



Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni

Analisi della distribuzione di risorse spettrali tra i soggetti titolari di diritti d'uso delle frequenze terrestri per servizi di telecomunicazioni in Italia

1. Introduzione

Con la presente relazione vengono illustrati i risultati di un'analisi condotta dall'Autorità riguardante l'attuale distribuzione in Italia di risorse spettrali tra i soggetti assegnatari di diritti d'uso delle frequenze terrestri per servizi di telecomunicazioni.

Allo scopo di fornire un quadro di riferimento circa lo stato della predetta distribuzione di frequenze, l'analisi svolta tiene conto dell'effettiva disponibilità di spettro e della durata dei diritti d'uso, nonché degli usi relativi a ciascuna banda esaminata, anche in considerazione della futura prospettiva dei sistemi radiomobili e *wireless*, in particolare in ottica 5G, e prevede in particolare il confronto all'interno di un dettagliato *benchmark* europeo.

Con specifico riferimento al 5G, come sarà di seguito dettagliato, allo stato vi sono tre bande di frequenza volte a favorire lo sviluppo dei sistemi di quinta generazione: si tratta delle bande c.d. "pioniere" nella transizione verso le tecnologie 5G, ossia le bande 700 MHz, 3400-3800 MHz e 26 GHz. Tali bande sono oggetto anche delle disposizioni contenute nella legge 27 dicembre 2017, n. 205, recante "*Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2018 e bilancio pluriennale per il triennio 2018-2020*" che prevede, per una parte di esse, l'assegnazione entro il 2018 con procedure definite dall'Autorità.

2. Analisi della distribuzione frequenziale

Come noto, lo spettro radio non è omogeneo in termini di caratteristiche di propagazione delle frequenze. In particolare, per un dato scenario radiomobile, le gamme di frequenze più basse offrono maggiori distanze di copertura rispetto alle frequenze più elevate, nonché una migliore penetrazione degli ostacoli che consente di fornire una buona qualità dei servizi anche agli utenti situati all'interno degli edifici.

Pertanto, per semplicità, ferme restando le diverse peculiarità di ogni singola banda di frequenze, ai fini della presente relazione si è ritenuto opportuno distinguere l'analisi in tre sezioni:

- i. frequenze inferiori a 3 GHz, ossia le bande dalla 700 MHz alla 2600 MHz, tradizionalmente impiegate per fornire servizi radiomobili;
- ii. frequenze comprese tra 3 e 6 GHz - in particolare la banda 3400-3600 MHz, fino ad oggi utilizzata prettamente per applicazioni di tipo *broadband wireless access* (BWA) - considerate ormai, specialmente nella prospettiva di sviluppo dei sistemi 5G, come intermedie tra copertura e capacità di trasmissione¹;
- iii. frequenze superiori a 6 GHz, allo stato impiegate per collegamenti punto-punto (P-P) e punto-multipunto (P-MP), in particolare di tipo *wireless local loop* (WLL), e particolarmente indicate in ottica 5G per incrementare le velocità di trasmissione degli utenti finali.

Prima di esaminare la dotazione spettrale dei soggetti titolari di diritti d'uso secondo le predette categorie di bande, appare opportuno fornire nel seguente paragrafo una breve descrizione di alcuni aspetti di pianificazione dei sistemi di radiocomunicazione, utili come chiave di lettura della presente analisi.

¹ Infatti, lo scenario d'impiego della banda di frequenze 3400-3800 MHz ha registrato un'evoluzione alla luce dei recenti sviluppi internazionali e dei nuovi orientamenti nazionali in ottica 5G. In particolare, in ragione di vari fattori nel frattempo intervenuti, tra cui i progressi tecnologici di apparati e terminali di rete, la previsione di impiego di gamme di frequenza superiori ai 6 GHz (fino alle onde millimetriche) e l'evoluzione delle architetture dei sistemi trasmissivi sempre più verso la virtualizzazione, l'eterogeneità e la densificazione delle reti radiomobili, oggi la porzione di spettro in questione, pur restando destinata prevalentemente a *layer* di capacità, non può più essere considerata solamente in tale ottica, bensì si configura come banda intermedia che, in taluni scenari e per opportune architetture di rete, anche grazie all'impiego di adeguati sistemi radianti (ad es. con *Massive MIMO*), può risultare di interesse anche in siti macro-cellulari, ferma restando l'indipendenza delle caratteristiche di propagazione radioelettrica delle frequenze dalle tecnologie di trasmissione.

2.1. Cenni ad aspetti di pianificazione dei sistemi di radiocomunicazione

Ai fini della descrizione riportata in questo paragrafo, si prendono a riferimento le bande fino a 2 GHz (ossia le bande 700, 800, 900, 1500 e 1800 MHz), ossia le principali frequenze radiomobili: ad ogni modo, i concetti qui espressi possono essere estesi, con le dovute proporzioni, alle gamme di frequenza superiori.

Per ciascuna banda al di sotto di 2 GHz, nel seguente grafico si riporta la quantità totale (*uplink* e *downlink*) di risorse spettrali complessivamente assegnate in Italia in rapporto alla stima della distanza di copertura raggiungibile mediante ciascuna banda, normalizzata al raggio di copertura ottenibile con frequenze nella banda 700 MHz considerando un tipico scenario radiomobile².

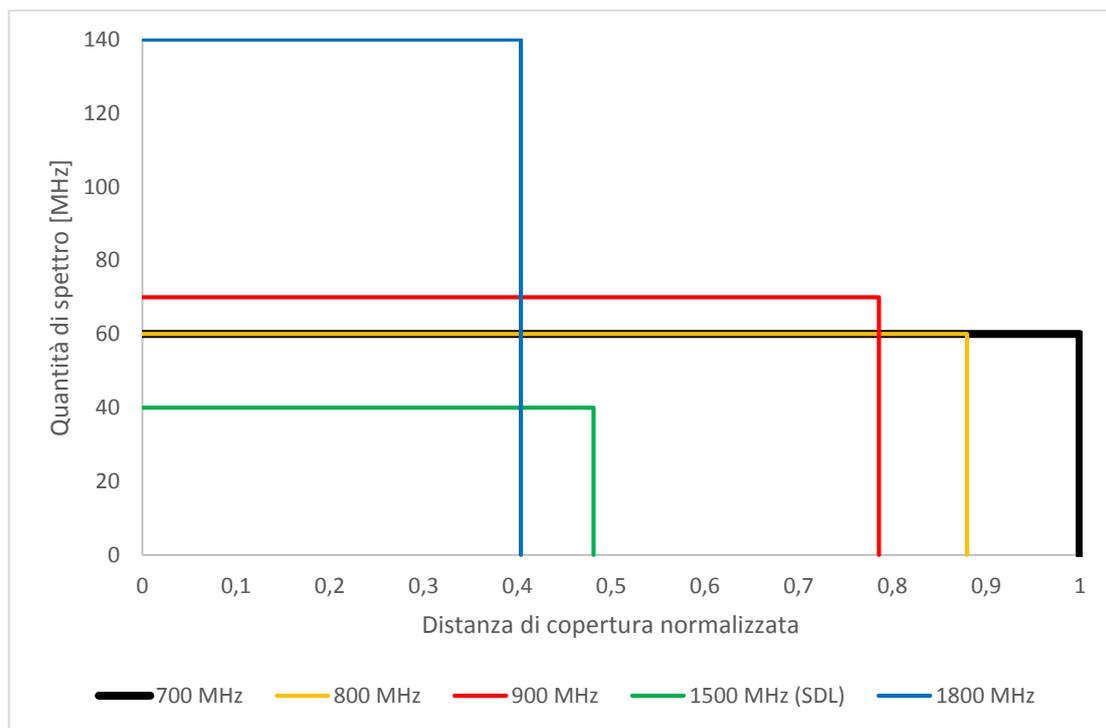


Figura 1: Quantità complessiva di frequenze assegnate in Italia in rapporto alla stima della distanza di copertura normalizzata alla banda 700 MHz.

Il precedente grafico presenta una duplice vista: da un lato offre una valutazione quantitativa rispetto a quanto accennato in premessa circa i diversi livelli di copertura

² La stima riportata è stata ottenuta mediante modello di propagazione COST231-HATA, considerando valori dei parametri del modello rappresentativi di un tipico scenario radiomobile.

radiomobile ottenibili con ciascuna banda di frequenze in ragione delle loro differenti caratteristiche di propagazione (differenze che incrementano man mano che al confronto si aggiungono bande superiori, fino a considerare le frequenze al di sopra di 6 GHz); dall'altro lato, fornisce una rappresentazione del compromesso tra copertura radiomobile e capacità di trasmissione. Infatti, la quantità di spettro impiegata in un sistema radiomobile è un fattore (non l'unico, come di seguito verrà approfondito) direttamente legato alla velocità di collegamento ottenibile. Tipicamente, all'aumentare della gamma di frequenze vi è maggiore disponibilità di nuovi intervalli frequenziali in cui è possibile identificare ampi blocchi di spettro utilizzabili per aumentare la capacità di rete; motivo per cui, al fine di soddisfare i requisiti prestazionali dei futuri sistemi 5G in termini di *throughput*, è necessario reperire nuove bande di frequenza da impiegare possibilmente in maniera sinergica con le bande inferiori, già intensamente sfruttate.

Come si può notare dalla figura, la banda 700 MHz presenta le migliori caratteristiche di propagazione tra le bande radiomobili, ed è pertanto particolarmente indicata per ottenere ampie aree di copertura e migliore penetrazione *indoor*. Analoghe considerazioni, seppur con risultati moderatamente meno efficaci, sono valide per le bande 800 e 900 MHz. Ciascuna di queste tre bande, tipicamente considerate di copertura, offre tuttavia una minore quantità di spettro in confronto alla banda 1800 MHz, che d'altro canto ha caratteristiche propagative meno favorevoli. Ciò implica che, ad esempio, a parità di condizioni dello scenario radiomobile considerato, una stazione radio base (SRB) che utilizzasse tutte le frequenze nella banda 1800 MHz sarebbe in grado di offrire una capacità aggregata significativamente superiore a una SRB operante alle sole frequenze in banda 800 MHz, ma con una distanza di copertura radiomobile più che dimezzata.

Questo significa, tra l'altro, che all'aumentare della frequenza impiegata, per ottenere lo stesso livello di copertura radio in una determinata area occorre installare un numero via via maggiore di SRB³. Ciò implica per un operatore, in generale, la necessità di prevedere maggiori investimenti di rete.

³ Ovviamente con fattori di proporzionalità più accentuati rispetto a quelli mostrati in Figura 1, trattandosi di superficie da coprire e non di distanza lineare da raggiungere (come nel caso ad esempio dei collegamenti fissi punto-punto).

A tali considerazioni, appare qui opportuno aggiungere alcune ulteriori indicazioni riguardanti l'impatto della disponibilità di spettro sulla capacità di trasmissione ottenibile in un sistema radiomobile.

Come accennato, è noto che in un sistema di telecomunicazioni la capacità di un collegamento è direttamente proporzionale alla larghezza di banda del canale di trasmissione impiegato. Tuttavia, la larghezza di banda non è l'unico parametro ad avere impatto sulla capacità del sistema: per aumentare la capacità è infatti possibile incrementare anche altri parametri, quali il rapporto SINR (*Signal-to-Noise-plus-Interference Ratio*) e l'efficienza spettrale. Il primo può essere migliorato aumentando il numero di punti di accesso alla rete, ossia densificando la rete in modo da diminuire, in media, la distanza tra trasmettitore e ricevitore⁴; l'efficienza spettrale (misurata in bit/s/Hz) indica la capacità del sistema di trasmettere una specifica quantità di dati nell'unità di tempo utilizzando meno banda possibile, ed essendo legata alla particolare tecnica di trasmissione impiegata, può essere migliorata agendo sul tipo di modulazione e di codifica, così come mediante l'adozione di tecnologie sempre più avanzate, quali ad esempio *Massive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)*.

Pertanto, la mera dotazione spettrale di un operatore (e quindi il numero e/o l'ampiezza di canali radio a propria disposizione), pur restando un fattore rilevante per lo sviluppo della propria rete radio, e quindi per la definizione delle proprie strategie di *business*, rappresenta solo uno dei fattori determinanti nell'ottica della competizione nel mercato radiomobile, in quanto va inquadrato all'interno di un più ampio contesto di pianificazione di rete al fine di valutare l'effettiva capacità aggregata e, soprattutto, l'effettiva capacità *retail* di ciascun operatore. Peraltro, questa dipende anche dalla dimensione della propria base clienti⁵. Alla luce di ciò, il quadro di pianificazione di

⁴ Anche per tale ragione negli ultimi anni l'ecosistema radiomobile ha registrato un processo evolutivo verso le c.d. "reti eterogenee" (*Heterogenous Network* o *HetNet*), cioè architetture di rete ibride, caratterizzate dall'integrazione tra celle radiomobili di varia tecnologia e dimensione (dalle tradizionali macro-celle fino alle *small cell* di tipo pico- e femto-cellulare), utilizzate per incrementare la velocità trasmissiva disponibile agli utenti finali in aree ad elevata densità di traffico.

⁵ Infatti, poiché lo spettro radio è un mezzo di trasmissione condiviso, la capacità aggregata disponibile viene suddivisa tra gli utenti attivi all'interno della cella radiomobile (secondo criteri differenti a seconda della modalità di accesso multiplo della particolare tecnologia considerata). Pertanto, in linea generale un operatore che abbia mediamente meno *subscriber* uniformemente distribuiti all'interno di un'area, a parità di condizioni dello scenario radiomobile potrebbe erogare analoghe capacità per utente pur disponendo di minore banda di un altro operatore la cui *customer base* risulti sensibilmente superiore.

rete di ogni operatore include opportuni strumenti (tra cui, ad esempio, tecniche di ottimizzazione, densificazione dei punti di accesso alla rete, architetture di tipo HetNet) mediante i quali è possibile in generale sopperire ad alcuni *gap* di risorse spettrali rispetto eventualmente ad altri operatori.

Inoltre, giocano un ruolo importante anche le caratteristiche degli apparati e dei terminali utilizzati (ad esempio, si pensi all'aumento di *performance* ottenibile con apparati in grado di supportare le più recenti specifiche tecniche in ambito ETSI e 3GPP relative alle possibili combinazioni e modalità d'implementazione della *carrier aggregation*), nonché ulteriori aspetti rilevanti in ambito pianificazione, tra cui il numero e la posizione geografica delle stazioni radio base, le caratteristiche di radiazione degli impianti rice-trasmissivi, il tipo di ambiente di propagazione dei segnali radio, lo specifico scenario interferenziale, etc. Tutti questi fattori rappresentano quindi anche caratteristiche distintive degli operatori e della loro capacità di fare impresa.

Da quanto brevemente descritto circa le molteplici variabili da tenere in considerazione nella fase di pianificazione di sistemi di radiocomunicazione, che tipicamente generano un processo decisionale complesso e articolato, è facile comprendere come, allo stato, l'innovazione tecnologica e il *network planning* siano degli *asset* strategici per gli operatori, in grado di rappresentare *driver* competitivi non meno rilevanti della propria dotazione spettrale.

Tanto descritto, si passa nel seguito all'analisi della dotazione spettrale dei singoli operatori nelle tre categorie di frequenze identificate (basse, medie e alte).

2.2. Frequenze inferiori a 3 GHz

La seguente tabella descrive schematicamente la situazione regolatoria delle bande di frequenza al di sotto di 3 GHz i cui diritti d'uso sono stati assegnati o si prevede saranno di prossima assegnazione (come nel caso della banda 700 MHz, oggetto delle disposizioni della legge di bilancio 2018). In particolare, per ciascuna banda si riporta:

- l'intervallo di frequenze oggetto di diritti d'uso, con indicazione tra parentesi della relativa tratta di trasmissione, ossia *uplink* (UL) o *downlink* (DL), laddove prevista;
- la modalità di *duplexing* (*Frequency Division Duplex* o *Time Division Duplex*) – se non prevista, si tratta di banda destinata all'uso in modalità *supplemental downlink* (SDL);
- la tipologia di utilizzazione come prevista dal vigente Piano Nazionale di Ripartizione delle Frequenze (PNRF) nonché dalle decisioni in ambito comunitario relative all'uso armonizzato delle bande di frequenze;
- la generazione di sistemi radiomobili attualmente impiegati (2G, 3G, 4G) o previsti (come ad esempio nel caso del 5G per la banda 700 MHz);
- l'anno di scadenza dei relativi diritti d'uso (tale termine non è indicato in caso di banda da assegnare).

Banda [MHz]	Intervallo frequenze assegnate [MHz]	Duplexing mode	Tipologia d'uso	Sistemi radiomobili attualmente impiegati (o previsti)	Scadenza diritti d'uso
700	703-733 (UL) 758-788 (DL)	FDD	IMT	4G/5G	diritti d'uso da assegnare
800	791-821 (DL) 832-862 (UL)	FDD	IMT	4G	2029
900	925-960 (DL) 880-915 (UL)	FDD	GSM/IMT	2G/3G	2029
1500	1452-1492 (DL) ⁶	-	MFCN SDL	4G	2029
1800	1810-1880 (DL) 1715-1885 (UL)	FDD	GSM/IMT	2G/4G	2029
2100	1900-1920	TDD	IMT	3G/4G	2021/2029
	1920-1980 (UL) 2110-2170 (DL)	FDD			
2600	2570-2600	TDD	IMT	4G	2029
	2510-2570 (UL) 2630-2690 (DL)	FDD			

Tabella 1: Situazione regolatoria delle bande di frequenza al di sotto di 3 GHz.

⁶ Sono al momento in corso a livello comunitario le attività per armonizzare ulteriori frequenze al di sotto e al di sopra della porzione assegnata, da utilizzare sempre in modalità SDL, all'interno delle porzioni 1427-1452 MHz e 1492-1517 MHz, che sono comunque occupate da altri servizi e necessitano quindi del relativo *refarming*.

La seguente figura mostra, per ciascuna delle bande radiomobili inferiori a 3 GHz già assegnate (quindi ad esclusione della sola banda 700 MHz), la dotazione spettrale⁷ dei singoli operatori⁸.

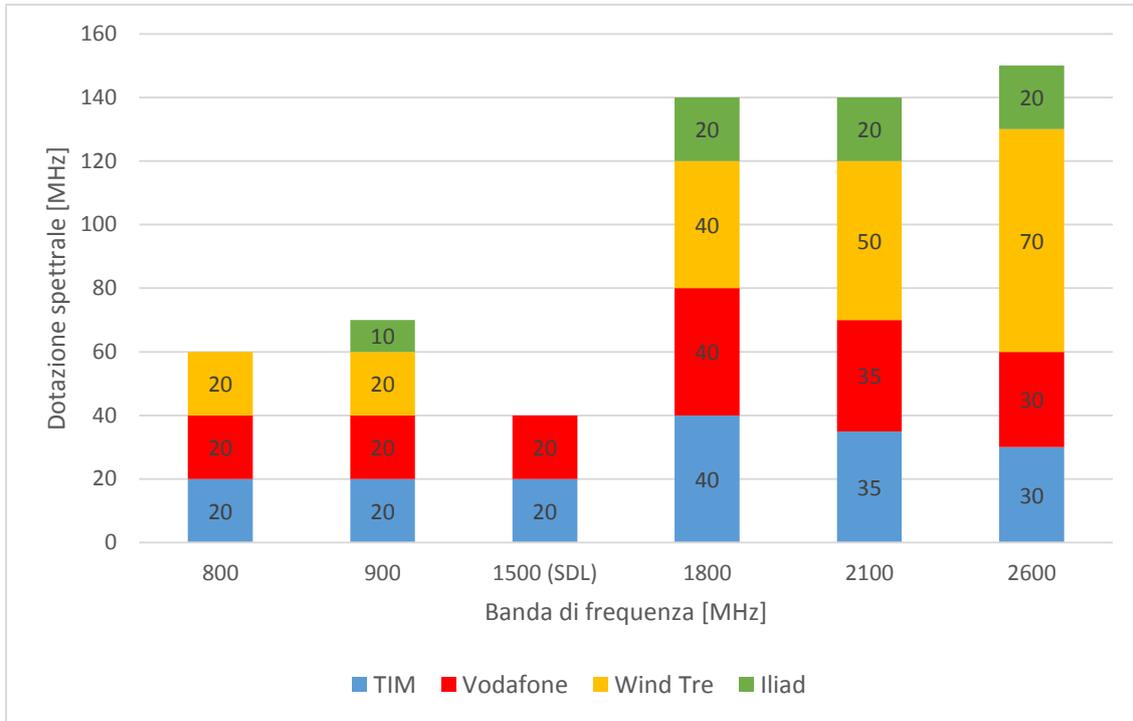


Figura 2: Dotazione spettrale dei titolari di diritti d'uso nelle bande radiomobili fino a 3 GHz

Nelle bande fino a 2 GHz, i valori mostrano una situazione di sostanziale parità di dotazione spettrale tra i tre principali operatori: i 20 MHz di spettro in più a disposizione di TIM e Vodafone rispetto a Wind Tre sono dovuti all'aggiudicazione, avvenuta nel 2015, dei diritti d'uso della banda SDL 1452-1492 MHz (c.d. banda L). Come riportato nella precedente tabella, questi 20 MHz sono utilizzabili esclusivamente per *supplemental downlink*, ossia nella tratta di trasmissione dalla stazione radio base al

⁷ Si precisa che nella presente analisi, laddove non diversamente specificato, viene sempre riportata la dotazione spettrale complessiva di ciascun titolare di diritti d'uso nelle bande considerate, ottenuta sommando tutti i MHz (FDD, TDD ed eventualmente SDL) a propria disposizione indipendentemente dal verso di trasmissione (DL o UL). Ad esempio, nell'ipotesi in cui un operatore sia titolare di diritti d'uso per complessivi 20 MHz FDD in una determinata banda, verrà considerata una dotazione spettrale di 40 MHz; se nell'intervallo di frequenze fino a 3 GHz un operatore dispone di 10 MHz FDD e 30 MHz TDD, la sua dotazione spettrale in quel determinato intervallo sarà pari a 50 MHz; etc.

⁸ La dotazione spettrale considerata per Iliad è quella a regime.

terminale d'utente, tipicamente allo scopo di incrementare la velocità di fruizione dei dati in determinati scenari radiomobili.

In tali bande fino a 2 GHz, l'operatore nuovo entrante Iliad ha a disposizione a regime 30 MHz di spettro (ossia un blocco da 2x5 MHz in banda 900 MHz e due blocchi da 2x5 MHz nella banda 1800 MHz).

Ad eccezione di parte della banda 2100 MHz, la scadenza dei diritti d'uso delle frequenze nelle bande radiomobili fino a 3 GHz è ormai generalmente allineata al 31 dicembre 2029 per tutte le bande di frequenza, anche come risultato del prolungamento dei diritti d'usi in banda 900 e 1800 MHz recentemente operato ai sensi delle misure di cui alla legge di Bilancio 2017. Tali bande vedono prevalentemente, e sempre di più nel medio termine, l'impiego di sistemi radiomobili di tipo 4G (con l'adozione ormai diffusa della *carrier aggregation*), fermo restando il rispetto degli obblighi GSM nelle bande 900 e 1800 MHz⁹.

La banda 700 MHz (i cui diritti d'uso sono stati finora assegnati a livello europeo solo in Francia e Germania, nel 2015, e in Finlandia, nel 2016) sarà oggetto di assegnazione in Italia nel corso del 2018 sulla base delle disposizioni contenute nella legge di bilancio, con disponibilità delle frequenze per gli aggiudicatari a partire da luglio 2022 ai sensi dell'art. 1, comma 1028, della citata legge. Pertanto, si prospettano ulteriori risorse spettrali FDD nel *range* fino a 2 GHz, per complessivi 2x30 MHz¹⁰.

Nel seguente grafico viene riportata (in valore assoluto e in percentuale rispetto al totale delle risorse spettrali assegnate) la distribuzione delle risorse spettrali tra i titolari di diritti d'uso delle frequenze considerando sempre l'insieme delle bande radiomobili fino a 3 GHz.

⁹ L'Autorità, nell'ambito del procedimento concernente la proroga dei diritti d'uso delle frequenze in banda 900 e 1800 MHz, ai sensi della legge 11 dicembre 2016, n. 232, ha previsto l'obbligo minimo, in capo ai titolari dei predetti diritti d'uso, di garantire la continuità del servizio GSM e la relativa qualità come prevista allo stato fino al termine del 30 giugno 2022, indicando la possibilità di rivedere tale termine, in misura proporzionata e giustificata, mediante apposita analisi da effettuarsi con almeno due anni di anticipo rispetto a tale data, anche alla luce dei futuri sviluppi del mercato specifico GSM nonché in generale dell'evoluzione dell'ecosistema tecnologico dei sistemi radiomobili.

¹⁰ Una delle opzioni previste dalla decisione tecnica della CEPT per l'uso di porzioni della banda 700 MHz (il c.d. *duplex gap* e le bande di guardia), indica la possibilità per gli Stati membri di mettere a disposizione in futuro (c.d. "opzioni nazionali") ulteriori 20 MHz all'interno dell'intervallo *duplex* per uso MFCN SDL.

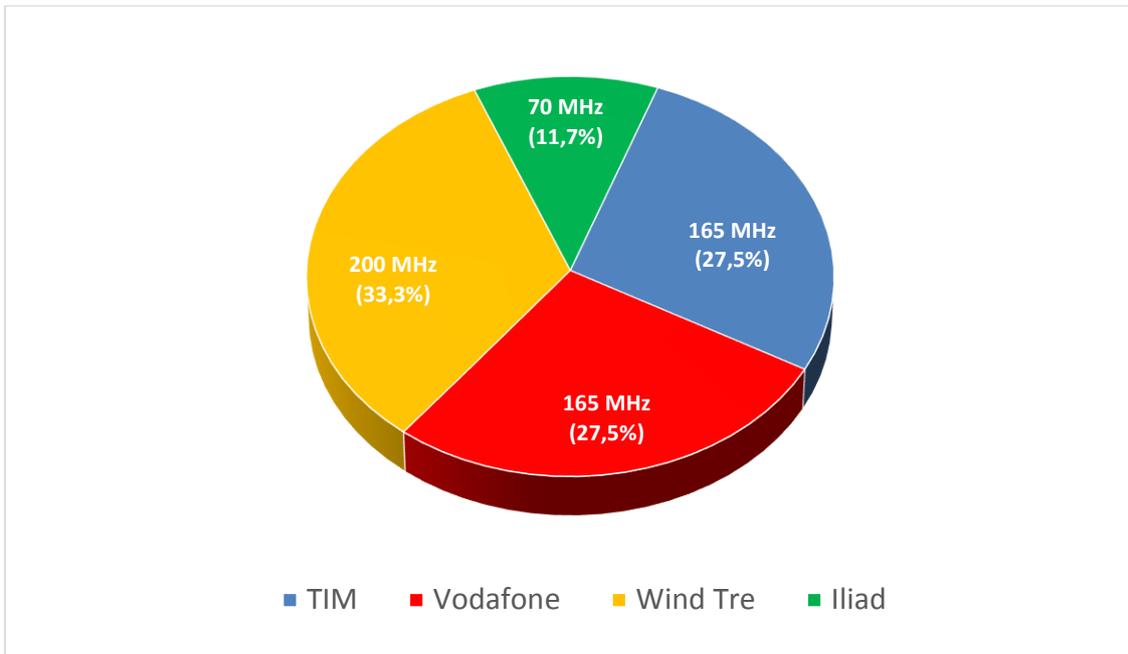


Figura 3: Dotazione spettrale complessiva (in MHz e in percentuale rispetto al totale delle risorse spettrali assegnate) dei titolari di diritti d'uso nelle bande radiomobili fino a 3 GHz.

La maggior dotazione spettrale complessiva di Wind Tre rispetto agli altri MNO è dovuta principalmente alla maggior disponibilità di risorse TDD: infatti, Wind Tre è titolare di diritti d'uso per 30 MHz nella porzione TDD della banda 2600 MHz, nonché dispone di 5 MHz in più rispetto agli altri due principali operatori nella parte TDD della banda 2100 MHz, anche come conseguenza della recente fusione societaria tra le due società originarie Wind Telecomunicazioni e H3G. Ciò porta, complessivamente nelle bande 2100 MHz e 2600 MHz, alla distribuzione di risorse mostrata nel seguente grafico.

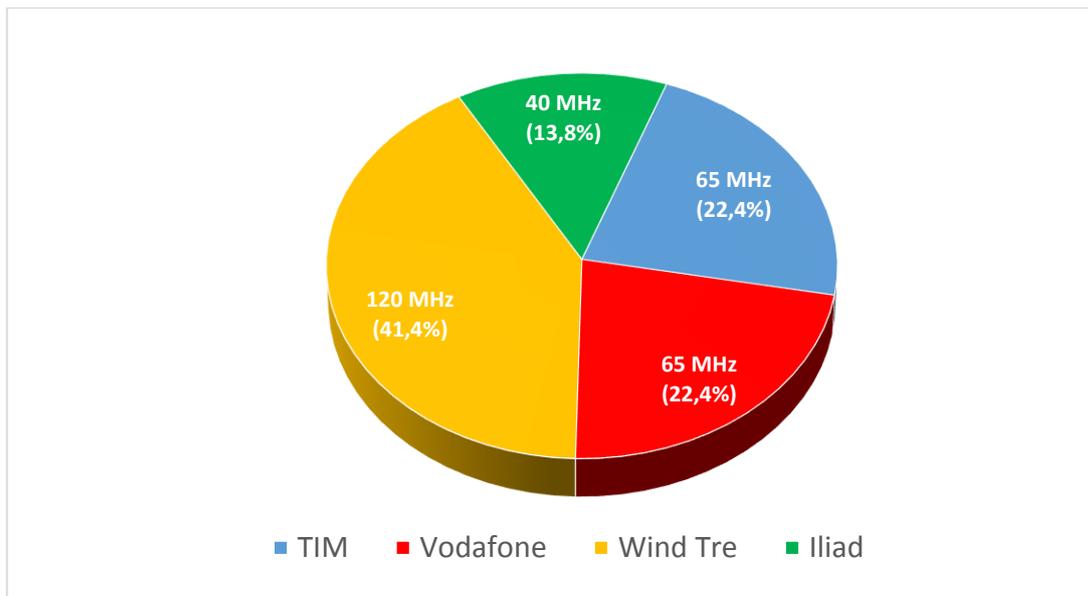


Figura 4: Dotazione spettrale complessiva (in MHz e in percentuale rispetto al totale delle risorse spettrali assegnate) nelle bande 2100 e 2600 MHz.

Occorre sottolineare come allo stato l'utilizzo delle predette risorse spettrali TDD sconti in generale un ritardo nella standardizzazione e diffusione degli apparati, quantomeno rispetto alle porzioni FDD delle bande mobili armonizzate a livello europeo impiegate in LTE¹¹. In particolare, la parte TDD della banda 2100 MHz (ossia l'intervallo di frequenze 1900-1920 MHz, come riportato nella precedente tabella) attualmente non è impiegata dagli operatori radiomobili per mancanza di adeguate tecnologie, ed è oggetto di attività di riarmonizzazione da parte degli organismi tecnici europei (CEPT). Inoltre, anche con riferimento alla banda 2600 MHz non si rileva, allo stato, un effettivo *roll-out* di reti radiomobili operanti in maniera significativa sulla relativa porzione TDD.

Considerando quindi soltanto i blocchi di frequenza FDD assegnati nelle predette bande 2100 e 2600 MHz, si ottiene la dotazione spettrale mostrata nelle seguenti figure.

¹¹ La stessa decisione comunitaria n. 2012/688/UE, al considerato 4, recita “[...] la sottobanda 1900-1920 MHz non accoppiata, benché concessa in licenza agli operatori in vari Stati membri, resta abbondantemente inutilizzata, mentre del tutto inutilizzata è la sottobanda 2010-2025 MHz non accoppiata, concessa in licenza agli operatori soltanto in pochi Stati membri”.

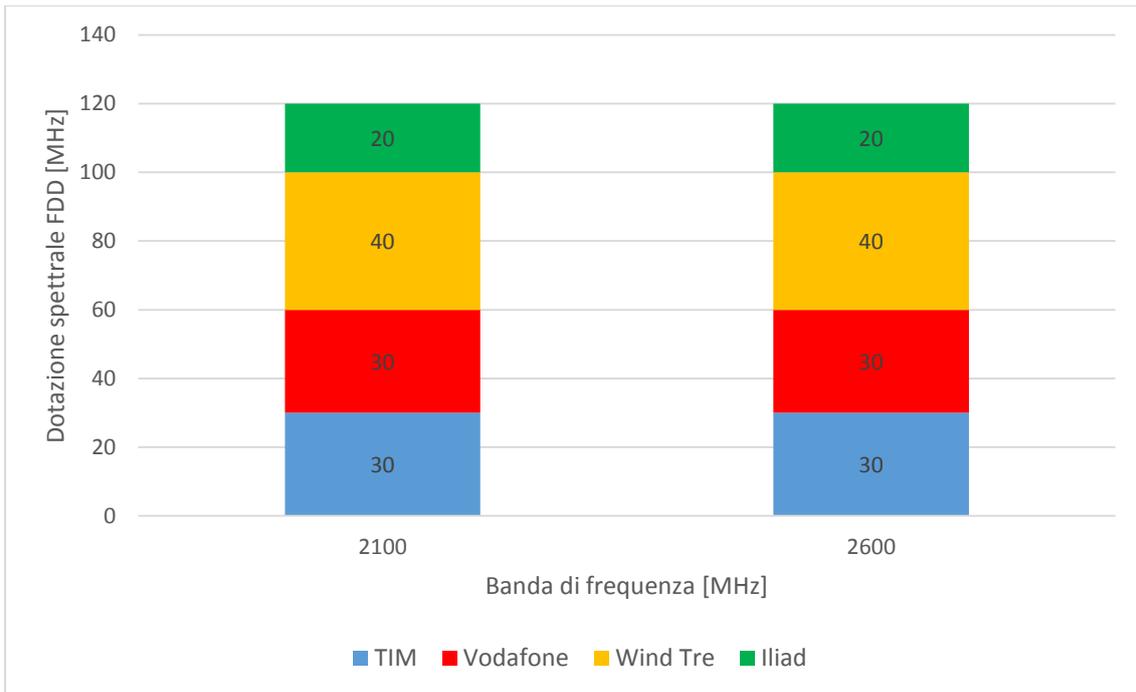


Figura 5: Dotazione spettrale degli operatori nelle bande 2100 e 2600 MHz considerando le sole porzioni di spettro FDD.

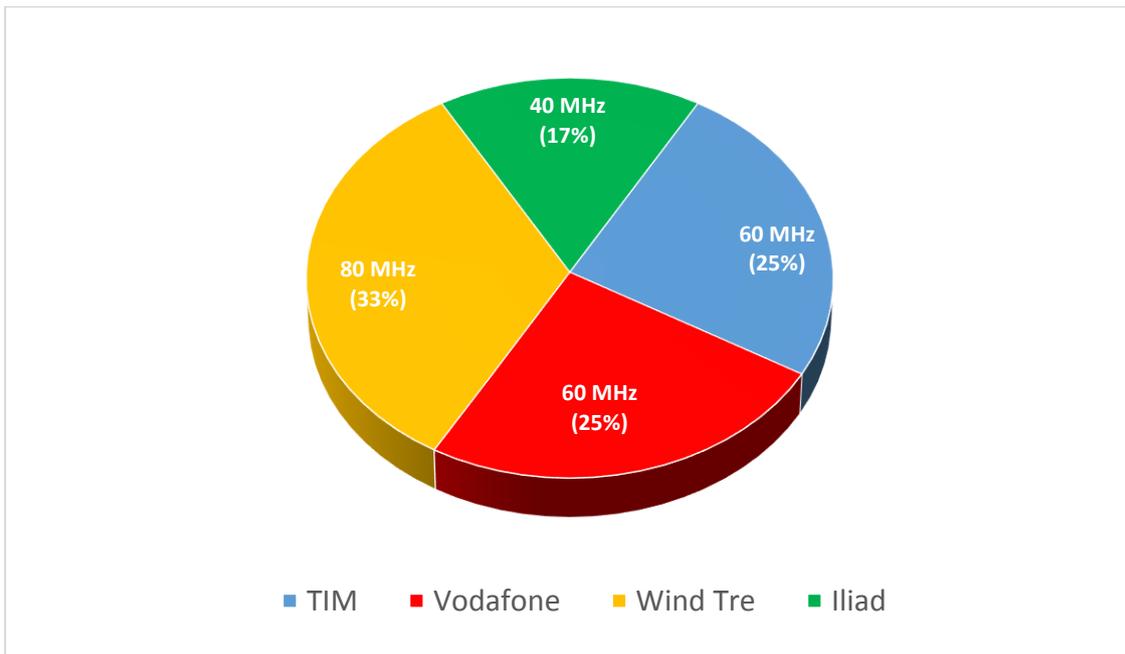


Figura 6: Dotazione spettrale FDD (in MHz e in percentuale rispetto al totale delle risorse spettrali assegnate) nelle bande 2100 e 2600 MHz.

Tenendo conto di quanto sopra, il seguente grafico riporta la dotazione spettrale degli operatori nazionali considerando tutte le tradizionali bande per servizi radiomobili

(ossia dalla banda 800 MHz fino alla banda 2600 MHz) ad esclusione delle sole porzioni TDD.

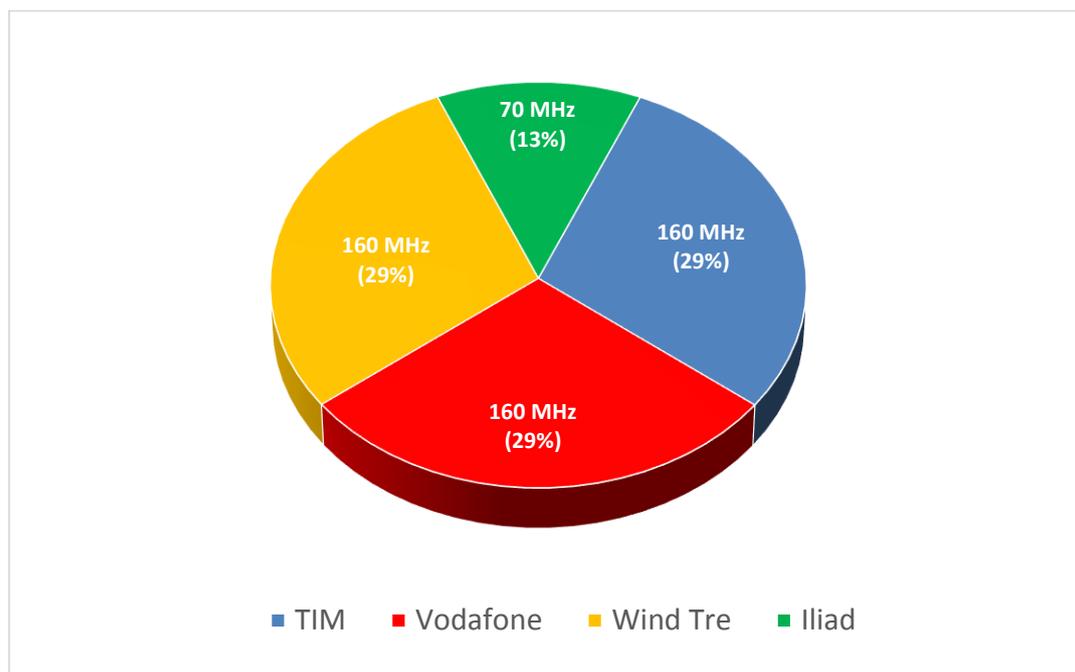


Figura 7: Dotazione spettrale (in MHz e in percentuale) dei titolari di diritti d'uso nelle bande radiomobili dalla 800 MHz alla 2600 MHz (ad esclusione delle sole porzioni TDD).

Nell'intervallo di frequenze fino a 3 GHz, descritto nella precedente tabella, rientra anche la banda 2300-2400 MHz, destinata presumibilmente all'uso di tipo MFCN. Tuttavia, le attività finalizzate all'armonizzazione di tale banda, che attualmente è impiegata da utilizzazioni del servizio fisso, servizi *Programme Making and Special Events* (PMSE, prevalentemente collegamenti video) nonché applicazioni da parte del Ministero della Difesa, sono al momento rallentate. Inoltre, come emerso anche nell'ambito della consultazione pubblica di cui alla delibera n. 121/16/CONS, concernente l'accesso condiviso allo spettro in modalità "*Licensed Shared Access*" (LSA) per sistemi terrestri di comunicazioni elettroniche, la banda 2300-2400 MHz viene indicata quale prima candidata all'implementazione dell'approccio LSA, in virtù delle regole e architetture di sviluppo già quasi completate in ambito di standardizzazione, nonché delle sperimentazioni già svolte a livello europeo, tra cui il progetto pilota italiano avviato nel 2015 dal MISE insieme al *Joint Research Center* della Commissione europea. Occorrerà quindi verificare se tali previsioni saranno confermate al momento di una possibile decisione di armonizzazione, al fine di rendere alcune porzioni della banda 2.3-2.4 GHz utilizzabili in modalità LSA per garantire la

protezione delle predette utilizzazioni esistenti. In tal caso, posto che occorrerebbe identificare le porzioni da destinare all'uso MFCN e predisporre le opportune misure di *refarming*, nell'ambito delle procedure di assegnazione della banda occorrerebbe stabilire il c.d. *sharing framework* LSA, che prevede, tra l'altro, la definizione di zone di protezione, restrizione ed esclusione. Nella seguente figura è rappresentato un esempio di zona di esclusione (area racchiusa dai punti in rosso) relativa ad un tipico scenario LSA in cui il sistema *incumbent* è rappresentato da un ponte radio.

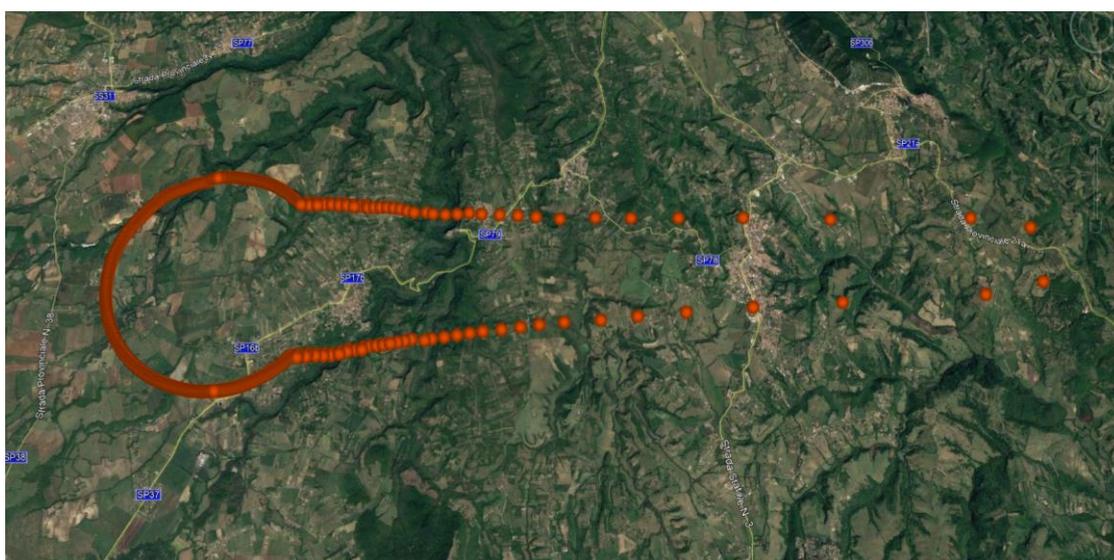


Figura 8: Esempio di zona di esclusione (area racchiusa dai punti in rosso) relativa ad un tipico scenario LSA con sistema *incumbent* rappresentato da un ponte radio.

2.3. Frequenze comprese tra 3 e 6 GHz

La seguente tabella, in analogia con quella riportata nella precedente sezione, descrive schematicamente la situazione regolamentare delle bande di frequenza comprese tra 3 e 6 GHz i cui diritti d'uso sono stati assegnati o si prevede saranno di prossima assegnazione, come nel caso della banda 3600-3800 MHz, oggetto delle disposizioni della legge di bilancio 2018.

Banda [MHz]	Intervallo frequenze assegnate [MHz]	<i>Duplexing mode</i>	Tipologia d'uso	Sistemi radiomobili attualmente impiegati (o previsti)	Scadenza diritti d'uso
3500	3437-3500 3537-3600	TDD	BWA IMT MFCN	4G	2023 ¹²
3700	3600-3800	TDD	MFCN	4G/5G	diritti d'uso da assegnare

Tabella 2: Situazione regolatoria delle bande di frequenza comprese tra 3 e 6 GHz.

Per quanto riguarda la banda 3.5 GHz, oggetto delle procedure di assegnazione di cui alla delibera dell'Autorità n. 209/07/CONS, sono stati assegnati nel 2008 i diritti d'uso per 3 lotti, ciascuno da 2x21 MHz¹³, in scadenza al 2023, di cui due su base macro-regionale e uno su base regionale.

Ai fini della comparazione della dotazione spettrale tra i vari soggetti titolari di diritti d'uso in tale banda, è quindi opportuno valutare i "MHz equivalenti", ossia l'effettiva disponibilità di risorse rispetto all'impiego della banda su scala nazionale¹⁴. Pertanto, i seguenti grafici mostrano la distribuzione di risorse spettrali nella banda 3.5 GHz normalizzate rispetto alla superficie territoriale e alla popolazione a livello nazionale.

¹² Come noto, con la delibera n. 503/17/CONS l'Autorità ha recentemente avviato una consultazione pubblica sulle richieste formulate da alcuni operatori di proroga della durata dei diritti d'uso delle frequenze in tale banda.

¹³ I restanti 74 MHz della banda risultano allo stato utilizzati dal Ministero della Difesa, secondo quanto riportato nel vigente Piano Nazionale di Ripartizione delle Frequenze (PNRF).

¹⁴ Ad esempio, EOLO S.p.A. è titolare di diritti d'uso di un lotto da 2x21 MHz solamente nella regione Valle d'Aosta. Pertanto, rispetto al caso di estensione nazionale dei diritti d'uso, tale Società ha un'effettiva disponibilità di spettro in banda 3.5 GHz proporzionale alla percentuale di popolazione/superficie territoriale della medesima regione, ossia, rispettivamente, 0,2% e 1,1%. I c.d. "MHz equivalenti" vengono quindi calcolati moltiplicando i complessivi 42 MHz di spettro del lotto per le predette percentuali di popolazione/superficie territoriale della regione. Nel caso di Linkem S.p.A., il valore di dotazione spettrale espresso in MHz equivalenti eccede i 42 MHz, in quanto tale Società è titolare di un diritto d'uso da 2x21 MHz su tutta Italia, di un secondo diritto d'uso sempre da 2x21 MHz su circa il 34% del territorio nazionale, e di un'ulteriore porzione di diritto d'uso da 1x21 MHz in Sicilia (a seguito di cessione da parte di Mandarin S.p.A., che è titolare della restante metà del diritto d'uso in questione).

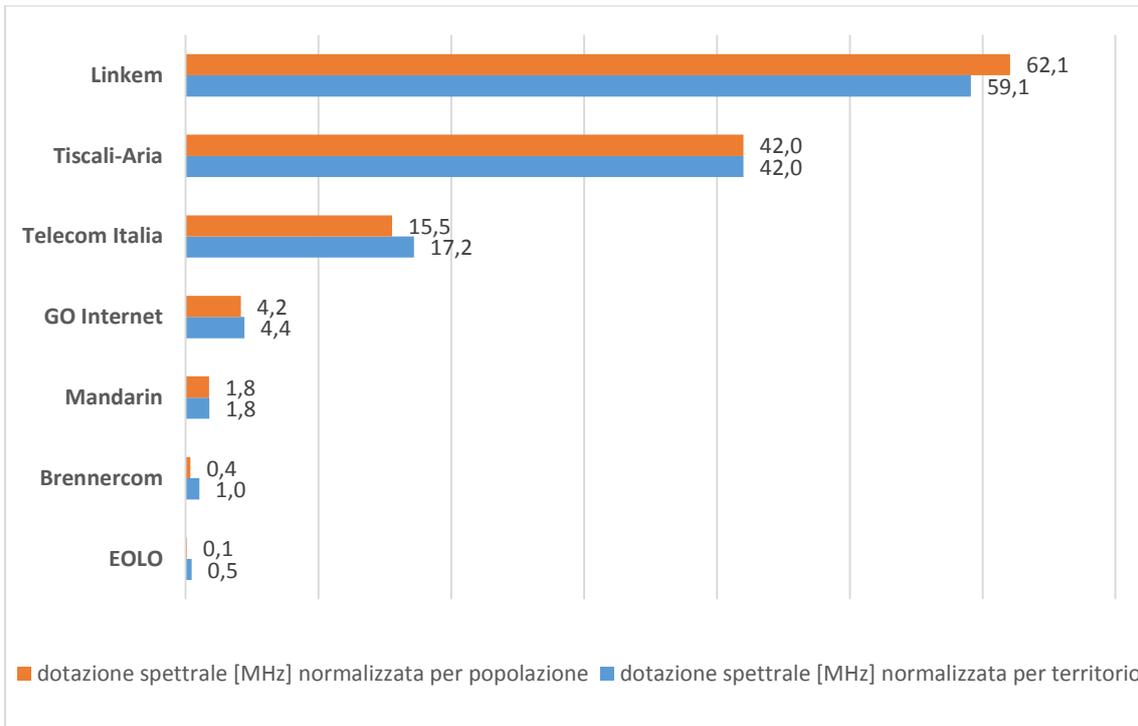


Figura 9: Dotazione spettrale normalizzata per territorio e per popolazione (MHz equivalenti) dei titolari di diritti d'uso delle frequenze in banda 3.4-3.6 GHz.

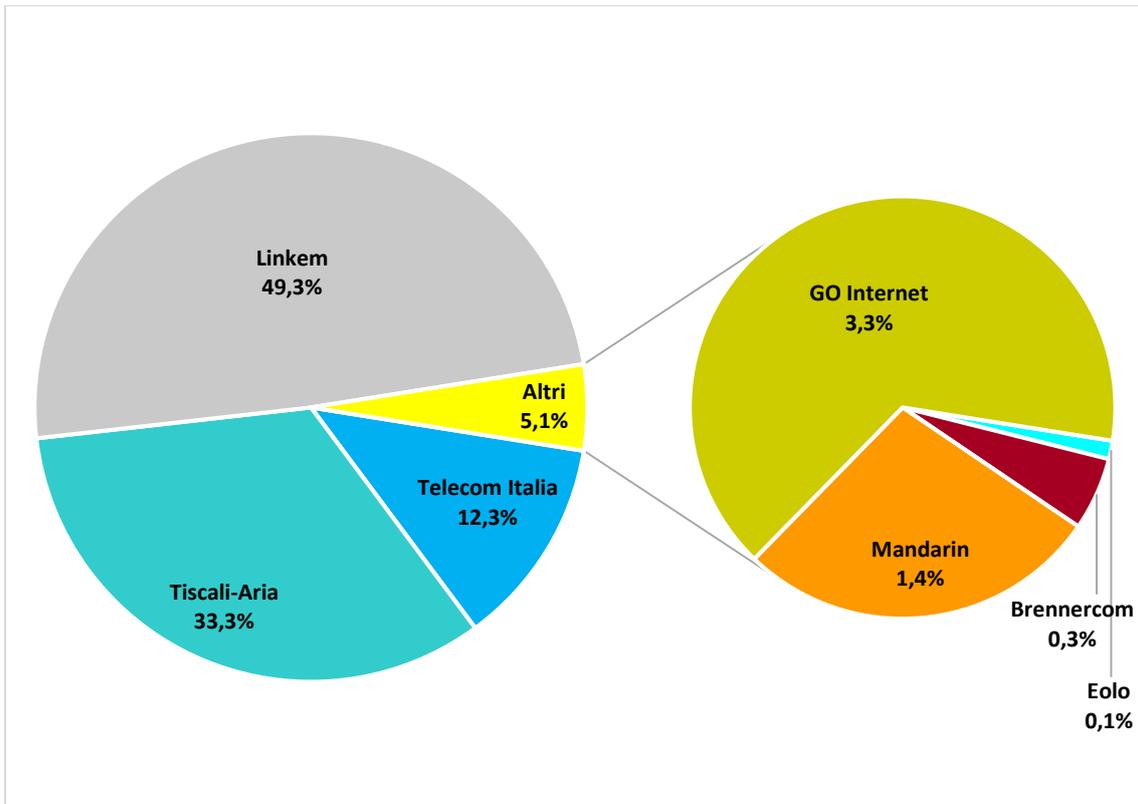


Figura 10: Distribuzione delle risorse spettrali della banda 3.5 GHz normalizzata per la popolazione nazionale.

Come si nota, non vi sono in media significative differenze tra i valori di “MHz equivalenti” ottenuti normalizzando per popolazione e quelli calcolati con normalizzazione per territorio.

Riguardo alle bande di futura assegnazione comprese tra 3 e 6 GHz, la banda 3600-3800 MHz risulta oggetto delle disposizioni contenute nella legge di bilancio 2018 per favorire lo sviluppo dei sistemi 5G¹⁵.

2.4. Frequenze superiori a 6 GHz

La seguente tabella, in analogia con quelle riportate nelle precedenti sezioni, descrive schematicamente la situazione regolatoria delle bande di frequenza al di sopra di 6 GHz i cui diritti d’uso sono stati assegnati o si prevede saranno di futura assegnazione (come nel caso della parte superiore della banda 26 GHz, oggetto delle disposizioni della legge di bilancio 2018).

Banda [GHz]	Intervallo frequenze assegnate [GHz]	Duplexing mode	Tipologia d’uso	Sistemi attualmente impiegati (o previsti)	Scadenza diritti d’uso
26	24,549-25,109 25,557-26,117	FDD	Fisso P-P Fisso P-MP	WLL	2022
	26,5-27,5	TDD	MFCN	4G/5G	diritti d’uso da assegnare
28	28,0525-28,4445 29,0605-29,4525	FDD	Fisso P-P Fisso P-MP	WLL	2022

Tabella 3: Situazione regolatoria delle bande di frequenza superiori a 6 GHz.

All’interno dell’intervallo 24,5-26,5 GHz (parte inferiore della banda 26 GHz), le porzioni di spettro oggetto di diritti d’uso riportate in tabella (da 24,549 a 25,109 GHz e

¹⁵ Come noto, le procedure per l’assegnazione e l’utilizzo di frequenze nella banda 3600-3800 MHz inizialmente definite dall’Autorità nel 2015 con la delibera n. 659/15/CONS, non sono poi passate allo stato attuativo stante l’emersione dei nuovi sistemi 5G.

da 25,557 a 26,117 GHz) comprendono un totale di 2x560 MHz utili per la canalizzazione FDD (7 blocchi da 56 MHz), inclusivi di bande di guardia (pari a 28 MHz ciascuna).

Nell'intervallo 27,5-29,5 GHz (banda 28 GHz), le porzioni di spettro oggetto di diritti d'uso riportate in tabella (da 28,0525 a 28,4445 GHz e da 29,0605 a 29,4525 GHz) comprendono un totale di 2x392 MHz utili per la canalizzazione FDD (3 blocchi da 112 MHz), inclusivi di bande di guardia (pari a 28 MHz ciascuna)

Sulla base dell'attuale stato di assegnazione di diritti d'uso delle predette bande, tutti aventi scadenza al 31 dicembre 2022, nella banda 26 GHz risultano liberi vari blocchi distribuiti sulla superficie nazionale¹⁶, mentre i blocchi della banda 28 GHz risultano completamente assegnati sull'intero territorio italiano.

La parte 26,5-27,5 GHz è, come detto, attualmente oggetto delle disposizioni della legge di bilancio 2018, e quindi ricadrà nell'ambito delle misure di assegnazione che l'Autorità è chiamata ad adottare.

I diritti d'uso delle frequenze nelle bande 26 GHz e 28 GHz sono attualmente assegnati secondo la distribuzione mostrata nei seguenti grafici, che, analogamente al caso della banda 3.5 GHz, tengono conto dell'effettiva disponibilità di risorse rispetto all'impiego della banda su scala nazionale ("MHz equivalenti"), ai fini della comparazione della dotazione spettrale tra i vari soggetti titolari di diritti d'uso. Anche per tale categoria di bande non si riscontrano mediamente differenze significative tra i valori ottenuti con i due predetti metodi di normalizzazione (per popolazione e per territorio).

¹⁶ La situazione delle assegnazioni nella banda 26 GHz rappresentata nella presente analisi è aggiornata ad ottobre 2017.

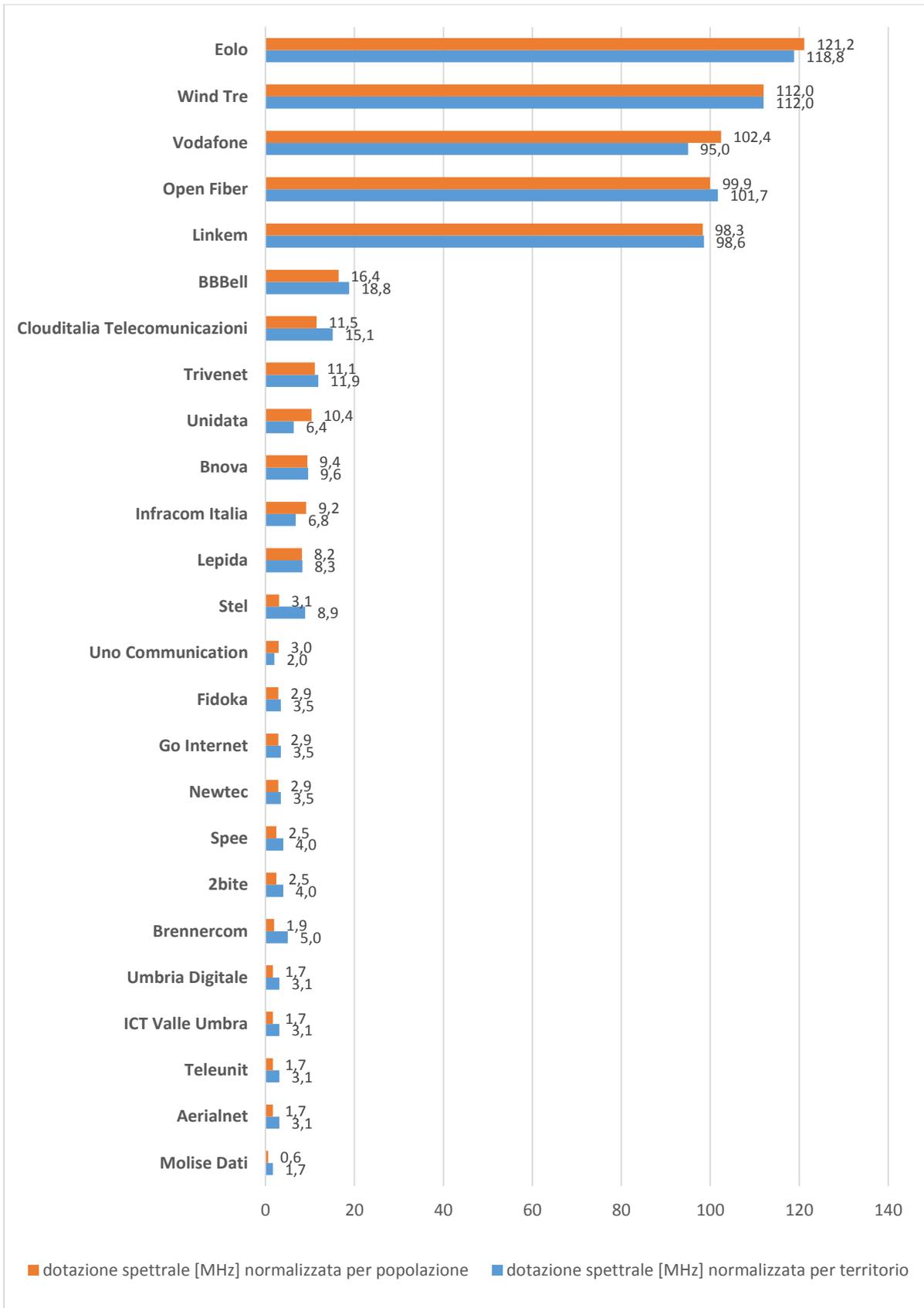


Figura 11: Dotazione spettrale normalizzata per territorio e per popolazione (MHz equivalenti) dei titolari di diritti d'uso delle frequenze in banda 26 GHz.

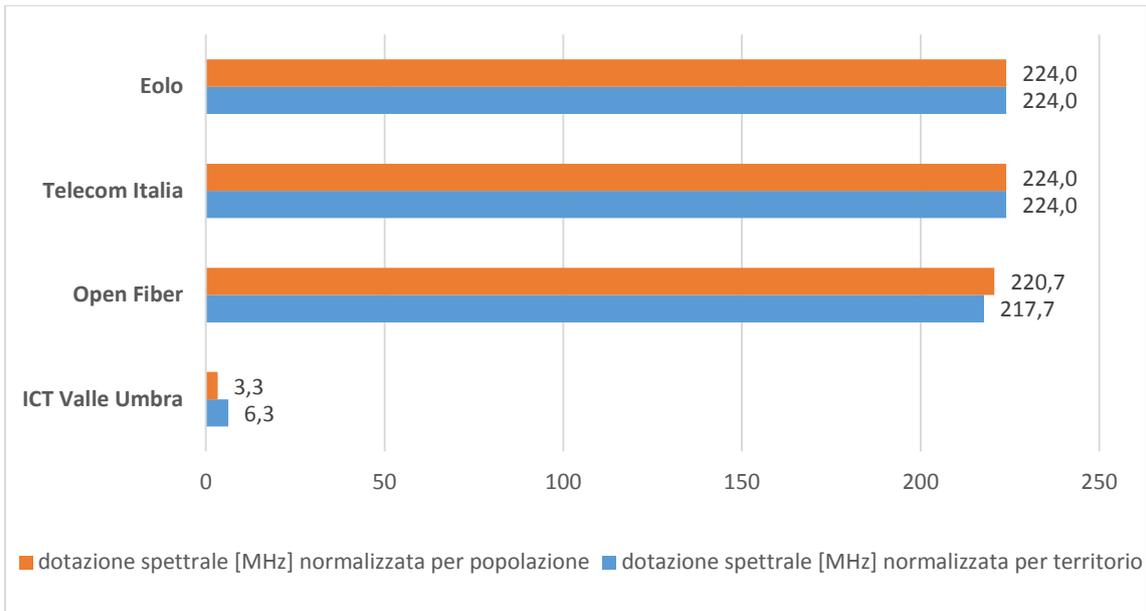


Figura 12: Dotazione spettrale normalizzata per territorio e per popolazione (MHz equivalenti) dei titolari di diritti d'uso delle frequenze in banda 28 GHz.

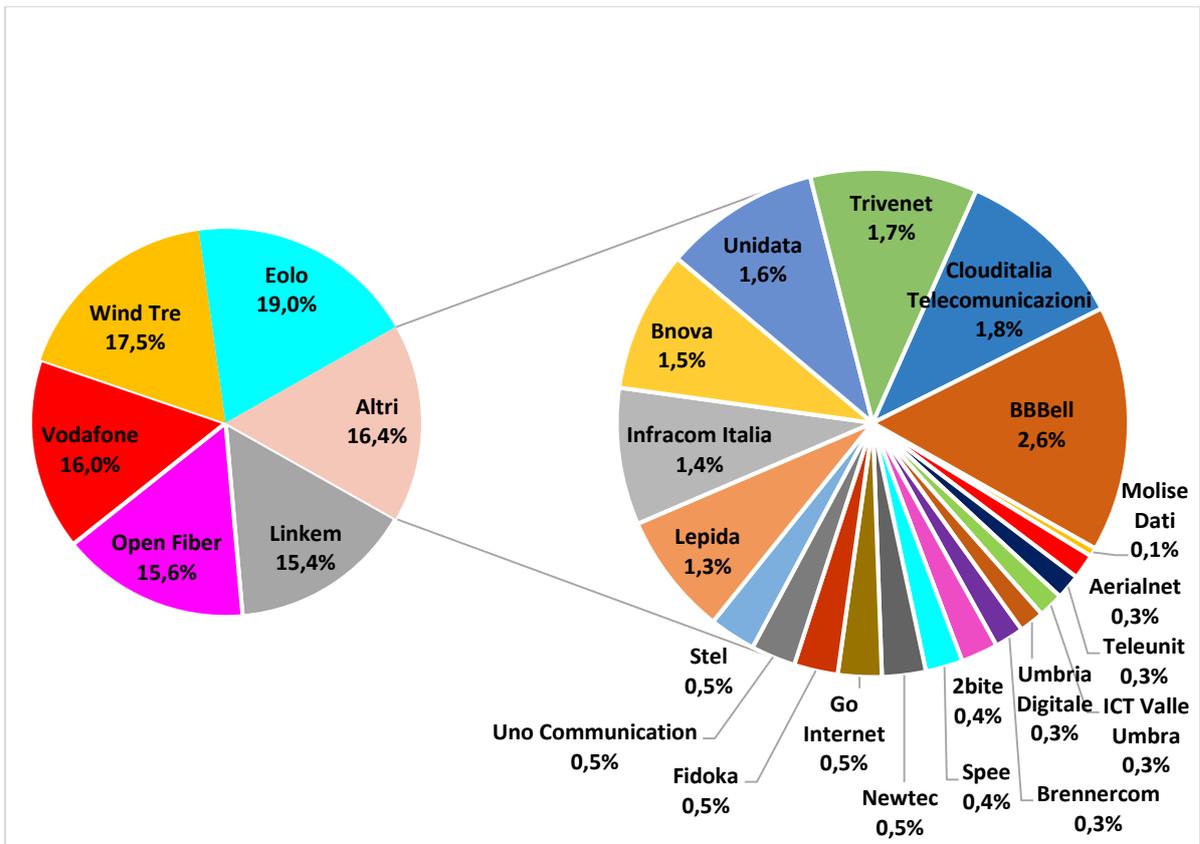


Figura 13: Distribuzione delle risorse spettrali della banda 26 GHz normalizzata per la popolazione nazionale.

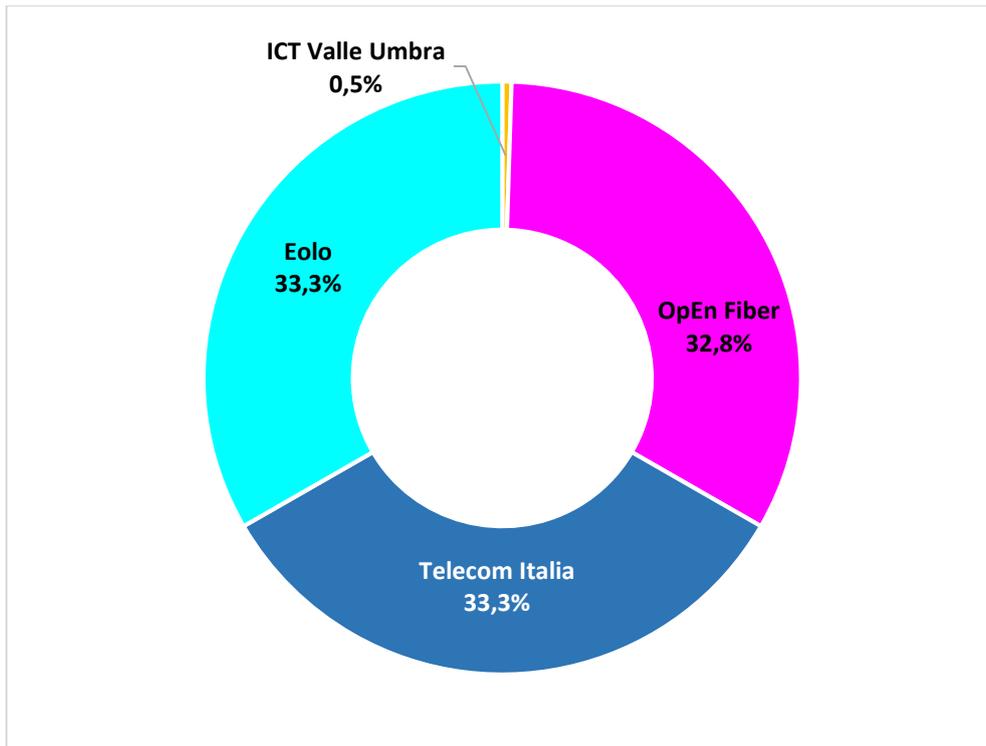


Figura 14: Distribuzione delle risorse spettrali della banda 28 GHz normalizzata per la popolazione nazionale.

Considerando insieme le due bande, si ottiene lo scenario rappresentato nella seguente figura.

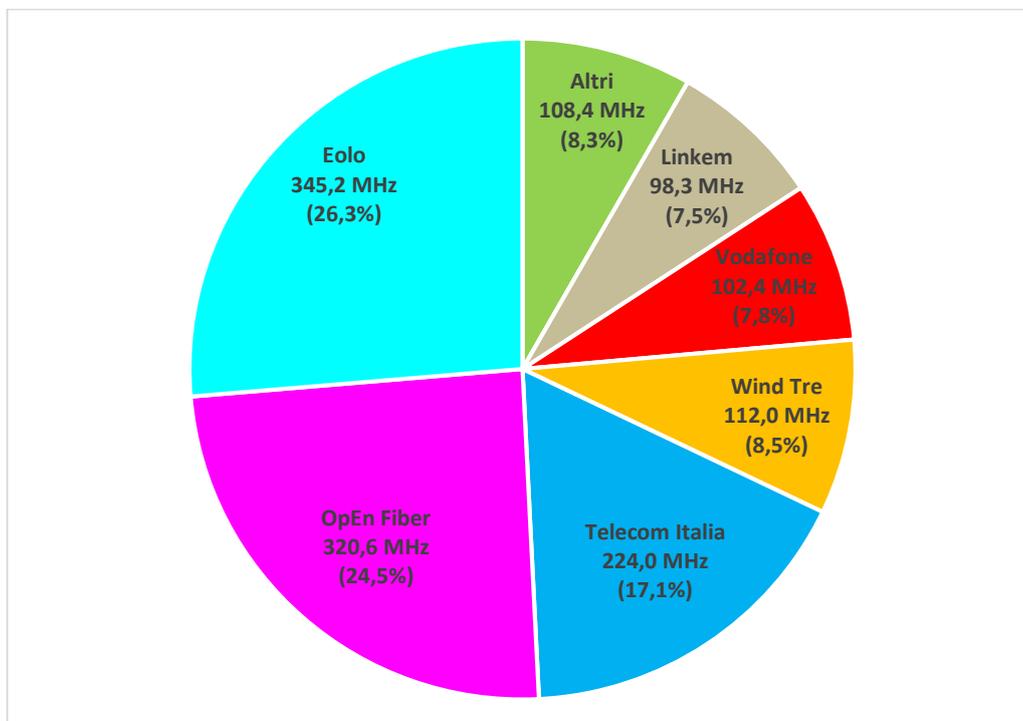


Figura 15: Distribuzione normalizzata per la popolazione nazionale delle risorse spettrali complessive (in MHz equivalenti e in percentuale) delle bande 26 e 28 GHz tra i titolari di diritti d'uso delle frequenze in tali bande.

Occorre infine notare che, mentre la banda 26 GHz (intesa complessivamente da 24,25 a 27,5 GHz), come accennato, fa parte delle bande pioniere del 5G in Europa, non così è, allo stato, per la banda 28 GHz.

2.5. Benchmark europeo

Per fornire un quadro comparativo a livello europeo riferito a tutte le bande tradizionalmente riconosciute quali bande radiomobili (seppur, come detto, aventi ciascuna le proprie caratteristiche di propagazione), nel seguente grafico sono riportate le dotazioni spettrali complessive degli operatori titolari di diritti d'uso di frequenze attivi nei principali Paesi europei considerando la gamma di frequenze fino a 3 GHz. Il numero di barre mostrate nel grafico per ciascun Paese indica il numero di operatori MNO ivi presenti.

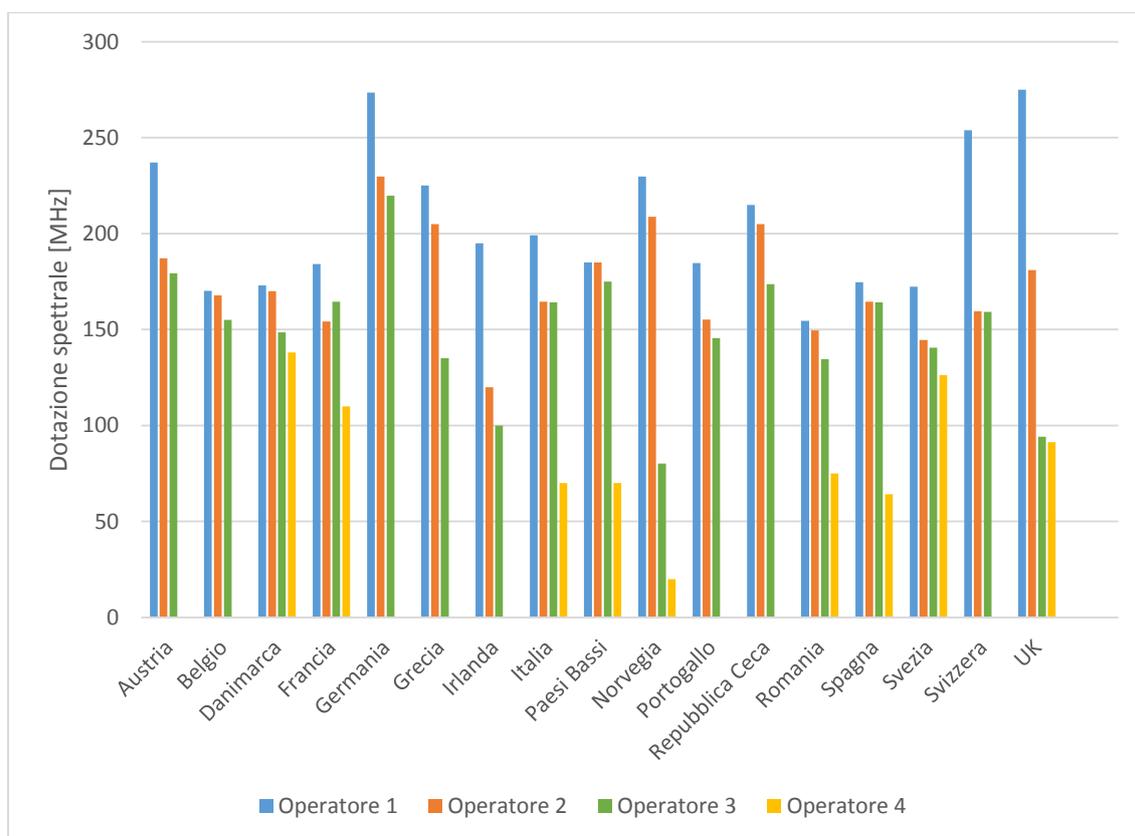


Figura 16: Dotazione spettrale complessiva degli operatori radiomobili dei principali Paesi europei nelle bande al di sotto di 3 GHz (bande 700, 800, 900, 1500, 1800, 2100, 2600 MHz).

Dall'analisi emerge che in diversi Paesi europei si riscontra la presenza di MNO le cui disponibilità di frequenze sono significativamente orientate verso le bande 2100 MHz e 2600 MHz rispetto alle bande inferiori a 2 GHz¹⁷, mentre a partire dalla banda 3.5 GHz l'attuale scenario delle applicazioni *wireless* e della platea dei soggetti titolari di diritti d'uso nei vari Paesi cambia decisamente (come d'altronde emerge anche dall'analisi del caso italiano, sopra riportata).

La seguente figura riporta la quantità complessiva di spettro assegnato nei vari Paesi europei esaminati considerando sempre le bande radiomobili inferiori a 3 GHz¹⁸. A fronte di un valor medio assegnato pari a 574 MHz, in Italia risultano assegnati complessivamente circa 600 MHz di risorse spettrali, valore superiore alla media e di poco inferiore alla Francia (15 MHz in meno), dove però le frequenze della banda 700 MHz sono state già assegnate. Pertanto, non appena saranno completate le procedure di gara previste nel 2018 ai sensi della legge di bilancio per l'assegnazione dei diritti d'uso delle frequenze della banda 694-790 MHz, l'Italia si dovrebbe porre ai primissimi posti.

¹⁷ Si pensi, ad esempio, ai casi dell'Austria e della Svezia: nel primo Paese, il terzo operatore ha a disposizione meno della metà delle risorse degli altri due MNO se si considera il *range* di frequenze fino a 2 GHz, ma dispone di una quantità di spettro nelle bande 2100 e 2600 MHz tale da eguagliare circa, a livello complessivo, quella del secondo operatore nazionale; in Svezia, gli altri operatori riducono sensibilmente il divario rispetto al primo MNO, proprio in virtù della loro cospicua dotazione spettrale nelle bande 2100 e 2600 MHz.

¹⁸ Alcune porzioni della banda 2.6 GHz non sono state destinate ai servizi di comunicazione elettronica, bensì sono rimaste, legittimamente, in uso alla Difesa.

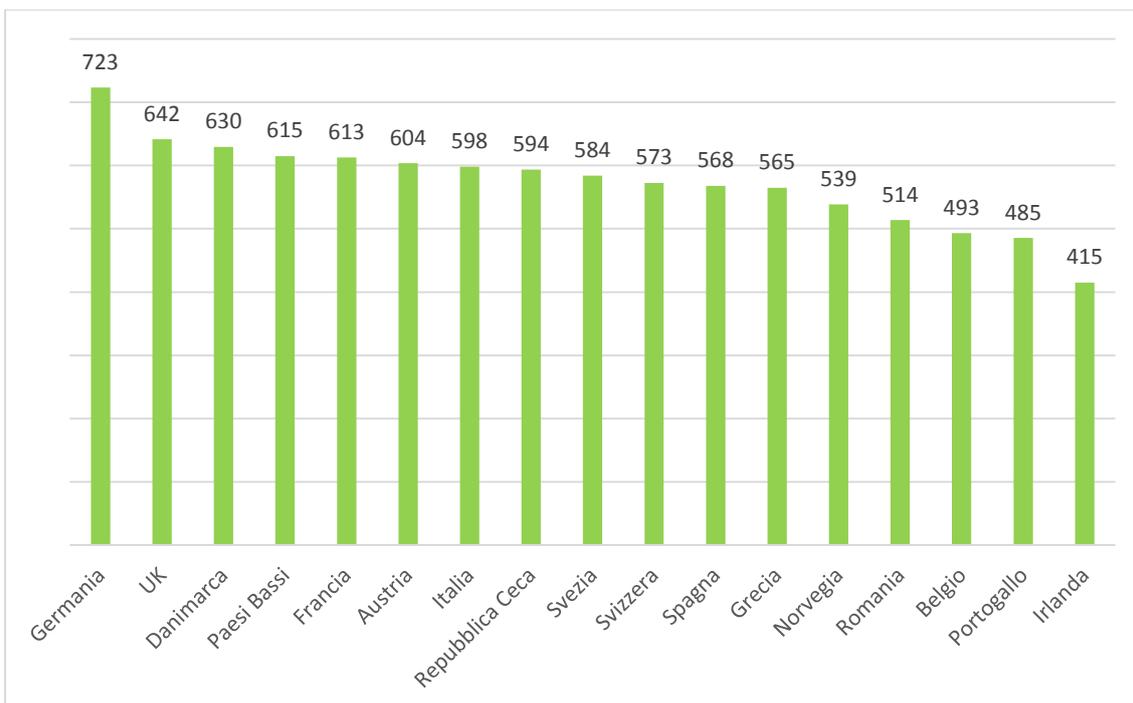


Figura 17: Quantità complessiva di spettro (espressa in MHz) assegnato nelle bande radiomobili fino a 3 GHz nei principali Paesi europei.

Per ciascuno dei Paesi europei indicati nei precedenti grafici, inclusa l'Italia, è stato poi calcolato il coefficiente di variazione della dotazione spettrale dei titolari di diritti d'uso. Tale parametro statistico denota la dispersione relativa rispetto alla media della distribuzione di risorse frequenziali, fornendo pertanto un'indicazione del grado di disparità della dotazione spettrale degli operatori in ciascun Paese considerato nella presente analisi. In altri termini, tanto più il valore del coefficiente è basso (al limite nullo), tanto più la dotazione spettrale è uniforme tra gli operatori.

La seguente figura mostra la distribuzione (ordinata in maniera decrescente) di tale coefficiente considerando tutte le bande radiomobili dalla 700 MHz alla 2.6 GHz. I diversi colori delle barre del grafico indicano il numero di operatori attivi in ciascun Paese: in blu e arancione i Paesi che registrano nel mercato radiomobile l'attività, rispettivamente, di 3 e 4 operatori; in giallo i Paesi con situazioni ibride, dove in generale sono operativi 4 MNO, ma per l'esercizio di talune bande di frequenza risultano formalmente 3 soggetti distinti, in ragione di *joint venture* tra Società.

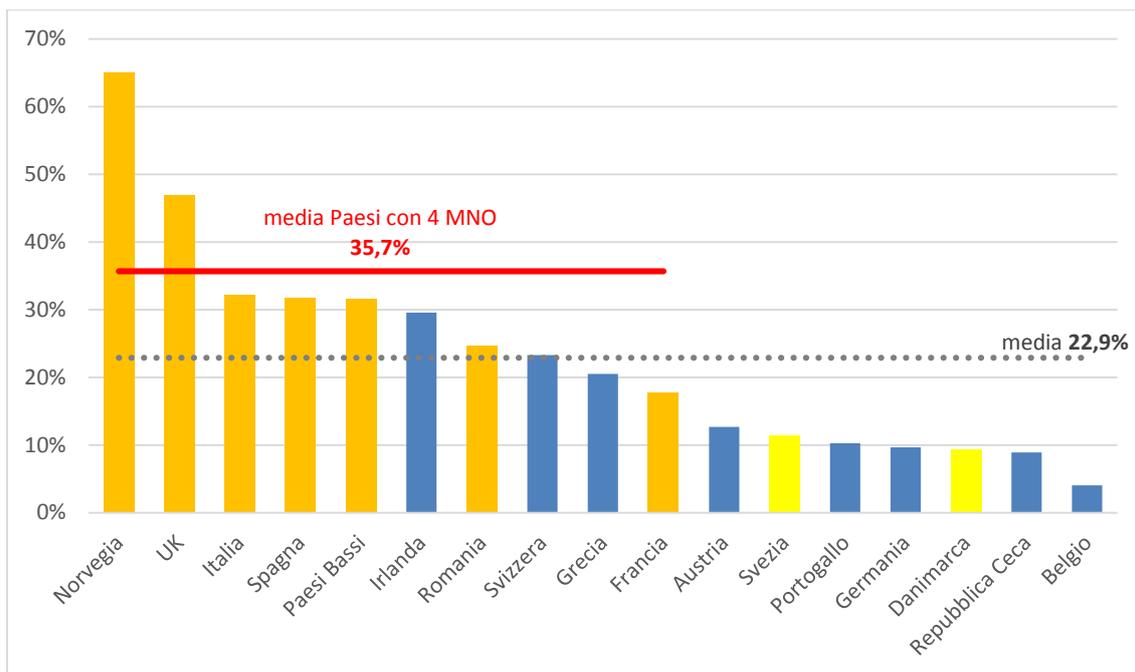


Figura 18: Coefficiente di variazione della dotazione spettrale complessiva dei titolari di diritti d'uso di frequenze nelle bande radiomobili fino a 3 GHz nei principali Paesi europei.

Si osserva innanzitutto che la distribuzione presenta sempre valori non nulli del coefficiente di variazione, ossia in nessuno dei Paesi esaminati esiste una *spectrum parity* tra gli operatori nazionali titolari di diritti d'uso di frequenze radioelettriche¹⁹.

Inoltre, dal precedente grafico è possibile osservare che le barre di color arancione sono prevalentemente raggruppate nella parte sinistra della distribuzione, ad indicare che tendenzialmente nei Paesi dove sono attivi 4 operatori si registra un maggior grado di disparità della dotazione spettrale tra gli operatori rispetto ai Paesi in cui operano 3 MNO²⁰. L'Italia presenta un valore (circa 32%) inferiore alla media calcolata considerando quest'ultima categoria di Paesi (circa 36%).

Alla luce di quanto sopra accennato circa l'attuale scarso impiego delle bande TDD a livello europeo, e considerando analogamente la scarsa diffusione dell'uso e in

¹⁹ Al riguardo, è possibile evidenziare che la *spectrum parity* di per sé non è un principio previsto dalla normativa europea, la quale peraltro, proprio nel prevedere procedure di assegnazione aperte e competitive, già di per sé ammette come possibile effetto il verificarsi di differenze tra gli operatori in termini di dotazione spettrale.

²⁰ Dall'analisi non sono invece emerse sensibili correlazioni tra il coefficiente di variazione e la quantità di frequenze complessivamente assegnate nei vari Paesi.

generale dell'assegnazione, allo stato, della banda L, appare altresì ragionevole ripetere la precedente analisi considerando le sole bande FDD, ossia le risorse spettrali effettivamente impiegate dagli operatori. Il seguente grafico mostra quindi i risultati relativi al coefficiente di variazione ottenuto calcolando la dotazione complessiva di spettro FDD nelle bande radiomobili inferiori a 3 GHz (ossia dalla banda 700 MHz alla banda 2.6 GHz), che oggi costituiscono sostanzialmente il pilastro della dotazione degli operatori per servizi radiomobili.

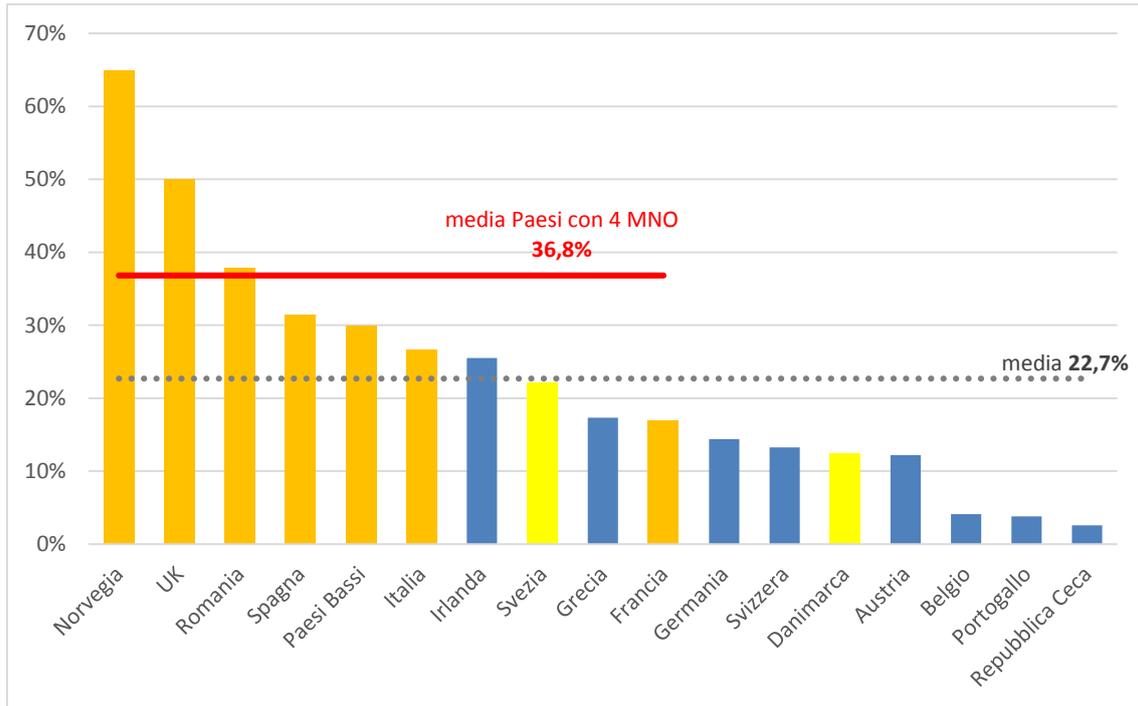


Figura 19: Coefficiente di variazione della dotazione spettrale FDD complessiva dei titolari di diritti d'uso di frequenze nelle bande radiomobili fino a 3 GHz nei principali Paesi europei.

Rispetto al precedente grafico, si osserva un lieve aumento della varianza della distribuzione dei coefficienti di variazione, ad indicare una situazione maggiormente disomogenea a livello europeo. In tal caso, l'Italia presenta un coefficiente di variazione (circa 27 %) che è ancor più al di sotto della media dei Paesi con 4 MNO attivi (circa 37%) e di poco superiore al valor medio calcolato considerando tutti i Paesi esaminati (circa 23%). Fra i Paesi con 4 operatori, dunque, l'Italia è del tutto in linea con la situazione europea.

3. Considerazioni conclusive

Come osservato nel corso della presente analisi, le differenti caratteristiche delle varie bande di frequenza hanno impatto sugli scenari d'uso delle stesse. Anche se il futuro sviluppo del 5G potrà apportare una maggiore integrazione di interfacce e tecnologie di accesso radio e una maggiore flessibilità nell'uso combinato e/o sinergico delle varie bande, occorrerà comunque considerare le peculiarità di queste in termini di propagazione radioelettrica e disponibilità di blocchi di spettro. Mentre è atteso che anche nell'era del 5G le tradizionali bande radiomobili giocheranno a lungo un ruolo chiave nel mercato per facilitare il raggiungimento del più ampio livello di copertura su scala nazionale, le gamme di frequenza più alte diventeranno utili per fornire agli utenti finali elevate velocità di trasmissione dati, specialmente in aree ad alta densità di traffico servite mediante soluzioni di tipo *small cell*. Inoltre, anche le bande medie potranno iniziare ad essere appetibili per la fornitura di servizi innovativi anche diffusi sul territorio. Per di più queste, e le bande ancora più alte (fino alle onde millimetriche), potranno essere di interesse anche per abilitare nuove tipologie di *service provider*, eventualmente anche su base maggiormente locale, e non necessariamente appartenenti alla categoria degli operatori di rete.

Pertanto, nell'esaminare la distribuzione delle risorse spettrali tra i soggetti titolari di diritti d'uso in Italia, appare evidente l'opportunità di distinguere le valutazioni sulla base della categoria di bande: bande basse, maggiormente idonee alla copertura radiomobile; bande alte, prevalentemente impiegate per incrementare le capacità trasmissive; bande intermedie tra copertura e capacità.

Dall'analisi svolta, in particolare tenendo conto del *benchmark* europeo, emerge poi che al momento la situazione nazionale sulla distribuzione dello spettro radiomobile appare in linea con quella degli altri Paesi sia in termini di dotazione spettrale complessiva degli operatori italiani, sia con riferimento al grado di uniformità della dotazione tra gli stessi. L'evoluzione di tale dotazione si è svolta nel tempo in maniera fisiologica, nel rispetto delle norme del quadro regolatorio e in linea con quanto richiesto nei processi di armonizzazione.

L'Autorità come noto è chiamata a definire le regole per l'assegnazione delle nuove risorse che vengono messe a disposizione dei servizi di comunicazioni elettroniche a seguito dei processi di armonizzazione mondiale e comunitaria.

Nell'ambito di tali attività, come è sempre stato fatto in passato, l'Autorità potrà utilizzare una serie di *tool* regolamentari, come misure a favore di possibili nuovi entranti, tra cui la previsione di riserve di (ragionevoli) porzioni di spettro, o misure anti-accaparramento (ad esempio, *cap* intra-banda e inter-banda), obblighi di accesso, di servizio o di utilizzo collettivo, meccanismi di *leasing* e *sharing*, etc. L'applicazione di tali misure regolamentari non dovrebbe in ogni caso seguire un approccio di tipo "*one size fits all*", bensì resta da valutare caso per caso a seconda dello scenario prospettato per l'assegnazione della specifica banda, considerate le sue caratteristiche e la relativa situazione di mercato. Tali misure potranno quindi favorire il più appropriato sviluppo della concorrenza nei mercati a valle, come *fine tuning* quindi della mera dotazione spettrale.

In ogni caso, quanto qui esposto in termini di analisi e considerazioni generali non costituisce alcun giudizio di merito da parte dell'Autorità rispetto alla situazione descritta di dotazione frequenziale, né vincolo o impegno circa le future attività dell'Autorità stessa.

Roma, 25 gennaio 2018