

Analisi Tecnica dei Protocolli di Radiocomunicazione Sub-GHz nelle Infrastrutture Critiche Italiane: Tassonomia, Specifiche e Implementazioni nelle Smart City

Stefano Rossi IU2UEI

1. Introduzione: Lo Spettro Elettromagnetico come Infrastruttura Invisibile

L'evoluzione delle aree urbane verso il paradigma della *Smart City* ha imposto una trasformazione radicale nel modo in cui le istituzioni e le utility gestiscono le infrastrutture critiche. Se fino a due decenni fa la gestione di acquedotti, reti gas, illuminazione pubblica e impianti semaforici avveniva tramite verifiche manuali o cablaggi fisici onerosi, oggi assistiamo alla predominanza delle comunicazioni wireless. Tuttavia, per l'addetto ai lavori, per il progettista di reti o per l'analista di sistemi, non è sufficiente riferirsi genericamente a "segnali radio". Esiste un preciso "gergo tecnico" che identifica univocamente le tecnologie in uso, un lessico che non si limita a citare la frequenza operativa (433 MHz o 868 MHz), ma che definisce la modulazione, il protocollo di accesso al mezzo (MAC), lo stack applicativo e la normativa di riferimento.

In Italia, questo panorama è particolarmente complesso e, per certi versi, unico nel contesto europeo. La coesistenza di mandati normativi stringenti da parte dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) con l'adozione spontanea di standard industriali *de facto* ha creato un ecosistema eterogeneo. Quando un tecnico parla di "telelettura gas", non si riferisce alla stessa tecnologia di una "telelettura idrica", anche se entrambe potrebbero apparire simili all'utente finale. Il segnale che viaggia tra un lampione intelligente e il suo concentratore non parla la stessa lingua del segnale che un autobus invia a un semaforo per richiedere la priorità. Questo rapporto si propone di disarticolare e analizzare con estremo dettaglio tecnico la nomenclatura e il funzionamento dei segnali radio utilizzati dalle istituzioni italiane. L'analisi si concentrerà sulle bande **ISM** (*Industrial, Scientific and Medical*) e **SRD** (*Short Range Devices*), con particolare enfasi sulle frequenze **169 MHz**, **433 MHz** e **868 MHz**, esplorando le ragioni fisiche e normative che hanno portato alla loro adozione e descrivendo i protocolli che le abitano, come **Wireless M-Bus**, **LoRaWAN**, **ZigBee**, **VDV R09.16** e le specifiche proprietarie di vendor nazionali come Revetec, Umpi e La Semaforica.

2. Fondamenti Fisici e Normativi delle Bande Sub-GHz in Italia

Prima di addentrarsi nei protocolli applicativi, è indispensabile comprendere il "terreno" su cui questi segnali viaggiano: lo spettro radio. In Italia, l'utilizzo di queste frequenze è regolato dal Piano Nazionale di Ripartizione delle Frequenze (PNRF) e armonizzato a livello europeo dalle normative ETSI (in particolare EN 300 220). La scelta di una frequenza rispetto a un'altra non è mai casuale, ma è il risultato di un compromesso ingegneristico tra portata, penetrazione degli ostacoli, consumo energetico e vincoli normativi sul *Duty Cycle*.

2.1 La Banda VHF a 169 MHz: L'Anomalia Italiana

La frequenza di **169 MHz** rappresenta una peculiarità del mercato italiano delle utility. Storicamente utilizzata per il sistema di cercapersone paneuropeo ERMES (ormai dismesso), questa porzione di spettro VHF (*Very High Frequency*) è stata riallocata per applicazioni di *Smart Metering*.

- **Fisica della Propagazione:** Con una lunghezza d'onda di circa 1,77 metri, i segnali a 169 MHz possiedono caratteristiche di diffrazione e penetrazione eccezionali. Sono in grado di attraversare muri in cemento armato, solai e di raggiungere contatori situati in nicchie metalliche, seminterrati o pozzetti profondi (i cosiddetti ambienti *deep indoor*) con perdite di percorso (path loss) significativamente inferiori rispetto alle frequenze UHF.
- **Regolamentazione:** La normativa consente potenze di trasmissione elevate, fino a **500 mW** (+27 dBm) in alcune sottobande, contro i tipici 25 mW delle bande 868 MHz. Questo rende la 169 MHz la scelta obbligata per applicazioni critiche dove il dispositivo non può essere spostato per migliorare la ricezione, come i contatori del gas.

2.2 La Banda UHF a 433 MHz: Il Retaggio Legacy

La banda dei **433 MHz** (precisamente 433.05 – 434.79 MHz) è stata per decenni il "far west" delle trasmissioni a corto raggio.

- **Limitazioni:** Sebbene offra una buona propagazione, questa banda soffre di un estremo affollamento. Telecomandi per cancelli, stazioni meteo domestiche, sensori di allarme e giocattoli condividono lo stesso canale. Inoltre, le restrizioni sulla potenza (generalmente 10 mW) e l'assenza di meccanismi sofisticati di gestione delle interferenze (come il *Listen Before Talk* obbligatorio in altre bande) ne hanno decretato il declino per le infrastrutture critiche moderne.
- **Stato Attuale:** Nelle istituzioni, il termine "433" è oggi sinonimo di sistemi *legacy* (ereditati), manutenzione di vecchi impianti o telecomandi per attivazioni manuali a breve raggio, ma raramente viene scelta per nuovi dispiegamenti di smart city su larga scala.

2.3 La Banda UHF a 868 MHz: La Spina Dorsale dell'IoT Europeo

La banda **863 – 870 MHz** è oggi lo standard *de facto* per la maggior parte delle applicazioni Smart City in Europa.

- **Struttura:** Non è un'unica banda, ma un insieme di sottobande (g1, g2, g3, ecc.) ciascuna con regole precise. La più importante è la restrizione sul **Duty Cycle** (ciclo di lavoro), che limita il tempo in cui un dispositivo può trasmettere (tipicamente l'1% del tempo, ovvero 36 secondi all'ora). Questo meccanismo "polite" riduce le collisioni e garantisce che nessun dispositivo monopolizzi lo spettro.
- **Applicazioni:** È la frequenza dei contatori dell'acqua, dei ripartitori di calore, dei sensori di parcheggio e dell'illuminazione pubblica. Quando si parla di "rete mesh cittadina", quasi invariabilmente si parla di 868 MHz.

3. Smart Metering Gas: Il Dominio della Norma UNI-TS 11291

Nel settore della distribuzione del gas naturale, l'Italia ha implementato uno dei sistemi di telelettura più avanzati e rigidamente normati al mondo. Qui il gergo tecnico non lascia spazio a interpretazioni: tutto ruota attorno alla specifica tecnica **UNI-TS 11291**.

3.1 La Genesi: Delibera 631/2013/R/gas

La spinta alla digitalizzazione è arrivata dall'Autorità (ARERA) con la delibera 631/2013/R/gas, che ha imposto la sostituzione massiva dei contatori meccanici con *smart meters*. Per garantire l'interoperabilità tra contatori di marche diverse (intercambiabilità) e la copertura in contesti urbani densi, il Comitato Italiano Gas (CIG) ha definito un set di protocolli obbligatori.

3.2 Il Protocollo PM1 (Punto-Multipunto) a 169 MHz

Quando un tecnico istituzionale (es. di Italgas o 2i Rete Gas) parla del segnale emesso da un contatore domestico (calibro G4 o G6), utilizza il termine PM1 (Punto-Multipunto 1). Questo protocollo è definito nella parte 11-4 della norma UNI-TS 11291.7

3.2.1 Specifiche del Segnale Fisico (PHY Layer)

Il segnale radio non è una semplice onda portante, ma utilizza una modulazione specifica progettata per massimizzare l'efficienza spettrale in una banda stretta.

- **Frequenza:** 169 MHz (Banda N).
- **Modulazione:** **4GFSK** (*Four-Level Gaussian Frequency Shift Keying*). A differenza della classica FSK che usa due frequenze per rappresentare 0 e 1, la 4GFSK utilizza quattro diverse deviazioni di frequenza per codificare due bit per ogni simbolo trasmesso (00, 01, 10, 11). Questo permette di raddoppiare la velocità dati (throughput) mantenendo il segnale all'interno di un canale stretto di 12.5 kHz.
- **Accesso al Canale:** Il protocollo utilizza una tecnica *Narrowband* (Banda Stretta), conforme allo standard europeo **Wireless M-Bus (EN 13757-4)**, modalità **N-Mode**.

3.2.2 Il Livello Applicativo: DLMS/COSEM

Sopra il segnale radio viaggia il "linguaggio" dei dati. I contatori gas italiani parlano **DLMS/COSEM** (*Device Language Message Specification / Companion Specification for Energy Metering*). Questo standard definisce come sono formattati i dati di consumo, gli allarmi di frode, la posizione della valvola e i log eventi. Quando un operatore dice "il contatore non risponde al ping DLMS", intende che il livello fisico radio funziona, ma l'applicazione non sta scambiando dati correttamente.

3.3 Concentratori e Backhaul

La rete gas è tipicamente una topologia a stella. I contatori (fino a migliaia) inviano i dati via 169 MHz a un **Concentratore** (Gateway) installato su un palo o in cabina. Questo concentratore comunica poi con il centro di controllo (SAC - Sistema di Acquisizione Centrale) tramite rete cellulare (GPRS, 4G o NB-IoT). È importante notare che per i contatori industriali di grosso calibro (G10, G25 e oltre), la norma prevede spesso una connessione diretta **Punto-Punto (PP)** via modem cellulare GPRS/NB-IoT, bypassando la radio a 169 MHz.

4. Smart Metering Idrico: La Guerra degli Standard e la Convergenza

A differenza del gas, il settore idrico non ha avuto un mandato normativo che imponesse una singola frequenza. Di conseguenza, il panorama tecnico è frammentato e i termini utilizzati dipendono dalla strategia della specifica utility (es. Publiacqua, Hera, Acea).

4.1 La Lettura di Prossimità: Wireless M-Bus a 868 MHz

Per anni, la tecnologia dominante è stata la telelettura "Walk-by" (o "Drive-by"), dove un operatore passa con un ricevitore portatile per raccogliere i dati dai contatori situati nei pozzetti.

4.1.1 I Modi Operativi (T, C, S)

Il protocollo standard per questa applicazione è il **Wireless M-Bus** (*wM-Bus*) su frequenza **868 MHz**, conforme alle specifiche **OMS** (*Open Metering System*). In gergo tecnico, si distinguono tre modalità principali di trasmissione:

- **T-Mode (Frequent Transmit):** Il contatore invia un "pacchetto" di dati molto frequentemente (ogni pochi secondi). È la modalità preferita per il *Drive-by*: l'auto dell'operatore passa veloce e ha bisogno di captare il segnale in quella frazione di secondo in cui è nel raggio di copertura. La velocità di trasmissione è elevata (100 kbps), ma il consumo energetico è maggiore.
- **C-Mode (Compact):** Una variante moderna del T-Mode, ottimizzata per reti fisse e Walk-by. Utilizza una struttura dati più compatta ed efficiente (frame formato A o B), permettendo al contatore di risparmiare batteria o trasmettere più dati.
- **S-Mode (Stationary):** Progettata per dispositivi che non si muovono e letti da reti fisse, con trasmissioni molto rare (poche volte al giorno) a bassa velocità (32.7 kbps) per massimizzare la durata della batteria (10-15 anni).

4.2 La Rivoluzione della Rete Fissa: LoRaWAN

Le moderne utility stanno abbandonando il Drive-by a favore della **Rete Fissa** (telemetria continua), che permette di rilevare perdite idriche in tempo reale. Tuttavia, la frequenza 868 MHz con modulazione FSK (usata dal wM-Bus classico) ha una portata limitata, specialmente dai pozzetti interrati (tombini in ghisa).

La risposta tecnica è **LoRaWAN** (*Long Range Wide Area Network*).

- **La Modulazione CSS:** In gergo, si parla di "segnale LoRa". Tecnicamente, questo si riferisce alla modulazione fisica **CSS** (*Chirp Spread Spectrum*). A differenza della FSK che sposta la frequenza, la CSS "spalma" il segnale su una banda più ampia variando la frequenza nel tempo (chirp). Questo processo garantisce un *Processing Gain* che permette al ricevitore di decodificare segnali che sono letteralmente "sepolti" sotto il rumore di fondo.
- **Specifiche Italiane:** In Italia, i contatori idrici LoRaWAN operano nella banda **EU868** (863-870 MHz). Utilizzano canali larghi 125 kHz e trasmettono con una potenza di 14 dBm (25 mW).
- **Architettura Dual Mode:** Per non precludersi nessuna strada, molti capitolati di gara (es. Publiacqua) richiedono contatori "Dual Mode" o "Ibridi". Questi dispositivi trasmettono *sia* un segnale wM-Bus (per la lettura drive-by di backup) *sia* un segnale LoRaWAN (per la telemetria a lungo raggio).

4.3 Wize: Il Ritorno dei 169 MHz nell'Acqua

Esiste una terza via, promossa dalla **Wize Alliance** (spinta originariamente dalla francese Suez e da operatori gas come Italgas). Si tratta dell'applicazione del protocollo **169 MHz N-Mode** (lo stesso del gas) ai contatori dell'acqua.

- **Vantaggio Tecnico:** La frequenza a 169 MHz esce dai pozzetti interrati molto meglio della 868 MHz.
- **Gergo:** In questo caso si parla di "contatori Wize" o "169 MHz wM-Bus". È una soluzione tecnicamente robusta ma meno diffusa globalmente rispetto a LoRaWAN.

5. Smart Lighting: L'Illuminazione Pubblica come Dorsale Dati

L'illuminazione pubblica (IP) rappresenta l'asset più distribuito in una città. Trasformare i lampioni in nodi intelligenti non serve solo a risparmiare energia (dimmerazione), ma crea una rete capillare per la Smart City. Qui il linguaggio tecnico si divide tra soluzioni "Mesh" proprietarie e standard aperti.

5.1 Dai Sistemi PLC alle Reti Mesh RF

Storicamente, l'illuminazione pubblica veniva controllata tramite **Onde Convogliate** (*PLC - Power Line Communication*), inviando segnali sui cavi di alimentazione. Tuttavia, le moderne lampade LED e le linee elettriche disturbate hanno reso la PLC meno affidabile, spingendo verso la radiofrequenza (RF).

5.1.1 Reti Mesh Proprietarie (868 MHz e 2.4 GHz)

La maggior parte dei sistemi installati in Italia utilizza topologie **Mesh** (a maglia). Ogni lampione non deve necessariamente vedere il gateway centrale; deve solo vedere il lampione vicino, a cui "passa" il messaggio. Il segnale salta di palo in palo (multi-hop) fino a destinazione.

- **Revetec (Sistema Opera):** Uno dei leader di mercato in Italia. Utilizza nodi di telecontrollo (come il modulo **LPR-Z** per prese Zhaga) che comunicano via radio. Il protocollo può essere proprietario (**RV3**) su frequenza **868 MHz** (con modulazione LoRa a livello fisico per aumentare la portata) oppure standard IEEE 802.15.4 a 2.4 GHz. La caratteristica chiave è l'architettura Mesh "Open" che permette di gestire centinaia di nodi con un solo gateway.
- **Umpi (Sistema Minos):** Storicamente legato alla PLC, ha introdotto moduli radio (**Syra**) che operano come estensione della rete. Il sistema permette una gestione ibrida dove il segnale viaggia via cavo dove possibile e via radio (868 MHz o 2.4 GHz) per raggiungere punti isolati o estendere servizi di Smart City.
- **Algorab:** Propone una soluzione definita "Dual Band". I loro nodi operano simultaneamente su **868 MHz** (per la portata e la penetrazione) e **2.4 GHz** (per la larghezza di banda e la velocità). Questo approccio, tecnicamente definito *frequency diversity*, aumenta la resilienza del sistema contro le interferenze.

5.2 Lo Standard Zhaga D4i e l'Interoperabilità

Il termine tecnico più in voga oggi nei capitoli per l'illuminazione pubblica è **Zhaga Book 18**.

- **Definizione:** Non è un protocollo radio, ma uno standard meccanico ed elettrico per il connettore (la "presa") situato sopra o sotto il lampione.
- **Il "Nodo" (Controller):** Su questa presa si installa un dispositivo di comunicazione (Node o Controller). Questo nodo può utilizzare qualsiasi tecnologia radio.
 - **Nodi LoRaWAN:** Molto diffusi per la loro semplicità. Ogni lampione si collega direttamente a un'antenna cittadina (rete a stella), senza fare mesh.
 - **Nodi NB-IoT:** Utilizzano la rete cellulare (SIM integrata).
 - **Nodi 6LoWPAN:** Utilizzati da sistemi come **PE.AMI** di Paradox Engineering. Qui il segnale radio (spesso a 868 MHz o 915 MHz) trasporta pacchetti **IPv6**, rendendo ogni lampione un oggetto indirizzabile su Internet. Questo protocollo è altamente scalabile e sicuro.

5.3 Il Caso "Enel X YoUrban" e Archilede

Il termine **Enel X YoUrban** è spesso citato dai cittadini e dalle amministrazioni. Tecnicamente, YoUrban è l'ecosistema software (App e Piattaforma Web) per la segnalazione e gestione. Tuttavia, l'infrastruttura hardware sottostante ("il ferro") è spesso basata sul sistema **Archilede** o sue evoluzioni.

- **Protocollo Radio:** I sistemi Enel X utilizzano massicciamente la tecnologia **ZigBee** (basata su IEEE 802.15.4). Sebbene lo standard ZigBee nasca a 2.4 GHz, Enel X ha implementato varianti che operano anche su frequenze **Sub-GHz (868 MHz)** per migliorare la portata tra i pali distanti, o utilizza soluzioni proprietarie a 169 MHz per applicazioni specifiche. Il segnale viaggia in modalità Mesh fino a un concentratore (spesso chiamato "Quadro RF").

6. Gestione del Traffico e Semafori: Priorità e Sincronizzazione

Il mondo dei semafori utilizza la radiofrequenza per due scopi ben distinti: la **Priorità al Trasporto Pubblico** (TSP - Transit Signal Priority) e la **Sincronizzazione di Cantieri Mobili**. I protocolli qui sono completamente diversi da quelli del metering.

6.1 Transit Signal Priority (TSP): VDV R09.16 e Opticom

L'obiettivo è far diventare verde il semaforo quando arriva un autobus o un tram.

6.1.1 VDV R09.16 (Il Telegramma Tedesco)

Lo standard di riferimento in Europa (usato ad esempio dal sistema 5T a Torino o da GTT) è il **VDV R09.16**.

- **Natura del Segnale:** Si tratta di un protocollo dati definito dall'associazione tedesca delle aziende di trasporto (VDV).
- **Frequenza:** A differenza dei contatori, questi sistemi *non* usano tipicamente le bande ISM libere (868 MHz) per evitare interferenze critiche. Operano invece su frequenze **PMR** (Private Mobile Radio) licenziate, spesso nelle bande **VHF (4 metri, ~68-87 MHz)** o **UHF (70 cm, ~450-470 MHz)**.
- **Telegramma:** L'autobus invia un breve burst dati (il "telegramma") contenente il codice della linea, il numero della vettura, la destinazione e la richiesta di priorità. La modulazione è spesso una robusta **AFSK** (*Audio Frequency Shift Keying*) a 1200 o 2400 baud.

6.1.2 Opticom (Optical & Radio)

Un altro sistema diffuso globalmente è **Opticom** (di GTT - Global Traffic Technologies).

- **Tecnologia:** Nasce come sistema ottico all'infrarosso (un'emissione stroboscopica

codificata).

- **Evoluzione Radio:** Le versioni moderne (**Opticom GPS**) utilizzano la radiofrequenza a **2.4 GHz** (con spread spectrum) per comunicare la posizione GPS del veicolo al semaforo con largo anticipo e senza necessità di "linea di vista". Esistono anche varianti che operano su **868 MHz** o **900 MHz** per il mercato europeo, sfruttando la maggiore portata delle onde Sub-GHz.

6.2 Semafori Temporanei da Cantiere

I semafori mobili (quelli su carrello con le ruote) devono sincronizzare il "Rosso" e il "Verde" tra due unità distanti (Master e Slave) senza fili.

- **L'abbandono dei 433 MHz:** In passato, questi sistemi usavano semplici trasmettitori quarzati a 433 MHz. Erano però soggetti a interferenze (apricancelli) che potevano causare blocchi pericolosi o desincronizzazioni.
- **La Soluzione LoRa a 868 MHz:** I moderni sistemi, come il modello **SB-R** dell'azienda italiana **La Semaforica**, utilizzano la tecnologia **LoRa a 868 MHz**.
 - **Vantaggio Tecnico:** La modulazione LoRa (CSS) garantisce che il segnale di sincronismo arrivi anche se tra i due semafori c'è un camion, una curva o vegetazione fitta, coprendo distanze fino a 1 km. Il protocollo prevede meccanismi di sicurezza (*Safety Go*) che mandano i semafori in "Giallo Lampeggiante" se il segnale radio (heartbeat) viene perso.

7. Dispositivi di Manutenzione e Legacy

Esiste infine una pletera di dispositivi "invisibili" usati dai tecnici delle municipalizzate per la manutenzione.

7.1 I Telecomandi a 433 MHz e 868 MHz

Per testare manualmente un lampione, aprire una sbarra ZTL o forzare un semaforo in modalità manutenzione, si usano spesso radiocomandi portatili.

- **433 MHz Rolling Code:** Ancora molto diffusi per la loro semplicità ed economicità. Utilizzano la modulazione **OOK** (*On-Off Keying*) o **ASK** (*Amplitude Shift Keying*). Sono sistemi a "senso unico": il tecnico preme, il dispositivo riceve.
- **868 MHz Bidirezionali:** I sistemi più moderni (es. telecomandi per centrali di allarme traffico o gestione accessi sicuri) operano a 868 MHz con modulazione **FSK**. Sono **bidirezionali**: il telecomando ha un LED o un display che conferma al tecnico che il comando è stato ricevuto ed eseguito ("Feedback di stato").

8. Sintesi Tassonomica e Conclusioni

In conclusione, il termine "segnale a 433/868" è un'iper-semplificazione che nasconde un ecosistema tecnologico sofisticato. Per interagire professionalmente con le istituzioni o comprendere i capitolati tecnici, è necessario adottare la terminologia corretta riassunta nella seguente tabella sinottica.

Tabella Sinottica dei Protocolli Istituzionali in Italia

Applicazione Istituzionale	Banda di Frequenza	Gergo Tecnico / Protocollo	Modulazione Fisica	Normativa / Standard	Note Tecniche
Gas Smart Meter (Domestico)	169 MHz	PM1 (Punto-Multipunto 1), N-Mode	4GFSK	UNI-TS 11291 , EN 13757-4	Obbligatorio in Italia. Alta penetrazione indoor
Acqua Smart Meter (Walk-by)	868 MHz	wM-Bus OMS, Modo T1 o C1	FSK	EN 13757-4, OMS Gen 4	Lettura di prossimità
Acqua Smart Meter (Rete Fissa)	868 MHz	LoRaWAN, LoRa	CSS (Chirp Spread Spectrum)	LoRa Alliance	Lettura a lungo raggio. Spesso dispositivi "Dual Mode"
Illuminazione Pubblica (Mesh)	868 MHz / 2.4 GHz	Revetec Opera, Minos, ZigBee	LoRa / OQPSK	Proprietari o IEEE 802.15.4	Reti a maglia
Illuminazione Pubblica (Zhaga)	868 MHz	6LoWPAN, PE.AMI	FSK / OQPSK	Zhaga Book 18	Ogni palo è un nodo IPv6
Priorità Semaforica (Bus)	UHF (es. 450 MHz)	VDV R09.16, Telegramma R09	AFSK	VDV 420	Standard tedesco per il TPL
Semafori Mobili (Cantiere)	868 MHz	Sincronismo LoRa, Master-Slave	CSS	ETSI EN 300 220	Alta immunità ai disturbi
Manutenzione Tecnica	433 / 868 MHz	Rolling Code, Keeloq	OOK / FSK	Proprietari	Telecomandi portatili

L'evoluzione futura vede una progressiva convergenza verso protocolli basati su IP (come 6LoWPAN) e reti Low-Power Wide-Area (LoRaWAN/NB-IoT) nella banda 868 MHz, mentre la banda 169 MHz rimarrà ancora a lungo il baluardo normativo della metrologia gas italiana. La banda 433 MHz, un tempo regina, è destinata a scomparire dalle infrastrutture critiche, rimanendo confinata ad applicazioni domotiche non essenziali.

Approfondimenti Verticali

A seguire, vengono approfonditi verticalmente i singoli domini tecnologici trattati, espandendo l'analisi ai dettagli di frame, ai layer protocollari e alle specifiche implementative dei principali vendor operanti sul territorio nazionale.

2. Approfondimento: Smart Metering Gas e la Specificità Italiana (UNI-TS 11291)

La scelta dell'Italia di standardizzare la telelettura del gas sulla frequenza di 169 MHz rappresenta un caso di studio internazionale di "Spectrum Policy" applicata alle utility.

2.1 Perché 169 MHz? Analisi del Link Budget

La decisione dell'ARERA e del CIG di non utilizzare la più comune 868 MHz (usata nel resto d'Europa) deriva da un'analisi fisica del parco immobiliare italiano.

- **Attenuazione Muraria:** I contatori del gas in Italia sono spesso installati in nicchie di metallo zincato incassate nelle mura perimetrali, o in locali tecnici interrati in centri storici con muri di pietra spessi. A 868 MHz, l'attenuazione introdotta da questi ostacoli può superare i 20-30 dB, rendendo impossibile la comunicazione con un gateway distante.
- **Diffrazione:** La lunghezza d'onda a 169 MHz ($\lambda \approx 1.77 \text{ m}$) permette al segnale di "aggirare" meglio gli ostacoli urbani rispetto alla 868 MHz ($\lambda \approx 0.34 \text{ m}$).
- **Potenza:** La normativa permette trasmissioni fino a +27 dBm (500 mW) o addirittura +35 dBm in casi specifici, contro i +14 dBm (25 mW) della 868 MHz. Questo guadagno di oltre 13 dB nel *Link Budget* è la chiave per coprire il "Mass Market" senza installare un gateway in ogni condominio.

2.2 La Struttura del Protocollo PM1

Il protocollo **PM1** definito dalla norma UNI-TS 11291-11-4 è complesso. Non si tratta solo di inviare una lettura.

- **Canali:** La banda 169 MHz è divisa in canali da 12.5 kHz. I contatori utilizzano 6 canali principali per l'uplink (da contatore a gateway).
- **Accesso:** Il metodo di accesso è **ALOHA** con *Listen Before Talk* (LBT). Il contatore "ascolta" se il canale è libero prima di trasmettere. Se è occupato, aspetta un tempo casuale (backoff).
- **Crittografia:** La sicurezza è mandatoria. I dati DLMS sono cifrati con **AES-128 GCM** (Galois/Counter Mode), garantendo non solo la confidenzialità (nessuno può leggere i consumi) ma anche l'autenticità (nessuno può falsificare i dati inviati dal contatore).
- **Intercambiabilità:** Un aspetto critico della norma è l'intercambiabilità punto-punto. Un contatore Pietro Fiorentini deve poter parlare con un concentratore Itron o MeteRSit senza problemi. Questo è garantito dalla rigidità delle specifiche applicative della norma.

3. Approfondimento: Smart Metering Idrico e la Sfida dell'Interrato

I contatori dell'acqua presentano la sfida più ardua: spesso sono sottoterra, coperti da chiusini in ghisa (che agiscono come Gabbie di Faraday) e talvolta sommersi dall'acqua stessa.

3.1 Wireless M-Bus: Dettagli Tecnici dei Modi

Il wM-Bus a 868 MHz è lo standard, ma le modalità operative fanno la differenza.

- **Frame Format:** I dati viaggiano in pacchetti definiti dallo standard EN 13757-3. Un tipico frame contiene:
 - *Preamble/Sync:* Per svegliare il ricevitore
 - *Length Field:* Lunghezza dei dati
 - *C-Field:* Campo di controllo (indica se è un dato di consumo, un allarme, etc.)
 - *M-Field:* ID del produttore (es. MAD per Maddalena, SEN per Sensus)
 - *A-Field:* Indirizzo univoco del contatore
 - *Data:* I dati cifrati AES-128
- **Limitazioni:** La modulazione FSK usata nel wM-Bus richiede un rapporto segnale-rumore (SNR) positivo. Se il segnale è debole (pozzetto profondo), il pacchetto viene perso. Non c'è correzione d'errore avanzata.

3.2 LoRaWAN: La Fisica del Chirp Spread Spectrum

Per superare i limiti dell'FSK, LoRaWAN utilizza una tecnica militare desecretata.

- **Orthogonality:** I "Chirp" (segnali che variano frequenza) con diversi *Spreading Factors* (SF7 a SF12) sono ortogonali tra loro. Questo significa che un gateway può ricevere contemporaneamente più messaggi su canali diversi e con SF diversi senza che si disturbino.
- **Sensibilità:** Con SF12, un ricevitore LoRa può decodificare segnali fino a **-137 dBm** (o anche meno). Questo è circa 20 dB meglio di un ricevitore FSK standard (-115 dBm). Quei 20 dB sono la differenza tra ricevere il segnale da un pozzetto chiuso o non riceverlo affatto.
- **Adaptive Data Rate (ADR):** La rete ottimizza automaticamente la velocità. Un contatore vicino al gateway userà SF7 (veloce, basso consumo). Un contatore lontano o interrato userà SF12 (lento, robusto, alto consumo).

3.3 Il Ruolo di Wize (169 MHz nell'Acqua)

L'alleanza Wize promuove l'uso della tecnologia 169 MHz (nata per il gas) anche nell'acqua.

- **Vantaggi:** Penetrazione e standardizzazione (derivato da wM-Bus).
- **Adozione:** In Italia è meno diffusa del gas, ma alcune grandi multi-utility (es. Acea) hanno sperimentato soluzioni 169 MHz per l'acqua in aree dove la rete gas a 169 MHz era già presente, cercando sinergie infrastrutturali (usare gli stessi concentratori per gas e

acqua).

4. Approfondimento: Smart Lighting e Zhaga Book 18

L'illuminazione pubblica è il settore dove l'innovazione è più rapida, passando da "sostituzione LED" a "piattaforma IoT".

4.1 Zhaga Book 18: L'USB dei Lampioni

Lo standard **Zhaga Book 18** ha rivoluzionato il mercato creando un'interfaccia standardizzata.

- **Meccanica:** Un connettore a 4 pin compatto, montato (solitamente) sopra il corpo illuminante.
- **Elettrica:** Fornisce alimentazione a 24V DC al nodo di comunicazione (non 230V come la vecchia presa NEMA).
- **Dati:** Utilizza il bus **DALI 2 (Digital Addressable Lighting Interface)** per comunicare tra il nodo radio e il driver LED del lampione. Il protocollo dati interno è **D4i (DALI for IoT)**, che permette al nodo di leggere non solo "acceso/spento", ma anche potenza attiva, energia consumata, temperatura del driver e ore di funzionamento.
- **Il Ruolo della Radio:** Il connettore Zhaga è agnostico rispetto alla radio. Su di esso si può montare un nodo LoRaWAN (es. di Milesight o Nke Watteco), un nodo NB-IoT, o un nodo Mesh proprietario.

4.2 Le Reti Mesh: Resilienza e Latenza

- **Self-Healing:** In una rete Mesh (come quella di Revetec o Umpi), se un lampione si guasta, il segnale dei lampioni vicini trova automaticamente un percorso alternativo per raggiungere il gateway. Questa resilienza è fondamentale per la sicurezza stradale.
- **Latenza:** Le reti mesh possono introdurre latenza (ritardo) dovuta ai salti (hops) multipli. I protocolli proprietari (come RV3 di Revetec) sono ottimizzati per minimizzare questo ritardo e permettere funzionalità avanzate come l'**illuminazione Adattiva** (o "luce che segue l'auto"), dove i sensori di traffico accendono i lampioni in sequenza al passaggio dei veicoli. Questo richiede comunicazioni molto veloci che le reti a stella come LoRaWAN faticano a garantire in tempo reale.

5. Approfondimento: Traffic Priority e VDV R09.16

La priorità semaforica è un'applicazione "mission critical". Un ritardo nel segnale significa che l'autobus deve frenare.

5.1 Il Telegramma R09

Il cuore del sistema è il datagramma VDV R09.16.

- **Struttura Dati:** È estremamente compatta. Contiene:

- *Betriebshof*: Codice dell'azienda di trasporto
- *Liniennummer*: Numero della linea
- *Kursnummer*: Numero della corsa
- *Zielnummer*: Destinazione
- *Meldepunkt*: Il punto di notifica (dove si trova il bus rispetto all'incrocio)
- *Priorität*: Livello di priorità richiesto
- **Trasmissione**: Questo pacchetto di pochi byte viene modulato in AFSK (toni audio su portante FM) e trasmesso in un lampo (burst) di pochi millisecondi. La brevità è essenziale per non occupare il canale radio condiviso da tutti gli autobus della città.

5.2 Opticom GPS e la Radio Spread Spectrum

Il sistema Opticom GPS ha sostituito i vecchi emettitori infrarossi (che richiedevano che l'autobus "vedesse" il semaforo).

- **Radio a 2.4 GHz**: Utilizza una radio proprietaria a spettro espanso (FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum) nella banda 2.4 GHz.
- **Logica**: Il veicolo conosce la propria posizione GPS e ha una mappa delle "zone di attivazione" precaricata. Quando entra in una zona, la radio invia il comando al ricevitore all'incrocio, includendo ID veicolo, classe (es. Ambulanza = Alta priorità, Bus = Bassa priorità) ed ETA (Estimated Time of Arrival). Il ricevitore all'incrocio calcola quando far scattare il verde per far passare il veicolo senza fermate.

6. Il Futuro: Convergenza e Cybersecurity

Non si può chiudere un'analisi tecnica senza citare due trend emergenti: la convergenza tecnologica e la sicurezza.

6.1 Convergenza: Un Unico Palo, Molte Radio

I moderni lampioni intelligenti stanno diventando hub multiservizio. Un singolo palo potrebbe ospitare:

- Un nodo **Zhaga (868 MHz)** per il controllo della luce.
- Un gateway **LoRaWAN (868 MHz)** per leggere i contatori dell'acqua del quartiere.
- Un Access Point **Wi-Fi (2.4/5 GHz)** per i cittadini.
- Un sensore di traffico Radar (24 GHz).

Questo sovraffollamento spettrale richiede una progettazione attenta per evitare interferenze, motivo per cui l'uso di filtri SAW (Surface Acoustic Wave) di alta qualità nei ricevitori (come nei moduli Digi XBee o nei concentratori gas) è diventato uno standard ingegneristico.

6.2 Cybersecurity: Crittografia e Autenticazione

Nelle vecchie reti 433 MHz, la sicurezza era spesso assente o debole (codici fissi). Nelle moderne reti istituzionali:

- **UNI-TS 11291 (Gas):** Richiede chiavi crittografiche diversificate per ogni contatore e rotazione delle chiavi.
- **LoRaWAN:** Utilizza due livelli di cifratura AES-128: *Network Session Key* (per l'autenticità del pacchetto) e *Application Session Key* (per la segretezza dei dati utente).
- **wM-Bus OMS:** Introduce il *Security Mode 5* o *7*, con cifratura AES-128 e contatori di frame (replay protection) per impedire che un attaccante registri un vecchio messaggio e lo rispedisca per alterare le letture.

In definitiva, il "gergo" delle istituzioni si è evoluto da una semplice indicazione di frequenza a una complessa tassonomia di protocolli sicuri, interoperabili e ottimizzati per specifiche sfide fisiche.

Stefano Rossi
IU2UEI

Bibliografia

1. Infrastruttura - IG Rete Dati <https://igretedati.it/infrastruttura/>
2. Un protocollo per gli smart meter europei - Elettronica News <https://www.elettronicanews.it/un-protocollo-per-gli-smart-meter-europei/>
3. Wireless M-Bus Technology Overview - Radiocrafts <https://radiocrafts.com/technologies/wireless-m-bus-technology-overview/>
4. GEST - Soluzioni Smart - Aquanexa <https://aquanexa.it/wp-content/uploads/2024/11/GEST-SOLUZIONI-SMART.pdf>
5. Wireless M-Bus (wM-Bus) Basics Explained <https://www.rfwireless-world.com/terminology/wireless-m-bus-basics>
6. Smart metering - Arera <https://www.arera.it/area-operatori/smartmetering>
7. UNI/TS 11291-11-2:2017 - UNI Ente Italiano di Normazione - UNI Store <https://store.uni.com/uni-ts-11291-11-2-2017>
8. fornitura di gruppi di misura "smart meter" calibro g4 - | AMGA Legnano S.p.A. <https://www.amga.it/sites/default/files/Allegato%201%20-%20Specifiche%20Tecniche%20misuratori%20G4.pdf>
9. CIG – Comitato Italiano Gas | Pubblicazione UNI/TS 11291-11 <https://www.cig.it/2014/03/17/pubblicazione-units-11291-11/>
10. Wireless M-Bus 101: Demystifying Modes and Regional Application Profiles - Texas Instruments <https://www.ti.com/document-viewer/lit/html/SSZT149>
11. TECHNICAL BROCHURE - Pietro Fiorentini https://www.fiorentini.com/wp-content/uploads/2024/09/rse_technicalbrochure_ENG_revB.pdf
12. SmartMeterQ Smart Natural Gas Meter Products <https://www.smartmeterq.com/products/>
13. What is the wireless M-Bus protocol? wMbus - CONSTEEL Electronics <https://consteel-electronics.com/articles/what-is-wmbus-wireless-protocol>
14. An Introduction to Wireless M-Bus - Silicon Labs <https://pages.silabs.com/rs/634-SLU-379/images/introduction-to-wireless-mbus.pdf>
15. Wireless M-Bus: Introduction and operation - ENQT <https://enqt.de/en/blog/wireless-m-bus-introduction-and-operation/>
16. LoRaWAN | Daviteq Technologies Inc <https://www.iot.daviteq.com/technologies/lorawan>
17. wM-Bus and LoRaWAN Demo with LR1121 and LR2021 - Semtech Blog <https://blog.semtech.com/wm-bus-and-lorawan-demo-with-lr1121-and-lr2021>
18. specifiche tecniche del contatore idrico - Publiacqua https://www.publiacqua.it/sites/publiacqua/files/20230214_-_allegato_a_-_specifiche_tecniche_del_contatore_idrico_-_signed.pdf
19. Aggiornamento della gamma radio Arrow WAN 169 mhz wM-Bus e 868 MHz LoRaWAN <https://www.maddalena.it/aggiornamento-della-gamma-radio-arrow-wan-169-mhz-wm-bus-e-868-mhz-lorawan/>
20. Smart meter - Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_meter
21. Revetec Srl - Light + Building - Messe Frankfurt <https://light-building.messefrankfurt.com/frankfurt/en/exhibitor-search.detail.html/revetec-srl.html>
22. Light + Building - Exhibitors & Products - Revetec S.r.l. - undefined - Messe Frankfurt <https://light-building.messefrankfurt.com/frankfurt/en/exhibitor->

- [search.detail.html/revetec-srl/mf_1_0010455150_3451897_10000016202401.html](https://www.revetec.com/search/detail.html/revetec-srl/mf_1_0010455150_3451897_10000016202401.html)
23. LPR-Z - Monitoring and regulation module for the single RF I - Revetec
<https://www.revetec.it/en/product/22/lpr-z>
 24. Architettura Minos - Sistema di gestione ad onde convogliate - Umpi S.r.l.
<http://www.umpi.it/en/minos-architecture/>
 25. Minos System - Telegestione fino al singolo punto luce - Umpi S.r.l.
<http://www.umpi.it/en/minos-system/>
 26. La chiave è la flessibilità - Algorab Srl <https://www.algorab.com/2022/12/05/la-chiave-e-la-flessibilita/>
 27. Connecting the future - Algorab https://www.algorab.com/html_wordpress/wp-content/uploads/2023/04/brochure-algorab-company-profile-ITA.pdf
 28. PE IoT Engine Datasheet - FCC Report <https://fcc.report/FCC-ID/2AKPQNDWM005/5162052.pdf>
 29. Interoperability at the Heart of Paradox Engineering's PE Smart Urban Network
<https://www.parking.net/parking-showcases/paradox-engineering/interoperability-at-the-heart-of-pe-smart-urban-network>
 30. ILLUMINAZIONE PUBBLICA - Enel X
https://corporate.enelx.com/content/dam/global/product-page/public-lighting/pdf/E10_053_Brochure_Illuminazione-Pubblica.pdf
 31. Zigbee Sub-GHz - DSR IoT <https://dsr-iot.com/solutions/zigbee-sub-ghz/>
 32. All Identified Signals - Signal Identification Wiki
<https://www.sigidwiki.com/wiki/Database>
 33. Traffic Light Control R09 - Signal Identification Wiki
https://www.sigidwiki.com/wiki/Traffic_Light_Control_R09
 34. opticom™ model 764 multimode phase selector - DDL Traffic, Inc
<http://ddltraffic.com/wp-content/uploads/2018/01/GTT-764-PHASE-SELECTOR.pdf>
 35. GPS Plat - Emergency Vehicle Preemption solutions - AutoGate
<https://www.autogate.com/wp-content/uploads/2024/02/Opticom.pdf>
 36. SB-R - La Semaforica <https://lasemaforica.com/prodotti/sb-r/>
 37. SB-R - La Semaforica https://lasemaforica.com/wp-content/uploads/SB-R_ITA.pdf
 38. Ripetitore via radio 868MHz per sensori allarme, telecomandi e sirene, centrale DfD-6 <https://www.protezione360.com/prodotti/ripetitore-via-radio-868mhz-per-sensori-allarme-telecomandi-e-sirene-centrale-dfd-6-143981.aspx>
 39. Telecomando Fr. 868MHz 5 Canali Bidirezionale Gestisce Centrale Unisat2 Domotic 395072336529 EAN 8005396150348 - securvera.it
<https://www.securvera.it/pcita/shop/scheda.asp?idart=13324&page=1&rg=4&MPN=SV-TP1R5CBUSE>
 40. Gas meters - NRG <https://nrg.si/wp-content/uploads/2021/04/katalog-gas-en-plinomer.pdf>
 41. What is wM-Bus? Comprehensive Guide to WM-Bus_Industry dynamics_Blog_ - Ebyte <https://www.cdebyte.com/news/688>
 42. X-Logic Street Lighting Zhaga Controller - IoT-Shop <https://iot-shop.de/en/shop/x-logic-lighting-controller-zhaga-book-18-7858>
 43. Smart City Zhaga Street Lighting LoRaWAN & NB-IoT & 868 MHz Mesh
<https://domoenergystore.it/it/108-smart-lighting>

- 44. opera <https://www.revetec.it/storage/files/categories/4/396654476gamma-opera-opera-range-escg-rev10-0224.pdf>
- 45. Digi XBee SX 868 | 863-870 MHz RF Module
<https://www.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/rf-modules/sub-1-ghz-rf-modules/digi-xbee-sx-868>
- 46. FRE-24-Zhaga-L luminaire controller - ThingPark® Market
https://market.thingpark.com/media/catalog/product/vendor_tech_docs/f/r/fre-24-zhaga-l-luminaire-controller_1.pdf