

**DOCUMENTO METODOLOGICO PER L'IDENTIFICAZIONE DI
RAGGRUPPAMENTI DI NODI DELLA RETE RILEVANTE IN AREE OMOGENEE IN
TERMINI DI FLUSSI DI ENERGIA REATTIVA DI CUI ALLA DETERMINA17
FEBBRAIO 2022 N. 1/2022**

  POLITECNICO MILANO 1863	Documento metodologico		
		Rev. 00 novembre 2022	Pagina: 2 di 17

Sommario

1.	GENERALITA'.....	3
1.1	GENERALITÀ SULLA REGOLAZIONE DI TENSIONE E POTENZA REATTIVA	3
2.	WORKFLOW DEL PROCESSO.....	5
3.	DEFINIZIONE DELLE AREE.....	8
3.1	IDENTIFICAZIONE DEGLI N _c NODI CANDIDATI SENTINELLA	8
3.2	IDENTIFICAZIONE DELLE N _c AREE DI ACCOPPIAMENTO ELETTRICO	11
3.3	IDENTIFICAZIONE DELLE N _s AREE CON NODI SENTINELLA	11
4.	APPLICAZIONE METRICA D'IMPATTO	16
5.	BIBLIOGRAFIA	17

  POLITECNICO MILANO 1863	Documento metodologico		
		Rev. 00 novembre 2022	Pagina: 3 di 17

1. GENERALITA'

Il presente documento illustra la metodologia predisposta da TERNA, in collaborazione con il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano (di seguito: Politecnico di Milano), ai fini dell'individuazione e clusterizzazione in aree omogenee dei nodi della rete rilevante caratterizzati dal medesimo impatto degli scambi di energia reattiva (immissioni o prelievi), ai sensi della determina dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (di seguito: ARERA) del 17 febbraio 2022, 1/2022. Il presente documento è stato definito nell'ambito di un processo condiviso con le imprese distributrici e le loro associazioni di cui si evidenziano i principali passaggi nella seguente Tabella (Tabella 1).

ATTIVITA'	PERIODO
Avvio delle attività – Incontro di kick off	1 Aprile 2022
Incontro tecnico di presentazione della metodologia	13 Luglio 2022
Pubblicazione in consultazione del documento metodologico per l'identificazione dei nodi della rete rilevante caratterizzati dal medesimo impatto di reattiva	29 Luglio 2022
Termine per la presentazione delle osservazioni scritte al documento metodologico in consultazione	2 Settembre
Svolgimento di incontri tecnici per la discussione e l'esame dei risultati dell'applicazione della metodologia sull'intera RTN	27 settembre 2022

Tabella 1 - Piano di attività per la definizione della metodologia di individuazione di aree omogenee della rete rilevante caratterizzati dal medesimo impatto di reattiva

1.1 GENERALITÀ SULLA REGOLAZIONE DI TENSIONE E POTENZA REATTIVA

La rete di trasmissione nazionale è caratterizzata, per sua natura, da flussi di potenza reattiva "fisiologici", ovvero associati al fatto che nella rete sono presenti elementi strutturali (linee aeree, cavi, trasformatori, eccetera) che, percorsi da correnti e sottoposti a tensioni, assorbono o generano potenze reattive; la compensazione di tali flussi può essere gestita dal TSO solo agendo al livello di AT/AAT.

È altresì vero che esistono dei flussi di potenza reattiva "incrementali", ovvero flussi legati ad iniezione/prelievo di potenza reattiva da parte di utenti o di cabine primarie di imprese distributrici. L'impatto di tali transiti sulle problematiche di tensione RTN risulta molto limitato in termini di volumi o comunque circoscritto a specifiche aree di rete in cui è riscontrabile una *sensitivity* elevata della potenza reattiva iniettata nei nodi sulla tensione al nodo di riferimento RTN.

  POLITECNICO MILANO 1863	Documento metodologico		
		Rev. 00 novembre 2022	Pagina: 4 di 17

Il beneficio, in tali aree “critiche”, di eventuali interventi di compensazione da parte delle imprese distributrici, pur essendo limitato a causa del peso ridotto rispetto all’entità complessiva delle problematiche di tensione in gioco, può comunque avere una sua utilità in relazione a siti con problematiche specifiche. A tal proposito, le linee guida riportate all’interno del presente documento forniranno un *driver* per identificare le specifiche esigenze di rete.

Con riferimento alla compensazione ottima della potenza reattiva, vengono di seguito sintetizzate alcune considerazioni:

- In generale vale il criterio di compensare il reattivo in prossimità della zona elettrica in cui viene prodotto. Tale criterio deriva dalla necessità di evitare che il reattivo “viaggi” lungo il sistema¹ incrementando le perdite e peggiorando i profili di tensione.
- Coerentemente con questo criterio si ritiene che il reattivo “fisiologico”, ossia generato da una rete AT/AAT tendenzialmente scarica, debba essere compensato tramite una strategia di regolazione della tensione che agisca principalmente sulla rete di trasporto, ossia lì dove viene prodotto.
- Quando però un’area di un’impresa distributtrice manifesta un impatto significativo sulla rete di trasporto è opportuno valutare l’effetto di un intervento armonizzato TSO/DSO per massimizzare l’efficacia del risultato. Anche in questo caso, si opererà in prossimità della sorgente di reattivo, ma agendo al punto di scambio tra TSO/DSO.
- In tal senso, risulta necessario operare in maniera puntuale tenendo conto dei seguenti aspetti fondamentali:
 - la pianificazione di eventuali interventi di compensazione deve tener conto inevitabilmente della struttura di rete e dell’impatto che ciascun intervento ha sulla rete nella sua interezza;
 - Gli interventi devono essere indirizzati nell’ottica delle esigenze di rete e di esercizio. In tal senso, lo studio riportato all’interno del presente documento è da intendersi come una metodologia da ripetere periodicamente, con un orizzonte temporale di 5 anni, per intercettare l’evoluzione;

¹ al netto di alcune aree che, per loro struttura, sono naturalmente attraversate da transiti di reattivo

  POLITECNICO MILANO 1863	Documento metodologico		
		Rev. 00 novembre 2022	Pagina: 5 di 17

- È necessario non prescindere da aspetti pratici di ottimizzazione e disponibilità degli spazi a disposizione per indirizzare eventuali interventi di compensazione. In tal senso, sarà possibile definire delle soluzioni di compensazione concentrata che, seppur localizzate in un determinato nodo di rete, siano utilizzate per compensare il reattivo scambiato da un'area di maggiori dimensioni.

Ciò premesso, si precisa che lo scopo del presente documento non è quello di definire possibili soluzioni mitigative o identificare le eventuali apparecchiature e relativi siti di installazione né tantomeno la competenza nella realizzazione e nella gestione di tali apparecchiature.

2. WORKFLOW DEL PROCESSO

Il processo tramite il quale si intende rispondere alle esigenze di individuare aree della RTN che possano essere ritenute omogenee dal punto di vista della regolazione di tensione e dei flussi di potenza reattiva parte dalla individuazione dei nodi che sono significativi e rappresentativi ai fini della regolazione di tensione (nodi sentinella); attorno a ciascuno di essi viene individuata un'area costituita dai nodi (relativi a cabine primarie e/o clienti connessi in alta tensione) che hanno un accoppiamento elettrico ritenuto significativo, e quindi in grado di garantire in caso di movimentazioni di reattivo nei nodi dell'area stessa, un effetto apprezzabile su quel particolare nodo sentinella. L'individuazione dei nodi significativi ai fini della regolazione di tensione deve essere contestualizzata in relazione al momento storico e alle specifiche esigenze geografiche e di esercizio; allo stato attuale, la principale problematica da gestire è relativa ai livelli di tensioni elevate. Ciò non esclude che, in futuro, la metodologia possa evolvere per intercettare problematiche diverse e/o ulteriori.

Il workflow del processo descritto all'interno del presente documento è rappresentato in *Figura 1 - Flowchart dell'approccio*, alla quale si farà riferimento nel seguito per indicarne le fasi.

Il processo prevede l'individuazione di un numero N_c di nodi candidati sentinella secondo criteri diversi, tutti tesi ad individuare aspetti significativi ai fini del controllo di tensione (fase 1).

  POLITECNICO MILANO 1863	Documento metodologico		
		Rev. 00 novembre 2022	Pagina: 6 di 17

Una volta individuata la lista dei nodi candidati sentinella, opportunamente razionalizzata per evitare duplicazioni o ridondanze, attorno a ciascun nodo candidato sentinella viene individuata un'area d'influenza secondo il criterio della prossimità elettrica (fase 2).

A partire da questa fase, pertanto, risulterà univoca l'associazione tra un nodo di carico (CP/cliente AT) e il nodo candidato sentinella a cui esso risulta maggiormente accoppiato e che rimarrà tale fino alla fine di tutto il processo. Per quanto detto, ciascuna area, e il relativo elenco di nodi associati, potrà essere caratterizzata univocamente dal relativo nodo candidato sentinella.

I nodi candidati sono quindi analizzati attraverso opportuni criteri e quelli che superano la selezione sono definiti come nodi sentinella (fase 3).

Questo comporta la suddivisione delle aree, relative a tutto il territorio nazionale, nei seguenti macro-cluster:

- Un numero N_b di aree identificate come “*bianche*”, ovvero aree con nodi candidati non eletti sentinella;
- Un numero N_s di aree caratterizzate dalla presenza di nodi candidati eletti sentinella; queste aree, a loro volta, saranno suddivise in:
 - Un numero N_s' di aree alle quali risulta accoppiato un numero non significativo di cabine primarie/clienti AT;
 - Un numero N_s'' di aree in cui risulta accoppiato un numero significativo di cabine primarie/clienti AT.

Infine, per le N_s'' aree così individuate, ritenute di interesse per ulteriori approfondimenti, con l'obiettivo di confrontarle tra loro tramite un criterio di omogeneità, è applicata una metrica in grado di quantificare l'impatto delle iniezioni di potenza reattiva sul relativo nodo sentinella, ovvero sulla relativa problematica di tensione inizialmente individuata (fase 4).

Si precisa che l'analisi eseguita, come da indicazione ricevuta e condivisa da ARERA, è indirizzata alla sola identificazione di aree elettriche omogenee cui porre particolare attenzione per problematiche di tensione alte, ovvero aree per le quali si sia storicamente verificato un certo impatto delle iniezioni nodali di potenza reattiva sui profili di tensione sulla RTN.

Tuttavia, la quantificazione della criticità delle aree richiederebbe uno studio successivo e dettagliato, e dovrebbe comunque andare a distinguere, oltre ad un perimetro geografico, anche un perimetro temporale: iniezioni induttive e/o capacitive possono portare ad effetti positivi/negativi in funzione del punto di lavoro della rete e della localizzazione di tali iniezioni, caratteristica ben nota della potenza reattiva.

Infine, è necessario osservare che il legame causale tra grado di criticità di un'area, quantità e segno della potenza reattiva iniettata nell'area e costo per risolvere tale criticità non è stato considerato nel presente studio, ed è definibile soltanto a seguito di ulteriori approfondimenti, essendo esso dipendente dalla situazione specifica dell'area, dalle condizioni della RTN e dal momento temporale considerato.

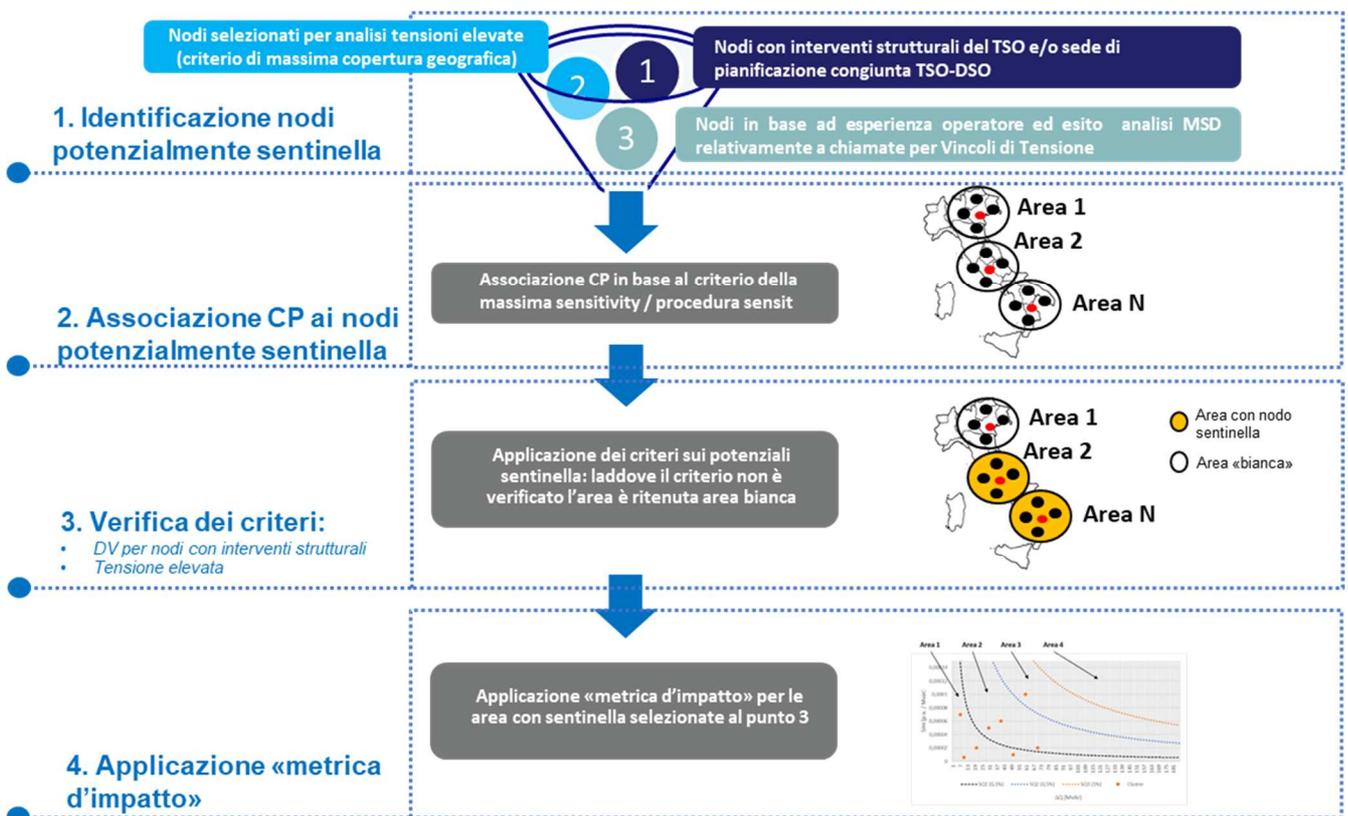


Figura 1 - Flowchart dell'approccio

Per quanto detto, il presente documento è articolato in due capitoli che descrivono rispettivamente:

  POLITECNICO MILANO 1863	Documento metodologico		
		Rev. 00 novembre 2022	Pagina: 8 di 17

- le modalità di definizione delle aree di accoppiamento elettrico con riferimento all'identificazione dei nodi candidati sentinella, e conseguentemente dei nodi sentinella (capitolo 0) ;
- la procedure per la definizione delle aree omogenee e per l'applicazione della metrica d'impatto (capitolo 0).

Tutte le procedure descritte e i relativi calcoli di rete sono da considerarsi effettuati su un limitato numero di scenari di rete recenti e rappresentativi di condizioni di funzionamento della rete caratterizzate da basso carico (ad esempio, *Summer-off peak*, *Winter off-peak*). Questi ultimi sono ricostruiti tramite dati puntuali e granulari (un valore ogni CP / Utente AT), rappresentativi delle condizioni più frequenti di esercizio. In tal senso, i valori della potenza reattiva utilizzati come input dello scenario sono presi lato AT dei trasformatori elevatori e sono dati validati dai DSO; inoltre, relativamente alla topologia della rete AAT/AT considerata, quest'ultima evolve lentamente, coerentemente con le tempistiche del Piano di Sviluppo. Per tutti questi aspetti, tali scenari sono da ritenersi il miglior punto di riferimento ad oggi disponibile.

3. DEFINIZIONE DELLE AREE

3.1 IDENTIFICAZIONE DEGLI N_c NODI CANDIDATI SENTINELLA

L'obiettivo della presente sezione è quello di illustrare le modalità tramite le quali individuare un set N_c di nodi della RTN, definiti tramite criteri specifici che saranno nel seguito dettagliati, per identificare il set base di nodi candidati sentinella attorno ai quali costruire delle aree di accoppiamento elettrico.

Tali nodi saranno individuati sulla base di tre driver:

1. *Un numero N'_c di nodi sede di interventi strutturali;*
2. *Un numero N''_c di nodi sui quali effettuare un'analisi del profilo di tensione;*
3. *Un numero N'''_c di Nodi rappresentativi di problematiche di tensione evidenziate da MSD e/o sede di problematiche di tensione evidenziate dall'esperienza dell'operatore.*

Una volta identificati tutti i nodi candidati sentinella ($N'_c + N''_c + N'''_c$), sarà necessario effettuare una razionalizzazione, per tenere conto di eventuali ridondanze. Dal momento che i nodi candidati sentinella sono stati individuati secondo criteri diversi, può infatti

  POLITECNICO MILANO 1863	Documento metodologico		
		Rev. 00 novembre 2022	Pagina: 9 di 17

accadere che lo stesso nodo, oppure nodi vicini, siano individuati separatamente. Si procederà dunque ad eliminare le ridondanze ed accorpare i nodi elettricamente prossimi. Si ottiene quindi l'elenco definitivo degli N_c nodi candidati sentinella, per i quali è necessario identificare le aree di accoppiamento elettrico.

3.1.1 Nodi caratterizzati da interventi strutturali: individuazione del set base di nodi N'_c

La procedura prevede l'individuazione di un insieme di nodi sede di interventi strutturali, tra i quali saranno selezionati opportunamente i nodi sentinella. L'insieme di base è costituito dall'insieme degli N'_c nodi candidati nei quali Terna ha installato o previsto l'installazione di dispositivi di compensazione della potenza reattiva, nell'ambito dei seguenti piani di intervento:

- Piano Sicurezza
- Piano Sviluppo
- Rapporti congiunti Terna-DSO

3.1.2 Nodi caratterizzati da tensioni elevate: individuazione del set base di nodi N''_c

La procedura prevede l'individuazione di un insieme di nodi, ciascuno rappresentativo di una porzione geografica di rete, sui quali sarà necessario verificare se si sia rilevato, nel periodo d'interesse (all'interno di tutto l'anno precedente) un valore di tensione superiore ad una determinata soglia, per un tempo determinato.

L'insieme di base è costituito dai nodi candidati N''_c così individuati:

- a) Si procede con una suddivisione geografica della RTN in 8 aree corrispondenti ai seguenti raggruppamenti di Regioni:
 - Lombardia
 - Piemonte, Liguria, Valle d'Aosta
 - Veneto, Trentino-Alto-Adige, Friuli-Venezia-Giulia
 - Emilia-Romagna, Toscana
 - Lazio, Umbria, Abruzzo, Marche, Molise
 - Campania, Calabria, Basilicata, Puglia
 - Sicilia
 - Sardegna

b) Per ciascuna area, si selezionano gli N_{rp} (ad esempio, 8) nodi su rete primaria e N_{rs} (ad esempio, 8) nodi su rete secondaria con la maggior potenza di corto circuito (P_{cc}), prestando attenzione al fatto che i nodi candidati siano il più possibile equamente distribuiti geograficamente sulla rete, o che non ci siano tra i nodi candidati nodi elettricamente prossimi. In tal senso, laddove si evidenzia una prossimità geografica ed elettrica tra due nodi selezionati con tale criterio, si procede ad una sostituzione per ispezione selezionando, sempre sulla base del ranking di P_{cc} , nodi localizzati almeno a due stazioni di distanza. Si riporta in ***Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.***, a titolo esemplificativo, un caso pratico relativo all'area siciliana.

In questo caso, il criterio avrebbe portato alla selezione dei nodi di CORRIOLO 150 kV e SORGENTE 150 kV; si è proceduto alla sostituzione del nodo di SORGENTE 150 kV con quello di BELLOLAMPO 150 kV.

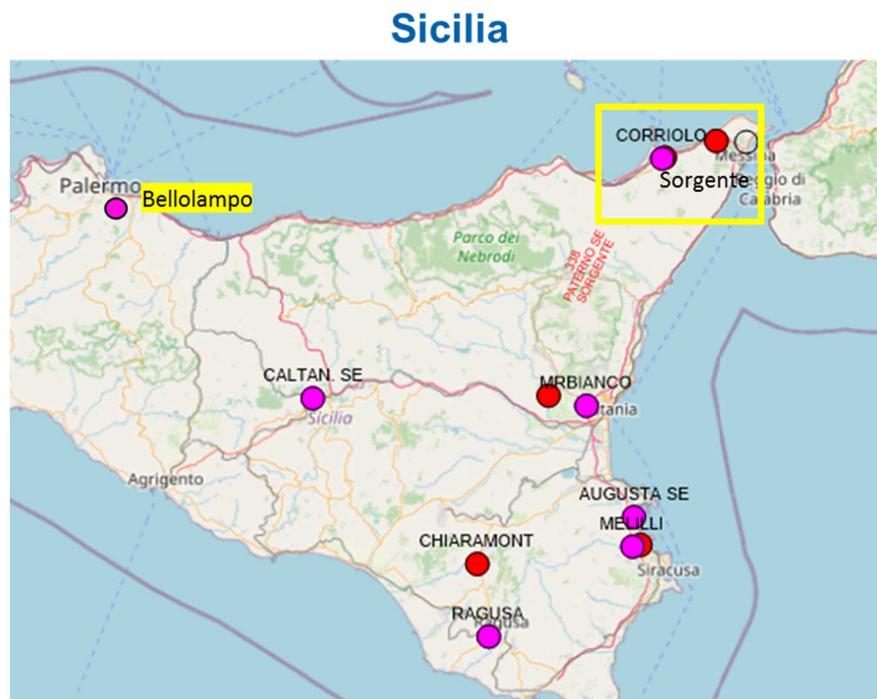


Figura 2 – esempio di sostituzione per ispezione

3.1.3 Nodi in base ad analisi MSD ed esperienza operatore: individuazione set base di nodi N_c

La procedura prevede l'individuazione di un insieme di nodi, ciascuno rappresentativo di una porzione geografica di rete e/o di un cluster di regolazione della tensione, sui quali si

  POLITECNICO MILANO 1863	Documento metodologico		
		Rev. 00 novembre 2022	Pagina: 11 di 17

sia rilevato, all'interno di tutto l'anno precedente, una criticità di esercizio e/o un sistematico ricorso a risorse MSD ai fini della regolazione della tensione nell'area.

Per attuare questo criterio, si parte da due liste di nodi, inizialmente distinte tra loro:

1. la prima lista è alimentata dagli operatori di sala Terna che identificano una serie di nodi i quali, secondo la loro esperienza, sono rappresentativi di problematiche o evidenze di esercizio (ad es. tipiche manovre di esercizio) relative a problematiche di regolazione della tensione. A ciascuno di questi nodi è possibile, pertanto, associare il relativo *Cluster* di regolazione di appartenenza su MSD.
2. la seconda lista è compilata selezionando i *Cluster* di MSD per i quali si hanno frequenti chiamate di UP per Vincoli di tensione.

3.2 IDENTIFICAZIONE DELLE N_c AREE DI ACCOPPIAMENTO ELETTRICO

La seconda fase del processo è relativa alla costruzione delle aree omogenee attorno a ciascun degli N_c nodi candidati sentinella.

Le N_c aree omogenee relative ai nodi candidati sentinella sono individuate mediante la procedura SENSIT - descritta in [1], che associa, sulla base dell'accoppiamento elettrico (parametro β), ogni nodo della RTN (trasmissione e subtrasmissione) al nodo sentinella (e alla relativa area).

Laddove si verifici, che alcune aree siano caratterizzate da un numero esiguo di CP (i.e. <3) si provvederà ad effettuare una riassegnazione delle CP, laddove tecnicamente possibile, a nodi sentinella o candidati sentinella rispetto ai quali la sensitivity risulta prossima in termini numerici.

3.3 IDENTIFICAZIONE DELLE N_s AREE CON NODI SENTINELLA

La terza fase del processo è relativa alla valutazione dei criteri per eleggere ciascun nodo candidato a sentinella e, conseguentemente, individuare il set di aree così definite:

- Un numero N_b di aree identificate come "*bianche*", ovvero aree con nodi candidati non eletti sentinella;
- Un numero N_s di aree caratterizzate dalla presenza di nodi candidati eletti sentinella; queste aree, a loro volta, saranno suddivise in:

  POLITECNICO MILANO 1863	Documento metodologico		
		Rev. 00 novembre 2022	Pagina: 12 di 17

- Un numero N_s' di aree alle quali risulta accoppiato un numero non significativo di cabine primarie/clienti AT (pari a 0);
- Un numero N_s' di aree Aree in cui risulta accoppiato un numero significativo di cabine primarie/clienti AT.

L'analisi è effettuata, per ciascun nodo candidato, in base al criterio di selezione; un nodo del sistema AAT/AT è considerato "sentinella" se viene evidenziato da almeno uno dei criteri riportati di seguito:

- *Criterio Nodi sede di interventi strutturali*: solo laddove si evidenzi un effetto non trascurabile sulla regolazione della tensione del nodo stesso per effetto dell'immissione/prelievo di potenza reattiva da parte dei nodi CP d'influenza;
- *Criterio Nodi caratterizzati da tensioni elevate*;
- *Criterio Nodi rappresentativi di problematiche di tensione evidenziate da MSD e/o sede di problematiche di tensione evidenziate dall'esperienza dell'operatore*.

Nel seguito sono illustrati nel dettaglio i diversi criteri menzionati.

3.3.1 Nodi caratterizzati da interventi strutturali: individuazione dei nodi sentinella derivanti dal set base

La selezione avviene andando a ricercare, tra i nodi candidati, quelli la cui tensione sia influenzata in modo non trascurabile dall'iniezione di potenza reattiva nei nodi CP verso la RTN. Tale valutazione non è tesa a identificare le criticità di tensione nei nodi sede di interventi strutturali, analisi peraltro già effettuata in sede di pianificazione degli interventi stessi.

Tra gli N'_c nodi candidati, saranno selezionati come sentinella soltanto quelli la cui tensione risulta affetta in modo non trascurabile dalle iniezioni di potenza reattiva dei nodi CP sottostanti. Tale individuazione avviene considerando i nodi elettricamente accoppiati, individuati tramite la procedura SENSIT così come definito al capitolo 3.2 e ritenuti pertanto d'influenza, e valutando successivamente la variazione di tensione del nodo candidato che si otterrebbe a seguito di un azzeramento ipotetico delle iniezioni di potenza reattiva nei nodi CP d'influenza che stanno iniettando potenza reattiva verso la RTN.

  POLITECNICO MILANO 1863	Documento metodologico		
		Rev. 00 novembre 2022	Pagina: 13 di 17

Nel dettaglio, per ciascuna area identificata, una per volta, si procede al calcolo delle *sensitivities*² (così come descritto in [2]) e si valuta la variazione di tensione come segue:

Per ogni nodo candidato c' , si calcola il vettore $\frac{dV_c}{dQ_{CPk}}$ (derivata parziale della tensione nel nodo candidato rispetto all'iniezione di Q nel k -esimo nodo CP dell'area stessa).

- Si calcola la variazione di tensione $\Delta V_{c'}$ che si otterrebbe nel nodo candidato se le **sole iniezioni positive** di potenza reattiva ΔQ_{CPk} nei nodi CP dell'area (potenza reattiva iniettata nella RTN) fossero azzerate contemporaneamente, attraverso la formula:

$$\Delta V_{c'} = \sum_k \Delta Q_{CPk} \frac{dV_{c'}}{dQ_{CPk}},$$

dove la sommatoria è estesa unicamente ai nodi CP in cui si abbia iniezione positiva di potenza reattiva verso la RTN.

- Se tale variazione $\Delta V_{c'}$ è maggiore di una soglia predefinita ΔV_s , ovvero in formule se:

$$\Delta V_{c'} > \Delta V_s$$

Il nodo c' viene inserito nell'elenco dei nodi sentinella.

Relativamente ai valori soglia ΔV_s , si è utilizzato un valore pari a 0.5 kV.

3.3.2 **Nodi caratterizzati da tensioni elevate: analisi per l'individuazione dei nodi sentinella derivanti dal set base**

Si considerano i profili di tensione misurati in ciascuno degli $(N_{rp} + N_{rs})$ nodi, con risoluzione quart'oraria, considerando una finestra di almeno un anno e relativamente all'anno precedente alle analisi. Si considerano le soglie riportate nella tabella in basso relativa al documento [3].

² Per il calcolo delle *sensitivities*, è possibile scegliere le seguenti strategie, alternative

1. Calcolo esatto per inversione dello Jacobiano. Risultato scenario-dipendente.
2. Calcolo per variazioni finite (DigSilent), calcolo scenario-dipendente con complicazioni numeriche.
3. Calcolo utilizzando la Xcc, calcolo dipendente solo dalla topologia, senza problematiche numeriche.

Tabella 6 - Livelli minimo e massimo del valore della tensione efficace per l'anno 2021

Livello di tensione [kV]		Livelli minimo e massimo della tensione efficace attesi per il 95% del tempo in condizioni di esercizio normale [kV]		Livelli minimo e massimo della tensione efficace attesi per il 100% del tempo in condizioni di esercizio normale [kV]		Livelli minimo e massimo della tensione efficace attesi in condizioni di allerta, emergenza o ripristino [kV]	
Tensione nominale	Tensione di base	Minimo	Massimo	Minimo	Massimo	Minimo	Massimo
380	400	375	415	360	420	350	430
220	230	222	238	200	242	187	245
150	150	143	158	140	165	128	170
132	132	125	139	120	145	112	150
132	120	114	126	110	132	105	140

— Limite Massimo atteso — Limite sicurezza H2

Sono selezionati come nodi sentinella i nodi per i quali è registrato un valore superiore al “livello massimo atteso della tensione per almeno il 95% del tempo”, e quindi in formule:

$$Tensione\ misurata > Limite\ Massimo\ atteso$$

per una durata di almeno il 5% delle ore di un anno.

3.3.3 Nodi in base ad analisi MSD ed esperienza operatore: individuazione dei nodi sentinella derivanti dal set base

Il contributo del criterio, in termini di nodi sentinella è costituito dall'unione di:

- nodi identificati dalla lista 1 relativa alle evidenze di esercizio secondo l'esperienza degli operatori delle sale controllo del TSO
- nodi rappresentativi della lista 2. In tal senso, partendo dall'estrazione delle selezioni MSD per vincoli di tensione relative all'anno precedente, si eseguono i seguenti step, riportati a livello schematico nella figura in basso:

- si suddividono le acquisizioni di UP per ciascun Cluster identificato dall'attributo Sottoservizio MSD. Potranno essere trascurati i Cluster con selezioni inferiori all'1% del totale in volume.
- si otterrà pertanto un elenco di Cluster rappresentativi delle selezioni MSD per vincoli di tensione
- a ciascun Cluster, secondo l'esperienza degli operatori, sarà associato un nodo rappresentativo del cluster stesso

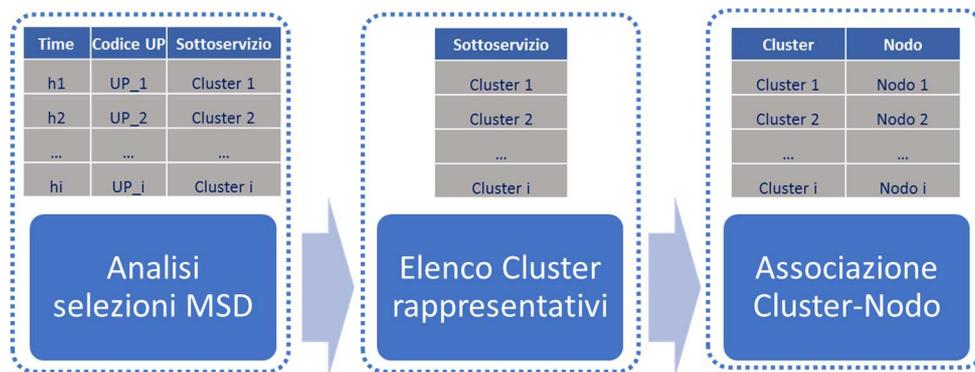


Figura 3 – Sintesi grafica del processo di selezione

  POLITECNICO MILANO 1863	Documento metodologico		
		Rev. 00 novembre 2022	Pagina: 16 di 17

4. APPLICAZIONE METRICA D'IMPATTO

Considerando le sole Ns'' aree in cui risulta accoppiato un numero significativo di cabine primarie/clienti AT, così come descritto al capitolo precedente, si procede con l'applicazione di una metrica per il confronto, in termini di impatto, tra aree geograficamente ed elettricamente distinte.

Una volta definito il perimetro, ciascuna delle Ns'' aree può essere caratterizzata dalla *sensitivity* media (S_m) della tensione del nodo sentinella rispetto alle iniezioni di potenza reattiva nei nodi CP della stessa area. Questa, per ogni area, sarà valutata come la media aritmetica delle *sensitivity* della stessa area omogenea:

$$S_{mi} = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} \frac{\partial V_i}{\partial Q_k}$$

dove:

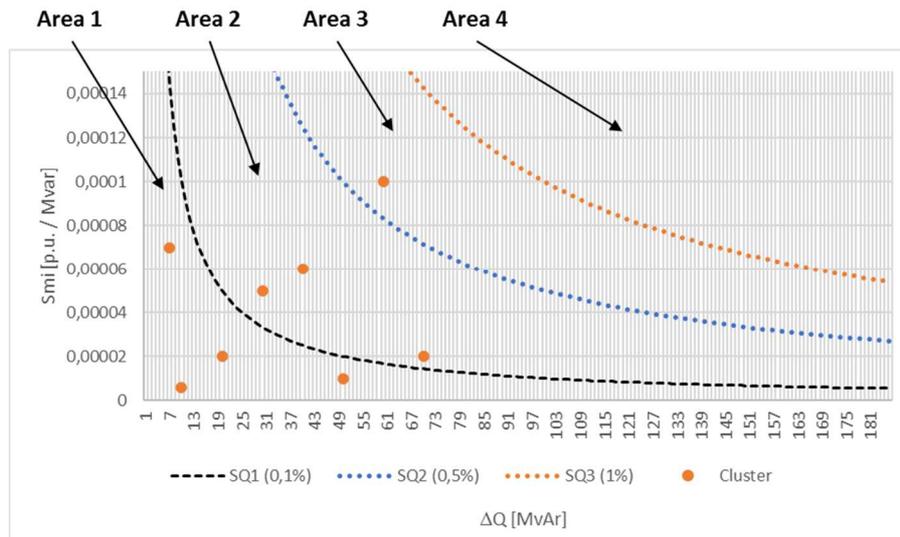
- N_i : Numero di nodi appartenenti all'area i-esima;
- V_i : Tensione del nodo sentinella i-esimo [p.u.];
- Q_k : Potenza reattiva iniettata nel nodo k-esimo (appartenente all'area i-esima) [Mvar].

Successivamente, si procede ad una ulteriore clusterizzazione delle aree basata sul calcolo del ΔV (*in pu*) che si avrebbe in caso di compensazione delle immissioni di potenza reattiva all'interno della singola area. In tal senso sarà necessario calcolare:

- Una potenza reattiva di area da compensare $\Delta Q_{AREA} [Mvar]$, calcolata come saldo tra i prelievi e le immissioni di tutte le CP presenti all'interno di un'area
- Una sensitivity media dell'area $S_{mi} [p.u./Mvar]$ calcolata come descritto sopra

Considerando per ciascuna delle Ns'' area la coppia $S_{mi} - \Delta Q_{AREAi}$ e riportandola su un sistema di assi cartesiani, è possibile ottenere la curva riportata in basso, in cui ciascun punto rappresenta un'area caratterizzata dall'i-esimo dono sentinella. Si intende che due aree sono omogenee, dal punto di vista dell'impatto sul profilo di tensione del nodo sentinella, se presentano lo stesso prodotto $\Delta V_{Ni} = \Delta Q_{AREAi} S_{mi}$. Riportando quindi tutti i

cluster su un grafico, e definite opportunamente delle soglie ΔV_x , rappresentate ciascuna da una delle curve tratteggiate in figura, è possibile classificare le aree secondo l'impatto che i Mvar iniettati/prelevati hanno sulla tensione del proprio nodo sentinella.



5. BIBLIOGRAFIA

- [1] : R.Marconato: *Electric power systems – CEI, 2008.*
- [2] : J.Machowski, J.W.Bialek, J.R. Bumby: *Power system dynamics – Wiley,2008.*
- [3] : *Qualità del servizio di trasmissione - Livelli attesi della qualità della tensione per l'anno 2022*