

**Università degli Studi di Padova**

---

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Informazione

TESI DI LAUREA

## **Dash7**

Come coniugare facilmente comunicazione e identificazione a radiofrequenza.

Candidato:

**Marco Centenaro**

Matricola 610658

Relatore:

**Ch.mo Prof. Lorenzo Vangelista**



## **Abstract**

This thesis studies a wireless sensor network technology called **Dash7**, invented for military purposes in the USA in 2009 and now constantly gaining momentum in the framework of the Internet of Things paradigm; it is compared with other WSN technologies; advantages and disadvantages of its use are also addressed.



## **Sommario**

Scopo di questa tesi è studiare la tecnologia per reti di sensori senza fili **Dash7**, nata per scopi militari negli Stati Uniti nel 2009 e oggi in progressiva e costante espansione anche in ambito civile nell'ottica dell'Internet delle Cose; verrà fatta una comparazione con le principali tecnologie concorrenti nel settore e saranno valutati i vantaggi e gli svantaggi del suo utilizzo.



Non est quod timeas ne operam  
perdideris, si tibi didicisti.

---

Lucius Annaeus Seneca

*Desidero ringraziare tutti coloro che hanno permesso la realizzazione di questo elaborato, partendo dal Professor Lorenzo Vangelista, proseguendo con la mia famiglia che da ventuno anni mi sostiene e concludendo con i miei amici e i compagni di corso, con i quali ho condiviso tre anni splendidi.*

*Padova, 26 luglio 2012.*

*MC*





# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione: le reti di sensori senza fili</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Dash7: configurazione, servizi e applicazioni</b>	<b>9</b>
2.1	Cos'è Dash7? . . . . .	9
2.2	Caratteristiche tecniche di Dash7 . . . . .	10
2.3	Servizi offerti . . . . .	11
2.4	Applicazioni pratiche . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Dash7 e le tecnologie concorrenti</b>	<b>15</b>
3.1	Analisi delle caratteristiche tecniche . . . . .	15
3.1.1	Introduzione . . . . .	15
3.1.2	Potenza . . . . .	19
3.1.3	Calcolo dei requisiti di potenza . . . . .	23
3.1.4	Frequenza . . . . .	25
3.1.5	Teoria delle comunicazioni . . . . .	27
3.1.6	Densità spettrale di potenza . . . . .	28
3.1.7	Tolleranza al rumore e codifica di canale . . . . .	29
3.1.8	Link Budget . . . . .	33
3.1.9	Tipologie di antenne . . . . .	35
3.1.10	Progettazione di antenne ad elica . . . . .	36
3.1.11	Commutazione RF - NFC . . . . .	37
3.1.12	OpenTag . . . . .	40
3.2	Vantaggi e svantaggi della tecnologia Dash7 . . . . .	41
3.2.1	Vantaggi . . . . .	41

## INDICE

---

3.2.2 Svantaggi . . . . .	42
<b>4 Considerazioni finali</b>	<b>43</b>
<b>A Internet delle Cose: la visione IBM</b>	<b>45</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>48</b>

# Elenco delle figure

1.1	Topologie delle reti. . . . .	3
1.2	Architettura di una WSN. . . . .	3
1.3	Logo ZigBee. . . . .	5
1.4	Previsione dell'andamento del mercato dei sensori senza fili. . . . .	7
2.1	Logo Dash7-Alliance. . . . .	10
2.2	Logo Near Field Communication. . . . .	11
2.3	Applicazioni della tecnologia NFC nella routine quotidiana. . . . .	12
3.1	Comparazione tra tecnologie di comunicazione senza fili. . . . .	15
3.2	Bande di frequenza tipiche delle onde radio. . . . .	16
3.3	Confronto tra i protocolli di comunicazione operanti nelle bande a 2.45 GHz e 433 MHz. . . . .	17
3.4	Panoramica delle caratteristiche tecniche degli standard RF a disposizione. . . . .	21
3.5	Comparazione tra tempo speso in modalità attiva e in modalità sleep da Low Energy Bluetooth e Dash7. . . . .	22
3.6	Potenza media assorbita da un dispositivo che utilizza il protocollo Wi-Fi in funzione del tempo di latenza. . . . .	24
3.7	Tabella dei <i>trade-off</i> da considerare nella scelta della frequenza di riferimento. . . . .	25
3.8	Applicazione dell'equazione di Friis alle diverse frequenze. . . . .	26
3.9	Confronto fra i raggi d'azione dei diversi protocolli wireless. . . . .	27
3.10	Espressioni delle densità spettrali di potenza di ZigBee e Dash7. . . . .	29

## ELENCO DELLE FIGURE

---

3.11	Densità spettrale di potenza di ZigBee e Low Energy Bluetooth.	30
3.12	Densità spettrale di potenza di Dash7. . . . .	30
3.13	Distanze di Hamming tra parole di codice in ZigBee. . . . .	31
3.14	Codifica di canale Manchester (2,1). . . . .	32
3.15	Limite minimo del rapporto segnale-rumore affinché la decodifica avvenga correttamente, in base alla relazione fornita dalla legge di Shannon-Hartley. . . . .	33
3.16	Relazioni tra $P_E$ e $\Gamma$ rispettivamente per modulazione FSK coerente, PSK e FSK non-coerente. . . . .	34
3.17	Comparazione tra rapporti segnale-rumore e probabilità d'errore delle varie soluzioni. . . . .	34
3.18	Esempi di comuni strutture per antenne radio. . . . .	35
3.19	Espressioni delle resistenze di alimentazione dell'antenna a elica.	36
3.20	Tre diversi progetti di antenna ad elica. . . . .	37
3.21	Schema a blocchi di un sistema di un sistema di comunicazione digitale a radiofrequenza. . . . .	37
3.22	Soluzioni circuitali per implementare funzionalità di comunicazione e identificazione a radiofrequenza. . . . .	38
3.23	Schema a blocchi di un <i>integer-N phase-locked loop</i> . . . . .	39
A.1	Logo <i>Smarter Planet</i> , IBM. . . . .	45
A.2	Le sfide di una città del futuro. . . . .	46

# Elenco delle tabelle

2.1	Specifiche della tecnologia NFC. . . . .	13
-----	--	----



# Capitolo 1

## Introduzione: le reti di sensori senza fili

Oggigiorno la gamma di tecnologie per la comunicazione senza fili è ampia, ma è sicuramente destinata a diventarlo ancora di più nella nuova era dell' *Internet of Things (IoT)*, iniziata con la diffusione di dispositivi innovativi come i telefoni intelligenti (*smartphone*) e le tavolette elettroniche (*tablet*) e destinata a svilupparsi in modo esponenziale negli anni a venire, dove oggetti e ambienti della vita quotidiana saranno in grado di rendersi riconoscibili nella Rete e interagire con essa in modo facile e sicuro tramite sensori. L'obiettivo è quello di creare una mappa virtuale costantemente aggiornata del mondo reale, in modo da sviluppare servizi utili, efficienti e intelligenti che migliorino la qualità della vita dei cittadini<sup>1</sup>. In un'ottica di questo genere è quanto mai necessario da un lato studiare nuove strategie e infrastrutture per far sì che la Rete possa supportare una crescente mole di dati da trasmettere garantendo affidabilità e sicurezza, dall'altro sviluppare nuove tecnologie per la comunicazione sempre più evolute ed efficienti, ma anche economiche. Ed è proprio in questa direzione che si sta muovendo la ricerca e l'innovazione nel campo delle reti di sensori senza fili.

Una rete di sensori senza fili o *WSN (wireless sensor network)* consiste in una rete di dispositivi autonomi il cui scopo è prelevare dati dall'ambiente circostante e trasmetterli ad una unità di *storage*, alla quale in seguito è possibile accedere tramite Internet per l'elaborazione delle informazioni raccolte. Ogni apparecchio, chiamato *nodo sensore* (in inglese *sensor node* o *mote*), è in grado di eseguire misurazioni, per esempio, di temperatura, pressione, luce, umidità,

---

<sup>1</sup>È disponibile un approfondimento sull'Internet delle Cose in Appendice A.

rumore, composizione del terreno; spesso può effettuare rilevazioni di posizione e movimento.

Generalmente l'hardware di un nodo sensore è costituito da:

- un'**unità di rilevamento e attuazione**, composta da sensori, convertitori analogico-digitali e digitali-analogici;
- un'**unità ricetrasmittente** (*transceiver*), di solito un apparecchio a radio frequenze (RF), che svolge sia la funzione di trasmettitore che di ricevitore utilizzando un unico circuito condiviso;
- un'**unità computazionale** (*microcontroller*), composta da un circuito integrato che svolge la funzione di processore per realizzare una prima parziale elaborazione dei dati e da un'unità di memoria per immagazzinare i dati raccolti;
- un'**unità energetica**, composta da una batteria e da un dispositivo per recupero di energia da fonti alternative presenti nell'ambiente circostante (soprattutto energia solare).

Dal punto di vista topologico la rete è solitamente organizzata con struttura a maglia (*mesh*), data l'elevata densità di posizionamento degli apparecchi, ma è possibile utilizzare anche una struttura a stella (*star*), come illustrato in Figura 1.1. Esistono opportuni algoritmi di instradamento multi-tratta (*multi-hop*) per permettere la comunicazione tra i nodi sensori e alcuni nodi speciali, chiamati *nodi sink*, che svolgono la funzione di gateway, incaricandosi della trasmissione dei dati all'esterno della WSN, solitamente ad un server, attraverso il quale è possibile avere accesso ai dati raccolti. La strategia multi-hop è vantaggiosa poiché permette ai nodi di utilizzare basse potenze per la trasmissione, allungando la durata della vita media dei sensori, ma al contempo comporta delle problematiche dovute alla mutua interferenza tra sensori distinti. In Figura 1.2 è rappresentata l'architettura di base di una WSN.

Per quanto riguarda il mezzo di comunicazione senza fili, le WSN sfruttano le onde radio appartenenti alla banda di frequenze riservata alle applicazioni non commerciali ad uso industriale, scientifico e medico *ISM* (*Industrial, Scientific and Medical*), utilizzabile liberamente in pressoché tutti i Paesi. In alternativa



---

1. *INTRODUZIONE: LE RETI DI SENSORI SENZA FILI*

---

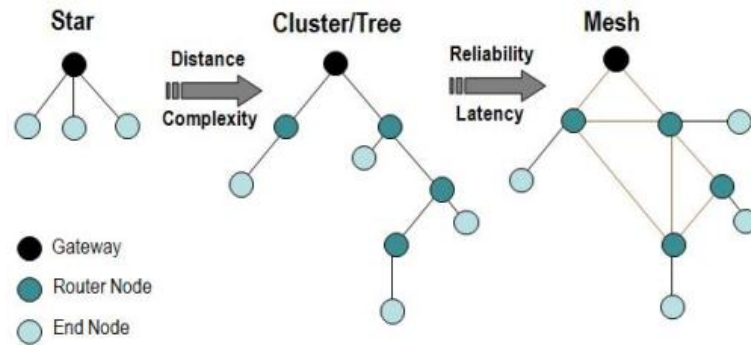


Figura 1.1: Topologie delle reti. Aumentando la grandezza e la complessità della rete è conveniente passare da una topologia a stella ad una topologia ad albero; al crescere dell'affidabilità e della latenza è conveniente ricorrere ad una topologia a maglia.

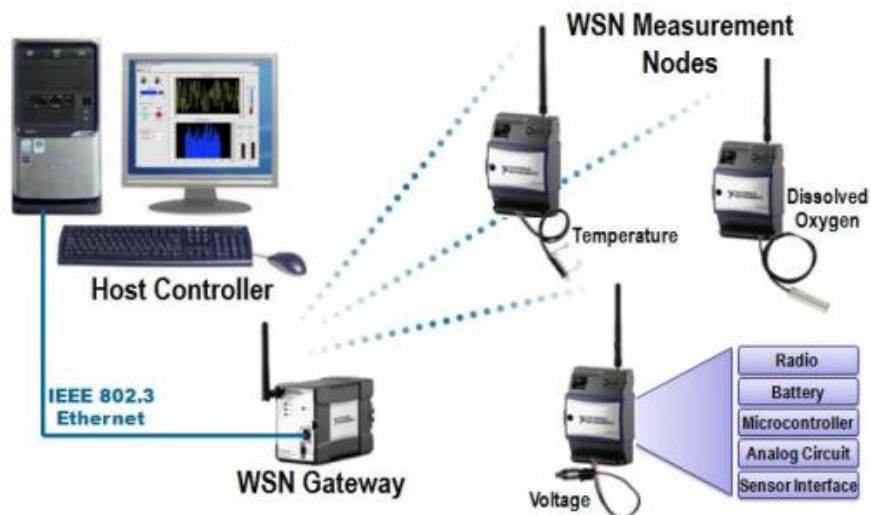


Figura 1.2: Architettura di una WSN.

alle onde radio si potrebbero utilizzare gli infrarossi, ma nella maggior parte delle reti di sensori tale strategia di comunicazione risulta impraticabile, dato che la topologia, non deterministica, rende difficile l'interfacciamento diretto tra trasmettitori e ricevitori.

Dal momento che, per ridurre al minimo costi e consumi degli apparecchi, le reti di sensori sono a corto raggio ( $< 100$  m) ed il tasso di trasferimento dati (*data rate*) è necessariamente basso, le WSN rientrano nel novero delle *Low Rate Wireless Personal Area Network* o *LR-WPAN*. Non è possibile pertanto ricorrere ai protocolli di comunicazione wireless più diffusi, in quanto:

1. lo standard IEEE 802.11 (implementato da *Wi-Fi*) è concepito per le *Wireless Local Area Network* o *WLAN*, che sono dieci volte più estese delle WPAN;
2. lo standard IEEE 802.15.1 (implementato da *Bluetooth*) è concepito per WPAN con data rate medio-alti per soddisfare applicazioni multimediali o che comunque richiedono un'alta qualità di servizio (*Quality of Service* o *QoS*).

Allo stato attuale lo standard che meglio si adatta alle LR-WPAN è l'IEEE 802.15.4. Esso richiede la presenza di due tipologie di dispositivi:

1. **dispositivi a funzionalità completa** o **Full Function Device (FFD)**: svolgono il ruolo di coordinatori della WPAN e possono interagire con qualsiasi altro nodo in visibilità radio;
2. **dispositivi a funzionalità ridotta** o **Reduced Function Device (RFD)**: di complessità ridotta rispetto agli FFD, contengono il sensore e sono in grado di comunicare unicamente con gli FFD.

Compito degli FFD è quello di sincronizzare la rete utilizzando una sequenza di *superframe*, ognuno dei quali consiste in una successione di 16 slot temporali: i primi 9 sono accessibili utilizzando il protocollo di accesso multiplo tramite rilevamento della portante che evita le collisioni *CSMA/CA* (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), mentre i restanti 5 sono assegnati a discrezione del coordinatore di rete (*guaranteed time slot* o *GTS*). La durata

complessiva di un superframe è delimitata da due appositi pacchetti di segnalazione chiamati *beacon*: per questo motivo la rete si definisce *beacon-enabled*. Dal punto di vista topologico, lo standard consente che la rete sia strutturata indifferentemente a maglia o a stella.

Sulla base dell'IEEE 802.15.4 è stato strutturato a partire dal 1998 un progetto di ricerca finanziato da Philips Semiconduttori, conclusosi nel 2003 con la realizzazione dell'insieme di specifiche per reti di sensori senza fili **ZigBee** (in Figura 1.3 è riportato il logo). ZigBee definisce reti a maglia senza fili o *wireless*



Figura 1.3: Logo ZigBee.

*mesh network* costituite da tre tipologie di dispositivi:

1. *ZigBee Coordinator (ZC)*: è il nodo più intelligente della rete; svolge il ruolo di FFD: coordina la rete tramite i segnali di beacon, pone in contatto reti diverse, trasmette i dati al server, custodisce le chiavi di sicurezza;
2. *ZigBee Router (ZR)*: si occupa della trasmissione dei dati tra i dispositivi;
3. *ZigBee End Device (ZED)*: svolge il ruolo di RFD, raccogliendo i dati e trasmettendoli tramite ZR al ZC.

Mentre i nodi coordinatori (ZC) e router (ZR) sono sempre in funzione, i dispositivi di tipo ZED risultano attivi solo all'interno di un superframe e, in assenza di segnali di beacon, entrano in fase di attesa (*stand-by*), minimizzando il ciclo di lavoro (*duty cycle*) degli apparecchi e consentendo così di consumare meno energia e ottimizzare la durata delle batterie. È possibile, in alternativa, adottare una modalità di acquisizione e trasmissione dei dati di tipo *non-beacon-enabled*, ovvero non sincronizzata tramite superframe: in questo caso, i nodi sensori sono liberi di comunicare in qualsiasi istante accedendo al canale tramite CSMA/CA.

## 1. INTRODUZIONE: LE RETI DI SENSORI SENZA FILI

---

In accordo con lo standard 802.15.4, ZigBee opera in tre bande di frequenze ISM, centrate attorno a:

1. 868 MHz: costituisce un solo canale di comunicazione per l'Europa da 20 kbps;
2. 915 MHz: la banda è suddivisa in 10 canali, ciascuno dei quali fornisce un *data rate* da 40 kbps, disponibili nelle Americhe e in Australia;
3. 2400 MHz: è la banda più utilizzata dai dispositivi ZigBee. Disponibile in tutto il mondo, è suddivisa in 16 canali da 250 kbps.

Per le bande a 868 e 915 MHz la modulazione digitale utilizzata è una *Binary Phase Shift Keying (BPSK)*, mentre per la banda a 2.4 GHz utilizza una *Offset Quadrature Phase Shift Keying (O-QPSK)*. Ciascun nodo della rete è identificato da un indirizzo a 16 bit, pertanto all'interno della PAN può formarsi un *cluster* di 65536 dispositivi al massimo. Il raggio d'azione nominale è pari a 75 m.

Oggi ZigBee è senza dubbio la tecnologia leader nel settore delle reti di sensori. Le previsioni degli analisti indicano, però, un trend di crescita del mercato di tipo esponenziale nei prossimi anni (si veda la Figura 1.4) e ciò ha portato i due colossi della comunicazione senza fili, Wi-Fi e Bluetooth, ad attivarsi per sfruttare le notevoli potenzialità di questo nuovo business: dalla necessità di limitare la potenza assorbita dall'alimentazione sono nate le versioni "a risparmio energetico" dei due protocolli, ovvero Low Power Wi-Fi e Low Energy Bluetooth, grazie al sostegno rispettivamente di Cisco Systems e Sony-Ericsson. Le ottime prospettive del settore, però, hanno permesso anche l'inserimento di un nuovo concorrente, che propone un approccio completamente nuovo nei confronti delle WSN: Dash7.

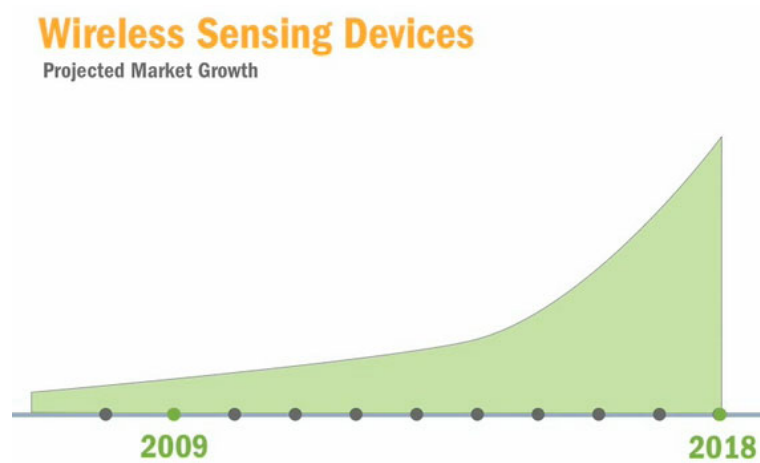


Figura 1.4: Previsione dell'andamento del mercato dei sensori senza fili.



# Capitolo 2

## Dash7: configurazione, servizi e applicazioni

### 2.1 Cos'è Dash7?

Dash7 è una tecnologia open source per reti di sensori senza fili o *wireless sensor network* (WSN) che implementa lo standard ISO/IEC 18000-7. Tale standard definisce i protocolli di comunicazione senza fili per dispositivi di identificazione a radiofrequenza *RFID* (*Radio Frequency IDentification*) in grado di funzionare anche come apparecchi attivi a radiofrequenza *RF* (*Radio Frequency*) nella banda ISM centrata attorno a 433 MHz. Nei prossimi paragrafi la duplice funzionalità dei dispositivi Dash7 (RF e RFID) verrà tenuta in forte considerazione, perché di fatto costituisce la novità introdotta nel campo delle WSN da questa tecnologia.

La gestione del marchio e la proprietà intellettuale della tecnologia è affidata alla *Dash7-Alliance* (in Figura 2.1 è riportato il logo), un consorzio no-profit con sede a San Ramon, California, fondato nel marzo del 2009 grazie all'investimento di circa 430 milioni di dollari da parte del Dipartimento della Difesa del governo americano. Dash7 nasce, infatti, in ambito prettamente militare con lo scopo di fornire all'esercito americano uno strumento efficiente ed economico per monitorare la posizione e lo stato di truppe ed equipaggiamenti e per sorvegliare aree di interesse strategico. In seguito l'attività della Dash7-Alliance è stata improntata, oltre che ad un rafforzamento dell'interoperabilità tra di-

spositivi basati sullo standard ISO 18000-7, ad un continuo e costante sviluppo della tecnologia per soddisfare nuovi requisiti di mercato, soprattutto in ambito civile, e ad una conseguente opera di marketing del prodotto in tutto il mondo. Tra le società a capitale privato che fanno parte dell'Alliance spiccano Bosch, National Instruments, ST Microelectronics e Texas Instruments Incorporated.



Figura 2.1: Logo Dash7-Alliance.

## 2.2 Caratteristiche tecniche di Dash7

Le caratteristiche tecniche degli apparecchi Dash7 sono le seguenti<sup>1</sup>:

- frequenza onde radio: 433 MHz (disponibile in tutto il mondo senza licenza);
- batteria di durata prolungata (qualche anno);
- raggio d'azione fino a 10 km (anche se tipicamente le dimensioni di un cluster di sensori non superano i 250 m);
- topologia a stella, estendibile a 2 tratte;
- latenza configurabile, ma nel caso peggiore è inferiore a 5 s;
- pila protocollare ridotta e *open source*, scritta in linguaggio C;
- bit rate nominale pari a 27.8 kbps;
- assenza di interferenza con Wi-Fi;
- penetrazione del segnale nel cemento e in acqua.

---

<sup>1</sup>I dati sono forniti dalla Dash7-Alliance.



## 2.3 Servizi offerti

La scelta della frequenza di 433 MHz è di fondamentale importanza perché permette ai dispositivi Dash7 di offrire allo stesso tempo due servizi che in apparenza potrebbero sembrare incompatibili: *trasmissione a radio frequenze (RF)* e *Near Field Communication (NFC)* (in Figura 2.2 è riportato il logo).



Figura 2.2: Logo Near Field Communication.

La prima funzionalità è richiesta per la trasmissioni dei dati nelle reti di sensori senza fili ed è quella implementata anche da ZigBee. Diverso il discorso per le NFC: si tratta di una particolare tipologia di identificazione a radiofrequenza *RFID (Radio Frequency IDentification)*, ovvero una tecnologia per l'identificazione e la memorizzazione automatica di dati relativi a oggetti o persone che si basa su dispositivi elettronici mobili chiamati *tag* o *transponder (transmitter responder)*, i quali sono in grado di rispondere ad un'interrogazione da parte di un apparato fisso, comunicandogli le informazioni in essi contenute o semplicemente aggiornandole, in una sorta di "lettura e scrittura" senza fili. Requisito necessario per stabilire la comunicazione tra apparato fisso e tag è che la distanza che li separa non sia superiore ai 10 cm<sup>2</sup>. In particolare la tecnologia NFC *estende* il concetto di RFID, permettendo una comunicazione bidirezionale tra lettore e tag: quando i due apparecchi sono in comunicazione si stabilisce, infatti, una rete punto a punto (*peer to peer*). Le caratteristiche tecniche della tecnologia sono disponibili in dettaglio nella Tabella 2.1.

La tecnologia NFC è utilizzata per effettuare acquisti, prenotazioni, pagamenti istantanei, trasferimenti di file e per molte altre attività della routine quotidiana, come illustrato in Figura 2.3. Nel capitolo 3 verrà esposto come sia possibile implementare sia la funzionalità RF che quella NFC utilizzando lo

---

<sup>2</sup>Limite teorico; ai fini pratici la distanza massima risulta 4 cm.

## 2. DASH7: CONFIGURAZIONE, SERVIZI E APPLICAZIONI

Area	STATION AIRPORT	VEHICLE	OFFICE	STORE RESTAURANT	THEATER STADIUM	ANYWHERE
Usage of NFC Mobile Phone	Pass gate Get information from smart poster Get information from information kiosk Pay bus/taxi fare	Adjust seat position Open door Pay parking fee	Enter/exit office Exchange business cards Log in to PC; Print using copier machine	Pay by credit card Get loyalty point Get and use coupon Share information and coupon among users	Pass entrance Get event information	Download and personalize application Check usage history Download ticket Lock phone remotely
Service Industries	Mass Transport Advertising	Public Transport	Security	Banking Retail Credit Card	Entertainment	Any

Figura 2.3: Applicazioni della tecnologia NFC nella routine quotidiana. Includendo la tecnologia NFC in uno smartphone è possibile estenderne le funzionalità, consentendo acquisti di prodotti, pagamenti di servizi e trasferimenti di file istantanei.

Tabella 2.1: Specifiche della tecnologia NFC.

PARAMETRO	NFC
Frequenza	13.56 MHz
Copertura massima	10 cm
Topologia	Punto a punto
Data rate	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 106 kbps;</li> <li>• 212 kbps;</li> <li>• 424 kbps.</li> </ul>
Modalità di funzionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attiva: la comunicazione tra interrogatore e tag è bidirezionale.</li> <li>• Passiva: la comunicazione tra interrogatore e tag è monodirezionale.</li> </ul>

stesso oscillatore al quarzo e la medesima antenna tramite un apposito circuito elettronico analogico in grado di effettuare la commutazione di funzione.

## 2.4 Applicazioni pratiche

Le reti di sensori Dash7 trovano applicazione nei seguenti campi:

- **monitoraggio di un'area.** Come accennato nel paragrafo 2.1, la tecnologia Dash7 è nata in ambito militare ed è tuttora attivamente impiegata dalle forze armate statunitensi per la sorveglianza di zone di importanza strategica e per il monitoraggio di truppe ed equipaggiamenti impegnati in ambiente ostile. Anche la NATO si sta attrezzando per il passaggio alla tecnologia Dash7.
- **monitoraggio logistico.** Gli apparecchi Dash7 sono utilizzati per il tracciamento e il monitoraggio dei container che viaggiano via mare; il loro impiego è stato inoltre approvato per vettori di trasporto aerei.

- **monitoraggio ambientale.** Le reti di sensori possono essere impiegate nelle grandi città per i rilievi dei livelli di inquinamento causato da polveri sottili. Un'ulteriore applicazione di notevole importanza dal punto di vista ambientale è anche il monitoraggio delle reti di fornitura dei combustibili, al fine di prevenire guasti ed individuare immediatamente eventuali perdite da manomissione. Da non sottovalutare, infine, l'utilizzo della tecnologia applicato all'agricoltura, per tenere sotto controllo le temperature delle colture e per ottimizzare l'irrigazione.
- **monitoraggio dei processi industriali.** In ambito industriale civile le reti Dash7 consentono di localizzare in tempo reale le risorse materiali all'interno dei magazzini delle aziende.
- **medicina.** Tenere sotto controllo la temperatura dei vaccini è di fondamentale importanza al fine di garantirne l'efficacia: Dash7 può effettuare questo tipo di controlli poiché il segnale è in grado di penetrare l'acqua.
- **monitoraggio strutturale.** L'impiego delle WSN è di estrema importanza e fonte di enormi risparmi economici per controlli di statica di grandi opere, dai ponti alle linee ferroviarie.
- **applicazioni NFC.** Dotando il telefono cellulare di un sensore Dash7, è possibile accedere a tutte le possibili applicazioni della tecnologia NFC, rendendo così possibili gesti come comprare i biglietti del cinema o dell'autobus, accedere ad un luogo riservato, avere informazioni in tempo reale su un servizio o su un prodotto, trasferire dei file semplicemente avvicinando il telefono al relativo lettore fisso.

Grande attenzione verso questo settore tecnologico è rivolta anche dall'**industria automobilistica**. La casa francese produttrice di pneumatici Michelin è entrata a far parte dell'Alliance per sviluppare un sistema di monitoraggio della pressione degli pneumatici per migliorarne la sicurezza e favorire il risparmio di carburante.

# Capitolo 3

## Dash7 e le tecnologie concorrenti

### 3.1 Analisi delle caratteristiche tecniche

#### 3.1.1 Introduzione

In questo capitolo si procederà con l'analisi tecnica del protocollo ISO 18000-7 e verranno individuati potenzialità e limiti di Dash7 nei confronti dei principali concorrenti: ZigBee, Low Energy Bluetooth e Low Power Wi-Fi.

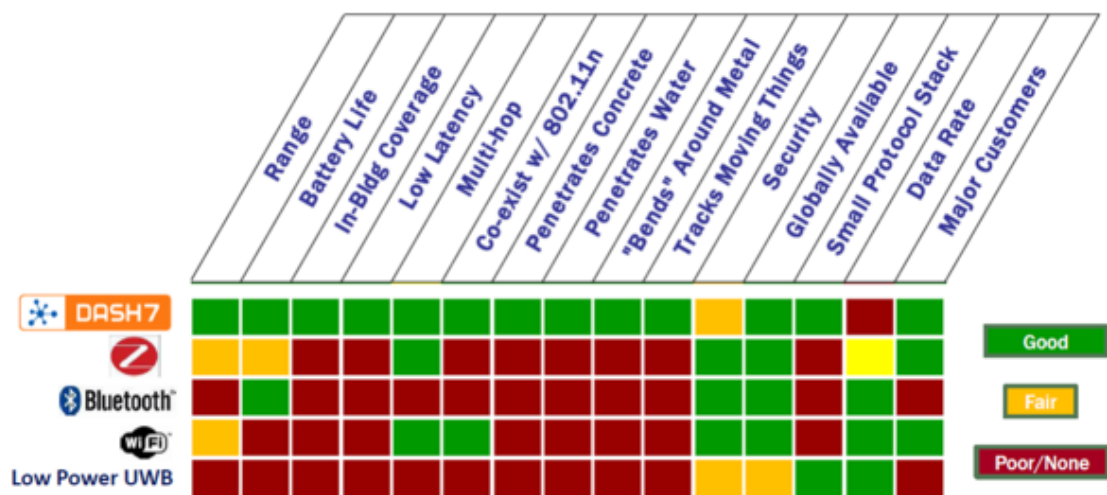


Figura 3.1: Comparazione tra tecnologie di comunicazione senza fili.

### 3. DASH7 E LE TECNOLOGIE CONCORRENTI

---

Si prenda in considerazione, anzitutto, l'aspetto più innovativo del protocollo ISO 18000-7: la decisione di utilizzare per la comunicazione onde radio alla frequenza di 433 MHz anziché 2.45 GHz. Come si può vedere in Figura 3.2, esistono varie bande di frequenza per le comunicazioni radio, ognuna delle quali presenta pro e contro: in generale, al crescere della frequenza il data rate aumenta, a scapito, però, dell'affidabilità e della robustezza del segnale trasmesso. D'altro canto le uniche frequenze disponibili senza necessità di acquistare

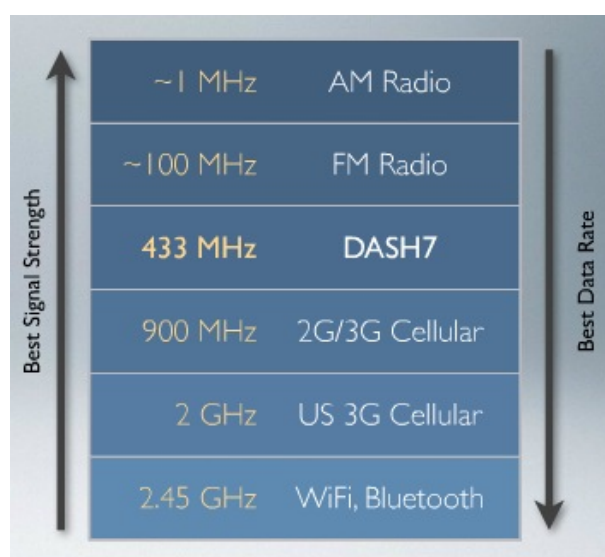


Figura 3.2: Bande di frequenza tipiche delle onde radio.

alcuna licenza governativa in tutto il mondo sono solo due: la banda attorno ai 433 MHz e quella attorno ai 2.45 GHz. Quest'ultima è la banda utilizzata dalle principali tecnologie per comunicazioni senza fili, ovvero:

- **Wi-Fi.** È di gran lunga lo standard wireless più diffuso, poiché garantisce un alto data rate, tale da soddisfare le necessità di applicazioni come il video streaming MA richiede molta potenza da parte degli apparecchi, è soggetto ad interferenze e produce una trasmissione a corto raggio.
- **Bluetooth.** È uno standard in grado di garantire un data rate medio, tale da soddisfare applicazioni come l'audio streaming MA presenta le stesse controindicazioni di Wi-Fi: è richiesta parecchia potenza e il raggio d'azione è ancor più ridotto.

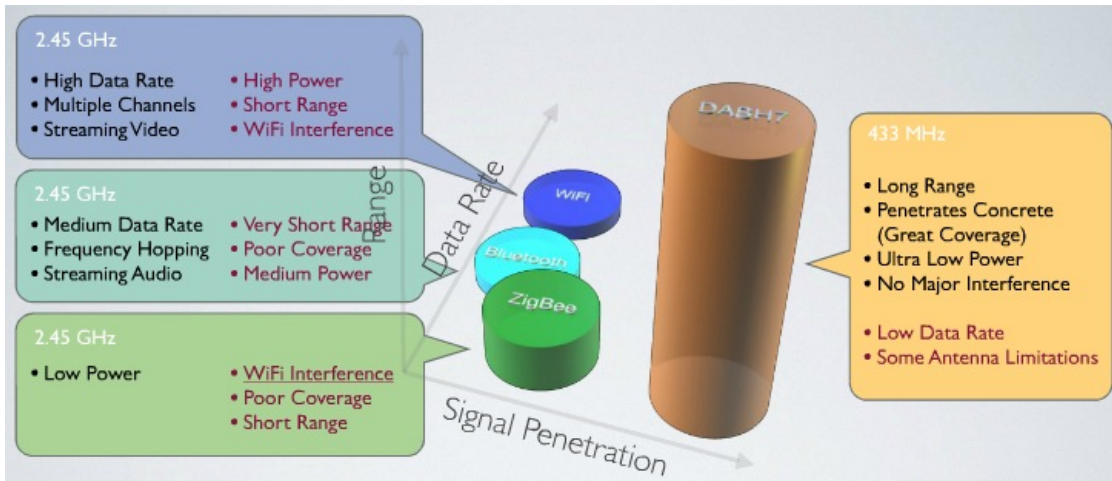


Figura 3.3: Confronto tra i protocolli di comunicazione operanti nelle bande a 2.45 GHz e 433 MHz.

- **ZigBee.** La richiesta di potenza è sicuramente molto limitata rispetto ai protocolli precedenti MA sono altrettanto limitati il raggio d'azione e la copertura; inoltre il protocollo è soggetto ad interferenza nei confronti di trasmissioni Wi-Fi.

È, quindi, evidente che sia Wi-Fi che Bluetooth non sarebbero competitivi nel campo delle WSN senza effettuare delle opportune modifiche per limitare l'assorbimento di potenza, anche a fronte di un abbassamento del QoS; ed è proprio quello che è stato fatto con la creazione delle versioni a risparmio energetico Low Power Wi-Fi e Low Energy Bluetooth. ZigBee, invece, rappresenta sostanzialmente l'ottimizzazione delle comunicazioni radio effettuate sulla banda a 2.45 GHz in funzione delle reti di sensori senza fili. Il protocollo ISO 18000-7 si propone di migliorare ulteriormente le prestazioni raggiunte da ZigBee preferendo la banda attorno a 433 MHz rispetto a quella attorno a 2.4 GHz: in questo modo è possibile aumentare il raggio d'azione, migliorare la copertura dell'area circostante e allo stesso tempo richiedere molta meno potenza. Il prezzo da pagare, di contro, è un data rate piuttosto ridotto.

In effetti, ottimizzare il consumo di potenza dei sensori in modo da prolungare al massimo la durata delle batterie degli stessi è l'aspetto più importante per una WSN. Dash7 applica ai propri dispositivi una strategia di "risveglio"

### 3. DASH7 E LE TECNOLOGIE CONCORRENTI

---

(*wake-up*), utilizzando un apposito segnale di attivazione che viene inviato ai sensori per azionarli solo quando è richiesto il loro intervento per la raccolta dei dati. Il meccanismo che ne risulta è estremamente flessibile, richiede poca informazione di servizio (*overhead*) e ha un tempo di latenza molto basso; la potenza media giornaliera consumata dai dispositivi è compresa tra i 30 e i 60  $\mu\text{W}$ . Al contrario, ZigBee predilige una soluzione deterministica tramite segnali di beacon per la pianificazione dei rilievi da parte dei sensori. In più, ad ogni spostamento degli apparecchi è necessaria una ricalibrazione, notoriamente piuttosto dispendiosa dal punto di vista delle risorse energetiche. Tutto ciò fa sì che la potenza media dissipata dai sensori ZigBee sia circa dieci volte quella dissipata dagli omologhi Dash7: dai 300 ai 600  $\mu\text{W}$ .

Nel capitolo 2 si accennava, inoltre, alla possibilità di integrare la funzionalità di comunicazione a radiofrequenza dei sensori Dash7 con la tecnologia di identificazione a radiofrequenza NFC. Si noti che

$$\frac{433.92}{13.56} = 32 \in \mathbb{N}$$

ovvero che il rapporto tra le frequenze operative dei due servizi offerti da Dash7 è un numero intero: questo fatto costituisce uno dei punti chiave della tecnologia e potrebbe consentirne una larga diffusione nel mondo degli smartphone. Si supponga, infatti, di voler creare un “dispositivo intelligente” che possa, allo stesso tempo, raccogliere dati riguardo l’ambiente circostante e mettere a disposizione le applicazioni tipiche di NFC. Di norma sarebbe necessario utilizzare due chip e due antenne distinte, dal momento che i due servizi richiedono frequenze operative differenti, ma ISO 18000-7 semplifica il problema, consentendo di utilizzare un unico chip e un’unica antenna. Il cristallo di quarzo presente nel chip, infatti, in modalità predefinita genera la tensione necessaria affinché l’antenna produca un’onda radio di frequenza 13.56 MHz, consentendo la funzionalità NFC del dispositivo; quando si richiede che l’apparecchio funzioni in modalità sensore, invece, è in grado di effettuare la commutazione della frequenza al valore di 433.92 MHz grazie ad un *phase-locked loop*. Si tratta di un circuito elettrico che funge da sintetizzatore di frequenza: a partire da una frequenza di riferimento, esso è in grado di ottenerne una versione moltiplicata di un fattore intero in uscita, grazie ad una rete di retroazione che effettua



una comparazione delle fasi del segnale in ingresso e di quello in uscita, finché il rapporto delle loro frequenze non raggiunge il valore prestabilito. In questo modo, lo stesso chip che prima agiva da dispositivo RFID ora può funzionare da sensore, senza effettuare alcuna modifica all'hardware.

Procediamo, però, con ordine, prendendo in considerazione uno per uno gli argomenti finora esposti e fornendo i dati tecnici a supporto dell'esposizione.

#### 3.1.2 Potenza

Come già anticipato, il consumo di energia da parte dei dispositivi è di estrema importanza in una rete di sensori wireless: le ricetrasmittenti RF devono risparmiare quanta più potenza nella comunicazione per allungare il più possibile la vita degli apparecchi. Produrre un dispositivo RF a bassa potenza comporta delle precise scelte di hardware riguardanti:

- massima integrazione degli elementi di silicio (un chip unico è meglio di due!);
- batterie di durata prolungata e sistemi di approvvigionamento energetico dall'ambiente circostante;
- microcontrollore che contenga sia la CPU che la memoria interna;
- tipologia di antenna;
- sensori il più integrati possibile.

Discorso a parte meritano le comunicazioni RFID, le quali possono essere:

1. *attive* quando la comunicazione tra dispositivo interrogatore e tag è bi-direzionale, ovvero si assiste ad uno scambio di informazioni in entrambe le direzioni. Questa modalità di funzionamento prevede che entrambi gli apparecchi siano alimentati ed è quella implementata dal protocollo NFC.
2. *passive* se il solo dispositivo *interrogatore* richiede alte potenze, mentre il *tag* non necessita neppure di alimentazione, dal momento che si occupa solo di riflettere e modulare opportunamente il segnale incidente inviato dall'apparato fisso (analogamente a quanto avviene nei sistemi radar). La comunicazione in questo caso è asimmetrica.

### 3. DASH7 E LE TECNOLOGIE CONCORRENTI

---

La tecnologia Dash7 è basata sul concetto denominato *BLAST*:

- *Bursty*: la trasmissione dei dati è brusca e non coinvolge forme di dati “pesanti”, come l’informazione di tipo audio e video;
- *Light-data*: la dimensione dei pacchetti inviati non supera i 256 byte e la trasmissione di più pacchetti consecutivamente è evitata se possibile;
- *ASynchronous*: il principale metodo di comunicazione è *comando-risposta*, in modo da evitare la sincronizzazione periodica dei dispositivi;
- *Transitive*: il sistema Dash7 è mobile e *upload-centric*, sicché non c’è necessità di stazioni base, ovvero di un’infrastruttura fissa che gestisca la rete.

Non è, quindi, presente una struttura di tipo *top-down*, gerarchica, ma piuttosto un *ambient data*, dove raggruppamenti di dati viaggiano in modo dinamico e semplice.

Si è già detto in precedenza e si può vedere in Figura 3.4 che la gamma degli standard per comunicazioni a bassa potenza tramite radio frequenze è ampia. Ognuno di questi standard è in grado di svolgere determinate funzioni meglio degli altri, ma nell’ambito dei sistemi RF a bassa potenza lo standard ISO 18000-7 gioca un ruolo di fondamentale importanza nell’implementare un limitato insieme di funzioni con la massima efficienza. Osservando i dati si nota che ognuna delle soluzioni richiede potenze diverse a seconda del fatto che operino in modalità di trasmissione, ricezione o attesa (*stand-by* o *sleep*). Naturalmente tutte le tecnologie cercano di massimizzare il tempo in cui i dispositivi si trovano in modalità *sleep*, ma le due che ci riescono meglio sono il Low Energy Bluetooth e Dash7.

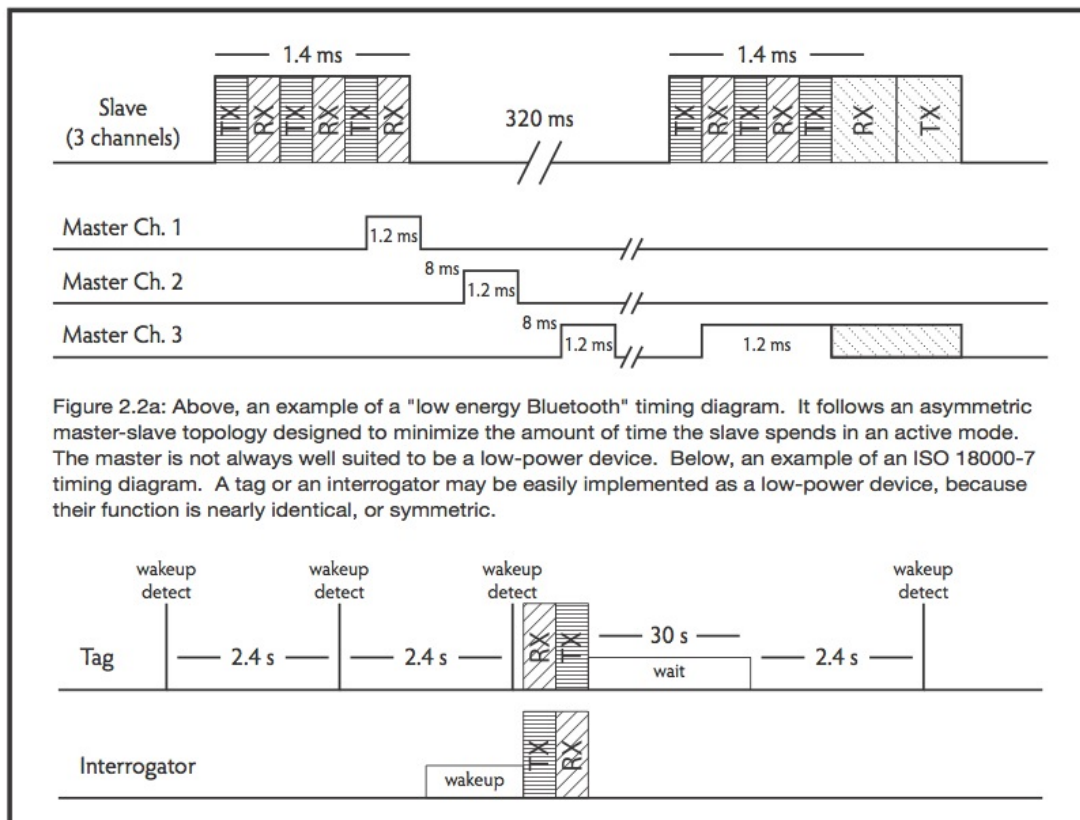
Inoltre, come si può vedere nel diagramma in Figura 3.5, il protocollo Dash7 è *simmetrico*, ovvero non c’è differenza tra le modalità in cui un qualsiasi tipo di dispositivo comunica con un altro dispositivo della rete. Ci si basa solo su un segnale di wake-up apposito: quando un tag riceve il segnale passa in modalità attiva, effettua la trasmissione dei dati e torna subito in modalità *sleep*. Nel caso di Low Energy Bluetooth, ma anche di ZigBee e Low Power Wi-Fi, la struttura è *asimmetrica* (*master-slave*) ed è necessaria la presenza di una stazione base per coordinare i dispositivi della rete.

### 3.1 ANALISI DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE

	Low Energy Bluetooth	DASH7 (ISO 18000-7)	Low Power Wi-Fi (IEEE 802.11)	ZigBee (IEEE 802.15.4)
<b>General Specifications</b>				
Frequency Range	2.402-2.482 GHz	433.04 - 434.79 MHz	2.40-2.50 GHz	2.402-2.482 GHz
Discrete Channels	3	1 to 5	3	16
Max Channel Bandwidth	~8 MHz	0.5 to 1.75 MHz	22 MHz	5 MHz
Modulation	GFSK	FSK or GFSK	CCK /QAM64 (b/g)	QPSK
Nominal Data-Rate	1 Mbps	27.8 Kbps	1 Mbps	250 Kbps
Est. Max Potential Data-Rate*	1 Mbps	100 Kbps	54 Mbps	500 Kbps
Nominal Range (0 dBm)	10 m	250 m	25 m	75 m
<b>Standard Related</b>				
Alliance & Standards Bodies	Bluetooth SIG	DASH7 Group, ISO	WiFi Alliance, IEEE	ZigBee Alliance, IEEE
Major Proponents	Sony-Ericsson, CSR, Casio	Savi, US DoD	Cisco, Broadcom	Formerly Philips
Protocol (MAC) Complexity	Low	Low	High	Med to High
RF layer (PHY) Complexity	Low	Low	High	Med
<b>Best-in-breed Solution Power</b>				
Sleep Power	8 $\mu$ W	4 $\mu$ W	10 $\mu$ W	4 $\mu$ W
Receive (RX) Power	28.5 mW	7.5 mW	90 mW	84 mW
Transmit (TX) Power	26.5 mW	31 mW	350 mW	72 mW
Average Power for ten (10) 256-byte messages per day†	50 $\mu$ W	42 $\mu$ W	570 $\mu$ W	414 $\mu$ W

Figura 3.4: Panoramica delle caratteristiche tecniche degli standard RF a disposizione.

### 3. DASH7 E LE TECNOLOGIE CONCORRENTI



### 3.1.3 Calcolo dei requisiti di potenza

Si procede ora con il calcolo della potenza media giornaliera richiesta dai vari standard presi in esame a parità di modalità di connessione: si ipotizza di avere un tempo di latenza di 2.4 s e di effettuare 10 trasmissioni dati. Verranno valutati perlopiù tempi e potenze in fase di ricezione, essendo questa la fase più dispendiosa per l'apparecchio sensore, trascurando la fase di trasmissione.

- **ISO 18000-7.** Si consideri il diagramma in Figura 3.5. Ciascun dispositivo Dash7 si pone in ascolto di eventuali segnali di risveglio (*wakeup detection*) ogni 2.4 s per  $10^{-3}$  s, pertanto nell'arco di una giornata risulta attivo per un totale di  $\frac{60 \cdot 60 \cdot 24}{2.4} \cdot 0.001 = 36$  s; il tag rimane attivo anche per i 30 s successivi alla ricezione di un segnale di wake-up. Per effettuare dieci trasmissioni di dati il tempo di attività totale è pertanto di  $36 + 10 \cdot 30 = 336$  s. Poiché la potenza disponibile in ricezione è 7.5 mW (valore di picco), la potenza media giornaliera dissipata in ricezione è pari a  $7.5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{336}{60 \cdot 60 \cdot 24} = 29.2 \mu\text{W}$ . La raccolta dei dati impiega 100 s (ancora una volta a una potenza di 7.5 mW), pertanto si registra un ulteriore consumo medio di  $7.5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{100}{60 \cdot 60 \cdot 24} = 8.8 \mu\text{W}$ . La potenza dissipata nella fase di attesa (*sleep*), infine, è pari a 4  $\mu\text{W}$ . Trascurando il consumo di potenza nella fase di trasmissione, poiché impiegherebbe complessivamente meno di 1 secondo, la potenza impiegata, mediata nell'arco di una giornata, è pertanto

$$29.2 + 8.8 + 4 = 42 \mu\text{W}.$$

- **Low Energy Bluetooth.** Basandosi sui dati forniti dalla Nordic Semiconductor e pubblicati sul sito web di Low Energy Bluetooth, è possibile affermare che, avendo a disposizione una batteria di capacità pari a 300 mAh, la potenza media consumata nell'arco di una giornata per dieci trasmissioni è quantificabile in 50  $\mu\text{W}$ .

### 3. DASH7 E LE TECNOLOGIE CONCORRENTI

---

- **Low Power Wi-Fi.** Impiegando  $15 \cdot 10^{-3}$  s per stabilire la connessione Wi-Fi dallo stato di riposo, un nodo sensore trascorre complessivamente  $\frac{60 \cdot 60 \cdot 24}{2.4} \cdot 0.015 = 540$  s al giorno in modalità ricezione (90 mW di potenza di picco). La potenza media dissipata in modalità sleep è pari a  $10 \mu\text{W}$ . Trascurando ancora una volta la fase di trasmissione, la potenza media giornaliera assorbita risulta pari a ben

$$90 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{540}{60 \cdot 60 \cdot 24} + 10 \cdot 10^{-6} \approx 570 \mu\text{W}.$$

In Figura 3.6 è tracciato l'andamento della potenza media assorbita utilizzando un protocollo Wi-Fi in funzione del tempo di latenza.

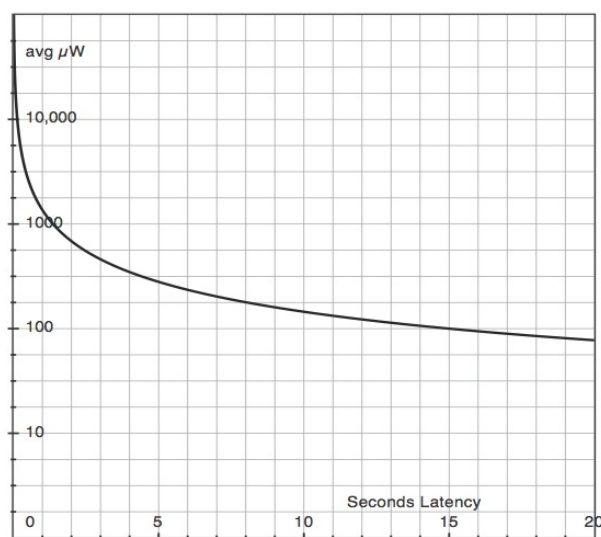


Figura 3.6: Potenza media assorbita da un dispositivo che utilizza il protocollo Wi-Fi in funzione del tempo di latenza.

- **ZigBee.** Si consideri una beacon-enabled network con superframe di durata 49.15 s nella banda ai 2.45 GHz. Le 24 ore giornaliere sono divise in  $\frac{60 \cdot 60 \cdot 24}{49.15} \approx 1758$  superframe; se uno ZED trascorre 50 ms in ascolto dei segnali di beacon di ciascun superframe, in totale impiega  $1758 \cdot 0.05 \approx 88$  s in ricezione. Ipotizzando che lo ZED debba effettuare almeno una scansione passiva della banda ogni giorno per questioni di “manutenzione” della PAN, impiegando 99 s per ciascun canale, il dispositivo trascorre altri

### 3.1 ANALISI DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE

$99 \cdot 4 = 396$  s per scandire 4 dei 16 canali disponibili. La potenza dissipata nella fase di attesa è pari a  $4 \mu\text{W}$ . Poiché la potenza disponibile in ricezione è di  $84 \text{ mW}$ , la potenza media giornaliera assorbita è

$$84 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{88+396}{60 \cdot 60 \cdot 24} + 4 \cdot 10^{-6} \approx 473 \mu\text{W}.$$

trascurando la fase di trasmissione. Si consideri ora una non-beacon-enabled network. Ipotizzando che uno ZED ispezioni un solo canale ogni  $2.4 \text{ s}$  per  $10 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ , l'attività giornaliera in fase di ricezione ammonta a  $\frac{60 \cdot 60 \cdot 24}{2.4} \cdot 0.01 = 360 \text{ s}$ . Anche in questo caso la potenza dissipata nella fase di riposo è pari a  $4 \mu\text{W}$ . Trascurando, al solito, la potenza media in trasmissione, la potenza media giornaliera assorbita è pari a

$$84 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{360}{60 \cdot 60 \cdot 24} + 4 \cdot 10^{-6} \approx 354 \mu\text{W}.$$

La media delle due modalità di funzionamento della rete risulta pari a  $414 \mu\text{W}$ .

#### 3.1.4 Frequenza

	Lower Frequency	Higher Frequency
Range (Permittivity)		
Non Line of Sight		
Antenna Options		
Max Bandwidth		
	Narrowband	Wideband
Resilience to Noise		
Communication Efficiency		

Figura 3.7: Tabella dei *trade-off* da considerare nella scelta della frequenza di riferimento. Frequenze basse consentono di migliorare il raggio d'azione e la *non-line-of-sight*, mentre frequenze più alte comportano l'aumento della complessità delle antenne e l'ampiezza della banda (e conseguentemente del rumore).

### 3. DASH7 E LE TECNOLOGIE CONCORRENTI

---

Il protocollo ISO 18000-7 opta per l'utilizzo di onde radio di frequenze appartenenti alla banda centrata attorno a 433.92 MHz. La scelta è frutto di un compromesso ingegneristico: frequenza più bassa significa meno dati trasmessi, ma anche meno potenza richiesta per trasmettere e maggior raggio d'azione. Si consideri, infatti, l'equazione di Friis per le trasmissioni radio

$$gCh = \frac{P_{Rc}}{P_{Tx}} = g_{Ant,Tx} g_{Ant,Rc} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

dove  $P_{Rc}$  e  $P_{Tx}$  sono le potenze ricevute e trasmesse,  $g_{Ant,Rc}$  e  $g_{Ant,Tx}$  sono i guadagni delle antenne in ricezione e trasmissione,  $\lambda = \frac{c}{f_0}$  è la lunghezza d'onda e  $d$  il raggio d'azione. Ricavando dall'equazione  $d$  si ottiene

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{Tx} g_{Ant,Rc} g_{Ant,Tx}}{P_{Rc}}} = \frac{c}{4\pi f_0} \sqrt{\frac{P_{Tx} g_{Ant,Rc} g_{Ant,Tx}}{P_{Rc}}}$$

e si evince che all'aumentare della frequenza il raggio diminuisce. In Figura 3.8 si possono vedere i risultati dell'applicazione della legge di Friis ai principali protocolli di comunicazione senza fili e si può constatare che il raggio d'azione di Dash7 è nettamente superiore alla concorrenza (si veda la Figura 3.9 per un confronto).

Solution	$\lambda$ (cm)	Pt/Pr (dBm)	GtGr	Range (m)
Reference 433MHz	69	S	0.03A	R
Reference 900MHz	33	S	0.13A	R
Reference 2.45GHz	12	S	A	R
Typical DASH7	69	-100	0.25	4500
Typical Bluetooth	12	-83	0.7	160
Typical WiFi	12	-90	0.7	360
Typical ZigBee	12	-100	0.7	1100

Table 2.3b: Friis relationships at different frequencies

Figura 3.8: Applicazione dell'equazione di Friis alle diverse frequenze.

Se la minor frequenza contribuisce, quindi, a raggiungere distanze superiori, la lunghezza d'onda  $\lambda$ , che risulta essere maggiore in base alla relazione



$$c = \lambda \cdot f$$

dove  $c$  è la velocità della luce e  $f$  la frequenza, permette la *non-visibilità-ottica* (*non-line-of-sight*), ovvero la capacità di comunicare con dispositivi con i quali non è possibile instaurare un contatto visivo diretto. L'unica, ma non trascurabile, controindicazione dovuta all'abbassamento della frequenza è la drastica diminuzione del data rate: mentre i protocolli più performanti ma dispendiosi, ovvero Low Energy Bluetooth, Low Power Wi-Fi, e ZigBee forniscono un data rate rispettivamente pari a 1 Mbps, 1 Mbps e 250 kbps, Dash7 presenta un data rate nominale di 27.8 kbps, molto minore rispetto alla concorrenza.

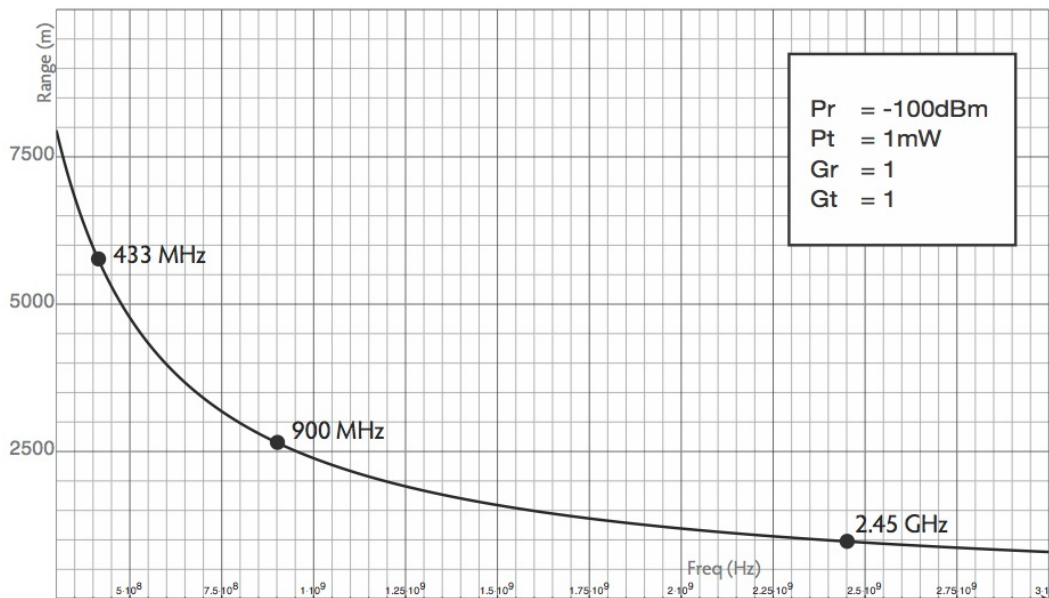


Figura 3.9: Confronto fra i raggi d'azione dei diversi protocolli wireless. Si noti la non-linearità del grafico del raggio d'azione in funzione della frequenza.

### 3.1.5 Teoria delle comunicazioni

Si è visto come le onde radio a frequenza minore siano più affidabili di quelle ad alta frequenza, a discapito, però, della quantità di informazione effettivamente trasmessa nell'unità di tempo, ovvero il *data rate*  $R_b$ , che si abbassa. Il data rate e la banda passante  $B_{min}$  sono connessi dalle relazione

$$R_b = \frac{1}{T_b} = \frac{1}{T} \log_2 M = B_{min} \log_2 M$$

dove  $T_b$  è il periodo di trasmissione di ogni bit,  $T$  il periodo di trasmissione di ogni simbolo e  $M$  la dimensione dell'alfabeto utilizzato. Si vede come  $R_b$  e  $B_{min}$  siano direttamente proporzionali. Alla banda passante, però, sono pure connessi gli ineludibili effetti di rumore che affliggono la comunicazione: più larga è la banda, maggiore è il rumore al ricevitore. È quindi di fondamentale importanza individuare il giusto compromesso: una modulazione digitale che riesca a fornire un discreto *data rate* e allo stesso tempo massimizzi il rapporto segnale-rumore o *signal-to-noise ratio* (*SNR*). La soluzione proposta da Dash7 e da Low Energy Bluetooth è quella di una *frequency shifting keying* (*FSK*), mentre Zigbee opta per una *offset quadrature phase shift keying* (*O-QPSK*), la quale risulta essere leggermente più efficiente a fronte di un aumento della complessità realizzativa.

#### 3.1.6 Densità spettrale di potenza

In particolare, il protocollo ISO 18000-7 utilizza una modulazione digitale a traslazione di frequenza coerente *FSK con filtro gaussiano* (*GFSK: gaussian frequency shifting keying*). La forma d'onda impiegata dal modulatore è una sinusoidale la cui frequenza è associata al simbolo dell'alfabeto da inviare; l'onda è *finestrata* (*windowed*) all'interno del periodo  $T$  di durata del simbolo. Il filtro gaussiano viene posto all'ingresso del modulatore allo scopo di rendere più dolci le transizioni di frequenza del segnale modulato tra un simbolo e il seguente: in questo modo l'efficienza spettrale migliora, poiché lo spettro della portante complessiva risulta più compatto e si evita l'interferenza intersimbolo. Il flusso di dati in ingresso al filtro gaussiano del modulatore *FSK* è sincronizzato grazie a una codifica di canale di tipo Manchester (si veda il paragrafo 3.1.7) e garantisce un *data rate* di 27.77 kbps.

In Figura 3.10 sono riportati i modelli delle densità spettrali di potenza (*power spectral density* o *PSD*)  $G_{\pm}(f) = \mathcal{P}(f)$  di ZigBee e Dash7, mentre in Figura 3.12 vi sono i grafici delle stesse. Dallo studio dei grafici si nota che il protocollo ISO 18000-7 presenta due picchi a 433.92 MHz  $\pm 55.55$  kHz, particolarmente accentuati se la trasmissione è associata ad un indice di modulazione<sup>1</sup> di 1.8.

---

<sup>1</sup>Rapporto tra la *deviazione di frequenza*, cioè la massima differenza tra frequenza istantanea dell'onda FM e frequenza portante, e la frequenza del segnale modulante.

### 3.1 ANALISI DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE

$$G(f) = G_+(f) + G_-(f) \quad \text{eq. 2.2}$$

$$G_{\pm}(f) = A^2 2T \left( \frac{\sin(2\pi T(f \pm f_c))}{2\pi T(f \pm f_c)} \right)^2 \quad \text{eq. 2.3}$$

Eq 2.2 forms the power spectral density for the real and complex frequency components, using equations 2.3 or 2.4. QPSK power spectral density may be modeled by eq 2.3 (this function may also be notated with *sinc* nomenclature). GFSK power spectral density may be approximated by the continuous wave FSK model shown as eq 2.3.

$$G_{\pm}(f) = \left( \frac{A^2 \sin^2(\pi(f \pm f_1)T) \cdot \sin^2(\pi(f \pm f_2)T)}{2\pi^2 T (1 - 2\cos(2\pi(f \pm \alpha)T) \cos(2\pi\beta T) + \cos^2(2\pi\beta T))} \right) \cdot \left( \frac{1}{K} \right) \left( \frac{f_d}{f \pm f_1} - \frac{f_d}{f \pm f_2} \right)^2 \quad \text{eq. 2.4}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_c - f_d \\ f_2 &= f_c + f_d \\ \alpha &= \frac{1}{2}(f_1 + f_2) \\ \beta &= \frac{1}{2}(f_1 - f_2) \end{aligned}$$

The definitions to the left apply to eq 2.4. In addition,  $f_c$  is the carrier frequency,  $f_d$  the FSK deviation frequency, and K is a scaling coefficient that may be determined by experimentation.

Figura 3.10: La seconda e la terza espressione forniscono rispettivamente le densità spettrali di potenza della modulazione QPSK (adottata da ZigBee) e GFSK (adottata da Dash7).

La modulazione utilizzata da Dash7 si può, quindi, definire *a banda larga* (*wideband*) *in una banda stretta* (*narrowband*) da soli 150 kHz: in questo modo la tecnologia può sfruttare le potenzialità in termini di robustezza all'interferenza ed efficienza spettrale garantite rispettivamente dalle due soluzioni.

#### 3.1.7 Tolleranza al rumore e codifica di canale

In generale per massimizzare il rapporto segnale-rumore è possibile:

- migliorare le prestazioni del ricevitore;
- incrementare la potenza trasmessa;
- abbassare il livello del rumore del canale.

Delle tre, la migliore strategia è senza dubbio l'ultima, visto che gli apparecchi di cui disponiamo devono essere abbastanza economici e parsimoniosi dal punto di vista energetico. Per aumentare la tolleranza al rumore si è soliti introdurre

### 3. DASH7 E LE TECNOLOGIE CONCORRENTI

---

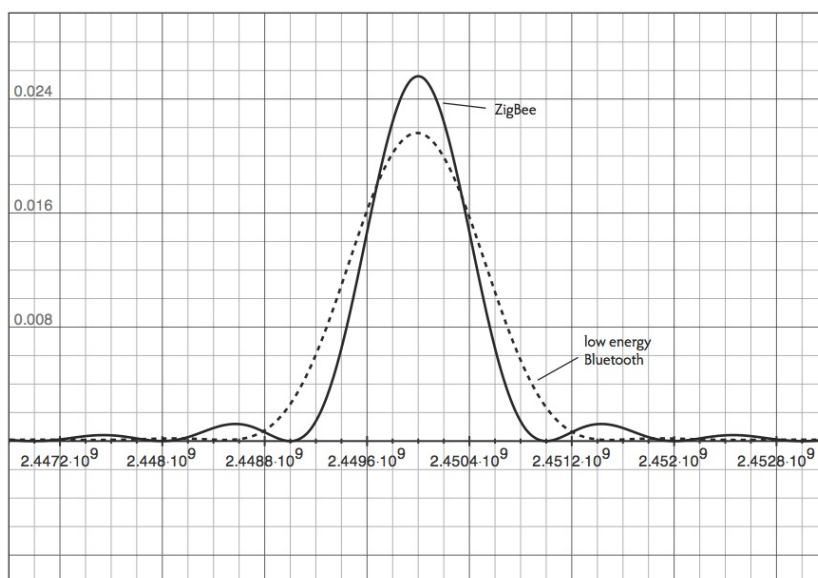


Figura 3.11: Densità spettrale di potenza di ZigBee (linea continua) e Low Energy Bluetooth (linea tratteggiata).

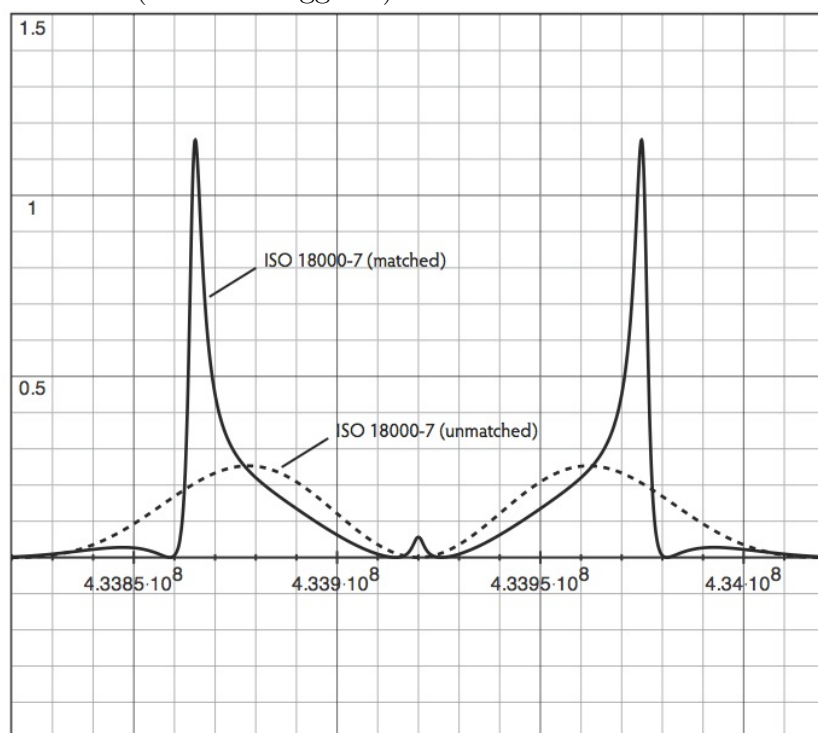


Figura 3.12: Densità spettrale di potenza di Dash7. I due picchi a  $433.92 \text{ MHz} \pm 55.55 \text{ kHz}$  sono particolarmente accentuati se la trasmissione è associata ad un indice di modulazione pari a 1.8.

### 3.1 ANALISI DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE

una codifica di canale (*channel coding*), ovvero si aggiunge della ridondanza “intelligente” al messaggio da trasmettere: ZigBee, ad esempio, utilizza un codice a blocco (32,4), mappando sequenze di 4 bit nel messaggio originale in vettori di 32 bit. Come si evince dalla Figura 3.13 la distanza minima di Hamming tra parole di codice adiacenti è 12, quindi un decodificatore a minima distanza è in grado di individuare  $12 - 1 = 11$  sequenze di errori e correggere i pattern contenenti fino a  $\frac{12}{2} - 1 = 5$  bit errati. La strategia adottata da Low Energy

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	
0		16	18	20	20	20	18	16	16	12	14	20	20	20	14	12	
1	16		16	18	20	20	20	18	12	16	12	14	20	20	20	14	
2	18	16		16	18	20	20	20	14	12	16	12	14	20	20	20	
3	20	18	16		16	18	20	20	20	14	12	16	12	14	20	20	
4	20	20	18	16		16	18	20	20	20	14	12	16	12	14	20	
5	20	20	20	18	16		16	18	20	20	20	14	12	16	12	14	
6	18	20	20	20	18	16		16	14	20	20	20	14	12	16	12	
7	16	18	20	20	20	18	16		12	14	20	20	20	14	12	16	
8	16	12	14	20	20	20	14	12		16	18	20	20	20	18	16	
9	12	16	12	14	20	20	20	14	16		16	18	20	20	20	18	
A	14	12	16	12	14	20	20	20	18	16		16	18	20	20	20	
B	20	14	12	16	12	14	20	20	20	18	16		16	18	20	20	
C	20	20	14	12	16	12	14	20	20	20	18	16		16	18	20	
D	20	20	20	14	12	16	12	14	20	20	20	18	16		16	18	
E	14	20	20	20	14	12	16	12	18	20	20	20	18	16		16	
F	12	14	20	20	20	14	12	16	16	18	20	20	20	18	16		

Figura 3.13: Distanze di Hamming tra parole di codice in ZigBee. Osservando la tabella, si nota che la distanza minima tra due codici a blocco è 12.

Bluetooth e Dash7, d’altro canto, prevede una codifica di canale di tipo *Manchester*<sup>2</sup>: il segnale digitale binario in ingresso viene sincronizzato con il clock di sistema e al bit 1 viene associata una commutazione alto-basso (10), mentre al bit 0 corrisponde una commutazione basso-alto (01) (vedi Figura 3.14). Ciò comporta che la distanza minima di Hamming tra due parole di codice sia pari a 2; un decodificatore a minima distanza sarà in grado di rivelare al massimo la presenza di  $2 - 1 = 1$  bit errato, ma non saprà correggerlo. Una possibile futura miglioria sotto questo aspetto potrebbe consistere in un sovracampionamento (*oversampling*) al ricevitore, associando tre commutazioni ad ogni bit: in questo modo la distanza minima di Hamming tra parole di codice adiacenti diventerebbe 6 e la mappa del decodificatore potrebbe rintracciare fino a  $6 - 1 = 5$  errori e correggerne al massimo  $\frac{6}{2} - 1 = 2$ .

<sup>2</sup>La medesima strategia è applicata anche per la comunicazione NFC.

### 3. DASH7 E LE TECNOLOGIE CONCORRENTI

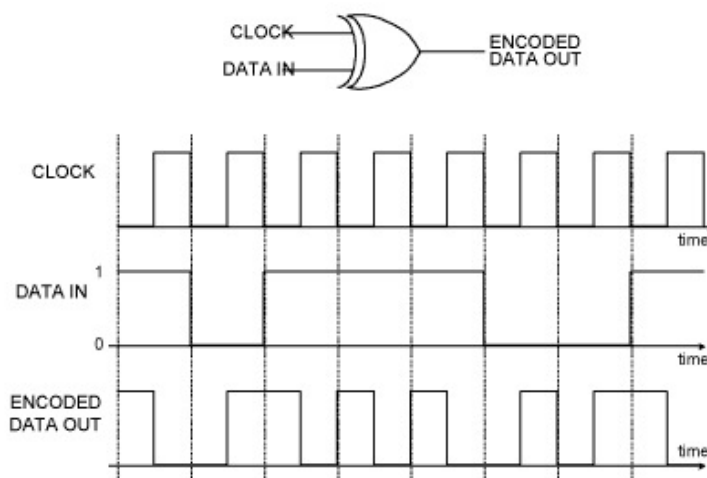


Figura 3.14: Codifica di canale Manchester (2,1). Utilizzando una porta logica XOR i cui ingressi sono il segnale digitale da codificare e il segnale di clock del chip, in uscita si ottiene il segnale codificato, dove al bit 1 corrisponde una commutazione alto-basso e al bit 0 una commutazione basso-alto.

Si supponga ora che il rumore sia additivo gaussiano bianco (*additive-white-gaussian noise* o *AWGN*): in questo modo la sua ampiezza è costante, ovvero indipendente dalla frequenza, e il rapporto segnale-rumore è in relazione di tipo gaussiano con la probabilità di errore sul bit  $P_E$ . Inoltre, sotto questa ipotesi, la legge di Shannon-Hartley sulla codifica di canale porge

$$C = B_{min} \log_2 (1 + \Lambda) \geq R$$

dove  $C$ ,  $R$ ,  $B_{min}$  e  $\Lambda$  sono rispettivamente la capacità e il data rate effettivo del canale, l'ampiezza di banda del segnale trasmesso e il rapporto segnale-rumore complessivo della comunicazione espresso in scala lineare. Ipotizzando che i carichi siano tutti in adattamento e che i segnali che trattiamo siano a banda stretta, si ha

$$\Lambda = \Lambda_M = \Lambda_P = \frac{\text{potenza del segnale ricevuto}}{\text{potenza del rumore}} = \frac{E_s/T}{(N_0/2) \cdot 2B_{min}} = \frac{E_s R}{N_0 B_{min}}$$

ed è possibile quindi derivare la disuguaglianza

$$R \leq B_{min} \log_2 \left( 1 + \frac{E_s R}{N_0 B_{min}} \right) \Rightarrow \frac{E_s}{N_0} = \Gamma \geq \frac{B_{min}}{R} \left( 2^{\frac{R}{B_{min}}} - 1 \right) = \frac{1}{2\nu} (2^{2\nu} - 1)$$

### 3.1 ANALISI DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE

dove  $\Gamma = \frac{E_s}{N_0}$  è l'SNR di riferimento (*reference SNR*) e  $\nu = \frac{R}{2B_{min}}$  è l'efficienza spettrale. La disuguaglianza ottenuta permette di stabilire un limite inferiore al valore dell'SNR che consente una decodifica corretta, in funzione dell'efficienza spettrale del sistema. Come si evince dal grafico in Figura 3.15 il protocollo ISO 18000-7 presenta un limite minimo dell'SNR  $\min \Lambda = 0.82 = -0.86$  dB, appena sufficiente a garantire la corretta decodifica senza ricorrere ad ulteriori strategie.

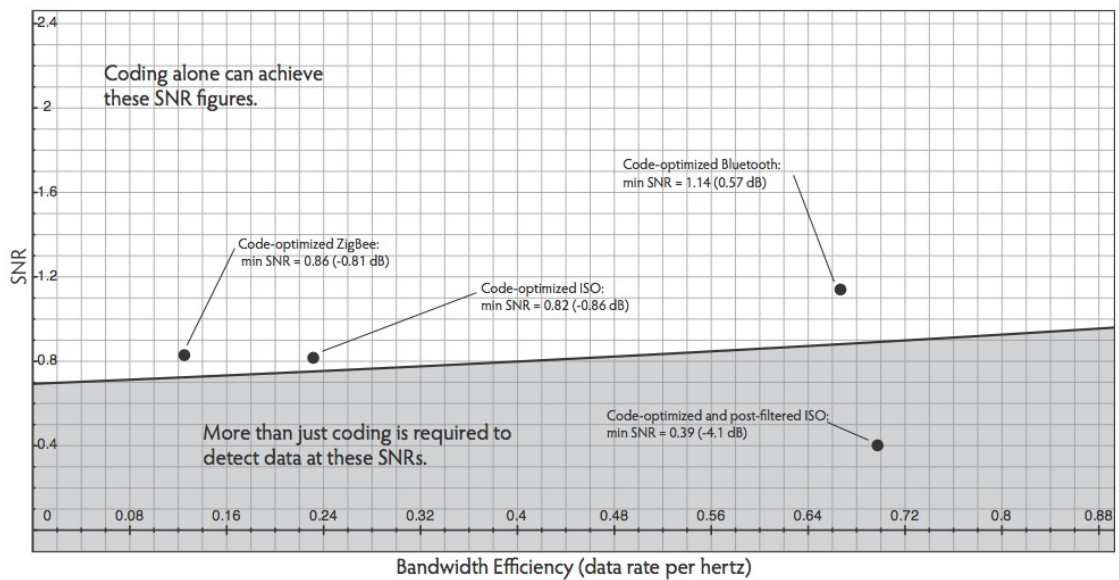


Figura 3.15: Limite minimo del rapporto segnale-rumore affinché la decodifica avvenga correttamente, in base alla relazione fornita dalla legge di Shannon-Hartley.

#### 3.1.8 Link Budget

Si è detto che Dash7 utilizza una modulazione GFSK coerente, ovvero senza discontinuità di fase nel segnale modulato. I ricevitori, però, possono essere sia coerente che non-coerenti: si ammettono, infatti, possibili discontinuità di fase dovute ad ambienti in grado di generare un pesante affievolimento del segnale.

In Figura 3.16 vi sono le formule per il calcolo della probabilità d'errore sul simbolo  $P_E$ , che sappiamo essere in relazione di tipo gaussiano con l'SNR di riferimento  $\Gamma$  per l'ipotesi di rumore AWGN, mentre la Figura 3.17 illustra

### 3. DASH7 E LE TECNOLOGIE CONCORRENTI

---

$$P_E = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \int_{\sqrt{SNR}}^{\infty} \left( e^{-\frac{t^2}{2}} \right) dt \quad \text{eq. 2.6}$$

$$P_E = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \int_{\sqrt{2SNR}}^{\infty} \left( e^{-\frac{t^2}{2}} \right) dt \quad \text{eq. 2.7}$$

$$P_E = \frac{1}{2} e^{-\frac{SNR}{2}} \quad \text{eq. 2.8}$$

Figura 3.16: Relazioni tra  $P_E$  e  $\Gamma$  rispettivamente per modulazione FSK coerente, PSK e FSK non-coerente.

i risultati delle simulazioni al calcolatore degli SNR necessari a garantire una corretta trasmissione in presenza della massima probabilità d'errore sul simbolo  $P_E$ . Si evince come Dash7 raggiunga valori di SNR comparabili a quelli di ZigBee anche con un ricevitore non coerente (-0.9 dB contro -0.4 dB), nonostante quest'ultimo adotti una tecnica di codifica molto più aggressiva dal punto di vista della correzione d'errore.

Solution	Base SNR (relative)	max $P_E$	min SNR @ max $P_E$	Link Budget (relative)
ISO 18000-7	0 dB	$10^{-4}$	11.4 dB	0 dB
ISO, post-filtered	<b>3.24 dB</b>	$10^{-4}$	11.4 dB	<b>3.24 dB</b>
low en. Bluetooth	-11 dB	$10^{-4}$	11.4 dB	-11 dB
ZigBee	-12.2 dB	<b><math>10^{-1}</math></b>	<b>-0.4 dB</b>	-0.4 dB
ISO (NC)	0 dB	$10^{-4}$	12.3 dB	-0.9 dB
ISO, post-filt (NC)	<b>3.24 dB</b>	$10^{-4}$	12.3 dB	2.34 dB

Figura 3.17: Comparazione tra rapporti segnale-rumore e probabilità d'errore delle varie soluzioni.



### 3.1.9 Tipologie di antenne

La tipologia di antenna classica e più performante è quella a dipolo elettrico, ma non può essere applicata alle WSN: per una frequenza di 433 MHz, il dipolo dovrebbe essere lungo almeno 35 cm e risulterebbe, pertanto, impossibile da installare sugli apparecchi sensori. Vi sono comunque delle soluzioni alterna-

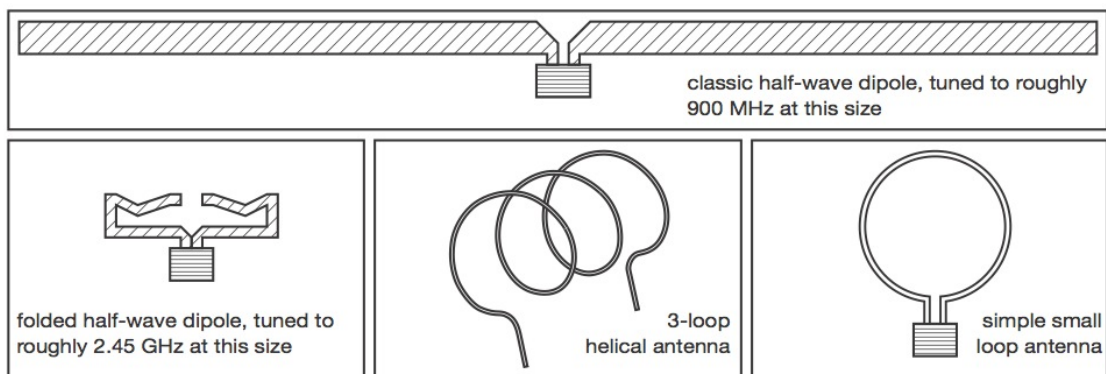


Figura 3.18: Esempi di comuni strutture per antenne radio.

tive per antenne a bassa frequenza, mostrate in Figura 3.18: sono le antenne ad anello, sebbene a seconda della progettazione presentino un'efficienza dalle 3 alle 8 volte inferiore rispetto ad un'antenna a dipolo. In particolare le antenne a piccolo anello sono caratterizzate da dimensioni limitate e compatte, sono relativamente facili da progettare e integrare in una scheda e risultano economiche. Ed è proprio questa la soluzione tipica dei dispositivi Dash7, i quali sono dotati di antenna a singolo anello di efficienza circa 4 volte inferiore all'efficienza di un'antenna a dipolo.

Un ulteriore design per antenne molto diffuso è quello dell'antenna ad elica, che consiste semplicemente nella serie di più antenne ad anello. A fronte di un leggero aumento della complessità nella progettazione (e quindi del costo), tali antenne sono in grado di generare un'efficienza fino a  $\frac{2}{3}$  l'efficienza di un'antenna a dipolo elettrico. Ulteriori studi per migliorarne le prestazioni suggeriscono di inserire del materiale ferromagnetico all'interno dell'elica e potrebbero presto essere applicati nella pratica.

### 3.1.10 Progettazione di antenne ad elica

Le antenne ad elica sono relativamente performanti per strutture compatte come i package, soprattutto se i requisiti in termini di larghezza di banda sono relativamente bassi. Tale conformazione di antenna si presta molto bene, quindi, ad essere applicata anche agli apparecchi Dash7.

$$E_A = \frac{R_R}{R_R + R_L} \quad \text{eq 2.9}$$

$$R_{RH} = \eta \left( \frac{2\pi N^2}{3} \right) \left( \frac{kA}{\lambda} \right)^2 \quad \text{eq 2.10}$$

$$R_{LH} = \frac{Nr_l}{r_w} \left( \frac{R_p}{R_0} + 1 \right) \sqrt{\frac{\omega\mu_0}{2\sigma}} \quad \text{eq 2.11}$$

$$R_p = 2r_w R_s \sum_{m=1}^N \int_0^\pi K_m^2 \left( \theta, \frac{r_c}{r_w} \right) d\theta - 1 \quad \text{eq 2.12}$$

$$R_s = \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}} \quad R_0 = \frac{NR_s}{2\pi r_w} \quad \text{eqs 2.13, 2.14}$$

Figura 3.19: Espressioni delle resistenze di alimentazione dell'antenna ad elica.  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m e  $\epsilon = 8.854 \cdot 10^{-12}$  F/m sono rispettivamente le costanti di permeabilità magnetica ed elettrica del vuoto. Inoltre valgono le seguenti relazioni:  $\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$  e  $k = \sqrt{\mu\epsilon\omega^2}$ .

L'efficienza dell'antenna si valuta sulla base di due resistenze:

- Resistenza di radiazione  $R_{RH}$  (*radiation resistance*): si tratta di una resistenza causata dalle onde elettromagnetiche erogate dall'antenna e quindi dipende strettamente dalla geometria dell'antenna stessa.
- Resistenza di perdita  $R_{LH}$  (*loss resistance*): è dovuta al fatto che la conduttività del materiale di cui è costituita l'antenna è finita.

Le loro espressioni sono riportate in Figura 3.19, dove  $R_p$ ,  $R_0$  e  $R_s$  sono resistenze per unità di lunghezza riconducibili alla distanza degli anelli e al materiale

### 3.1 ANALISI DELLE CARATTERISTICHE TECNICHE

conduttore utilizzato, mentre  $N$  è il numero di anelli presenti nell'elica,  $r_w$  è il raggio del cavo metallico,  $r_l$  è il raggio del singolo anello,  $r_c$  è la semidistanza laterale tra due anelli e  $K_m$  è un parametro legato alla geometria della struttura.

Bounding Dimensions	N	$r_l$	$r_w$	$r_c$	$E_A$
63 x 63 x 72	6	30	1.5	6	~98%
25 x 25 x 37	6	12	0.6	3	~60%
9 x 9 x 38	14	3.8	0.6	1.3	~7%

Figura 3.20: Tre diversi progetti di antenna ad elica. Le misure sono tutte in mm.

In Figura 3.20, invece, vi sono i test di tre diversi modelli di antenna; l'efficienza dell'antenna è data dall'espressione  $E_A = \frac{R_R}{R_R + R_L}$  ed aumenta al diminuire della resistenza di perdita.

#### 3.1.11 Commutazione RF - NFC

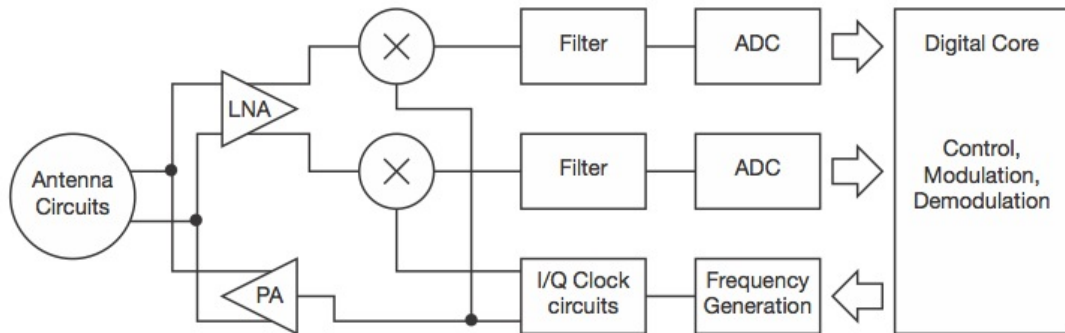


Figura 3.21: Schema a blocchi di un sistema radio per radio frequenze. Questa architettura può essere sfruttata per trasmissioni radio sia attive che passive.

In Figura 3.21 è rappresentato lo schema a blocchi di un chip per comunicazioni digitali via radiofrequenza. Il nucleo centrale è costituito dall'unità computazionale (*digital core*), che si occupa del controllo, della modulazione e

### 3. DASH7 E LE TECNOLOGIE CONCORRENTI

---

della demodulazione dei segnali. L'antenna svolge selettivamente sia il ruolo di trasmettitore che di ricevitore. In fase di trasmissione l'unità computazionale si occupa di attivare l'oscillatore al quarzo per generare una tensione di frequenza ben definita; tale segnale di tensione viene amplificato da un *power amplifier* (PA) e quindi inviato all'antenna per la trasmissione della corrispondente onda elettromagnetica. In fase di ricezione, invece, l'antenna cattura l'onda elettromagnetica e crea un segnale di tensione corrispondente molto debole, che necessita di essere amplificato grazie ad un *low-noise amplifier* (LNA); in seguito il segnale viene digitalizzato e quindi inviato all'unità computazionale per la decodifica digitale.

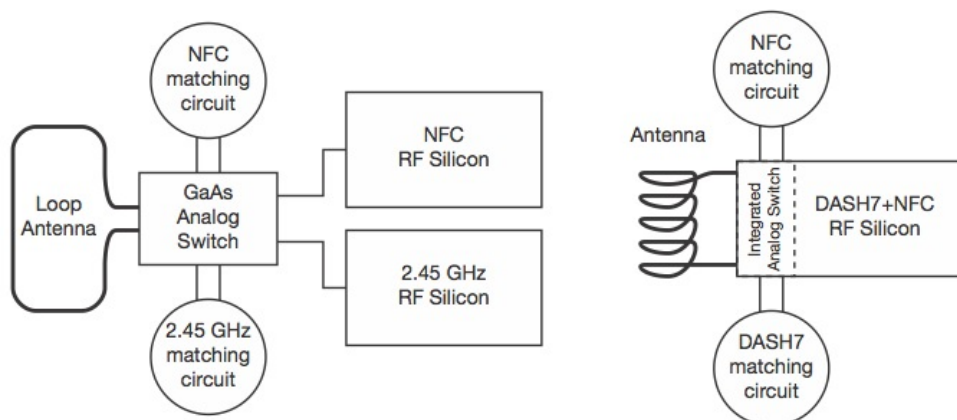


Figura 3.22: Soluzioni circuitali per implementare funzionalità di comunicazione e identificazione a radiofrequenza. Combinando Dash7 e NFC, è possibile ricorrere ad una soluzione che può essere realizzata sfruttando un solo chip e strutture di antenne più compatte.

Integrare in questo tipo di chip anche la funzionalità di identificazione a radio frequenze NFC comporta, però, una serie di problematiche tecniche, prima fra tutte la necessità di impiegare arseniuro di gallio (GaAs) nel substrato dei circuiti analogici al posto del silicio, al fine di permetterne il funzionamento a frequenze della portante diverse. Questo genere di procedura risulta talmente costoso da giustificare la fabbricazione di due chip distinti, ognuno dei quali da impostare alla rispettiva frequenza di riferimento, interfacciati con l'antenna tramite uno switch analogico in arseniuro di gallio (si veda la Figura 3.23). Se

però il chip è progettato sulla base del protocollo ISO 18000-7, la commutazione da RF a NFC risulta molto meno complicata. Ricordando che le frequenze operative degli apparecchi Dash7 ed NFC sono rispettivamente 433.92 MHz e 13.56 MHz e che 433.92 è la trentaduesima armonica di 13.56 ( $13.56 \cdot 32 = 433.92$ ), basta introdurre all'interno del blocco di generazione di frequenza (*Frequency Generation* nella Figura 3.21), in cascata all'oscillatore al quarzo, un *anello ad aggancio di fase* (*phase-locked loop* o *PLL*). Si tratta di una tipica applicazio-

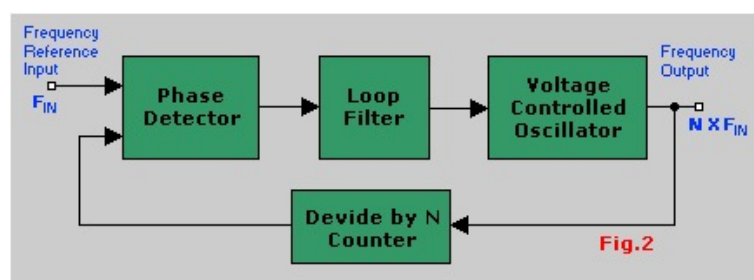


Figura 3.23: Schema a blocchi di un *integer-N phase-locked loop*.

ne all'elettronica di un controllo in retroazione e, come si vede in Figura 3.23, comprende quattro moduli:

- un *comparatore di fase*: è un circuito elettronico in grado di generare in uscita un segnale di tensione proporzionale alla differenza di fase dei due segnali in ingresso;
- un *filtro passa-basso*, per garantire la stabilità del sistema e regolarne la dinamica, eliminando le componenti ad alta frequenza del segnale in uscita dal comparatore di fase;
- un *oscillatore controllato in tensione* (*Voltage-Controlled Oscillator, VCO*): è un circuito elettronico che produce in uscita una tensione sinusoidale, la cui frequenza è determinata dal valore di tensione applicato in ingresso ( $f_{out} = g(v_{in})$ );
- un *divisore di frequenza*: è un circuito elettronico che genera una tensione sinusoidale la cui frequenza è scalata di un fattore  $N$  (intero) rispetto a quella del segnale in ingresso ( $f_{out} = \frac{f_{in}}{N}$ ).

Quando il comparatore di fase produce il segnale associato alla sfasamento dei segnali in ingresso, l'oscillatore controllato da tale segnale di tensione genera in uscita un'oscillazione a frequenza maggiore o minore a seconda della tensione in ingresso. L'oscillazione prodotta in uscita viene riportata tramite la maglia di retroazione all'ingresso del comparatore in versione scalata di un fattore  $N$  grazie all'azione del divisore di frequenza e viene nuovamente confrontata con il segnale di riferimento. A regime il segnale di riferimento e l'uscita del divisore di frequenza risulteranno isofrequenziali, ovvero la frequenza dell'uscita dell'oscillatore controllato in tensione risulterà  $N$  volte la frequenza di riferimento.

Nel nostro caso, la frequenza di riferimento del PLL  $f_{in}$  è 13.56 MHz ed è  $N = 32$  affinché  $f_{out} = 433.92$  MHz; un commutatore analogico si occupa di sintonizzare l'antenna sulla frequenza opportuna in funzione della modalità di funzionamento del dispositivo.

#### 3.1.12 OpenTag

Al fine di fornire una trattazione il più possibile completa è necessario concludere accennando al livello applicazione della pila protocollare di Dash7. *OpenTag* consiste in un ambiente di programmazione basato sul linguaggio C per la creazione degli applicativi per gli apparecchi Dash7: dai driver per il controllo delle onde radio al sistema di controllo del MAC, dagli algoritmi di routing ai programmi per la raccolta, la gestione e l'allocazione dei dati. OpenTag è piuttosto snello (in tutto le righe di codice sono circa 10k) ed è interamente open source: tutte le librerie sono a disposizione degli sviluppatori per la creazione di nuove applicazioni.

## 3.2 Vantaggi e svantaggi della tecnologia Dash7

### 3.2.1 Vantaggi

Tra i vantaggi dei dispositivi Dash7 si annoverano pertanto:

- **frequenza di trasmissione minore della concorrenza.**

Ciò garantisce minor attenuazione del segnale sul canale radio e richiede allo stesso tempo una minor potenza per il segnale da trasmettere. Inoltre la frequenza 433 MHz è disponibile in tutto il mondo senza bisogno di licenza.

- **topologia della rete a stella.**

Il raggio d'azione dei dispositivi Dash7 è superiore a quelli della concorrenza, pertanto è possibile adottare una topologia a stella: tutti i nodi fanno capo ad un nodo centrale che si occupa di inviare i dati raccolti all'unità di storage. Ciò rende più agevole la sincronizzazione dei dispositivi, al contrario di una rete a maglia, dove si presenta il problema di più tratte (*hop*) da gestire nel corso della comunicazione. Inoltre il trasferimento delle informazioni è sensibilmente più rapido, per il semplice motivo che c'è meno "strada virtuale" da percorrere.

- **multifunzionalità integrata.**

Gli apparecchi Dash7 possono essere impiegati sia come sensori per reti wireless che come chip per *Near Field Communication* nello stesso dispositivo mobile senza sostanziali modifiche all'hardware. In questo modo è possibile utilizzare un solo apparecchio a radiofrequenza e un solo cristallo di quarzo, permettendo di abbattere i costi di produzione di uno strumento estremamente versatile.

- **tecnologia open source.**

La tecnologia Dash7 è l'unica ad mettere a disposizione degli sviluppatori una pila protocollare interamente open source.

### 3.2.2 Svantaggi

Tra gli svantaggi della tecnologia Dash7 possiamo, invece, considerare:

- il **data rate**, che è inferiore a quello garantito dalla concorrenza;
- la **scarsa diffusione della tecnologia** se confrontata con il leader del mercato globale ZigBee e in particolare ...
- la ancor più **limitata diffusione della tecnologia sul mercato europeo** rispetto a quello statunitense, dove il progetto è fortemente sostenuto dal Dipartimento della Difesa;
- la **mancaza di applicazioni su dispositivi di largo consumo**, che sicuramente contribuirebbero ad aumentarne la diffusione.



# Capitolo 4

## Considerazioni finali

In questa tesi sono state esposte le caratteristiche della tecnologia per reti di sensori senza fili Dash7, basata sullo standard ISO 18000-7. Progettata inizialmente solo per scopi militari, Dash7 sta mano a mano prendendo piede anche in ambito civile nell'ottica dell'Internet delle Cose *IoT* (*Internet of Things*), andando ad affiancare concorrenti affermati come ZigBee, Low Energy Bluetooth e Low Power Wi-Fi in un mercato in crescita esponenziale. È stato evidenziato l'approccio innovativo alle reti di sensori senza fili adottato da Dash7: la scelta di adottare onde radio di frequenza pari a 433 MHz per la comunicazione consente di diminuire il consumo di potenza da parte degli apparecchi e aumentarne il raggio di copertura dell'ambiente circostante rispetto alle tecnologie concorrenti, a fronte di un abbassamento del data rate. Oltre a svolgere tutte le funzioni di una WSN tradizionale, Dash7 è inoltre in grado di fornire il servizio supplementare di identificazione a radio frequenza NFC senza ricorrere a chip supplementari, ma solo inserendo un anello ad aggancio di fase (*phase-locked loop*) nel sintetizzatore di frequenza per consentire la commutazione dalla funzionalità RF a quella RFID, dato che il rapporto tra le frequenze delle onde radio utilizzate dalle due funzionalità è un numero intero. La diffusione di questa tecnologia è, però, ancora molto limitata in Europa rispetto agli Stati Uniti, dove gode del sostegno del Dipartimento della Difesa.



## Internet delle Cose: la visione IBM

Nell'Introduzione si è accennato all'*Internet delle Cose*, con ogni probabilità il più grande obiettivo tecnologico dei prossimi anni. Si tratta di una sorta di *evoluzione* nell'uso della rete Internet: tutti gli oggetti della vita quotidiana saranno in grado di collegarsi alla Rete per comunicare dati riguardo se stessi e ricevere informazioni riguardo altri oggetti, acquisendo un ruolo attivo nella vita di tutti i giorni. Le maggiori società del settore informatico hanno avviato dei progetti di ricerca su questo tema; in particolare, il programma *Smarter Planet* (il logo è riportato in Figura A.1) in fase di sviluppo da parte di IBM è senz'altro all'avanguardia.



Figura A.1: Logo *Smarter Planet*, IBM.

Nella visione IBM, il punto di partenza per costruire un pianeta più intelligente sono le città, che oggi contengono più della metà della popolazione

mondiale. La città costituisce un microcosmo contenente le sfide e le opportunità più importanti per l'intero pianeta, ma intensificate e accelerate: i trasporti, l'acqua, l'energia, le comunicazioni, l'amministrazione pubblica, la sicurezza, la formazione e la sanità (vedi Figura A.2); è necessario, quindi, pensare ad uno sviluppo urbano che coinvolga strumentazioni, interconnessioni e intelligenza artificiale per coordinare attività ed eventi e rendere la città più efficiente, collaborativa, personalizzata e sicura.

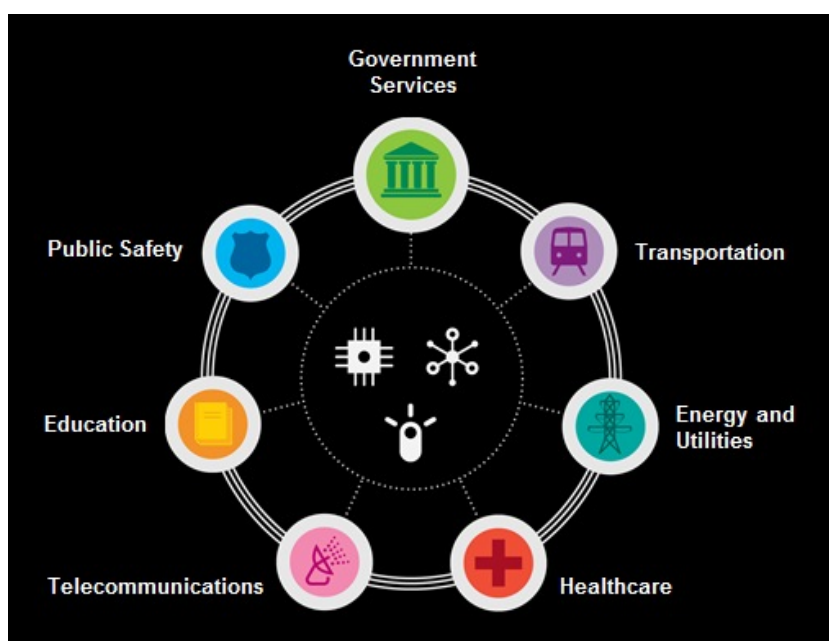


Figura A.2: Le sfide di una città del futuro.

Considerando che, in un mondo divenuto sempre *più piccolo* e strettamente connesso economicamente, socialmente e tecnicamente grazie alle tecnologie sempre più evolute a nostra disposizione, la potenza computazionale tende a non essere più ricondotta solo agli elaboratori, ogni persona, oggetto, processo e servizio può costituire informazione da digitalizzare e porre in comunicazione con la Rete. È quindi ragionevole cercare di applicare alle infrastrutture urbane già esistenti la *nuova intelligenza* fornita dalle infrastrutture digitali e fisiche che si stanno diffondendo a macchia d'olio in tutto il globo. Ciò è possibile dotando le città del futuro di:

- **strumentazioni.** Disponiamo di tecnologie in grado di misurare, percepire e monitorare ogni cosa: dai tag per identificazione a radiofrequenza

(RFID) ai telefoni intelligenti con fotocamera integrata; persino le automobili oggi contengono sistemi per l'acquisizione e la memorizzazione dei dati.

- **interconnessioni.** Oltre due miliardi di persone hanno accesso a Internet, soprattutto grazie all'enorme successo dei telefoni intelligenti e delle tavolette elettroniche; gli oggetti e i sistemi sono in grado di "parlarsi" attraverso la Rete e il quantitativo di informazione generata è senza precedenti.
- **intelligenza.** La mole di dati e informazioni raccolte deve essere convertita in *azione*, predicendo e ottimizzando gli eventi futuri: solo così i sistemi e i processi potranno dare risultati migliori.

Strumentazioni, interconnessioni e intelligenza permetteranno alle città di pensare e agire in modo completamente nuovo: grazie ad un utilizzo della Rete collaborativo e all'innovazione tecnologica, le informazioni saranno condivise rapidamente e verrà ottimizzato il processo di decisione (*decision making*), il tutto a vantaggio del cittadino. In termini pratici sarà possibile:

- **trasporti:** ottimizzare i tragitti delle automobili, decongestionare il traffico e ridurre le emissioni inquinanti grazie a sistemi dinamici di controllo dei flussi dei veicoli e di predizione del traffico in tempo reale, implementati principalmente dalle reti di sensori senza fili; incrementare l'utilizzo dei mezzi pubblici tramite servizi di informazione e acquisto in tempo reale dei biglietti di autobus e treni, via SMS o in Rete.
- **energia:** gestire la fornitura e la richiesta di energia tramite una rete di informazione intelligente (*smart grid*) che permette di monitorare continuamente lo stato della rete elettrica per evitare sprechi, acquistare l'energia al prezzo più conveniente in ogni momento e vendere l'energia prodotta dagli impianti fotovoltaici della propria abitazione.
- **sanità:** dotare ogni paziente di un'unica cartella clinica condivisa che contiene tutta la sua storia; monitorare lo stato di salute del paziente e analizzare i dati raccolti in tempo reale per fornire risposte proattive a fronte della segnalazione di eventi significativi dal punto di vista medico.

- **telecomunicazioni:** creare una rete intelligente per un pianeta intelligente. Di fondamentale importanza saranno le reti di sensori senza fili e le tecnologie di identificazione a radiofrequenza.
- **formazione:** personalizzare l'apprendimento; analizzando i dati relativi alla vita quotidiana (non solo scolastica) dello studente, sarà possibile individuarne i punti di forza e debolezza e migliorarne i risultati puntando sulle sue abilità, potenzialità e aspirazioni.
- **sicurezza pubblica:** creare un database di informazioni riguardo al crimine condiviso tra tutte le forze dell'ordine e accessibile in tempo reale per svolgere più rapidamente le indagini ed prevenire azioni criminose anticipate.
- **amministrazione pubblica:** condividere le informazioni tra i vari dipartimenti e connetterli dinamicamente tramite la Rete con cittadini e aziende, in modo da diminuire la burocrazia, velocizzare la comunicazione, identificare al meglio i bisogni e le azioni da intraprendere.

Il futuro è dietro l'angolo. . .

# Bibliografia

- [1] [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org)
- [2] [www.dash7.org](http://www.dash7.org)
- [3] [www.nfc-forum.org](http://www.nfc-forum.org)
- [4] National Instruments Developer Zone, *What is a wireless sensor network?*, <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/8707>.
- [5] IEEE Standards Association, *IEEE 802.15<sup>TM</sup>: wireless personal area networks (PANs)*, <http://standards.ieee.org/>.
- [6] International Organization for Standardization, *ISO/IEC 18000-7:2009*, <http://www.iso.org/>, 2009.
- [7] J.P. Norair, *Introduction to DASH7 technologies*, [www.dash7.org](http://www.dash7.org), Marzo 2009.
- [8] J.P. Norair, *Extending the Near Field Communication market opportunity with DASH7 wireless sensor networking technology*, [www.dash7.org](http://www.dash7.org), Aprile 2010.
- [9] J.P. Norair, *Benefits of Dash7 technology*, [www.dash7.org](http://www.dash7.org).
- [10] IBM, *Un pianeta più intelligente*, [www.ibm.com/smarterplanet](http://www.ibm.com/smarterplanet).