

# Implementazione di un'interfaccia RF WMBus economica e ad elevate prestazioni per contatori intelligenti

Le previsioni di crescita del mercato dei contatori intelligenti in Europa sono molto elevate soprattutto in considerazione del fatto che la misurazione dei consumi di acqua, energia termica e gas sta passando da prodotti meccanici a ibridi o completamente elettronici. La strategia EU2020 relativa al risparmio energetico spinge sempre più paesi europei ad adottare misure interne per l'uso di contatori "intelligenti", come ad esempio, i contatori elettronici in Francia e Spagna o i contatori del gas in Italia e Regno Unito.

Attualmente sono disponibili microcontroller (MCU) economici e con un elevato livello di integrazione analogica (ad esempio, i modelli MSP430 o Stellaris Cortex-M3 di TI ) che, insieme alla più moderna tecnologia RF (ad esempio, i modelli CC1101 o CC430), forniscono agli ingegneri tutti i blocchi di progettazione per un "contatore intelligente" completo, in grado di includere sia la metrologia e che la comunicazione RF. I requisiti tecnici di un contatore intelligente sono abbastanza comuni: economico, basso consumo energetico (alimentato a batteria, ad eccezione dei contatori elettronici), preciso e supporto per varie interfacce di comunicazione, ad esempio IrDA, PLC (power-line) o RF.

È proprio la funzionalità di comunicazione che rende un contatore "intelligente" e consente l'introduzione di nuovi servizi, come tariffe flessibili, monitoraggio dei consumi in tempo reale e servizi di risposta su richiesta. Le soluzioni avanzate di telegestione (AMI) su larga scala, che includono contatori intelligenti, ripetitori (opzionale) e raccoglitori di dati, sono ormai in fase di implementazione in tutta Europa.

I vantaggi derivanti dall'utilizzo della nuova tecnologia di misurazione hanno un duplice effetto: i clienti finali possono visualizzare i propri dati in tempo reale sul computer o sul display del contatore in casa e adeguare i consumi di energia elettrica in tempo reale in base alle tariffe più convenienti offerte dal gestore.

I gestori hanno il vantaggio di ridurre i costi di gestione e di lettura dei consumi nonché la possibilità di introdurre servizi aggiuntivi, eseguendo un monitoraggio dei dispositivi finali, quali pompe di calore, lavatrici e frigoriferi, e quindi tenendo sotto la domanda di picco, con un notevole risparmio sugli investimenti.

## 1. Standard WMBus nella normativa europea EN13757-3/4/5

Qual è oggi il migliore protocollo RF per le applicazioni di misurazione? Non è semplice rispondere a questa domanda ma in Germania e nei Paesi Bassi lo standard WMBus è già stato scelto per la telelettura wireless, come definito rispettivamente nelle specifiche OMS e NTA8130.

Il WMBus (EN13757-4) è un'estensione del noto standard europeo M-Bus via cavo (Norma EN13757-2), il quale non supporta il livello fisico (PHY) del KNX wireless (modalità S).

In questo articolo verrà illustrata l'implementazione di un'interfaccia WMBus per contatori e applicazioni di misurazione utilizzando microcontroller, dispositivi RF e sistemi di alimentazione di TI.

La normativa EN13757-4 definisce la comunicazione tra "Contatori" e "Altri dispositivi" nella rete, come la comunicazione RF punto-punto in banda SRD da 868 a 870 MHz. Se consentito dalla normativa locale, è possibile un utilizzo alternativo della banda da 433MHz, anche se ad oggi non sono ancora state definite informazioni specifiche su velocità dei dati e frequenze. La nuova banda disponibile di 169MHz definita dalla normativa ETSI EN 300220-1 v2.3.1 sarà aggiunta negli aggiornamenti futuri della normativa EN13757 al fine di ottenere una portata più ampia per le applicazioni di misurazione. Esistono tre principali modalità operative definite nella norma EN13757-4: S, T e R (**Tabella 1**):

<b>MODE</b>	<b>Direction</b>	<b>Data rate and coding</b>
„S“ (Stationary): S1; S1-m;S2	5,„S1“ – Uni-directional „S2“ – Bi-directional	TX: 32kcps, Manchester RX: 32kcps, Manchester
„T“ (frequent transmit): T1;T2	„T1“ - Uni-directional „T2“- Bi-directional	TX: 100kcps, 3-out-of-6 RX: 32kcps, Manchester
„R“ (frequent receive) R2	„R2“- Bi-directional	TX: 4.8kcps, Manchester RX: 4.8kcps, Manchester

**Tabella 1 Modalità WMBus (da EN 13757-4:2005)**

I Paesi Bassi e la Germania hanno deciso di adottare la modalità T per il ridotto consumo di energia ottenibile rispetto alle modalità S e R. In modalità T la parte ricevente può essere sia assente (T1) o disattivata per la maggior parte del tempo (T2) per risparmiare la batteria.

La modalità S utilizza una velocità di dati inferiore rispetto alla modalità T, cosa che potrebbe avere ripercussioni sull'efficienza della batteria (mentre la portata è maggiore, se si considera la stessa potenza di uscita TX); in modalità R, il ricevitore è sempre acceso e riceve un segnale di attivazione attraverso una lunga sequenza, rendendo tale modalità poco efficiente per sistemi alimentati a batteria.

In Germania il gruppo OMS (un consorzio di diverse aziende che operano nel settore della misurazione) ha adottato la normativa EN13757 come base e ha definito altri 3 documenti, che riguardano in dettaglio l'architettura di rete completa per contatori di gas, acqua ed energia termica nonché per i sistemi di ripartizione dei costi.

Dal momento che lo standard Wireless MBUS funziona nella banda ISM 868-870, i dispositivi devono essere conformi alle direttive contenute nella normativa ETSI EN300220 e CEPT/ERC/REC 70-03. Nel documento elaborato dall'ETSI si fa riferimento ad argomenti quali le onde armoniche, la potenza massima di trasmissione, i limiti del ciclo di lavoro o i requisiti di potenza transitori, solo per citarne alcuni. Il documento CEPT/REC70-03 definisce i limiti del ciclo di lavoro (ad esempio, 0,1%) durante il periodo "acceso" e "spento" (ad esempio, massimo 5 trasmissioni di 0,72 secondi all'ora).

I parametri RF più importanti per la modalità T dello standard WMBUS sono descritti nella **tabella 2**:

Common Radio Parameter (T-Mode)	Min	Typical	Max	Unit	Comment
Frequency Band	868,700	868,950	869,200	MHz	500 kHz channel
Modulation		2-FSK			
Transmit Radio Parameter	Min	Typical	Max	Unit	Comment
Carrier Frequency	868,90	868,95	869,00	MHz	± 60 ppm
Frequency deviation	± 40	± 50	± 80	kHz	
Baud rate	90	100	110	kBaud	
Baud rate drift Transmitter			± 1 %		
Receive Radio Parameter	Min	Typical	Max	Unit	Comment
Sensitivity (BER < 10 <sup>-2</sup> )	-100	-105		dBm	
Baud rate	88	100	112	kBaud	
Baud rate drift			± 2 %		
Adjacent Channel blocking	40			dBm	Extra requirement in WMBUS
Blocking ± 2 MHz	- 69			dBm	

**Tabella. 2 Parametri RF per la modalità T**

La codifica dei dati in WMBus può essere sia Manchester (velocità dei dati pari a ½ quando si utilizza la modalità S con il protocollo Radio Link) o una speciale codifica "3 out-of 6" con una velocità dei dati pari a 2/3 in modalità T con il protocollo Radio Link. In altre parole, in modalità S la velocità dei dati utilizzabile è pari a 16.384 bps, mentre in modalità T sarà di 66.667 bps. Per quanto riguarda la definizione dei preamboli (numero di sequenze alternate di "01" davanti alla trasmissione della parola di sincronizzazione), esiste quello breve e quello lungo; in particolare, il preambolo breve (short) viene utilizzato in modalità S1m, S2 e T2. Per la modalità S, lo standard definisce quanto segue:

- N x (01) 00011101 10100101 10 (con N ≥ 279 o N ≥ 15) per il preambolo breve e lungo (short/long); la sequenza finale a 18 bit rappresenta la parola di sincronizzazione (Sync Word).

Nella modalità T, la sequenza di bit obbligatoria sarà:

- N x (01) 0000111101 (con N ≥ 19) per il preambolo; la sequenza finale a 10 bit rappresenta la parola di sincronizzazione (Sync Word).

## **2. WMBus – Livello fisico (PHY) per i ricetrasmittitori RF**

Da un'attenta analisi della **tabella 2** si evince che alcuni requisiti tecnici sono abbastanza ambiziosi e, probabilmente, il più difficile da raggiungere è proprio la variazione della velocità di dati richiesta di  $\pm 10\%$  nella modalità T. Per soddisfare tale requisito è necessario utilizzare una circuiteria dedicata nel demodulatore RF, che solo pochissimi dei ricetrasmittenti RF oggi disponibili sul mercato sono in grado di fornire. La parola di sincronizzazione con lunghezza di 10 o 18 bit, poco utilizzata, e la codifica proprietaria "3-out-of-6" rappresentano problemi aggiuntivi da risolvere. Inoltre lo speciale formato dei pacchetti FT3 (definito in IEC60870-5-1), che consente di avere più telegrammi in un frame di dati singolo, non viene comunemente supportato nell'hardware dei dispositivi RF presenti sul mercato oggi.

Questi tre elementi, sebbene non comuni, sono facilmente gestibili via software e perciò non presentano grandi problemi nell'implementazione del protocollo WMBus su microcontroller da 8 o 16 bit a bassa potenza.

Il ricetrasmittitore CC1101 di Texas Instruments è uno dei pochi dispositivi in grado di gestire il requisito relativo alla variazione di velocità dei dati ( $\pm 10\%$ ); grazie a un demodulatore RF interno, il ricetrasmittitore può gestire una variazione della velocità dei dati fino a  $\pm 12,5\%$ . Utilizzando le impostazioni di registro ottimizzate, come documentato in AN067, il dispositivo CC1101 fornisce le prestazioni richieste per i moduli WMBus compatibili con la Classe 1 e viene utilizzato oggi in moduli RF WMBus di diversi fornitori.

Al contrario, molti altri dispositivi RF sono obbligati a lavorare nella cosiddetta modalità "seriale" o "trasparente", fornendo solo un bitstream al microcontroller. Il microcontroller stesso deve eseguire un codice firmware abbastanza complesso per il ripristino del clock e dei dati, il riconoscimento della parola di sincronizzazione (Sync Word) e il rilevamento dei byte di dati. Al contrario, il motore dei pacchetti CC1101 gestisce facilmente tutte le attività via hardware e attiva il microcontroller solo se viene rilevata una parola di sincronizzazione valida (davanti a un pacchetto di dati valido). Nei sistemi di misurazione alimentati a batteria, come quelli utilizzati per il gas, l'acqua e l'energia termica, il motore dei pacchetti CC1101 integrato con RX FIFO a 64 byte fornisce un grande risparmio di energia e, quindi, una maggiore durata della batteria.

La logica del motore dei pacchetti si occupa di rilevare la parola di sincronizzazione mediante hardware. Solo dopo aver ricevuto una parola di sincronizzazione valida, i dati vengono scritti nel buffer RX FIFO on-chip a 64 byte: quando si utilizza una parola di sincronizzazione a 18 bit, il dispositivo CC1101 rileverà gli ultimi 16 bit e attiverà il blocco. Se viene utilizzata una parola di sincronizzazione breve a 10 bit, allora vengono aggiunti gli ultimi 6 bit del preambolo (010101) per creare una parola di sincronizzazione a 16 bit necessaria alla configurazione appropriata del motore dei pacchetti.

### **Codifica Manchester e "3 out-of 6"**

Poiché per la parola di sincronizzazione non viene utilizzata la codifica Manchester, il dispositivo CC1101 dovrà essere eseguito in modalità NRZ per rilevarla e utilizzare il gestore di pacchetti per memorizzare i dati nel buffer RX FIFO.

Successivamente, la decodifica dei dati (sia Manchester o "3 out-of 6") viene eseguita dal microcontroller, utilizzando le tabelle di look-up o le operazioni bit-shifting.

### 3. Contatore "intelligente" con interfaccia WMBus

Le prestazioni del dispositivo CC1101 di TI forniscono ai moduli RF il livello di prestazioni più elevato secondo la normativa EN13757-4 (sensibilità RX aggiore di -100dBm @ PER=20% in modalità T). Per prestazioni RF addirittura migliori, si consiglia di utilizzare un dispositivo combinato PA+LNA come il sistema CC1190 di TI. Il dispositivo CC1190 migliora la sensibilità RX di 6dBm e aumenta la potenza TX con PA integrato fino a oltre +27dBm (notare che la normativa ETSI 300220 limita la potenza TX massima a +14dBm per le frequenze WMBus).

Aggiungere il supporto WMBus a un contatore intelligente esistente è molto semplice: il diagramma a blocchi relativo al contatore di gas (Fig 3) mostra un'interfaccia tra il modulo RF (WMBus) e il microcontroller (blocco MSP430); in molti casi si tratta di una semplice connessione SPI o UART.

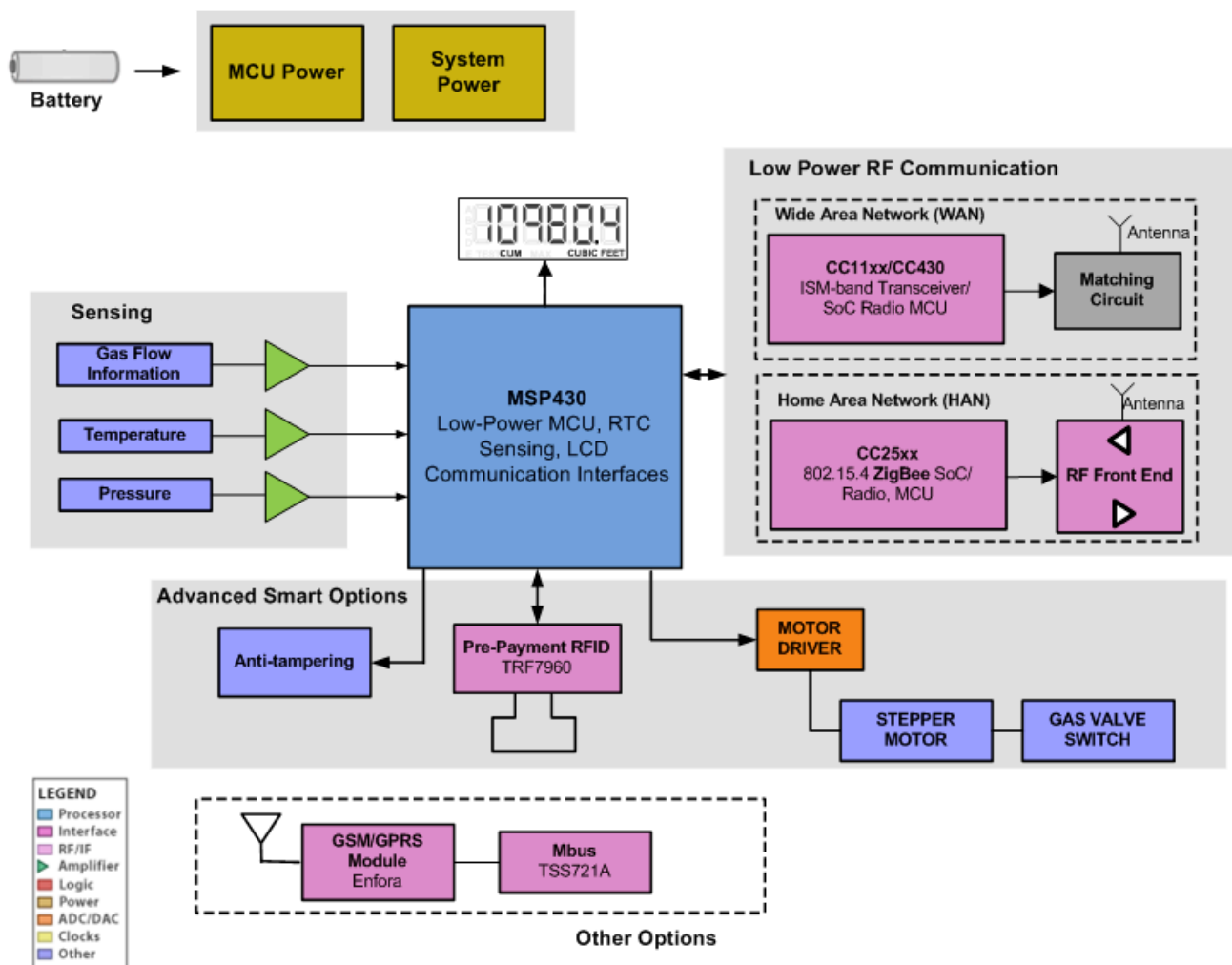


Fig. 3 Diagramma a blocchi di un contatore di gas con le opzioni di interfaccia RF e MSP430.

La soluzione RF WMBus, sebbene venga illustrata nell'esempio come un'interfaccia WAN (Wide Area Network) basata su CC11xx o CC430, potrebbe anche essere un'interfaccia HAN (Home Area Network) e quindi un'alternativa al modulo Zigbee Smart Energy.

Durante la progettazione di una soluzione WMBus, la prima decisione da prendere è definire dove sarà eseguito lo stack WMBus, che può essere il microcontroller di

metrologia principale, un microcontroller dedicato o un SoC nel sistema RF WMBs. Sebbene la combinazione dello stack di comunicazione RF e delle funzioni di misurazione sullo stesso microcontroller può sembrare a prima vista molto allettante ed economica, la soluzione presenta anche molti svantaggi:

1. La certificazione della parte di metrologia insieme allo stack WMBus non renderà possibili future modifiche al software e all'hardware RF (altrimenti vi è il rischio che la certificazione sia nulla).
2. Considerato che sia la misurazione che la comunicazione RF sono attività in cui il fattore tempo è fondamentale, in alcuni casi potrebbero verificarsi dei problemi quando il microcontroller deve eseguire contemporaneamente entrambe le attività.
3. Le opzioni di riduzione dei costi e/o il miglioramento delle prestazioni per entrambi il microcontroller e il dispositivo RF sono molto limitate. Separare il microcontroller dal dispositivo RF garantisce una maggiore flessibilità nella ricerca del miglior sistema per ciascuna attività.

Per queste ragioni, molti clienti preferiscono separare le funzioni di misurazione da quelle di comunicazione per ottenere una maggiore flessibilità nella scelta dei dispositivi più appropriati, ciascuno dei quali con prezzo e prestazioni indipendenti. Inoltre, è più facile eseguire un aggiornamento solo del microcontroller oppure del dispositivo RF con altri sistemi compatibili invece di eseguire una riprogettazione della piattaforma hardware con il dispositivo RF incorporato.

#### 4. Implementazione di un modulo WMBus o sottosistema integrato

Passiamo ora all'analisi della funzione dell'interfaccia WMBus e delle relative opzioni esistenti per l'implementazione.

Solution Layer	MSP430 + CC1101	Single Chip (8051)	Single Chip (MSP430)
Application (EN13757-3 or -1)	WMBus Appl. or DLMS	WMBus Appl. or DLMS	WMBus Appl. or DLMS
MCU (MSP430 or 8051)	MSP430 (F2/4/5/6xx)	SoC 8051, AES-128	CC430Fxx AES-128. LCD
Lower Layer (EN13757-4)	WMBus	WMBus	WMBus
Physical Layer (WMBus R, S and T-modes)	CC1101	CC1110/1 (USB), RF CC1101 core	RF CC1101 core

**Tabella 4 Tre soluzioni WMBus offerte da TI**

La **tabella 4** mostra due opzioni per l'implementazione del modulo WMBus:

- soluzione con 2 chip (MCU + RF)
- SoC con chip singolo (MCU+RF sono integrati).

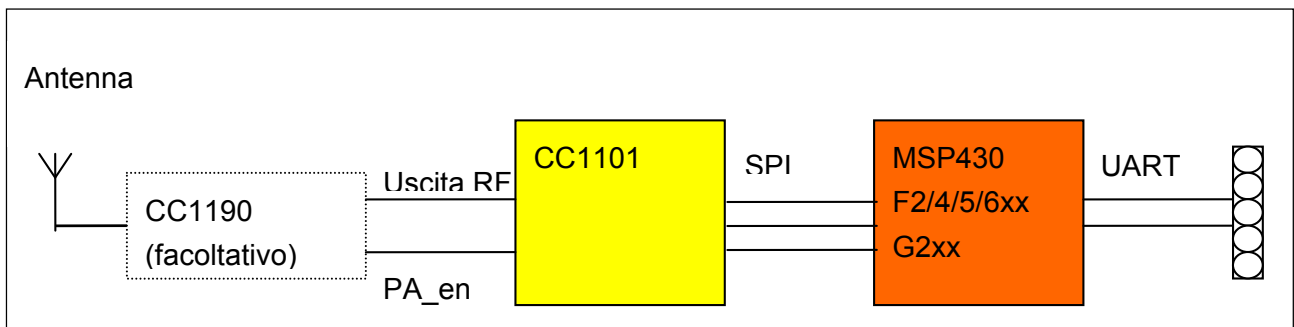
TI è in grado di fornire dispositivi per entrambe le soluzioni: ad esempio, per la soluzione con 2 chip esistono almeno 100 varianti del microcontroller MSP430 che partono da un minimo di 16KB Flash, 1KB RAM e un'interfaccia SPI che soddisfano i requisiti tecnici minimi.

Grazie all'integrazione della parte ricetrasmittitore CC1101 e un motore hardware di codifica e decodifica AES-128 con un microcontroller MSP430 16 bit a bassa potenza, TI offre una nuova famiglia di prodotti CC430, composta da 8 dispositivi, con driver LCD (CC430F61xx) e un modulo ADC12 ad elevata precisione.

La terza opzione (per clienti che desiderano utilizzare un core 8051 o necessitano di un'interfaccia USB integrata con codifica hardware AES-128) consiste nell'utilizzare i dispositivi SoC CC1110 e CC1111, poiché i sistemi con memoria FLASH maggiore sono anche in grado di eseguire lo stack WMBus. Oggi, quindi, uno dei maggiori vantaggi di TI è la possibilità di fornire una soluzione WMBus completa in un solo chip con diverse configurazioni disponibili.

#### 4.1 Architettura hardware di un modulo RF WMBus

Esaminiamo ora il diagramma a blocchi del modulo WMBus. La prima opzione riguarda la soluzione a 2 chip (microcontroller e dispositivo RF separati) con il dispositivo opzionale LNA + PA (**Fig.5**):



**Fig. 5 Diagramma a blocchi per il modulo RF WMBus con 2 chip (con dispositivo opzionale PA+LNA)**

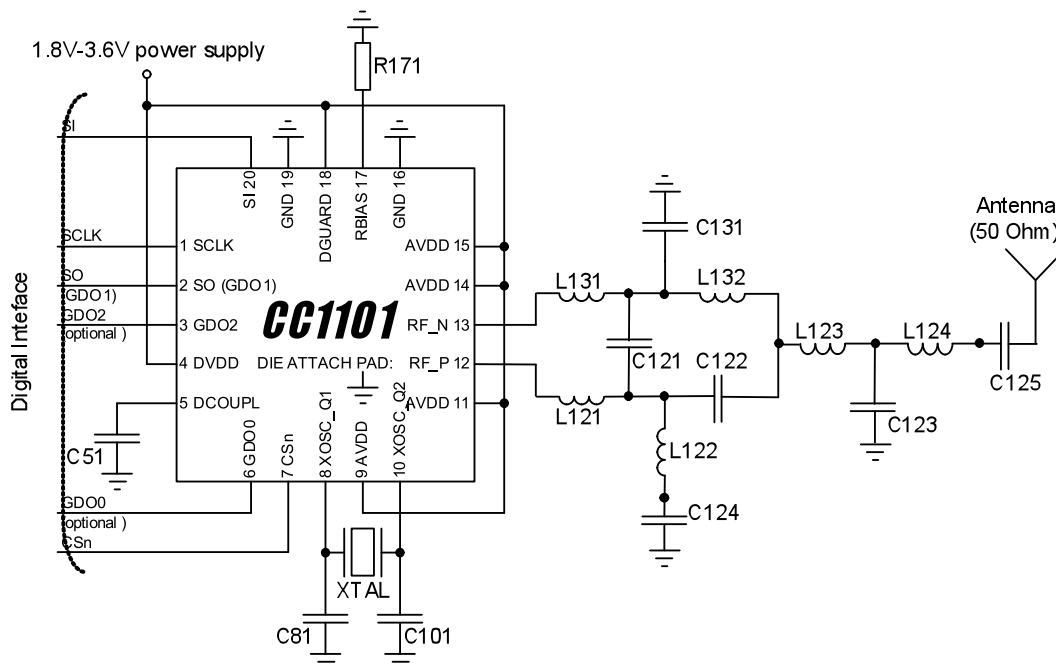
Al posto del dispositivo CC430, è possibile utilizzare la famiglia di prodotti CC111x, molto più conveniente, in base alle esigenze del cliente.

#### 4.2 Opzioni di corrispondenza RF

Dopo aver scelto la soluzione MCU+RF (o SOC), il passo successivo consiste nel selezionare l'antenna, nella maggior parte dei casi una da 50 Ohm a terminazione singola, sia come chip o PCB. Un filterbalun (un set di componenti che includono un simmetrizzatore, un filtro e forniscono la giusta impedenza tra radio e antenna) viene inserito tra il ricetrasmittitore RF e l'antenna. Un simmetrizzatore (balun) è una rete che trasforma una linea bilanciata (dipolo) in una linea sbilanciata (cavo coassiale). La **figura 6** mostra gli schemi consigliati per il filterbalun separato con funzionamento a 868/915 MHz per il dispositivo CC1101.

TI offre diversi progetti di riferimento per il dispositivo CC1101, che coprono entrambe le opzioni di implementazione della corrispondenza RF: una soluzione filterbalun integrata o separata, dove quest'ultima, utilizzando induttori a più livelli, risulta essere la più economica. Le prestazioni di questo modello sono buone ma possono essere nettamente migliorate se vengono utilizzati induttori wire-wound. La sostituzione di induttori ML con quelli di tipo wire-wound (WW) fornisce fino a +2dB di miglioramento in trasmissione e quasi 1dB in ricezione.





**Figure 6 Schema di un filterbalun separato a 868/915 MHz per il dispositivo CC1101**

Esistono diverse opzioni per gli induttori WW (Wire-Wound); TI utilizza la serie LQW15A di Murata per L121-124, L131 e L132 allo scopo di ottenere le migliori prestazioni RF. Tuttavia, ci sono altri fornitori sul mercato che offrono induttori simili come Wuerth, KOA, Coilcraft, Johanson o ABC. Il DN032 confronta le prestazioni RF di vari tipi di induttori wire-wound e assicura che tutti i tipi collaudati sono conformi all'ultima normativa ETSI 300220.

Considerata la grande diffusione dei dispositivi CC1101, CC111x e CC430 sul mercato, Johanson Technology ha deciso di sviluppare un filterbalun a chip singolo ottimizzato per CC11xx, il dispositivo 0896BM15A000. Esso si connette direttamente all'uscita RF del dispositivo CC1101, CC1110 o CC430 e può essere trovato in molti kit di valutazione TI, incluso l'orologio Chronos. I principali vantaggi del simmetrizzatore integrato sono un layout più semplice (meno suscettibile di errori) e un area PCB più piccola.

### 4.3 Selezione del sistema di alimentazione

Il sistema di alimentazione è tra i fattori più importanti che influiscono sulla durata della batteria: nei progetti più semplici, la batteria viene collegata direttamente a un buffer cap (per ottenere la corrente di picco alta necessaria alla trasmissione RF) e prima di fornire la tensione al microcontroller e ai dispositivi RF.

Visto che durante le operazioni di trasmissione la corrente di picco viene assorbita dal buffer cap (e non dalla batteria), la tensione del cap diminuisce (ad esempio da 3V a 2V, in base alla dimensione del Cap e alla lunghezza del telegramma). La potenza di uscita TX del sistema durante la trasmissione dei pacchetti sarà la stessa sia a 3V che a 2V per i dispositivi CC1101, CC1110 e CC430. Molti dispositivi di altre aziende hanno una potenza di trasmissione inferiore quando la tensione è più bassa, un parametro importante che non viene specificato nelle schede tecniche. Quindi, se si utilizzano i dispositivi RF di TI, i

clienti possono utilizzare buffer cap più piccoli rispetto ad altre soluzioni, con un conseguente risparmio sui costi della soluzione.

Una seconda opzione di alimentazione consiste nell'utilizzare un regolatore LDO a bassa potenza con una corrente in modalità sleep estremamente bassa (ad esempio,  $I_q < 500\text{nA}$ ). Grazie all' $I_q$  di  $500\text{nA}$  e alla funzione di tensione a doppia uscita della serie TPS780xx, si ottiene un miglioramento significativo delle prestazioni consentendo all'utente finale di passare immediatamente da un livello di tensione all'altro attraverso l'input di un microprocessore. Un regolatore LDO è progettato specificatamente per applicazioni alimentate a batteria dove è richiesto il doppio livello di tensione: modalità attiva e disattiva (o sleep). Il principale svantaggio di un regolatore LDO è la minore efficienza rispetto ai dispositivi di commutazione CC/CC.

La terza soluzione di alimentazione, considerata la più efficiente, consiste nell'utilizzare un regolatore step-down CC/CC (fino al 95% di efficienza in modalità attiva, vedere la famiglia di prodotti TPS6223x). Il sistema TPS62234 è stato confrontato con i dispositivi CC1101 e CC430 e i risultati dimostrano una riduzione della corrente di picco pari al 30% quando si la tensione della batteria passa da 3V a 2,1V in modalità di trasmissione, senza influenzare negativamente sulle prestazioni RF.

Quando si utilizza il regolatore CC/CC anche il buffer cap può essere ridotto, in genere con una percentuale simile alla riduzione della corrente di picco (esempio, 30%) dovuto al guadagno di efficienza. È importante notare che il buffer cap deve essere utilizzato tra la batteria e la tensione di ingresso del dispositivo CC/CC e non sull'uscita. L'unico svantaggio del regolatore CC/CC è il valore relativamente alto di  $I_q$  (ad esempio,  $20\mu\text{A}$ ) rispetto ai regolatori LDO: questo problema può essere risolto con un interruttore di bypass in modo che il regolatore CC/CC può essere spento quando il sistema è in modalità di spegnimento.

## **4.4 Selezione dell'antenna**

La scelta dell'antenna rappresenta un altro aspetto fondamentale: quelle di buona qualità possono tranquillamente fornire un guadagno in termini di dB rispetto a quelle mediocri e quindi compensare in qualche modo una potenza di uscita in trasmissione più bassa. Al contrario, un'antenna e/o una corrispondenza RF di pessima qualità avrà un impatto negativo sul budget link. Per aiutare i propri clienti, TI fornisce diversi progetti di riferimento per antenne Sub-1GHz PCB; un eccellente riepilogo può essere trovato nel DN031 di TI. In caso di spazio PCB limitato, come in molti casi, una soluzione ragionevole consiste nell'utilizzare un'antenna su chip con un matching trace breve, come implementato nel progetto di riferimento del dongle USB di CC1111. Scegliere l'antenna è l'ultima fase prima dell'inizio della progettazione effettiva del dispositivo hardware, dopo aver selezionato il microcontroller e il dispositivo RF nonché la soluzione filterbalun.

## **4.5 Ottimizzazione del firmware per il protocollo WMBus**

Per sfruttare al massimo le funzionalità hardware dei dispositivi selezionati, è necessario sviluppare un firmware che sia in grado di utilizzare tutte le opzioni disponibili nell'hardware. È fondamentale che il firmware includa il supporto della modalità Packet

Engine per i dispositivi CC1101 e CC430 nonché le modalità a consumo ultraridotto per il microcontroller MSP430.

L'implementazione software effettiva è molto semplice: spesso il microcontroller MSP430 si trova in modalità LPM3 (impostazione a basso consumo energetico con Register State Retention e RTC) e si attiva solo per l'attività TX e/o RX. Al contrario, il CC1101 viene eseguito in modalità Packet Engine. In direzione TX, l'applicazione software del contatore genererà il pacchetto TX e lo invierà al dispositivo RF. Allo stesso modo, in direzione RX, l'applicazione software attiverà il dispositivo RF, lo inizierà per la ricezione WMBus, quindi tornerà alla modalità LPM3 per risparmiare energia e attenderà che il dispositivo CC1101 blocchi un pacchetto RX.

In molti casi, così come con WMBus, potrebbe essere necessaria una completa interruzione dell'alimentazione del ricetrasmittitore RF quando non è attivo (ad esempio, mediante FET esterno per l'alimentazione RF, controllata da un pin I/O del microcontroller) oppure del regolatore LDO o del dispositivo CC/CC. In tali situazioni è fondamentale che il dispositivo RF possa essere avviato rapidamente dallo stato spento/inattivo allo stato RX o TX. Il dispositivo CC1101 fornisce un tempo di avvio estremamente rapido di circa 1,5 ms, un risultato nettamente superiore rispetto ad altri dispositivi RF concorrenti sul mercato, che riduce la quantità totale di potenza necessaria del sistema.

In sintesi, l'elaborazione in modalità Packet Engine per i pacchetti WMBus consente di risparmiare l'energia della batteria, di ridurre in maniera significativa i requisiti di FLASH e RAM del microcontroller e, di conseguenza, di diminuire il costo totale della soluzione WMBus.

## **5. Stima del consumo di corrente e della durata della batteria**

Quando si mettono a confronto diverse soluzioni hardware, è necessario prima di tutto considerare il sistema nel suo insieme, dall'alimentazione fino all'antenna RF. Naturalmente gli elementi principali del sistema sono l'alimentazione (CC/CC o LDO se presenti), il microcontroller a basso consumo e il dispositivo RF.

Un esempio di come calcolare la quantità di potenza necessaria per il sistema, con un microcontroller che esegue lo stack software + il ricetrasmittitore RF, è mostrato in „Wireless Sensor Monitor Using eZ430-RF2500“, i cui dati sono basati su misurazioni prese sui dispositivi MSP430 + CC2500. Utilizzando questi risultati come punto di partenza per un reale sottosistema WMBus, sarà necessario sostituire il dispositivo CC2500 con CC1101, mentre sarà possibile riutilizzare il microcontroller MSP430F2274. Alcune aziende che collaborano con TI utilizzano la combinazione di MSP430F225x/7x + CC1101 per moduli WMBus a basso costo, ad alte prestazioni e pronti all'uso.

È fondamentale verificare la quantità di potenza necessaria su dispositivi hardware reali misurando l'intensità di corrente di un ciclo completo: spegnimento, tempo di attivazione, modalità a basso consumo (Sospensione) e operazioni di trasmissione e ricezione.

Un secondo approccio (solitamente utilizzato dai clienti che non dispongono del tempo e/o delle risorse per progettare l'hardware) consiste nel confrontare le schede tecniche dei microcontroller e dei dispositivi RF e richiedere ulteriori informazioni relative ai tempi della macchina a stati e al consumo energetico dai fornitori di chip. Di seguito sono riportate alcune semplici linee guida relative agli argomenti più rilevanti per un tale confronto.

1. Trasmissione (potenza di uscita TX e corrente assorbita):
  - Potenza TX misurata al pin del chip o alla porta dell'antenna.
  - Utilizzo del filtro e/o del simmetrizzatore (balun).

- Misurazione effettuata mediante antenna singola o doppia (percorsi TX e RX diversi).
- Necessità di un commutatore d'antenna interno/esterno.
- Corrente TX necessaria per la potenza TX (in dBm) alla porta dell'antenna.
- Variazione della potenza TX in caso di modifica della tensione di alimentazione (ad esempio tra 2 e 3,6 V).

## 2. Ricezione (sensibilità RX, selettività, prestazioni di blocco e consumo di corrente):

- Sensibilità RX necessaria alla velocità dati e al PER (tempo di utilizzo dei pacchetti).
- Sensibilità RX misurata alla porta dell'antenna. In caso contrario, considerare le perdite nel filtro, nel simmetrizzatore e nel commutatore d'antenna (se si utilizzano due antenne diverse).
- Scambio della sensibilità RX con il consumo di corrente (ad esempio, è possibile impostare il dispositivo CC1101 con una corrente RX inferiore di pochi mA, con una riduzione della sensibilità RX di 3dB).

## 3. Modalità a basso consumo:

- Modalità a basso consumo migliore per il microcontroller e il dispositivo RF e conservazione delle impostazioni di registro.
- Velocità di passaggio tra la modalità a basso consumo selezionata e attivo/inattivo.
- Tempo di avvio necessario per XTAL (da spento ad attivo).
- Tempo necessario al PLL per bloccare la frequenza di destinazione desiderata (ad esempio, 868,95 MHz);

Seguendo i punti sopra elencati e riportando i valori ottenuti in un foglio di calcolo dovrebbe essere possibile calcolare la quantità di potenza necessaria per la soluzione WMBus completa.

In genere, i due valori più importanti per una soluzione WMbus sono:

- Modalità Basso consumo/Sospensione o Spegnimento; il 99,9% del tempo viene impiegato nell'analisi di questo elemento.
- Corrente di picco (durante la trasmissione); 0,1% del tempo (modalità T) o meno (0,02% in modalità S) viene impiegato nell'analisi di questo elemento.

## 5.2 Come ottenere il più basso consumo energetico

Con un "ciclo di lavoro" di 0,1% per sistemi RF che operano nella banda 868-869 MHz in modalità T secondo la direttiva europea ETSI 300220, è ovvio che la corrente del sistema in "sospensione" (solitamente pochi uA) è il principale elemento responsabile del consumo energetico, anche se la corrente di trasmissione può essere compresa tra 30 a 40 mA per un modulo WMBus completo.

Pur considerando la reinizializzazione del dispositivo RF, poiché tutte le impostazioni del registro si perdono in modalità di spegnimento, ogni 0,1 uA di corrente risparmiato in modalità di sospensione è importante così come il bassissimo ciclo di lavoro che esegue una disattivazione (o spegnimento) del dispositivo RF. Aggiungendo un convertitore CC/CC ad elevata efficienza con corrente Iq ultraridotta è possibile ottenere il più basso consumo energetico (maggiore durata della batteria).

Dall'altro lato, un microcontroller a consumo ultraridotto con funzionalità RTC e un tempo di avvio rapido rappresenta l'opzione principale per il processore dell'applicazione. I dispositivi MSP430 di TI offrono, nel peggiore dei casi, tempi di avvio garantiti da LPM3 compresi tra 1 us e 6 us; per questo aspetto, tali dispositivi non hanno concorrenti sul mercato.

Un'altro dettaglio importante è accertarsi che i dati utilizzati per i calcoli della quantità di potenza necessaria vengano presi considerando i casi limite (o i cosiddetti valori massimi illustrati nella scheda tecnica). Alcuni dispositivi sul mercato forniscono solo i valori tipici che non possono assolutamente essere utilizzati in tali valutazioni. Ad esempio, il valore tipico della modalità a consumo ridotto del dispositivo CC1101 di TI è pari a 0,2 uA ("conservazione dello stato" di tutte le impostazioni di registro), mentre il valore massimo è di 1 uA. Entrambi i valori vengono specificati nella scheda tecnica. È importante, quindi, che durante la progettazione venga presa in considerazione la differenza significativa tra i valori tipici e quelli massimi. I valori massimi sono i soli ad essere utilizzati nei calcoli dei casi limite.

TI offre una soluzione WMBus completa che comprende diverse opzioni di alimentazione, con prestazioni efficienti e a basso costo, una famiglia di microcontroller MSP430 a consumo ultraridotto e un ricetrasmittitore CC1101. TI mette a disposizione diverse opzioni di implementazione del modulo WMBus, in modo tale che i clienti possano scegliere tra una soluzione a 2 chip (microcontroller + ricetrasmittitore) o dispositivi SoC a chip singolo (con core RF CC1101 su chip).