

Gli impianti termoelettrici nel 2006 erano 296 per una potenza efficiente lorda di 159 MW e produzione lorda di 434 GWh; nel 2007 il numero di impianti installati era pari a 293 (-3 impianti rispetto al 2006) per una potenza di 158 MW (-1 MW rispetto al 2006) e produzione di 443 GWh (+9 GWh rispetto al 2006), mentre nel 2008 erano installati 321 impianti (+28 impianti rispetto al 2007) per una potenza pari a 176 MW (+18 MW rispetto al 2007) e produzione di 11.334 GWh (+57 GWh rispetto al 2007). L'andamento dello sviluppo degli impianti termoelettrici è rappresentato nella [figura 4.9](#).

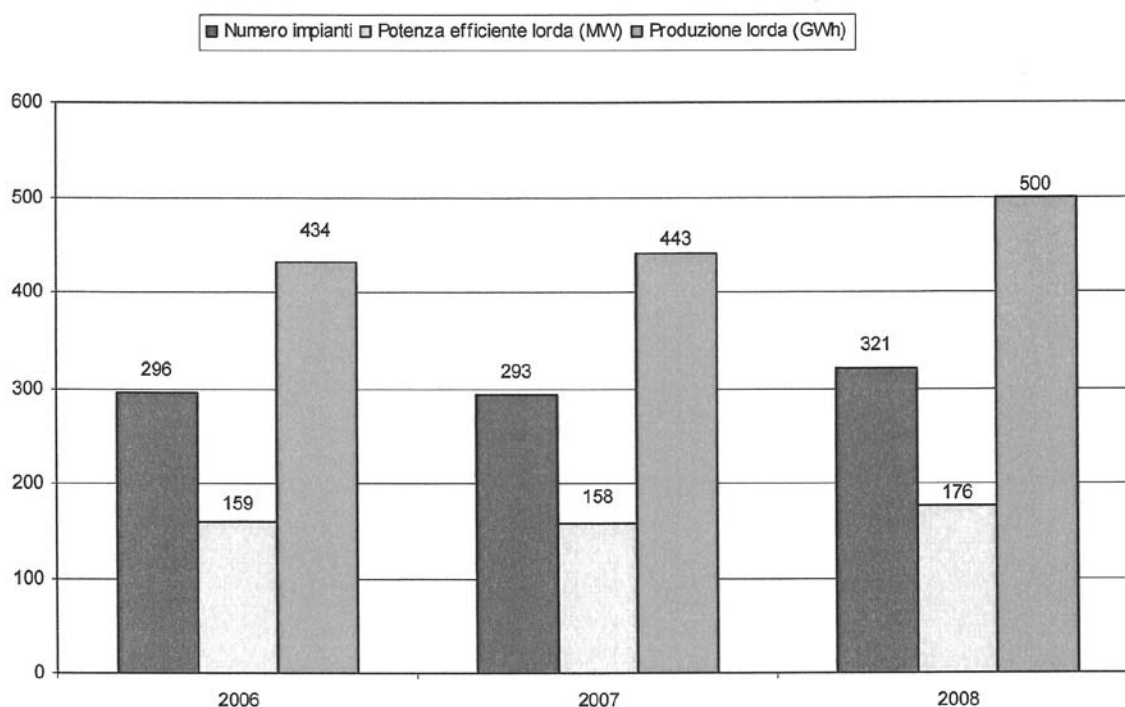


Figura 4.9: Impianti termoelettrici (numero impianti, potenza efficiente lorda e produzione lorda) di PG per gli anni 2006, 2007 e 2008

Nel 2006, 2007 e 2008 non erano presenti impianti geotermoelettrici di potenza fino a 1 MW.

Nel 2006 erano presenti 22 impianti eolici per una potenza efficiente lorda pari a 12 MW e una produzione lorda di 4 GWh; nel 2007 il numero di impianti era pari a 21 (-1 impianto rispetto al 2006) per una potenza pari a 12 MW (uguale alla potenza installata nel 2006) e una produzione di 9 GWh (+5 GWh rispetto al 2006), mentre nel 2008 gli impianti erano 22 (+1 impianto rispetto al 2007) per una potenza di 13 MW (+1 MW rispetto al 2007) e una produzione di 8,5 GWh (-0,5 GWh rispetto al 2007). Nella [figura 4.10](#) viene rappresentato l'andamento dello sviluppo degli impianti eolici di PG.

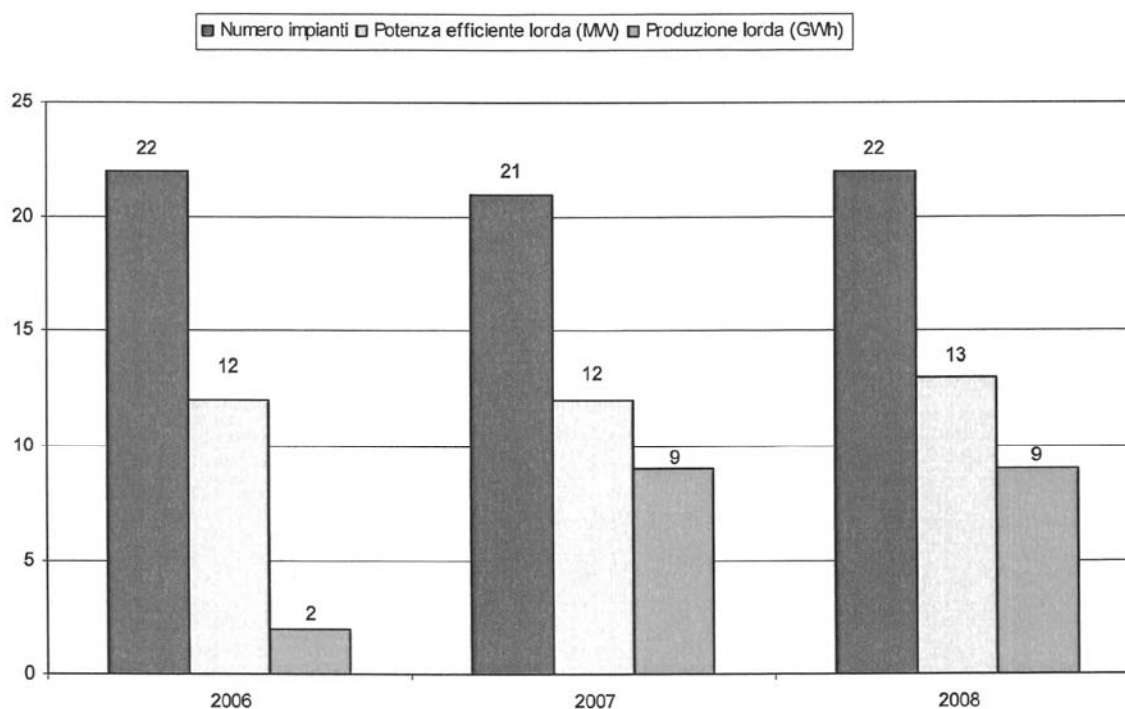


Figura 4.10: Impianti eolici (numero impianti, potenza efficiente lorda e produzione lorda) di PG per gli anni 2006, 2007 e 2008

Gli impianti fotovoltaici nel 2006 erano 13 per una potenza di 4 MW e produzione lorda di 2 GWh; nel 2007 il numero di impianti installati era pari a 7.543 (+7.530 impianti rispetto al 2006) per una potenza di 83 MW (+79 MW rispetto al 2006) e produzione di 39 GWh (+37 GWh rispetto al 2006), mentre nel 2008 erano installati 31.902 impianti (+24.369 impianti rispetto al 2007) per una potenza pari a 410 MW (+327 MW rispetto al 2007) e produzione di 174 GWh (+135 GWh rispetto al 2007). L'andamento dello sviluppo degli impianti fotovoltaici e della relativa produzione lorda è rappresentato nella [figura 4.11](#).

Si nota che, come già evidenziato precedentemente nel presente Monitoraggio, nel caso degli impianti fotovoltaici non esiste una differenza tra i dati relativi al più generale ambito della GD e i dati della PG: tale aspetto si evidenzia anche confrontando i dati relativi allo sviluppo negli anni 2006, 2007 e 2008 qui commentati con quelli relativi agli impianti di GD fotovoltaici ([figura 4.16](#)).

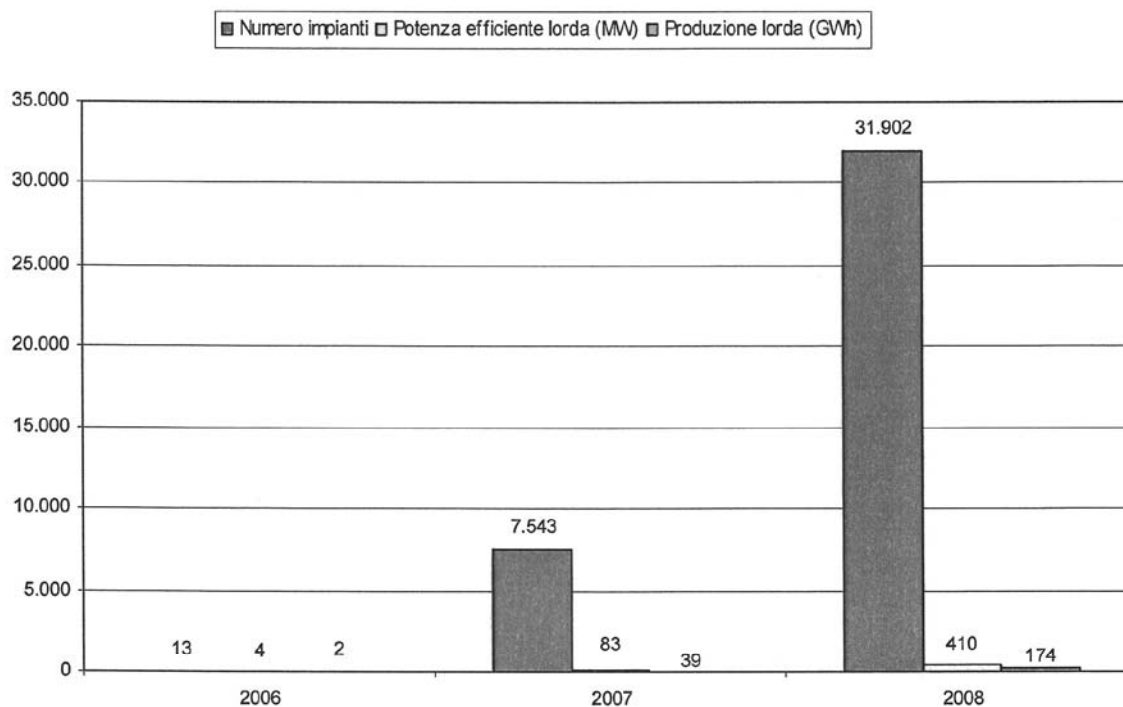


Figura 4.11: Impianti fotovoltaici (numero impianti, potenza efficiente lorda e produzione lorda) di PG per gli anni 2006, 2007 e 2008

CAPITOLO 5

APPROFONDIMENTI SU ALCUNI ASPETTI DI INTERESSE PER LA GENERAZIONE DISTRIBUITA

5.1 L'impatto della generazione distribuita sulle reti di distribuzione

Come già evidenziato nell'Allegato A alla deliberazione n. 160/06 (capitolo 6), a cui si rimanda, non può essere trascurata l'analisi dell'impatto della GD e della MG sulla struttura e sulla gestione delle reti di distribuzione dell'energia elettrica e, più in generale, l'analisi dell'interazione con il sistema elettrico.

L'Autorità ha ritenuto opportuno proseguire le analisi iniziate con la deliberazione n. 160/06, contestualizzandole nel procedimento avviato con la deliberazione n. 40/07, anche mediante l'effettuazione di studi (eventualmente includenti studi su casi pratici) che consentano di approfondire gli effetti dell'incremento della diffusione della GD e della MG.

Su tale problematica, l'Autorità ha già promosso uno studio effettuato dal Politecnico di Milano, in collaborazione con CESI Ricerca, circa la quantificazione del limite massimo di generazione diffusa installabile, date le attuali configurazioni e caratteristiche mediamente rilevabili sulle reti di distribuzione di energia elettrica (il rapporto di studio completo è riportato in allegato alla deliberazione ARG/elt 25/09 a cui si rimanda), con particolare riferimento alle reti MT.

Successivamente l'Autorità, al fine di proseguire le analisi già avviate, ha promosso un secondo studio sulle medesime tematiche con particolare riferimento alla rete BT. In particolare, l'obiettivo dello studio è quello di quantificare il limite massimo di generazione diffusa (GD) installabile sulle reti di distribuzione secondaria (reti BT), date le attuali configurazioni e caratteristiche mediamente rilevabili sulle reti BT del contesto nazionale. Tale studio al momento è in corso: non sono ancora disponibili i risultati finali. Pertanto, di seguito vengono riportati, a cura del Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano, gli elementi ad oggi disponibili finalizzati a inquadrare lo studio in corso, le ipotesi adottate e gli strumenti utilizzati.

5.2 Attività preliminari allo studio dell'impatto della GD sulle reti BT ¹⁵

Data la numerosità delle reti oggetto di studio¹⁶ sono state necessarie alcune attività preliminari, di seguito riassunte.

Una prima attività preliminare è stata dedicata alla *messa a punto di un campione* significativo di reti su cui effettuare le indagini. Serve infatti un campione individuato opportunamente in modo da essere rappresentativo della realtà nazionale. Le reti BT risultano molto numerose e mostrano caratteristiche eterogenee: è necessario definire una accurata procedura di estrazione che mantenga una accettabile corrispondenza tra le reti scelte e il sistema di distribuzione BT a livello nazionale. Il campione messo a punto è stato ottenuto come sottoinsieme del campione di reti MT già impiegato per lo studio precedente (Allegato n. 2 alla deliberazione ARG/elt 25/09): in altre parole si sono scelte solo CS sottese a una delle circa 400 reti i cui dati topologici ed elettrici erano già stati acquisiti.

Una seconda attività preliminare è stata dedicata allo *studio e all'affinamento di una opportuna metodologia di indagine*, derivata a partire da quanto già implementato per le reti MT. Le procedure precedentemente definite per l'individuazione della hosting capacity sono adattate alle specifiche caratteristiche delle reti BT in modo da rispettare i vincoli ad esse imposti e rappresentare

¹⁵ Il presente paragrafo è a cura del Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano, a cui è stato assegnato lo studio.

¹⁶ L'intero territorio nazionale presenta infatti circa 500.000 Cabine Secondarie (CS) a cui corrispondono altrettante reti BT.

accuratamente le reali condizioni di esercizio; in particolare, è stato necessario caratterizzare le utenze BT in una maniera più accurata per quanto attiene il profilo temporale dei loro prelievi di potenza attiva e reattiva.

5.2.1 Messa a punto del campione di reti

Diversamente dalle reti MT, che presentano Cabine Primarie (di seguito: CP) a cui si collegano linee appartenenti a diversi ambiti territoriali, le reti BT hanno Cabine Secondarie (di seguito: CS) tipicamente relative ad un unico ambito. Ogni rete BT, derivata a partire da una propria CS, è perciò strettamente legata ad una particolare condizione geografica e abitativa.

La fase preliminare dello studio è pertanto consistita nella valutazione della composizione e delle caratteristiche di un opportuno database di reti BT (campione ridotto) derivato a partire dalla CS contenute nel database di reti MT impiegato per le analisi di cui all'Allegato 2 della deliberazione ARG/elt 25/09 (campione esteso). Sono stati considerati come parametri caratteristici di una rete l'ambito territoriale di appartenenza e la potenza nominale del trasformatore di CS. In particolare, l'insieme totale delle 40.897 CS¹⁷ collegate alle reti MT del campione esteso presenta ambiti territoriali di tre tipologie (alta, media e bassa densità) e 130 diverse potenze nominali di trasformazione distribuite come evidenziato in figura 5.1.

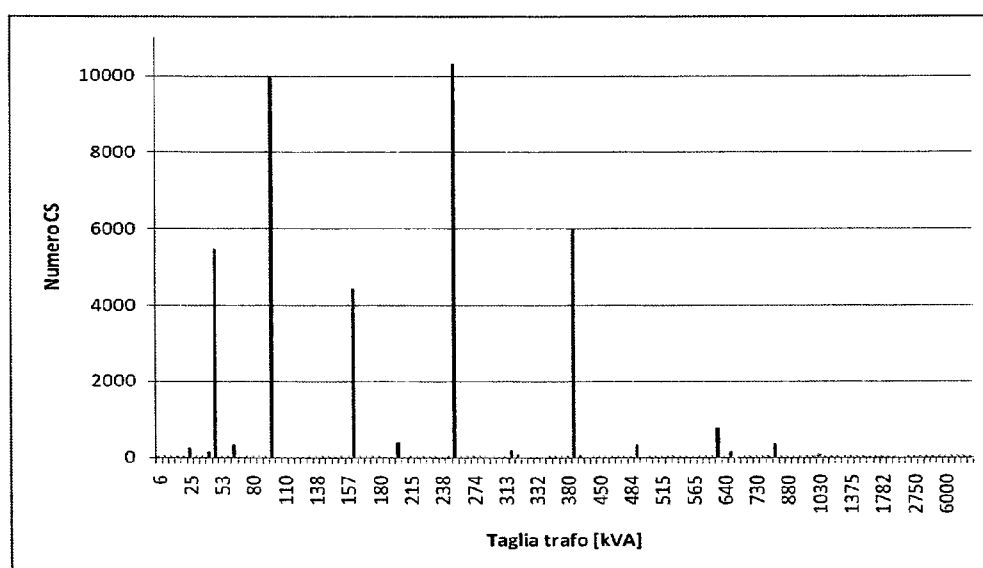


Figura 5.1: Potenze di trasformazione delle 36.317 CS del campione esteso

È possibile notare che solo sei delle potenze di trasformazione (50, 100, 160, 250, 400 e 630 kVA) sono effettivamente caratteristiche di un numero significativo di CS¹⁸.

Dopo alcune stime sulla complicazione computazionale, si è scelto di procedere alla costruzione di un campione ridotto di 500 reti rappresentativo di circa l'1% delle complessive reti BT a livello nazionale. In particolare, si sono scelte le 500 CS più rappresentative dell'insieme relativamente a tipologia di ambito territoriale e potenza nominale del trasformatore¹⁹; inoltre, per mantenere un uguale rapporto relativamente al distributore di appartenenza, tra campione esteso e ridotto, si sono estratte 430 CS dal database Enel e 70 dal database contenente tutti i dati delle altre imprese di distribuzione, in modo da rappresentare correttamente la diffusione delle imprese più significative

¹⁷ 36.317 CS di Enel Distribuzione e 4.580 CS di altre imprese di distribuzione.

¹⁸ Tutte le taglie superiori a 800 kVA sono di fatto inesistenti nella realtà.

¹⁹ Sarà poi inserito un controllo finale sul compartimento/sottoinsieme di appartenenza.

sul panorama nazionale. I due parametri appena descritti combinati tra loro costruiscono 18 diverse classi²⁰ (3 ambiti territoriali e 6 potenze di trasformazione), ciascuna composta da un diverso numero di CS, da cui sono state estratte le 500 reti che formano il campione di reti BT attraverso una procedura dedicata che mantiene le stesse percentuali di rappresentatività sulle 18 classi tra campione esteso e campione ridotto (figure 5.2 e 5.3)²¹.

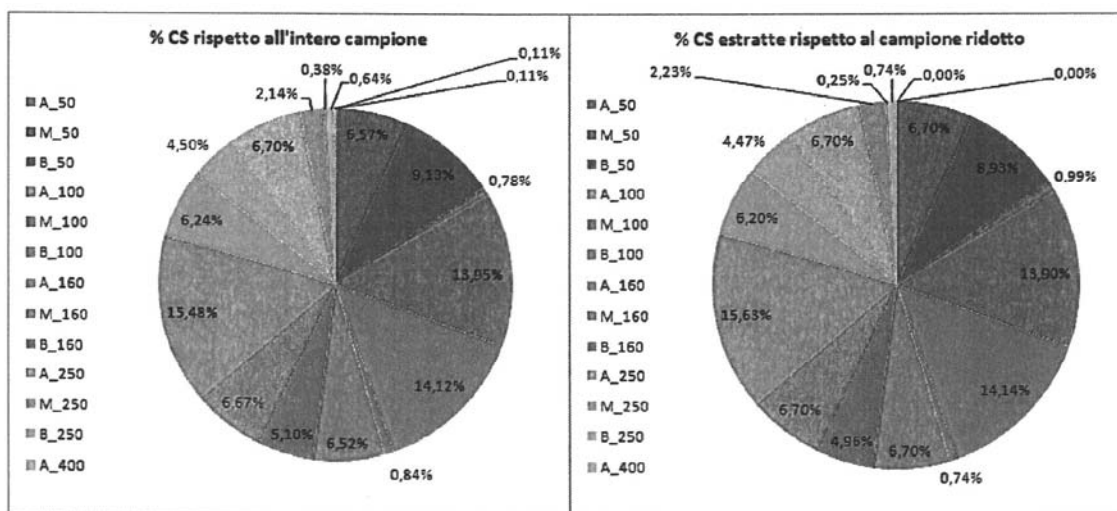


Figura 5.2: Percentuale di rappresentatività delle CS ENEL totali ed estratte rispetto al relativo campione esteso di appartenenza (A indica l'ambito territoriale di alta densità, M l'ambito territoriale di media densità e B indica l'ambito territoriale di bassa densità; i numeri riportati a fianco delle lettere evidenziano le potenze di trasformazione considerate)

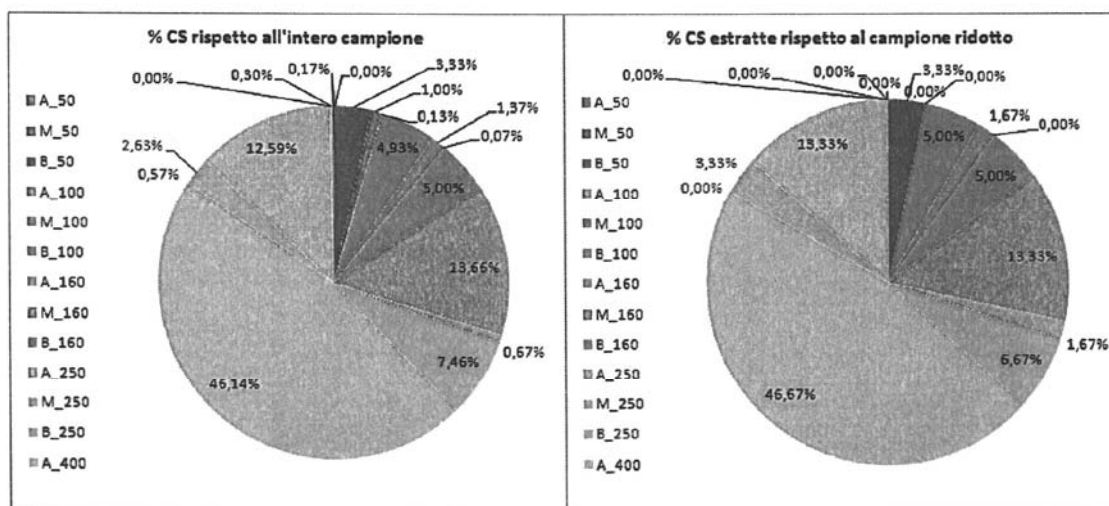


Figura 5.3: Percentuale di rappresentatività delle CS di altri distributori totali ed estratte rispetto al relativo campione esteso di appartenenza (A indica l'ambito territoriale di alta densità, M l'ambito territoriale di media densità e B indica l'ambito territoriale di bassa densità; i numeri riportati a fianco delle lettere evidenziano le potenze di trasformazione considerate)

²⁰ Le 18 classi contengono al loro interno 33896 CS su 36317 CS ENEL disponibili nel campione, e 3002 CS su 4580 CS totali per le altre imprese di distribuzione, per cui sono effettivamente rappresentative, in entrambi i casi, dell'intero database.

²¹ I confronti sono effettuati in modo separato tra ENEL e le altre imprese di distribuzione in modo da rendere visibili anche le caratteristiche di queste ultime che, essendo inferiori in numero, non sarebbero ben rappresentate dal punto di vista grafico.

È poi stato effettuato un controllo relativo alla zona geografica di appartenenza²², per verificare che le CS siano estratte in modo omogeneo su tutto il territorio nazionale. Ciò significa che deve essere rispettata (in modo percentuale) la stessa numerosità, tra campione originale e campione ridotto, all'interno di ognuno dei compartimenti. Le percentuali determinate con la stessa estrazione relativa ai dati precedenti sono mostrate in figura 5.4 e in figura 5.5.

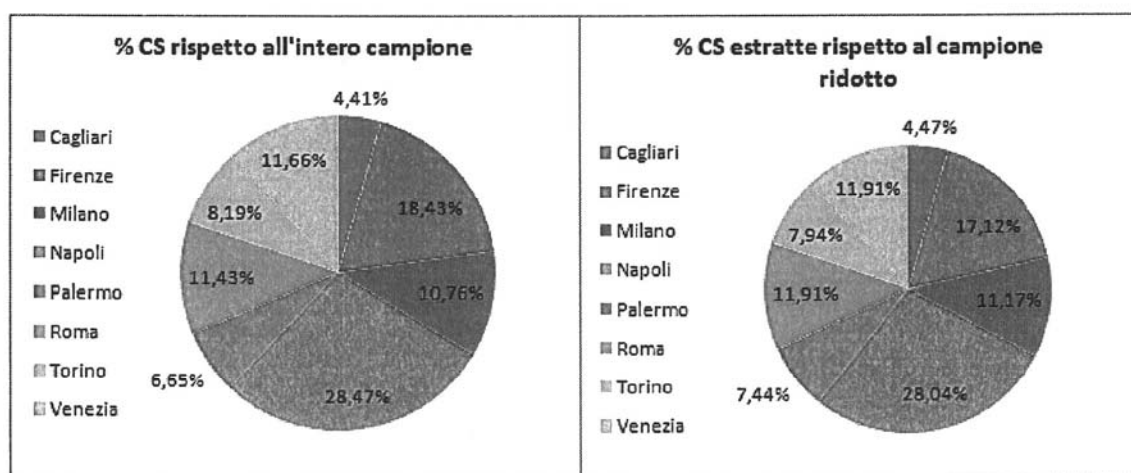


Figura 5.4: Percentuale di rappresentatività delle CS ENEL totali ed estratte rispetto ai compartimenti geografici di appartenenza

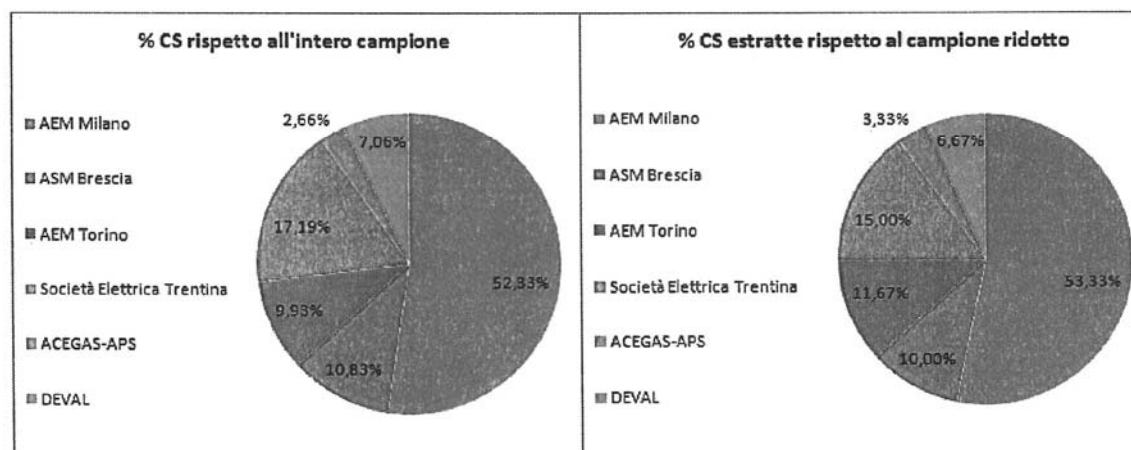


Figura 5.5: Percentuale di rappresentatività delle CS di altri distributori totali ed estratte rispetto ai sottoinsiemi di appartenenza

Come è possibile notare i diagrammi sono molto simili tra loro (stessa analogia nelle percentuali si mantiene se si effettua il confronto all'interno di ogni singola classe²³). Ciò significa che l'estrazione ha portato a un risultato ritenuto adeguato e che le 500 CS estratte soddisfano tutti i vincoli imposti.

²² Gli 8 compartimenti ENEL sono: Cagliari, Firenze, Milano, Napoli, Palermo, Roma, Torino e Venezia.

Le 6 ulteriori imprese di distribuzione sono: ex AEM Milano ed ex ASM Brescia (oggi confluite in A2A Reti elettriche), AEM Torino Distribuzione, Società Elettrica Trentina, ACEGAS-APS, DEVAL. Il numero di CS estratte da ACEA Roma, scelto a priori, è già rappresentativo del totale e quindi non necessita di alcuna verifica.

²³ Si divide ogni classe in otto sottoinsiemi relativi ai compartimenti e si effettua la verifica sulle percentuali relativamente ai 144 nuovi insiemi determinati. In particolare, i risultati dell'estrazione corrente mostrano che la differenza tra le varie percentuali è sempre inferiore all'1% e nel caso peggiore è pari allo 0,43%.

In questo modo è stato costruito un campione ridotto mantenendo una stretta correlazione rispetto al campione MT di partenza.

5.2.2 Metodologia di calcolo: affinamenti necessari per lo studio delle reti BT

Si è scelto di seguire un approccio di tipo “*hosting capacity*”, in perfetta analogia con quanto già applicato alle reti MT (Allegato n. 2 alla deliberazione ARG/elt 25/09). Tale approccio prevede la definizione, per ogni nodo della rete, dei limiti associabili nodo per nodo a una installazione crescente di GD, in termini di potenza, fino al massimo di accettabilità valutato in riferimento ad alcuni vincoli tecnici. L’analisi viene ripetuta per un numero opportuno di scenari, per rappresentare adeguatamente un intero anno di esercizio: i valori di *hosting capacity* determinati sono quelli minimi risultanti dall’insieme di tutti gli scenari.

Un primo affinamento necessario per determinare la *hosting capacity* delle reti BT è consistito in una rappresentazione più dettagliata dei profili di prelievo dell’utenza. Infatti, la corretta rappresentazione dell’andamento temporale dei prelievi è cruciale per conseguire risultati che siano una immagine il più possibile fedele della realtà di esercizio. Per le reti MT, è stato possibile procedere con un approccio più semplificato, per via della natura dei carichi diretti MT (utenti industriali) e dell’aggregazione di diversi profili di prelievo relativi a insiemi ampi di utenti BT sottesi a ciascuna CS. Viceversa, per le reti BT, dove ciascun prelievo nodale è associato a un singolo utente, con le sue specificità in termini di diagramma di carico, è stato necessario procedere in maniera più sofisticata, facendo uso, per quanto possibile, dei diagrammi di carico dei singoli utenti, come acquisiti per mezzo di una apposita richiesta dati.

Dal punto di vista algoritmico, per valutare la massima potenza installabile si utilizza una procedura ripetuta per ogni nodo della rete BT, che quantifica, con un’analisi di tipo nodale, la potenza installabile in ciascun nodo in accordo con i vincoli tecnici. In un primo ciclo la potenza installata nel nodo in esame viene incrementata secondo gradini di ampiezza prefissata ΔGD ; i valori di tensione (nei nodi) e corrente (nei lati) sono valutati tramite load flow per ogni iterazione. Nel momento in cui, per almeno uno dei nodi/lati, il limite imposto risulta infranto, il procedimento si interrompe. Un secondo ciclo, basato sul metodo della bisezione, parte dal valore di potenza della GD ricavato in precedenza e affina il risultato, sempre mediante calcoli di load flow ripetuti, con una tolleranza impostata a 1 kW^{24} . Il risultato finale GD_{lim} corrisponde alla massima potenza installabile nel nodo considerato, affinché, con la tolleranza impostata, in ogni nodo della rete non siano mai superati i vincoli tecnici.

L’algoritmo implementato effettua una verifica quantitativa della massima penetrazione di GD rispetto ai vincoli tecnici di seguito elencati²⁵.

Incremento della corrente di cortocircuito

La GD determina un aumento della corrente di cortocircuito che interessa le linee e i nodi della rete. Essa deve essere mantenuta al di sotto del potere di interruzione degli organi di manovra della rete BT del Distributore e dei dispositivi elettromeccanici degli utenti.

Scatto intempestivo delle protezioni delle linea sana per effetto GD

L’eccessivo contributo alla corrente di guasto fornita dalla GD di un dato feeder potrebbe condurre a scatti intempestivi della protezione in testa ad una linea sana, in caso di cortocircuito su una linea

²⁴ Compromesso tra precisione dei risultati e durata della simulazione.

²⁵ Tali vincoli corrispondono alle criticità già evidenziate qualitativamente nella deliberazione n. 160/06, e poi indagate quantitativamente per le reti MT nella deliberazione ARG/elt 25/09.