

**Approfondimento della
Autorità per l'energia elettrica il gas e il settore idrico
a seguito della Delibera 416/2015/R/eel**

**SISTEMI DI *SMART METERING* DI SECONDA
GENERAZIONE PER LA MISURA DI ENERGIA
ELETTRICA IN BASSA TENSIONE**

Contributo di Telecom Italia

Telecom Italia guarda con molto interesse alle iniziative dell’Autorità per l’energia elettrica il gas e il sistema idrico (di seguito: Autorità) volte ad approfondire le tematiche del sistema di *smart metering* di seconda generazione per la misura elettrica in bassa tensione e dei necessari sistemi di comunicazione.

Telecom Italia è quindi lieta di poter fornire il proprio contributo.

1. CONSIDERAZIONI GENERALI

Telecom Italia ritiene che anche nel settore elettrico, e in particolare nell’ambito della misura e di possibili nuovi servizi rivolti principalmente ai consumatori, una maggiore liberalizzazione e un sempre maggiore ruolo per il mercato saranno di stimolo e supporto allo sviluppo dell’intero Sistema Paese e costituiranno uno degli elementi fondanti per le *smart cities*.

In primo luogo, in qualità di grandissimo cliente elettrico, si ritiene necessario tenere in grande considerazione l’onerosità dell’investimento di sostituzione degli attuali *meter* affinché sia perseguito il miglior rapporto costi-benefici. In tal senso, si condivide l’intento dell’Autorità di individuare criteri di progettazione “a prova di futuro” e si ritiene **fondamentale la fase di analisi costi-benefici** che dovrebbe essere svolta dall’Autorità medesima, con il supporto di tutti gli attori interessati, al fine di superare le difficoltà derivanti da asimmetrie informative e da posizioni di maggiore o minore vantaggio di alcuni attori del mercato.

A tal proposito, in merito alla possibilità che i criteri standard per la valutazione delle analisi costi-benefici definiti dall’Autorità prendano correttamente in considerazione i benefici che si riversano all’esterno del settore elettrico, si ritiene di fondamentale importanza che i costi sostenuti per ottenere tali benefici non trovino una forma di remunerazione tariffaria che comporti oneri impropri per il cliente elettrico.

Appare, peraltro, necessario che l’analisi costi-benefici individui in modo corretto i possibili benefici “non elettrici”, affinché non siano scaricati sui clienti finali costi che non attengano al sistema elettrico. Con specifico riferimento alle **possibili sinergie con il Piano nazionale di infrastrutturazione del Paese con fibra ottica**, Telecom Italia si rende disponibile sia a fornire ulteriore supporto all’Autorità per gli approfondimenti in corso, sia a partecipare alle **necessarie sperimentazioni** che consentano di valutare l’esistenza di tali benefici e di approfondire i temi tecnici e gestionali. Telecom Italia, infatti, è interessata a valutare congiuntamente con l’Autorità e con gli operatori del settore elettrico quali possano essere le sinergie tra i due settori, come si possano realizzare tali sinergie e come verificare che i costi ed i benefici siano correttamente ripartiti.

In secondo luogo, il nuovo contatore deve essere l'occasione per **abilitare un mercato di nuovi servizi**: dopo quindici anni dal *deployment* del primo contatore elettronico, la nuova generazione di *meter* non dovrebbe semplicemente “fare le stesse cose” del precedente, senza migliorare in modo significativo le performance attuali e senza superare le criticità sin qui riscontrate. Per la nuova generazione di contatori, le principali funzionalità attese sono:

- a. La messa a disposizione dei dati “validati” al massimo entro il giorno successivo alla misura, ma auspicabilmente con una frequenza maggiore e modulabile;
- b. La messa a disposizione di dati *near real-time*: cioè “freschi” (non più vecchi di qualche minuto o decina di minuti) e possibilmente “validati”;
- c. L'ulteriore messa a disposizione di dati con frequenza ancora maggiore, non inferiore a un dato per minuto, in modo da abilitare servizi di *demand-response*, disaggregazione automatica dei consumi (c.d. NILM, *Non Intrusive Load Monitoring*), ecc.;
- d. La messa a disposizione di nuovi tipi di dati (ad es. potenza istantanea, allarmi di superamento soglia o di “zero consumo”, energia attiva e reattiva, informazioni sulla qualità dell'alimentazione, ecc.);
- e. La possibilità di attivare contratti che permettono di variare dinamicamente la potenza massima prelevabile;
- f. La possibilità di attivare profili di consumo e contratti di tipo prepagato, nonché con prezzi dell'energia agganciati ai prezzi sui mercati a pronti (MGP) con variabilità almeno oraria;
- g. La capacità di abilitare nuove applicazioni di *demand-response* e la partecipazione aggregata dei consumatori ai mercati elettrici;
- h. La possibilità di aggiornare, modificare e sviluppare il sistema di *metering* nel tempo.

Il grado di soddisfacimento dei precedenti requisiti e le modalità tecnologiche con le quali tali requisiti potranno essere (più o meno) ottenuti, saranno il naturale oggetto dell'analisi costi-benefici. Appare, però, evidente che i protocolli di comunicazione dovranno obbligatoriamente essere aperti, le tecnologie di comunicazione standardizzate, interoperabili e ancora “*state-of-the-art*” (quindi attive e dotate di buone performance) per tutta la vita utile dei *meter*, le interfacce di comunicazione utilizzabili dai *Service Provider*, senza rendere necessario per gli utenti installare (e pagare) ulteriori dispositivi aggiuntivi per ottenere i dati di misura e fruire dei conseguenti servizi.

Infine, si ritiene che sia doveroso valutare nell'analisi costi-benefici anche i costi indiretti e i costi nascosti che derivano da alcune scelte tecnologiche e che magari dovrebbero essere sostenuti da soggetti terzi

rispetto al sistema elettrico. A titolo di esempio, si citano i costi di adeguamento dei dispositivi utente per eliminare eventuali interferenze su alcune bande di frequenza della tecnologia *power line*.

2. LE TECNOLOGIE DI COMUNICAZIONE UTILIZZABILI

Si analizzano di seguito le principali caratteristiche delle tecnologie di comunicazione che si ritengono utili per l'approfondimento in corso. Telecom Italia, comunque, si riserva di fornire anche in seguito ulteriori elementi mediante memorie o incontri con gli uffici dell'Autorità.

2.1 *NarrowBand Internet of Things (NB-IOT)*

La soluzione NB-IOT (*Narrow-Band Internet Of Things*), le cui specifiche tecniche saranno rilasciate entro il primo semestre 2016 in ambito 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*, che unisce sette organismi internazionali di sviluppo degli standard di telecomunicazione – ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC), consentirà di indirizzare secondo uno standard condiviso e riconosciuto le applicazioni di *smart metering* e delle utilities in generale. Come noto, tali applicazioni sono caratterizzate da un numero di terminali (gli *smart meter*) potenzialmente molto più elevato rispetto al numero di terminali tipicamente presenti in una rete radiomobile (telefoni cellulari e smartphone) e da requisiti molto peculiari, per esempio in termini di costi del modulo radio, capacità trasmissiva e copertura radioelettrica.

Volendo riassumere le peculiarità di tale soluzione, nel seguito sono elencati i principali requisiti della soluzione NB-IOT in fase di standardizzazione in 3GPP:

- Prestazioni di **copertura radioelettrica** in grado di garantire la propagazione del segnale anche da e verso sensori dislocati in seminterrati e racchiusi in contenitori metallici. Sul piano tecnico, il requisito sulla copertura si traduce in un miglioramento delle prestazioni rispetto a quelle della rete GSM/GPRS e comporta un incremento del parametro MCL (*Maximum Coupling Loss*) di 20 dB con un valore target risultante di 164 dB;
- **Numero di sensori** pari ad almeno 50 mila¹ per ciascun settore di un sito radiomobile² con canale di 180 kHz [3GPP Technical Report TR 45.820], di gran lunga superiore al numero stimato di sensori di seconda generazione per la misura dell'energia elettrica in bassa tensione che si troveranno sotto la copertura di un settore di una rete cellulare;
- **Data rate bidirezionale minimo pari a 160 bit/s/sensore**, in grado di soddisfare i requisiti di capacità di trasmissione dei dati di misura anche futuri. È importante sottolineare che tale *data*

¹ Più precisamente, considerando siti con raggio di 577,33 m e area di copertura di 0,86 km², il numero di sensori per settore risulta essere di almeno 52.547.

² In un sistema di telecomunicazioni radiomobili la copertura radioelettrica di un sito è tipicamente suddivisa in tre settori di ampiezza di 120 gradi.

rate è il minimo a disposizione di un singolo *meter* che sia posizionato in una zona svantaggiosa di copertura (ad esempio ai confini della copertura di una stazione radio). Tale dato non va quindi confuso con la capacità trasmissiva di un singolo canale radio di 180 kHz, condivisa da tutti i *meter* serviti dallo stesso settore di un sito, che invece è dell'ordine di diverse decine di kbit/s. Chiaramente, tanto maggiore sarà il numero di canali radio disponibili, o minore il numero di *device* collegati alla rete, tanto maggiore risulterà essere il *bit-rate*;

- **Alta efficienza energetica**, in grado di garantire un consumo energetico molto inferiore rispetto all'attuale tecnologia dei *meter* di prima generazione. Nel caso di moduli NB-IOT dotati di batteria, infatti, si stima una vita utile della stessa superiore a 10 anni;
- **Bassa complessità ingegneristica** (e conseguente costo contenuto del dispositivo), inferiore a quella degli attuali terminali M2M basati sullo standard GPRS (Release 3GPP 1997), con un valore target di **costo del modulo di comunicazione di pochi euro** (i produttori di moduli di comunicazione Huawei e Nokia citano espressamente costi pari o inferiori a 5 \$³);
- **Uso delle bande radio già licenziate e dell'infrastruttura esistente di stazioni radio base**. Infatti, l'implementazione dello standard richiede solo un aggiornamento software della infrastruttura con un'attivazione immediata dell'intera copertura nazionale. È opportuno ricordare come già oggi sia prassi comune degli operatori mobili eseguire aggiornamenti software periodici (effettuati più volte all'anno) e che l'aggiornamento di tutte le stazioni radio base del territorio nazionale richieda tempi inferiori a 4 settimane.

La soluzione NB-IOT si sposa con la disponibilità della tecnologia e-SIM, descritta nel paragrafo successivo, che abilita la configurazione da remoto e il cambio di operatore senza la sostituzione fisica della SIM. La complessità gestionale dell'alto numero dei terminali NB-IOT potrà quindi essere gestita da remoto minimizzando l'accesso ai terminali medesimi da parte del personale tecnico.

Per l'approfondimento in corso, quindi, occorre tenere presente quali siano i principali vantaggi della soluzione standardizzata 3GPP NB-IOT:

- La possibilità di realizzare l'applicazione di *smart metering* all'interno della rete esistente degli operatori radiomobili, consentendo così l'**immediata fornitura del servizio** a un numero elevatissimo di sensori. Inoltre, non sono richiesti interventi sugli apparati di rete fisici (hardware) e non è ovviamente richiesto il dispiegamento di una rete sovrapposta (*overlay*) dedicata allo *smart metering*. Gli impatti sulle stazioni radio base esistenti sono quindi limitati al solo aggiornamento

³ Si vedano: <http://www.huawei.com/minisite/hwmbbf15/img/nb-iot-white-paper-mbb-forum-2015.pdf>, pag. 3 e http://networks.nokia.com/sites/default/files/document/nokia_lte-m_-_optimizing_lte_for_the_internet_of_things_white_paper.pdf, pag. 6.

del livello *software*, contrariamente a quanto richiesto da altre soluzioni. Detto in altri termini, dal momento nel quale sarà disponibile la soluzione standardizzata, sarà sufficiente un aggiornamento *software* degli apparati di rete (quindi senza investimenti aggiuntivi, né interventi in campo) per poter disporre su tutto il territorio nazionale delle infrastrutture necessarie per usufruire del servizio;

- L'uso delle **bande di frequenza licenziate** delle reti radiomobili garantisce la massima qualità e affidabilità del servizio: tali bande di frequenza sono protette dalle interferenze, al contrario delle bande non licenziate. Licenze e diritti d'uso sono già nelle disponibilità degli operatori radiomobili e non sono richiesti investimenti in tal senso ai Distributori. I diritti d'uso (licenze) per tali frequenze sono stati assegnati negli ultimi anni e ciò ne garantisce la disponibilità nel lungo periodo;
- La **disponibilità della copertura radioelettrica a livello nazionale** è pressoché senza soluzione di continuità, garantendo di fatto un servizio pervasivo su tutto il territorio. Per le reti LTE della sola Telecom Italia è prevista una copertura del 95% della popolazione già a fine 2017, con ragionevoli prospettive di crescita ulteriore. Oltre a garantire coperture NB-IOT globali, tale situazione permette, eventualmente, di utilizzare per gli *smart meter* anche altre tecnologie 3GPP, come *LTE-MTC* o, per elevate esigenze di banda, LTE a banda larga/ultralarga;
- La **scalabilità della soluzione NB-IOT**, che consiste nella possibilità di incrementare con la massima flessibilità il numero di canali radio da 180 kHz dedicati, rendendo il sistema adattabile al variare delle condizioni operative, per esempio di traffico;
- Le caratteristiche di **immediatezza e frequenza della comunicazione** tra il contatore e il sistema centrale del Distributore, tipiche di una rete di telecomunicazione radiomobile, che, infine, sono decisamente migliori rispetto agli attuali sistemi di misura di prima generazione. Per esempio, per quanto riguarda l'immediatezza con cui i dati di misura del dispositivo *smart meter* sono resi disponibili al Distributore o agli altri soggetti, si può facilmente arrivare a tempistiche (latenza) dell'ordine di pochi secondi, contro le decine di ore (o giorni) che sono richieste dagli attuali sistemi di comunicazione della misura. Tali caratteristiche (immediatezza e frequenza di trasmissione tra contatore e sistema centrale del Distributore) sono quindi abilitanti del requisito di "freschezza" dei dati di misura, fondamentale per lo sviluppo di azioni commerciali innovative che le altre tecnologie non consentirebbero.

Per quanto riguarda la **conclusione del processo di standardizzazione** NB-IOT in 3GPP, è stato stabilito che la finalizzazione avvenga **entro giugno 2016**. La prima disponibilità di apparati pre-commerciali è prevista nella seconda metà del 2016, mentre gli apparati commerciali saranno disponibili in volumi nel 2017.

Un ulteriore elemento che è utile qui considerare è anche l'interesse che il processo di standardizzazione e di sviluppo commerciale delle reti e dei dispositivi NB-IOT sta incontrando da parte di numerose iniziative

industriali volte a promuoverne l'accelerazione. Tra queste ricordiamo il **NB-IOT Forum⁴**, nato proprio per facilitare e indirizzare le applicazioni NB-IOT e promuovere nuove opportunità di business, assicurando l'interoperabilità delle soluzioni e che già annovera la partecipazione di importantissimi player internazionali tra gli operatori (China Mobile, China Unicom, Telecom Italia, Telefonica, Vodafone, Etisalat, LG Uplus), le aziende manifatturiere (Ericsson, Huawei, Intel, Nokia, Qualcomm) e le associazioni industriali (GSMA, GTI).

Telecom Italia ha già avuto modo di validare attraverso specifici test una versione pre-standard della tecnologia: i relativi risultati sono disponibili per eventuali approfondimenti da parte dell'Autorità.

Inoltre, si evidenzia l'importanza del fatto che 3GPP e GSMA stanno definendo non solo gli standard tecnologici, ma anche i **requisiti prestazionali dei terminali utente** e un **processo formale di certificazione e validazione** della funzionalità dei terminali. In tal modo, ogni produttore di apparati (contatori, modem, elettrodomestici, ecc.), così come il consumatore, avranno la garanzia di compatibilità, interoperabilità e prestazione della tecnologia NB-IOT.

Infine, occorre tenere presente che **utilizzando la tecnologia NB-IOT i dati, anche quelli di tipo *near real-time* potranno essere resi disponibili direttamente da remoto (attraverso internet) sia ai venditori, sia ai possibili *Service Provider*, sia ai consumatori**, senza ricorrere a un secondo canale di comunicazione dedicato tra il contatore e gli apparati della casa.

Riepilogando, quindi, **la tecnologia NB-IOT è la più adatta al *deployment* del sistema di *smart metering* elettrico di seconda generazione** poiché:

- La **standardizzazione tecnologica** è prevista nella prima metà del 2016 e i dispositivi saranno conseguentemente disponibili sia per i trial (già nel 2016) e sia a livello commerciale (inizio 2017);
- La **copertura radio**:
 - o Sarà a livello nazionale;
 - o Non richiederà nuovi investimenti (né nuove licenze, né nuove stazioni radio base);
 - o Sarà pressoché immediata, grazie al solo aggiornamento software degli apparati di rete;
 - o Utilizzerà bande licenziate, a protezione da possibili interferenze;
 - o Consentirà di raggiungere i *meter indoor*;
 - o Sarà scalabile/modulabile a seconda delle esigenze di traffico;
- I **costi** dei moduli radio e i loro consumi elettrici saranno molto contenuti;

⁴ <http://www.telecomitalia.com/tit/it/innovazione/news-mondo-innovazione/nb-iot-forum-narrow-band-centro-della-crescita.html>

- La **velocità** e la **frequenza** di trasmissione saranno tali da consentire l'abilitazione di tutti i nuovi servizi, fino a quelli *near real-time* (dai contratti prepagati alla *demande-response*);
- È previsto un **processo formale di certificazione e validazione** della funzionalità dei terminali.

2.2 Embedded SIM (eSIM)

La SIM serve a identificare in modo sicuro e autorizzare un dispositivo mobile (nella fattispecie il *meter*) a utilizzare la rete mobile pubblica di telecomunicazione: si tratta di una componente aggiuntiva rispetto al modulo radio NB-IOT precedentemente descritto.

Fino ad oggi i distributori hanno lamentato l'impossibilità di cambiare l'operatore mobile senza dover sostituire la SIM. In passato, nel caso in cui un distributore avesse voluto cambiare il proprio operatore, sarebbe necessario sostituire fisicamente la SIM all'interno del *device* connesso. Una simile scelta avrebbe implicato un'operazione in campo che, moltiplicata per la numerosità dei *device*, avrebbe reso anti-economica il cambio operatore (*vendor lock-in*).

L'*embedded SIM* (di seguito: eSIM) permette di superare tale problema. In ambito GSMA (associazione mondiale degli operatori radiomobili) **sono già state testate delle soluzioni di eSIM allineate alle specifiche tecniche correnti**⁵ che semplificano il cambio di operatore senza richiedere più la sostituzione fisica della SIM, bensì attraverso una piattaforma di *provisioning over the air* (da remoto) del profilo operatore. Le prime soluzioni che si rifanno a tale architettura saranno commercializzate nel mondo da diversi operatori mobili già durante i prossimi mesi (addirittura, alcune soluzioni proprietarie e non interoperabili sono già sul mercato).

Occorre sottolineare come l'utilizzo dell'eSIM, in grado di accedere ai servizi della rete mobile pubblica di telecomunicazione, sia realmente una soluzione *future proof*.

Le reti di telecomunicazioni evolvono nel tempo e due prove concrete degli investimenti e del costante miglioramento delle *performance* di tali reti sono l'ormai prossima disponibilità delle tecnologie dedicate al M2M, come la NB-IOT descritta nel paragrafo precedente e il futuro progressivo abbandono di tecnologie ormai obsolete come il GSM/GPRS. Un'ulteriore evoluzione alla quale gli operatori mobili mondiali stanno lavorando, insieme ai costruttori di apparati di rete e di *device*, è il c.d. 5G (ulteriore evoluzione della tecnologia LTE/4G).

La tecnologia 5G punta ad evoluzioni orientate su 4 direttive principali:

- 1) Data rate, si ipotizzano profili di traffico da Gbit/sec;
- 2) Latenza, si parla di latenze sotto il millisecondo che quindi renderanno questa tecnologia di comunicazione adatta anche ai requisiti stringenti delle applicazioni di controllo della *Smart Grid*;

⁵ Per maggiori dettagli su quanto sviluppato da GSMA per l'e-SIM si veda il seguente link: <http://www.gsma.com/connectedliving/embedded-sim/>. Per quanto concerne la specifica relativa la settore M2M: <http://www.gsma.com/connectedliving/wp-content/uploads/2012/03/SGP-02-v3-0.pdf>

- 3) Ancora maggiore affidabilità;
- 4) Gestione di una numerosità molto maggiore di terminali utente.

Sinteticamente, **l'utilizzo dell'eSIM consentirà, in modalità standardizzata e del tutto interoperabile, di cambiare l'operatore mobile senza dover sostituire la SIM e senza interventi in campo.** Tale soluzione, oltre a **prevenire il rischio di *vendor lock-in*, agevola la concorrenza** (e la riduzione dei costi per il cliente finale) e **garantisce una maggiore flessibilità del sistema** consentendo di attagliarsi in modo ottimale alle reali situazioni locali e all'evoluzione tecnologica.

2.3 Power Line Communication (PLC) – Banda A

Il sistema di comunicazione PLC oggi utilizzato per la telegestione dei contatori elettronici non sembra essere una tecnologia né in grado di rispondere alle esigenze dei servizi “smart”, né a prova di futuro.

La PLC in banda A tra *meter* e concentratore è sicuramente una soluzione oramai sperimentata in Italia, ma che ha evidenziato grossi limiti sia a causa delle caratteristiche trasmissive della rete di distribuzione in BT, sia per la sensibilità dei concentratori e dei *meter* ai disturbi non intenzionali generati dagli apparati connessi alla rete elettrica.

Per quanto riguarda la velocità di trasmissione, attualmente il *bit rate* è pari a 2,4 Kb/s. Il *bit rate* effettivamente disponibile tra concentratore e l'insieme dei *meter* sottesi oltre ad essere estremamente limitato, risente delle variazioni dei parametri trasmissivi e dei disturbi che possono ridurne ulteriormente l'operatività, portando anche a *blackout* prolungati dei dati. Tale fenomeno non è di fatto controllabile e non consente di garantire la disponibilità del canale trasmissivo in ogni momento ed in tutte le condizioni.

Le caratteristiche trasmissive (attenuazione ed impedenza) della rete elettrica in bassa tensione spaziano in un *range* estremamente ampio, cosa che rende praticamente impossibile una trasmissione efficiente di dati. Inoltre questi parametri sono soggetti a forti variazioni nel tempo, a fronte del funzionamento in modalità *start/stop* dei maggiori carichi elettrici (motori, pompe, ascensori, condizionatori, ecc.), rendendo ulteriormente difficile una comunicazione stabile ed efficiente. Infine, lo scarso bilanciamento rende il sistema trasmissivo soggetto ai disturbi elettromagnetici dall'esterno.

Relativamente ai disturbi derivanti da apparati che utilizzano energia elettrica, è opportuno ricordare che in Italia il numero di apparati connessi alla rete elettrica è elevatissimo: dalla piccola lampadina o dai caricatori di telefoni mobili (pochi Watt), sino a grandi motori, UPS, e altri apparati che possono presentare carichi elettrici anche superiori al MW. Molti di questi apparati possono essere composti da un convertitore AC/DC o essere dotati di un *inverter*. Il processo di conversione a commutazione lavora proprio nel campo di frequenza delle bande da A a C e non è sempre possibile modificarlo poiché l'utilizzo di frequenze più

alte indurrebbe minore efficienza e maggiori problemi nel rispettare le norme che controllano le emissioni elettromagnetiche, mentre frequenze più basse renderebbero i sistemi troppo costosi e voluminosi. Peraltro, il ciclo di vita degli apparati connessi alla rete elettrica è piuttosto lungo, motivo per il quale sarebbe difficile immaginare un miglioramento della situazione già durante l'arco di attività dei *meter* di seconda generazione.

Per quanto concerne gli standard e le regolamentazioni tecniche applicabili a PLC in banda A (e in banda C), gli unici apparati soggetti ad una norma cogente in termini di disturbi immessi sull'ingresso di alimentazione (norme armonizzate EN 55015 ed EN 55014) sono la lampadina elettronica ed i forni ad induzione, ma sembra realistico supporre che un numero considerevole sfugga ancora ai limiti di emissione. Nessuno degli altri apparati è soggetto a norme in merito, nemmeno quelli che richiedono potenze medio-alte e che, ragionevolmente, sono fonte di maggiori disturbi.

Telecom Italia sta conducendo studi e valutazioni sui disturbi emessi dagli apparati in uso nel settore delle TLC e, da tempo, ha offerto collaborazione ai Distributori elettrici quando questi hanno lamentato la presenza di disturbi sui sistemi di *metering*. Inoltre, Telecom Italia presidia direttamente l'attività nel gruppo congiunto IEC TC 77A e CENELEC SC 205A (*Mains Communicating Systems*), incaricati di analizzare questo tema delicato sia in ambito internazionale sia europeo e segue anche la proposta in discussione presso il CEI CT316.

Come principio, Telecom Italia è a favore di norme che riducano le interferenze, ma queste vanno precedute da una seria analisi su fattibilità, costi e benefici. Ad oggi, invece, sono in discussione possibili nuovi limiti di emissione in ambito IEC e CEI che rischiano aprioristicamente di **generare dei costi nascosti che il sistema elettrico italiano scaricherebbe su altri soggetti per adattare apparecchiature di consumo che oggi sono largamente diffuse**. Si tratta di norme che rischiano di:

- Caricare di costi rilevanti tutti i clienti elettrici a fronte di un obiettivo (la comunicazione dei *meter*) raggiungibile con tecnologie trasmissive moderne e basate su reti TLC economiche e gestite da operatori in competizione;
- Provocare inefficienza energetica, dato che i circuiti di filtraggio indurrebbero un significativo aumento dei consumi;
- Creare problemi alla libera circolazione delle merci (con tutte le rilevanti conseguenze per il mancato rispetto delle normative UE), bloccando i prodotti alle frontiere dato che tali iniziative sono ipotizzate solo nelle poche nazioni che puntano al *metering* via PLC in banda A;
- Bloccare di fatto l'utilizzo di sistemi che oggi sono fondamentali per la società, dato che i nuovi limiti potrebbero rendere impossibile lo sviluppo di sistemi di energia, *inverter*, motori, ecc.;
- Creare grandi problemi economici a vari settori della Società dato che, in molti casi, non sarebbe possibile aggiornare i sistemi esistenti e si sarebbe forzati alla loro completa sostituzione.

Risulta poi opportuna una riflessione e un'attenta analisi dei costi connessi all'uso di PLC e al *footprint energetico* dei sistemi trasmissivi. È noto, infatti, che il comparto dell'*Information and communication technology* (ICT) abbia un'impronta energetica non indifferente: nell'ambito dell'Unione Europea tale comparto rappresenta circa l'8% dei consumi energetici e la Commissione Europea si è impegnata per stimolarne l'efficientamento.

Sistemi di comunicazione differenti possono evidenziare efficienza trasmissiva (bit/W) molto diverse: nello specifico, il consumo netto di una interfaccia PLC è ben maggiore (almeno di un ordine di grandezza) rispetto a un sistema wireless.

Un caso esemplificativo è riportato nel report ITU-T "*Boosting energy efficiency through Smart Grids*"⁶. In tale documento è stata sviluppata (nel 2012) un'analisi di impatto energetico dell'ICT nella realtà italiana (33 milioni di *meter*), analizzando la fornitura di connettività per *smart metering* e *home automation*, attraverso differenti tecnologie di comunicazione.

Pertanto, devono essere presi in considerazione nell'analisi delle differenti tecnologie anche i costi e i consumi della rete di raccolta delle letture dei *meter*. È del tutto ovvio che tutti i costi ed i consumi di una rete di raccolta delle letture basata su PLC andrebbero a carico del sistema, mentre i costi delle reti pubbliche di comunicazione sono suddivisi sul gran numero di servizi e di clienti, motivo per il quale solo una frazione dei consumi energetici (e dei costi) andrebbe ad insistere indirettamente sul *metering* elettrico.

Tutto ciò premesso, come scrive l'Autorità nella propria scheda di approfondimento, la tecnologia PLC sembra "non essere in grado di garantire le necessarie prestazioni per supportare al meglio la tempestività richiesta da alcuni nuovi servizi", in particolare laddove si ritenga (come Telecom Italia effettivamente ritiene) auspicabile che la comunicazione fra contatore e sistema di telegestione sia *near real-time* con flussi di dati freschi e comunque non più vecchi di qualche minuto o decina di minuti.

Riassumendo, **la tecnologia PLC in banda A, sebbene collaudata, non sembra soddisfare l'approccio *future proof* e non è in grado di abilitare l'evoluzione del sistema di *metering* verso nuovi servizi per il consumatore.**

2.4 Power Line Communication (PLC) – Banda C

Per quanto di più stretta attinenza con la comunicazione tra contatore e dispositivi utente, occorre tenere presente come la tecnologia PLC in banda C sia poco utilizzata nel mondo: dove di recente si sta procedendo a specificare i nuovi contatori o dove sono in corso discussioni simili a quella attuale italiana

⁶ Il report è disponibile al link: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/4B/01/T4B010000050001PDFE.pdf. Si veda in particolare il capitolo 5.3

(ad es. in Olanda, Regno Unito e Francia), non risulta si stia prendendo in considerazione l'adozione di tale tecnologia.

Inoltre, un altro elemento essenziale consiste nel fatto che **non esiste un eco-sistema di dispositivi utente che utilizzi tale tecnologia**. Dovendo questo protocollo essere usato per comunicare con i dispositivi utente, la mancanza di eco-sistema rende la scelta piuttosto inadeguata nonché foriera di costi nascosti dovuti alla necessità di creare nuovi dispositivi sul mercato consumer.

Nel capitolo precedente si è già trattato il tema delle **interferenze** (per la banda C il tema è ancor più rilevante che per la banda A) e di come eventuali azioni rivolte a introdurre filtri o limitare le interferenze creino dei **costi nascosti che dovranno essere affrontati da altri soggetti** e comportino degli inevitabili ritardi dovuti ai **tempi di diffusione di tali azioni**. Inoltre, poiché il nuovo contatore potrebbe mettere a disposizione dei dispositivi utente i dati in banda C, andrebbe chiarito contestualmente alla scelta tecnologica come si potrebbero gestire in futuro i casi di dispositivi utente che interferiscano o che banalmente non siano interoperabili con il contatore. Sarebbe in particolare necessario prevedere l'implementazione di un processo formale di certificazione e validazione della comunicazione in tale banda. Sembra, infatti, evidente che in assenza di un processo formale di certificazione e di un ente terzo in grado di verificare e validare, si aprirebbe la strada a numerosi contenziosi legali.

Relativamente ai disturbi e alle possibili interferenze, è ancora opportuno ricordare che la regolazione della banda C ne permette l'utilizzo da parte di tutti i dispositivi utente e non solo quelli del Distributore elettrico, di conseguenza è ragionevole immaginare che le prestazioni trasmissive possano essere limitate dalla numerosità di nodi che usano la stessa banda.

Così come già richiamato per la banda A, non si ritiene accettabile in modo aprioristico (senza accurate analisi di fattibilità e di costo) un eventuale costo nascosto di sistema per richiedere eventualmente – come effetto della scelta tecnologica della PLC in banda C – modifiche all'attuale parco dei dispositivi utente (*inverter*, pompe di calore, ecc.), introducendo in modo non condiviso nuove norme che puntino a ridurre le interferenze. Infatti, ciò comporterebbe un costo altissimo per i clienti elettrici, ritardi importanti per la adozione di queste nuove norme e situazioni “a macchia di leopardo” con tempistiche differenti di recepimento. La soluzione a questi disturbi generati dai dispositivi esistenti, ragionevolmente, potrebbe portare all'installazione di filtri tra l'impianto d'utente ed il *meter*, con il rischio concreto di interrompere il canale di comunicazione in banda C.

Inoltre, è chiaro che l'eventuale inclusione di modem PLC in banda C nel *meter* incrementerebbe seriamente il consumo elettrico del *meter* medesimo, mentre eventuali modem *wireless* avrebbero un impatto energetico del tutto marginale (addirittura nullo nel caso di uso esclusivo della tecnologia NB-IOT

senza ricorso alla banda A). Peraltro, il report citato al paragrafo precedente⁷ conclude che, una disattenzione ai consumi delle tecnologie trasmissive per il *networking* della casa potrebbero indurre incrementi nel consumo elettrico anche superiori al 10% (addirittura nel report – tabella 13, ultima colonna – si ipotizzano 5 TWh di consumi elettrici aggiuntivi derivanti dall'utilizzo della tecnologia PLC a bassa velocità per la connettività dei dispositivi casalinghi).

Infine, per accedere ai dati del *meter* messi a disposizione mediante PLC in banda C, **ciascun cliente dovrà utilizzare dispositivi utente compatibili con tale interfaccia o installare all'interno dell'abitazione un dispositivo (*gateway*)** dotato da un lato di un modem PLC in banda C, dall'altro di un modem WiFi o di altre tecnologie trasmissive oggi diffuse sul mercato consumer. Detto in altri termini, una simile soluzione **sarebbe onerosa alla stessa stregua e con un costo analogo a quanto avverrebbe oggi con lo SmartInfo di Enel Distribuzione**. Anche tale elemento rappresenta un costo nascosto legato alla scelta della tecnologia PLC in banda C, che andrebbe considerato nell'analisi costi-benefici dell'Autorità.

In sintesi, **l'utilizzo della tecnologia PLC tra il contatore e gli apparati utente comporta elevati costi indiretti e scarsa affidabilità**.

2.5 Radio Frequenza 169 MHz (RF169)

In merito alla possibile “multicanalità per la comunicazione e la messa a disposizione dei dati” prospettata nel documento di consultazione e in particolare sul possibile utilizzo della tecnologia RF169 come canale di comunicazione secondario (di *backup*), Telecom Italia ritiene un simile approccio possibile, ma decisamente meno auspicabile rispetto all'utilizzo della sola tecnologia NB-IOT. Infatti, le caratteristiche tecniche della RF169, quali l'ampiezza della banda e l'utilizzo di frequenze non licenziate, non sono tali da abilitare tutte le nuove funzionalità del sistema di *metering* di seconda generazione.

La RF169, comunque, è utilizzata oggi con buoni risultati in altri contesti (*smart metering gas*, anche in logica multiservizio): le esperienze di campo stanno dimostrando come la RF169 si dimostri efficace in termini di ampiezza di copertura quanto più le stazioni riceventi (i concentratori) sono posti in quota e non a livello stradale. Da prove svolte da Telecom Italia, la copertura garantita da un concentratore 169 MHz posto ad un'altezza di 20-30 metri (tipica delle stazioni radiomobili) è più che doppia rispetto a quella garantita da un concentratore posto a pochi metri dal livello stradale. I siti in cui sono normalmente collocati i concentratori PLC sono a livello strada, di conseguenza difficilmente potrebbero fornire una copertura efficace sia dei contatori gas sia di quelli elettrici e a maggior ragione di quelli idrici.

⁷ “Boosting energy efficiency through Smart Grids”, ITU-T, Cap.5.3

In altre parole, se da un lato il ricorso alla RF169 sarebbe una soluzione di *second best* (pur sempre una soluzione, sebbene parziale), dall'altro dotare i concentratori PLC gestiti dai distributori elettrici anche di concentratori RF169 in ottica multiservizio potrebbe rivelarsi tecnicamente ed economicamente poco efficace (per i richiamati temi di copertura radio), oltre che controproducente nella logica della terzietà ricercata dall'Autorità per altri servizi quali lo *smart metering* del gas.

2.6 Porta fisica del meter

Rispetto alla porta fisica e all'uso dello **standard di comunicazione USB**, Telecom Italia ha dichiarato di valutare positivamente il requisito di aggiungere allo *smart meter* di seconda generazione una porta fisica di comunicazione nelle disponibilità del cliente finale. In assenza di comunicazioni di tipo NB-IOT (si tratterebbe di una soluzione di *second best*), ciò abiliterebbe un nuovo mercato *consumer* di servizi a valore aggiunto basati su dispositivi che i *Service Provider* potrebbero fornire ai propri clienti per installarli sul contatore in modalità *Do-It-Yourself* (di seguito DIY).

La proposta di Telecom Italia si concretizza nell'utilizzare lo standard USB 2.0, garantendo la sicurezza informatica mediante:

- L'utilizzo di *white list* dei dispositivi *USB* abilitati (aggiornabile da remoto dal distributore);
- La configurazione della porta *USB* in modalità *slave*⁸;
- La limitazione del protocollo di comunicazione fra il contatore e il dispositivo *USB* alla sola scrittura seriale su *USB* dei dati acquisiti dal contatore. In tal modo sarebbe impedita la lettura di comandi o di file di configurazione dalla *USB*.

Inoltre, la porta *USB* consente l'alimentazione del dispositivo collegato (ad es. fino a una corrente assorbita di 100 mA). Su quest'ultimo punto, si evidenzia che la porta *USB*:

- 1) Dovrebbe disporre dell'alimentazione elettrica garantita da un circuito a valle (lato utente, quindi) del vero e proprio misuratore presente all'interno del contatore. In questo modo i consumi elettrici non sarebbero di pertinenza del Distributore e il *device* sarebbe alimentato solo in caso di fornitura attiva;
- 2) Consentirebbe di non sostituire le batterie durante la vita utile del *device*, cose che al contrario richiederebbe ulteriori interventi del consumatore sul contatore e l'interruzione dei servizi del *Service Provider*;
- 3) Garantirebbe una corretta e facile collocazione del *device* anche in modalità *do-it-yourself* (DIY).

⁸ È importante ricordare che in un collegamento *USB* un dispositivo è sempre considerato "*master*" (o "*host*") mentre l'altro è considerato "*slave*" (o "*periferica*"). Il dispositivo *host* assume la responsabilità di tutte le comunicazioni sul *bus* e il dispositivo *slave* comunica solo se comandato a farlo. Quando un dispositivo viene collegato per la prima volta, il dispositivo *USB host* avvia un processo di configurazione chiedendo al dispositivo *slave* di identificarsi. A tal proposito, tutti i dispositivi *USB* devono avere un unico *Vendor ID (VID)* e un unico *Product ID (PID)*. L'*host* inizia, quindi, a considerare il *software*, cercando un "*USB driver*" già installato associato con lo specifico dispositivo

L'eventuale utilizzo della porta ottica del contatore, di contro, non consentirebbe l'alimentazione elettrica del *device* di lettura e potrebbe comportare difficoltà d'installazione per l'utente, con la possibilità che divenga necessario l'oneroso intervento di un tecnico, ad esempio del *Service Provider*.

3. BENEFICI ATTESI

Per quanto riguarda i benefici attesi dal sistema di *Smart Metering* di seconda generazione, occorre certamente distinguere tra benefici che ricadono all'interno del settore elettrico da quelli esterni, così come i benefici abilitabili dalle diverse tecnologie.

Innanzitutto, come già anticipato in premessa, l'attuale sistema di misura elettrica è gestito in regime di monopolio e concessione dal distributore elettrico. Continuare ad utilizzare la tecnologia PLC non cambierebbe la situazione, mentre il ricorso a nuove tecnologie, come nel caso del NB-IOT, consentirebbe la nascita di un mercato almeno per la parte della comunicazione, che consentirebbe il raggiungimento di efficienze di costo oggi difficilmente perseguibili.

Inoltre, le nuove tecnologie standard, il ricorso a soluzioni multiservizio (reti pubbliche) e non proprietarie, la concorrenza degli operatori radiomobili, abiliteranno lo sviluppo di nuovi servizi e ulteriore valore per il consumatore finale.

Per quanto concerne i possibili servizi abilitati dal nuovo sistema di *smart metering*:

- 1) PLC in banda A, garantisce sostanzialmente le funzionalità base/attuali. Poco cambierà sia in termini di processi di *switching*, sia di *empowering* dei venditori per via di un forte ritardo nella disponibilità dei dati validati;
- 2) PLC in banda A e RF169 come tecnologia di *backup*, porteranno un beneficio derivante unicamente, o quasi, da un'ottimizzazione derivante dal miglior attagliamentamento del sistema alle situazioni locali, incrementando il tasso di successo di comunicazione;
- 3) PLC in banda A e in banda C, potranno abilitare una serie limitata di servizi al cliente finale, gestiti dal Venditore e/o dal *Service Provider*. Tale approccio consentirà la comunicazione di alcuni dati verso gli apparati utenti, ma con problemi di efficienza e di affidabilità, con costi indiretti dovuti alla necessità sia di creare un eco-sistema di dispositivi utente in banda C sia di limitare le interferenze degli oggetti di *consumer electronics*. L'indisponibilità di dati freschi e validati non permetterà di abilitare i servizi che richiedono dati garantiti adatti alla contabilizzazione e alla conseguente fatturazione di eventi a breve distanza, ad esempio i servizi di prepagato, i servizi di fornitura di contratti elettrici con prezzo e/o potenza disponibile variabile dinamicamente nel tempo e tutti i

servizi di supporto al bilanciamento (*demand-response*). È presumibile che, invece, la combinazione di tecnologie di comunicazione qui considerata potrà abilitare semplici servizi di *home energy management* a supporto della consapevolezza del cliente, come l'*in home display*, la scelta del miglior contratto di fornitura, la visualizzazione serie storiche di dati, o semplici suggerimenti sugli stili di consumo. Il limitato *data rate* a disposizione della comunicazione fra un singolo contatore e gli apparati utente non permetterà, di contro, l'implementazione di algoritmi NILM (*Non Intrusive Load Monitoring*) per disaggregare il consumo totale e per analizzare in dettaglio i consumi dei singoli apparati utente. Infine, poiché la PLC utilizza lo stesso mezzo fisico della fornitura di energia elettrica, questa scelta tecnologica non abiliterà la funzione di *early warning* in caso di *blackout* locale;

- 4) PLC in banda A e porta fisica, ad esempio mediante apparato dotato di un modem di comunicazione wireless, potranno abilitare servizi analoghi al punto precedente, fornendo però una maggiore garanzia in termini di efficienza del sistema di comunicazione e a una maggiore quantità di dati. Come visto in precedenza, la tecnologia PLC in banda C non è immune da interferenze e manca un ecosistema di apparati utente in grado di utilizzarlo, comportando così ulteriori costi per l'implementazione del sistema di comunicazione. Di contro, sfruttare la porta fisica a un sistema di comunicazione *wireless*, consente di raggiungere migliori prestazioni in termini di maggiore *data-rate*, minore latenza e maggiore affidabilità. Inoltre, se nel caso PLC in banda C i dati utilizzabili saranno unicamente quelli stabiliti in fase di sviluppo del nuovo contatore (salvo aggiornamento del *firmware*, comunque improbabile o realizzabile con tempistiche critiche via PLC in banda A), la porta fisica sarà in grado di fornire istantaneamente tutti i dati contenuti nel *meter*. Tale soluzione, quindi, risulta maggiormente flessibile sia nel breve periodo, sia per sfruttare le evoluzioni tecnologiche future e rendendo possibili nuovi servizi;
- 5) NB-IOT, sia insieme a PLC in banda A sia in modo del tutto autonomo (come unica tecnologia trasmissiva), garantirà le massime prestazioni del sistema. Tra i benefici, non si può tacere sulla massima efficienza possibile, intesa quale maggiore *data-rate*, minore latenza, maggiore affidabilità (intesa come numero di comunicazioni andate a buon fine sul totale delle comunicazioni effettuate), minori costi di infrastruttura (in particolare in caso di superamento della tecnologia PLC in banda A). Inoltre, NB-IOT sarà in grado di abilitare tutti i servizi descritti in precedenza, insieme ai seguenti:
 - Servizi per il Distributore:
 - Aggiornamento firmware del *meter*. È possibile attivare comunicazioni *multicast* (1:N) per portare l'operazione di aggiornamento del firmware a poche ore;

- Tele-gestione del contatore. È possibile aumentare la quantità di dati che ogni contatore trasmette al sistema di telegestione e, parimenti, inviare al contatore comandi con latenza di pochi secondi;
- Variazione della potenza massima prelevabile da remoto in tempo reale;
- Servizi specifici per i venditori di energia elettrica:
 - Contratti prepagati. Usando dati freschi e inviando comandi a bassissima latenza. È peraltro possibile identificare, autenticare e loggare l'originatore del comando (es. comando di stacco contatore per termine credito), nonché abilitare informazioni di preavviso di eventuale stacco;
 - Customer Care. Il customer care del venditore di energia può verificare in tempo reale da remoto il corretto funzionamento della linea elettrica del proprio cliente nonché i parametri di configurazione del contatore cliente;
 - Contratto di fornitura di energia elettrica con il prezzo dell'energia ancorato al mercato elettrico (MGP);
 - Contratto di fornitura di energia elettrica con potenza contrattualmente disponibile che varia ora per ora (es. maggiore potenza disponibile nelle ore serali, minore nelle ore diurne);
 - Variazione della potenza massima prelevabile da remoto in tempo reale;
- Servizi per il mercato del bilanciamento e per gli aggregatori:
 - *Demand-Response*;
 - Riduzione temporanea (o incremento) della potenza disponibile in funzione delle condizioni di rete con conseguente remunerazione del servizio;
 - Disponibilità di dati aggregati freschi (anche in tempo reale) per migliorare la previsione del carico e ridurre le necessità di approvvigionamento di servizi di riserva elettrica;
 - Possibilità di tele-controllo diretta da parte del BRP (*Balancing Responsible Party*) in condizioni di criticità del servizio nazionale;
- Servizi per *Service Providers* intermedi verso il cliente finale:
 - Applicazioni utente su smartphone/tablet con una ricchezza e efficacia della interazione utente molto superiore a quella del *display* del *meter*. È inoltre possibile adattare le applicazioni a specifici profili di utente (es. applicazioni per utenti prosumer, applicazioni per utenti poco tecnologici, applicazioni per utenti esperti);

- Consapevolezza utente. Al fine di incrementare la *capacitazione* del consumatore, è possibile fornire un cruscotto di visualizzazione consumi/produzione elettrica di un cliente in *near real-time* (con ritardi massimi dell'ordine di pochi di minuti);
- NILM (*Non Intrusive Load Monitoring*) per disaggregare il consumo totale nei consumi dei singoli apparecchi utente. Per rendere affidabile una simile funzionalità è necessario acquisire i dati dal contatore con frequenza non inferiore a 1 dato/minuto;
- Scelta della miglior potenza contrattuale sulla base dei pattern di consumo misurati;
- Segnalazione in modalità *early-warning* del rischio di superamento potenza contrattuale;
- Segnalazione tempestiva del *blackout*, che per i clienti residenziali consentirebbe di evitare il rischio di danneggiamento dei cibi conservati nei congelatori e sarebbe di ausilio per garantire la sicurezza da effrazioni e furti. Analogamente, su utenze non domestiche, l'informazione sull'assenza di assorbimento di energia, tipicamente dovuta allo scatto dell'interruttore differenziale, garantirebbe il celere arrivo del messaggio d'allarme permettendo di attivare interventi e azioni di manutenzione, prima che si verificino danni, si scarichino le eventuali batterie di *backup*.

4. CONCLUSIONI

Da quanto descritto in precedenza, emerge chiaramente come il combinato disposto dell'utilizzo della tecnologia NB-IOT e dell'eSIM garantiscono il raggiungimento dei maggiori benefici e delle migliori performance del sistema di *smart metering* di seconda generazione.

Oltre ad essere un'occasione di sviluppo per il Paese e per l'intero comparto elettrico, l'uso di tali soluzioni sono particolarmente adatte grazie al percorso di standardizzazione che si completerà in tempo utile e che garantirà il successivo processo formale di certificazione e validazione della funzionalità dei terminali.

La copertura radio della tecnologia NB-IOT sarà immediata e a livello nazionale, non richiederà nuovi investimenti (né nuove licenze, né nuove stazioni radio base), si baserà su bande licenziate a protezione da possibili interferenze, consentirà di raggiungere i *meter* posizionati negli scantinati o in alloggiamenti metalliche e sarà modulabile a seconda delle esigenze di traffico.

Inoltre, i costi dei moduli radio e i loro consumi elettrici saranno molto contenuti; inoltre la velocità e la frequenza di trasmissione saranno tali da consentire l'abilitazione di tutti i nuovi servizi, fino a quelli *near real-time* (dai contratti prepagati, alla *demand-response*).

Ancora, l'utilizzo dell'eSIM consentirà, in modalità standardizzata e del tutto interoperabile, di cambiare l'operatore mobile senza dover sostituire la SIM e senza rendere necessari onerosi interventi in campo.

Tali soluzioni, agevoleranno la concorrenza (e la riduzione dei costi per il cliente finale) e garantiranno una maggiore flessibilità dell'intero sistema, consentendo di adattarsi in modo ottimale alle reali situazioni locali e all'evoluzione tecnologica.

La scelta della tecnologie NB-IOT e eSIM, oltre ad abilitare tutti i possibili servizi verso il cliente finale e a favore di tutti gli attori del mercato elettrico, si prestano ad essere integrata con l'utilizzo della tecnologia "base" PLC in banda A, per fruire solo "su richiesta" delle *performance* (ad es. in caso di contratto prepagato o altri servizi). NB-IOT, però, può essere utilizzata in modo del tutto autonomo, scelta che consentirebbe al sistema di fare a meno degli attuali concentratori PLC e dei relativi costi, integrando in un'unica soluzione tecnologica tutte le funzionalità necessarie agli scenari attuali e a quelli evolutivi.