequenze basse vengono usate delle spire avvolte in aria (per frequenze HF) o attorno ad una ferrite (per frequenze LF);
 - per le frequenze UHF vengono usate antenne a dipolo di varia forma e complessità (come nella maggior parte dei radioricevitori commerciali).

TAG passivi – il substrato

- Il substrato fornisce il supporto fisico per l'assemblaggio del TAG ed il “collante” per tenerne insieme le componenti. Il substrato può essere realizzato in Mylar, film plastico, carta o altri materiali. Nella tematica relativa al substrato possono anche essere fatte rientrare le problematiche relative al film di copertura e protezione del chip e dell'antenna, nonché quella dei contenitori per i TAG più robusti

Mylar® DuPont

Since Mylar® polyester film was invented in the early 1950s, it has been used in a variety of applications that add value to products in virtually all segments of the world.

After nearly 50 years, the future still holds great promise for Mylar®. Its excellent balance of properties and extraordinary range of performance capabilities make Mylar® ideal for a broad array of applications in the electrical, electronics, magnetic media, industrial specialty, imaging and graphics, and packaging markets.

Mylar® polyester film, only by DuPont Teijin Films, is available uncoated or coated in a broad variety of thickness and width.

I Reader

- Si tratta di 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.
- Questo, infatti, specie nei TAG passivi, è un semplice codice che ha però (a differenza dei codici a barre) la particolarità di essere univoco. Entrando quindi in un sistema informativo ed usando un codice univoco come chiave di ricerca, si possono ricavare dettagliate informazioni (anche aggiornate nel tempo) sul particolare oggetto a cui il TAG è associato.

Figura I.9
Vari modelli di Reader
Symbol Technologies;
da sinistra a destra:

- RD5000 Mobile RFID Reader
- XR440 Fixed RFID Reader industrial class, Gen2
- MC9090-G RFID Handheld Mobile Reader,
Writer and bar code reader



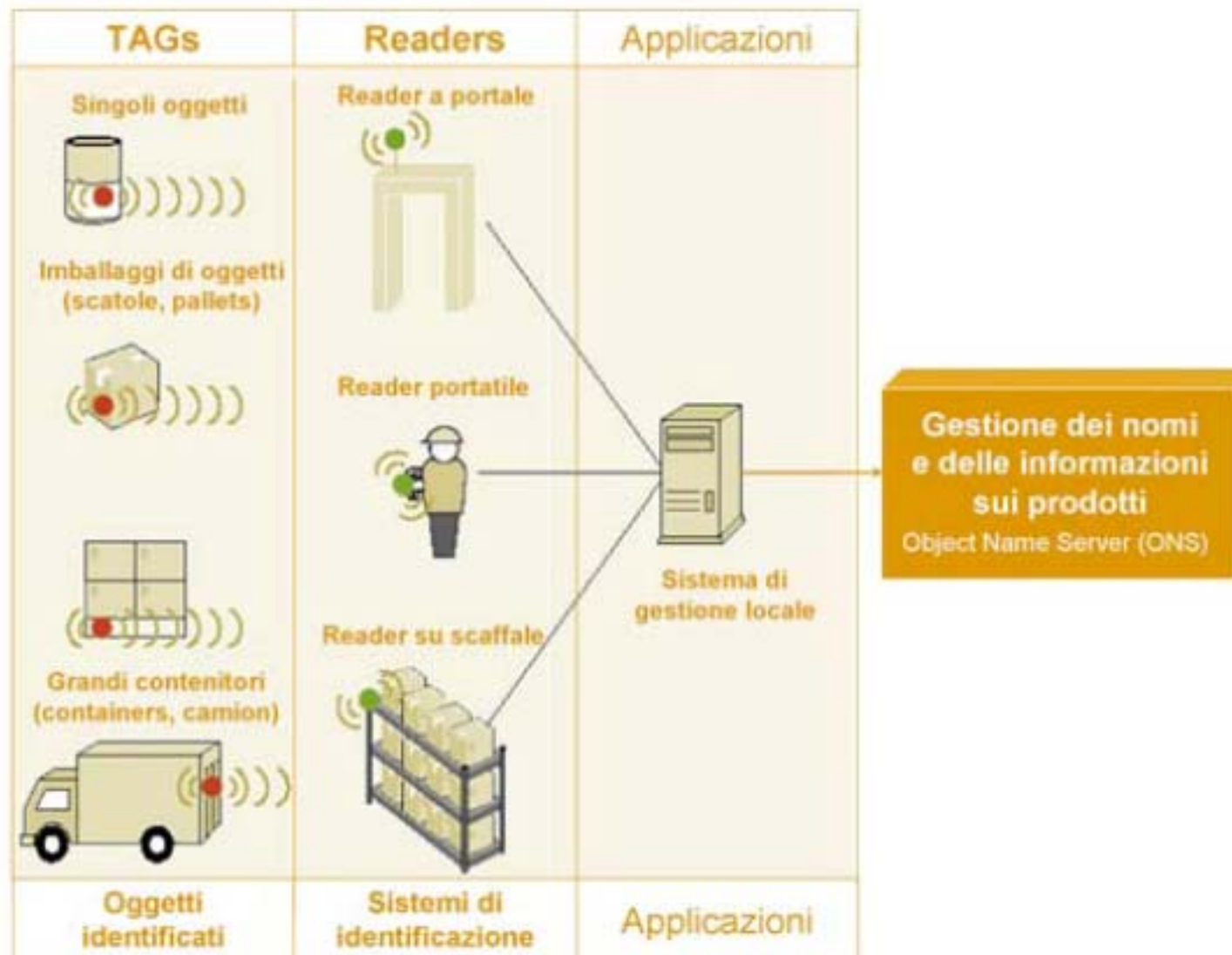
I Reader

- I Reader per TAG attivi sono dei ricetrasmittitori controllati, che possono usare le più diverse tecniche a radiofrequenza
- I Reader per TAG passivi (e semi passivi), invece, devono emettere segnali RF di tipo particolare, in grado di fornire al TAG anche l'energia necessaria per la risposta



Applicazioni

- Catena distribuzione merci
- Tracciabilità
- Skipass



Frequenze

- Le frequenze di comunicazione tra Reader e TAG dipendono sia dalla natura del TAG, sia dalle applicazioni previste e sono regolate (per controllare le emissioni di potenza e prevenire interferenze) dai 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 insieme alle merci alle quali sono associati
- Ad oggi, alcune bande di frequenza (generalmente nelle LF o HF) sono accettate in tutto il pianeta. Per altre bande di frequenza, specie per quelle UHF di uso più recente, le allocazioni sono differenti da regione a regione, anche se gli standard garantiscono l'interoperabilità.
- La scelta della frequenza di lavoro influisce sulla distanza (range) di operatività del sistema, sulle interferenze con altri sistemi radio, sulla velocità di trasferimento dei dati e sulle dimensioni dell'antenna.
- I sistemi che usano frequenze più 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 TAG passivi (con limitazioni a pochi metri delle distanze operative) sono diffusi TAG attivi che possiedono distanze operative maggiori.
- 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 TAG più piccoli.

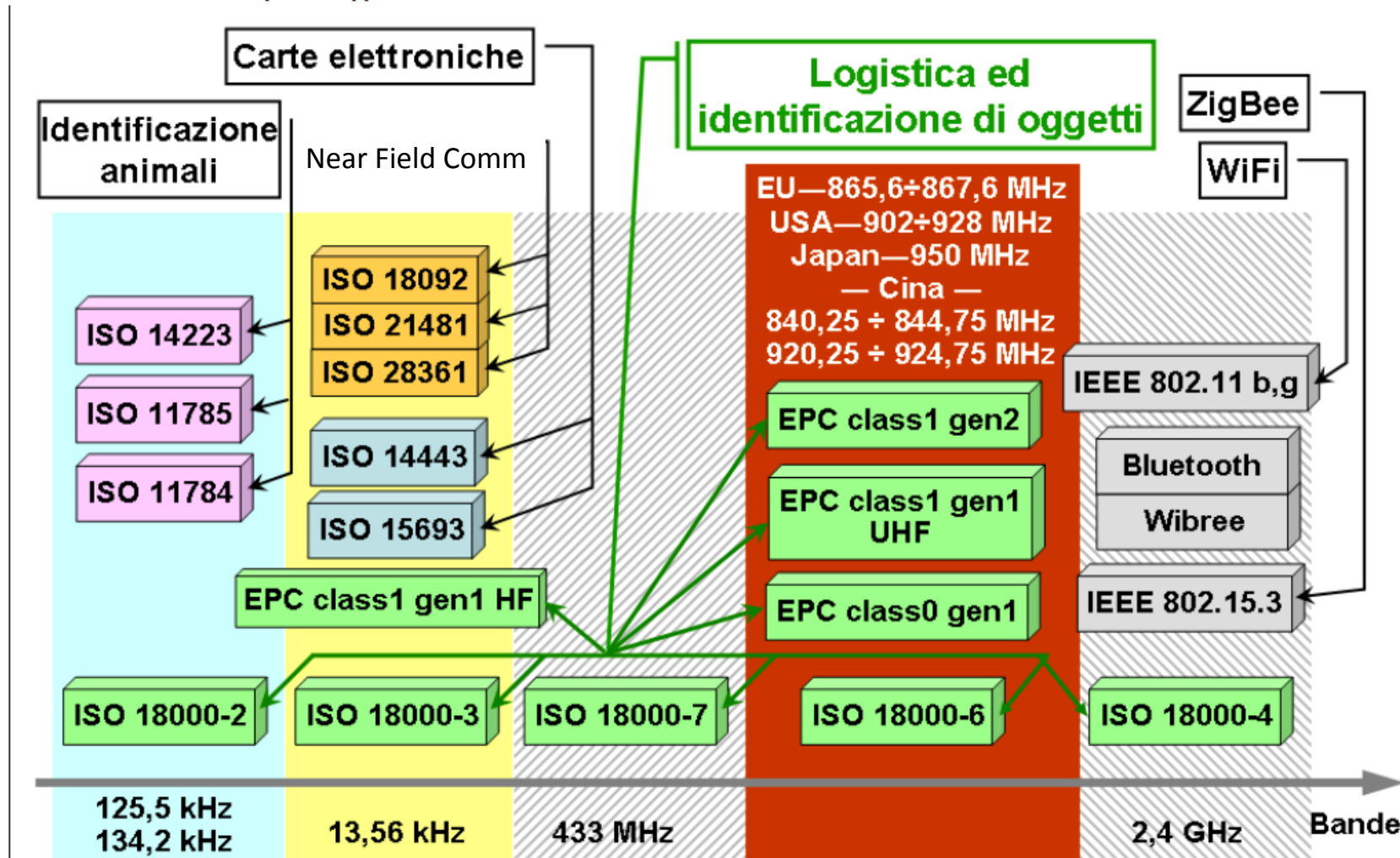
Frequenze

Le porzioni di bande di frequenze più comunemente usate sono:

- In banda LF (Low Frequencies) ed in particolare la sottobanda $120 \div 145$ kHz. E' storicamente la prima frequenza utilizzata per l'identificazione automatica e, ancora oggi, continua ad avere una presenza significativa nel mercato.
- In banda HF (High Frequencies) ed in particolare la sottobanda centrata su 13,56 MHz. È considerata la banda di frequenze "universale", usabile in tutto il mondo; questo ne ha fatto la banda più diffusa fino ad oggi.
- In banda UHF (Ultra High Frequencies), nella zona media, le sottobande $865 \div 870$ MHz in Europa – $902 \div 928$ MHz in USA – 950 MHz in Asia. È la "nuova banda" per gli RFID per la logistica e la gestione dei singoli oggetti, con distanze operative significativamente maggiori di quanto non sia consentito da LF ed HF. Purtroppo la banda non è assegnata in modo uniforme nelle varie nazioni.
- In banda UHF, nella zona alta, la sottobanda centrata su 2.4 GHz. Con caratteristiche simili all'UHF, permette una ulteriore miniaturizzazione del TAG. Si tratta, però, di una banda molto affollata da altre tecnologie (WiFi, Bluetooth, ZigBee), con le quali è necessario convivere. Tuttavia, al di fuori dell'Europa, vengono usati su questa banda sia TAG passivi che attivi, a standard ISO 18000-4.
- Esistono anche altre frequenze utilizzabili quali $433 \div 435$ MHz in banda UHF bassa o 5.8 GHz in banda SHF (Super High Frequencies).

I.4 CLASSIFICAZIONE DEI TAG PER STANDARD/FREQUENZE/APPLICAZIONI

Figura I.25
Classificazione dei TAG per
Standard/Frequenze/Applicazioni



L'Organizzazione internazionale per la normazione (International Organization for Standardization), abbreviazione ISO, è la più importante organizzazione a livello mondiale per la definizione di norme tecniche. Fondata il 23 febbraio 1947, ha il suo quartier generale a Ginevra in Svizzera.

Membri dell'ISO sono gli organismi nazionali di standardizzazione di 162 Paesi del mondo.

L'ISO coopera strettamente con l'IEC, responsabile per la standardizzazione degli equipaggiamenti elettrici.

Classificazione dei TAG per frequenze/tecnologie

TAG INDUTTIVI LF - 120 ÷ 145 kHz

- L'accoppiamento Reader-TAG avviene per via induttiva. Nel caso di TAG passivi la distanza operativa è all'incirca pari al diametro dell'antenna del lettore e varia dai 30 cm al metro, al di là di questa portata il campo si riduce molto rapidamente, in ragione di $1/d^3$ e l'energia captata dal TAG di $1/d^6$.
- Le frequenze operative più utilizzate:
 - 125,5 kHz principalmente nel settore automotive,
 - 134,2 kHz nella tracciabilità animale. Il TAG, protetto da un contenitore ceramico, viene fatto ingoiare ai bovini e staziona in permanenza in uno degli stomaci o, racchiuso in un contenitore di vetro, viene iniettato in posizione sottocutanea, oppure in forma di piccolo disco, viene applicato alle orecchie

is Instruments

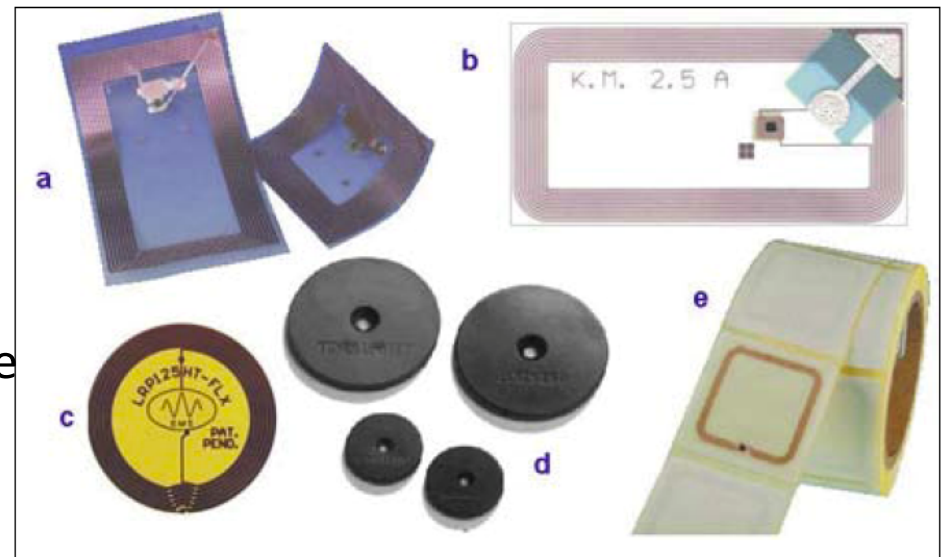
Figura I.18
A sinistra, TAG per uso animale: in ceramica da inserire nello stomaco dei bovini. Al centro e a destra "food-safe" RFID TAG, iniettabile [28] in prodotti alimentari (nella foto un pesce), ricoperto in plastica chirurgica, dimensioni 11 x 2.7 mm, modalità read/write, frequenze 134.2 o 125 kHz, resistente a temperature da -50°C a 160°C pressione fino a 900 bar
ENSID Technologies



Classificazione dei TAG per frequenze/tecnologie

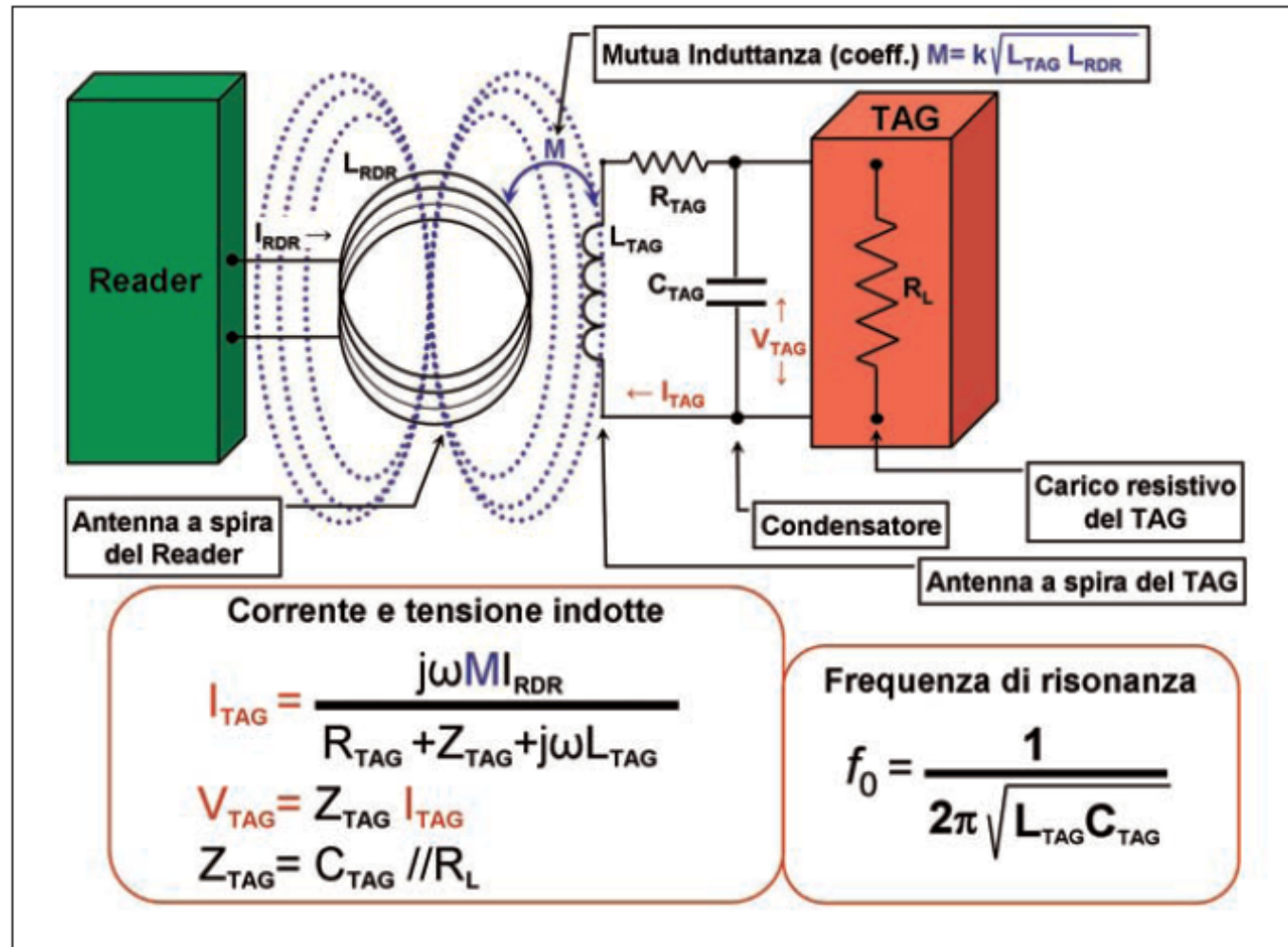
TAG INDUTTIVI HF - 13,56 MHz

- La sottobanda di frequenze è riconosciuta da tutti gli enti normatori mondiali e questo ne ha fatto la banda più diffusa.
- L'accoppiamento Reader-TAG avviene per via induttiva
- Le forme ed il tipo di packaging disponibili sono le più disparate. La configurazione tipica prevede un'antenna formata da un avvolgimento normalmente in rame, ma viene utilizzato anche l'alluminio. 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).
- il campo RF a 13,56 MHz non è particolarmente influenzato dall'acqua o dai tessuti del corpo umano.
- La banda HF è attualmente la più usata per le cosiddette "etichette intelligenti" (smart TAG) impiegate nella logistica e nella gestione degli oggetti. Ci sono poi le "Smart Card contactless", ovvero carte intelligenti senza contatto

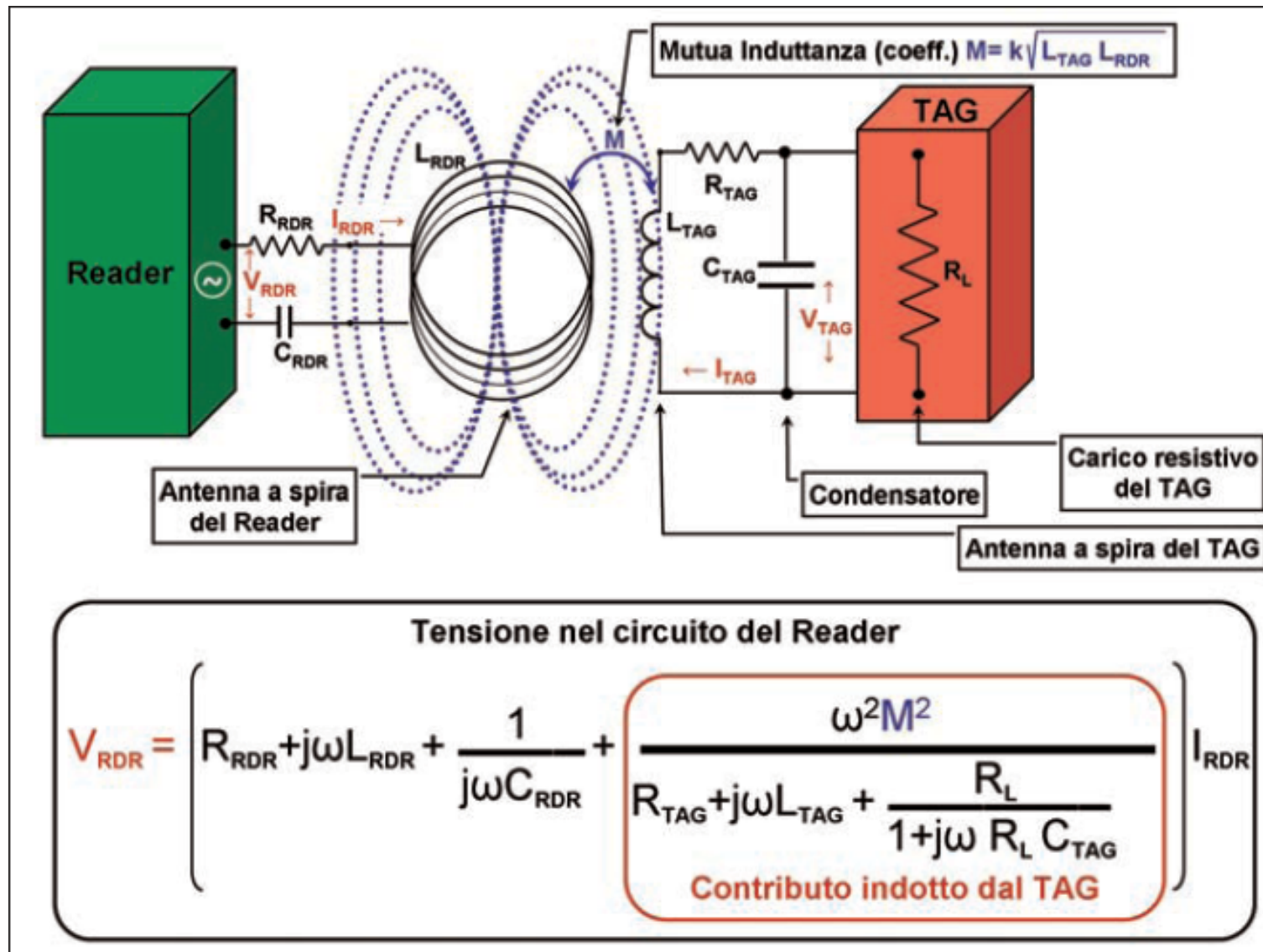


Accoppiamento induttivo - Reader -TAG

- L'accoppiamento induttivo tra TAG passivi e Reader avviene tra antenne a spire accoppiate (del Reader e del TAG) per rifornire il TAG di energia e trasmettere.
- Le due antenne sono, dal punto di vista elettrico, un circuito accordato LC (induttanza - condensatore) e si comportano in modo analogo ad un trasformatore elettrico.



Accoppiamento induttivo –TAG - Reader



Classificazione dei TAG per frequenze/tecnologie

TAG ELETTROMAGNETICI UHF MEDIA - 860 ÷ 950 MHz

- Le etichette RFID operanti a questa frequenza hanno una distanza operativa decisamente più estesa di quanto non fosse consentito con LF ed HF. Una distanza operativa di 3 metri è ormai standard, ma sempre più spesso estendibile verso cinque e più metri. La velocità di trasmissione risulta superiore a quella dei sistemi operanti a frequenze più basse.
- L'accoppiamento Reader-TAG avviene per via elettromagnetica, come nei tradizionali sistemi di radiocomunicazione.
- La dimensione dei TAG è legata alla lunghezza d'onda (min $\lambda/4$...)
- Problemi rispetto alle altre bande:
 - Le frequenze assegnate non sono univoche, così come le potenze. Da qui progetti a “banda larga” o su più frequenze.
 - Riflessioni: le strutture metalliche in prossimità dell'antenna possono riflettere le onde elettromagnetiche, generando max e min di campo: nei minimi i TAG possono risultare illeggibili.
 - Liquidi: l'assorbimento da parte dell'acqua delle onde elettromagnetiche si fa più consistente. L'efficienza di lettura in ambienti particolarmente umidi o con TAG applicati a contenitori di liquidi può diventare difficoltosa

Classificazione dei TAG per frequenze/tecnologie

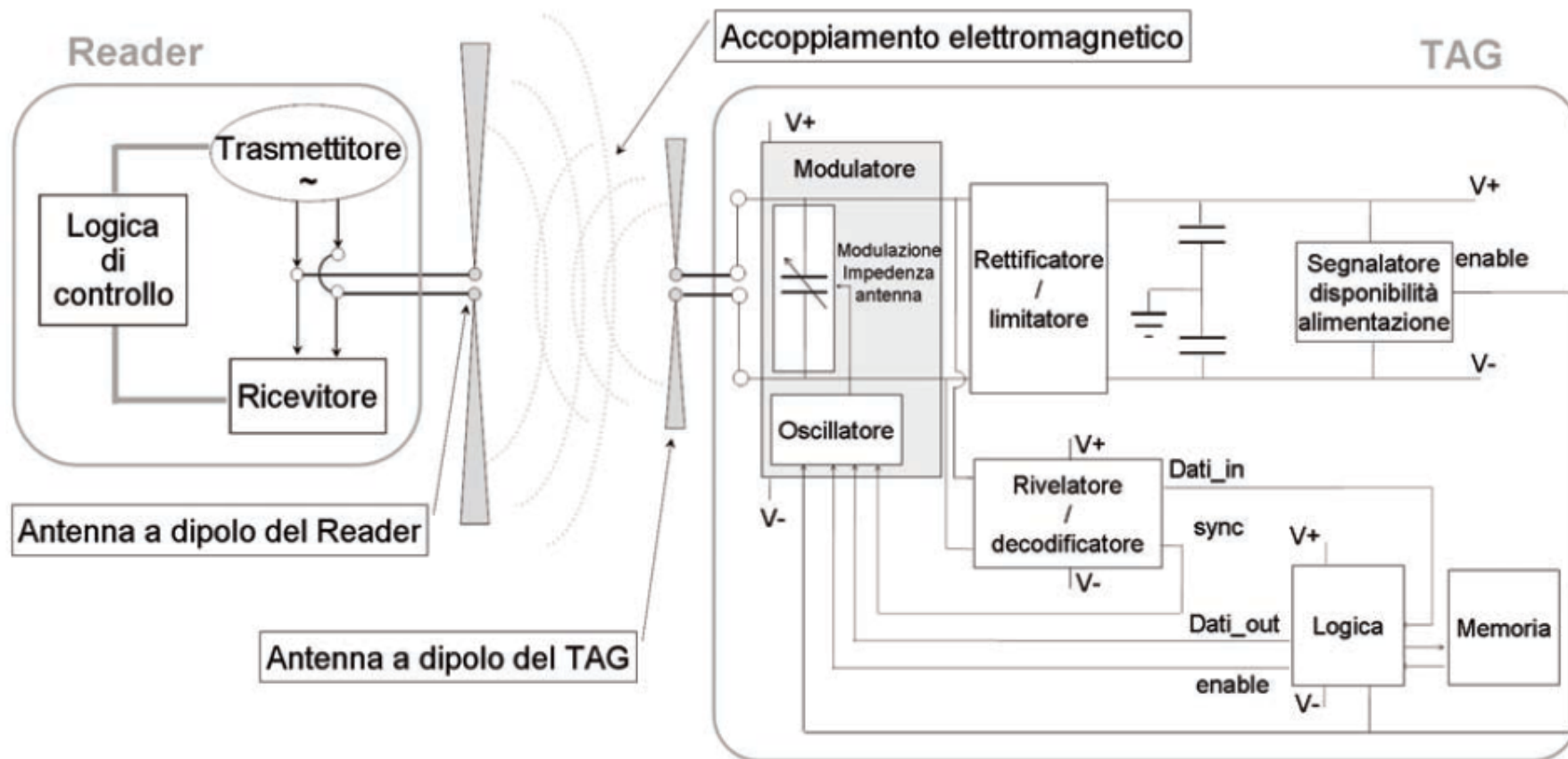
TAG ELETTROMAGNETICI UHF ALTA E SHF - BANDA 2.4 GHz

- Hanno comportamento e caratteristiche molto simili all'UHF e, grazie al legame tra dimensione d'antenna e lunghezza d'onda, consentono di ridurre la dimensione dell'antenna del TAG permettendo una ulteriore miniaturizzazione del medesimo. Alla riduzione dell'antenna corrisponde però una riduzione della capacità di captare energia dal campo EM incidente.
- Per contro il campo EM può essere più facilmente direzionabile anche con antenne molto compatte ottenendo aree di lettura molto ristrette e direzionali.

Accoppiamento elettromagnetico

- In sistemi come il radar o gli RFID passivi, un trasmettitore invia un'onda elettromagnetica ed un ricevitore rileva lo scattering generato da un oggetto sul quale l'onda incide. I TAG RFID modulano il backscatter attraverso la variazione dell'impedenza della propria antenna, ciò consente la comunicazione con il Reader.
- Le antenne dei TAG passivi che sfruttano l'effetto backscatter, sono pertanto progettate come un compromesso tra le capacità (antitetiche) di assorbire energia, per ricavare potenza per l'alimentazione del TAG, e di riflettere la potenza incidente, modulando il backscatter, per rispondere all'interrogazione.
- Uno dei maggiori problemi è dovuto al fatto che il campo emesso dal Reader, non è riflesso solo dall'antenna del TAG ma anche da tutti gli oggetti circostanti con dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda adoperata

Accoppiamento elettromagnetico

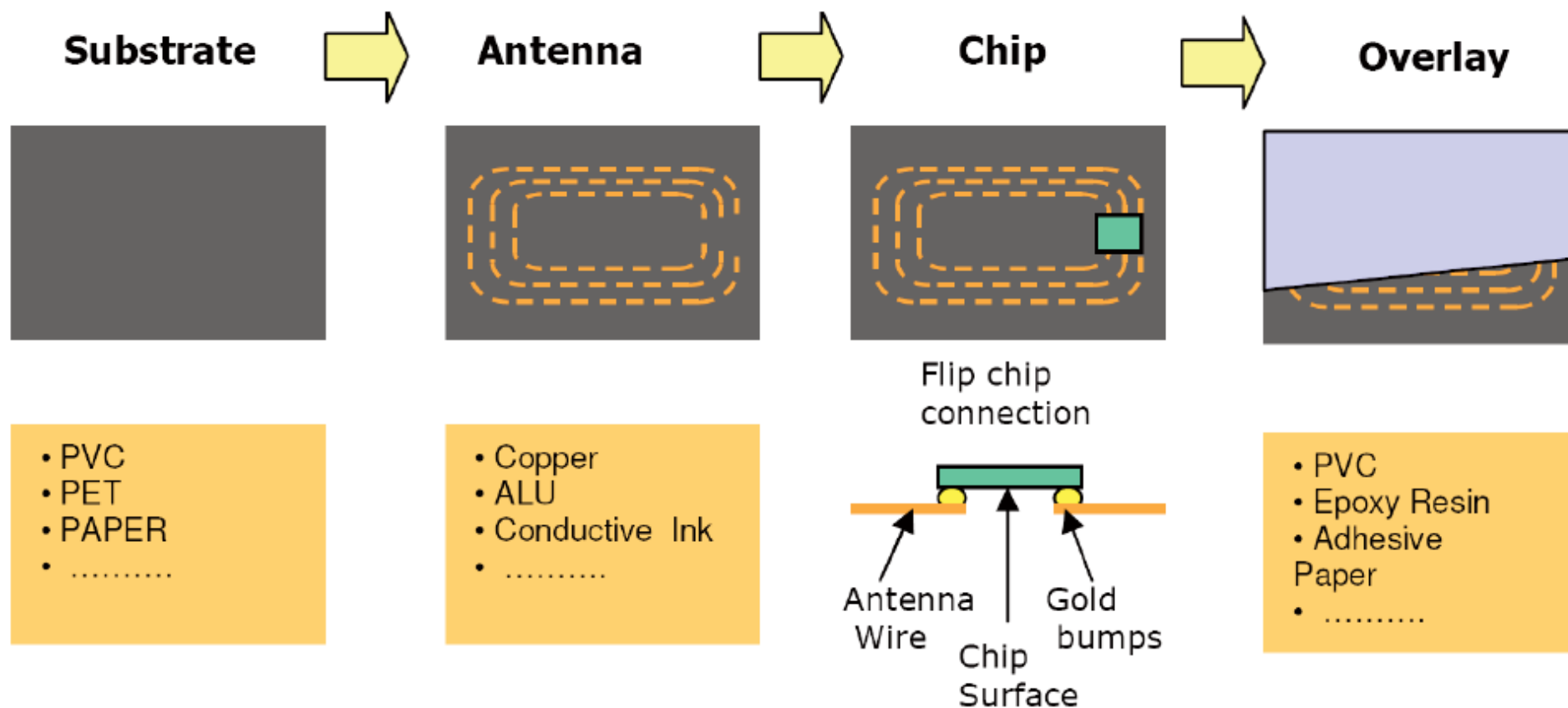


Tecniche di produzione dei TAG

Il processo più comune, usato nei TAG incorporati in etichette e smart card, prevede:

- un substrato di materiale elettricamente isolante e permeabile alle onde EM (carta, PVC, PET, ecc.);
- sul substrato viene depositata l'antenna realizzata con inchiostri conduttori o direttamente in metallo (argento, alluminio, rame);
- successivamente il chip con l'elettronica del TAG viene connesso all'antenna con l'uso di tecnologie tipiche dei circuiti ibridi (wire bonding, flip chip, ecc.);
- infine viene sovrapposto uno strato di materiale protettivo (laminazione in PVC, resina epossilica, carta adesiva, ecc.) per proteggere contro abrasioni, corrosioni ed urti.

Tecniche di produzione dei TAG



Parametri per la scelta di un TAG

- dimensioni e forma (in relazione alla collocazione del TAG);
- durata;
- riutilizzabilità;
- resistenza in ambienti critici (corrosivi, ad alta pressione, ecc.);
- polarizzazione (orientazione del TAG rispetto al campo del Reader);
- intervalli di temperatura in cui è previsto il funzionamento;
- distanza di comunicazione tra TAG e Reader;
- influenza da parte di eventuali materiali metallici e liquidi;
- ambiente operativo (distanze reciproche dei TAG, presenza di rumore elettrico, presenza di altri apparati radio, ecc);
- frequenze operative (LF, HF o UHF);
- standard e protocolli di comunicazione supportati (ISO, EPC);
- soddisfacimento di regolamentazioni regionali (USA, Europa, Asia);
- ammontare dei dati da memorizzare nel TAG;
- caratteristiche anticollisione (numero massimo di TAG nel range di operabilità e velocità di identificazione);
- velocità dei TAG all'interno del campo del Reader;
- supporto di Reader (quali prodotti Reader sono in grado di leggere i TAG);
- necessità di protezione dei dati del TAG (eventuale necessità di cifratura).

Stima della regione di funzionamento nell'ambiente operativo

- La **zona di lettura** (regione in cui il campo è maggiore della sensibilità del TAG) è uno dei principali indicatori delle prestazioni di un sistema RFID in quanto determina l'applicabilità di questa tecnologia ad uno specifico contesto. Essa dipende da molti parametri fisici e geometrici ma tipicamente, nella banda di frequenze UHF (860 MHz – 960 MHz), la dimensione massima della zona di lettura viene stimata con modelli di propagazione più o meno complessi:
 - Formule semplificate di valutazione del campo in spazio libero (in trasmissione, e in ricezione)
 - Formule semplificate di valutazione del campo in spazio libero con un parametro di “proiezione del campo” che tiene conto di ambienti chiusi
 - Modello a due raggi
 - Simulazioni elettromagnetiche tipo “ray tracing”
- La **regione di interdizione** è invece quella regione in cui il campo elettrico, moltiplicato per la radice del duty cycle, eccede il limite imposto dalle normative

Calcolo del campo: formule semplificate spazio libero

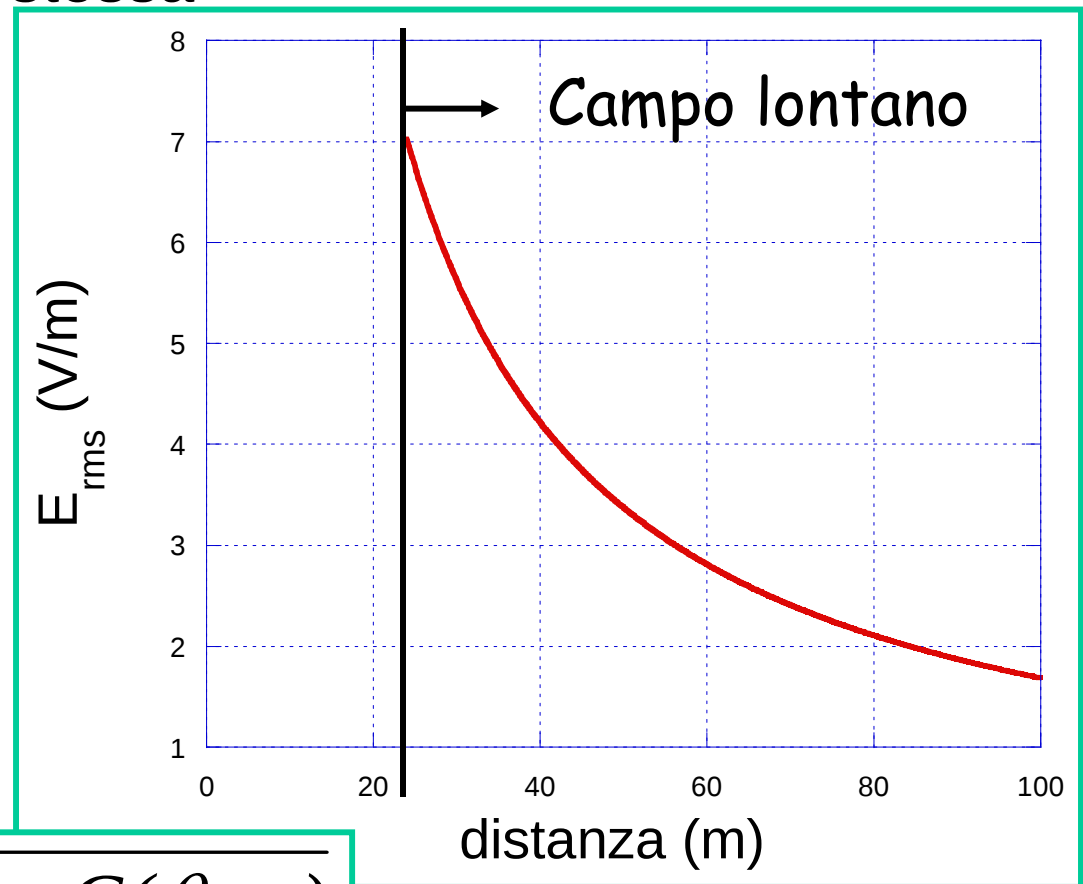
Valutazione del campo elettrico irradiato da un' antenna nel campo lontano dell' antenna stessa

$$S(r, \theta, \varphi) = \frac{P_{in} G(\theta, \varphi)}{4 \pi r^2}$$

$$S(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\zeta} |\underline{E}_{rms}(r, \theta, \varphi)|^2$$

$$|\underline{E}(r, \theta, \varphi)| = \sqrt{\zeta S(r, \theta, \varphi)}$$

$$(\zeta_0 = 120 \pi \Omega)$$



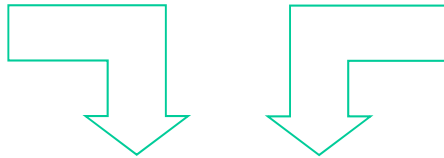
$$|\underline{E}_{rms}(r, \theta, \varphi)| = \frac{\sqrt{30 P_{in} G(\theta, \varphi)}}{r}$$

Calcolo del campo: formule semplificate indoor

- Si considera il **path loss**, definito, in dB, come la differenza tra la potenza trasmessa e quella ricevuta:

densità potenza
trasmessa a distanza R

$$S[W/m^2] = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2}$$



potenza ricevuta

$$P_R[W] = S A_{eff} \eta = S \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R$$

$$P_R[W] = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2}$$

$$PL(dB) = 10\log_{10} \frac{P_T}{P_R} = 10\log_{10} \frac{(4\pi)^2 R^2}{G_T G_R \lambda^2}$$

- moltiplicando e dividendo per una distanza R_0 di riferimento

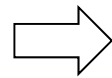
$$PL(dB) = 10\log_{10} \frac{P_T}{P_R} = 10\log_{10} \frac{(4\pi)^2 R^2}{G_T G_R \lambda^2} \frac{R_0^2}{R_0^2} = 10\log_{10} \frac{(4\pi)^2 R_0^2}{G_T G_R \lambda^2} + 10\log_{10} \frac{R^2}{R_0^2}$$

$$PL(dB) = PL(R_0) + 10\log_{10} \frac{R^2}{R_0^2}$$

Calcolo del campo: formule semplificate indoor

- Un generico modello userà un parametro γ per esprimere la dipendenza del path loss dalla distanza:

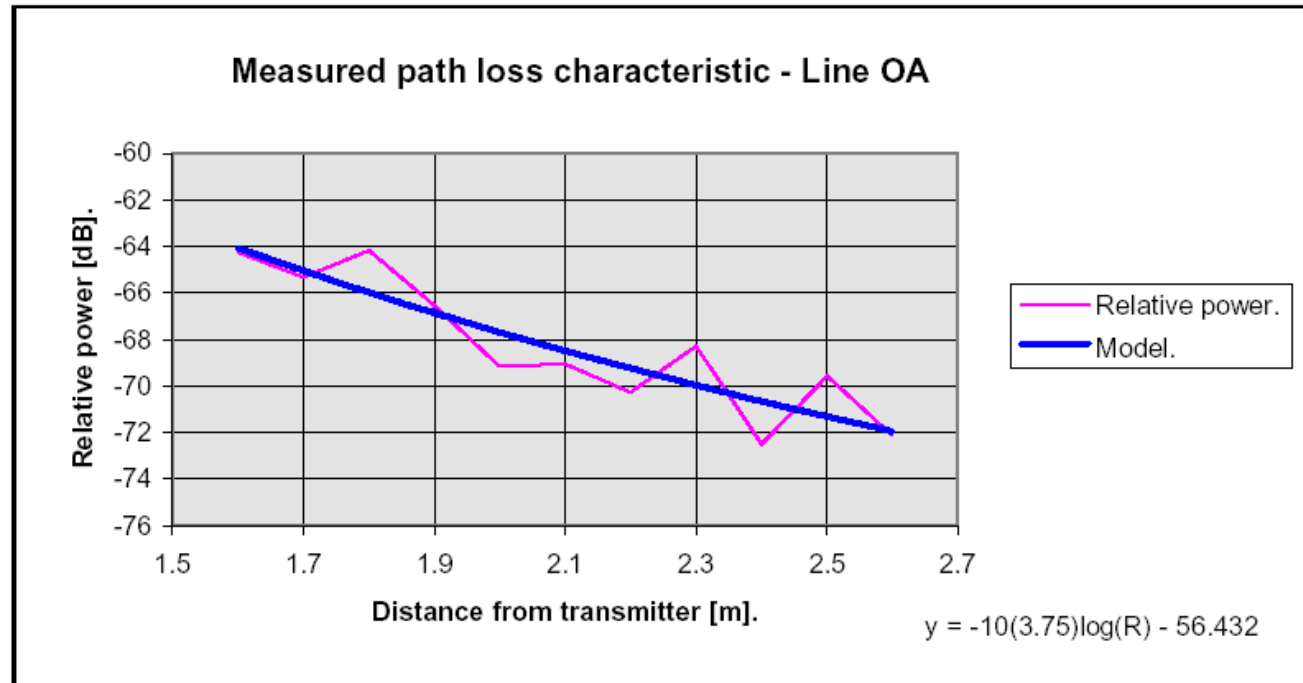
$$PL(dB) = PL(R_0) + 10 \log_{10} \frac{R^2}{R_0^2}$$



$$PL(dB) = PL(R_0) + 10\gamma \log_{10} \frac{R}{R_0}$$

- $PL(R_0)$ valore di PL in un punto di riferimento prossimo al trasmettitore
 - γ risulta pari a 2 nello spazio libero
- INDOOR:
- Quando il trasmettitore ed il ricevitore sono in vista, γ varia tipicamente tra 1.5 e 1.8.
 - Se viceversa il ricevitore ed il trasmettitore sono collocati in stanze diverse γ può variare tra 3 e 4.
 - γ inoltre dipende dalla frequenza e dai materiali con cui sono realizzate le pareti dell'edificio.

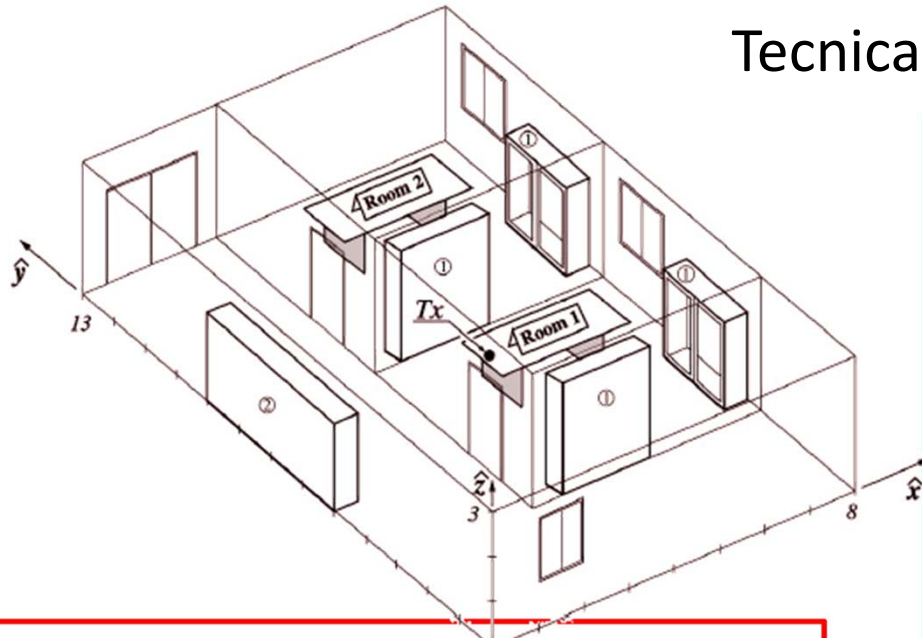
Calcolo del campo: formule semplificate indoor



In un ambiente indoor il parametro γ può essere stimato effettuando delle misure a varie distanze dall' antenna. In particolare per ridurre gli effetti del fast fading, ogni misura dovrà essere la media di N misure effettuate in un cubo centrato nel punto di misura.

Calcolo del campo: ambiente complesso

Tecnica numerica (ray-tracing)



$$\underline{E}^d(s) = \underline{E}(0) \sqrt{\frac{\rho_1 \rho_2}{(\rho_1 + s)(\rho_2 + s)}} e^{-jks} e^{j(n-m)\pi/2}$$

$$\underline{E}^r(s) = \underline{E}^i(Q_r) R \sqrt{\frac{\rho_1^r \rho_2^r}{(\rho_1^r + s^r)(\rho_2^r + s^r)}} e^{-jks^r}$$

$$\underline{E}^s(s) = \underline{E}^i(Q_e) \underline{D} A(s) e^{-jks}$$

$$\underline{E}^{TOT}(s) = \underline{E}^d(s) + \sum \underline{E}^r(s) + \sum \underline{E}^d(s)$$

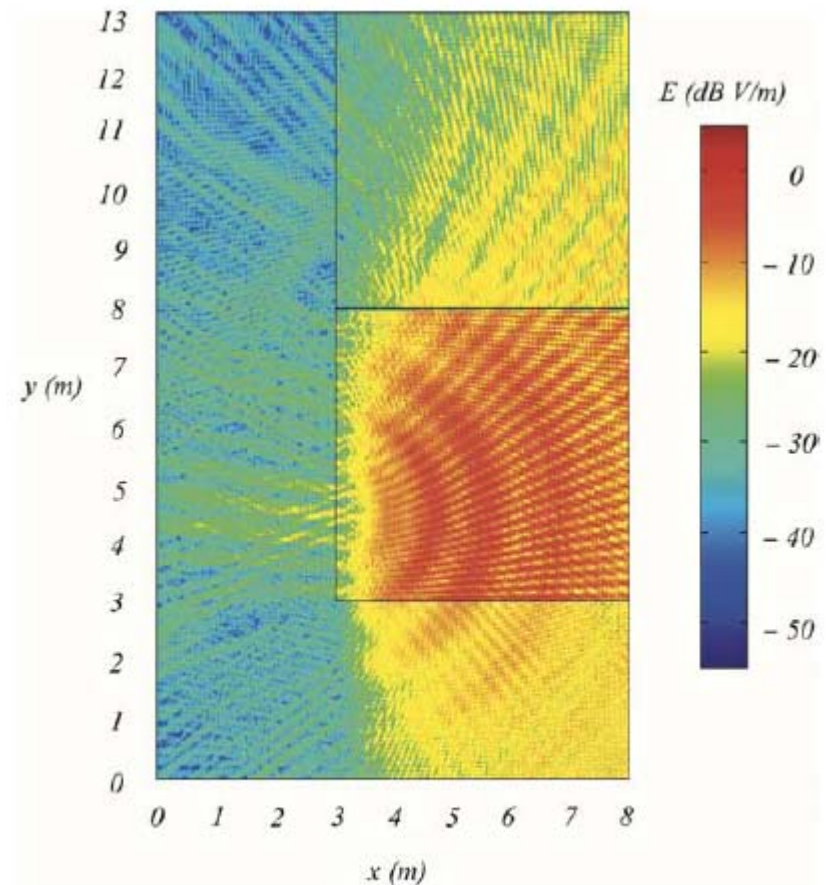
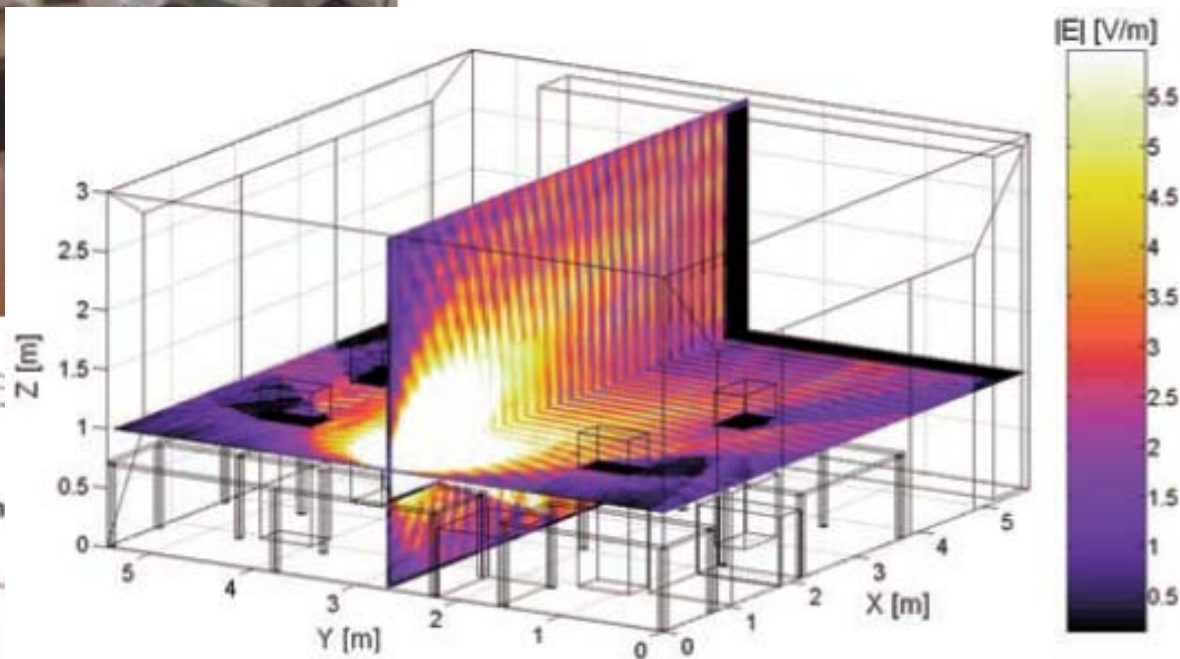
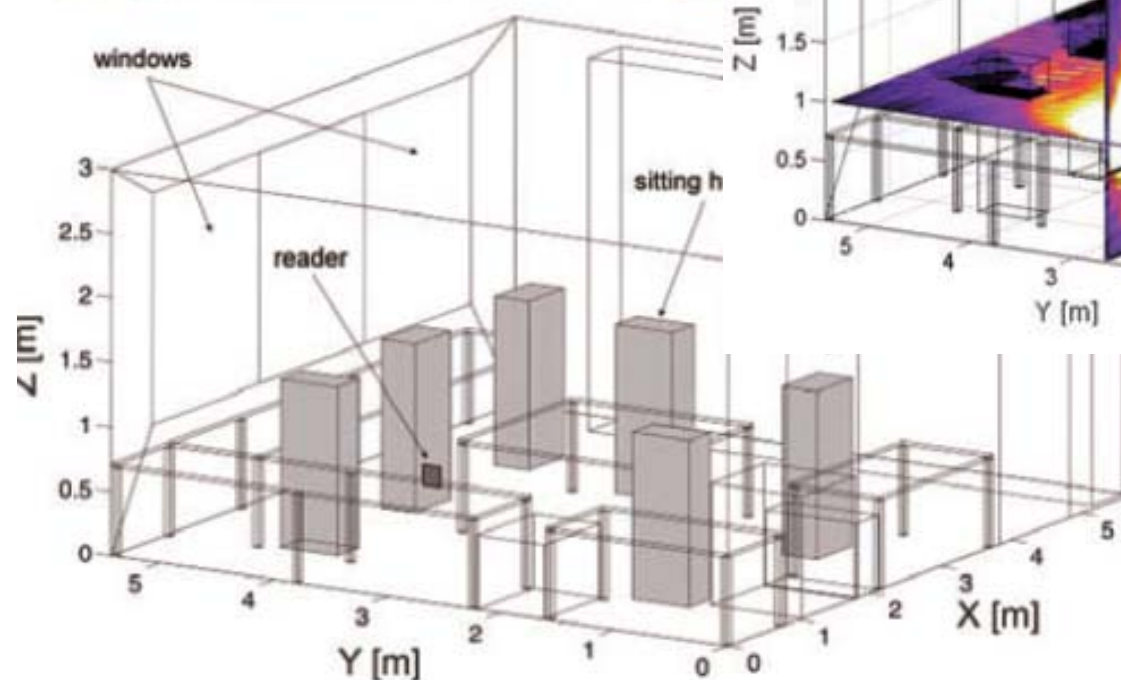


Fig. 5. Electric field magnitude at 1 m above the floor of the first storey. Empty frequency 2.44 GHz.

Esempi di “copertura”

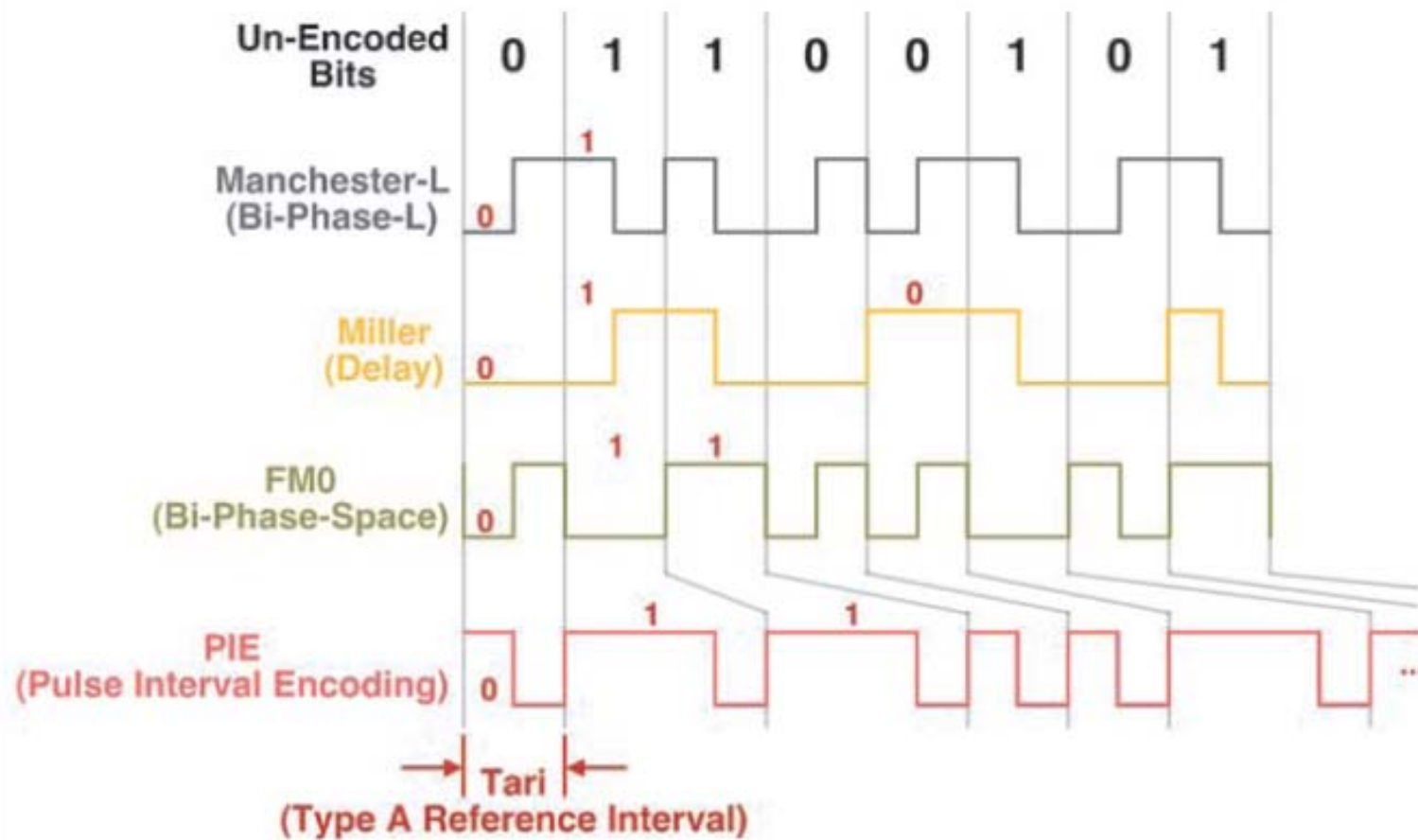


Campo elettrico (valore r.m.s.)
predetto dal modello di ray tracing
nella stanza laboratorio in presenza di
persone per una emissione del reader
di 3.2W EIRP.

Codifica dei dati

- Nel TAG e nel Reader, i dati da trasmettere devono essere codificati in modo da generare un segnale unipolare binario che verrà usato per la modulazione.
- Esistono numerosissime tecniche di codifica, ognuna con caratteristiche differenti relativamente all'occupazione spettrale in banda base, alla complessità di co-decodifica, alla difficoltà di ricostruire la temporizzazione in ricezione, alla sensibilità ai disturbi (che determinano errori di trasmissione) e all'energia trasferita.
- Nella trasmissione Reader=>TAG deve essere massimizzata l'energia nel segnale, per fornire la maggior energia possibile al TAG. Nella trasmissione TAG=>Reader deve essere minimizzata l'energia nel segnale, per la scarsità di energia disponibile. D'altro canto l'ampiezza del segnale deve essere tale da consentirne la rilevazione da parte del Reader.
- In genere si utilizzano codifiche basate sulla durata degli impulsi (PIE - Pulse Interval Encoding) oppure basate sulle transizioni (Manchester, Miller, FM0).

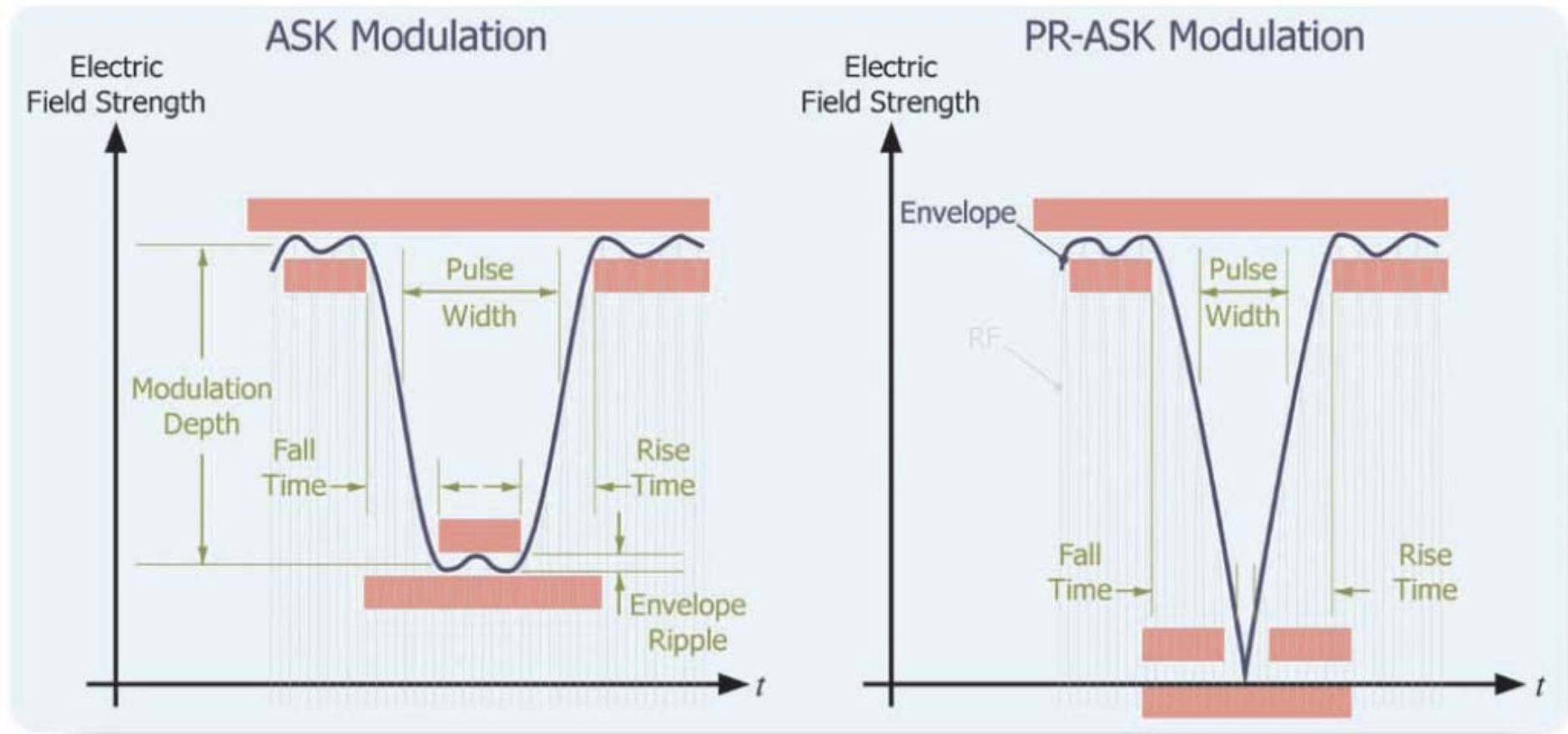
Codifica dei dati



Tecniche di modulazione

- Nella comunicazione tra Reader e TAG e viceversa, vengono usate tecniche di modulazione semplici che richiedono bassa complessità circuitale e in cui l'ampiezza, la fase o la frequenza, vengono variate in accordo con l'informazione trasportata da un segnale unipolare binario.
- I tre tipi di modulazione più comuni sono:
 - ASK – (Amplitude Shift Keying), modulazione d'ampiezza binaria, il segnale modulante (binario) causa la variazione tra due ampiezze della portante
 - Phase Reversal-ASK (PR-ASK) nella quale il segnale modulante (binario) causa lo spostamento di fase di 180° della portante. Simile alla cosiddetta BPSK (Binary Phase Shift Keying) prevede che la rivelazione avvenga sulla base dell'ampiezza del segnale ricevuto, e non della fase, così da ottenere un segnale in banda base simile a quello ricavato ad una modulazione ASK.
 - FSK – (Frequency Shift Keying), il segnale modulante (binario) causa lo spostamento della portante tra due frequenze

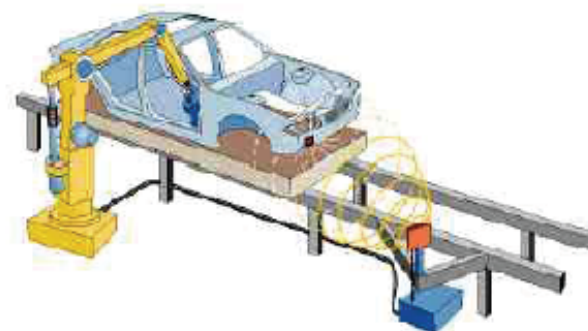
Modulazione



Esempi di applicazioni “commerciali”



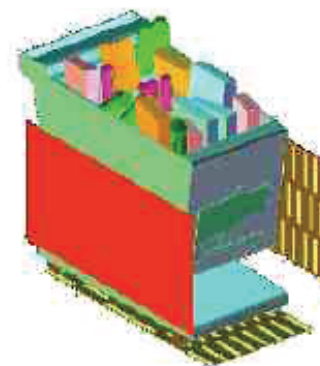
Telepass: il reader alla stazione di pedaggio legge il tag montato sul veicolo entrante e, se lo riconosce abilitato al passaggio, permette al veicolo di uscire dalla stazione



Catene di montaggio: i tag applicati sui pezzi in fase di produzione permettono il monitoraggio del loro movimento durante l'assemblaggio



Controllo accessi: il reader vicino alla porta riconosce il codice ID dei tag portati dai dipendenti, abilitando l'apertura della porta



Vendita al minuto: gli articoli in vendita sono etichettati con tag contenenti le informazioni del prezzo, che vengono trasferite al reader

Applicazioni “avanzate”

Real Time Location (RTL):

Consentono anche di determinare la posizione degli oggetti identificati utilizzando la trasmissione, da parte dei TAG, di segnali verso diversi reader situati in posizione fissa, al fine di consentire ad una unità di base di eseguire una accurata triangolazione.

- Ausilio ai non vedenti
- Localizzazione di auto nei parcheggi

Sensori distribuiti:

Il tag è parte integrante di un sensore (ambientale, medico) e invia in tempo reale il dato letto ad una rete di raccolta



Problematiche di privacy e sicurezza

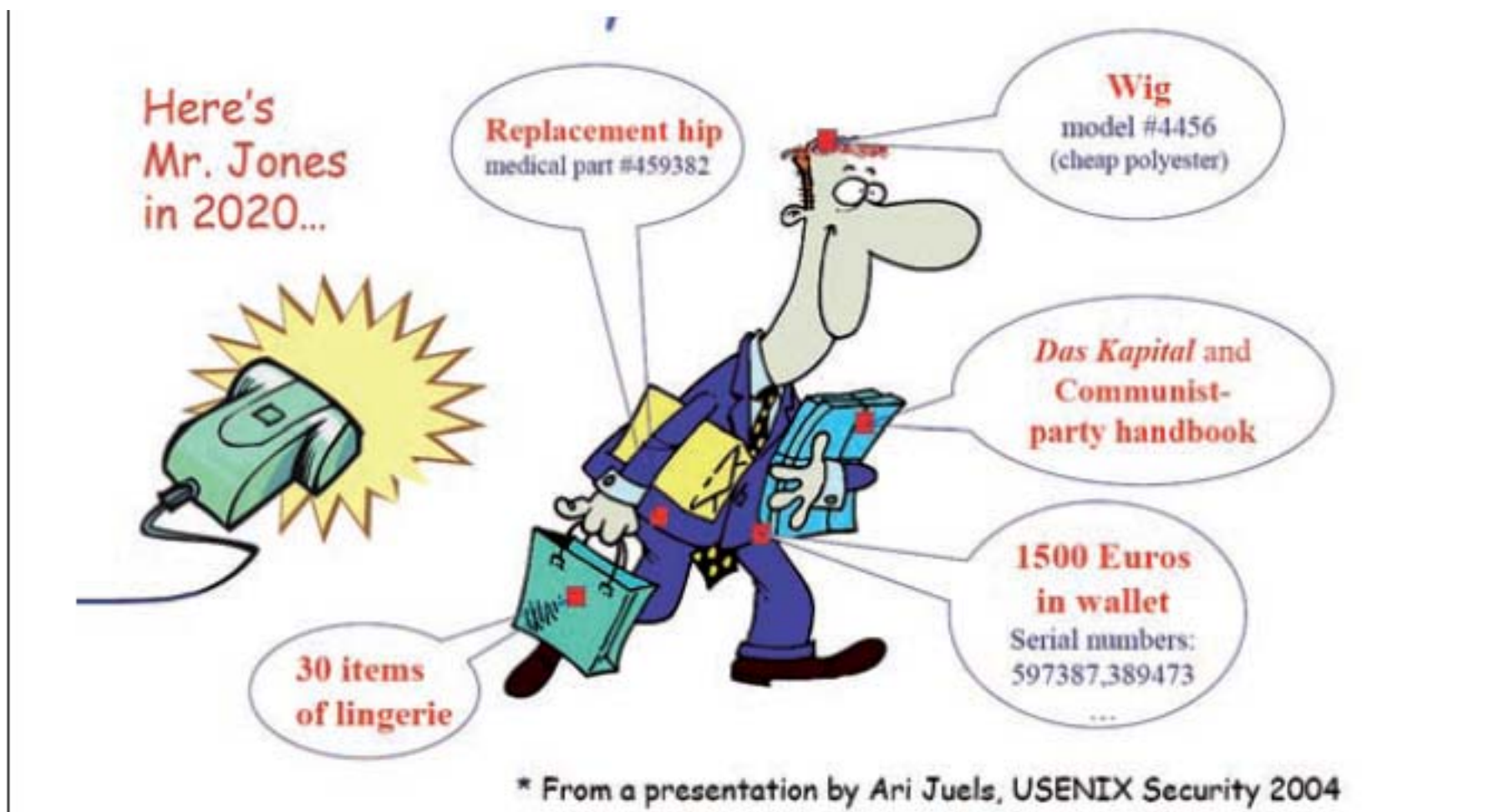
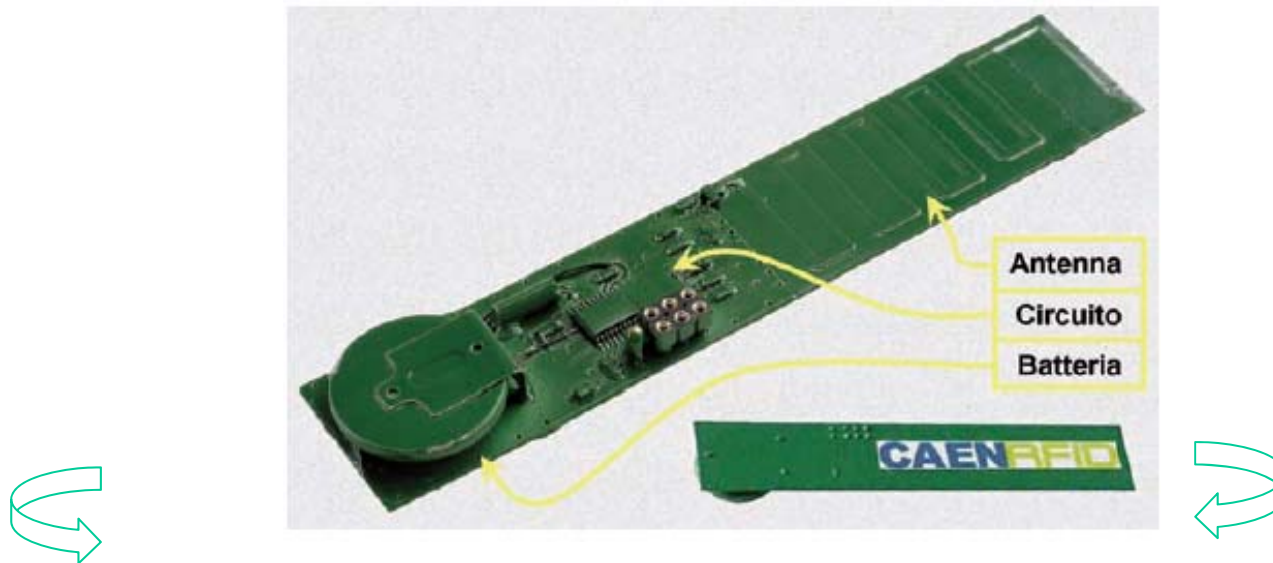


Figura VIII.10

Principali minacce alla privacy dei consumatori

RF – ID in applicazioni biomediche



reti di sensori per la gestione
di ambienti sanitari

reti di sensori per il controllo
di parametri vitali del corpo
e/o la salute degli anziani e
dei malati cronici

Gestione ambienti sanitari: i bisogni

- Hospitals are currently facing challenges of improving patient safety and reducing operational costs, which are often compromised by human and systemic errors. **The Institute of Medicine (IOM) estimated that between 44,000 and 98,000 deaths per year were related to medical errors**, showing the desperate need to improve the patient safety in U.S. hospitals [7]. Meanwhile, achieving high operational efficiency in healthcare is another essential goal for organizational performance evaluation [8].
- Five problems are identified as the common phenomena that lead to healthcare operation failures including:
 - medical mistakes [9],
 - increased costs [3],
 - theft loss [9] [10],
 - drug counterfeiting [11],
 - inefficient workflow [12]

I bisogni

Errori medici

- The Institute of Medicine (IOM) estimated that between 44,000 and 98,000 deaths per year were related to medical errors, while the Food and Drug Administration (FDA) estimated that number to be nearly 500,000 [9].
- However, the FDA also estimated that half of the drug errors are preventable by adopting the appropriate information technologies. Medical malpractice can come from patient misidentification which is recognized as a serious risk to patient safety [13], adverse drug events, infant missing or mismatch, and accidents like sewn-up of surgical tools inside the patient body after the operation

Aumento costi

- Hospitals are actively seeking solutions to reduce the rising healthcare expenses as well as not adversely affecting patient satisfaction. According to [3], a good health information system could save economy \$140 billion a year. That is about 10% of our total health-care spending, and that's a conservative estimate.

I bisogni

Sottrazione strumenti (ruberie Theft)

- It is estimated that the theft of equipment and supplies costs hospitals \$4,000 per bed each year, which represents a potential loss of \$3.9 billion annually with over 975,000 **staffed** beds in the U.S. [10]. Besides, some recyclable medical instruments are unnoticed and discarded by the cleaners without medical knowledge

Medicine contraffatte (*counterfeiting*)

- Tempered or altered products entering the healthcare supply chain is a growing concern [1]. The FDA estimated that up to 40 percent of the medicines shipped from countries such as Colombia and Mexico may be counterfeit [11]. The pharmaceutical industry reported that it loses \$2 billion per year due to counterfeiting drugs.

Flusso di lavoro inefficiente

- Inefficient workflows exist in every hospital because of the difficulty in allocating resources in real time. For example, doctors and nurses wasted over 30 percent of their working time searching for or reading information about patients.

Applicazioni di RF-ID nella gestione della salute

Research papers on hospital applications mainly dealt with five categories in terms of system functionalities:

- tracking,
- identification and verification,
- sensing,
- interventions,
- alerts and triggers

Traking

- Active RFID tags along with barcode are used to track infusion pumps, beds, and wheelchairs in a 120 bed acute-care hospital [7];
- Brigham and Women's Hospital in Boston, USA used RFID tags to track commonly lost medical items [17];
- [19] evaluated an infrared/RFID equipment tracking system in a tertiary care hospital and observed increased use of infusion pumps as a result of efficient tracking capability;
- RFID is moving towards tracking vulnerable patients, e.g., elderly dementia patients [20], children [21], and newborn [22]. Further, RFID is used to accurately determine the location of victims and staff at the emergency site [15] [23]. Hospital staff tracking is also presented as a prototype [24]. Compared to asset tracking, people tracking is more challenging since it involves patients, doctors, medical know-how and other organizational, privacy and social issues [25].
- Tracking drugs from creation to receipt is applied in the pharmaceutical industry, to alleviate drug counterfeiting, theft, and misuse of medications [3].
- Besides, RFID is used to track other medical supplies that are sensitive to environment, e.g., blood bag [28].

Identificazione e verifica

- Positive patient identifications (PPI) applications include using a smart patient wristband that when scanned by a RFID reader reveals patient information such as name, date of birth, admitting orders, insurance information, and the surgical site [13].
- PPI applications also include newborn identity reconfirmation [22] and disaster victim identification (DVI)
- Mount Sinai Hospital of New York conducted pilots on tagging contrast agent syringes with details on the volume, name, as well as the expiration date of the product [34];
- a new specimen-labeling system that uses RFID was proved to be useful in reducing specimen labeling errors in the pathology laboratory [35];
- RFID tag-labeled endotracheal tubes have been used for accurate bedside monitoring of endotracheal tube position [36] to reduce health risk to patients. In addition, these specimens can be uniquely and accurately linked to a patient's records so as to prevent human errors.

Sensing

- Sensing applications of RFID include integration with physical and chemical sensors for logistic data logging [37], and integration with gas sensors for food logistics [38]. Others include temperature sensing [39], humidity sensing [40], and chemical sensing [41].
- In hospitals, temperature sensing makes it very convenient to track tainted blood to aid in protecting a hospital's blood supply; chemical sensing can support advanced medical monitoring. In the future, RFID tags will likely be used as environmental sensors on an unprecedented scale [42].

Intervention

- RFID-enabled interventions can provide automated care, improve current procedure, guide pathway, enable automatic data capturing and collaboration, etc.
- First, automated care is helpful for patients at home, e.g., a self pill-dispenser to help patients take their dose safely [43], and an assisted living system to support daily activities for visually sighted or brain injured people [44]. Second, RFID interventions can help alter current procedures and automate manual process in hospitals, e.g., automatically determining patient discharge time [45].
- currently data collection in hospitals is done manually. This process is time consuming and error prone. This problem can be solved by RFID.
- RFID can help build intelligent clinical diagnosis and treatment support system [53], which is applied in Alfred hospital, Melbourne, Australia.
- With the data logged by RFID, hospitals can provide an audit trail of the equipment and staff involved, in the event of an incident with patients [54].

Alerts and triggers

Applications involving alerts and triggers are designed to protect patient from dangerous events or emergencies during the surgery, blood transfusion, drug administration, hand hygiene monitoring, etc.

- In the surgical environment, 1,500 objects are estimated left inside patient bodies after surgery each year in the U.S., and two-thirds of them are **sponges** [55]. To solve this problem, a handheld wand scanning device was proposed to detect sponges inside the patient body [55]; a similar experiment was conducted with a detection accuracy of 100% [56]; use of gauze sponges with embedded passive RFID tags was tested with an animal and proved useful [57].
- During blood transfusion, it is important for a patient to receive the safest blood possible, which is done by tracking the donated blood to guarantee the quality of the blood source [59].
- Drug administration can be improved by alerting care providers any critical situation. A dosage system presented by [61] used PDA to scan the barcodes on the drug package and the RFID wristband carried by a patient, to alert drug mismatch, over-dosage or drug errors. Taichung Hospital in Taiwan deployed a drug administration system and showed effective reduction of medication errors [67].
- Other uses can include tube and syringe monitoring, hand hygiene monitoring, etc.

Benefits

TABLE II
BENEFITS OF RFID APPLICATIONS IN HEALTHCARE

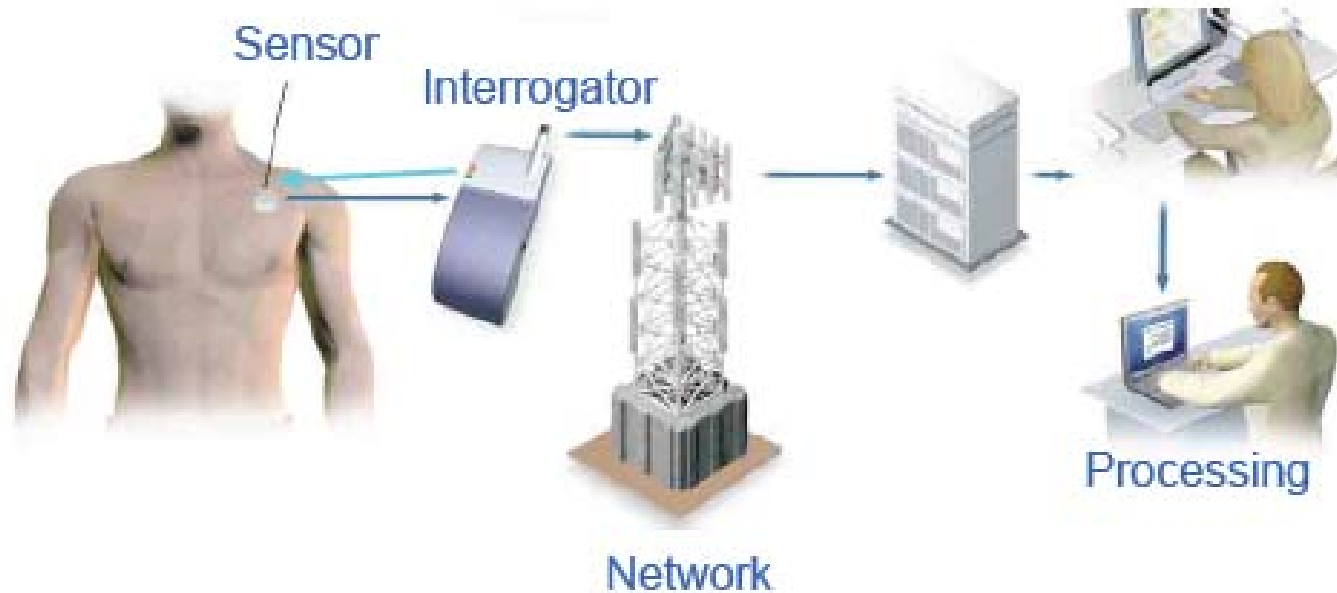
Benefits	Findings
Increased safety or reduced medical errors	Reduce misidentification of patients [13], medical articles [32] [33], patient chart and images [54]. Improve patient drug compliance by monitoring dosage taking process [61] [63]. Affection control during disease fashion [73].
Real-time data access	Provide real-time data access for health professionals via hand-held wireless PDA, e.g., contact history of patients [74], online laboratory data and radiology report [75].
Time saving	Identify empty beds >20 minutes earlier 67% of time [45]. Identify a time reduction of more than 50% in the daily activities of hospital staff [69].
Cost saving	A 500 bed hospital could save \$1 million annually [12]. Reduce theft loss [16] [25] and unnecessary waste [72]. Bon Secours Richmond Health System finds RFID saves \$2 million annually by real-time location system [76].
Improved medical process	Streamline patient admission to ICU [75]. Process can be improved so patients can have less waiting time and enhanced care experience [54] [73].
Other benefits	Improve drug supply [27] [71], improve resource utilization [19] [72], improve patient satisfaction [3].

Barriere

TABLE III
BARRIERS TO RFID ADOPTION IN HEALTHCARE

Barriers	Findings
Interference	Electronic medical devices may fail in the presence of high-power RFID reader [85]. In 123 Electromagnetic interference (EMI) test, RFID include 34 EMI incidents: 22 were classified as hazardous, 2 as significant, and 10 as light [77].
Ineffectiveness	Tag placement is one of the main factors involved in correct identification of people and medical equipment [78]. RFID tag readability is strongly dependent on the factors such as dosage form, angle of rotation, read distance [79]. Readability can be affected by insufficient read range, and existence of multiple tagged objects [70].
Standardization	The lack of standardization of the protocols for RFID at the hardware and software levels causes lack of interoperability across providers [82].
Cost	RFID infrastructure can run from \$200k to \$600k for a tracking system in a medium-sized hospital [86]. Integration costs can range from \$3 to \$16 million [32]. An RFID system can run from \$20k to over \$1 million [87]. A typical 800-bed hospital spends additional \$1,050 per day in medication tagging alone [68].
Privacy and legal issues	Privacy concerns can include inappropriate collection, intentional misuse, or unauthorized disclosure of healthcare information resulting from use of RFID technology [80]. RFID systems introduce a key ethical concern regarding privacy because of its surveillance potential [82].
Other barriers	Lack of organizational support [82], trust issue [83], unclear return on investment [88], security concern [84], current RFID systems not designed for needs of hospitals [82].

The Use of RFID in Healthcare



**Design of *on-body* RFID
tags suited to host
sensors and electronics**

Gestione della salute

Gestione della salute

There are several prototypes as well as commercially available products.

- When several applications are investigated, it is observed that these applications have common properties. Most of the existing solutions include one or more types of sensors carried by the patient, forming a Body Area Network (BAN), and one or more types of sensors deployed in the environment forming a Personal Area Network (PAN). These two are connected to a backbone network via a gateway node. At the application level, the healthcare professionals or other caregivers can monitor the vital health information of the patient in real-time via a graphical user interface (GUI).

Scenario di un'applicazione di una rete di sensori

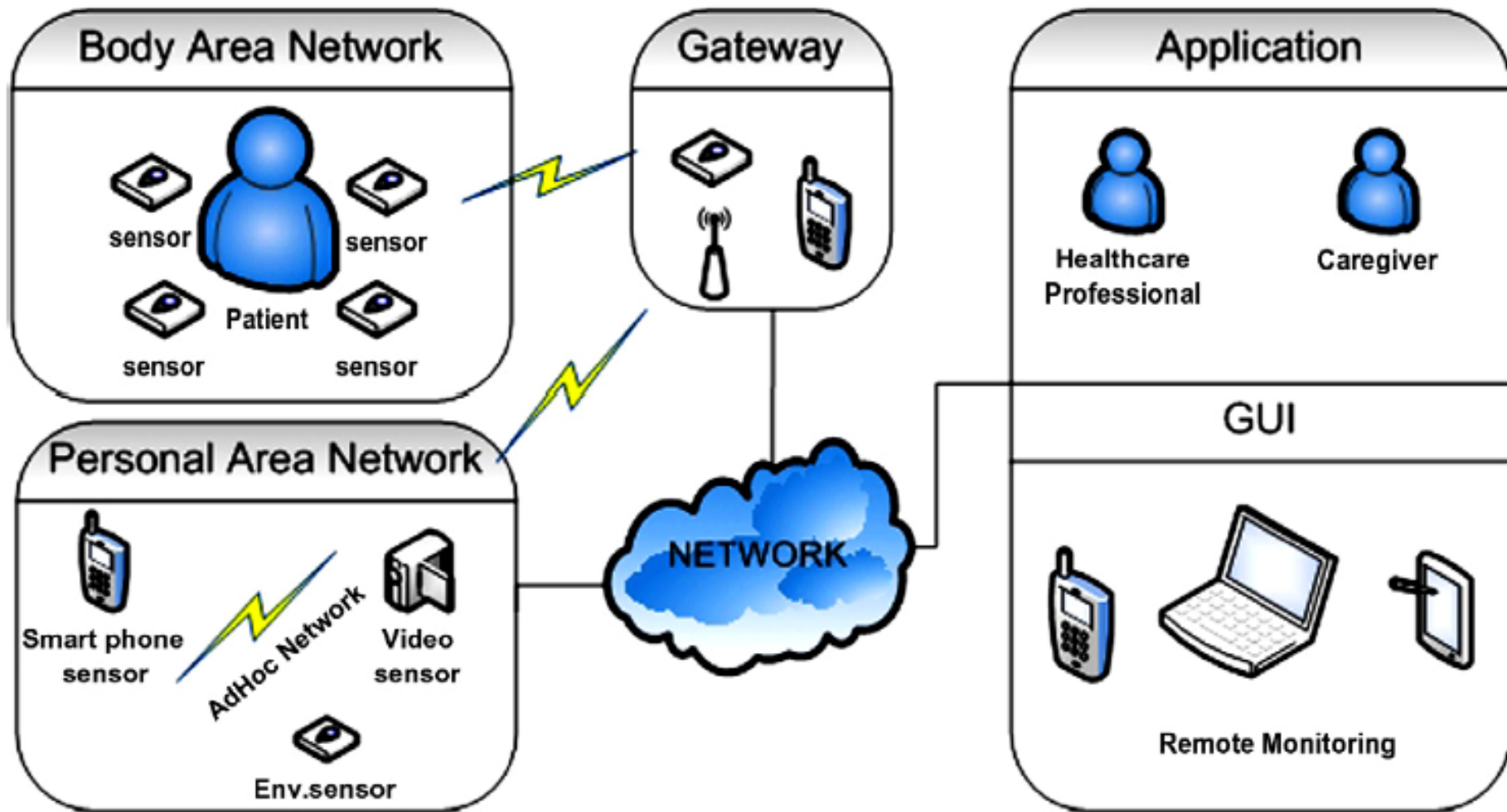


Fig. 1. Overview of a simple WSN application scenario for healthcare.

Body area network

- The Body Area Network Subsystem is the ad hoc sensor network and tags that the patients carry on their body.
- The RFID tags, ElectroCardioGram (ECG) sensors, and accelerometers worn by the patient, are example components of the body area network.

Table 1

The design considerations of pervasive healthcare monitoring systems.

Subsystem	Design consideration
Body Area Network Subsystem	Power consumption Transmission power Unobtrusiveness Portability Real-time availability Reliable communications Multi-hop routing Security

Personal area network

- This subsystem is composed of environmental sensors deployed around and mobile or nomadic devices that belong to the patient. The environmental sensors like RFID readers, video cameras, or sound, pressure, temperature, luminosity, and humidity sensors help providing rich contextual information about the people to be monitored. Location tracking can also be achieved by this subsystem.

Personal Area Network
Subsystem

Energy efficiency
Scalability
Self-organization between the nodes

In [33], a wireless “Personal Assistant” device that supports communications with three different medical devices, namely a glucometer, an insulin pump and a continuous glucose sensor, is presented. With the help of the patient’s PDA device, medical devices can be controlled and context-awareness with a user-friendly interface is provided to the patient. Keeping the design modular, scalability, and allowing the easy integration of new functionalities are key issues here.

Gateway to the Wide Area Networks (WANs)

- The gateway subsystem is responsible from connecting the BAN and PAN subsystems to the WANs. The gateway can be a mobile device carried by the user like a PDA or a smart phone, or a sensor node deployed in the environment as well as a laptop computer or a server computer.
- The main function of the gateway subsystem is to provide the connection between the ad hoc sensor networks to the infrastructure based WANs. Because of this property, the gateway subsystem can easily become the weakest link of the overall scenario.

Gateway to the Wide
Area Networks

Security
Congestion prevention

Wide Area Networks for healthcare applications

- For a remote monitoring and tracking scenario, a network infrastructure is inevitable. The gateway can relay information to one or more network systems depending on the application. The examples of network systems can vary from cellular networks to ordinary telephone network or from satellite networks to the Internet. These wide area networks have their own issues and properties independent of the healthcare application. While the data rate and reliable communication protocols for wide area networks advance, the ubiquitous healthcare applications will also benefit from it.

Wide Area Networks

Data rate

Reliable communication protocols

Secure data transmission

Coverage

End-user healthcare monitoring application

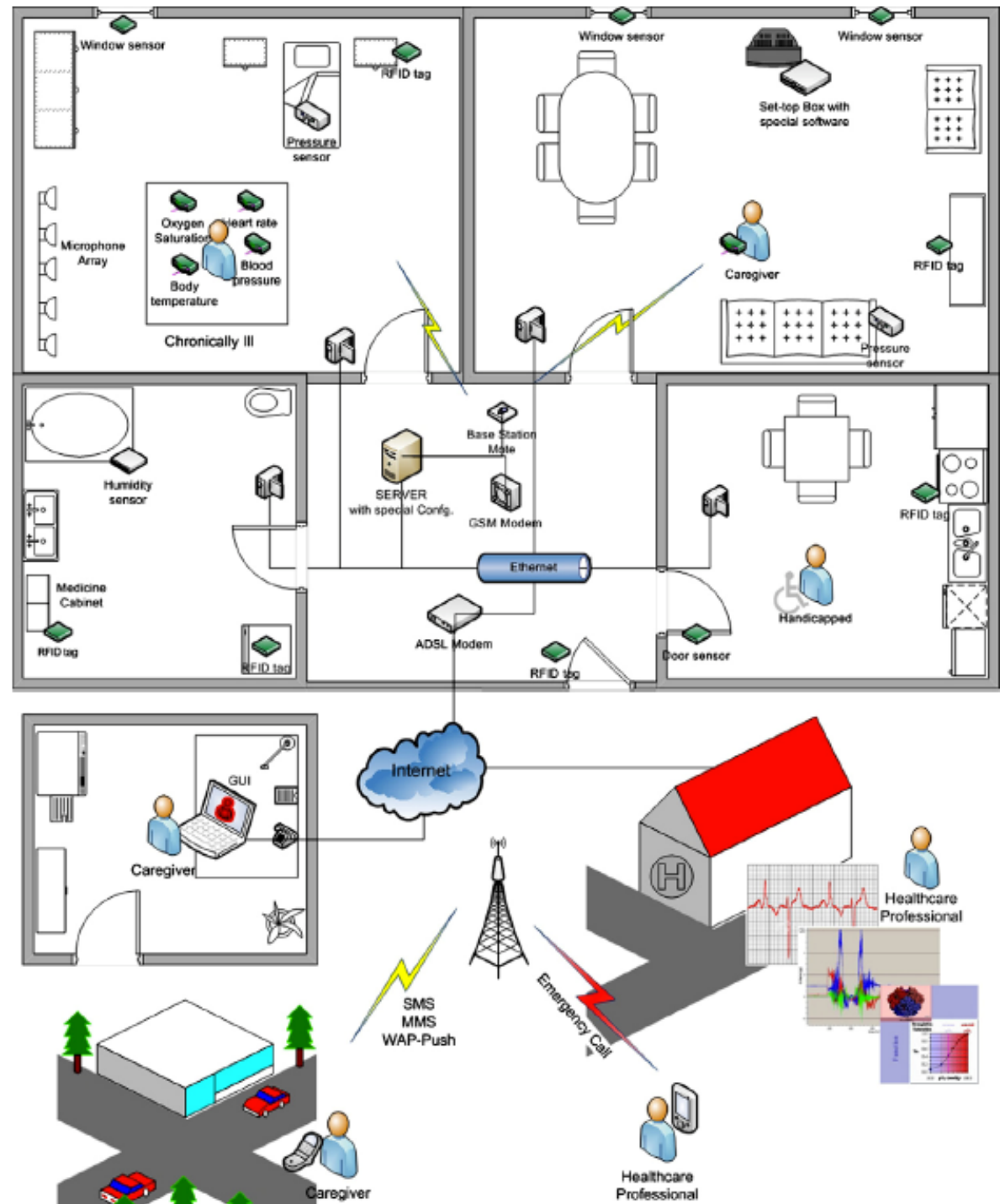
The application has a processing part and a graphical user interface part. The processing part performs the reasoning with some signal processing algorithms to understand a distorted cardiac signal for example, and with machine learning algorithms to identify an unexpected situation from an image or video. The graphical user interface is used for real-time monitoring of the vital sign information together with an alerting mechanism in case of an emergency. The application should also provide an interface for the definition and configuration of the system's overall behavior.

What kind of alarms will be generated and via which network the messages will be delivered and who the intended users are examples of the application configuration.

**End-user healthcare
monitoring
application**

**Privacy
Security
Reliability
User-friendliness
Middleware design
Scalability
Interoperability
Context-awareness**

Schema



Tipologia di sensori

- There are several prototype and commercial applications for pervasive healthcare monitoring for the elderly, children and chronically ill people. When these applications are explored, it is observed that the main focus categories include
- activities of daily living monitoring,
- fall and movement detection,
- location tracking,
- medication intake monitoring,
- medical status monitoring.

Overview

		HW design	SW design	GUI design	Sensing modality	Hop Cnt	Obtrusive	Context aware	Mach. learn.	Loc. track.	RFID use
Activities daily living of (Section 3.1)	AICO [66]	Yes	Yes	Yes	Multi	Single	Low	High	Yes	Yes	Passive
	CareNet Disp. [51]	Yes	No	Yes	Multi	Single	Low	High	No	No	No
	Caregiver's Ast. [14]	No	Yes	Yes	Single	Single	Low	Medium	No	No	Passive
	WISP [67]	Yes	No	No	Single	Single	Low	Low	No	No	Passive
	LiveNet [68]	Yes	Yes	Yes	Multi	Single	High	High	Yes	IR tags	No
Fall and movement detection (Section 3.2)	ITALH [69]	Yes	No	Yes	Multi	Single	High	Medium	Yes	GPS	No
	Act. Mon.& Fall Det. [70]	No	No	No	Single	Single	High	Low	No	No	No
	Fall Detection [71]	No	No	No	Single	Single	Medium	Medium	Yes	No	No
	Smart Phone HCM[72]	Yes	No	Yes	Multi	Single	High	Medium	No	GPS	No
	Smart HCN [52]	Yes	No	No	Multi	Single	Medium	High	Yes	RSSI	No
	HipGuard [73]	Yes	No	No	Multi	Single	High	High	No	No	No
Location tracking (Section 3.3)	RFID way finding [74]	No	Yes	Yes	Single	Single	Medium	Medium	No	Yes	Passive
	Ultra Badge [75]	Yes	No	No	Single	Single	Low	Medium	No	Ultrasound	No
	ZUPS [76]	No	No	No	Multi	Multi	Low	Low	No	Ultrasound	No
	ALMAS [77]	No	No	Yes	Multi	Single	High	High	No	Yes	Active
	Passive mon. [78]	No	No	No	Multi	Single	Low	Low	No	RSS	No
Medication intake (Section 3.4)	RFID medic. ctrl. [79]	No	No	Yes	Single	Single	Low	Low	No	No	Active
	iCabiNET [80]	Yes	No	No	Single	Single	Low	Low	No	No	Passive
	iPackage [81]	Yes	Yes	Yes	Multi	Single	Low	High	No	No	Passive
Medical status monitoring (Section 3.5)	MobiHealth [82]	No	Yes	Yes	Multi	Single	Medium	Medium	No	No	No
	CodeBlue [83]	Yes	Yes	Yes	Multi	Multi	High	High	No	RF	No
	AlarmNet [84]	No	Yes	Yes	Multi	Multi	Medium	High	Yes	GPS	No
	LifeGuard [85]	Yes	No	Yes	Multi	Single	High	High	No	No	No
	Med. Supervision [86]	Yes	No	Yes	Multi	Multi	High	High	No	Yes	No
	FireLine [87]	Yes	No	Yes	Single	Single	Medium	Low	No	No	No
	Baby Glove [87]	No	No	No	Multi	Single	High	Low	No	No	No
	LISTENSE [87]	Yes	No	Yes	Single	Single	High	High	No	No	No
	WLAN ECG [39]	Yes	No	Yes	Single	Single	High	Medium	No	No	No
	Mobile ECG [88]	Yes	No	Yes	Single	Single	High	Low	No	No	No
	PATHS [89]	Yes	No	Yes	Multi	Single	High	Low	No	No	No
	AWARENESS [90]	No	Yes	Yes	Multi	Single	High	High	Yes	No	No

Sensori – RFID impiantati

