



Appendice IV

Lo sviluppo della DTT
in Europa e nel mondo



Scenari di transizione al digitale

PREMESSA

L'obiettivo di questo capitolo è di analizzare alcuni possibili scenari di transizione dalla situazione attuale a una situazione nella quale lo spettro venga totalmente utilizzato per le trasmissioni digitali. Per scenario di transizione intendiamo un processo che, in modo non traumatico e nel rispetto delle esigenze dei *broadcaster* e degli utenti, trasformi l'attuale assetto dell'emittenza televisiva in un nuovo assetto basato sulla tecnologia digitale. Elementi fondamentali del processo di transizione, in tutti i possibili scenari, sono:

- la conoscenza della situazione attuale (localizzazione e caratteristiche dei trasmettitori attualmente utilizzati);
- la convergenza verso una situazione interamente regolata dal Piano digitale, che garantisca la massima utilizzazione la risorsa spettrale;
- la compatibilità delle eventuali configurazioni intermedie con il Piano digitale;
- la limitazione dei disagi per l'utenza;
- la definizione di garanzie di equa ripartizione dei disagi e di non discriminazione all'accesso per i *broadcaster*.

IL PIANO DIGITALE

La struttura e la proprietà delle reti studiata nel Gruppo B consente di definire agevolmente una partizione ottimale dello spettro in reti nazionali, regionali e locali. Tale partizione ottimale (che diremo **Piano Digitale**) può essere effettuata tenendo conto dell'equilibrio necessario tra reti nazionali e reti regionali e dell'obietti-

vo di ottimizzare l'uso dello spettro e di massimizzare il numero e la qualità dei programmi ir-radiabili.

Il lavoro del Gruppo B può essere anche utilizzato per definire la partizione ottimale di una porzione limitata dello spettro (come ad esempio i 4 canali destinati alle trasmissioni digitali dal PNAF) o di una collezione di insiemi di frequenze disponibili in ogni sito.

In questo paragrafo sono illustrate alcune delle possibili configurazioni del Piano digitale a regime e le possibili modalità di utilizzo dei 4 canali destinati alle trasmissioni digitali dal PNAF.

Il Piano digitale: risorse disponibili a regime

Il documento finale del Gruppo B descrive alcune tipologie di rete a copertura nazionale caratterizzate da un diverso utilizzo della risorsa spettrale (reti a Singola Frequenza SFN, reti k-SFN, reti Multi-frequenza) e da altri tipi di servizio. Le conclusioni del Gruppo B possono essere così riassunte:

Ipotesi di base:

A. Tutte le reti considerate sono reti a copertura nazionale, ovvero definiscono i siti e le frequenze necessarie a coprire l'intero territorio nazionale. Infatti, è noto che l'effetto della modifica delle caratteristiche radioelettriche dei trasmettitori (*siting*) e dell'assegnazione delle frequenze ai siti deve essere simultaneamente verificato sull'intera rete nazionale.

B. Una rete a copertura nazionale può essere decomponibile in reti regionali o locali ovvero non decomponibile.

- Una rete nazionale si dice decomponibile in reti regionali se trasmettitori appartenenti a regioni diverse ed operanti alla stessa frequenza possono essere considerati interferenti senza che ciò provochi una drastica riduzione del servizio previsto. Questo implica, evidentemente, che trasmettitori appartenenti a regioni diverse possono trasmettere programmi diversi. In altre parole, una rete decomponibile in reti regionali può essere suddivisa in 21 diverse reti a servizio regionale. È importante anche osservare che una rete decomponibile a livello regionale può godere, localmente, di tutti i vantaggi offerti dalla composizione dei segnali utili nelle reti SFN.
- Una rete nazionale si dice decomponibile in reti locali (o di bacino) se è possibile considerare interferenti tutti i trasmettitori che operano alla stessa frequenza senza provocare una drastica riduzione del servizio previsto. In una rete nazionale decomponibile in reti locali si può ipotizzare che in ogni bacino venga irradiato un programma diverso. Evidentemente, una rete decomponibile a livello di bacino può essere suddivisa in reti provinciali (aggregando più bacini) o regionali.
- Una rete nazionale si dice non decomponibile se la sua decomposizione in sotto-reti regionali o locali provoca una drastica riduzione del servizio previsto. Questo è quanto accade alle reti SFN a copertura nazionale. In tali reti, infatti, l'utilizzo della stessa frequenza per programmi diversi in regioni adiacenti provoca, come è logico attendersi, un drastico degrado del servizio.

1. Le reti nazionali SFN garantiscono la massimizzazione dello sfruttamento della risorsa spettrale (ovvero la massimizzazione del numero di programmi a parità di frequenze utilizzate), ma non sono decomponibili a livello regionale o locale.

2. Le reti MFN (Multi Frequency Network) sono reti nazionali decomponibili a livello di bacino e possono essere decomposte in reti regionali e provinciali a fronte di una peggiore utilizzazione della risorsa spettrale (ciascuna rete MFN utilizza un minimo di 4 frequenze).

3. Le reti 2-SFN e 3-SFN (ovvero reti MFN a 2 o 3 frequenze con estensioni realizzate attraverso SFN locali) offrono il miglior compromesso tra l'efficienza nell'utilizzo dello spettro e l'esigenza di assicurare una flessibilità regionale e provinciale. Infatti, tali reti sono decomponibili a livello regionale e sub-regionale anche grazie all'uso locale di sotto-reti SFN.

Le precedenti osservazioni hanno come immediata implicazione che la struttura del Piano digitale potrà essere definita solo dopo aver definito quante e quali reti debbano essere decomposte e quali debbano essere le proporzioni tra reti nazionali e reti regionali e provinciali.

A combinazioni diverse di reti SFN e MFN (k-SFN), infatti, corrisponderanno valori molto diversi del numero di programmi nazionali e locali ricevibili dagli utenti.

Esaminiamo gli scenari estremi. Ipotizziamo di dedicare tutti i 55 canali (VHF e UHF) alle trasmissioni digitali e di trasmettere 4 programmi in ciascun *multiplex*. Lo scenario A, che massimiz-

Scenari di transizione al digitale

166

za il numero di programmi nazionali, corrisponde alla realizzazione di 55 mux SFN con un totale di 220 programmi nazionali non decomponibili in programmi regionali e locali; lo scenario B, che massimizza il numero di programmi locali irradiabili, corrisponde alla realizzazione di 13 mux MFN (che utilizzino 4 frequenze ciascuno) e di 3 mux SFN sui canali residui. I 13 mux MFN consentono di definire 52 programmi nazionali scalabili a $52 \times 21 = 1092$ programmi regionali. Di conseguenza, il numero totale di programmi irradiabili in ciascun bacino è pari a 64 ($52 + 12$). Di questi programmi, un terzo (pari a 22) saranno programmi locali mentre due terzi (pari a 42) saranno programmi nazionali. Evidentemente i 22 programmi locali dovranno essere ricavati da *multiplex* MFN.

Si osservi inoltre che, grazie alla decomponibilità locale della rete MFN a 4 frequenze, il limite teorico di programmi provinciali corrispondente ai 22 programmi locali MFN è di $22 \times 103 = 1166$ (22 programmi per provincia).

A	1	2	3	4	49	50	51	52	53	54	55
B	1				13			53	54	55	

Come si vede, questi numeri sono di un ordine di grandezza superiore agli attuali e, probabilmente, irrealistici da un punto di vista economico. Appare quindi ragionevole tentare di individuare una soluzione di compromesso che utilizzi la lettera e lo spirito della legge 249 per giungere ad una corretta ripartizione delle risorse.

A tale proposito si osservi che la legge 249 riserva “.. almeno un terzo dei programmi irradiabili all'emittenza televisiva locale”. Il concetto di “programmi irradiabili” deve essere quindi chiaramente definito per individuare il numero minimo di programmi locali.

Nel caso del Piano analogico le caratteristiche della generica rete a copertura nazionale sono univocamente definite; in particolare, è definito il numero (3) di frequenze necessario a realizzarla. Di conseguenza, il numero massimo di programmi irradiabili (programmi con aree di servizio equivalenti) è dato dal numero totale di frequenze diviso per il numero di frequenze necessarie a realizzare una rete ($51/3=17$).

Al contrario, il Piano digitale deve utilizzare una combinazione di reti con caratteristiche diverse (SFN, k-SFN, MFN) e quindi il numero massimo di programmi irradiabili deve essere definito in modo diverso.

Di seguito viene illustrato un criterio di scelta ottima della combinazione di reti in tre diversi scenari. In ciascuno degli scenari viene utilizzata la tipologia di rete non decomponibile a livello regionale e locale (per realizzare i programmi nazionali) e una tra le tre tipologie di reti nazionali decomponibili studiate dal Gruppo B (MFN a 4 frequenze, 2-SFN e 3-SFN) per i programmi locali. Il criterio di scelta della combinazione di reti è basato sulla soluzione di un problema di ottimizzazione che ha l'obiettivo di massimizzare il numero dei programmi irradiabili mentre si rispetta il vincolo di legge sulla percentuale di programmi locali rispetto al totale dei programmi ir-

radiabili. Questo criterio determina in modo univoco il numero di reti a servizio nazionale e locale una volta specificata la tipologia della rete utilizzata per il servizio locale (MFN a 4 frequenze, 2-SFN e 3-SFN).

Determinazione del numero di reti nazionali e locali

L'ipotesi base di questo modello è che il servizio nazionale e quello locale debbono essere assicurati da reti con caratteristiche diverse. In particolare, come osservato nel documento predisposto dal Gruppo B, il servizio locale (regionale, provinciale e di bacino) può essere garantito da reti MFN e da reti MFN integrate localmente con sotto-reti SFN (dette convenzionalmente k-SFN). Al contrario, il servizio nazionale può essere garantito da reti SFN (singola frequenza su tutto il territorio nazionale), MFN e k-SFN. Dal punto di vista dell'uso dello spettro è consigliabile l'uso di reti SFN per il servizio nazionale; infatti, con questo tipo di reti, la rete nazionale perde la possibilità di irradiare programmi locali (regionali, provinciali e di bacino), la proprietà cioè di essere decomponibile a livello locale, ma utilizza in modo più efficace lo spettro. Al contrario, una rete locale deve essere ricavata necessariamente da una rete MFN o k-SFN se si vuole che i suoi programmi siano differenziati a livello regionale, provinciale o di bacino.

Assumeremo quindi che nel Piano digitale siano contemplate due diverse tipologie di rete: una rete nazionale adatta ai programmi nazionali e una rete nazionale decomponibile a livello regionale o di bacino.

Detto N il numero di programmi realizzabili, sia k il numero di reti nazionali, h il numero di reti nazionali decomponibili a livello locale (regionale, provinciale o di bacino); sia inoltre f il numero di frequenze necessarie a realizzare una rete nazionale adatta ai programmi nazionali e F il numero di frequenze necessarie a realizzare una rete nazionale decomponibile fino a livello regionale (o di bacino).

Ipotizzando che ciascuna rete nazionale trasmette un *multiplex* di q programmi (q può variare da 1 a 6), il numero totale di programmi irradabili può essere espresso come somma dei programmi associati alle reti nazionali e dei programmi associati alle reti nazionali decomponibili a livello locale, ovvero: $N=q(k+h)$.

Inoltre, se ipotizziamo la disponibilità di 55 frequenze nello spettro da pianificare, abbiamo $55=fk+Fh$ (ovvero che il numero totale di frequenze deve essere suddiviso tra k reti nazionali da f frequenze, e h reti locali da F frequenze).

Nel seguito si assumerà che $1 < f < F$ (ovvero che il numero di frequenze utilizzate per una rete nazionale non decomponibile è minore del numero di frequenze utilizzate da una rete nazionale scalabile a livello locale) e quindi che la tipologia di rete nazionale non decomponibile sia diversa da quella nazionale decomponibile.

Considerato che i programmi locali (regionali e provinciali e di bacino) debbono essere realizzati utilizzando le h reti nazionali decomponibili a livello locale e che tali programmi debbono essere in numero maggiore di $N/3$, abbiamo il vincolo $qh > N/3$, ovvero, $3qh > N$.

Scenari di transizione al digitale

Ora, il sistema:

$$N = q(k + h)$$

$$55 = fk + Fh$$

$$3qh \geq N$$

ammette infinite soluzioni. Il nostro obiettivo è quello di individuare la soluzione che massimizza i programmi irradabili, ovvero:

$$\max \quad N$$

$$N = q(k + h)$$

$$55 = fk + Fh$$

$$3qh \geq N$$

Il precedente problema di Programmazione Lineare può essere facilmente risolto per sostituzione.

Infatti, dalla prima equazione otteniamo che:

$$h = \frac{N}{q} - k$$

Dalla seconda equazione ricaviamo il valore di $k = 55/f - Fh/f$ che, sostituito nell'espressione di h , ci consente di scrivere $h = N/q + Fh/f - 55/f$ e, quindi:

$$h \left(1 - \frac{F}{f} \right) = \frac{N}{q} - \frac{55}{f}$$

Di conseguenza, il valore di h in funzione dei parametri del problema e del numero di programmi irradabili N è il seguente:

$$h = \frac{55q - Nf}{q(F - f)}$$

•Numero di reti nazionali decomponibili a livello locale (regionale, provinciale o di bacino)

il valore di k è invece:

$$k = \frac{55q - Fh}{f}$$

•Numero di reti nazionali non decomponibili

Sostituendo il valore di h nella terza disequazione otteniamo il problema di ottimizzazione semplificato:

$$\max \quad N$$

$$\frac{165q - 3Nf}{(F - f)} \geq N$$

La soluzione del problema precedente, che fornisce il numero ottimo N di programmi irradabili è:

$$N = \frac{165q}{(F + 2f)}$$

Scenario SFN + MFN a 4 frequenze

In questo scenario ipotizziamo che le reti nazionali non decomponibili siano realizzate con una rete SFN e che le reti nazionali decomponibili siano realizzate con una rete MFN a 4 frequenze (e, quindi, siano scalabili fino al singolo bacino).

Abbiamo quindi che $q=4$, $F=4$ (rete MFN a 4 frequenze) e $f=1$ (rete SFN). Pertanto il numero dei programmi irradabili in ciascun bacino è dato da:

$$N = \frac{165q}{(F + 2f)} + \frac{165 \times 4}{4 + 2 \times 1} = 110$$

mentre il numero di reti nazionali scalabili a livello di bacino (MFN) è:

$$h = \frac{55q - Nf}{q(F - f)} = \frac{55 \times 4 - 110 \times 1}{4(4 - 1)} = \frac{110}{12} = 9$$

Numero di reti nazionali scalabili a livello locale

infine, il numero di reti nazionali non decomponibili (SFN)

$$h = \frac{55}{f} - \frac{Fh}{f} = 55 - 36 = 19$$

Numero di reti nazionali non scalabili

In conclusione, la soluzione ottima che rispetta i vincoli della legge 249 prevede **9 multiplex MFN** (per un totale di **36 programmi locali**) e **19 multiplex SFN** (per un totale di **76 programmi nazionali**).

Si noti che i 36 programmi locali possono corrispondere a $36 \times 21 = 756$ reti regionali ovvero a $36 \times 103 = 3708$ reti provinciali.

Scenario SFN+2-SFN

In questo scenario ipotizziamo che le reti nazionali non scalabili siano realizzate con una rete SFN mentre le reti nazionali scalabili sono realizzate con una rete 2-SFN a 2 frequenze (e, quindi, sono scalabili fino a livello regionale).

Abbiamo quindi che $q = 4$, $F = 2$ (rete 2-SFN) e $f = 1$ (rete SFN). Pertanto il numero dei programmi irradiabili in ciascun bacino è dato da:

$$N = \frac{165q}{(F + 2f)} + \frac{165 \times 4}{2 + 2 \times 1} = 165$$

mentre il numero di reti nazionali scalabili a livello regionale (2-SFN) è:

$$h = \frac{55q - Nf}{q(F - f)} = \frac{55 \times 4 - 165 \times 1}{4(2 - 1)} = \frac{55}{4} = 13$$

Numero di reti nazionali scalabili a livello regionale.

infine, il numero di reti nazionali non decomponibili (SFN) è dato da

$$k = \frac{55}{f} - \frac{Fh}{f} = 55 - 26 = 29$$

Numero di reti nazionali non decomponibili

In conclusione, la soluzione ottima che rispetta i vincoli della Legge 249 prevede **13 multiplex 2-SFN** (per un totale di **52 programmi locali**) e **29 multiplex SFN** (per un totale di **116 programmi nazionali**).

Si noti che i 52 programmi locali possono corrispondere a $52 \times 21 = 1092$ reti regionali ovvero a $52 \times 103 = 5356$ reti provinciali.

Scenario SFN+3-SFN

In questo scenario ipotizziamo che le reti nazionali non scalabili siano realizzate con una rete SFN e che le reti nazionali scalabili siano realizzate con una rete 3-SFN a 3 frequenze (e, quindi, sono scalabili fino a livello regionale e sub-regionale).

Di conseguenza, abbiamo che $q = 4$, $F = 3$ (rete 3-SFN) e $f = 1$ (rete SFN). Pertanto il numero dei programmi irradiabili in ciascun bacino è dato da:

$$N = \frac{165q}{(F + 2f)} = \frac{165 \times 4}{3 + 2 \times 1} = 132$$

mentre il numero di reti nazionali scalabili a livello regionale e sub-regionale (3-SFN) è:

$$h = \frac{55q - Nf}{q(F - f)} = \frac{55 \times 4 - 132 \times 1}{4(3 - 1)} = \frac{88}{8} = 11$$

Scenari di transizione al digitale

Numero di reti nazionali scalabili a livello regionale.

Infine, il numero di reti nazionali non decomponibili (SFN) è dato da

$$k = \frac{55}{f} - \frac{Fh}{f} = 55 - 33 = 22$$

Numero di reti nazionali non decomponibili

In conclusione, la soluzione ottima che rispetta i vincoli della legge 249 prevede 11 *multiplex* 3-SFN (per un totale di 44 programmi locali) e 22 *multiplex* SFN (per un totale di 88 programmi nazionali). Si noti che i 44 programmi locali possono corrispondere a 44 x 21=924 reti regionali ovvero a 44 ¥ 103=4532 reti provinciali. I risultati ottenuti sono esposti nella seguente tabella:

SCENARI	MULTIPLEX SFN	MULTIPLEX MFN (k-SFN)	PROGRAMMI NAZIONALI	PROGRAMMI PERREGIONE	PROGRAMMI REGIONALI
Solo SFN	55				220
Max MFN 4	3	13	42	22	462
SFN + MFN 4	19	9	76	36	756
SFN + 2-SFN	29	13	116	52	1092
SFN + 3-SFN	22	11	88	44	924

2.2.1 Utilizzo dei 4 canali resi disponibili dal Piano analogico

Per descrivere la possibile utilizzazione dei 4 canali resi disponibili dal Piano Analogico (9, 66, 67, 68) è sufficiente riprendere le formule del paragrafo precedente e sostituire al numero 55 (totale di canali disponibili) il numero 4.

Il risultato è il seguente:

$$N = \frac{12q}{(F + 2f)}$$

- Numero totale di programmi irradiabili

$$h = \frac{4q - Nf}{(F - f)}$$

- Numero di reti nazionali decomponibili a livello locale (regionale, provinciale o di bacino)

$$h = \frac{4q - Nf}{(F - f)}$$

- Numero di reti nazionali non decomponibili.