

DigiLab4U: opportunità di Life-Long Learning in IoT



Competenze digitali per l'agroalimentare

Ing. Giovanni ROMAGNOLI, Ph.D.

- About me
- RFID & IoT: una breve introduzione
- Il progetto DigiLab4U
- Takeaway points

Giovanni ROMAGNOLI, Ph.D.

Lecturer (2015 – present)

SSD: ING-IND/17 Industrial Mechanical Plants

Dept. of Engineering and Architecture

University of Parma

Research project

- ✓ OPEN DIGITAL LAB 4YOU (FKZ 16DHB2116) from 2018 to 2022 (with Hochschule für Technik Stuttgart, RWTH Aachen University, Universität Koblenz-Landau, Universität Bremen)

I have co-authored 30+ publications published on international journals or presented at international conferences. I am an occasional referee for 5+ international journals.

I am listed in the editorial board of one international journal (IJIEC) and two international conference Series.



giovanni.romagnoli@unipr.it



giovanni.romagnoli.9



@gioromagnoli

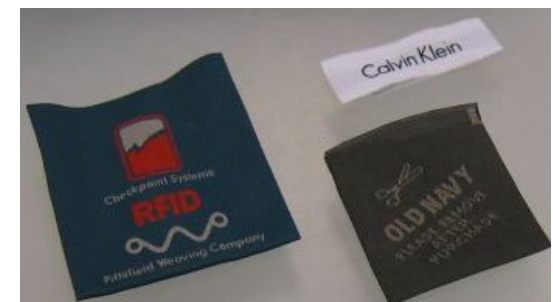
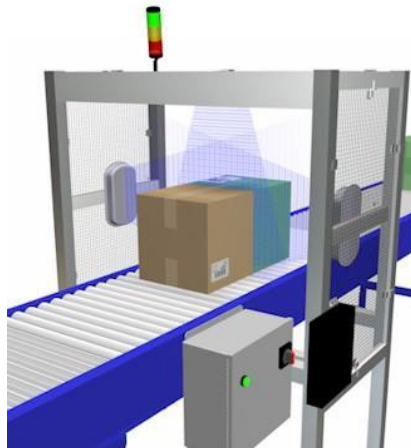
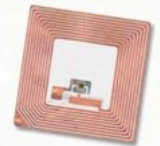
... you may also find me on:



• RFID & IoT: che cosa sono?



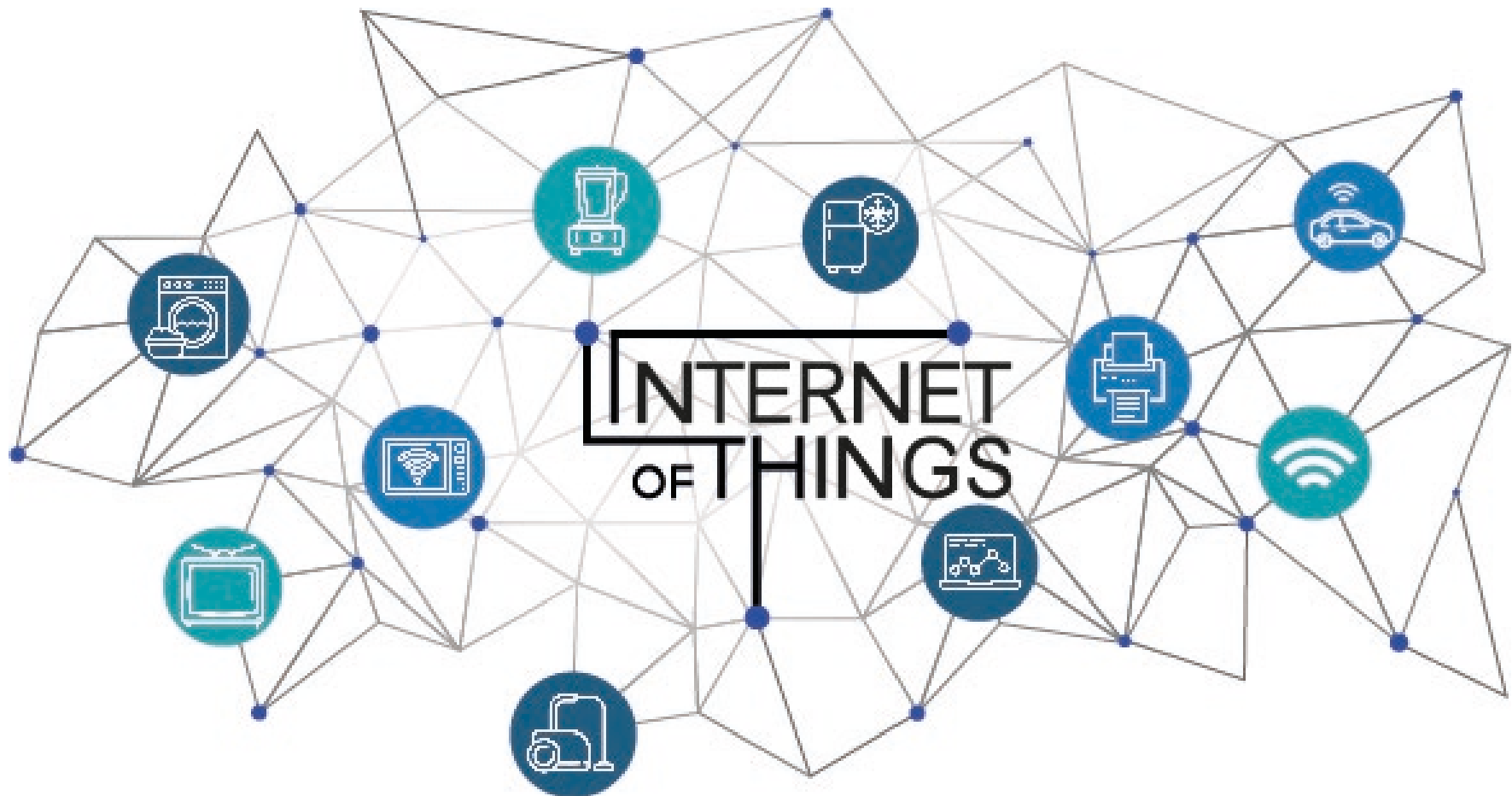
TAGS



- **RFID & IoT: che cosa sono?**
- **RFID:** tecnologia che utilizza campi elettromagnetici per l'identificazione e il rintracciamento automatico di *etichette* (tags) associate ad oggetti – è la principale tecnologia di identificazione automatica
- **WIKIPEDIA - Radio-frequency identification:** tecnologia per l'identificazione e/o memorizzazione automatica di informazioni inerenti a oggetti, animali o persone (automatic identifying and data capture) basata sulla capacità di memorizzazione di dati da parte di etichette elettroniche, chiamate tag (o transponder), e sulla capacità di queste di rispondere all'interrogazione a distanza da parte di appositi apparati fissi o portatili, chiamati reader (o anche interrogatori).

- RFID & IoT: che cosa sono?
- Applicazioni RFID: tracciabilità animali (cani, mucche, ecc.), immobilizer per auto (sono ormai contenuti in tutte le chiavi di apertura e avviamento delle auto, moto, camion, ecc.), apertura serrature (hotel cards), ma anche passaporti, carte di credito, bigliettazione elettronica, logistica interna ed esterna, controllo presenze ed accessi, biblioteche, antitaccheggio, rilevazione parametri ambientali, controllo raccolta rifiuti, antintrusione, shopping experience ...

- RFID & IoT: che cosa sono?



- RFID & IoT: che cosa sono?
- WIKIPEDIA - Internet delle cose (IoT), neologismo delle telecomunicazioni riferito all'estensione di Internet al mondo degli oggetti e dei luoghi concreti. Introdotto da Kevin Ashton, cofondatore e direttore esecutivo di Auto-ID Center (MIT), durante una presentazione presso Procter & Gamble nel 1999.
- Possibile evoluzione dell'uso della rete internet: gli oggetti (le "cose") si rendono riconoscibili e acquisiscono intelligenza grazie al fatto di poter comunicare dati su se stessi e accedere ad informazioni aggregate da parte di altri

Grazie per l'attenzione!
Ing. Giovanni ROMAGNOLI, Ph.D.



Competenze digitali per l'agroalimentare

Appendice - Materiali

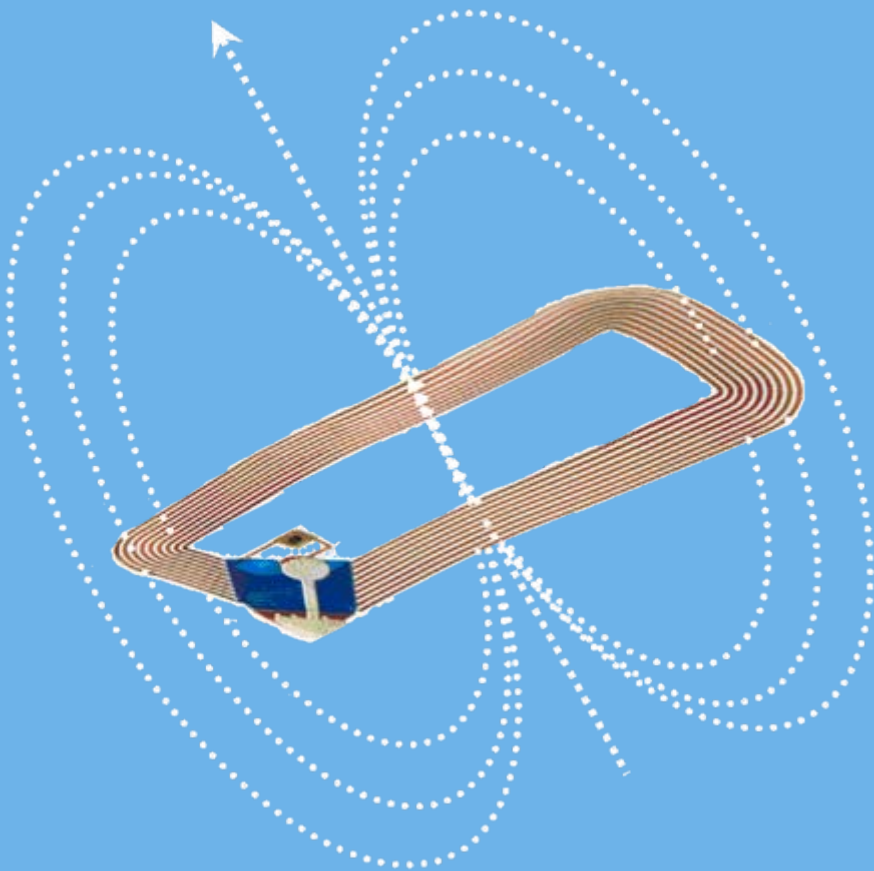


Competenze digitali per l'agroalimentare

Ing. Giovanni ROMAGNOLI, Ph.D.

Tecnologia RFID

*– Introduzione e rassegna delle tecnologie di
identificazione a radiofrequenza –*



Fondazione Ugo Bordoni

Paolo Talone – Giuseppe Russo

Cosa è RFID ?



Dite il vostro nome !

Francesca

Paolo

Martina

Luca

TAGs

Reader





Cosa è RFID ?

RFID (Radio Frequency IDentification) indica l'identificazione (e non solo) attraverso un collegamento a radio frequenza

**Funzionalità minima:
rispondere quando interrogati**



Chi sei ?

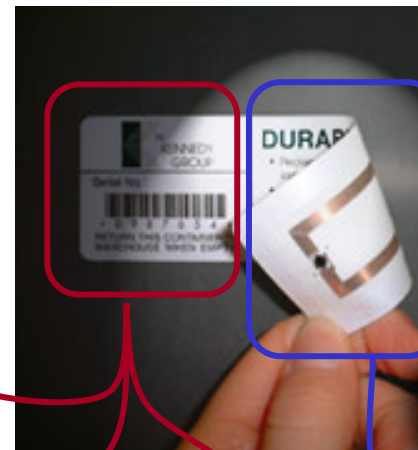
Sono 01-0000A4F-001AD-000000001



L'identificazione implica l'assegnazione di un'identità univoca ad un oggetto che consenta di distinguerlo in modo non ambiguo

Identificazione (Barcode vs. EPC)

L'Electronic Product Code è il più diffuso (e normalizzato) identificativo contenuto nelle "etichette elettroniche" (TAG)
Viene da queste restituito sotto interrogazione



EPC è evoluto dal codice a barre EANUCC (European Article Numbering/Universal Code Council) largamente usato per identificare i prodotti, ma non i singoli oggetti

Spesso composto da 96 bit, EPC identifica:

- ≡ Il tipo di codice
- ≡ il fabbricante
- ≡ la classe di oggetti
- ≡ il singolo oggetto ($2^{96} = 68$ miliardi di oggetti diversi)

Type 1 EPC (96 bits)

01.0000A4F.001AD.000000001

Header
(8 bits)

EPC Manager
(28 bits)

Object Class
(24 bits)

Serial Number
(36 bits)

Hexadecimal Notation

Cosa c'è oltre l'identificazione ?

L'identificazione univoca ed universale di un oggetto
si ottiene con ≈ 100 bit

Notizie sull'oggetto

(anche aggiornate durante la vita del medesimo)

Es.: composizione, cautele, data di produzione/scadenza

Informazioni ambientali, da sensori nei TAG

(anche memorizzate nel tempo – data logging)



Procedure di autenticazione e crittografia

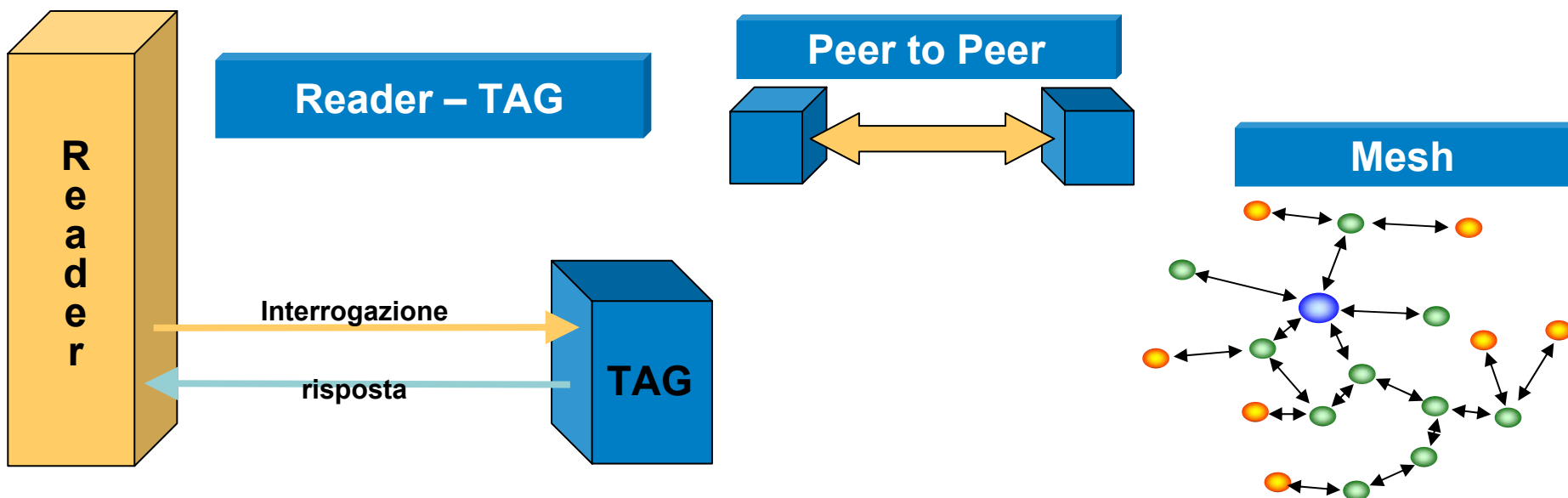
(carte senza contatto ed NFC)

Come comunicano ?

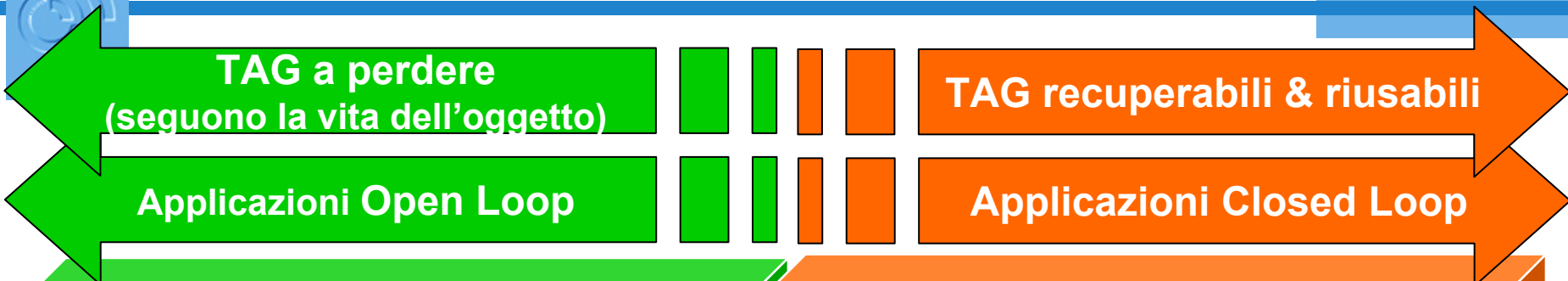
RFID comunicano mediante segnali R.F.
quindi **NON** sono necessari:

- contatto fisico (a differenza delle carte a banda magnetica)
- visibilità (non-line-of-sight) (a differenza dei codici a barre)

Paradigmi di comunicazione



Applicazioni & Ciclo di vita dei TAG



- ↪ “Etichette intelligenti” (ma anche tappi, bottoni, TAG incorporati negli oggetti)
- ↪ Quasi sempre passivi
- ↪ Richiesta memoria riscrivibile (info su scadenza, prezzo, ecc.)
- ↪ Procedure di sicurezza semplici (abilitazione/disabilitazione)
- ↪ Qualche applicazione con sensori (semi passivi o passivi)

- ↪ TAG fissi su contenitori riusabili TAG applicati poi estratti e riutilizzati su oggetti di pregio o animali
- ↪ Prevalentemente attivi ma anche passivi in contenitori “robusti”
- ↪ Memoria riscrivibile quasi indispensabile
- ↪ Procedure di sicurezza efficienti (autenticazione & crittografia)
- ↪ Sensoristica senza limitazioni

Dispositivi di Accesso & Pagamento: Carte senza contatto, NFC, chiavi, ecc.

- ↪ Passivi (a volte attivi – NFC)
- ↪ Massime tecnologie di sicurezza
- ↪ Costituiscono un mercato separato

RFID nella logistica

Direttiva CEE 178/2002 (in vigore dall'1/1/2005) richiede rintracciabilità di filiera

Applicazioni Closed Loop

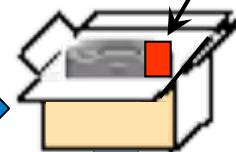
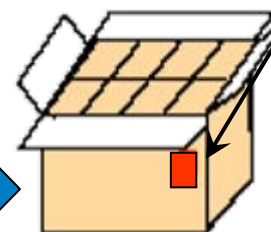
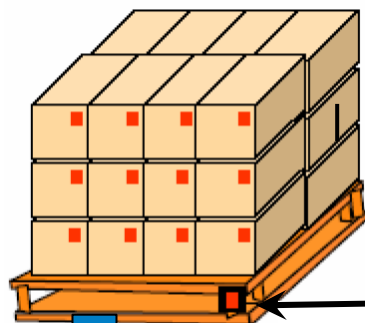
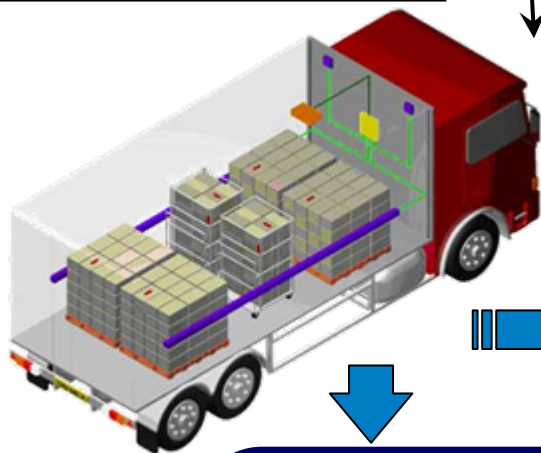
Applicazioni Open Loop

TAG
sul mezzo di trasporto
(camion, container, ecc.)

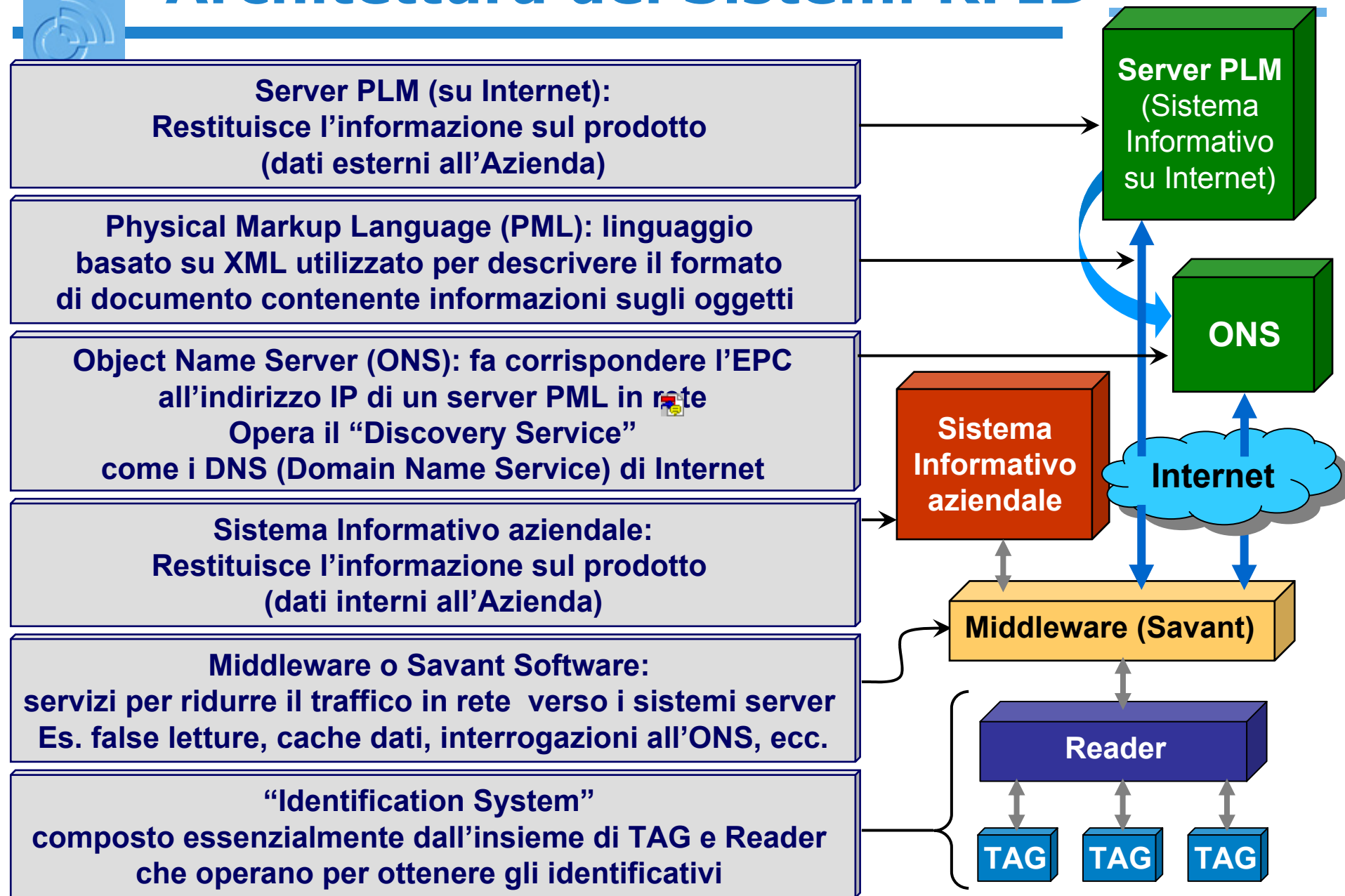
TAG
sull'unità di trasporto
(pallet, ecc.)

TAG
sull'imballaggio
(cassa, cartone, ecc.)

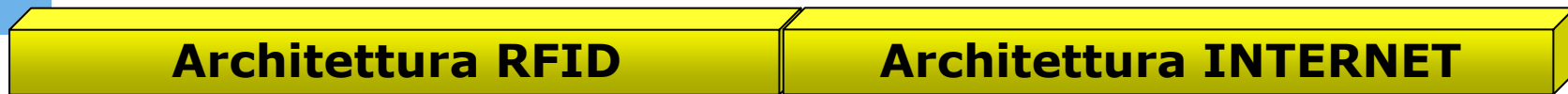
TAG
sul singolo
oggetto



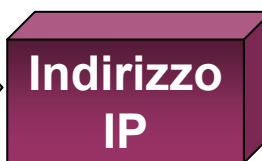
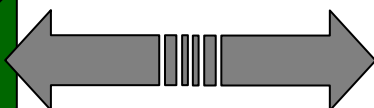
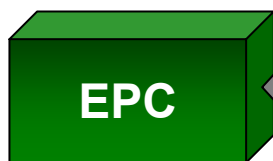
Architettura dei Sistemi RFID



"Internet delle cose"

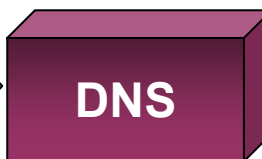
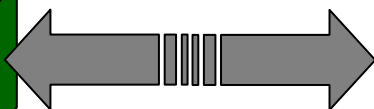
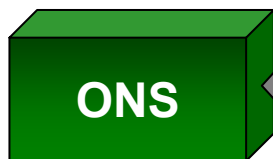


Indentificativo univoco degli oggetti



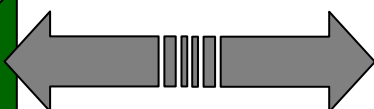
Indirizzo univoco dei computer sulla rete

Ricava l'URL del sistema informativo dall'identificativo (dell'oggetto)



Ricava l'indirizzo IP dall'indirizzo simbolico (URL)

Linguaggio per descrivere gli oggetti



Linguaggio per descrivere i contenuti del WEB

Restituisce le informazioni sugli oggetti



Restituisce informazioni

L'esplosione dei dati



Una pallet
contiene
64 casse



Un lotto di spedizione
contiene
30 pallets



Una cassa
contiene
80 confezioni



Etichette RFID (TAG)
vengono poste
sulle confezioni



L'interrogazione di un READER
provoca la risposta contemporanea
di tutti i TAG

Un magazzino contiene
30 lotti di spedizione

Le tecnologie RFID





Le tecnologie RFID

Gestione energetica
(Attivi/Passivi)

TAG Attivi / Passivi (1)

Attivi

- Alimentati da batterie
- Incorporano ricevitore e trasmettitore come i Reader

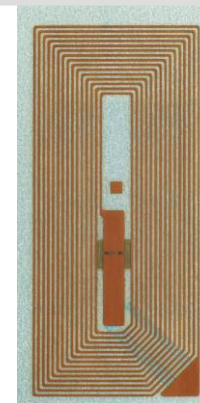
Passivi

- Ricavano l'energia per il funzionamento dal segnale proveniente dal Reader
- Non possiedono trasmettitore, ma irradiano, modulandolo, il segnale trasmesso dal Reader e riflesso dalla propria antenna

Obiettivi Tecnologici

Basso consumo

Riciclo energia ricevuta



Presenza di Fonti energetiche

Assenza di Fonti energetiche






Semi-Passivi

- Dotati di batteria utilizzata solo per alimentare il microchip o apparati ausiliari (sensori), ma non per alimentare un trasmettitore
- In trasmissione si comportano come TAG passivi

TAG Attivi / Passivi (2)

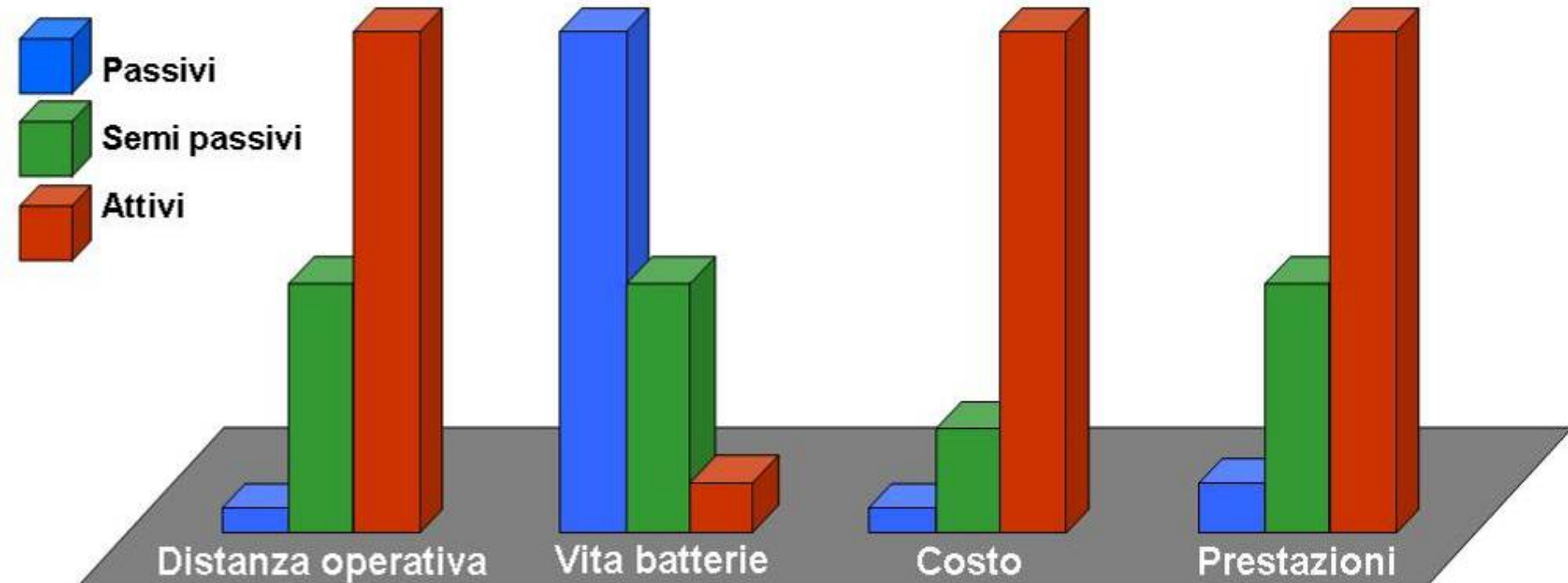


| | Vantaggi | Svantaggi | Commenti |
|--|---|--|--|
| Passivi  | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Tempi di vita elevati ➤ Molte possibili forme ➤ Flessibilità meccanica elevata ➤ Costi ridotti | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Distanze operative limitate (4-5 m in UHF) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ E' la tipologia maggiormente utilizzata nei sistemi RFID ➤ Bande: LF, HF o UHF |
| Semi-Passivi  | <ul style="list-style-type: none"> ➤ In grado di controllare sensori (temperature, pressione, ecc.) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Distanze operative come i passivi | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilizzati ove necessita la sensoristica (catena del freddo, ecc.) ➤ Bande: UHF |
| Attivi  | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Distanze operative elevate ➤ Maggiore memoria | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Durata limitata (batterie) ➤ Costi elevati (batteria, circuiti e involucri) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilizzati in logistica per tracciamento di pallet, container, treni, camion ➤ Utilizzati per tracciare oggetti all'interno dell'azienda ➤ Bande: UHF, microonde |

Confronto tra caratteristiche di TAG

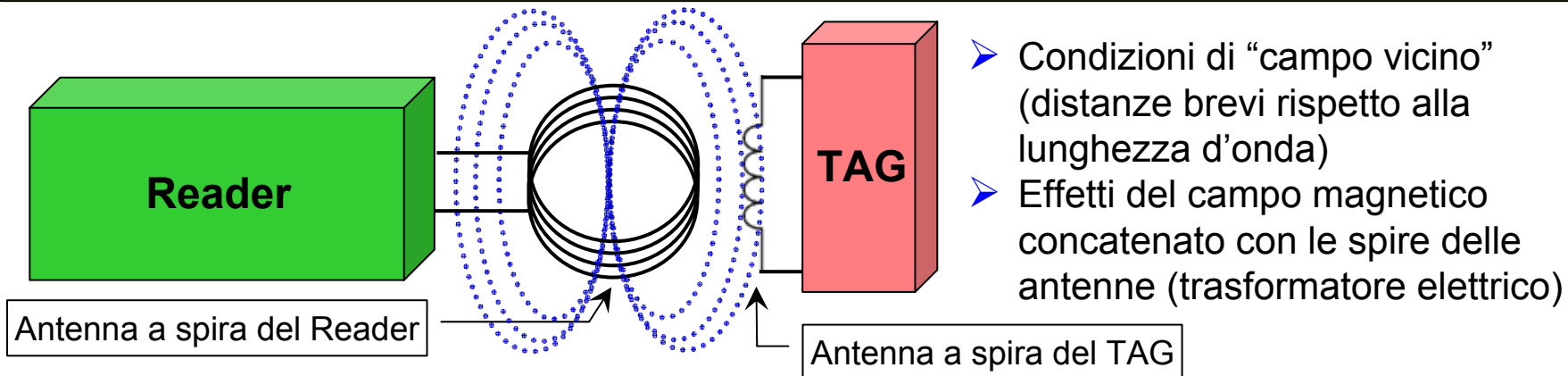
Fattori chiave:

- **Costo**
- **Distanza operativa**
 - Passivi HF (<2m)
 - Passivi UHF (<6m)
 - Semi Passivi UHF (<30m)
 - Attivi UHF (>30m)
- **Tempo di vita (batterie)**
- **Prestazioni del chip**
 - Quantità di memoria
 - Lettura/scrittura
 - Misure di sicurezza
 - Sensoristica



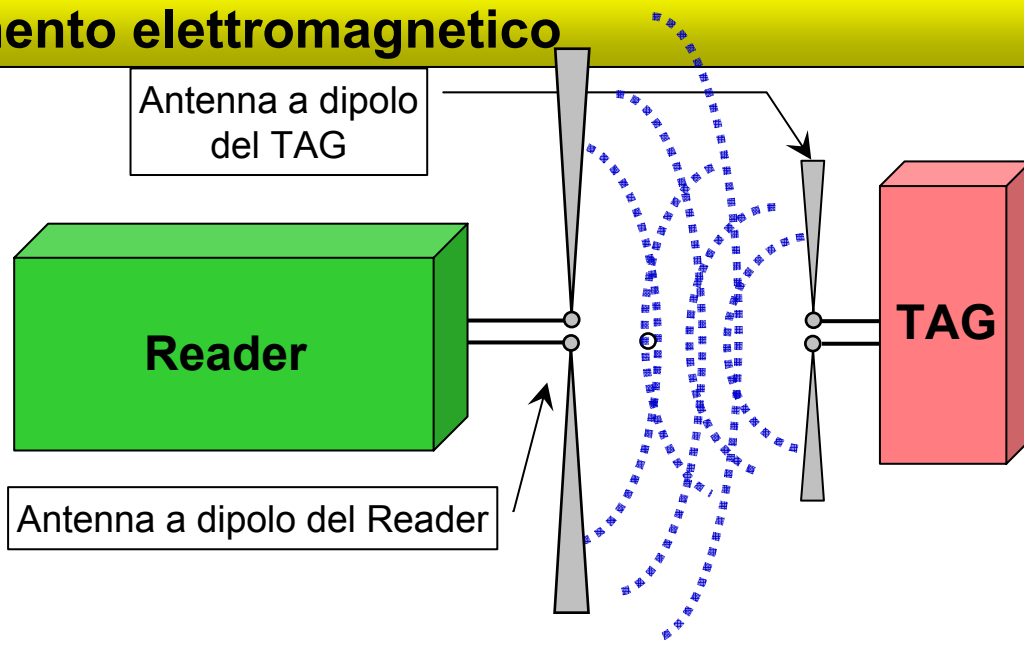
Tecnologia dei TAG passivi

Accoppiamento induttivo



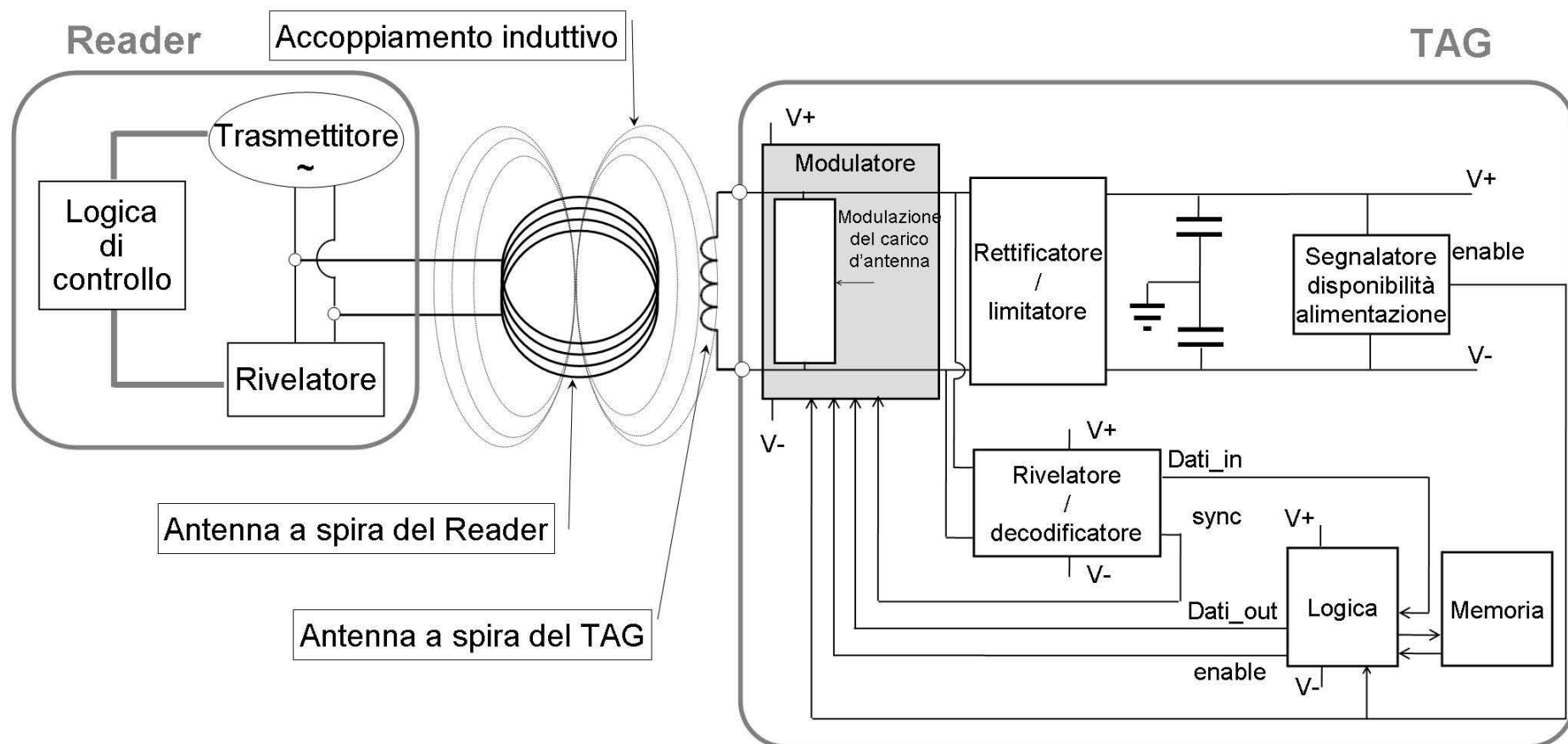
Accoppiamento elettromagnetico

- Condizioni di “campo lontano” (distanze lunghe rispetto alla lunghezza d’onda)
- Effetti del campo elettromagnetico (trasmissione radio)
- L’antenna del TAG riflette parte della potenza elettromagnetica ricevuta (backscattering — fenomeno simile al radar)



Accoppiamento induttivo

- Condizioni di “campo vicino” (distanze inferiori a $\lambda/10$)
- Campo magnetico concatenato con le spire delle antenne (trasformatore elettrico)
- Il trasferimento di energia primario ► secondario è usato per attivare il TAG
- Il secondario (antenna del TAG) varia il proprio carico (modula) ed il risultato (modulato) è visto nell'avvolgimento primario (antenna del Reader)
- Il chip del TAG realizza la modulazione variando il carico del proprio avvolgimento in base ad un segnale modulante ricavato dalla lettura dei dati nella sua memoria



Potenze & distanze operative in accoppiamento induttivo

In accoppiamento induttivo, l'energia trasferita è proporzionale a:
(legge di Faraday)

- Inverso della sesta potenza della distanza TAG – Reader
- Frequenza operativa (in UHF circa 60 volte che in HF)

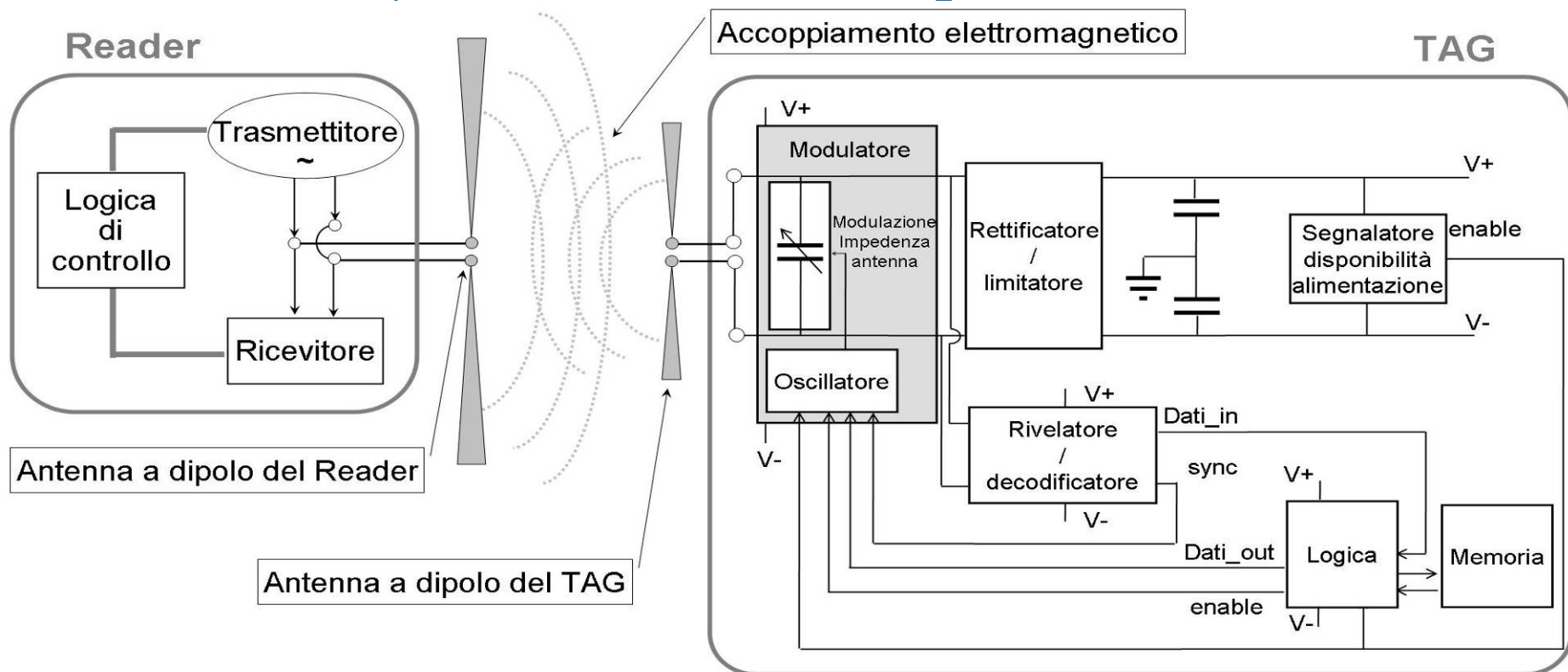
- Numero di spire dell'antenna
- Area delle antenne a spira
- Parallelismo fra le antenne (TAG e Reader)
- Fattore di merito Q dell'antenna inversamente proporzionale alle perdite di energia per
 - effetto Joule nelle spire d'antenna
 - correnti parassite ed isteresi nel nucleo ferromagnetico



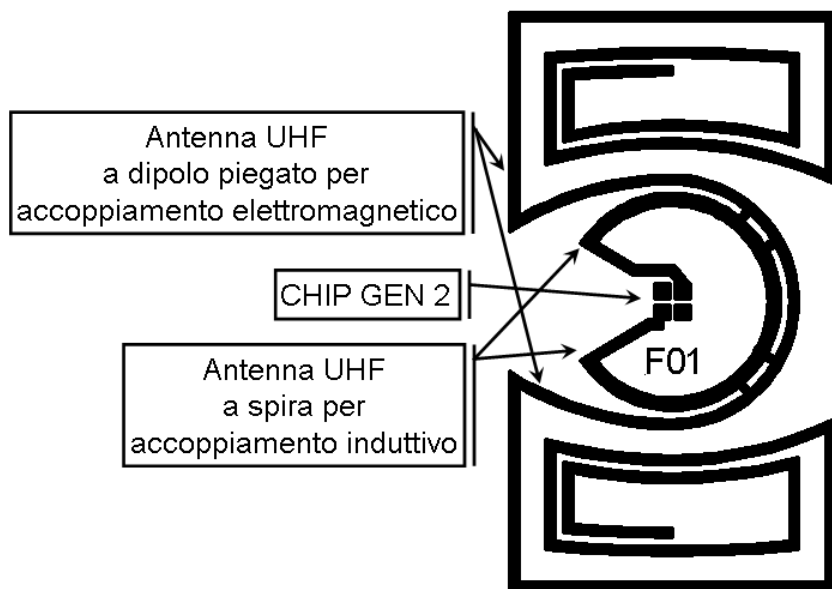
⇐ TAG induttivi ad alta frequenza (UHF) che operano (in prossimità) all'interno di un contenitore di liquido

Accoppiamento elettromagnetico

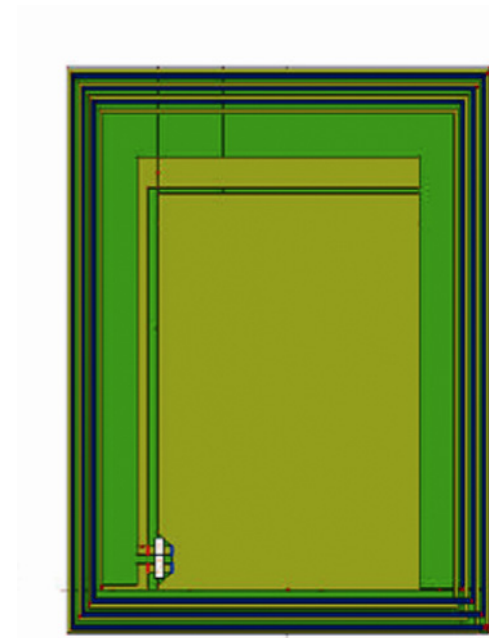
- Condizioni di “campo lontano” (distanze lunghe rispetto alla lunghezza d’onda)
- L’antenna del TAG riflette parte della potenza elettromagnetica ricevuta (backscattering — fenomeno simile al radar)
- Parte dell’energia rettificata per dare potenza al TAG (circuito CA/CC diodo-condensatore)
- L’energia ricavata è proporzionale all’ inverso del quadrato della distanza, è dell’ordine di $200 \mu\text{W}$, troppo bassa per alimentare un trasmettitore, si modula quindi il backscatter
- La modulazione del backscatter è ottenuta tramite variazione d’impedenza dell’antenna del TAG, durante la trasmissione del segnale del Reader



Multibanda / Multiaccoppiamento



TAG UHF GEN 2 con doppia antenna UHF per accoppiamento elettromagnetico (in campo lontano) ed induttivo (in campo vicino)
– Impinj Inc –



Dual-band platform PIFA HF / UHF con antenne a dipolo e a spira integrate

Tecnologia dei TAG passivi



| | Accoppiamento induttivo | | Accoppiamento elettromagnetico (backscattering) | |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---|--|
| Frequenze operative | LF 125 kHz 134 kHz | HF 13,56 MHz | UHF media ➤ 868 MHz EU ➤ 915 MHz USA ➤ 950 MHz Japan | UHF alta 2,45 GHz |
| Note sulle frequenze operative | Bande universali Uso consolidato | | Nel mondo, differenze in: ➤ Bande di frequenza ➤ Potenze di emissione | 2,45 GHz è una banda (ISM) in libero uso a livello mondiale. Possibili interferenze con altre applicazioni (es. Wi-Fi) |
| Distanza operativa | 0,5 m | 1 m | 2 ÷ 6 m | 4 m |
| Data rate (kbit/s) | 2 ÷ 10 | 10 ÷ 100 | 28 ÷ 100 | 100 ÷ 1.000 |
| Dimensione del TAG | Media Piccola | Grande | Media | Piccola |



Le tecnologie RFID

Contenitori
Antenne
Memorie

Applicazioni dei TAG passivi

| Frequenze operative | LF 125 kHz 134 kHz | HF 13,56 MHz | UHF media ➤ 868 MHz EU ➤ 915 MHz USA ➤ 950 MHz Japan | UHF alta 2,45 GHz |
|-------------------------------|--|--|---|---|
| Caratteristiche generali | Lettura attraverso liquidi Poco sensibili ai metalli Spire d'antenna su nucleo di ferrite (dimensioni minori) Angolo TAG - Reader critico | Meno costosi dei TAG LF Possono essere usati, con accorgimenti, su metalli e in presenza di liquidi Realizzazione su film sottili Dipendenza da angolo tra TAG e Reader | I meno cari e destinati a diffusione pervasiva (Gen2) Lettura contemporanea di numerosi TAG a qualche metro Assorbimento attraverso liquidi Riflessioni da metalli | Costo potenzialmente inferiore Più sensibili dell'UHF media a metalli e liquidi. Antenna più piccola. Richiede uso in linea di vista |
| Applicazioni tipiche | Controllo accessi, tracciamento animali, immobilizzazione veicoli, ecc. | Smart card, controllo accessi, ski-pass, antitaccheggio, tracciamento di prodotti e oggetti (gestione biblioteche, controllo bagagli aeroporti), ecc. | Identificazione dei singoli oggetti | Tracciamento beni |
| Etichette intelligenti | | | | |

Contenitori per TAG passivi



Substrate



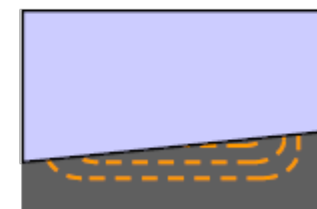
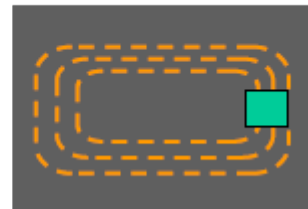
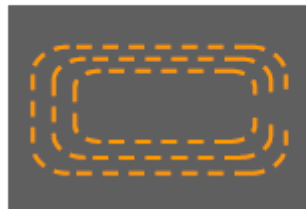
Antenna



Chip

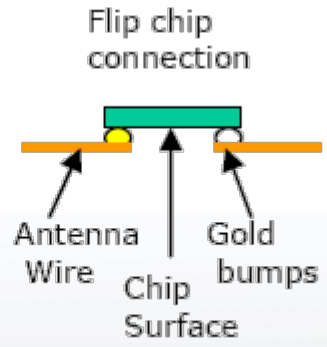


Overlay

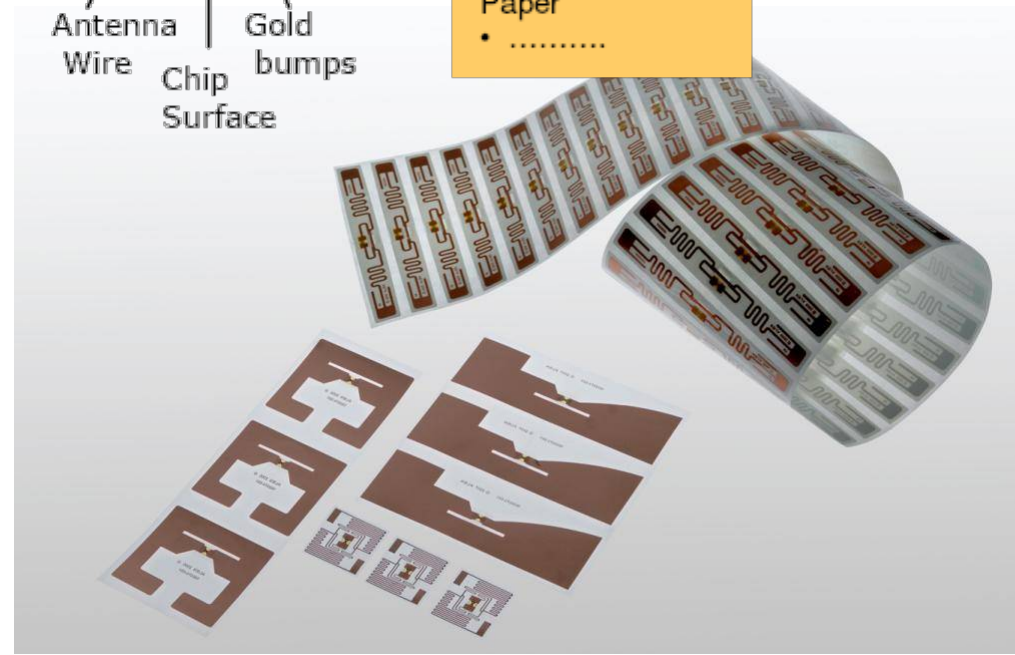
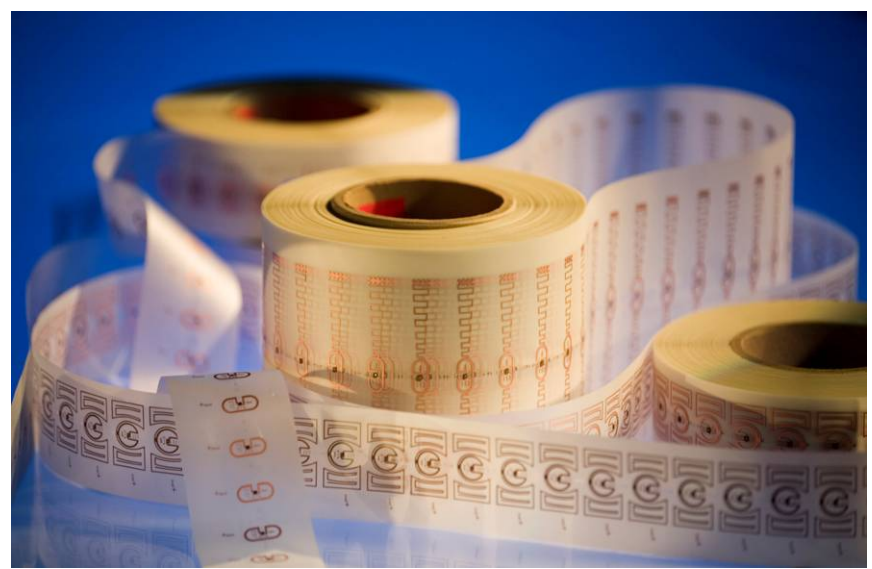


- PVC
- PET
- PAPER
-

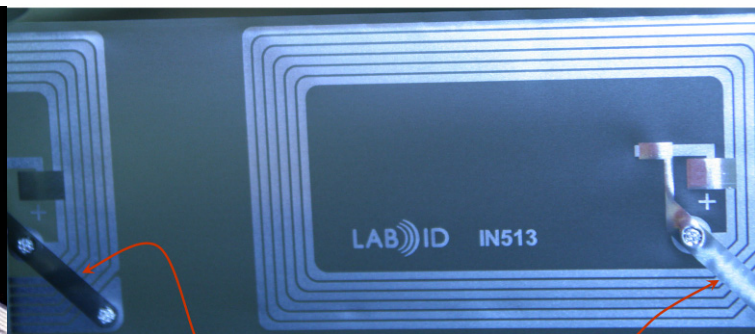
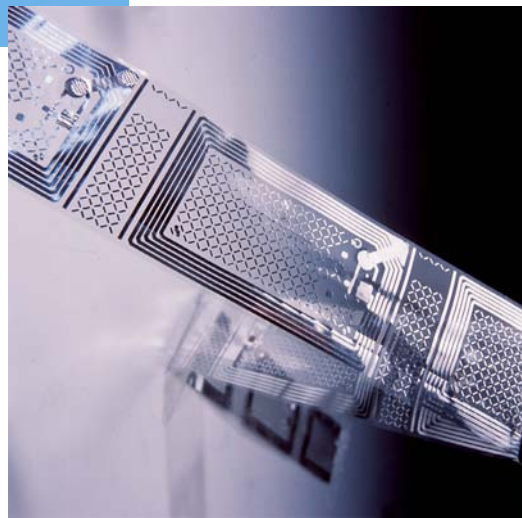
- Copper
- ALU
- Conductive Ink
-



- PVC
- Epoxy Resin
- Adhesive Paper
-

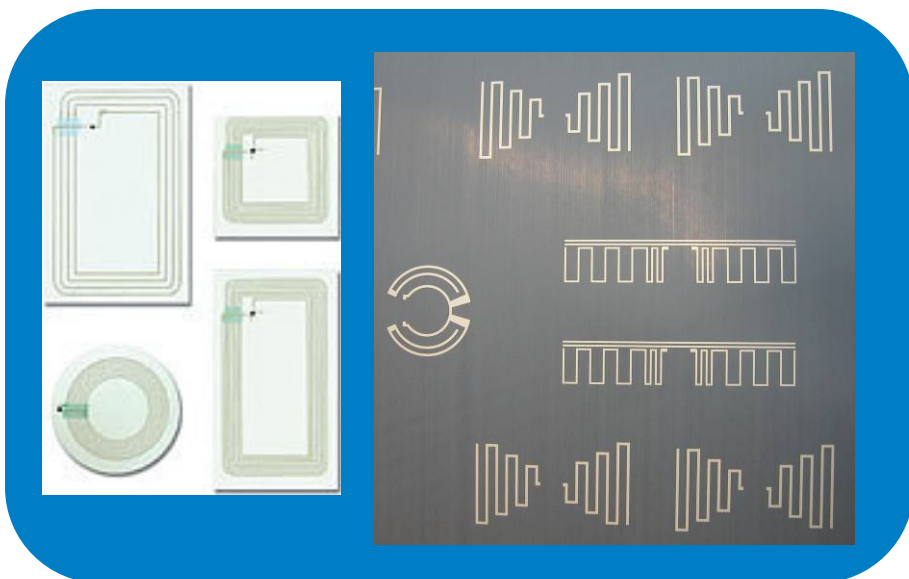


Antenne TAG passivi HF & UHF

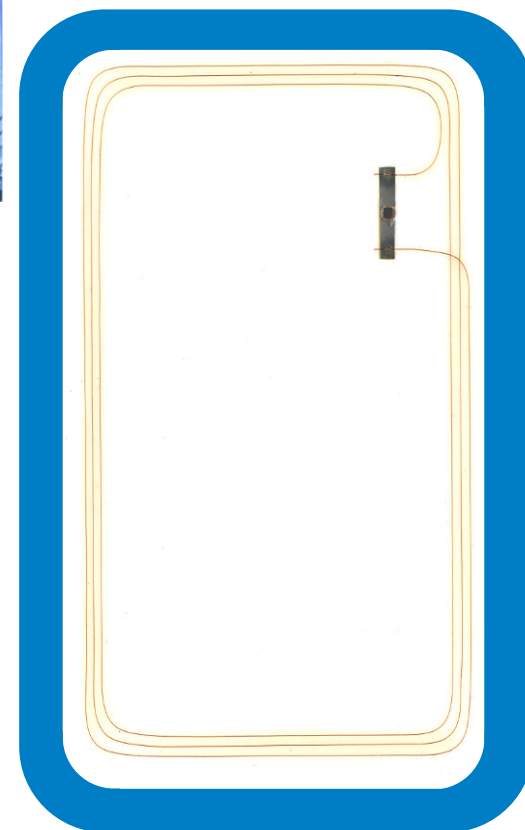


Crossover o Ponte

Antenne HF a metallo inciso

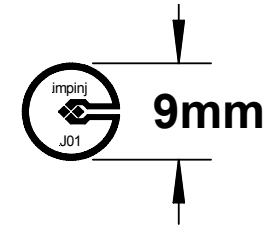
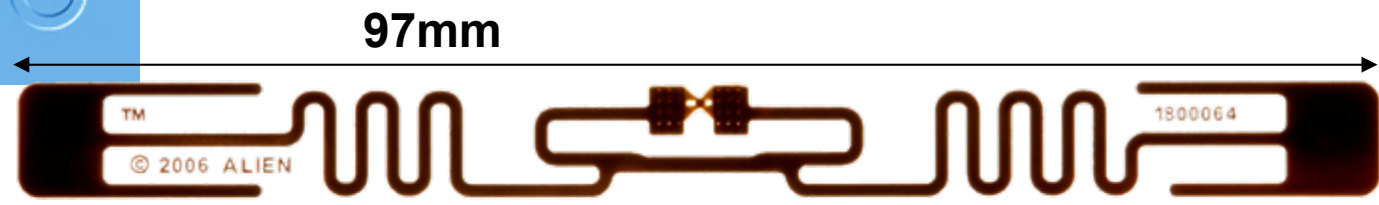


Antenne HF ed UHF ad inchiostro conduttore

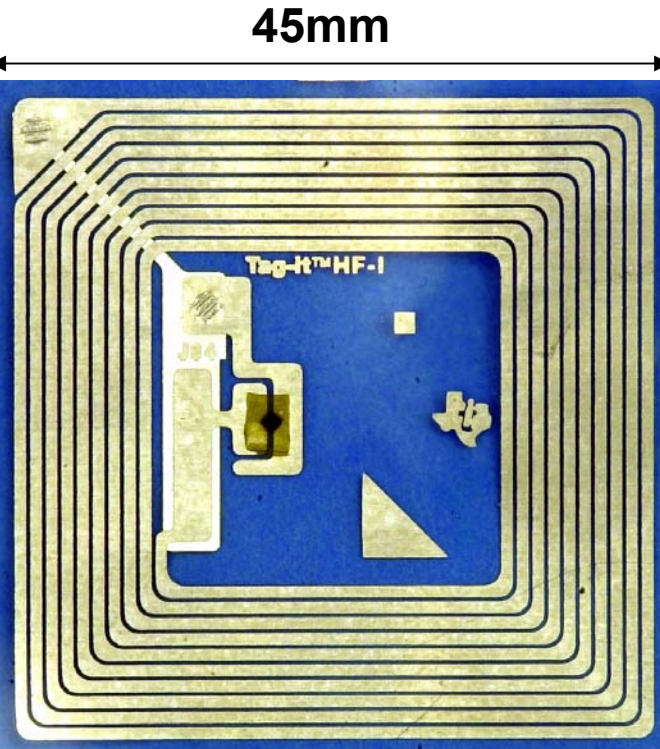


**Antenna HF a filo
(senza crossover)**

Dimensioni delle etichette



UHF induttivo antenna 1 spira

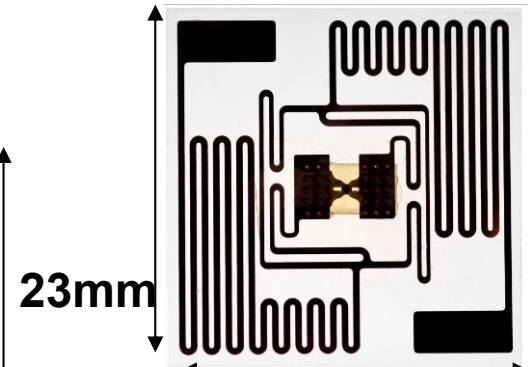


UHF elettromagnetico antenna 1/4 d'onda

HF induttivo 45 x 45 mm

45mm

CARD HF induttiva 45 x 76 mm



UHF elettromagnetico



ø18 mm
CARD HF induttiva

Reader, portali & stampanti

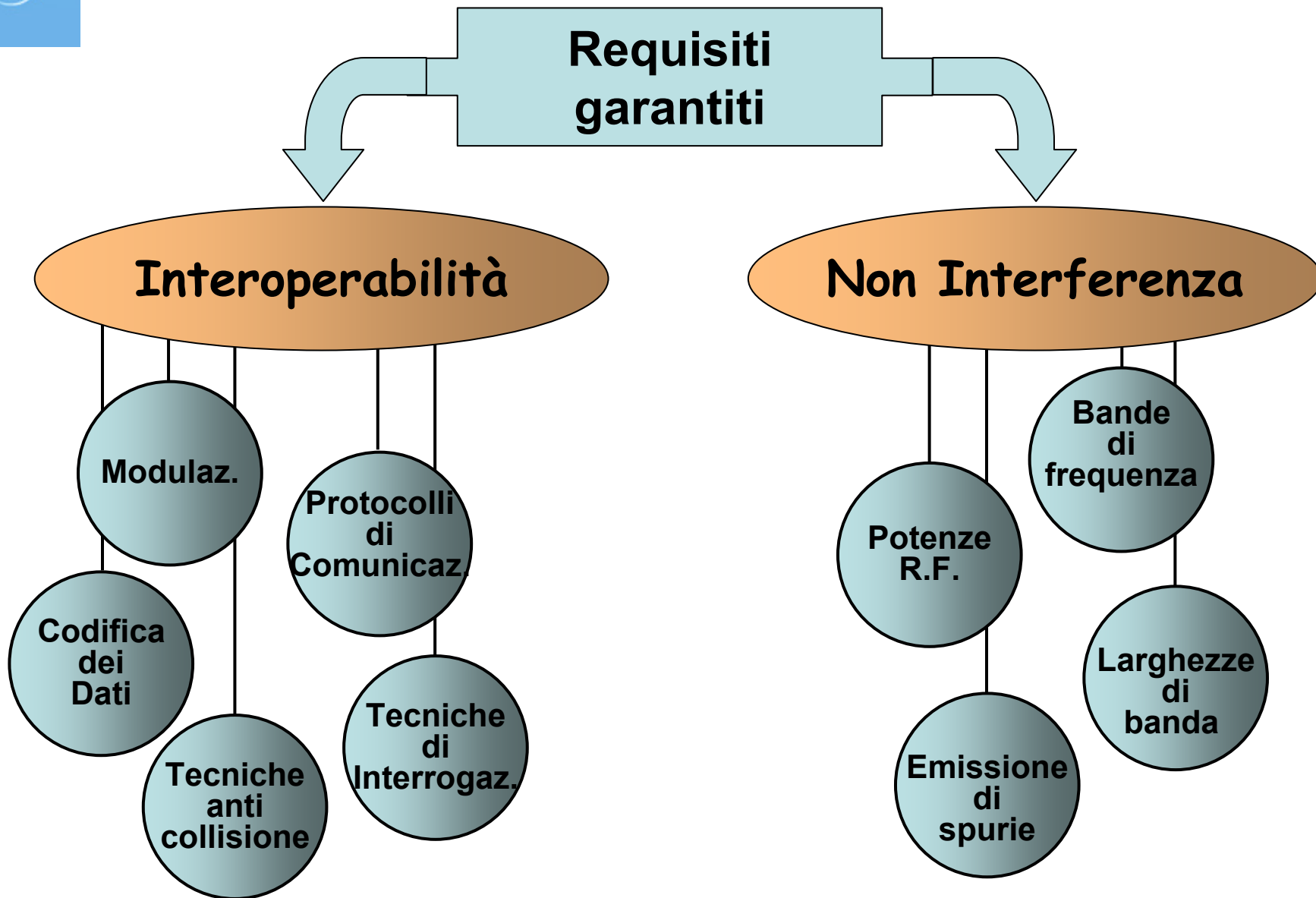




Le tecnologie RFID

Il ruolo degli Standard

Ruolo degli Standard RFID



Interoperabilità / Non Interferenza

Interoperabilità

Non Interferenza



Protocolli proprietari

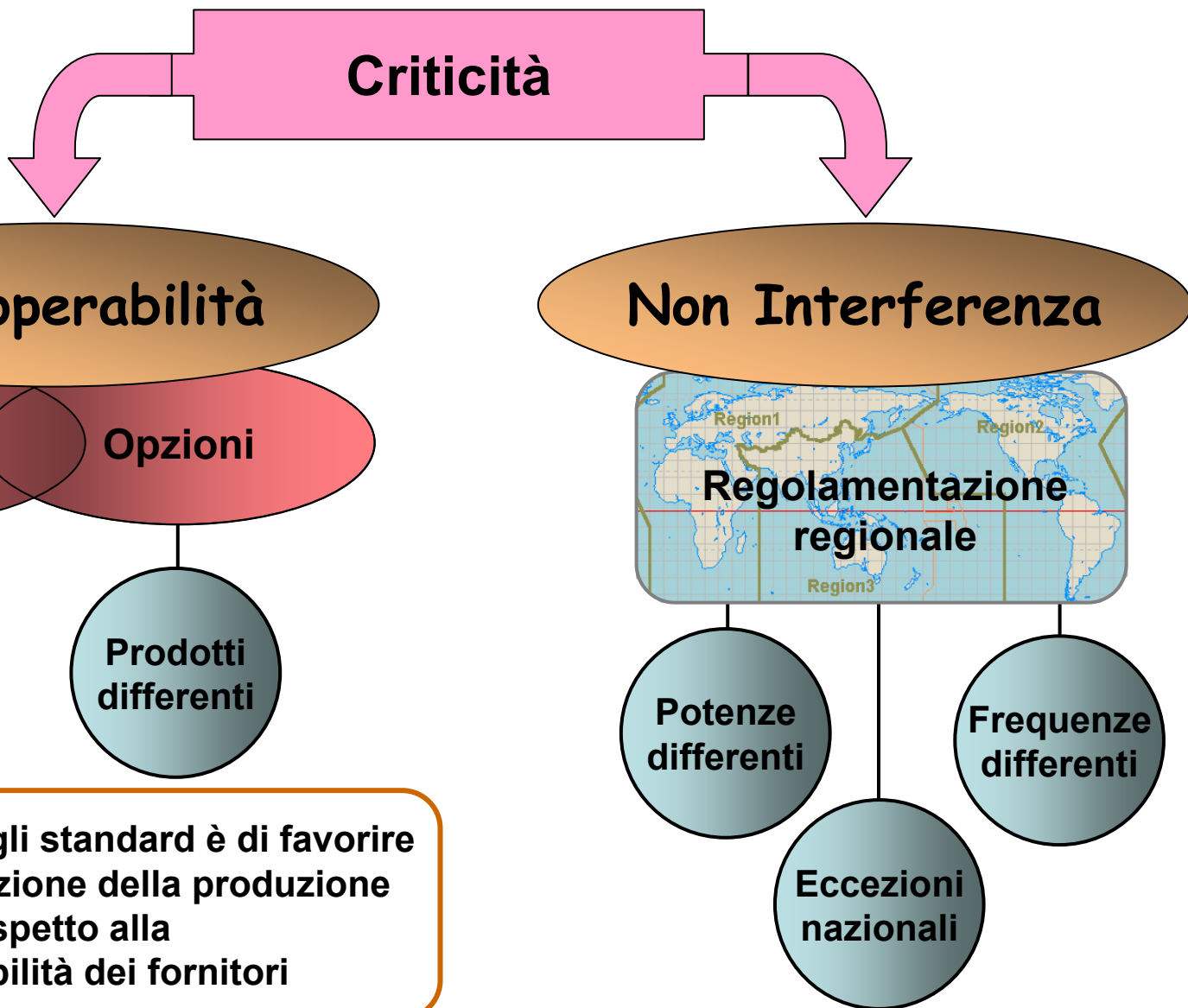


Europa



ISO/IEC 18000 series defines the parameters in any Standardized Air Interface between RFID Reader and TAG

Il ruolo degli Standard



Contributi nazionali agli Standard

Dal 2008:

“Cabina di Regia” Nazionale

istituita da:

Ministero dello Sviluppo Economico – Comunicazioni

Con partecipazione di: Garante Privacy, CNIPA, ecc.

Probabile
referente EPCglobal



Probabile
referente ISO



UNINFO

TECNOLOGIE INFORMATICHE E LORO
APPLICAZIONI
ENTE di NORMAZIONE FEDERATO all'UNI

Associazioni che raggruppano: vendor (produttori e fornitori) e utilizzatori



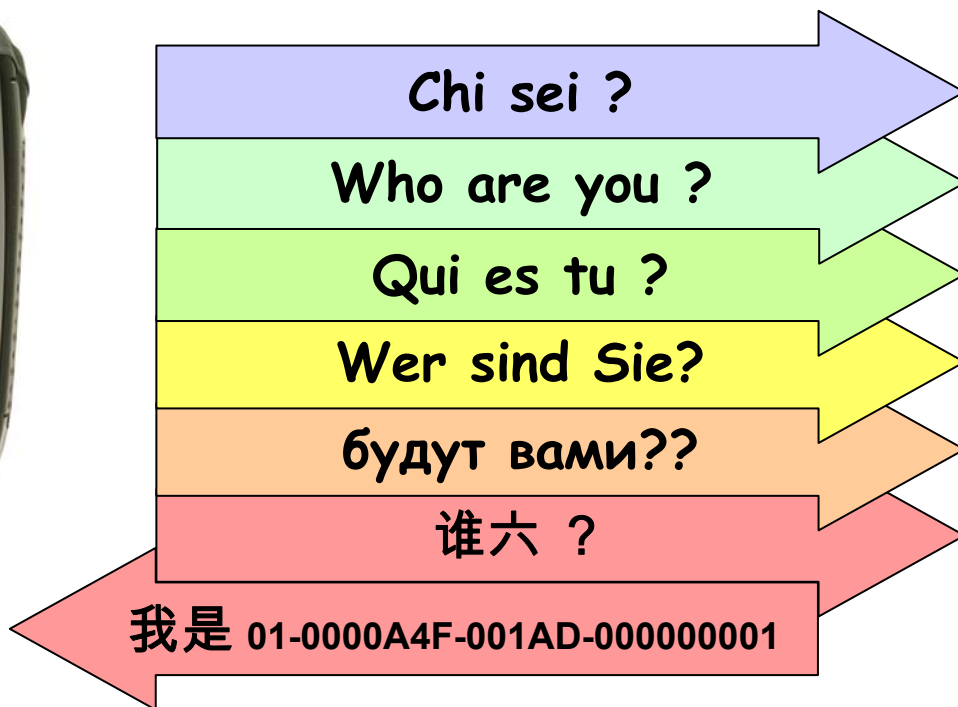


Le tecnologie RFID

Protocolli di comunicazione
Reader - TAG

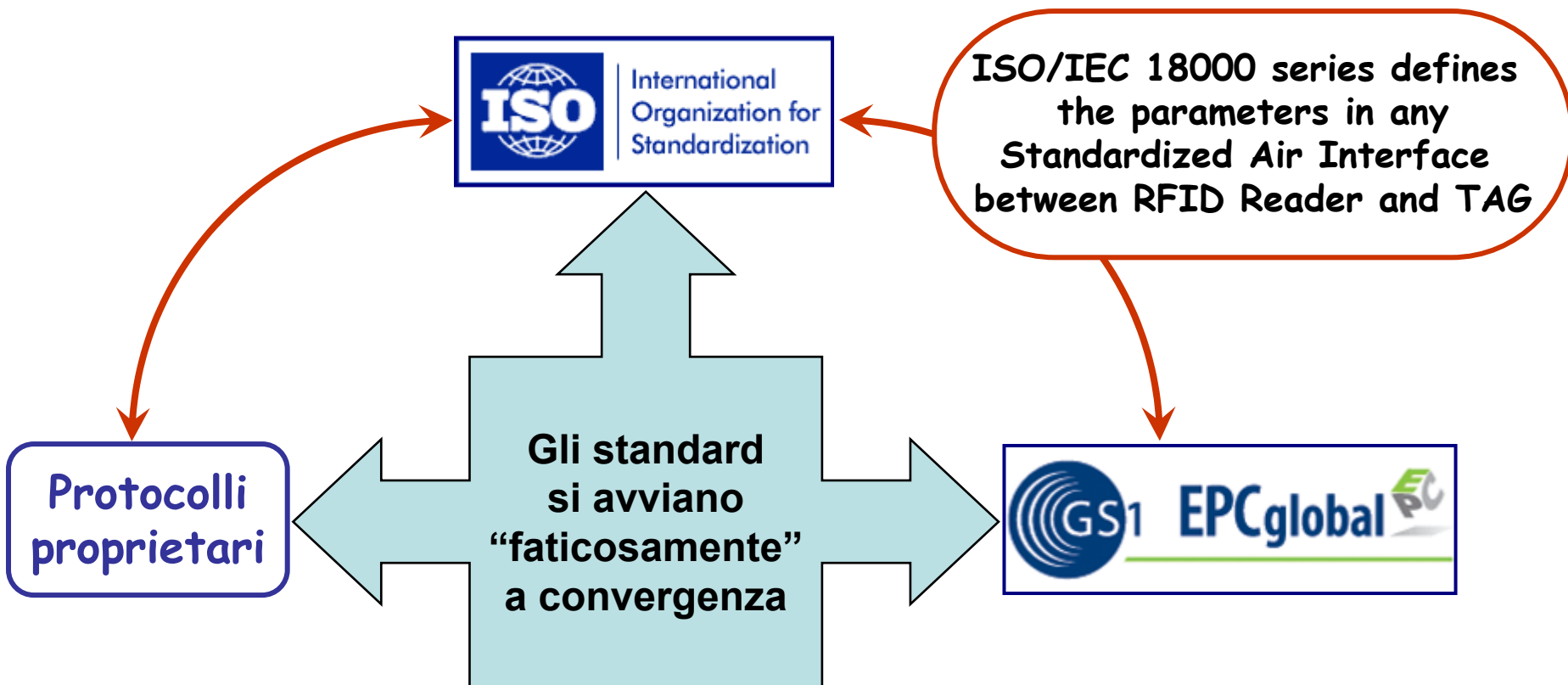
Protocolli di comunicazione

Per comprendersi Reader e TAG devono parlare stessa lingua



Protocolli di comunicazione

La lingua che Reader e TAG parlano tra loro



Protocolli di comunicazione ISO

Attività



ISO/IEC 18000 series defines the parameters in any Standardized Air Interface between RFID Reader and TAG

| | |
|--|---|
| 18000-1 | Reference architecture and definition of parameters to be standardized |
| Defines the communications protocol used in the air interface & forward and return link parameters for technical attributes including, operating frequency, operating channel accuracy, occupied channel bandwidth, maximum EIRP, spurious emissions, modulation, duty cycle, data coding, bit rate, bit rate accuracy, bit transmission order, and where appropriate operating channels, frequency hop rate, hop sequence, spreading sequence, and chip rate. | |
| 18000-2 | Air Interface Communications below 135 kHz <ul style="list-style-type: none"> ≡ FDX tags operate at 125 kHz. ≡ HDX tags operate at 134,2 kHz |
| 18000-3 | Air Interface Communications at 13.56 MHz |
| 18000-4 | Air Interface Communications at 2.45 GHz |
| 18000-6 | Part 6 - Parameters for Air Interface Communications at 860 – 960 MHz <ul style="list-style-type: none"> ≡ Type A uses Pulse Interval Encoding (PIE) in the forward link, and an adaptive ALOHA collision arbitration algorithm. ≡ Type B uses Manchester in the forward link and an adaptive binary tree collision arbitration algorithm. |
| 18000-7 | Parameters for active air interface communications at 433 MHz |

Protocolli di comunicazione EPCglobal

Attività



Electronic Product Code

Type 1 EPC (96 bits)

01.0000A4F.001AD.000000001

Header
(8 bits)

EPC Manager
(28 bits)

Object Class
(24 bits)

Serial Number
(36 bits)

Hexadecimal Notation

- Codice I identificatore di oggetti
- Simile al codice a barre, maggiori informazioni
- I identifica singoli oggetti anzichè classi
- Restituito dai TAG all'I nterrogazione
- Utilizzato come chiave di ricerca in una base di dati, consente di ricavare informazioni particolareggiate sul singolo oggetto

| | | |
|-------------------------|--|---|
| Class 0 Gen1 | <p>UHF — Passivi — Solo lettura (read-only)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Sono i tipi più semplici • EAS (Electronic article surveillance) • Annunciano solo la loro presenza quando transitano nel campo generato da un'antenna. |
| Class 1 Gen1 | <p>HF – UHF — Passivi — Scrivibili una sola volta (WORM)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Dati in memoria scritti in fabbrica |
| Class 1 GEN2 | <p>UHF — Passivi — Scrivibili una sola volta (WORM – write-once, read-many)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Di uso globale, comprendono la classe 0, la classe 1 e caratteristiche di ISO 18000-6 • Maggiore velocità di lettura • Maggiore efficienza spettrale • Maggiore raggio di copertura • Disattivabili x privacy |

Protocolli anti-collisione

I protocolli anti-collisione ordinano le risposte dei TAG

Risposte disordinate



####

Dite il vostro nome !

TAGs

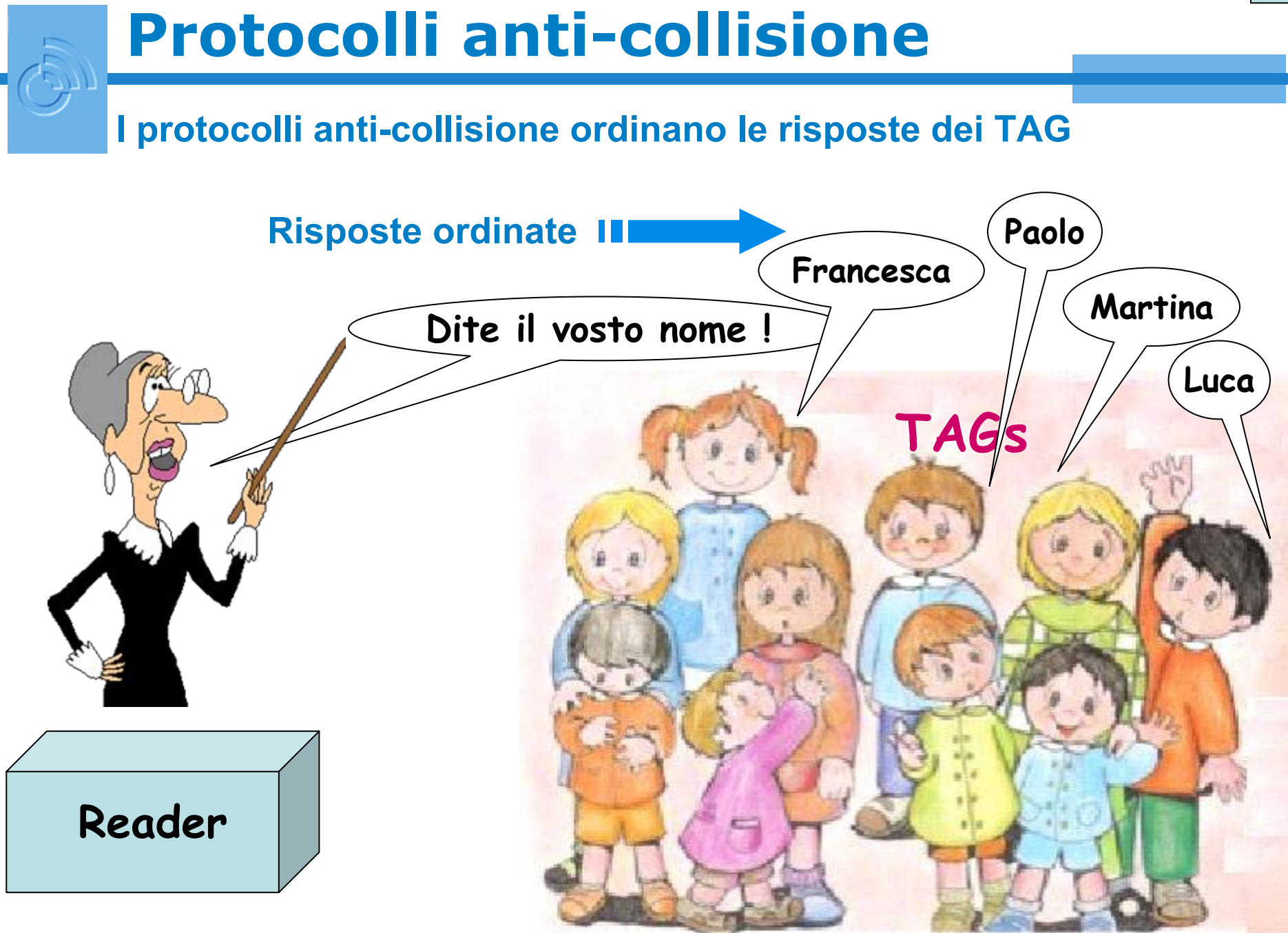


Reader



Protocolli anti-collisione

I protocolli anti-collisione ordinano le risposte dei TAG

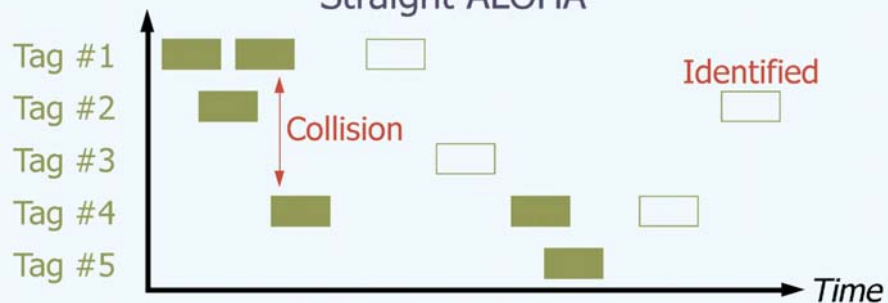


Protocolli anti-collisione

La generazione attuale non risolve interamente i conflitti in caso di diffusione pervasiva di TAG

ISO 18000-6 Type A – Probabilistic ALOHA

Straight ALOHA

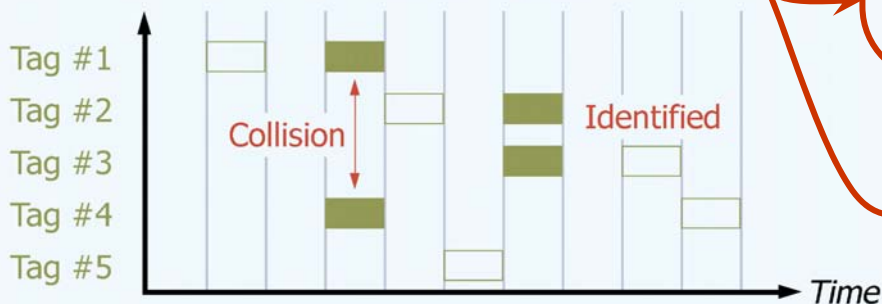


ISO 18000-6 Type B – Binary tree protocol



ISO 18000-6 Type C – Gen2 TAGs – Slotted ALOHA

Slotted ALOHA



Put TAG to sleep after being read

Parameter 'Q' set up to control the probability a TAG will respond

Reader must 'listen before talk' to avoid channels already in use



Le tecnologie RFID

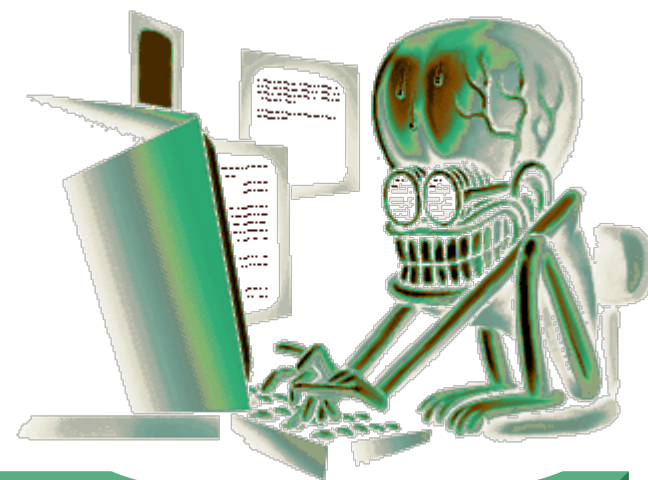
Tecniche di sicurezza
(è disponibile una presentazione separata)

Tecniche di Sicurezza

TAG Gen2

- ↪ Scarsa capacità di calcolo
- ↪ Abilitazioni/disabilitazioni su base password

- **Killing:**
disabilitazione totale; dati non più accessibili
- **Clipping:**
disabilitazione parziale; dati accessibili solo in prossimità
- **Cloaking:**
password prima di rispondere e/o scrivere sezioni di memoria
- **Crittografia asimmetrica:** sicurezza
- **Firma elettronica:** integrità dei dati



Carte senza contatto

- ↪ Autenticazione & Crittografia simmetrica
- ↪ Standard proprietari: Mifare (Philips), Felica (Sony)

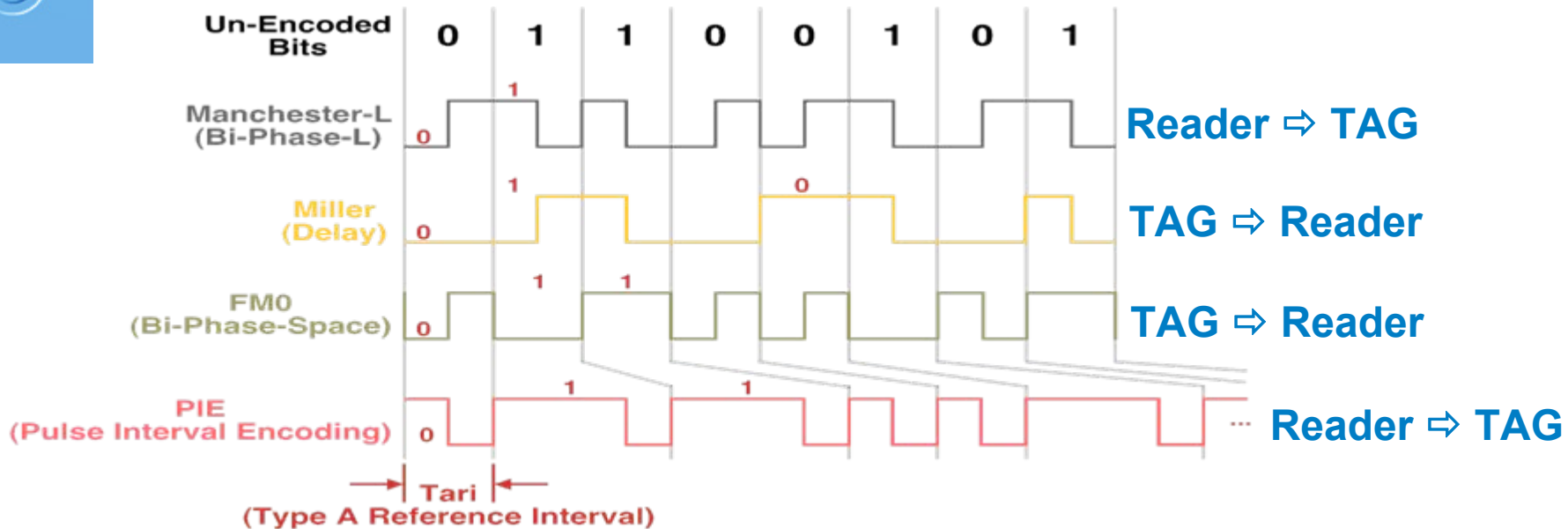


Le tecnologie RFID

Codifiche dati
& Modulazioni



Codifiche



Trasferimento di energia



Modulazioni

- modulazione semplici – bassa complessità circuitale
- modulazione binaria di – ampiezza – fase – frequenza

- **ASK – (Amplitude Shift Keying) – modulazione d'ampiezza binaria**
 - il segnale modulante (binario) causa la variazione tra due ampiezza della portante –

- ≡ Double Side Band-Amplitude Shift Keying (DSB-ASK)

- ≡ Single Side Band-ASK (SSB-ASK)

- ≡ Profondità di modulazione (0÷100 %)

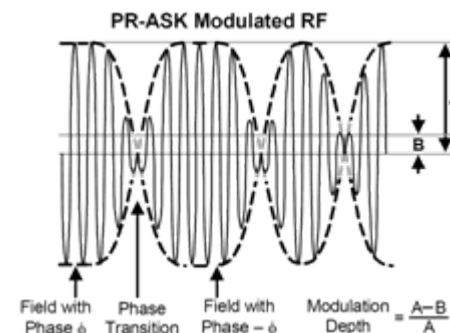
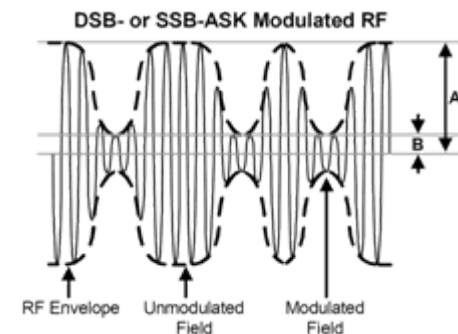
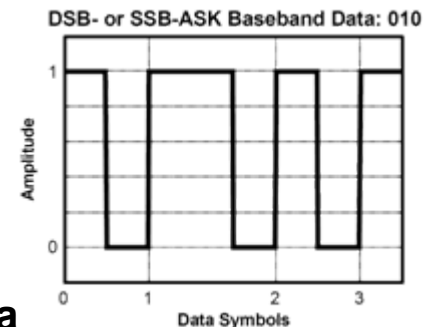
- **Phase Reversal-ASK (PR-ASK)**

- il segnale modulante (binario) causa lo spostamento di fase di 180° della portante –

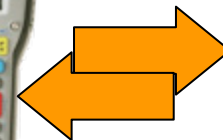
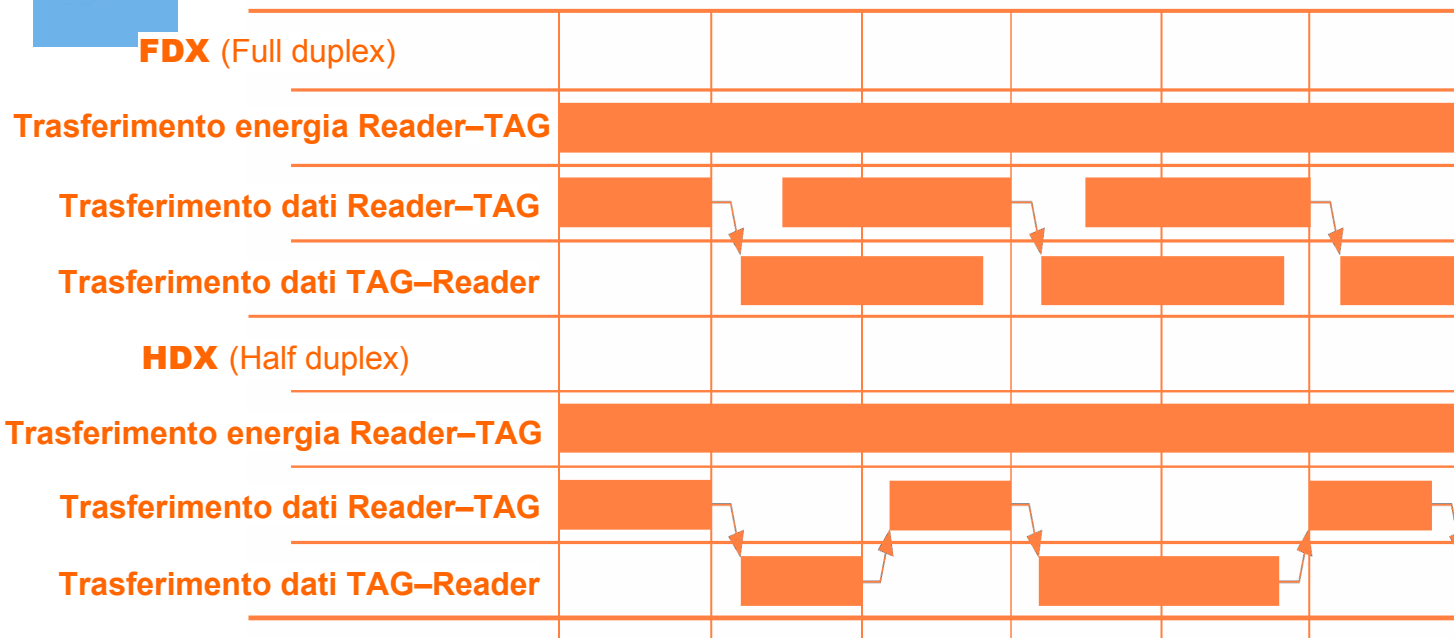
- ≡ la rivelazione su base dell'ampiezza del segnale ricevuto
 - non della fase –

- **FSK – (frequency shift key)**

- il segnale modulante (binario) causa lo spostamento della portante tra due frequenze –



Modalità di trasmissione del Reader



Trasmissione della portante in continuità per assicurare che il TAG riceva energia sufficiente, per effettuare la rivelazione e rispondere

Gestione dell'occupazione dei canali
(da parte del Reader)

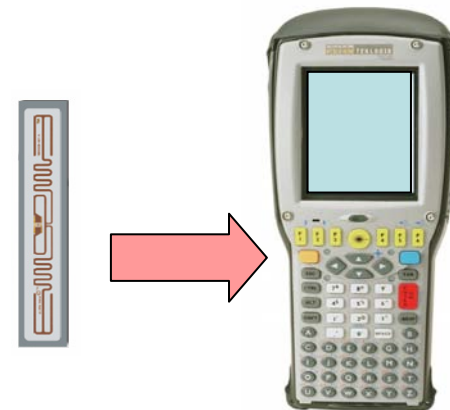
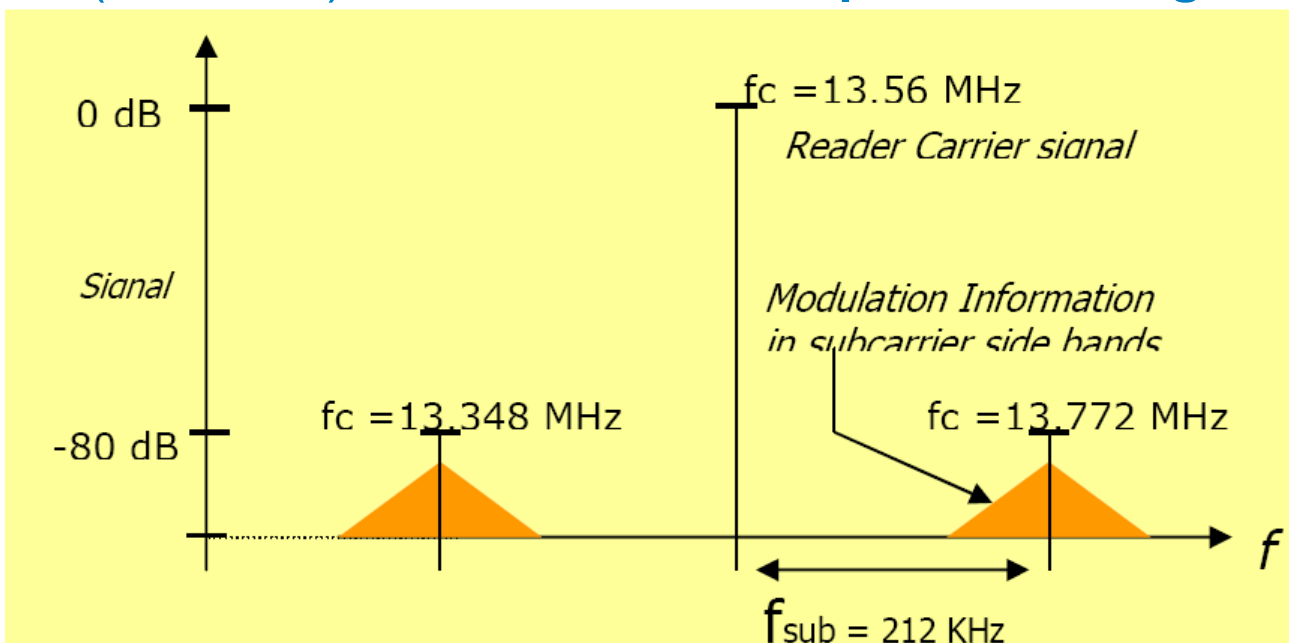
- ↳ **Listen Before Talk**
(non trasmettere se il canale è occupato)
- ↳ **Frequency Hopping**
(scelta canale con algoritmo casuale)

Modulazione del Reader

- ↳ **Sistemi LF** FSK
- ↳ **Sistemi HF e UHF** ASK – DSB
ASK – SSB
PR-ASK

Risposte "fuori banda" del TAG

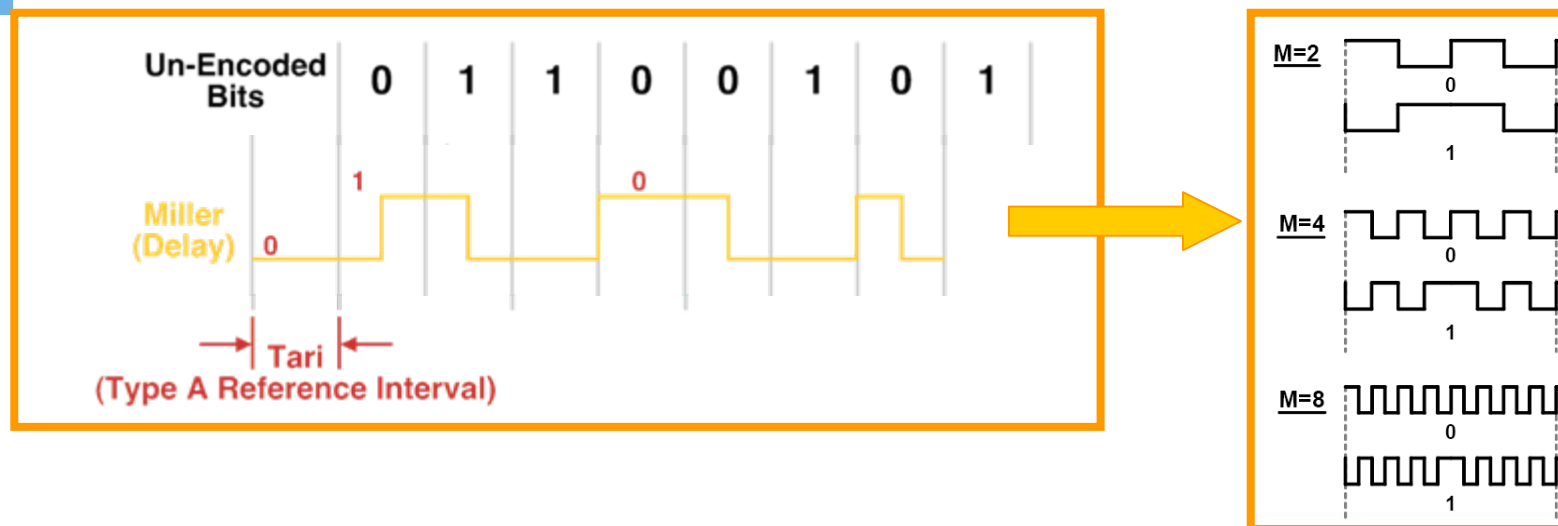
Il TAG genera una sottoportante per evitare che il segnale di risposta (modulato) abbia la stessa frequenza del segnale di interrogazione



Come generare una sottoportante:

- **il TAG non è equipaggiato con un trasmettitore ma modula il carico** (accoppiamento induttivo) **o il backscatter** (accoppiamento elettromagnetico)
- **le tecniche di codifica dei dati modulanti determinano lo spettro di frequenza del segnale re-irradiato**

Generazione della sottoportante



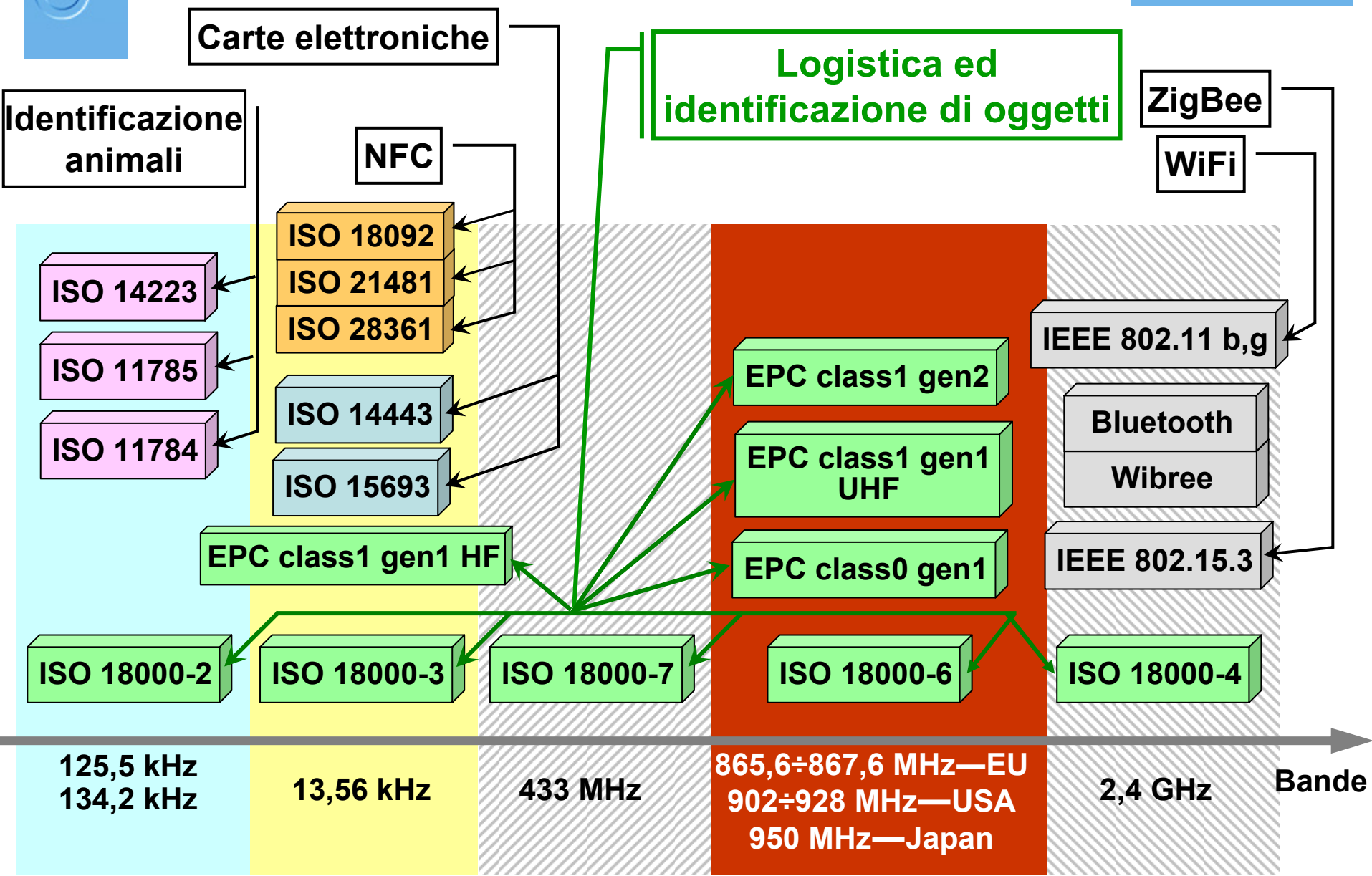
- La generazione della sottoportante avviene incrementando il numero di transizioni presenti nell'ambito dell'intervallo di tempo dedicato alla trasmissione di un simbolo codificato (fattore M)
- Al crescere di M si generano sottoportanti a frequenze via via più distanti dalla portante
- Lo standard ISO 18000-6 Type C (Gen2) impiega nel verso TAG ► Reader, codifica di Miller con differenti valori di M (sub-carrier rates) (ad esempio M=2, 4, 8)



Le tecnologie RFID

Frequenze, potenze e
Tecnologie derivate

Standard / Applicazioni / Frequenze



Frequenze/Potenze in Europa



«senza interferenza e senza protezione»

- **gli apparati RFID non devono generare interferenze per altri servizi di radiocomunicazione**
- **non si può pretendere protezione degli apparati RFID da interferenze derivanti da altri servizi**

Tecnologie attive di prossimità

Short Range Devices

TAG attivi RFID (UHF) (logistica)

TAG UWB (radiolocalizzazione)

NearFieldCommunication
(pagamenti “senza contatto” – info su oggetti)

Zig Bee
(sensori/attuatori per domotica in rete MESH)

ecc.



“Decisioni” della Commissione UE

2006/804/CE (25.11.2006)

**Armonizzazione di Frequenze/Potenze
in banda UHF tra 865 ed 868 MHz
per TAG passivi RFID**

2006/771/CE (11.11.2006)

**Armonizzazione di Frequenze/Potenze per SRD
 (“apparecchiature a corto raggio” ma anche TAG attivi
RFID) nelle bande:**

- **HF 27 MHz**
- **VHF 40 MHz**
- **UHF 868÷870 MHz**
- **UHF 2,5 GHz**
- **SHF 5,7 GHz**

Bande LF (liquidi & metalli)

RFID passivi ad accoppiamento magnetico (spesso antenne in ferrite)

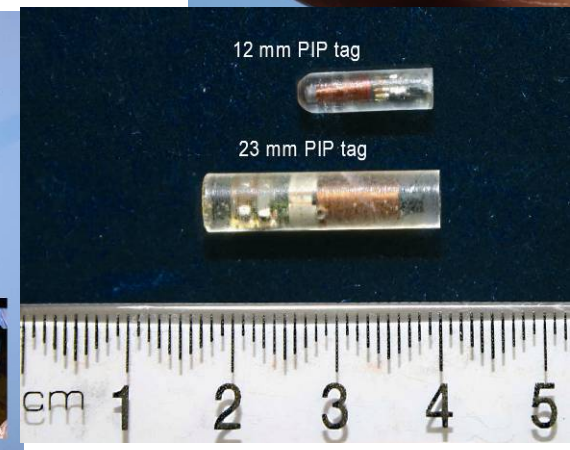
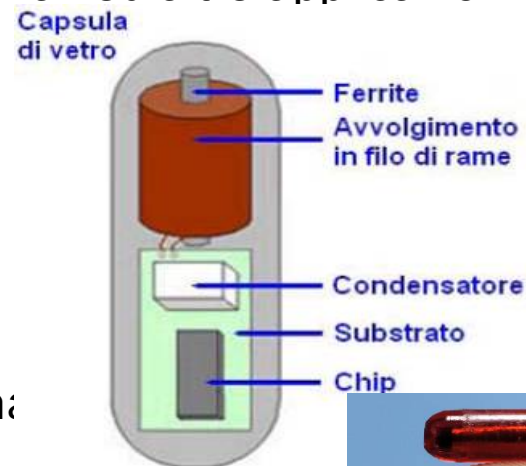
➤ LF bande definite dall'ISO per l'identificazioni di animali ed altre applicazioni

- TAG di tipo FDX a 125 kHz
- HDX a 134.2 kHz

➤ **Bande allocate in modo abbastanza compatibile in tutto il mondo**

➤ Applicazioni in contatto con:

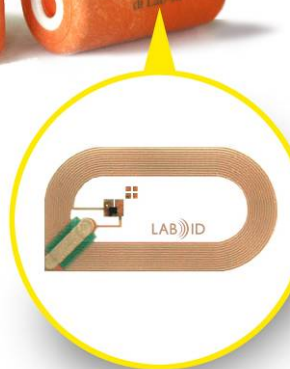
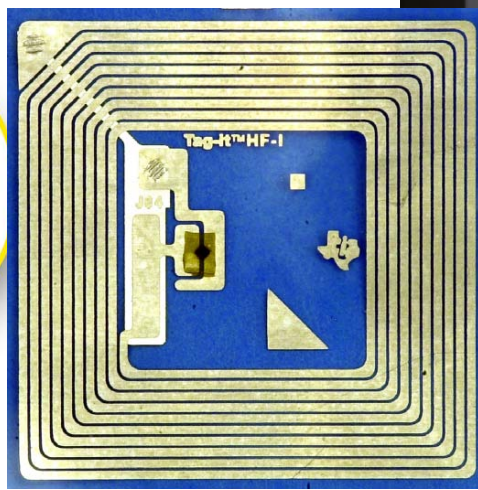
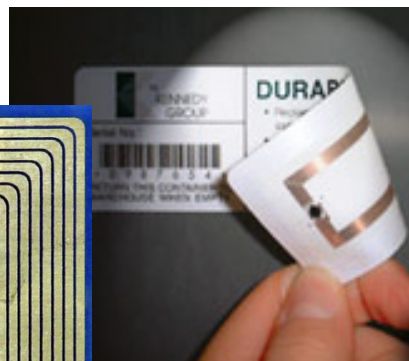
- liquidi (corpi animali/umani)
- Metalli (antifurti, identificazioni di parti meccaniche)



Banda HF 13,56 Mhz la "banda universale"

RFID passivi ad accoppiamento magnetico

- sono stati storicamente i primi ad essere realizzati
- **Le banda 13,56 Mhz è allocata in modo compatibile in tutto il mondo**
- Ad oggi la banda 13,56 MHz è sicuramente accettata in tutto il pianeta per una grande varietà di applicazioni:
 - **Smart card** per identificazione e controllo accessi
 - **"Etichette intelligenti"**
 - Controllo bagagli negli aeroporti
 - Identificazione di contenitori (pallet, container) in logistica



Banda UHF alta (2,4 GHz)



USA: Banda 2,45 GHz

sostanzialmente coincidente con quella europea
Standard ISO 18000-4 per TAG passivi & attivi

Europa: “Decisione” 2006/771/CE
Banda SRD 2.400 ÷ 2.483,5 MHz
Potenze: 10 mW e.i.r.p



**Esistono RFID
che comunicano
con standard WiFi**

**In Europa sono commercializzate
applicazioni con TAG attivi
a bassa potenza (10 mW)**



In Europa

esisterebbe anche la “Raccomandazione” ERC/REC 70-03 Annesso 11 RFID
Banda: 2446÷2454 MHz || Potenze e.i.r.p. : 500 mW outdoor – 4 W indoor
Non implementata in Italia e scarsamente in Europa causa
possibili interferenze con sistemi quali: Wireless LAN, WiFi, Bluetooth, ecc.
In Italia il PNF prevede: WAS/R-LAN: 2400÷2483,5 MHz 100 mW e.i.r.p

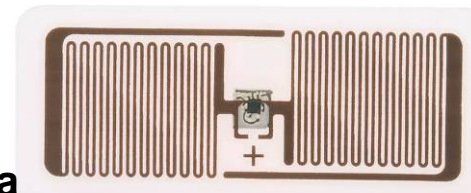
Banda UHF media 865 ÷ 868 MHz

l'identificazione degli oggetti

RFID passivi ad accoppiamento elettromagnetico



- In banda UHF operano i nuovi TAG RFID passivi **"Generation2"** che si stanno affermando sul mercato mondiale come candidati all'applicazione massiva sui singoli oggetti
- Questo corrisponde alla **produzione di centinaia di miliardi di TAG** da parte dell'industria
- **Le bande di frequenza UHF sono differenti nelle diverse regioni ed i TAG operano a larga banda**
- **In Europa i TAG passivi UHF operano tra 865 ed 868 MHz**



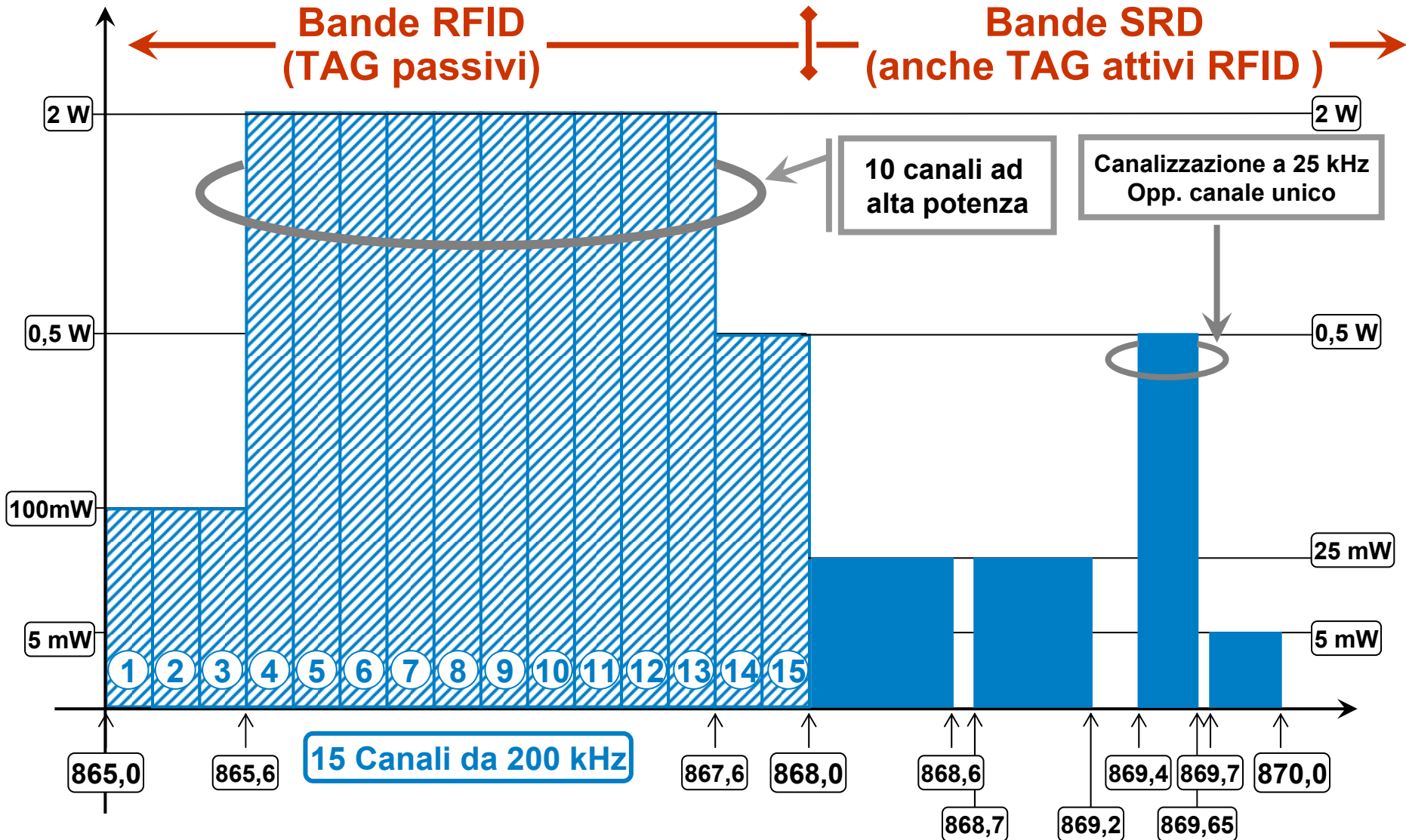
RFID attivi

- Operano come "non specific SRD" in alcune bande UHF situate tra **868 ed 870 MHz**
- Sono impiegati in logistica per applicazioni "closed loop" in container, pallet, ecc. (TAG riusabili)

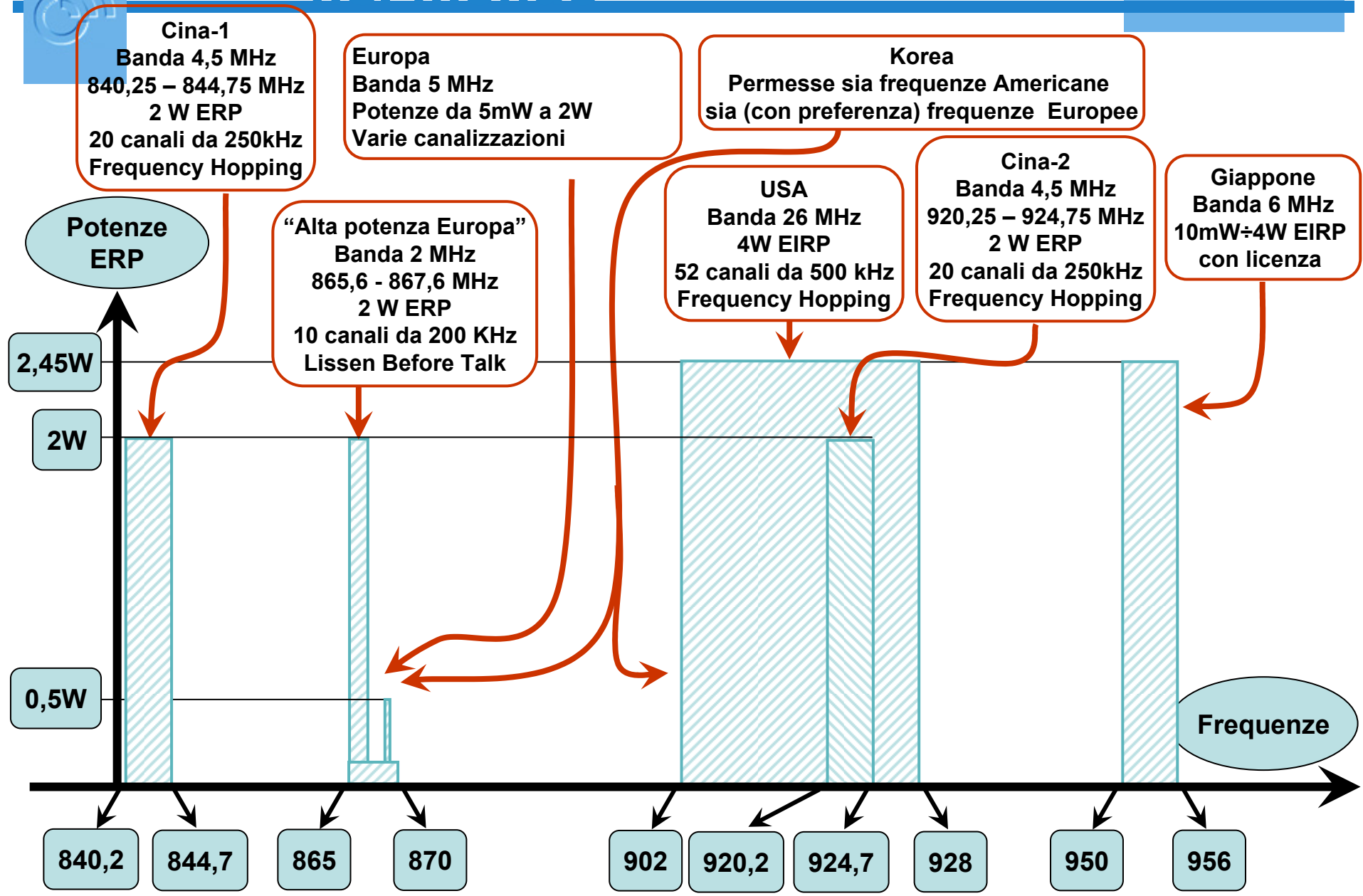


Frequenze & Potenze nelle bande UHF in Europa

Decisioni Commissione UE { 2006/804/CE
2006/771/CE



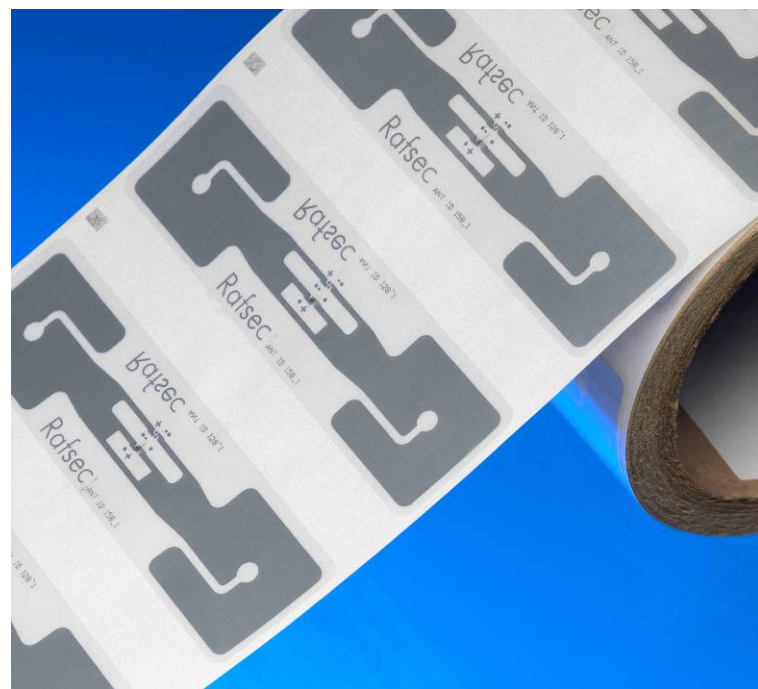
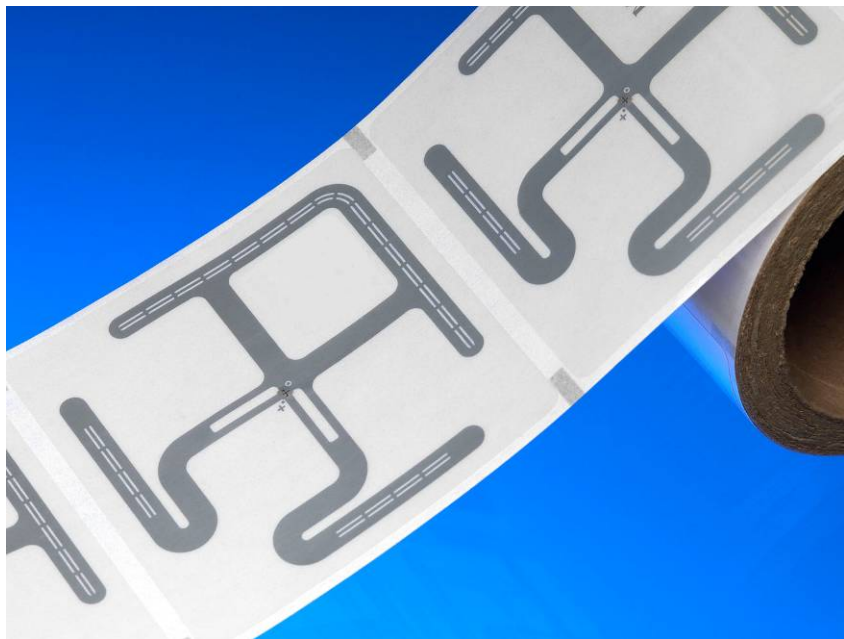
Frequenze & Potenze nelle bande UHF nel mondo



Criticità per i TAG UHF: Tecnologia a larga banda



- La non uniformità delle bande UHF nel mondo richiede la costruzione di TAG in grado di rispondere a larga banda
- I chip dei TAG gen2 sono intrinsecamente a larga banda
- E le antenne ???



Criticità per i TAG UHF: Vantaggi competitivi



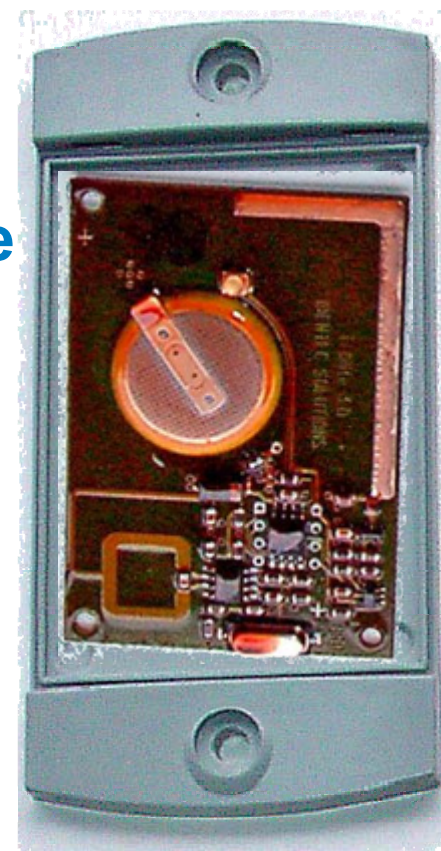
- **Un maggior numero di canali consente di far convivere un maggior numero di Reader nell'ambiente**
- **Una maggiore potenza consente di leggere**
 - **A distanza più elevata**
 - **Più velocemente (oggetti in moto)**
- **Un TAG disallineato in frequenza con il Reader subisce gli stessi effetti di una potenza più bassa**

**Gli obiettivi non devono essere le alte potenze
o il gran numero di canali ma
Potenze, frequenze e numero di canali
uniformi in tutto il mondo**

Tecnologie dei TAG attivi

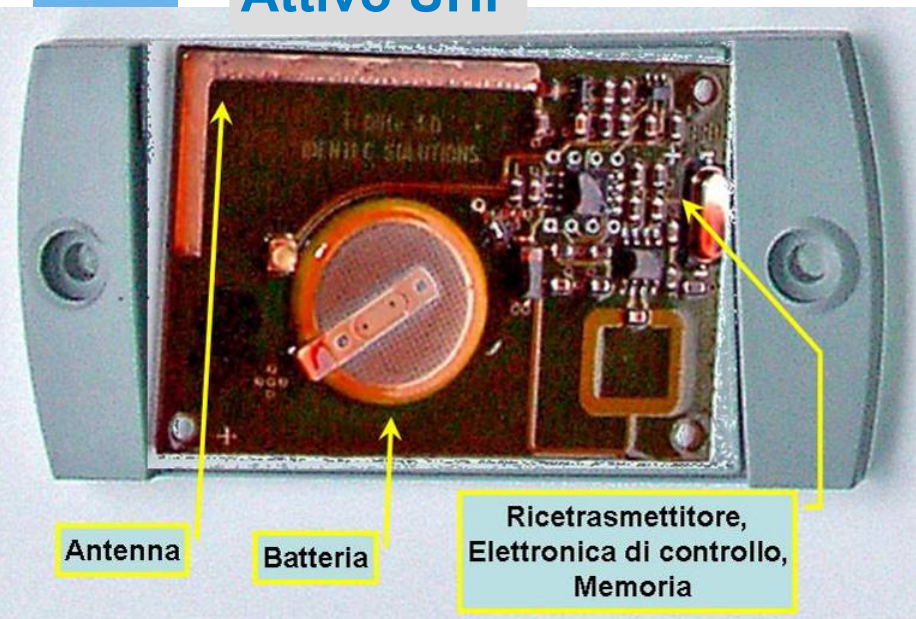


- Sono ricetrasmittitori governati da logiche di controllo
- La sfida principale riguarda le problematiche energetiche
 - Il tempo di vita del TAG coincide con quello della sua batteria
 - In alternativa, ricavare energia dall'ambiente
 - celle fotovoltaiche
 - vibrazioni
 - differenze di temperatura
 - Minimizzare il consumo ad ogni livello
 - Sensore
 - Elaborazione
 - Comunicazione
 - Strategie di sonno/veglia
- Non trascurare le problematiche ambientali



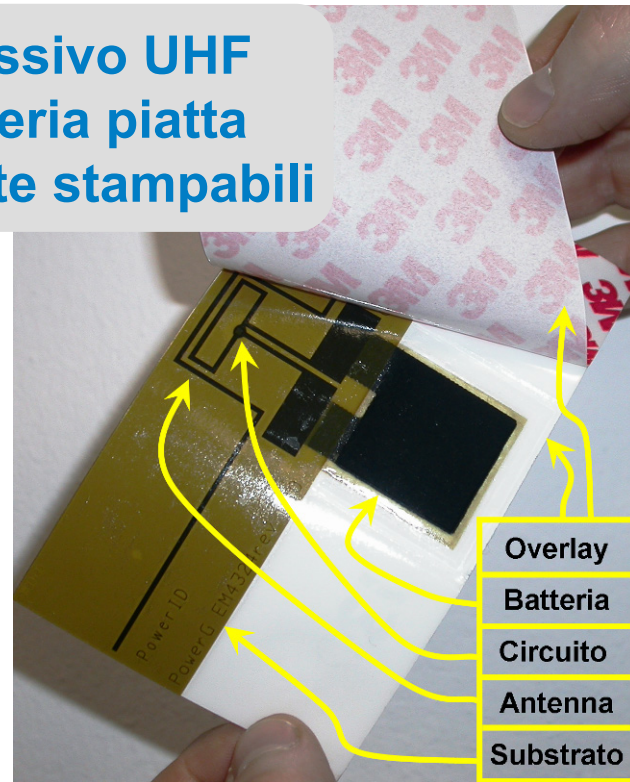
Attivi & semi passivi

Attivo UHF



Semi Passivo UHF con batteria piatta per etichette stampabili

Attivo UHF con sensore temperatura



Semi Passivo UHF



Applicazioni dei TAG attivi



| | | | |
|---------------------------------------|---|--|--|
| Frequenze operative | UHF bassa 433 MHz | UHF media <ul style="list-style-type: none"> ➤ 868 MHz EU ➤ 915 MHz USA ➤ 950 MHz Japan | UHF alta 2,45 GHz Microonde 5,8 GHz |
| Note sulle frequenze operative | Standard ISO 18000-7 (poco usato in Europa) | Nel mondo, differenze in: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Bande di frequenza ➤ Potenze di emissione | Standard ISO 18000-4 (poco usato in Europa) 2,45 GHz è una banda (ISM) in libero uso a livello mondiale. Possibili interferenze con altre applicazioni (es. Wi-Fi) |
| Applicazioni tipiche | Logistica, gestione magazzino, supply chain management, tracciamento di pallet e contenitori, ecc. | | Sistemi di pedaggio elettronico, tracciamento flotte, tracciamento beni. Telepass Utilizzata per letture in velocità (fino a 400 km/h) |

Le tecnologie RFID

Ulteriori tecnologie
di prossimità

- NFC
- ZigBee
- UWB

Near Field Communication

Caratteristiche NFC:

- **Apparati derivati dalla tecnologia delle carte senza contatto e RFID**
- **Comunicazione a corto raggio (≈ 10 cm)**
- **Integrazione nello stesso chip delle funzioni di una smartcard senza contatto e di un Reader**
- **Frequenza operativa 13,56 MHz (come le smart-card) e compatibilità opzionale, con le carte ISO/IEC 14443 o ISO/IEC 15693**
- **Comunicazione a moderato bitrate (max velocità 424 kbit/s).**
- **Dal lato utente l'NFC è tipicamente incorporato in un telefono cellulare o un PDA, dal lato del terminale per ticketing o pagamento merci, l'NFC sarà incorporato in obliteratrici di biglietti, parchimetri, terminali POS, tornelli d'ingresso, ecc.**
- **Principali applicazioni che comprendono le transazioni per ticketing e pagamenti sicuri (utilizzando come portafoglio carte di credito o SIM per telefonia mobile)**



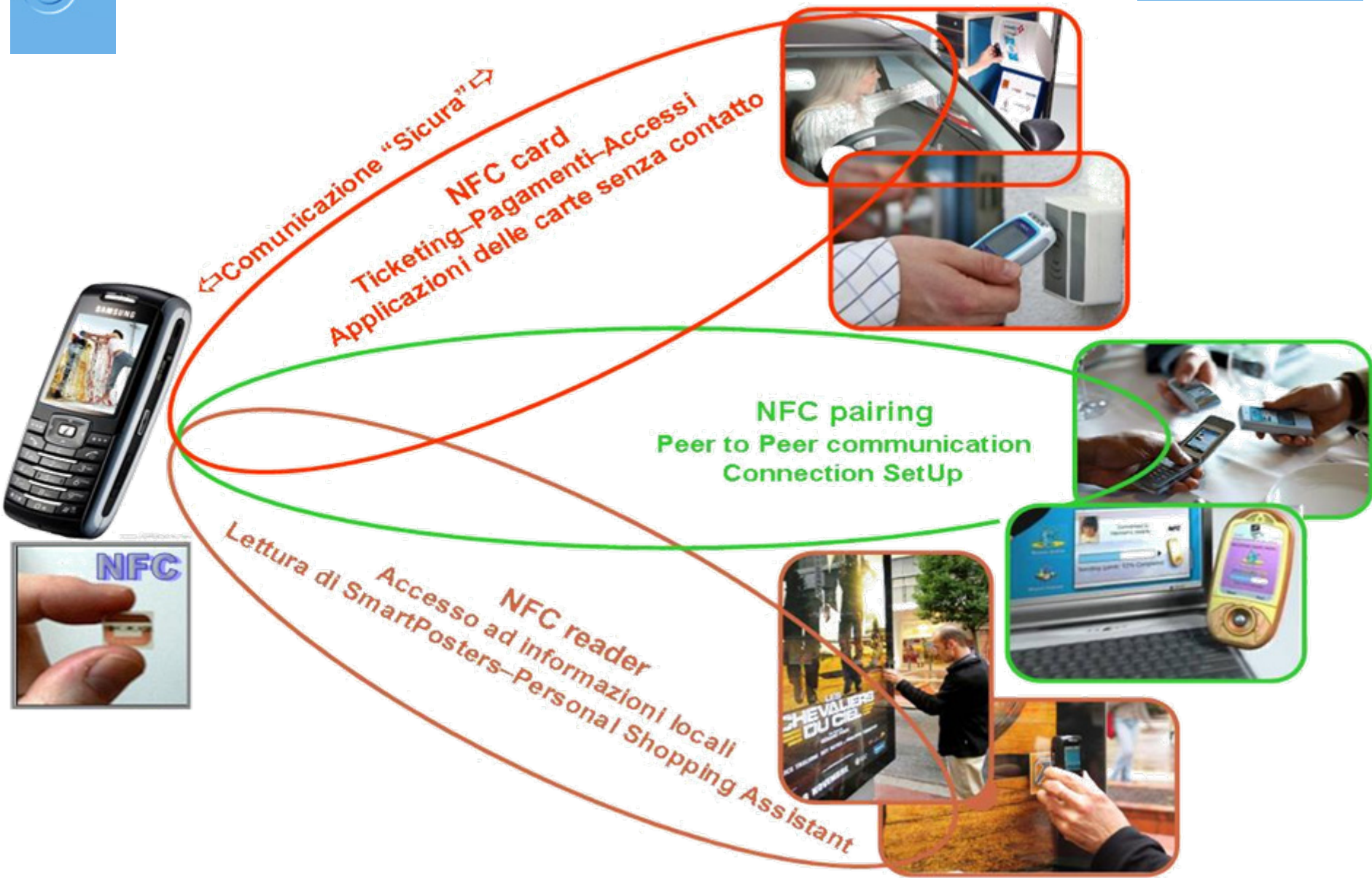


NFC

- **Un NFC è l'accoppiamento (in un solo circuito) di un Reader (attivo) e di un TAG (passivo e/o attivo) con caratteristiche delle carte senza contatto ("Proximity cards" ISO 14443) adatte a scambio dati sicuro ed a pagamenti elettronici**
- **Tipicamente l'NFC viene inserito in un apparato che provvede:**
 - all'interfaccia uomo macchina (se necessaria)
 - al collegamento in rete con i sistemi di transazione finanziaria
 - a fornire l'energia per il funzionamento
- **La tipologia di comunicazione è del tipo peer to peer:**
 - l'apparato che può effettuare la transazione verso un altro apparato, viene avvicinato dall'utente alla giusta distanza operativa
 - "sveglia" il suo potenziale corrispondente attraverso l'interrogazione di un Reader ad un TAG passivo.
 - a questo punto la comunicazione può proseguire sia in modo attivo-passivo che in modo attivo-attivo, compiendo le procedure per mettere in piedi un canale sicuro ed effettuare la transazione.



Applicazioni NFC





Sensori/attuatori in rete Mesh: ZigBee

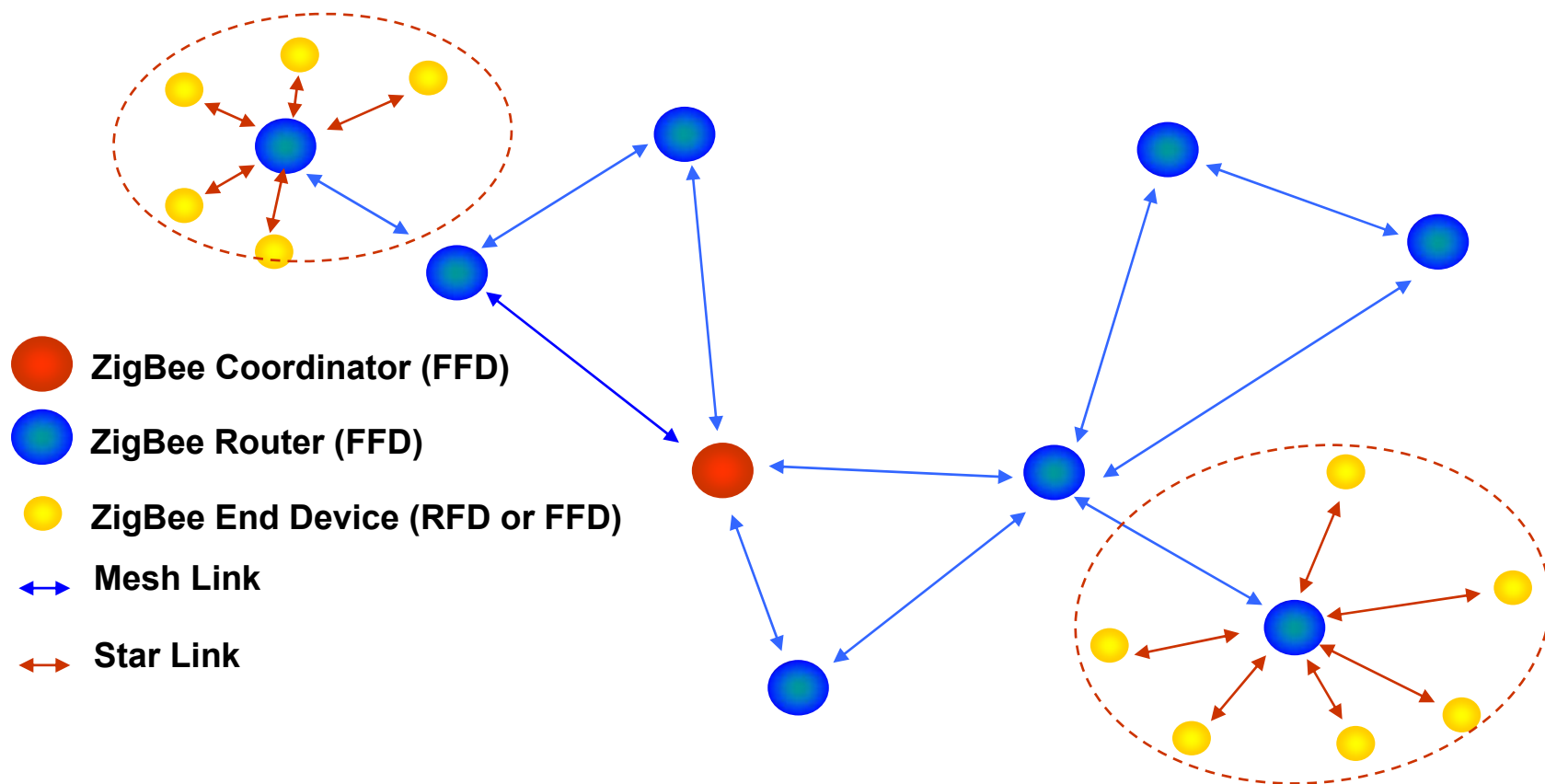


- **Rete a radiofrequenza “di prossimità” gestisce sensori ed attuatori**
- **Piccole reti radio autoconfiguranti ed economiche per comunicazioni a breve raggio e basso consumo di potenza; esigenze non soddisfatte da Bluetooth o WiFi**
- **La rete può raggiungere un numero elevatissimo di nodi (fino ad un max di 65000).**
- **Comunicazioni tra i nodi a breve raggio (fino a 100m), sfruttando il multi-hop si può estendere l’area di azione del nodo controllore a diversi Km**
- **Basso bit rate (20, 40 e 250 kbps)**

Ad hoc networking in ZigBee

Rete che si autoconfigura, “non” gerarchica nella quale

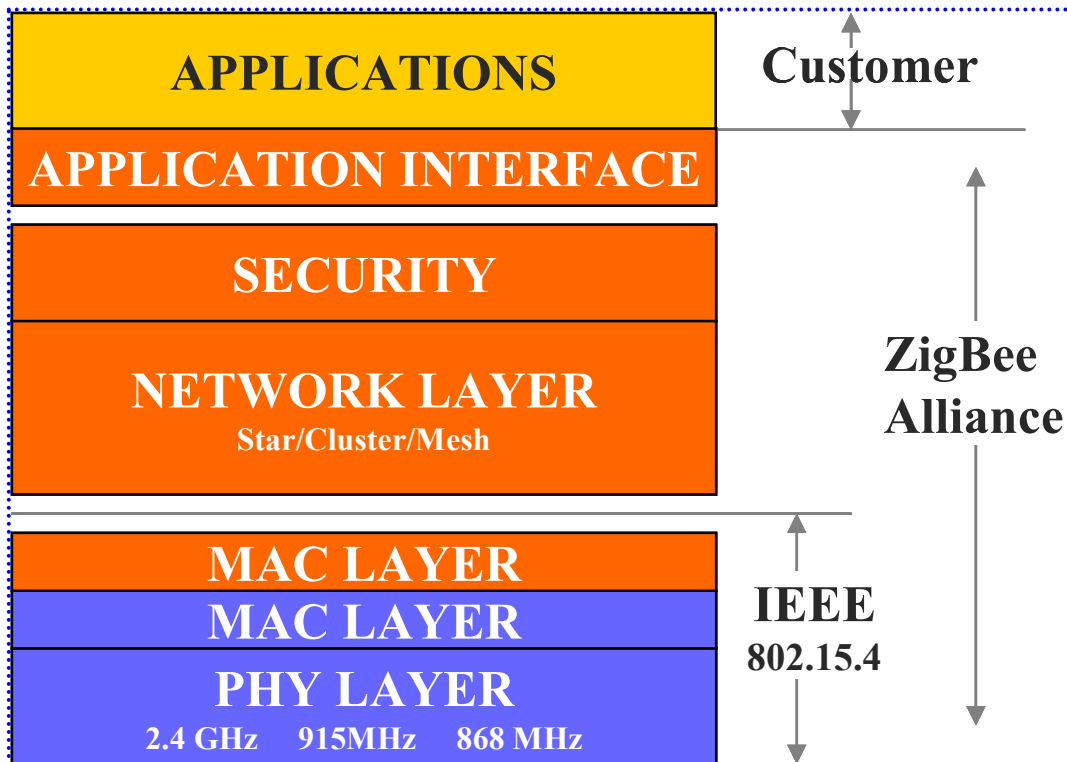
- I nodi possono assumere la capacità di instradamento selettivo
- In una rete di nodi Zigbee esiste un solo nodo controllore
- Uno dei nodi può avere funzionalità di gateway verso rete esterna



Standard & Protocolli ZigBee



- Standardizzato in ISO nella famiglia degli standard IEEE 802.15 WPAN (Wireless Personal Area Networks)
- 802.15.4 definisce i “livelli bassi” (in senso OSI) di ZigBee, ovvero infrastruttura di comunicazione e logica di controllo semplice e leggera per dispositivi che comunicano tra loro
- Schema IEEE MAC e auto-configurazione



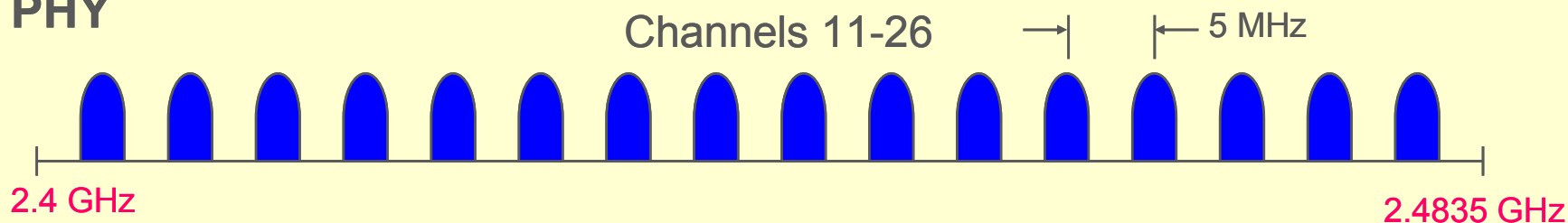
Application
 ZigBee Stack
 Silicon



Interfaccia radio ZigBee

- Interfaccia radio DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
- Accesso basato su tecnica CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)
- Power management per assicurare bassi consumi
- Basso costo (rispetto a soluzioni Bluetooth)
- Frequenze:
 - 16 canali nella banda ISM 2.4 GHz
 - 10 canali nella banda 915 MHz
 - 1 canale nella banda 868 MHz

2.4 GHz
PHY



ZigBee vs RFID attive

- L'utilizzo di strumenti di cifratura avanzati (Encryption, Authentication) previsti dallo standard ZigBee lo rende indicato per operazioni ove si richieda un trasferimento sicuro di dati
- I nodi ZigBee possono operare fino a distanze di qualche decina di metri (max distanza 100 metri); la distanza può essere regolata per il tipo di servizio, variando la potenza emessa dai nodi, rimanendo comunque entro limiti di qualche decina di mW
- Disponendo di una rete di nodi ZigBee è possibile implementare non solo i servizi tipici basati sul binomio RFID/lettore di RFID, ma anche quelli caratteristici di una rete di dispositivi che possono comunicare e interagire tra loro (building automation, industrial automation, ecc.).
- Il costo di un nodo ZigBee, grazie alla completa integrazione su unico chip, è competitivo rispetto al costo delle attuali e-tag attive e dei chip Bluetooth

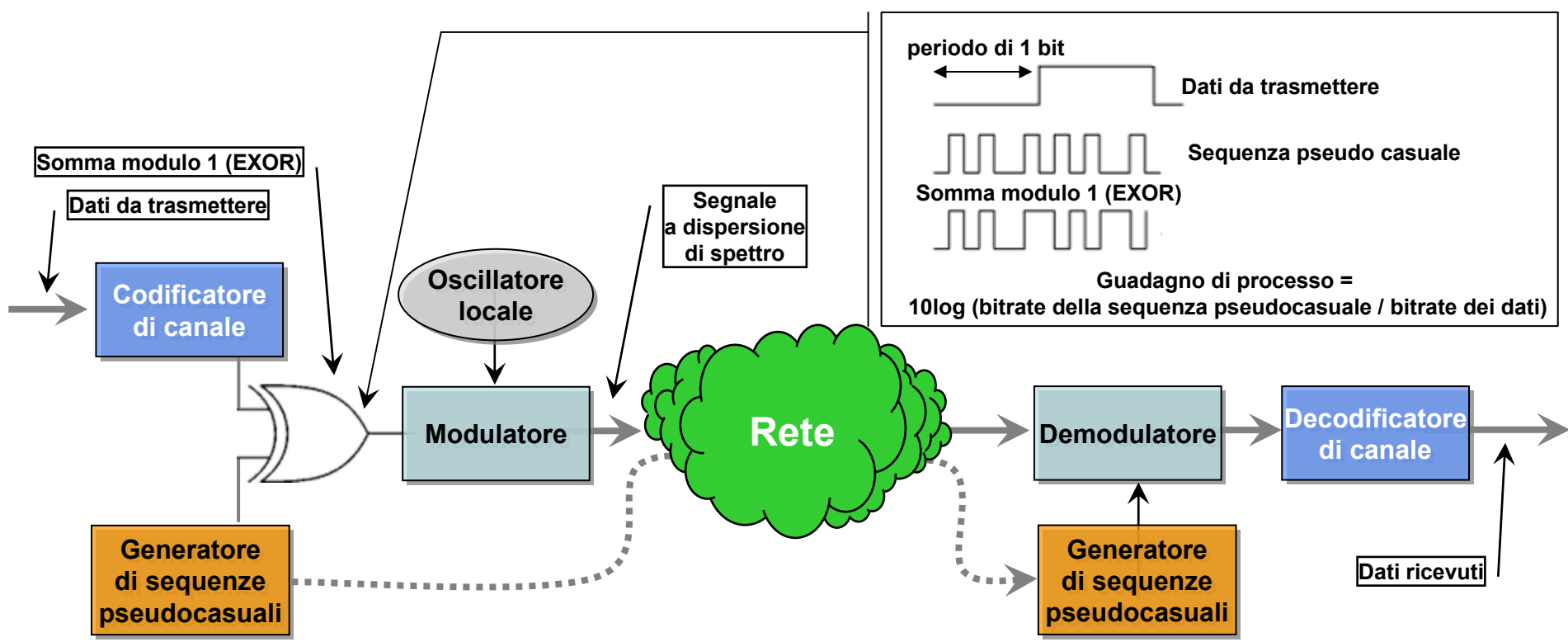
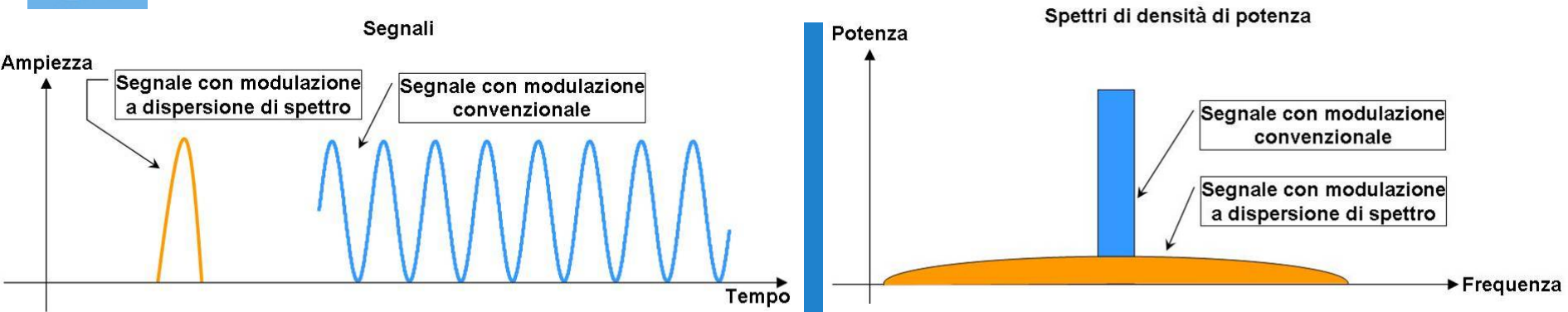
| <i>Tecnologie e-tag attive</i> | <i>Standard</i> | <i>Frequenze [MHz]</i> | <i>Data rate [kbps]</i> | <i>Distanza [m]</i> | <i>Sicurezza</i> | <i>Costo</i> | <i>Num. di dispositivi</i> | <i>Campo applicativo</i> |
|--------------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|---------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|--|
| RFID attiva | ISO/IEC 18000 | 433, 868/916 2450, 5800 | 30-120 | ≤100 | media | Tag medio Reader alto | ≤2000 | Logistica / gestione magazzino |
| Nodo ZigBee | IEEE 802.15.4 | 868/916 2450 | fino a 250 | ≤ 100 | alta | basso | 2 ¹⁶ | Automazione industriale, di edifici, reti di sensori |

TAG attivi in Ultra Wide Band

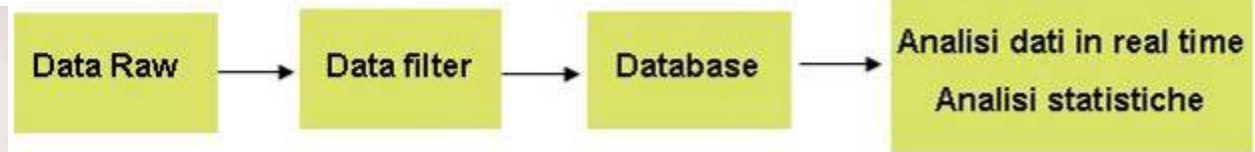
Modulazioni a dispersione di spettro Ultra Wide Band – UWB

- **Senza portante**
- **Amplissima diversità in frequenza**
- **Resistenza ad interferenze per cammini multipli**
(adatti alla radiolocalizzazione)
- **Capacità di penetrazione attraverso ostacoli**
- **Bassa densità di potenza**

UWB "Direct Sequence"



Radiolocalizzazione con TAG UWB





Tecnologie di prossimità a confronto

| Proprietà | Tecnologie wireless | | | | |
|--------------------------------|---|------------------------------------|--|--|-----------------------------|
| | Wi-Fi | Bluetooth | ZigBee | UWB | NFC |
| Frequenza | 802.11b/g: 2,4 GHz 802.11a: 5 GHz | 2,4 GHz | 2.4 GHz 868 MHz (in EU) 915 MHz (in USA) | 3,1-10,6 GHz | 13,56 MHz |
| Data rate | 802.11b: 11 Mbits/s 802.11a/g: 54 Mbits/s | 1 Mbits/s | 20 kbits/s 40 kbits/s 250 kbits/s | 100÷500 Mbits/s | 100÷400 Kbit/s |
| Raggio di copertura (m) | 50-100 | 10 | 50-100 | 10 | 0,1 |
| Topologia | Punto-Multipunto | Piconet ad hoc | Stella, peer-to-peer, Cluster-tree | Punto-a-Punto | Punto-a-Punto |
| Complessità | Alta | Alta | Media/Bassa | Media | Bassa |
| Consumo | Alto | Medio | Molto Basso | Basso | Basso / Nullo(passivo) |
| Applicazioni | WLAN, trasferimento di file, collegamento ad Internet | Auricolari per PC, cellulari, ecc. | Controllo apparecchiature ed ambienti, Domotica, Reti di sensori, Apparecchiature medicali, ecc. | Telerilevamento Trasferimento immagini e filmati | Ticketing / Micro Pagamenti |

Per saperne di più:

Download dal sito
www.RFID.FUB.it



Per comunicare con gli autori: Paolo Talone talone@fub.it
Giuseppe Russo russo@fub.it



Function of RFID

Identification systems in production and logistics

Industrial Engineering Department
University of Parma - Italy



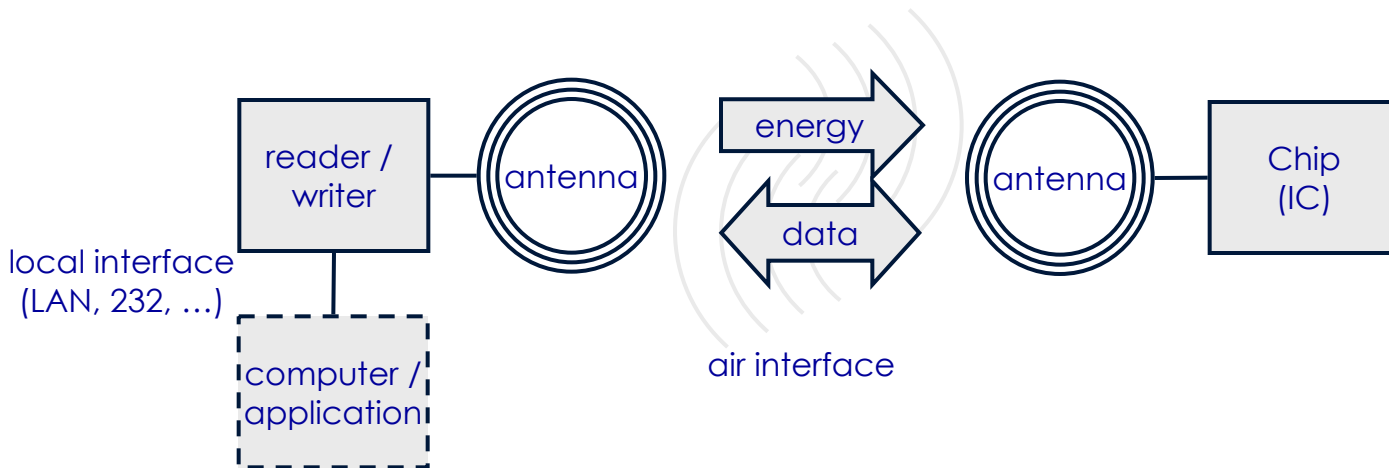
RFID Lab Fashion
Workshop 17 giugno 2008

Ing. Andrea Volpi
Industrial Engineering Department
University of Parma - Italy

Elements of a RFID system

A RFID system is composed of 2 elements:

1. the **transponder (tag)** which consists of a coupling element (antenna) to the reader and a microchip (IC) with read/write non-volatile memory (EEPROM)
 - attached or integrated on the object that has to be identified
2. the **reader** which contains of a RF-module, a controlling unit and a coupling element (antenna) to the transponder
 - read/write functions are available



Principle of RFID

RFID offers an easy, flexible and reliable identification, tracing and controlling of objects and persons with the help of information technology.

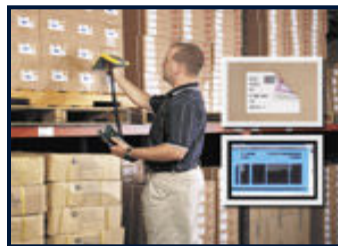
1. tagging

Objects and persons that have to be identified are attached with a tag.



2. reading/writing

The reader collects information of the tag. With the use of a writing unit new information can be stored in the memory of the tag.

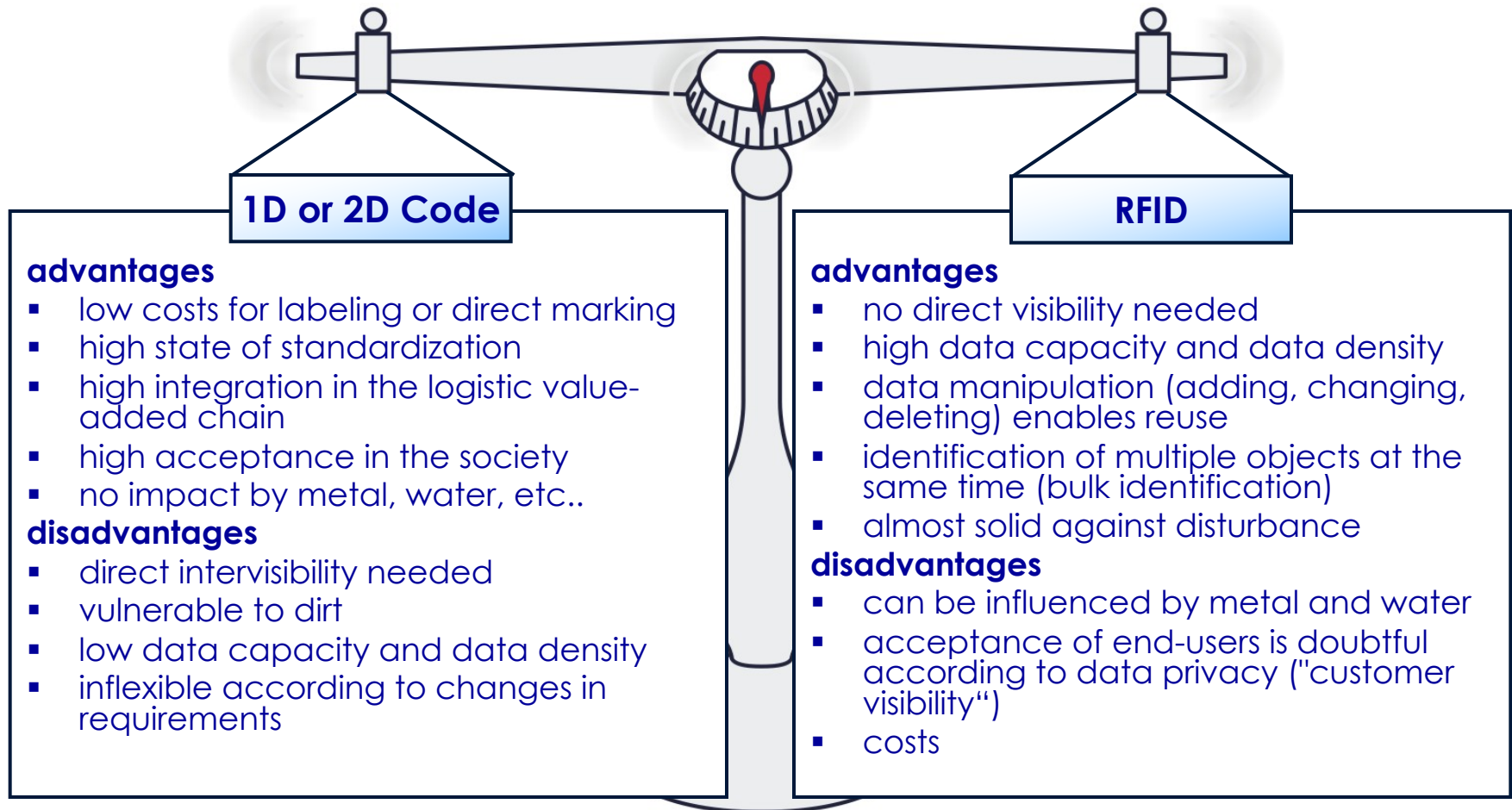


3. IT system

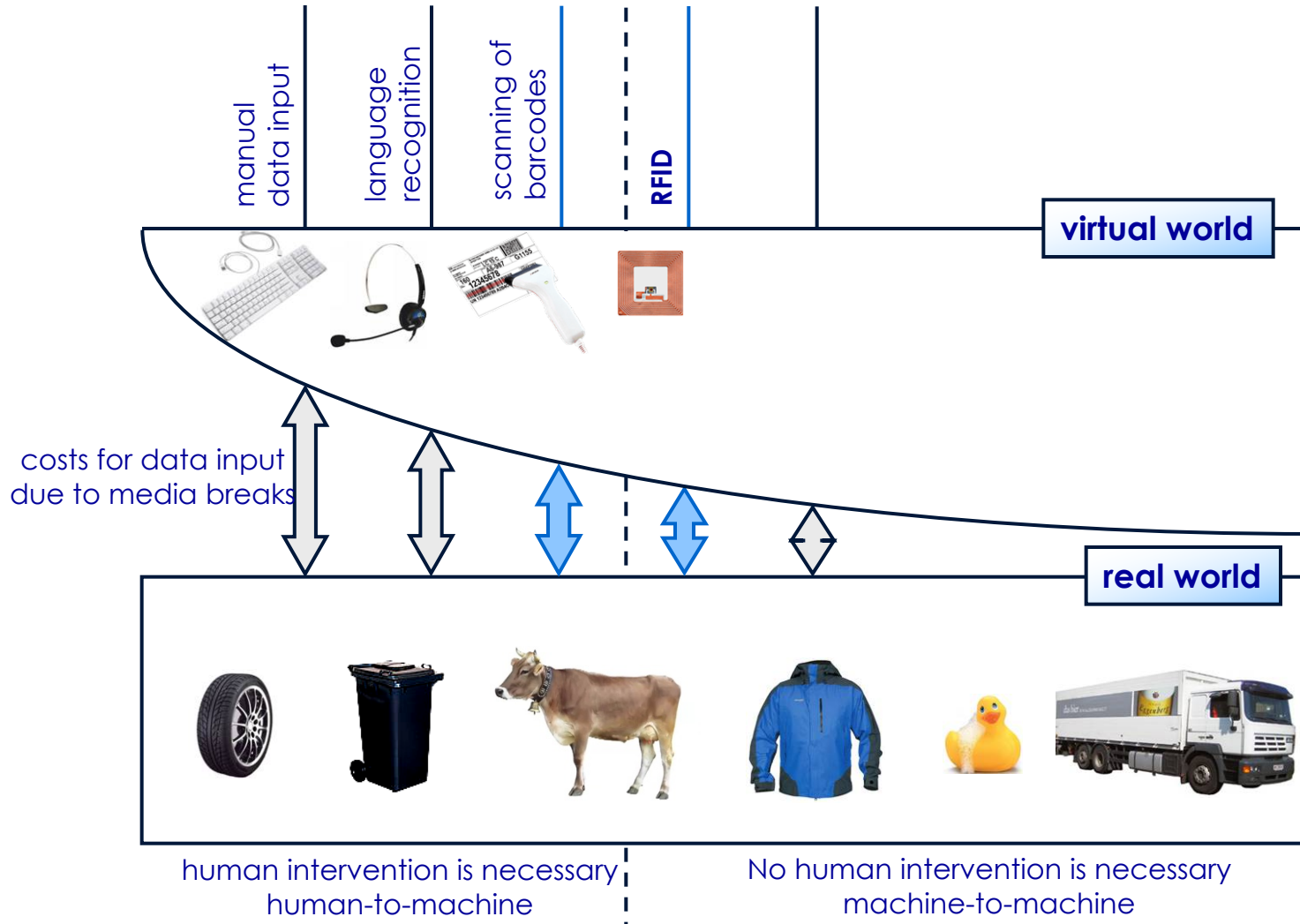
The reader is able to use collected information autonomous or to give it to an IT system.



Radio frequency and optical identification



Integration of real and virtual world

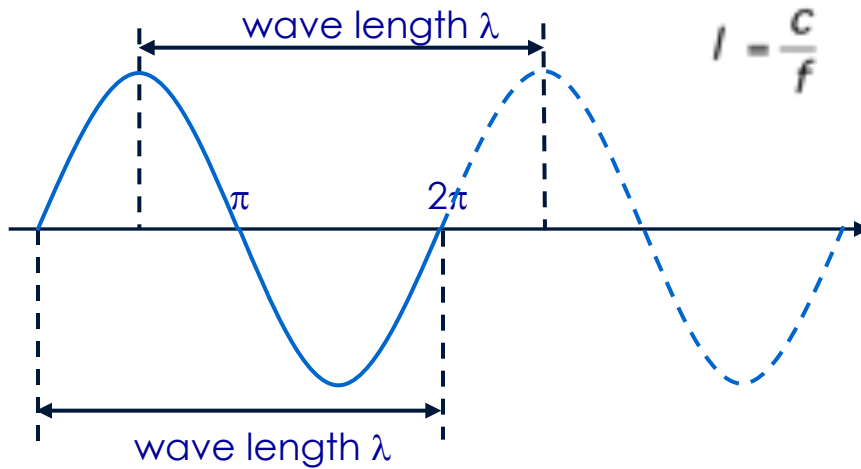


Frequency ranges



| frequency range | | wave length range | | international naming |
|-----------------|---------|-------------------|-----------|-----------------------------------|
| from | to | from | to | |
| 0 Hz | 30 Hz | ∞ | 10.000 km | Sub ELF |
| 30 Hz | 300 Hz | 10.000 km | 1.000 km | ELF (Extremely Low Frequency) |
| 300 Hz | 3 kHz | 1.000 km | 100 km | VF (Voice Frequency) |
| 3 kHz | 30 kHz | 100 km | 10 km | VLF (Very Low Frequency) |
| 30 kHz | 300 kHz | 10 km | 1 km | LF (Low Frequency) |
| 300 kHz | 3 MHz | 1 km | 100 m | MF (Medium Frequency) |
| 3 MHz | 30 MHz | 100 m | 10 m | HF (High Frequency) |
| 30 MHz | 300 MHz | 10 m | 1 m | VHF (Very High Frequency) |
| 300 MHz | 3 GHz | 1 m | 0,1 m | UHF (Ultra High Frequency) |
| 3 GHz | 30 GHz | 10 cm | 1 cm | SHF (Super High Frequency) |
| 30 GHz | 300 GHz | 10 mm | 1 mm | EHF (Extremely High Frequency) |

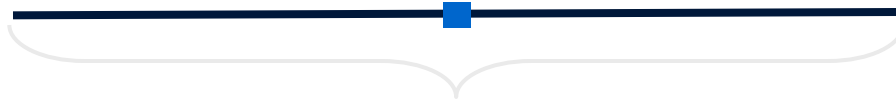
Definition of the wave length



The wave length is the distance of two particles in the same phase of an oscillation.

- wave length λ
- velocity of propagation c (*light speed*)
 3×10^8 m/s
- frequency f

Chip



Dipole Antenna
(at 868 MHz: length = 17 cm)

LF (125kHz; 134kHz)

advantages

- high interference resistance
- insensitivity to metal environments
- reading ranges to approx. 0,2 m

disadvantages

- limited area of application
- often proprietary
- relatively slow data transfers

application area

- identification of animals
- immobilizer system
- industrial applications

designs

- wrapped inductor
- glass transponder
- capsuled transponder

HF (13,56 MHz)

advantages

- Frequency range standardized world-wide
- different tags, smart label etc. available
- transceiver and antennas in different forms and designs available
- bulk reading possible
- middle data transfer rates

application area

- item management (e.g. Pfizer)
- production logistics and controlling
- mass applications

disadvantages

- small reading ranges
- sensitive to metal environments
- Higher costs

designs

- flexible substrates (Inlays)
- laminates of foil and paper (Smart label)
- cards (Smart Cards) and tickets

advantages

- good reading ranges
- middle bulk reading capability
- high data transfer rates
- great range of products

disadvantages

- different frequency ranges
- susceptible to interference
- sensitive to water and metal

application area

- pallets / container
- vehicle container
- production controlling
- item management (near field)

designs

- capsuled transponder
- laminates of foil and paper (Smart Label)

advantages

- very good reading ranges (to 100m)
- high data transfer rates

disadvantages

- Few manufacturers
- Limited life time (approx. 5 years)
- High transponder costs
- Reduced temperature ranges

application area

- for closed loops
- access control (also passenger car)
- vehicle identification (VOLKSWAGEN)
- As a data logger in combination with temperature sensors

designs

- capsuled transponder
- cards / badges

Microwave (2,4 GHz) active

advantages

- very good reading ranges (to 300m)
- locating by triangulation possible

disadvantages

- few manufacturers
- limited life time (approx. 5 years)
- high transponder costs
- reduced temperature ranges

application area

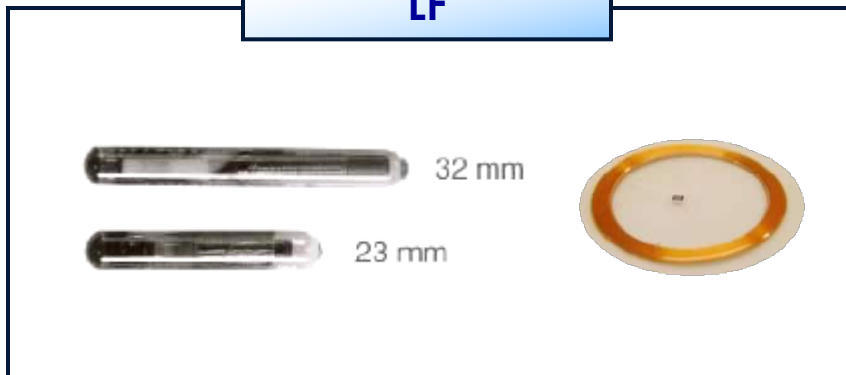
- for closed loops
- vehicle identification and detection (BMW, port of Rotterdam)
- as a data logger in combination with sensors

designs

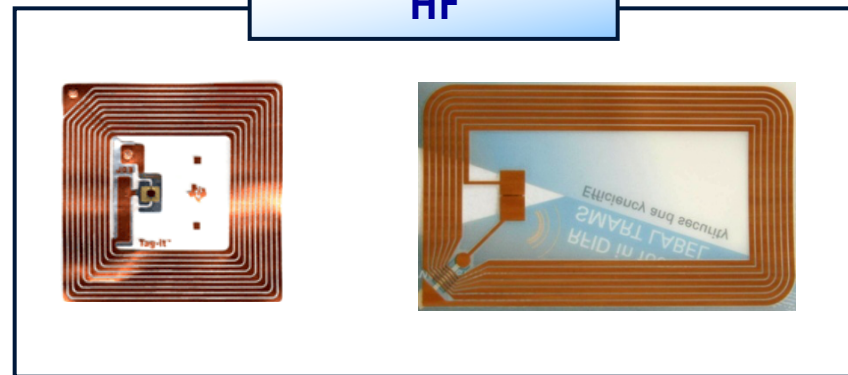
- capsuled transponder

Overview about tag designs

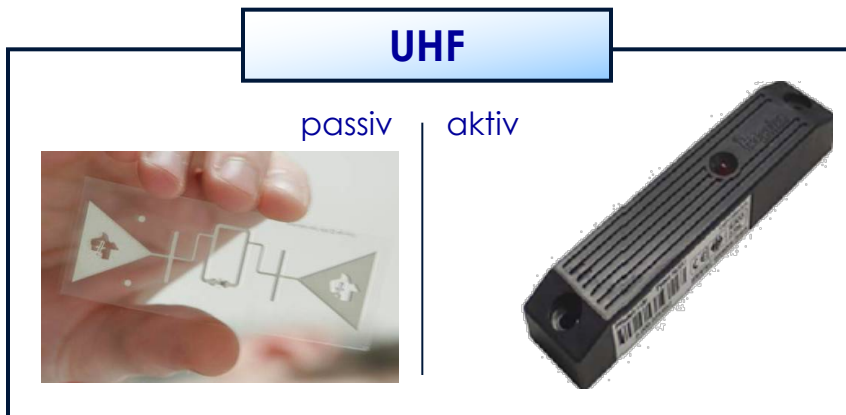
LF



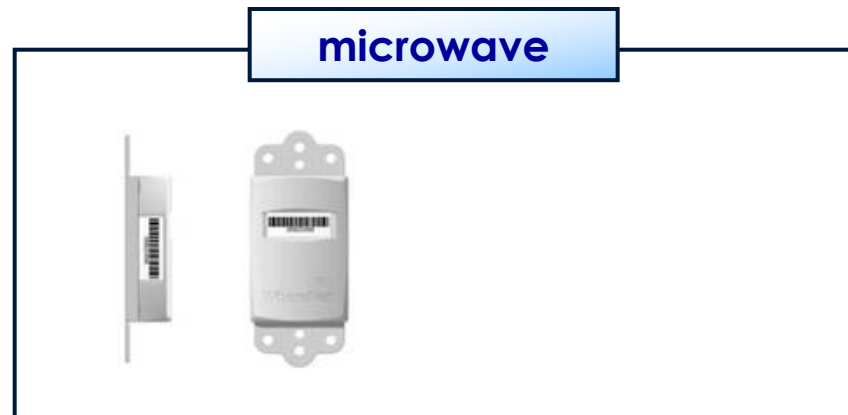
HF



UHF



microwave



Frequency band summary

| | LF | HF | UHF media | UHF alta |
|--------------------------------------|--|--|---|--|
| Bande di frequenza | 125 KHz & 134.2 KHz | 13.56 MHz | 865.6-867.6 868-869 MHz in EU 902-928 MHz in USA 950 MHz in Japan | 2.400-2.483 MHz in EU 2.400-2.500 MHz in USA |
| Standard ISO | 18000-2 | 18000-3 mode 1/2 15693 14443 (typeA/B) | 18000-6 type A/B/C | 18000-4 mode 1/2 |
| Standard EPCglobal | — | 13.56 class 1 | Class 0 Class 1 Class 1 Gen2 | — |
| Accoppiamento | Induttivo (magnetico) | Induttivo (magnetico) | Elettromagnetico | Elettromagnetico |
| Alimentazione del TAG | Passivi Qualche TAG attivo | Nella stragrande maggioranza passivi | Passivi & attivi | Passivi & attivi |
| Distanza operativa | Tipica <0.5m Per TAG passivi si va dal contatto fino a 70/80cm dipendendo dalla potenza emessa dal lettore e dalla forma e dimensioni delle antenne. Nei sistemi con TAG attivi si possono raggiungere facilmente i 2m. | Tipica ≈1m Operatività fino a 1.2m in scrittura e 1.5m in lettura. La distanza operativa dipende dalla potenza emessa dal lettore e dalla forma delle antenne specialmente quella del tag: a superficie più grande corrisponde raggio d'azione più ampio. | Tipica 2-5 m lettura TAG passivi in logistica. Distanza operativa influenzata dalle norme nazionali sulla potenza emessa. In USA: ≈4-5m per Reader non regolamentati. ≈10m per apparati con licenza. In Europa: ≈33cm per apparati limitati a 25 mW. ≈1m per apparati limitati a 0.5 W. ≈2m per apparati limitati a 2 W. ≈100m se attivi. | Tipica 1-2 m Da 2 a 5m per tag passivi possono superare i 30-50m se attivi. |
| Capacità di Lettura/Scrittura | Disponibili TAG sia R/O che R/W | Disponibili sia del tipo R/O che R/W | Generalmente R/W, disponibili R/O. | Disponibili sia R/O che R/W |
| Capacità di Trasporto Dati | Da dispositivi R/O a bassa capacità (64bit) a dispositivi R/W con capacità fino a 2kbit | Generalmente di tipo R/W offrono capacità di memoria da 64 bit a decine di kbit. Spesso contengono 64 bit di codice unico identificativo scritto in produzione e quindi R/O. | Generalmente di tipo R/W offrono capacità di memoria che può variare da 64 bit fino ad alcuni kbit. Spesso contengono 64 bit di codice unico identificativo (UID) programmato durante la produzione e quindi R/O. | Sia passivi che attivi offrono capacità di memoria da 128 bit ad alcuni kbit (attivi). |
| Velocità trasferimento dati | Bassa velocità di trasferimento tipicamente da 0.2 a 1kbit/s | Tipicamente nell'intorno di 25kbit/s | Tipicamente nell'intorno di 28kbit/s ma esistono dispositivi quotati per 100kbit/s | Tipici tra 100 e 250 kbit/s, max 1 Mbit/s. Dipendente dal dispositivo. |

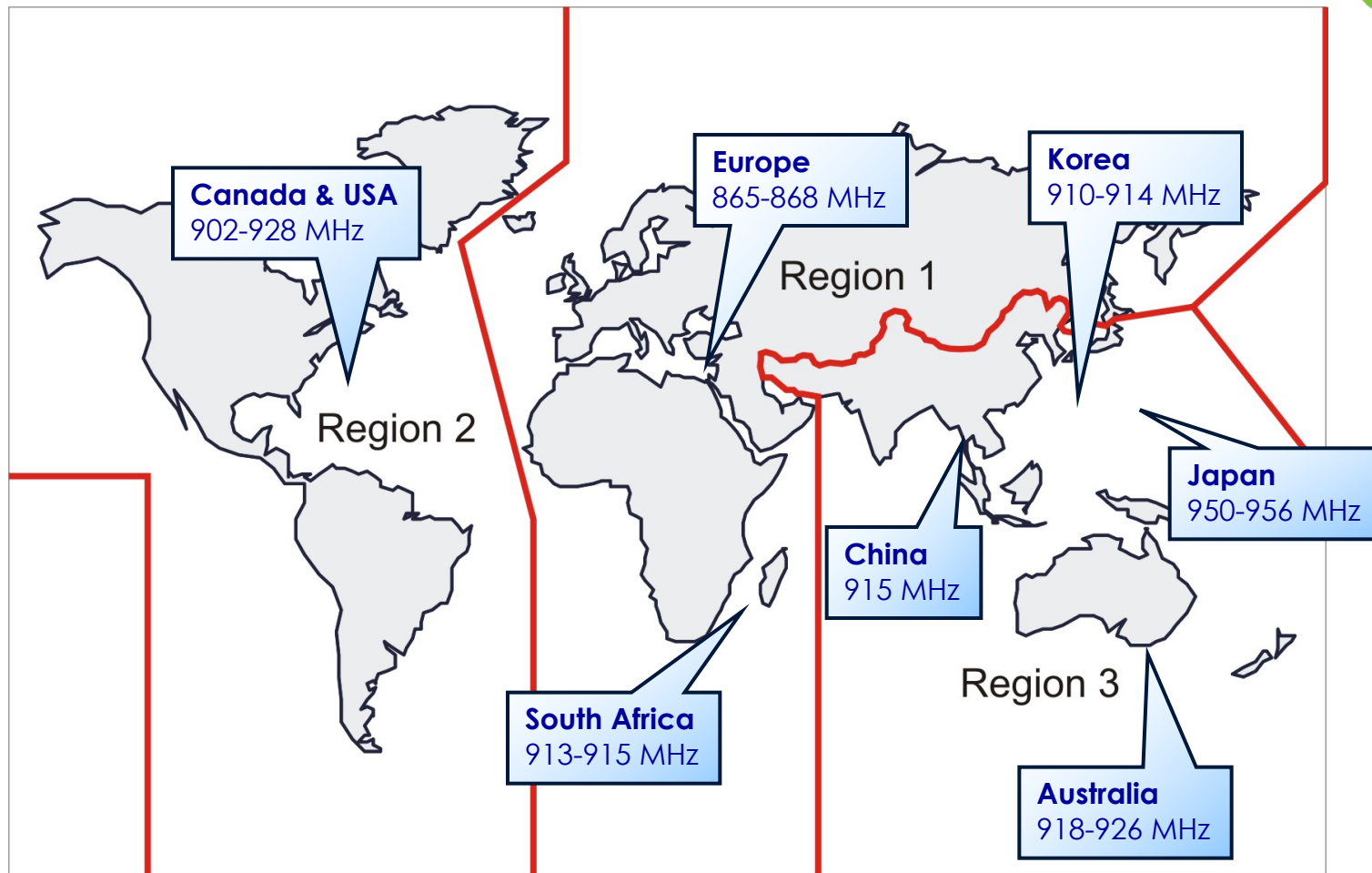
Frequency band summary

| | LF | HF | UHF media | UHF alta |
|--------------------------|--|---|---|--|
| Lecture Multiple | Disponibili sia per lettura singola che con meccanismi di anti-collisione. | Meccanismi anti-collisione per la lettura di circa 20/30 tag/s max; dipendendo dalle caratteristiche del sistema e dagli algoritmi impiegati. | Meccanismi anti-collisione per lettura di ~100 tag/s dipendendo da sistema ed algoritmi Per EPC Class1/Gen2, letture di 600 tag/s in EU e 1500 in USA. | Disponibili dispositivi per letture singole o multiple. 0,05 s per leggere alcune decine di TAG da 128 bit. |
| Formati | Disponibili in package e formati diversi; tipicamente incapsulati in vetro e/o ceramica per la tracciabilità animale (inserimento nello stomaco dei bovini) e in package plastici per usi industriali. | Vasta scelta, consente di coprire un gran numero di applicazioni. Il formato più diffuso è la cosiddetta "etichetta intelligente" che vede chip ed antenna integrate in una etichetta stampabile. | Vari formati per le diverse esigenze ambientali compresa l'applicabilità a unità metalliche. Uno dei formati più apprezzabili è la cosiddetta "etichetta intelligente" che vede chip ed antenna integrate in quella che appare una banale etichetta stampata. | Vari formati per le diverse esigenze ambientali compresa l'applicabilità a unità metalliche. |
| Costi | Dipendono in grande misura dal formato e dal tipo di applicazione che devono sostenere. | Meno costosi dei TAG LF Dipendono dal supporto fisico del TAG. Il costo minore è quello delle 'etichette intelligenti'; 40/60 €cent. legato anche alle quantità richieste. | Meno costosi dei TAG HF. Il costo minore è quello delle 'etichette intelligenti'; 20/40 €cent legato anche alle quantità richieste. | Essendo ancora un mercato di nicchia, quindi con volumi limitati, i costi sono tipicamente maggiori dell'HF ed UHF media. |
| Applicazioni | Identificazione animali, controllo accessi, identificazione veicoli immobilizer per auto, container, ecc. | Logistica (singoli oggetti) smart card biglietti smistamento bagagli | Logistica della filiera di fornitura (pallet) Logistica (singoli oggetti) Controllo bagagli | Logistica (asset tracking) Tool collection |
| Influenze ambientali | Propagazione agevole attraverso liquidi e tessuti organici. Sensibilità ad orientamento antenne | Praticamente Insensibili alla presenza di liquidi non conduttori e a tessuti organici. | Le prestazioni sono ridotte in presenza di metalli, liquidi, tessuti organici ed umidità. | Più sensibili dell'UHF media a metalli o liquidi |
| Caratteristiche generali | Antenne di grandi dimensioni costosi | Ottimi per applicazioni a distanza non grande e con limitato numero di TAG | Adatti per lunghe distanze o gruppi numerosi di TAG | Simili all'UHF media ma più rapidi in lettura |
| NOTE | Grande quantità prodotte a causa della tecnologia matura Tendono ad essere soppiantati dai TAG a frequenza maggiore | Attualmente i più disponibili ed i più diffusi perché di uso universale | Differenti frequenze e potenze nelle differenti regioni | Lavorano su banda molto affollata, convivendo con: <ul style="list-style-type: none"> ■ WiFi 802.11 B/G ■ Bluetooth ■ ZigBee |

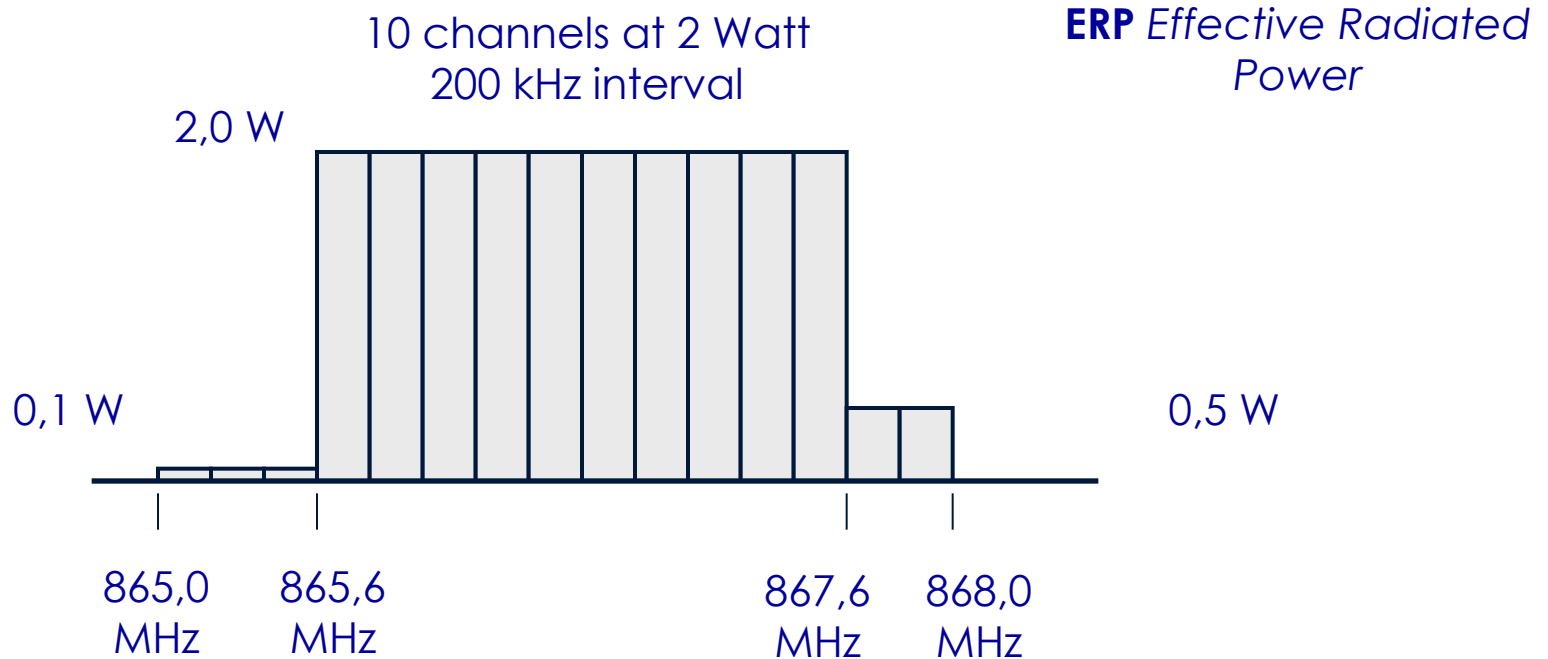
Frequency band summary

| LF | HF | UHF media | UHF alta |
|--|---|--|----------------|
| Accoppiamento induttivo/campo M | | Accoppiamento con campo EM (backscatter) | |
| Sensibilità ad orientamento ortogonale delle antenne | | | |
| Molto sensibili (mancate letture) | Sensibili (attenuazione, possibili mancate letture) | | Poco sensibili |
| Velocità di trasferimento dei dati (TAG → Reader) | | | |
| Minore ← | | | → Maggiore |
| Velocità di lettura di gruppi di TAG | | | |
| Minore ← | | | → Maggiore |
| Capacità di lettura di TAG in prossimità di metalli o superfici bagnate | | | |
| Migliore ← | | | → Peggioro |
| Assorbimento da parte di liquidi, ovvero Capacità di lettura di TAG all'interno degli animali o coperti da acqua o ghiaccio | | | |
| Migliore ← | | | → Peggioro |
| Dimensione dei TAG passivi | | | |
| Dipende dall'energia captabile | | Dipende da frequenza e tipo di antenna | |
| ← | Grande | Piccola | → |
| Assorbimento di energia | | | |
| Minore ← | | | → Maggiore |

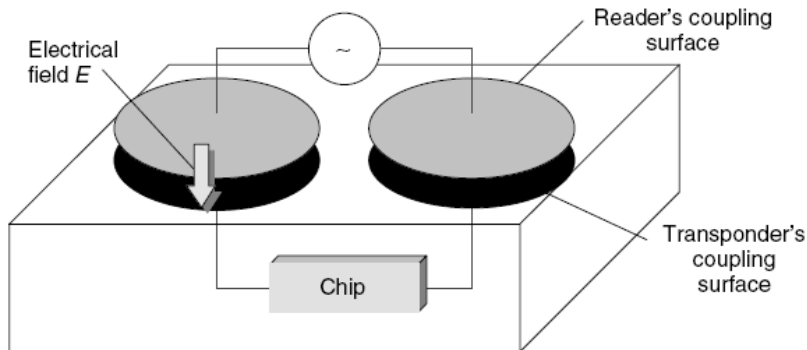
Different UHF frequency ranges



UHF in Europe – ETSI EN 302 208



Capacitive coupling



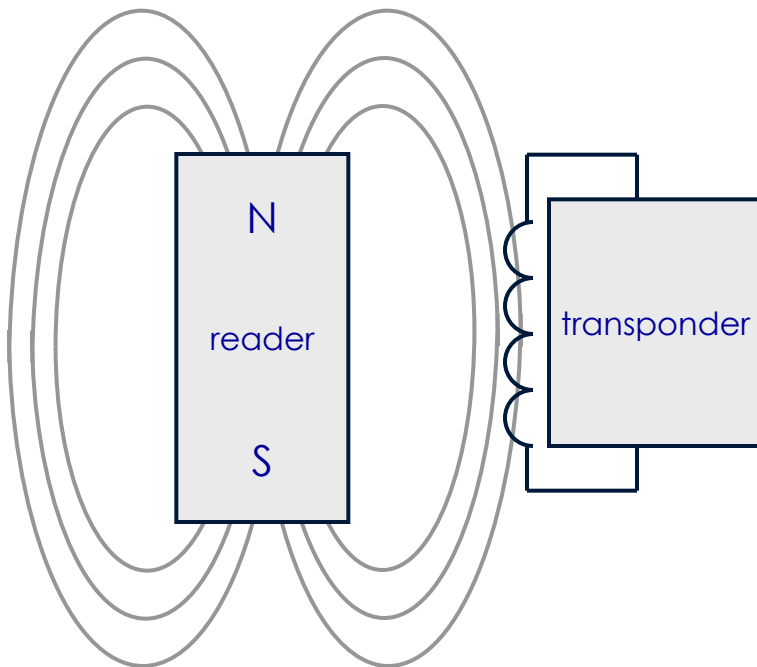
mode of functioning

- conductive surfaces are built in the transponder that behave like capacitors
- for energy transmission it is often not enough

usage

- only for data transfer
- energy transmission by inductive system

Inductive coupling



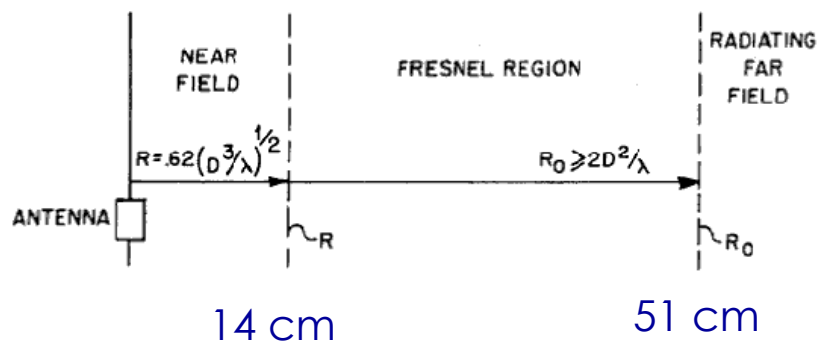
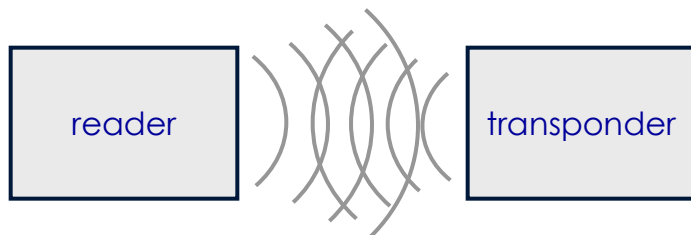
mode of functioning

- with the use of an inductor a voltage is induced
- like a transformer

usage

- near field
- LF, HF, UHF

Backscatter



mode of functioning

- like radar technology

usage

- far field
- UHF, MW



RF-BASED LOCATING OF MOBILE OBJECTS



SERAMIS

Sensor-Enabled Real-World Awareness for Management Information Systems



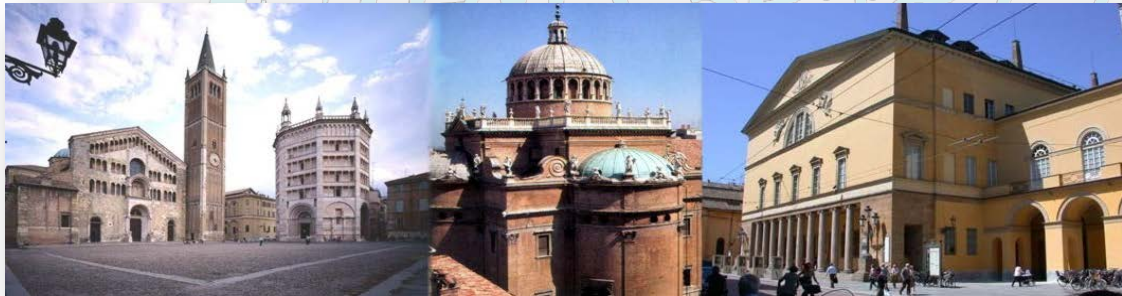
G. Romagnoli*, D. Uckelmann**

*University of Parma, Italy

giovanni.romagnoli@unipr.it

**HFT Stuttgart

dieter.uckelmann@hft-stuttgart.de



AGENDA

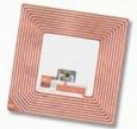
- Introduction
- A brief literature review on Real-Time Locating Systems (RTLSS)
- The case study
 - *RTLS @Diffusione Tessile – Pomezia*
 - Use cases at a glance
- Testing the RTLS system
 - *Lab* testing
 - *Preliminary on-field* testing
 - *On-field testing protocol*
- Results and discussion
- Conclusions and perspectives

INTRODUCTION

- **Fashion and apparel sector:** dynamic and unpredictable
- **Overall turnover** (Italy, 2015): ~62 billions €; +1.4% against 2014 (Crivelli & Bottelli, 2016)
- RFID technology has proven to be an effective tool:
 - For upstream logistics processes (last 10 years)
 - At store level (last 5 years)
- Main benefits of RFID:
 - Increasing accuracies
 - Automating processes
- Recently, a novel RFID use case is puzzling researchers and practitioners: **RTLS**
- **Aims of this study:**
 - provide an overview of active and passive RTLS*
 - describe an implementation of a passive-RFID locating solution*
 - investigate research on improving locating accuracy*

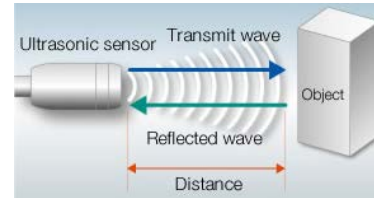


TAGS



RTLS: A BRIEF REVIEW OF THE LITERATURE

- **RTLS: combination of hardware and software systems to determine the coordinates of an object in real-time**
- It can use different technologies:
 - Active (battery-powered transponder):*
 - Ultrasound (40 kHz);
 - Active-UHF (< 1 GHz);
 - WiFi and Bluetooth (2.4 GHz);
 - UWB – Ultra-Wide Band (3.1 – 10.6 GHz);
 - Passive (non battery-powered):*
 - Passive-UHF solutions.
- Several papers suggest the centrality of RFID, although it is neither the most accurate nor the most convenient solution
- Quite often: RFID is already deployed for logistics purposes (e.g. Diffusione Tessile)



ACTIVE RTLS SOLUTIONS

| Category | Existing technology / suppliers | Accuracy | Range | Notes |
|----------------------------|---|----------|---------|--|
| Ultrasound (40 kHz) | Cricket, Active-Bat, UOS-100 | cm range | - | High energy consumption and high installation cost |
| Active-UHF (<1 GHz) | <i>Identec Solutions</i> | 1 m | 250 m | Time synchronisation not necessary; reduced cost of installation |
| WiFi & Bluetooth (2.4 GHz) | <i>Aeroscout, Ekahau, Awarepoint, Centrak</i> | - | - | Mostly healthcare applications |
| 2.4 GHz | - WhereNet | 1 ÷ 3 m | 1,750 m | Harsh environments, IP68 |
| 2.4 GHz | BLE beacons, ZigBee systems | - | - | No appreciable industrial diffusion |
| UWB (3.1 ÷ 10.6 GHz) | <i>Ubisense</i> | 30 cm | - | Manufacturing environment (e.g. Q.A.), expensive installation |
| 3.1 ÷ 10.6 GHz | LPR by <i>Symeo</i> | 5 cm | - | 6 transponders for up to 100,000 m ² |
| 3.1 ÷ 10.6 GHz | Dart by <i>Zebra</i> | 30 cm | 200 m | ISO / IEC 24730-61 standard |

PASSIVE RTLS SOLUTIONS

| Category | Existing technology / suppliers | Accuracy | Range | Notes |
|----------------------|---------------------------------|----------|--------------------|--|
| Passive-UHF (<1 GHz) | <i>Mojix</i> | 30 cm | 10 m | Known application in supervising loading palettes in aerial cargo |
| Passive-UHF (<1 GHz) | xArray by <i>Impinj</i> | <1 m | 159 m ² | 52 small antennas in a single housing attached at the ceiling to cover a wide area |
| Passive-UHF (<1 GHz) | <i>ID Solutions</i> | 1 m | 4 m | Standard UHF readers, multiplexers and antennas. The system will be described in details |

- **Active solutions** have seen limited deployments
- For industry applications (e.g. retail), **passive solutions** are much more interesting
- Limited read ranges and lower accuracies must be considered
- The only viable option for industrial application is definitely **UHF**
- UHF-tags for identification are being **more and more deployed** in these domains

THE CASE STUDY: RTLS @DITE - POMEZIA

- Diffusione Tessile (DITE) belongs to one of the largest worldwide groups for high-quality women's clothing
- Distribution Centre (DC) in Northern Italy
- **20 stores** in Italy and Europe
- First RFID pilot in 2012, RFID tagging at the DC, tags removed at checkout
- At present: RFID in 7 stores, **plan of full deployment in the next 4 years**
- Late 2014: plan to **test and deploy** an **RFID-based RTLS** at Pomezia store
- **Biggest DITE store** in size, number of items exposed and turnover
- Two use cases pursued (RTLS):
 - Process automation (automatic inventory count)
 - Locating items (help customers to find garments)

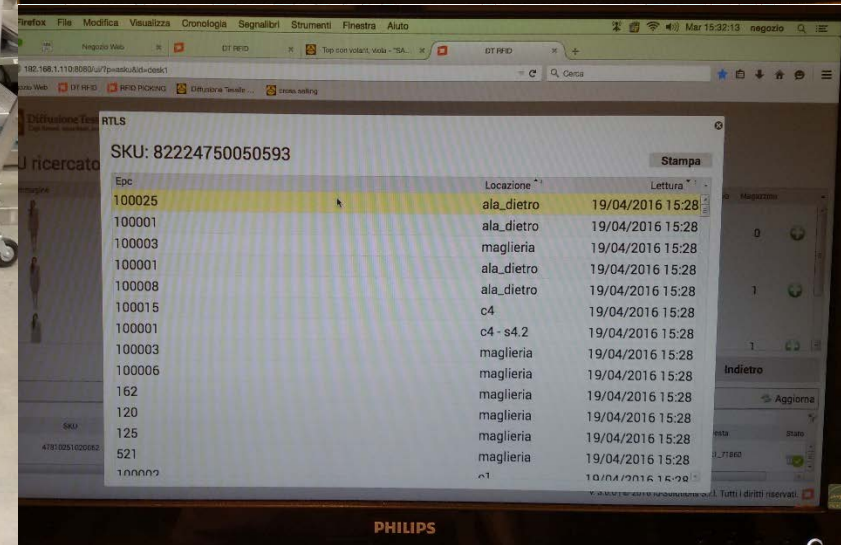
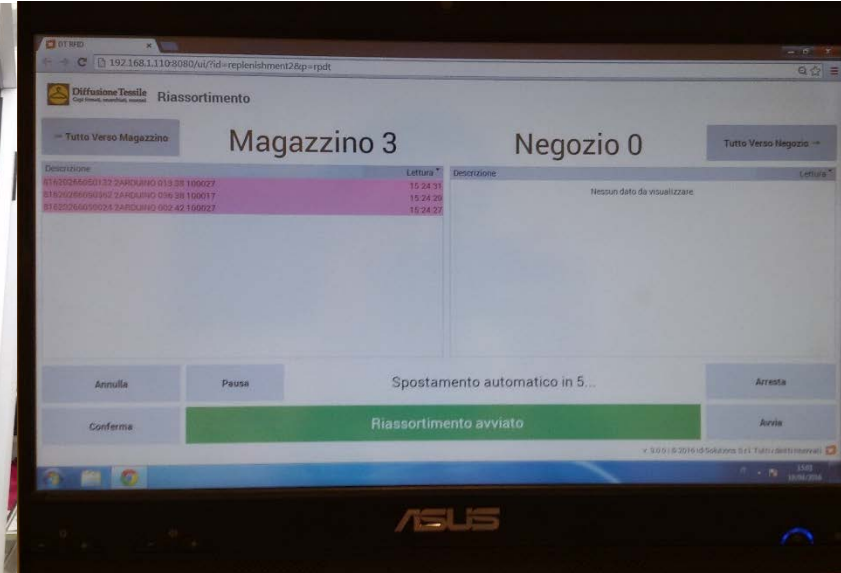
THE CASE STUDY: RTLS @DITE - POMEZIA

Rizzi et al., 2016, A new framework for RFID use cases in fashion and apparel retailing, IJRFT:R&A, 7(2-3), 105-129

RFID fashion retail management solutions

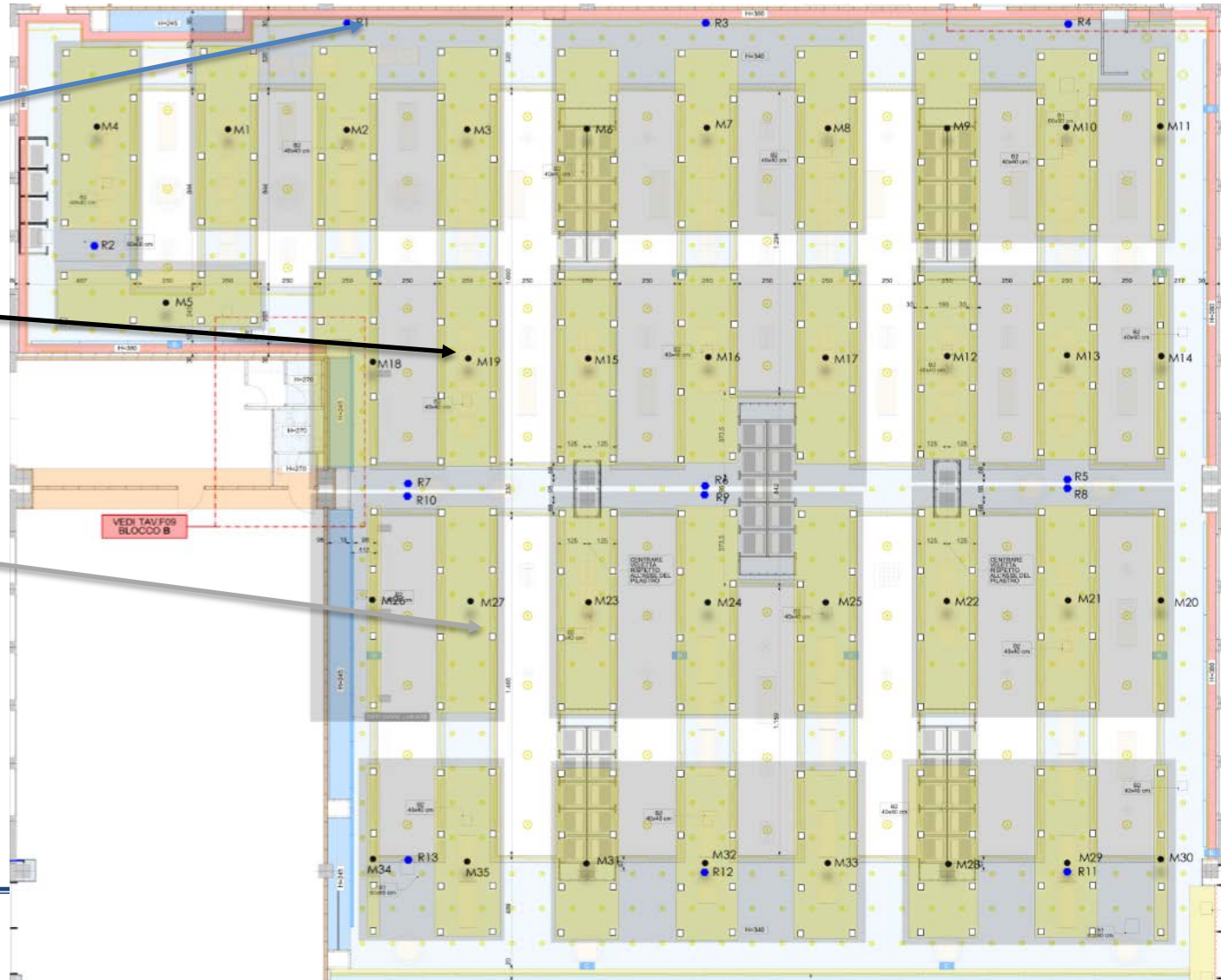
| | | Level 1 Use Cases (Lv1 UCs) | Level 2 Use Cases (Lv2 UCs) | Costs | Revenues |
|------------------------------|--|-----------------------------|---|-------|----------|
| Fashion Retailing Activities | 1. Shop Floor Management | | 1.1. Locating items | X | X |
| | | | 1.2. Loss prevention | X | |
| | | | 1.3. POS transaction / Faster checkout | X | X |
| | | | 1.4. Stock visibility / Replenishment from the backroom | X | X |
| | 2. Customer Relationship Management | | 2.1. Social shopping | | X |
| | | | 2.2. Store associate availability / Customer knowledge | | X |
| | 3. Marketing and Promotion Management | | 3.1. Customer experience | | X |
| | | | 3.2. Cross selling / Cross promotions | | X |
| | | | 3.3. Store associate empowerment | | X |
| | 4. Logistics | | 4.1. Process automation | X | |
| | | | 4.2. Process accuracy | X | X |
| | | | 4.3. After sales / Returns | X | |
| | 5. Inventory and Supply Chain Management | | 5.1. Out of stock / Inventory accuracy | | X |
| | | | 5.2. Omnichanneling | X | X |
| | | | 5.3. Supply chain visibility | X | |
| | 6. Brand Protection | | 6.1. Grey market | X | |
| | | | 6.2. Counterfeiting | X | |
| | | | 6.3. Traceability | X | |

Profit



THE CASE STUDY: RTLS @DITE - POMEZIA

- 13 readers (gray area)
- 35 multiplexers (green area)
- 254 antennas (white squares)





ON-FIELD TESTING PROTOCOL

- **December 2015:** what kind of RTLS performances we want to monitor?
 - Inventory accuracy*
 - Location accuracy*
- To do so, we need a control source of information: **HH reads**
- Handheld data
 - *EPC value*
 - *Location (area)*
- RTLS data
 - *EPC value*
 - *Location (area)*
- **Inventory accuracy:** how many items physically on the sales floor are read by RTLS
- **Location accuracy:** how accurately the RTLS locates items on the sales floor

ON-FIELD TESTING PROTOCOL



RESULTS – INVENTORY ACCURACY

| | N. of items | Cumulate values | Percentages |
|---------------------------------|---------------|-----------------|---------------|
| Number of handheld reads | 17,904 | 17,904 | 100.0% |
| RTLS reads in the last | 0 d | 14,754 | 82.4% |
| | 5 d | 1,968 | 93.4% |
| | 10 d | 376 | 95.5% |
| | 15 d | 227 | 96.8% |
| | 20 d | 84 | 97.2% |
| | 25 d | 29 | 97.4% |
| | 30 d | 40 | 97.6% |
| | 35 d | 16 | 97.7% |
| | 40 d | 51 | 98.0% |
| | 45 d | 28 | 98.2% |
| 50 d | 8 | 98.2% | |

RESULTS – LOCATION ACCURACY

| Area | RTLS reads | Right location | Neighbouring location | Wrong location |
|------------------|------------|----------------|-----------------------|----------------|
| Accessori | 2,179 | 93.4% | 6.3% | 0.2% |
| Ala Davanti | 2,416 | 95.1% | 3.2% | 1.7% |
| Ala Dietro | 2,289 | 98.4% | 1.4% | 0.2% |
| BT | 16 | 37.5% | 50.0% | 12.5% |
| C1 | 0 | - | - | - |
| C2 | 5 | 80.0% | 20.0% | 0.0% |
| C3 | 5 | 40.0% | 60.0% | 0.0% |
| C4 | 0 | - | - | - |
| C5 | 2 | 0.0% | 100.0% | 0.0% |
| Centro | 1,018 | 29.2% | 69.8% | 1.0% |
| CMR | 2 | 50.0% | 50.0% | 0.0% |
| Ingresso | 1,402 | 93.4% | 4.9% | 1.8% |
| M1 | 27 | 88.9% | 7.4% | 3.7% |
| M2 | 31 | 100.0% | 0.0% | 0.0% |
| Maglieria | 4,811 | 92.4% | 7.4% | 0.2% |
| Marina | 3,926 | 93.0% | 6.9% | 0.1% |
| S1.1 | 26 | 69.2% | 30.8% | 0.0% |
| S1.2 | 39 | 64.1% | 35.9% | 0.0% |
| S2.1 | 27 | 92.6% | 7.4% | 0.0% |
| S2.2 | 16 | 87.5% | 12.5% | 0.0% |
| S3.1 | 22 | 77.3% | 22.7% | 0.0% |
| S3.2 | 20 | 80.0% | 15.0% | 5.0% |
| S4.1 | 38 | 73.7% | 26.3% | 0.0% |
| S4.2 | 28 | 82.1% | 17.9% | 0.0% |
| S5.1 | 13 | 69.2% | 15.4% | 15.4% |
| S5.2 | 4 | 100.0% | 0.0% | 0.0% |
| Weighted average | | 90.0% | 9.4% | 0.6% |

ALGORITHMS TO OPTIMIZE RTLS (PASSIVE-TAGS)

| Time | ANTENNA USED | Method | Error (cm or °) |
|------|----------------------------------|--|-----------------|
| 2013 | Multiple antennas | RSSI, mean-square error | 35 cm ÷ 41 cm |
| 2013 | Moveable antenna | Dynamic Time Warping of multipath profiles | 11 cm |
| 2014 | Circular polarized antenna array | Reference tags, Angle-of-Arrival | 23 cm |
| 2014 | Asymmetric antenna layout | Reference tags | n.a. |
| 2014 | Standard antenna | RSSI / reference tags / K Nearest Neighbor (KNN) | 32 cm |
| 2015 | Antenna array | Digital beamforming, Angle-of-Activation | 1.2° ÷ 2.5° |

- We are currently working with WU Vienna to develop an algorithm for automatic Misplaced Products Identification ([SERAMIS project](#))

CONCLUSIONS

- **RTLS**: combination of hardware and software to determine automatically and in real-time the position of an object
- Several different technologies available, **RFID** plays a **central** role
- Scientific literature lacks in industrial applications of RFID RTLS
- **Our study** reports the **testing** and **deploying** phases of an **RFID RTLS** at a major store of a fashion and apparel retailer: Diffusione Tessile
- We proposed two industry-oriented performance indicators to monitor performances of the RTLS, and understand improvement possibilities
- The system is effective for (i) automatic inventory counting and (ii) real-time locating garments on the shop floor area:
 - Average inventory accuracy of **93.0%***
 - Average location accuracies of **90.0%** (99.4% comprehending neighbouring areas)*
 - Values achieved in a **store with about 20,000 items and hundreds of customers.***

PERSPECTIVES

1. Our algorithms are simple but limited in location accuracy: literature presents RFID RTLS with much higher location accuracies
2. **Areas** for locating garments **are heterogeneous**: to the detriment of RTLS performances
3. Some can still be done to **improve inventory accuracy** (93.0% is perfectible)
4. The same applies to **location accuracy**
5. Another **factor** to be considered: time lag between the last known RTLS read and the time of handheld reads
6. Also, we'd like to understand how the RTLS behaves with **moving garments**
7. We are currently looking for correlations:
 1. *between **density of garments** and **inventory accuracy** in given areas,*
 2. *between **peculiar classes of products** (e.g. jackets) and **inventory accuracy**.*
8. An economic evaluation of the increase in sales after the implementation of the RFID RTLS could help to understand its **economic feasibility**



THANK YOU FOR YOUR ATTENTION!
QUESTIONS ARE WELCOME



SERAMIS
Sensor-Enabled Real-World Awareness for Management Information Systems



RF-based Locating of Mobile Objects

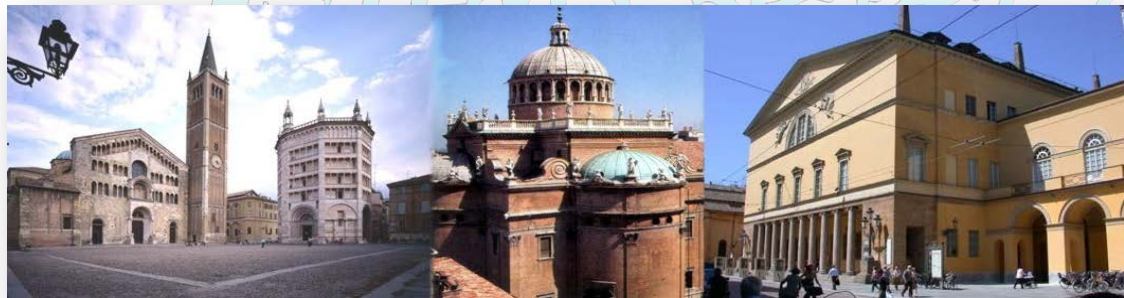
G. Romagnoli*, D. Uckelmann**

**University of Parma, Italy*

giovanni.romagnoli@unipr.it

***HFT Stuttgart*

dieter.uckelmann@hft-stuttgart.de





RECENT AND CURRENT INTERNATIONAL RESEARCH PROJECTS

SERAMIS project
(<https://cordis.europa.eu/project/rcn/189040/it>)



SERAMIS

Sensor-Enabled Real-World Awareness for Management Information Systems



Sensor-Enabled Real-world Awareness for Management Information Systems

- **Objectives: push the boundaries of current RFID implementations, thus turning them into powerful tools for intelligent information management**
- **In detail:**
 - **Coping with the noisy nature of RFID data streams**
 - **Searching for information that matters in the RFID haystack**
 - **Understanding the impact on workflows and decision-making**
 - **Putting it all together on the IS level**
 - **Managing the social and political context**

Grant agreement ID: 612052

Status

Closed project

Start date

1 October 2013

End date

30 April 2017

Funded under:

FP7-ICT

Overall budget:

€ 2 778 654

EU contribution

€ 1 987 912



Coordinated by:

JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT
WÜRZBURG

 Germany

SERAMIS – Consortium



University of Wuerzburg
Prof. Dr. Frédéric Thiesse



Adler Modemärkte AG
ppa. Roland Leitz



University of Parma
Prof. Dr. Massimo Bertolini



Diffusione Tessile S.R.L.
Mattia Ballabeni



Id-Solutions S.R.L.
Francesco Fantoni Guerri

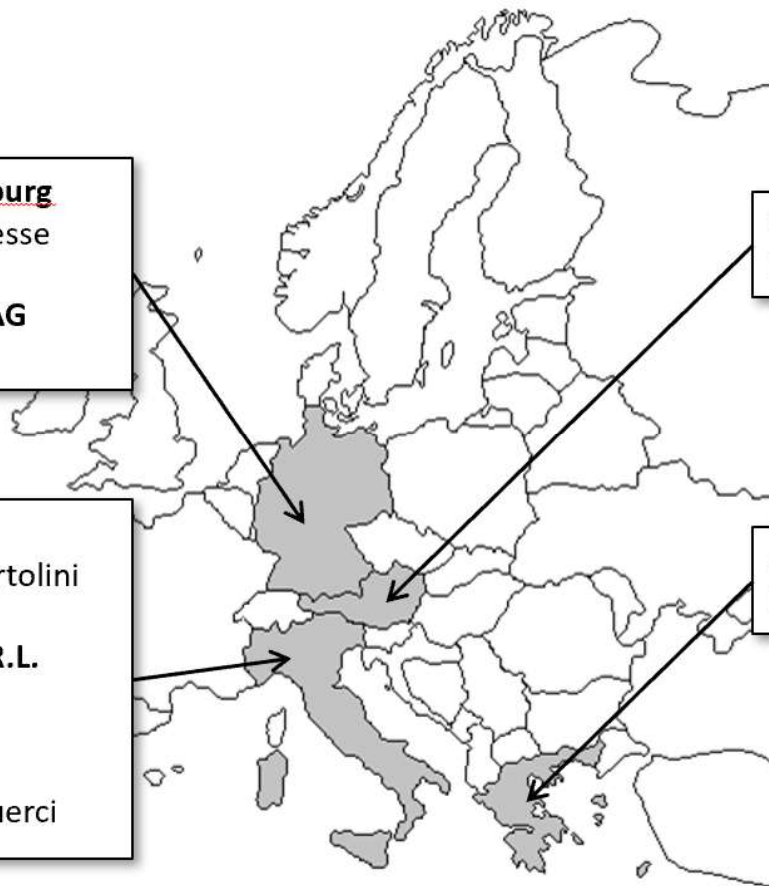


Vienna University of Economics & Business
Prof. Dr. Sarah Spiekermann

Athens University of Economics & Business
Prof. Dr. Katerina Pramatari

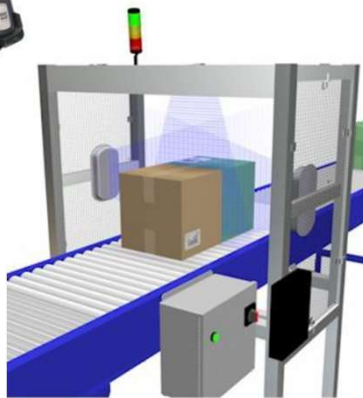


ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS AND BUSINESS
DEPARTMENT OF MANAGEMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY



RFID: what is it?

- It uses electromagnetic fields to automatically identify and track tags attached to objects

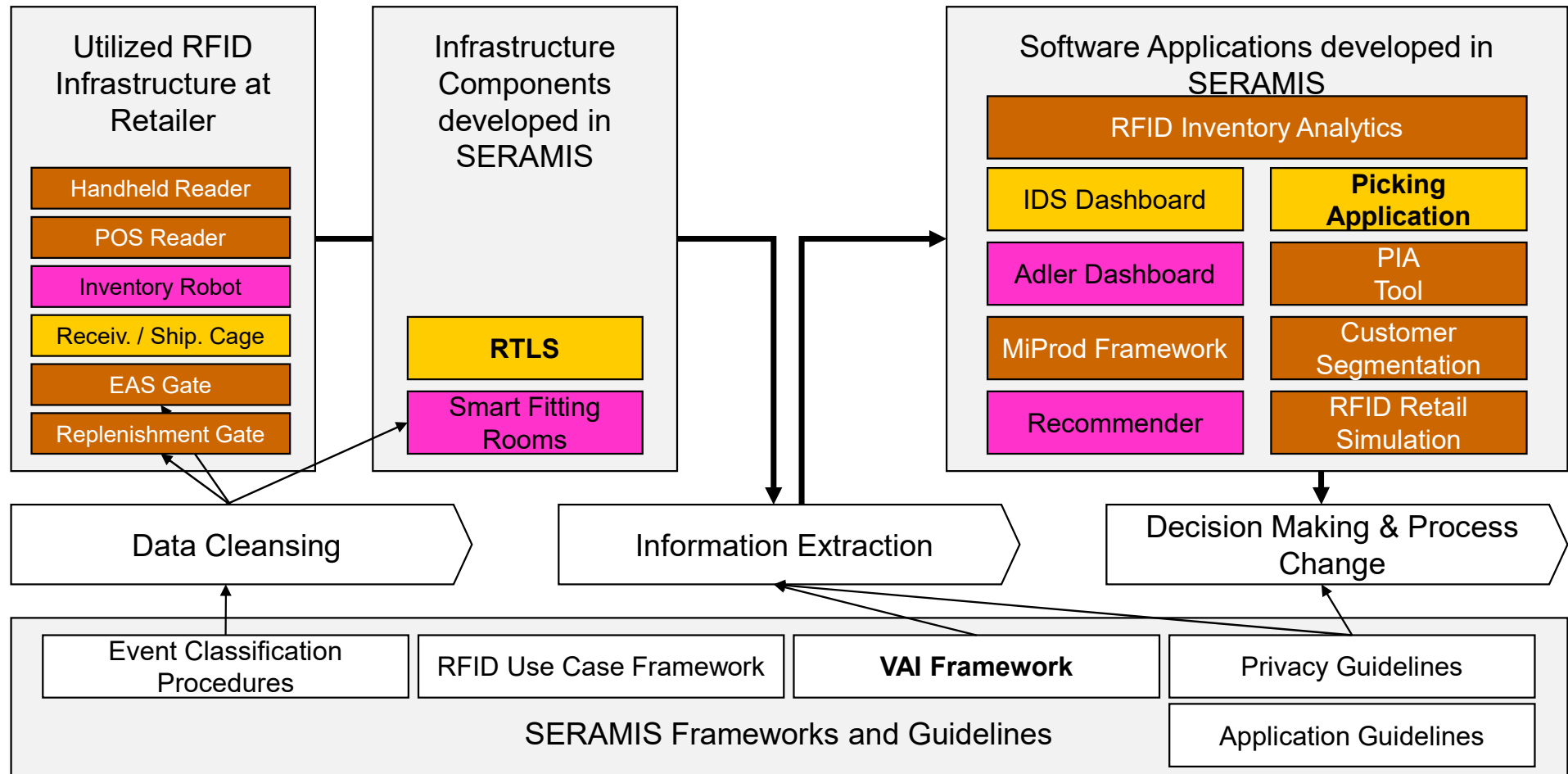


TAGS



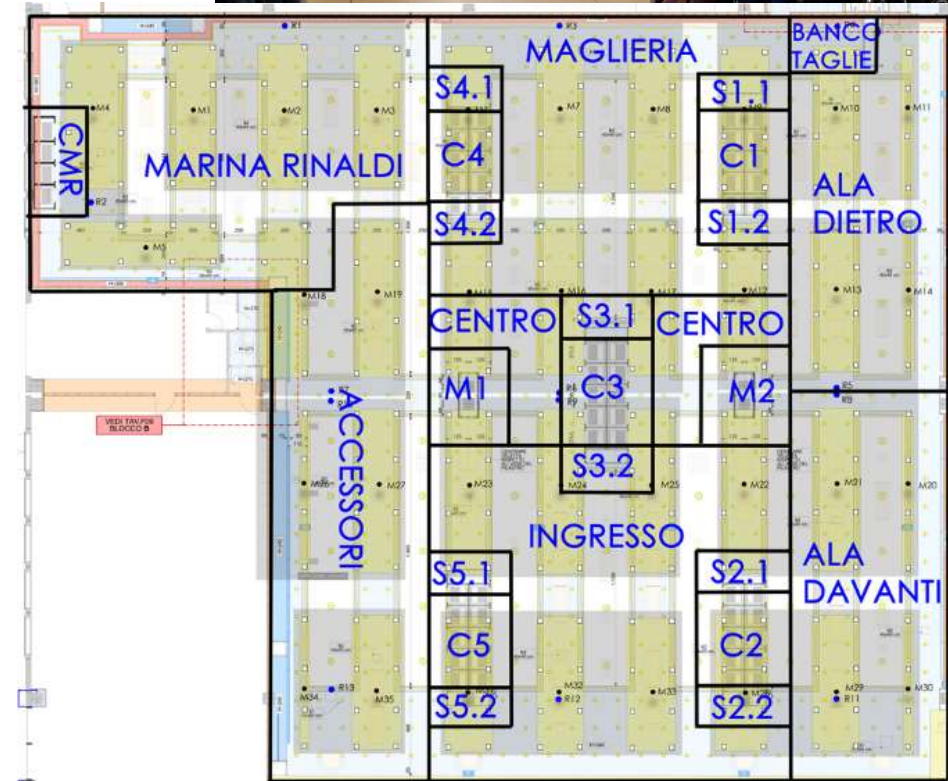
SERAMIS: overview of results

Key:
 ADLER MODE
 DIFFUSIONE TESSILE
 BOTH



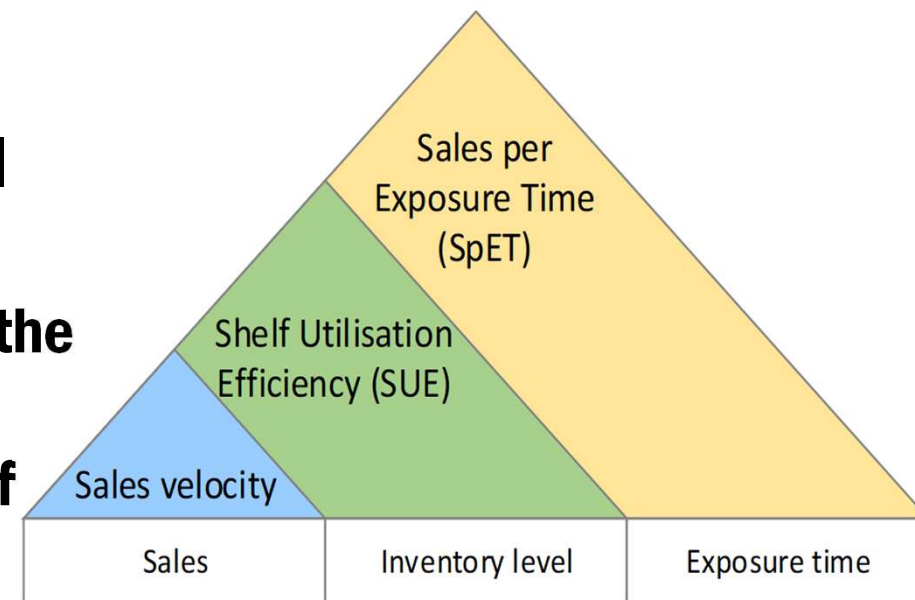
Real-Time Locating System @Diffusione Tessile (Rome)

- First RTLS in a retail store (non-lab environment)
- Non-proprietary solution:
 - 13 readers
 - 35 multiplexers
 - 254 antennas
- Store partitioned into 27 areas
- Two location algorithms: (i) Read rate; (ii) RSSI
- Inventory accuracy: up to 98.2%
- Location accuracy:
 - 90.0% (exact location)
 - 99.4% (exact + neighbouring location)



RTLS and Value-Added Indicators

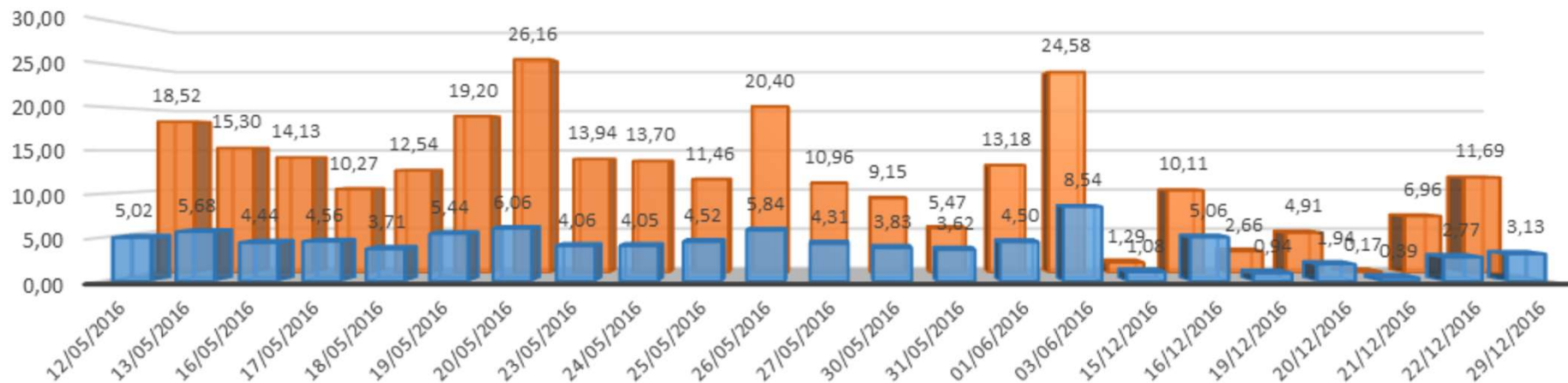
- A recent paper investigated on the effect of RFID and sales velocity on inventory inaccuracy and Out Of Stock
- The RFID-based RTLS allows to control also:
 - Inventory levels (i.e. number of items in the sales floor area)
 - Exposure time (i.e. the amount of time of an item on the sales floor area)
- We introduced two new indicators



Bertolini, M.; Maggiali, L.; Rizzi, A.; Romagnoli, G.; Volpi, A. 2017. Introducing new RFID-enabled indicators to evaluate the performance of fashion retailers. In Proceedings of the Summer School Francesco Turco vol. 2017, pp. 54-60

RTLS sales analyses

- **'Picture' of the store taken every morning at opening (inventory and location)**
- **Analysis of sales during the day (23 days, May & Dec. 2016):**
 - **Sales of models located in corners (orange) compared to average values of the class (blue)**
 - **Indicator: Shelf Utilisation Efficiency (no. items sold per every 100 items in the sales floor)**



Shelf Utilisation Efficiency of the store (average): 4.07%
Shelf Utilisation Efficiency of 'corners' (average): 12.03%

Picking app – model search



Diffusione Tessile
Capi firmati, smacchiati, scontati

Disponibilità Modelli

Inserire SKU o Modello

SKU Nome Modello Codice Modello

OK

| Immagine | SKU ^ 2 | Classe | Stagione | Fornitore | Nome | Variante | Taglia | Origine | Richiesta | Stato ^ 1 | ▲ |
|------------------------------|---------|--------|----------|-----------|------|----------|--------|---------|-----------|-----------|---|
| Nessun dato da visualizzare. | | | | | | | | | | | |








Picking app – search results




Diffusione Tessile
Capi firmati, smarchiati, scontati

Disponibilità Modelli

Modello ricercato: nice

| Immagine | SKU ¹ | Modello | Linea | Classe | Nome | Fornito... | Variante ² | | Tag... ³ | Negozi | Magazzino | |
|---|------------------|-------------|-------|--------|------|------------|-----------------------|---|---------------------|--------|-----------|---|
|  | 10160739060042 | 10160739... | 1 | 01 | NICE | 6 | 004 |  | 38 | 0 | 1 |  |
|  | 10160739060043 | 10160739... | 1 | 01 | NICE | 6 | 004 |  | 40 | 1 | 0 |  |
|  | | | | | | | | | | | | |

Indietro

 Aggiorna







| Immagine | SKU ² | Classe | Stagione | Fornitore | Nome | Variante | Taglia | Origine | Richiesta | Stato ¹ | |
|------------------------------|------------------|--------|----------|-----------|------|----------|--------|---------|-----------|--------------------|--|
| Nessun dato da visualizzare. | | | | | | | | | | | |

Picking app – picking request



Disponibilità Modelli

Modello ricercato: nice

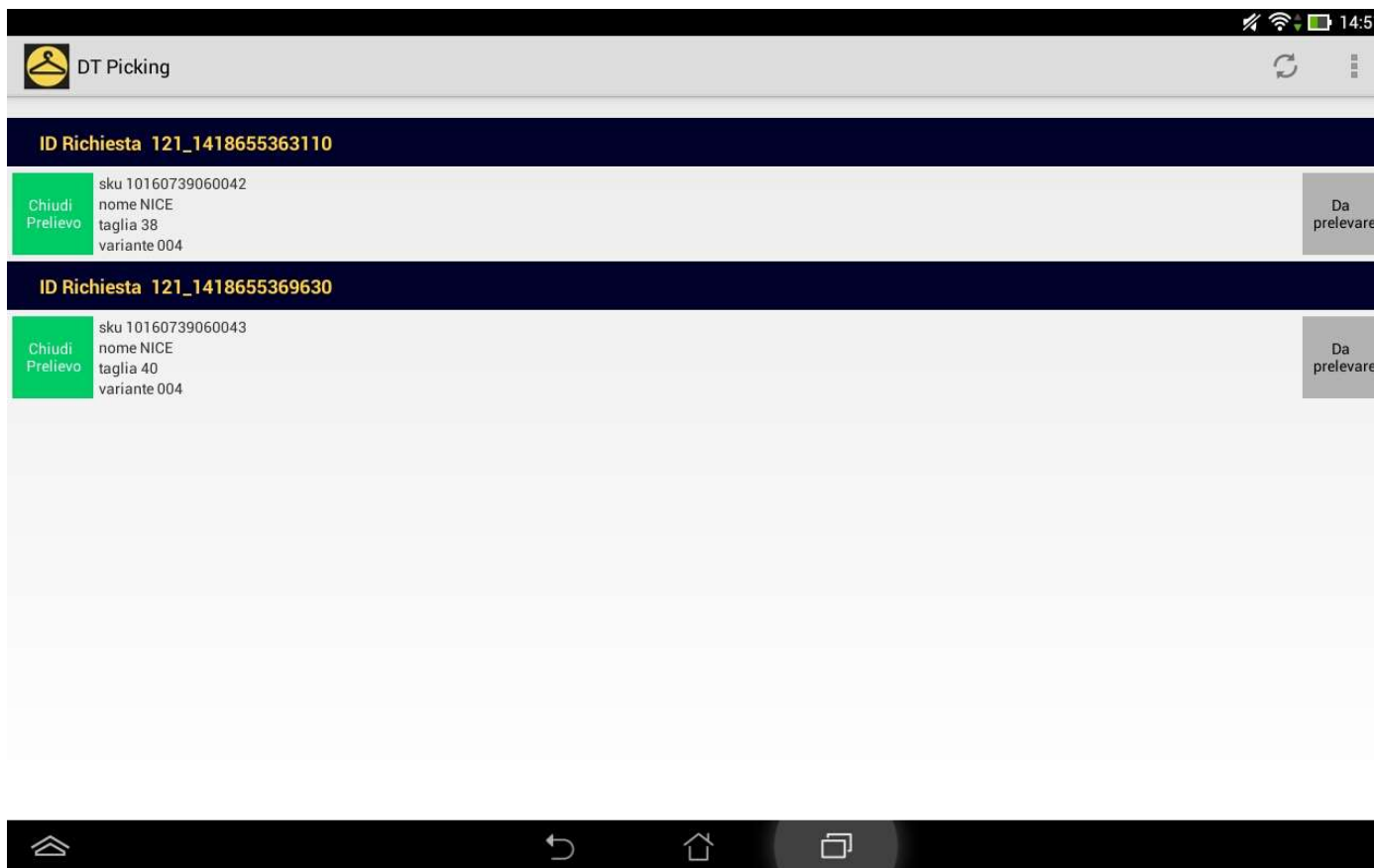
| Immagine | SKU ¹ | Modello | Linea | Classe | Nome | Fornito... | Variante ² | Tag... ³ | Negozi | Magazzino | | |
|---|------------------|-------------|-------|--------|------|------------|-----------------------|---|--------|-----------|---|---|
|  | 10160739060042 | 10160739... | 1 | 01 | NICE | 6 | 004 |  | 38 | 0 | 1 |  |
|  | 10160739060043 | 10160739... | 1 | 01 | NICE | 6 | 004 |  | 40 | 1 | 0 |  |

[Indietro](#)

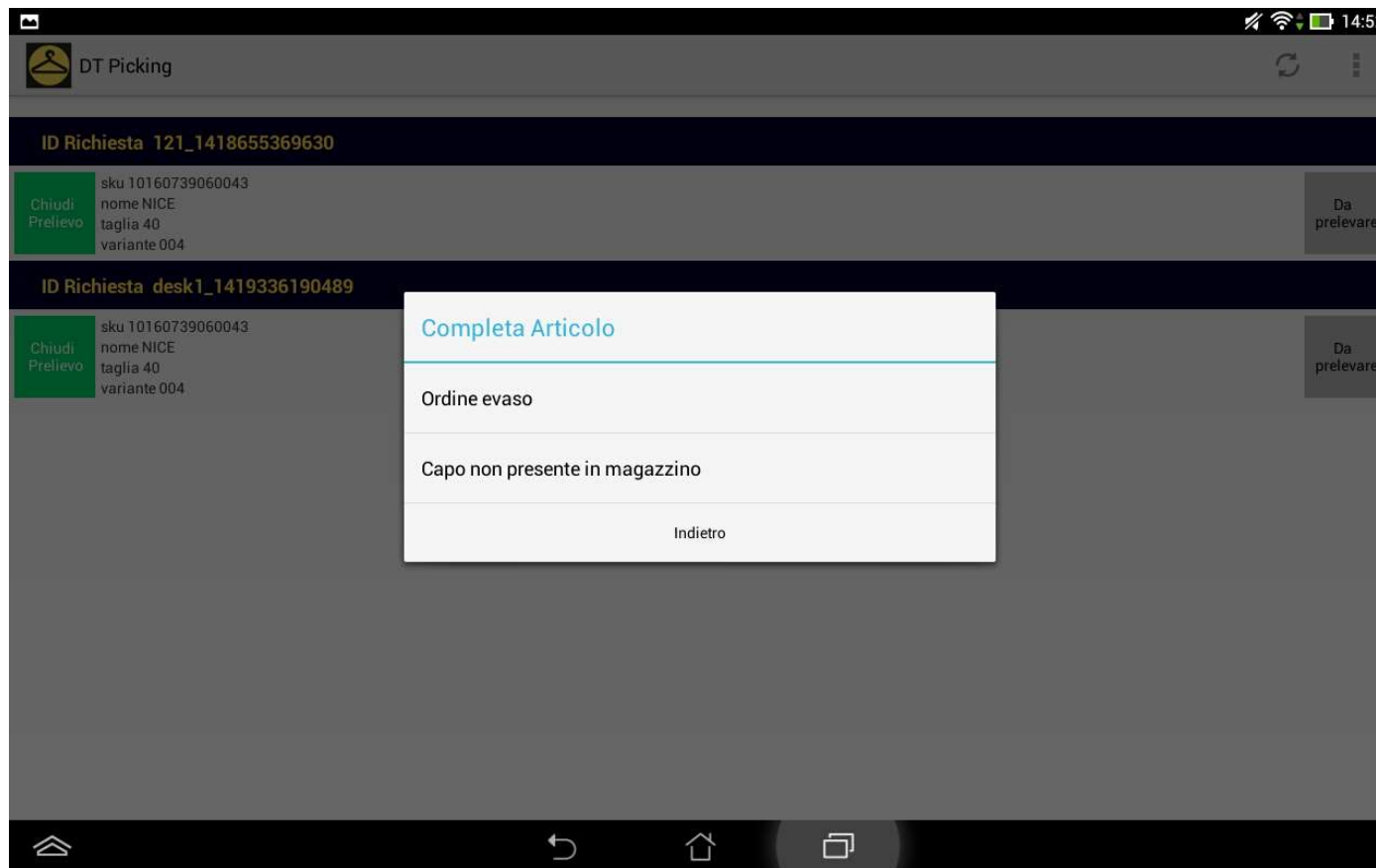
 Aggiorna

| Immagine | SKU ² | Classe | Stagione | Fornitore | Nome | Variante | Taglia | Origine | Richiesta | Stato ¹ | |
|---|------------------|--------|----------|-----------|------|----------|--------|---------|------------------|---|---|
|  | 10160739060043 | 01 | 2 | 6 | NICE | 004 | 40 | desk 1 | desk_1_141933... |  |  |

Picking app – picking request on mobile devices



Picking app – picking mission accomplished





Picking app – results

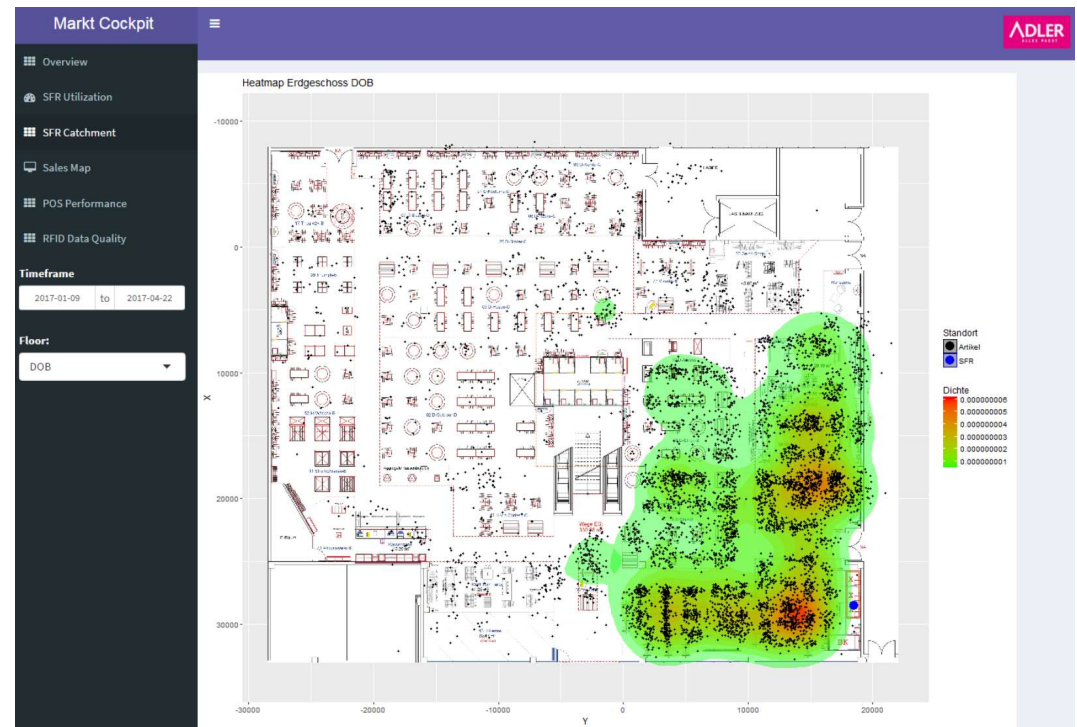
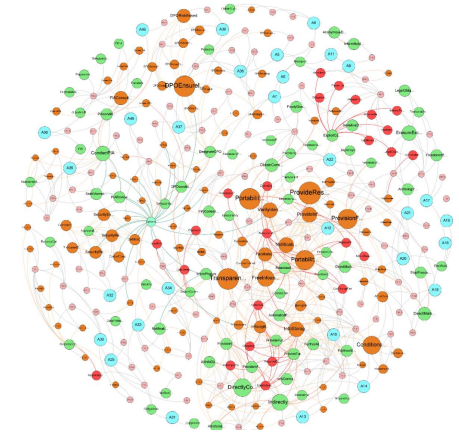
- **The picking app has increased pickers productivity (+40%), without affecting accuracy and with an increase of service times (2→3 mins)**
 - **30% of total sales derive from Picking App**
 - **10 stores used the Picking App (April 2017)**
 - **Within 2017 the App was deployed to all RFID-enabled stores**
 - **The app was then deployed in the remaining stores together with the RFID installation – Full Deployment**
- 

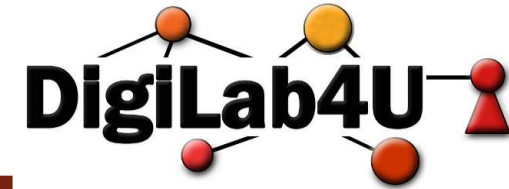
Other results



| Cluster | Units of Analysis | Shoppers | Female % | Baskets | Items Sold | Marketing Actions % | Spending | Average Shopper Visits | Average Shopper Volume | Average Shopper Age | Average Variety | |
|---------|--|----------|----------|---------|------------|---------------------|----------|------------------------|------------------------|---------------------|-----------------|------|
| 2 | Baby/Kids Clothing & Couple's Underwear/Nightwear & Draft Clothing | 7189 | 5469 | 88.8% | 1720 | 50988 | 37.0% | 1.01 M | 1.9 | 7.1 | 65.4 | 3.3 |
| 5 | Elder Woman outfit & House products | 5136 | 5049 | 92.5% | 87 | 114021 | 37.6% | 2.61 M | 6.8 | 22.2 | 65.7 | 8.5 |
| 1 | Younger Woman Outfit & Men Gift (Pants, Shirt, Polo-shirt) | 8698 | 6276 | 88.6% | 2422 | 48977 | 38.9% | 1.25 M | 1.6 | 5.6 | 63.3 | 3 |
| 6 | Couple's Draft Clothing & Underwear | 3446 | 3446 | 81.7% | 0 | 179125 | 40.5% | 3.97 M | 12.9 | 50.8 | 65.9 | 16.4 |
| 4 | Elder Men all year outfit | 5206 | 5122 | 73.7% | 174 | 97673 | 47.7% | 2.32 M | 4.7 | 18.4 | 66.4 | 7.5 |
| 3 | Younger Men all year outfit, Woman Gift (dress, coat, swimwear, leather accessories) & Baby Clothing | 6702 | 4984 | 55.4% | 1718 | 55744 | 55.3% | 1.47 M | 1.7 | 8.3 | 63.5 | 3.3 |

© ELTRUN 2016-2017

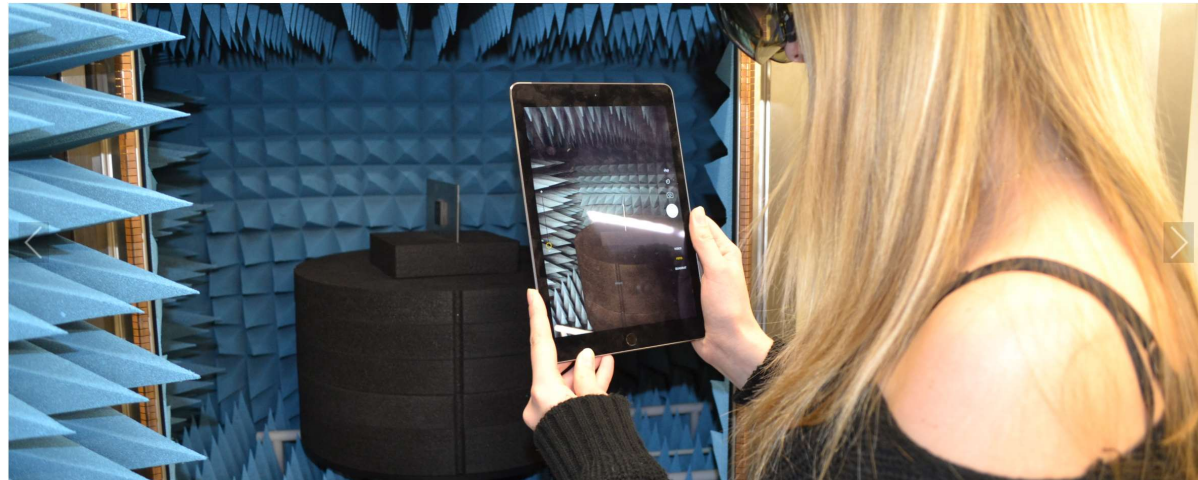




RECENT AND CURRENT INTERNATIONAL RESEARCH PROJECTS

DigiLab4U project (<https://digilab4u.com>)

Open Digital Lab for you – DigiLab4U



■ Objective:

- Hands-on and virtual labs are digitised (if needed) and made accessible from remote, and the synergies between the two approaches are explored
- Supporting tools / methods combined in an holistic approach:
 - Augmented / Virtual Reality
 - Serious gaming
 - Open badges
 - Learning analytics
 - Hybrid learning and research environment

DigiLab4U – Details & Consortium

- **BMBF-funded: about € 5M**
- **Timeframe: 42 Month (09/2018 – 03/2022)**
- **Person month: around 600**



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

BIBA



UNIVERSITÀ
DI PARMA

Hochschule
für Technik
Stuttgart




UNIVERSITÄT
KOBLENZ · LANDAU



RWTHAACHEN
UNIVERSITY



DigiLab4U – Lab-based education at present

- **Questions for lab managers / professors:**
 - **How often do you use your labs?**
 - **How much does your lab cost per usage-hour?**
 - **Can your lab host all the students of your courses?**
 - **Is your lab open to other individuals / institutions?**
 - **Do you know the learning outcomes of your lab-based education?**
 - **How can your students show their lab experience?**
 - **How is the balance between research and education in your labs?**
- 

DigiLab4U - Mission

QUESTIONS

Where do I find the suitable
Industry 4.0 laboratory?
How do I get access to the
research network?

PROBLEM

- Cost
- Quality
- Security
- Usability
- Real vs. virtual

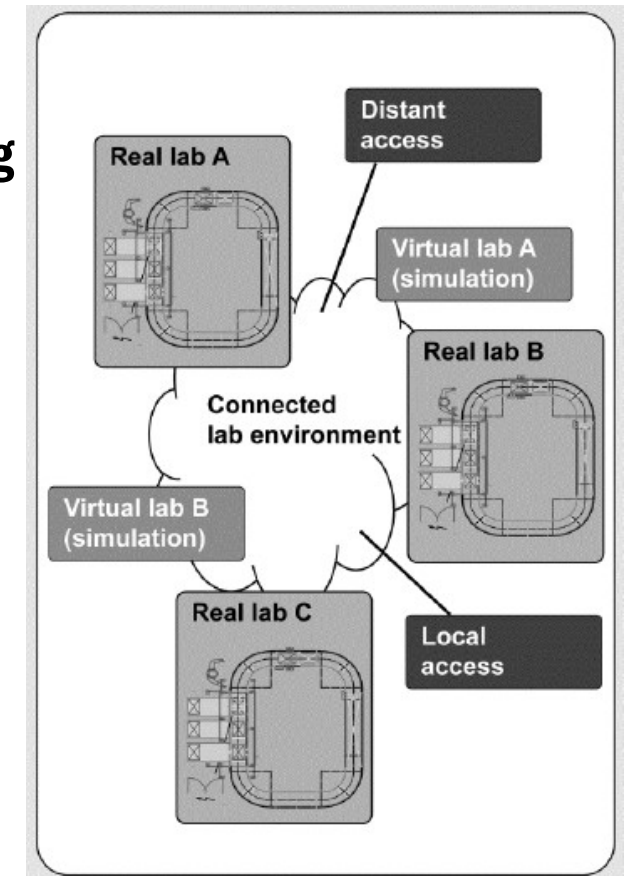
IDEA

Cross-institutional
networking of
Industry 4.0 laboratory
infrastructure

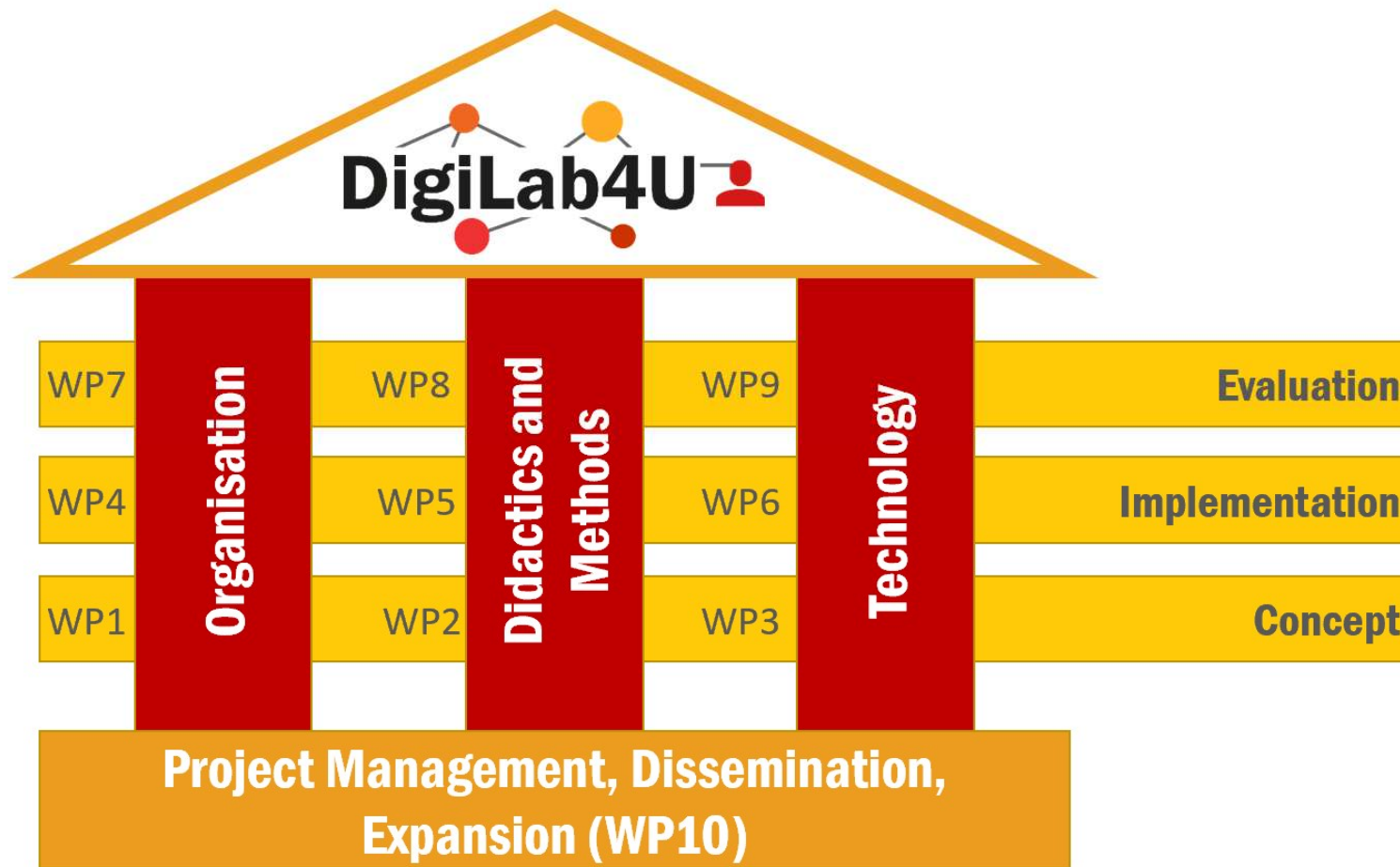
DigiLab4U 

DigiLab4U – Current Labs

- **HFT Stuttgart**
 - Anechoic chamber for RFID-tag tests (Industrie 4.0 Lab)
 - Positioning of Real-time Locating Systems via Laserscanning
 - Smart Building Lab
- **BIBA Bremen**
 - Gaming Lab
- **Univ. Parma**
 - RFID-Logistics Lab
 - Supply-Chain Serious Game
- **IWM Koblenz**
 - Open Badges and VR/AR solutions
- **RWTH Aachen**
 - Learning analytics




DigiLab4U - Pillars






Organisation

- **Trust and cooperation behaviour and agreements**
 - **Sustainable business models for distributed lab-based research environments**
 - **Data security and privacy**
 - **Safety**
 - **Cooperative resource management**
 - **Research data management**
 - **Booking, billing and cost-/benefit-compensation**
 - **Expansion concept**
- 



Didactics and Methods

- **Holistic model on methods and didactics**
 - **Self-regulated learning**
 - **Learning Analytics**
 - **Augmented Reality, Virtual Reality, Mixed Reality**
 - **Open Badges**
 - **Serious Games**
 - **Design suggestions**
 - **Curricula development**
- 

Technology

- **Extending an existing architecture (Industrial Internet Reference Architecture - IIRA)**

Focussed (IoT-/digitalization-) disciplines

- Industrie 4.0
- Supply-chain Management
- Smart Buildings
- Energy sector
- Car-2-X
- ...

