



*Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni*

Hardware architectures design and implementation for realization of WSN and MANET for IOT systems

Antonio Francesco Gentile,
Danilo Cistaro

RT-ICAR-CS-19-05

Agosto 2019



Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni (ICAR)

– Sede di Cosenza, Via P. Bucci 8-9C, 87036 Rende, Italy, URL: www.icar.cnr.it

– Sezione di Napoli, Via P. Castellino 111, 80131 Napoli, URL: www.icar.cnr.it

– Sezione di Palermo, Via Ugo La Malfa, 153, 90146 Palermo, URL: www.icar.cnr.it

Componenti hardware per la realizzazione di WSN e MANET per l'IOT

Abstract:

Il presente lavoro tende a fornire le linee guida di progettazione di reti di Sensori. Si parte dal concetto di più ampio respiro, le WSN in generale, in quanto MANET e WSN hanno molti punti in comune, nonostante le WSN godano di alcune caratteristiche peculiari. Di seguito si specificano alcune caratteristiche peculiari delle reti MANET, arrivando infine ad una tabella di confronto. Tutto questo lavoro è finalizzato a realizzare applicazioni ed ambienti applicativi, di cui si fa una scarrellata. Di seguito si affrontano le linee guida delle ffide progettuali con cui ci si va a scontrare, scandendo un po' più in dettaglio attraverso la rilettura dell' architettura di un rete Wireless attraverso il modello OSI, eviscerando i punti di contatto nel paragrafo relativo ai livelli ISO/OSI nelle WSN, fino ad arrivare ad un sunto sulle varie caratteristiche dei protocolli di trasmissione IOT in forma tabellare. Viene preso infine in esame un caso "degenere", cioè quello delle MANET MESH, proponendo un'ipotetica (ma non tanto lontana dal reale) descrizione dei nodi componenti la struttura dorsale. Infine si propone in appendice un DATASHEET di alcuni modelli di riferimento.

Wireless Sensor Networks

Con il termine "Wireless Sensor Network" (WSN) si indica una determinata tipologia di rete caratterizzata da un insieme di nodi wireless/wired interconnessi aventi poca RAM e una CPU con prestazioni relativamente basse.

Le linee guida da tener presenti nella fase di approccio al problema dipendono fortemente da due macro aree:

- Tipo di monitoraggio/grandezze da monitorare - in questa fase si definiscono le frequenze di campionamento per l'invio dati
- Analisi dell'ambiente da monitorare (indoor/outdoor) – in quest'area si scelgono i protocolli trasmissivi più adatti, ed a rimorchio l'HW ed il dimensionamento.

La struttura di una Wireless Sensor Network prevede solitamente diversi nodi wireless sparsi in un'area, che inviano periodicamente dati rilevati tramite sensori ad un punto di raccolta, detto base station o gateway oppure coordinatore, il quale gestisce la rete, raccoglie i dati dei nodi e li inoltra ad un altro sistema remoto per ulteriori elaborazioni.

Le componenti basilari di una rete per un sistema di questo tipo sono:

- 1 un insieme di sensori distribuiti
- 2 una o più reti di interconnessione
- 3 un punto di raccolta dei dati

Uno schema generale della struttura di una rete può essere il seguente:

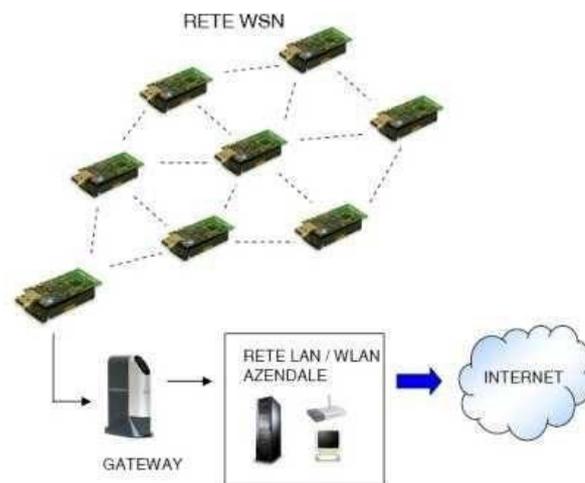


Figura 1 – rappresentazione di una rete WSN

Parte dell'elaborazione dei dati si può svolgere all'interno della rete, evitando di sovraccaricare l'unità centrale. Le architetture di elaborazione e di comunicazione dei dati sono specifiche del tipo di applicazione che si sta realizzando.

Le WSN sono caratterizzate da alcuni aspetti chiave

- vincoli di potenza elaborativa
- durata limitata della batteria
- basso dutycycle
- connessioni molti a uno

- gestione del trasporto dei dati
- gestione della rete disponibilità
- confidenzialità
- integrità
- in network processing.

Per di più, lo stack del protocollo realizzato deve essere quanto più leggero possibile, per poter soddisfare i vincoli imposti dai limiti hardware dei nodi. I protocolli attualmente più diffusi usati nell'IOT sono:

- **LoRa (Long Range)** è una tecnica di modulazione a spettro espanso derivata dalla tecnologia di chirp spread spectrum (CSS) I dispositivi LoRa di Semtech e la tecnologia wireless a radiofrequenza Long Range (tecnologia LoRa) sono un chipset wireless a lungo raggio e bassa potenza che viene utilizzato nell'implementazione di molte reti di dispositivi Internet of Things (IoT). LoRa utilizza bande di radiofrequenza sub gigahertz libere come 433 MHz, 868 MHz (Europa) e 915 MHz (Nord America). LoRa consente trasmissioni a lungo raggio (oltre 10 km nelle zone rurali, 3-5 km in zone fortemente urbanizzate) a basso consumo energetico. Secondo il modello ISO/OSI, la tecnologia è presentata in due parti: LoRa, lo strato fisico e LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), gli strati superiori.

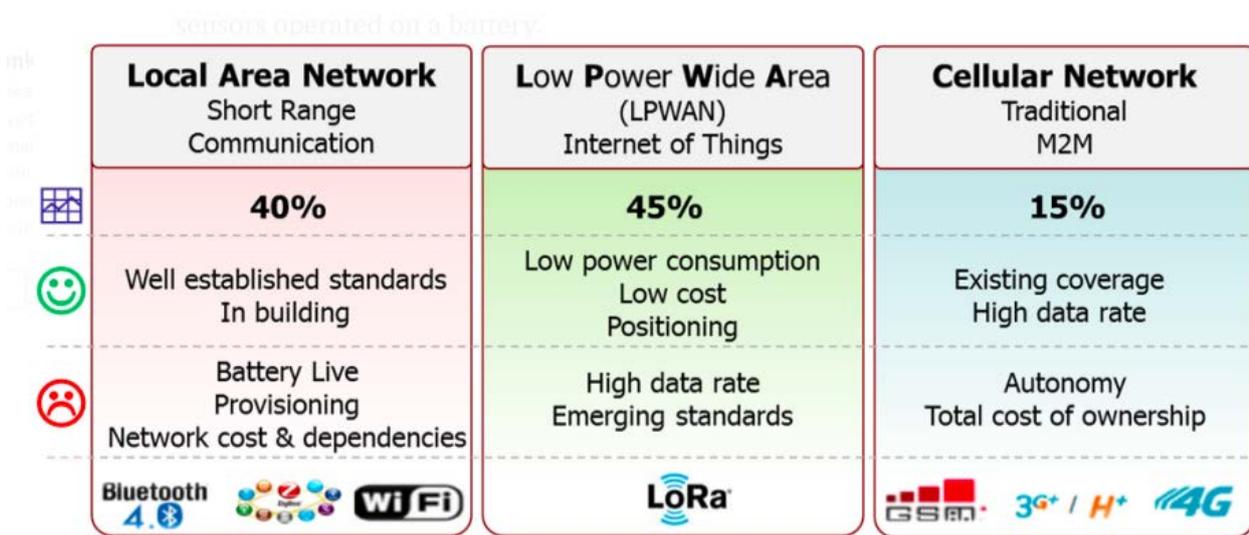


Figura 2 – Classificazione di reti di sensori per distanza crescente

- **IEEE 802.11X:** richiede molte risorse hardware e offre una banda superiore alle necessità di un nodo della WSN (che trasmette pochissimi byte alla volta), ma può essere utilizzato per fornire ulteriori servizi rispetto al monitoraggio base ed espanso utilizzando tecnologie mesh.
- **Sistemi ad infrarossi:** richiedono un allineamento visivo tra i nodi.
- **IEEE 802.15.1 (Bluetooth):** risulta troppo complesso e oneroso in termini pecuniari.
- **IEEE 802.15.4 e ZigBee** (ZigBee definisce solo i layer software sopra l'802.15.4 e supporta diverse applicazioni, operando nella banda radio ISM a 2.4 Ghz, permette data rate fino a 250 kbps e un range tipico tra i 10 e i 75 metri in ambiente di utilizzo.

MANET

Oltre alle WSN esistono le MANET (Mobile Ad Hoc Network), reti costituite ad un preciso scopo e per soddisfare una necessità comunicativa immediata o mirata tra multiple reti wireless multihop e spesso i nodi sono mobili. L'obiettivo principale è riorganizzare la rete quando i nodi si muovono e gestire i problemi derivanti dalla comunicazione wireless; in parte queste sono anche le sfide di una WSN, ma i punti dove le due reti si differenziano veramente sono i seguenti:

- Equipaggiamento e applicazioni
- Specificità d'uso
- Interazione con l'ambiente
- Scalabilità
- Autoconfigurazione
- Energia

- Affidabilità
- Semplicità e risorse limitate
- Mobilità

WSN e MANET a confronto

La tabella seguente cerca di riassumere le caratteristiche che rendono peculiari MANET e WSN.

Factor/Issues	WSNs	MANETS
Interaction	FOCUS ON INTERACTION WITH THE ENVIRONMENT	CLOSE TO HUMANS E.G. LAPTOPS, PDAS, MOBILE RADIO TERMINALS
Nodes deployed	VERY LARGE	NOT MANY
Population of nodes	DENSELY POPULATED	SPARSELY POPULATED
Failure rate	HIGH	LOW
Communication	BROADCAST	POINT-TO-POINT
Communication Range	SHORT	LONG
Metrics	EFFICIENCY, RESOLUTION, LATENCY, SCALABILITY, ROBUSTNESS	RECEIPT RATE, DISSEMINATION SPEED REDUNDANCY
Power	LIMITED	NOT AN ISSUE
Bandwith deficient	SOMETIMES	YES
Identification	NOT UNIQUE	UNIQUE ID BY MAC ADDRESS
Memory	LIMITED	HIGH
Fault Tolerance	NEEDED ONLY IF NODES EXHAUST AVAILABLE ENERGY OR ARE MOVED	NEEDED AD MOBILITY INCREASES
Data Redundancy	SOMETIMES	NO
Routing Protocols	FLOODING, GOSSIPING, FLAT ROUTING, HIERARCHICAL, LOCATION BASED	PRO-ACTIVE, REACTIVE, HYBRID
Topology	DYNAMIC	DYNAMIC
Standards	ZIGBEE, IEEE 802.15.4, ISA100, IEEE 1451	IEEE 802.11X
Structure		

Tabella 1 – Confronto MANET e WSN

Applicazioni ed ambienti applicativi

Le reti di sensori fanno parte di un'area di studio molto attiva dal punto di vista dell'innovazione tecnologica; grazie alle loro potenzialità riescono ad essere impiegate in molti campi d'utilizzo. Per l'analisi delle varie applicazioni, una prima suddivisione può essere fatta in base alla finalità della rete. Di seguito si riportano quattro macro settori in cui è possibile dividere il mondo delle WSN.

- Monitoraggio
- Riconoscimento di eventi
- Classificazione di oggetti
- Tracciamento di oggetti

Un elenco di possibili ambiti applicativi è il seguente:

- militare:
- ambientale:
- biomedico:
- home automation
- commerciale (automotive).

Sfide progettuali

Le sfide comuni a tutte le applicazioni sopra elencate si possono riassumere nelle seguenti caratteristiche:

- Type of Service. Le WSN sono reti che devono provvedere informazioni utili o agire ad eventi particolari.
- Quality of Service (QoS). I parametri QoS adottati tradizionalmente come ritardo, banda minima e jitter, non servono se i nodi scambiano pochi pacchetti alla volta, delle metriche valide possono essere l'affidabilità nel rilevamento di certi eventi o l'approssimazione di certe misure.
- Tolleranza ai guasti. Un nodo potrebbe esaurire la batteria, subire danni fisici o perdere in qualunque altro modo il collegamento wireless con gli altri nodi, ma tale situazione non deve danneggiare il resto della rete.

- Lifetime. L'obiettivo di una WSN è quello di rimanere attiva più a lungo possibile o, almeno, per la durata della sua missione. Quindi, il risparmio energetico assume un ruolo fondamentale.
- Scalabilità. Una WSN può contenere fino a migliaia di nodi e la sua architettura deve essere in grado di supportarli tutti.
- Densità di nodi non uniforme. In una rete di sensori possono esserci zone molto affollate (con molti nodi) e zone con pochissimi nodi sparsi. La densità dei nodi può variare nello spazio e nel tempo
- Auto mantenimento. Dato che sia la WSN sia l'ambiente in cui si trova sono in continuo mutamento, la rete deve essere in grado di adattarsi, monitorando il proprio stato di salute.

Per risolvere tutte queste sfide progettuali, nel corso degli anni, sono stati sviluppati diversi meccanismi per la comunicazione, architetture di sistema e protocolli di varie tipologie:

- Connessioni wireless multihop - la comunicazione diretta tra due nodi non è sempre possibile, e la soluzione è quella di adoperare dei nodi che fungano da relay verso altri nodi.

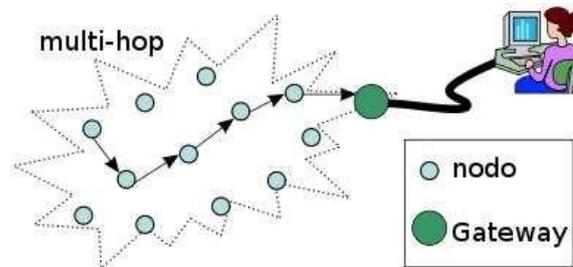


Figura 3 – Wireless Multihop Connections

- Operazioni energeticamente efficienti.
- E' importante che tutte le operazioni compiute tengano in considerazione il risparmio energetico e bisogna, possibilmente, evitare la formazione di hotspot, ovvero regioni o gruppi di nodi che esauriscono la propria energia molto più rapidamente degli altri.
- Autoconfigurazione.
- La rete deve essere in grado di configurare automaticamente tutti i suoi parametri vitali.
- Collaborazione e in network processing.
- In alcune applicazioni, un singolo nodo potrebbe non essere in grado di capire se si è verificato un evento, quindi occorre che i nodi collaborino tra di loro e compiano in network processing.
- Data centric.
- In una rete di comunicazione tradizionale, lo scambio di dati avviene tra entità aventi ognuna un indirizzo di rete specifico, quindi si tratta di un'architettura address centric. In una WSN, non importa tanto chi fornisce il dato, ma da quale regione proviene. D'altronde un nodo può essere ridondato da più nodi, e quindi si perde l'individualità dei vari componenti.
- Località.
- Per risparmiare risorse hardware, il nodo deve interessarsi e memorizzare informazioni quanto più vicine ad esso perché se la rete dovesse crescere esponenzialmente, le risorse hardware occupate rimarrebbero inalterate.
- Bilanciamento dei tradeoff.
- Sia durante la fase di progettazione della Wireless Sensor Network sia durante il suo runtime, bisogna ponderare diversi trade off, anche contraddittori tra loro.

Architettura di un rete Wireless (modello OSI)

Per descrivere l'architettura di rete di una Wireless Sensor Network, si può ricorrere al modello OSI (Open Systems Interconnection), di seguito una tabella comparativa

	Data unit	Layer	Function
Host layers	Data	7.Application	Network process to application
		6.Presentation	Data representation, encryption and decryption

		5.Session	Interhost communication
	Segments	4.Transport	End to end connections and reliability, flow control
Media Layers	Packet	3.Network	Path determination and logical addressing
	Frame	2.Data Link	Physical addressing
	Bit	Physical	media, signal and binary transmission

Tabella 2 – Modello ISO/OSI e TCP/IP

PROTOCOLLO	802.11X	802.15.1/ Bluetooth	802.15.4/ZigBee
Copertura(metri)	100	10 100	10 75
Throughput(Mbps)	2 30	1 2	0.25
Consumo Energetico	Medio	Basso	Molto basso
Autonomia	Minuti/ poche ore	Diverse ore/ pochi giorni	Giorni/ pochi anni
Dimensioni	Medie	Piccole	Molto Piccole
Rapport costo/ complessità	Alto	Medio	Basso

Tabella 3 – Caratteristiche fisiche dei protocolli di trasmissione

Livello fisico (tecnologie a confronto)

Esistono varie tecnologie utilizzabili per le Wireless Sensor Network: Wi Fi,3G, Wimax, Bluetooth e 802.15.4/ZigBee. Solitamente le connessioni WiFi,3G o Wimax vengono per lo piu` sfruttate per il collegamento del nodo gateway ad Internet o ad un altro host, ma in alcuni casi anche per creare collegamenti tra i vari nodi. In figura si mostrano tali tecnologie a confronto per range di trasmissione e data rate.

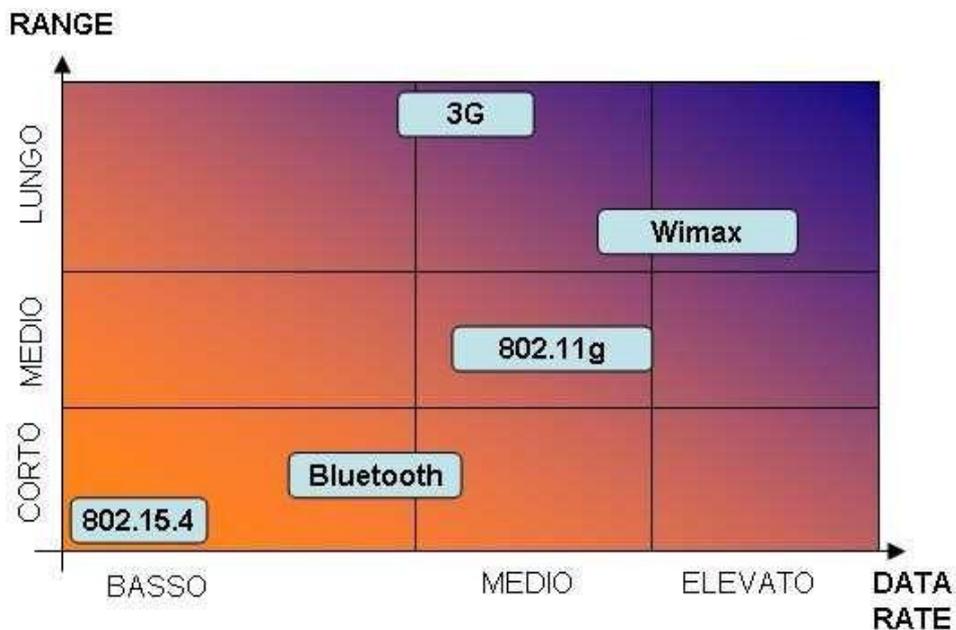


Figura 4 – Wireless Protocols Distance respect Data Rate

	Security	Location Detection	Low Cost	Ease of use	Ecosystem	Range	Remote control	Antenna size	Networking size
802.15.4	✓	✓	✓	✓	✓	✓(✓)	✓	✓	✓
BLE	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗
802.11ah	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓(✓)
LoRa	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabella 4 - Low-Power Wireless Technologies Comparison

Gli aspetti che devono essere tenuti in considerazione a livello fisico di comunicazione radio sono quelli tipici di una comunicazione senza fili, quali principalmente:

- Riflessione Avviene quando un'onda che si sta propagando in un mezzo incontra un oggetto di dimensioni maggiori della sua lunghezza d'onda.
- Diffrazione traiettoria tra trasmettitore e ricevitore ostruita da superfici con contorni irregolari
- Diffusione onda che incontra oggetti di dimensione inferiore alla propria lunghezza d'onda

Questi fenomeni causano distorsione e attenuazione del segnale radio

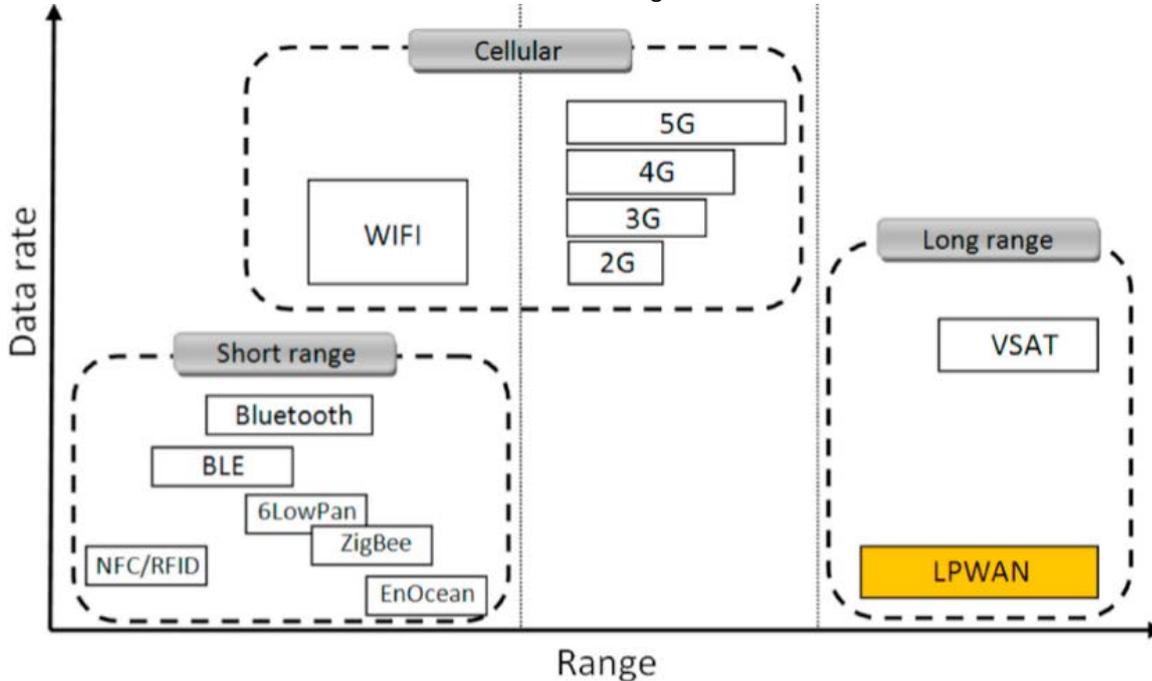


Figura 5 – Wireless Protocols Data Rate respect Distance

Nodo Nascondo/esposto

- Nodo nascondo definito come il nodo entro il raggio d'azione del destinatario ma fuori dalla copertura del nodo trasmettitore, in pratica senza che gli altri nodi se ne accorgano il nodo B perde entrambi i messaggi, di A e di C.

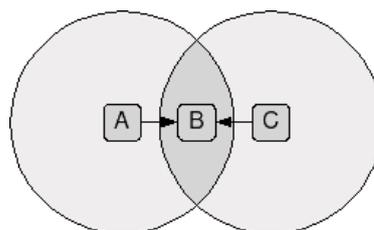


Figura 6 – Il problema del nodo nascondo

- Nodo esposto definito come il nodo nel raggio di trasmissione del mittente ma non del destinatario.

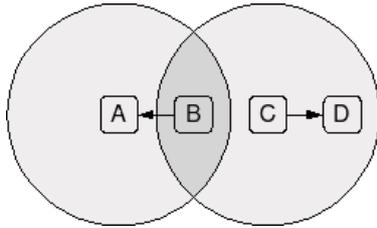


Figura 7 – Il problema del nodo esposto

I livelli ISO/OSI nelle WSN

Livello Data Link

- Il livello Data Link è composta da due sottolivelli:
 - LLC, detto Logical Link Control layer, fa da tramite tra i livelli superiori e il livello fisico, consentendo l'interoperabilità tra diversi tipi di rete.
 - Il livello MAC (Medium Access Control) si occupa di tre funzioni fondamentali:
 - l'assemblaggio dei dati in frame tramite l'aggiunta di un header, contenente informazioni sull'indirizzo, e un trailer, contenente informazioni per la correzione degli errori;
 - il disassemblamento dei frame ricevuti per estrarre informazioni sull'indirizzo e la correzione degli errori;
 - la gestione dell'accesso al mezzo di trasmissione condiviso.
 - Il requisito fondamentale di un MAC per reti WSN è la necessità di risparmiare più energia possibile

Livello Network

- Il livello Network si occupa principalmente del routing. Il routing ha un ruolo importantissimo, dato che lo scopo di una rete di sensori è quello di raccogliere dati da vari punti di un dominio, processarli e farli convogliare tutti in un unico punto (detto sink) dove risiede un'applicazione specifica. Sfide progettuali del routing
 - Il routing in una Wireless Sensor Network si differenzia particolarmente dal routing di una qualsiasi rete cablata o wireless ad hoc proprio per le caratteristiche peculiari delle WSN:
 - Dinamicità e grandezza della rete
 - Risorse limitate: le risorse
 - Data model dell'applicazione
- Strategie di routing
 - Il tradeoff che un protocollo di routing deve bilanciare è quello tra capacità di rispondere ai cambiamenti ed utilizzo efficiente delle risorse. In altre parole, serve il giusto compromesso tra risorse hardware e di banda limitate e overhead necessario per adattarli a queste.
 - L'overhead in una WSN viene misurato in termini di occupazione di banda, utilizzo energetico e risorse di calcolo.

Livello Trasporto

- La natura data centric delle WSN combinata con le risorse hardware limitate, rende il protocollo TCP inutilizzabile in questo ambito, a meno di "poggiare" su un network TCP/IP based degli appositi GW di conversione per raggiungere i concentratori dati remoti.

Livello Applicativo

- Definito in fase progettuale.

Tabelle comparative dei protocolli di trasmissione IOT

Standard	Bluetooth	UWB	Zigbee	Wi-Fi
IEEE spec..	802.15.1	802.15.3a	802.15.4	802.11a/b/g
Frequency band	2.4GHz	3.1-10.6 GHz	868/915 MHz; 2.4 GHz	2.4 GHz; 5 GHz
Max signal rate	1 Mb/s	110Mb/s	250kb/s	54Mb/s
Nominal range	10 m	10 m	10-100 m	100 m
Nominal TX power	0 - 10 dBm	-41.3 dBm/MHz	(-25) - 0 dBm	15 - 20 dBm
Number of RF channels	79	(1-15)	1/10;16	14(2.4GHz)
Channel bandwidth	1MHZ	500MHz-7.5GHz	0.3/0.6 MHz; 2 MHz	22MHz
Modulation type	GFSK	BPSK, QPSK	BPSK (+ ASK), O-QPSK	BPSK, QPSK COFDM, CCK, M-QAM
Spreading	FHSS	DS-UWB, MB-OFDM	DSSS	DSSS, CCK, OFDM
Coexistence mechanism	Adaptive freq. hopping	Adaptive freq. hopping	Dynamic freq. selection	Dynamic freq. selection transmit power control (802.11h)
Basic cell	Piconet	Piconet	Star	BSS
Extension of the basic cell	Scatternet	Peer-peer	Cluster tree-mesh	ESS
Max number of cell nodes	8	8	> 65000	2007
Data protection	16-bit CRC	32-bit CRC	16-bit CRC	32-bit CRC

Tabella 5 -Comparazione tra i protocolli Bluetooth,UWB,Zigbee e WIFI.

	Owner	Frequency (MHz)	Range	Power requirement	Security	Compatibility
Zigbee	Zigbee Alliance	868 - 868.6 (Europe) 902 - 928 (US)	10-100 meters line-of-sight	Low-Power, Potential Batteryless	Low, basic encryption	Compatible across Zigbee devices. DotDot OS.
Lo-RaWan	LoRa Alliance	169, 433, 868 (Europe) 915 (US)	Up to 6.2 miles or 10 km.	Low-Power	Basic 64-128 bit encryption	Depends on OEM
LTE-M	GSMA - Cellular Carriers	LTE Bands: 450-2350 (uplink)	Global	Band dependant	NSA AES-256	Application dependant
IEEE 802.11af (White-Fi)	Open - IEEE Certified	470 - 710 (Digital Dividend)	Short, up to 100m	Low	WPA	Application dependant
IEEE 802.11ah (HaLow)	Open - IEEE Certified	850 (Europe) 900 (US) 700 (China)	Up to 13 miles or 20 km.	Medium	WPA	Application dependant

Tabella 6 -Comparazione tra i protocolli Zigbee LoRA,LTE WIFI.

Technology	Frequency	Data Rate	Range	Power Usage	Cost
2G/3G	Cellular Bands	10 Mbps	Several Miles	High	High
Bluetooth/BLE	2.4Ghz	1, 2, 3 Mbps	~300 feet	Low	Low
802.15.4	subGhz, 2.4GHz	40, 250 kbps	> 100 square miles	Low	Low
LoRa	subGhz	< 50 kbps	1-3 miles	Low	Medium
LTE Cat 0/1	Cellular Bands	1-10 Mbps	Several Miles	Medium	High
NB-IoT	Cellular Bands	0.1-1 Mbps	Several Miles	Medium	High
SigFox	subGhz	< 1 kbps	Several Miles	Low	Medium
Weightless	subGhz	0.1-24 Mbps	Several Miles	Low	Low
Wi-Fi	subGhz, 2.4Ghz, 5Ghz	0.1-54 Mbps	< 300 feet	Medium	Low
WirelessHART	2.4Ghz	250 kbps	~300 feet	Medium	Medium
ZigBee	2.4Ghz	250 kbps	~300 feet	Low	Medium
Z-Wave	subGhz	40 kbps	~100 feet	Low	Medium

Tabella 7 -Comparazione tra i protocolli IOT in funzione di frequenza, trasmissione dati, distanza di comunicazione, potenza e costo

Un caso a parte, le MANET MESH

La rete MESH "a maglie" offre una soluzione efficace ed efficiente per le aziende e le organizzazioni che desiderano raggiungere la connettività di rete wireless in grandi aree. Vantaggi :

- Nessun costo fisso per linee affittate
- Non è necessaria alcuna infrastruttura cablata quando si configura una rete mesh WiFi, rendendola più economica e più rapida da implementare
- Maggiore copertura della rete
- Senza considerare le restrizioni di una spina dorsale di una rete cablata, i nodi mesh WiFi possono essere posizionati ovunque sia necessario per il livello ottimale di copertura
- Soluzione completamente scalabile
- I nodi mesh WiFi possono essere aggiunti o rimossi dalla rete qualora l'ambito dei requisiti cambi in qualsiasi momento
- Riduzione dei costi di manutenzione e installazione
- Le reti mesh wireless sono implementate in modo più efficiente rispetto alle reti cablate e sono "autorigeneranti" a causa della loro configurazione non centralizzata

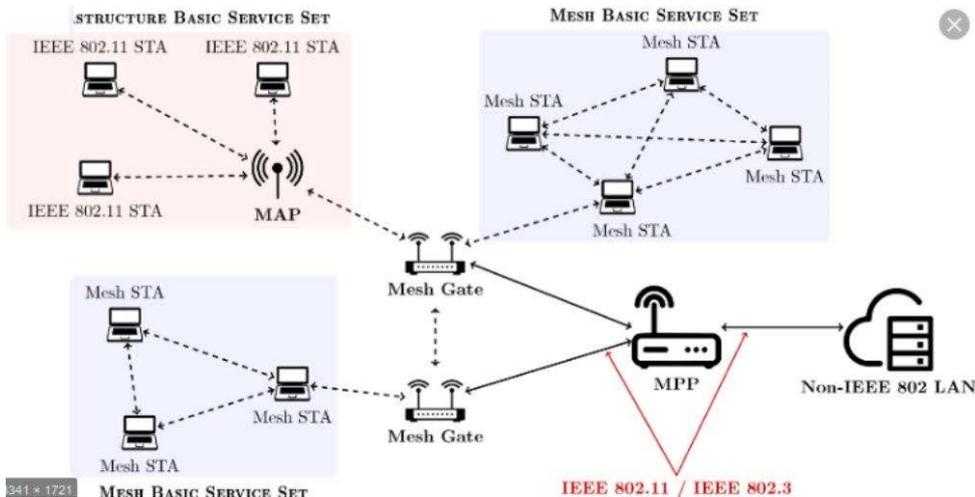


Figura 8 -Tipica Mesh Network.

Technologies		Characteristics	
Wire	RS-485	Typically, it is used for data communication between inverters, gateways, etc.	
	PLC (Power Line Communication)	No need for additional lines. It use existing DC/AC power lines to transmit data. It is a conventual method for PV module-level data communication. Due to the need for deploying data reader on each PV string, the cost is high. The network expansibility is insufficient. The throughput is low.	
Wireless	Non-Mesh Network	Wi-Fi	The non-mesh star-type network have limited signal coverage. The typical number of accessing nodes by a gateway is 32. Mostly it is used for consumer electronics and smart homes.
		LoRa / SigFox	The representatives of LPWAN IoT protocols. To extend signal coverage, it needs larger antenna and higher TX power. To increase system capacity, it needs more gateways which raises cost.
		NB-IoT / eMTC	The LPWAN IoT protocols by telecom operators. The chip cost is high and it has data traffic fees.
	Mesh Network	Zigbee	The classical wireless mesh network and protocol. The network capacity is usually less than 300 sensor nodes. For configuration, it needs experts to plan network routing strategies.
		HOHWave™	Designed for the wireless sensor network of high density and large area. Self-organization, multi-hop, flexibility, easy to use, and low cost.

Tabella 8 -Comparazione tra connettività MESH e non MESH

Un esempio di MESH Network si ha nella figura seguente:

- Il nodo "Sorgente" è l'antenna primaria di trasmissione
- Tutti gli altri sono nodi di transito dati
- Dato che una rete MESH ha limiti fisici nel numero di nodi gestibili, tale modello è riproducibile in aree differenti, interconnettendole mediante opportuni protocolli di rete per aumentare l'estensione del network globale (IPSEC, VPN SSL LAN-to-LAN, MPLS).

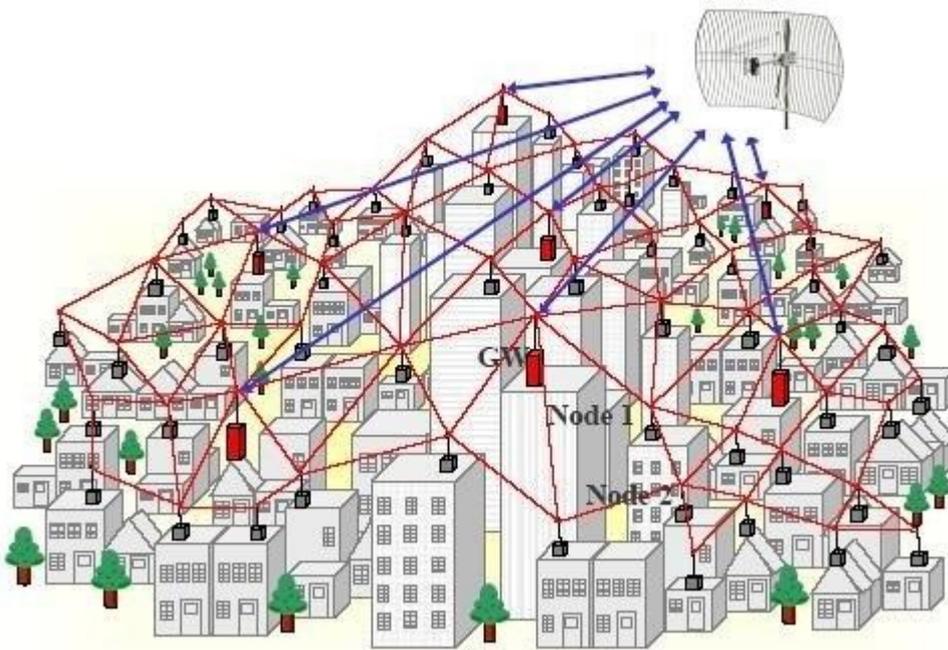


Figura 9 -Tipica Mesh Network con nodo sorgente in evidenza

DESCRIZIONE DEI NODI COMPONENTI LA STRUTTURA DORSALE

NODO "SORGENTE" PER DORSALE DI STRUTTURA:

PUNTO D'INSTALLAZIONE	DISPOSITIVI
SORGENTE	Antenna settoriale con raggio variabile, come ad esempio UBIQUITY SECTOR 120°
	Antenna direzionale 5GHz, come ad esempio UBIQUITY ROCKET M5

Tabella 9 – HW per un nodo sorgente con antenna settoriale

CONNESSIONE PUNTO-PUNTO COL NODO "SORGENTE":

PUNTO D'INSTALLAZIONE	DISPOSITIVI
NODO GENERICO	Antenna direzionale come ad esempio UBIQUITY NANO BEAM
	Router wifi dual band, come ad esempio TP-LINK 3600

Tabella 10 – HW per un nodo generico con antenna punto punto

Motivazione fisica della topologia di una rete MESH

Data la distribuzione fisica delle onde radio, la struttura ideale per creare le celle adatte a coprire le aree inter/intra building sarebbe di forma esagonale, con due antenne in modalità punto-punto ai vertici per chiudere la maglia, come illustrato in figura:

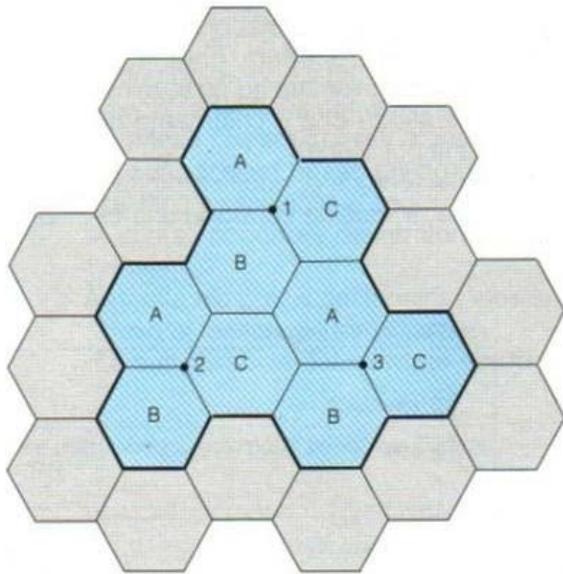


Figura 10 – Celle di una Mesh NETWORK

Quest'architettura avrebbe un costo troppo oneroso, quindi si è optato per una scelta più economica, scegliendo la forma del quadrato come base della cella, ed a seguito di ciò si possono fare due opzioni per il dimensionamento dell'area coperta dalle celle:

✓→ **Quadrato inscritto in una circonferenza**

La diagonale del quadrato corrisponde al diametro del cerchio

$$AC = 2r$$

$$AO = OC = r$$

Il triangolo BOC è rettangolo ed isoscele.

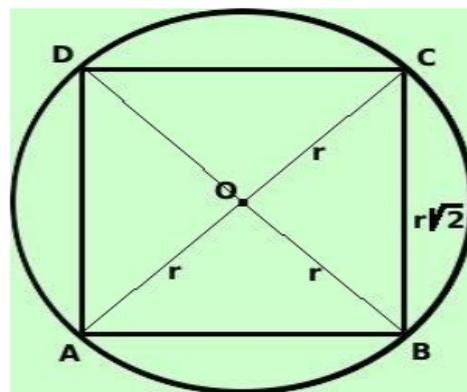
Applicando il teorema di Pitagora si può trovare il valore del lato BC

$$BC^2 = BO^2 + OC^2$$

$$BC^2 = r^2 + r^2$$

$$BC^2 = 2 \cdot r^2$$

$$BC = r \sqrt{2}$$



✓→ **Quadrato circoscritto ad una circonferenza**

Il diametro del cerchio corrisponde al lato del quadrato:

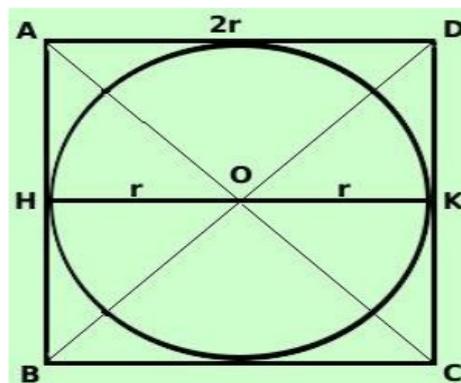
$$AD = HO + OK = r + r = 2r$$

dal valore l del lato AB si ha:

$$l = 2r$$

$$2r = l$$

$$r = l/2$$



In particolare i punti A,B,C,D del quadrato saranno costituiti da link "punto punto", di cui un dettaglio in figura:



Figura 11 – Fisica implementazione di una cella per una Mesh NETWORK

Per permettere la diffusione del segnale tra le celle, è auspicabile un “PUNTO D’INNESTO” formato da un’accoppiata ANTENNA DI DISTRIBUZIONE PUNTO-PUNTO E ROUTER, che permetterà la diffusione dei protocolli di routing dinamico tra cella e cella. Data la scelta architettonica votata alla massimizzazione delle performance ma anche al contenimento dei costi si sceglie di implementare un protocollo di instradamento dinamico mediante router equipaggiati con un opportuno sistema operativo per la gestione delle vlan e dell’inter vlan routing.

Appendice: DATASHEET di alcuni modelli di riferimento:



M5 Physical / Electrical / Environmental Information	
Dimensions	160 x 80 x 30 mm (6.30 x 3.15 x 1.18")
Weight	500 g (1.1 lb)
Enclosure Characteristics	Outdoor UV Stabilized Plastic
Processor	MIPS 74Kc
Memory	128 MB SDRAM, 8 MB Flash
Networking Interface	(1) 10/100 Mbps
RF Connections	(2) RP-SMA (Waterproof)
LEDs	Power, Ethernet, (4) Signal Strength
Max. Power Consumption	8W
Power Supply	24V, 1A PoE Adapter
Power Method	Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)
ESD/EMP Protection	± 24KV Air / Contact
Operating Temperature	-30 to 75° C (-22 to 167° F)
Operating Humidity	5 to 95% Noncondensing
Shock and Vibration	ETSI300-019-1.4

M5 Software Information	
Modes	Access Point, Station
Services	Web Server, SNMP, SSH Server, Telnet , Ping Watchdog, DHCP, NAT, Bridging, Routing
Utilities	Antenna Alignment Tool, Discovery Utility, Site Survey, Ping, Traceroute, Speed Test
Distance Adjustment	Dynamic Ack and Ackless Mode
Power Adjustment	Software Adjustable UI or CLI
Security	WPA2 AES Only
QoS	Supports Packet Level Classification WMM and User Customer Level: High/Medium/Low
Statistical Reporting	Up Time, Packet Errors, Data Rates, Wireless Distance, Ethernet Link Rate
Other	Remote Reset Support, Software Enabled/Disabled, VLAN Support, 64QAM, 5/8/10/20/30/40 MHz Channel Width Support
Ubiquiti Specific Features	airMAX Mode, Traffic Shaping with Burst Support, Discovery Protocol, Frequency Band Offset, Ackless Mode

M5 Compliance	
Wireless Approvals	FCC, IC, CE
RoHS Compliance	Yes

⦿ Specifications:

HARDWARE FEATURES	
Interface	4 10/100/1000Mbps LAN Ports 1 10/100/1000Mbps WAN Port 2 USB 2.0 Port
Button	WPS/Reset Button Wireless On/Off Switch Power On/Off Button
External Power Supply	12VDC / 1.5A
Wireless Standards	IEEE 802.11 a, IEEE 802.11 b, IEEE 802.11 g, IEEE 802.11 n
Antenna	2 detachable dual band antennas (RP-SMA)
Dimensions (Wx Dx H)	9.6x 6.4x 1.3 in. (243x 160.6x 32.5 mm)
WIRELESS FEATURES	
Frequency	2.4GHz and 5GHz
Signal Rate	5GHz: Up to 300Mbps 2.4GHz: Up to 300Mbps
EIRP	<20dBm
Reception Sensitivity	270M_2.4G: -70dBm 270M_5G: -67dBm 195M_2.4G: -71dBm 195M_5G: -70dBm 130M_2.4G: -74dBm 130M_5G: -73dBm 54M_2.4G: -79dBm 54M_5G: -79dBm 6M_2.4G: -94dBm 6M_5G: -92dBm
Wireless Functions	Enable/Disable Wireless Radio, WDS Bridge, WMM, Wireless Statistics
Wireless Security	64/128-bit WEP, WPA / WPA2, WPA-PSK/ WPA2-PSK encryption
SOFTWARE FEATURES	
WAN Type	Dynamic IP/Static IP/PPPoE/ PPTP(Dual Access)/L2TP(Dual Access)/BigPond
DHCP	Server, Client, DHCP Client List, Address Reservation
Quality of Service	WMM, Bandwidth Control
Port Forwarding	Virtual Server, Port Triggering, UPnP, DMZ
Dynamic DNS	DynDns, Comexe, NO-IP
VPN Pass-Through	PPTP, L2TP, IPsec
Access Control	Parental Control, Local Management Control, Host List, Access Schedule, Rule Management
Firewall Security	DoS, SPI Firewall IP Address Filter/MAC Address Filter/Domain Filter IP and MAC Address Binding
USB Sharing	Support Samba(Storage)/FTP Server/Media Server/Printer Server
Management	Access Control Local Management Remote Management

Specifications

NBE-M5-19					
Dimensions	189 x 189 x 125 mm (7.44 x 7.44 x 4.92")				
Weight	0.530 kg (1.17 lb)				
Power Supply	24V, 0.5A PoE				
Max. Power Consumption	BW				
Operating Frequency	Worldwide	USA: U-NII-1	USA: U-NII-2A	USA: U-NII-2C	USA: U-NII-3
	5150 - 5875 MHz	5150 - 5250 MHz*	5250 - 5350 MHz*	5470 - 5725 MHz*	5725 - 5850 MHz*
Gain	19 dBi				
Networking Interface	(1) 10/100 Ethernet Port				
Processor Specs	Atheros MIPS 74Kc, 560 MHz				
Memory	64 MB DDR2, 8 MB Flash				
LEDs	(1) Power, (1) LAN, (4) WLAN				
Signal Strength LEDs	Software-Adjustable to Correspond to Custom RSSI Levels				
Max. VSWR	1.5:1				
Channel Sizes	5/8/10/20/30/40 MHz				
Polarization	Dual Linear				
Enclosure	Outdoor UV Stabilized Plastic				
Mounting	Pole-Mount (Kit Included), Wall-Mount				
Wind Loading	45.4 N @ 200 km/h (10.2 lbf @ 125 mph)				
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)				
ESD/EMP Protection	Air: ± 24 kV, Contact: ± 24 kV				
Operating Temperature	-40 to 70° C (-40 to 158° F)				
Operating Humidity	5 to 95% Noncondensing				
Wireless Approvals	FCC, IC, CE				
RoHS Compliance	Yes				
Salt Fog Test	IEC 68-2-11 (ASTM B117), Equivalent: MIL-STD-810 G Method 509.5				
Vibration Test	IEC 68-2-6				
Temperature Shock Test	IEC 68-2-14				
UV Test	IEC 68-2-5 at 40° C (104° F), Equivalent: ETS 300 019-1-4				
Wind-Driven Rain Test	ETS 300 019-1-4, Equivalent: MIL-STD-810 G Method 506.5				

NBE-M5-19 Output Power: 26 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
802.11a	6 - 24 Mbps	26 dBm	± 2 dB	802.11a	6 - 24 Mbps	-94 dBm Min.	± 2 dB
	36 Mbps	25 dBm	± 2 dB		36 Mbps	-80 dBm	± 2 dB
	48 Mbps	24 dBm	± 2 dB		48 Mbps	-77 dBm	± 2 dB
	54 Mbps	23 dBm	± 2 dB		54 Mbps	-75 dBm	± 2 dB
802.11n/airMAX	MCS0	26 dBm	± 2 dB	802.11n/airMAX	MCS0	-96 dBm	± 2 dB
	MCS1	25 dBm	± 2 dB		MCS1	-95 dBm	± 2 dB
	MCS2	25 dBm	± 2 dB		MCS2	-92 dBm	± 2 dB
	MCS3	25 dBm	± 2 dB		MCS3	-90 dBm	± 2 dB
	MCS4	24 dBm	± 2 dB		MCS4	-86 dBm	± 2 dB
	MCS5	23 dBm	± 2 dB		MCS5	-83 dBm	± 2 dB
	MCS6	23 dBm	± 2 dB		MCS6	-77 dBm	± 2 dB
	MCS7	23 dBm	± 2 dB		MCS7	-74 dBm	± 2 dB
	MCS8	26 dBm	± 2 dB		MCS8	-95 dBm	± 2 dB
	MCS9	25 dBm	± 2 dB		MCS9	-93 dBm	± 2 dB
	MCS10	25 dBm	± 2 dB		MCS10	-90 dBm	± 2 dB
	MCS11	25 dBm	± 2 dB		MCS11	-87 dBm	± 2 dB
	MCS12	24 dBm	± 2 dB		MCS12	-84 dBm	± 2 dB
	MCS13	23 dBm	± 2 dB		MCS13	-79 dBm	± 2 dB
	MCS14	23 dBm	± 2 dB		MCS14	-76 dBm	± 2 dB
MCS15	23 dBm	± 2 dB	MCS15	-75 dBm	± 2 dB		

Specifications

Antenna Characteristics				
Model	AM-9M13	AM-2G15-120	AM-2G16-90	AM-3G18-120
Dimensions*	1290 x 290 x 134 mm (50.79 x 11.42 x 5.28")	700 x 145 x 93 mm (27.56 x 5.71 x 3.66")	700 x 145 x 79 mm (27.56 x 5.71 x 3.11")	735 x 144 x 78 mm (28.94 x 5.67 x 3.07")
Weight*	12.5 kg (27.56 lbs)	4.0 kg (8.82 lbs)	3.9 kg (8.6 lbs)	5.9 kg (13 lbs)
Frequency Range	902 - 928 MHz	2.3 - 2.7 GHz	2.3 - 2.7 GHz	3.3 - 3.8 GHz
Gain	13.2 - 13.8 dBi	15.0 - 16.0 dBi	16.0 - 17.0 dBi	17.3 - 18.2 dBi
HPOL Beamwidth	109° (6 dB)	123° (6 dB)	91° (6 dB)	118° (6 dB)
VPOL Beamwidth	120° (6 dB)	118° (6 dB)	90° (6 dB)	121° (6 dB)
Electrical Beamwidth	15°	9°	9°	6°
Electrical Downtilt	N/A	4°	4°	3°
Max. VSWR	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)	200 km/h (125 mph)	200 km/h (125 mph)	200 km/h (125 mph)
Wind Loading	658.3 N @ 200 km/h (148 lbf @ 125 mph)	169 N @ 200 km/h (38 lbf @ 125 mph)	133.4 N @ 200 km/h (30 lbf @ 125 mph)	146.8 N @ 200 km/h (33 lbf @ 125 mph)
Polarization	Dual-Linear	Dual-Linear	Dual-Linear	Dual-Linear
Cross-pol Isolation	30 dB Min.	28 dB Min.	28 dB Min.	28 dB Min.
ETSI Specification	N/A	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2
Mounting	Universal Pole Mount, RocketM Bracket, and Weatherproof RF Jumpers Included			

Antenna Characteristics				
Model	AM-5G16-120	AM-5G17-90	AM-5G19-120	AM-5G20-90
Dimensions*	367 x 63 x 41 mm (14.45 x 2.48 x 1.61")	367 x 63 x 41 mm (14.45 x 2.48 x 1.61")	700 x 135 x 73 mm (27.56 x 5.32 x 2.87")	700 x 135 x 70 mm (27.56 x 5.32 x 2.76")
Weight*	1.1 kg (2.43 lb)	1.1 kg (2.43 lb)	5.9 kg (13 lbs)	5.9 kg (13.01 lb)
Frequency Range	5.10 - 5.85 GHz	4.90 - 5.85 GHz	5.15 - 5.85 GHz	5.15 - 5.85 GHz
Gain	15.0 - 16.0 dBi	16.1 - 17.1 dBi	18.6 - 19.1 dBi	19.4 - 20.3 dBi
HPOL Beamwidth	137° (6 dB)	72° (6 dB)	123° (6 dB)	91° (6 dB)
VPOL Beamwidth	118° (6 dB)	93° (6 dB)	123° (6 dB)	85° (6 dB)
Electrical Beamwidth	8°	8°	4°	4°
Electrical Downtilt	4°	4°	2°	2°
Max. VSWR	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)	200 km/h (125 mph)	200 km/h (125 mph)	200 km/h (125 mph)
Wind Loading	41.7 N @ 200 km/h (9.375 lbf @ 125 mph)	41.7 N @ 200 km/h (9.375 lbf @ 125 mph)	137.9 N @ 200 km/h (31 lbf @ 125 mph)	182 N @ 200 km/h (41 lbf @ 125 mph)
Polarization	Dual-Linear	Dual-Linear	Dual-Linear	Dual-Linear
Cross-pol Isolation	22 dB Min.	22 dB Min.	28 dB Min.	28 dB Min.
ETSI Specification	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2
Mounting	Universal Pole Mount, RocketM Bracket, and Weatherproof RF Jumpers Included			