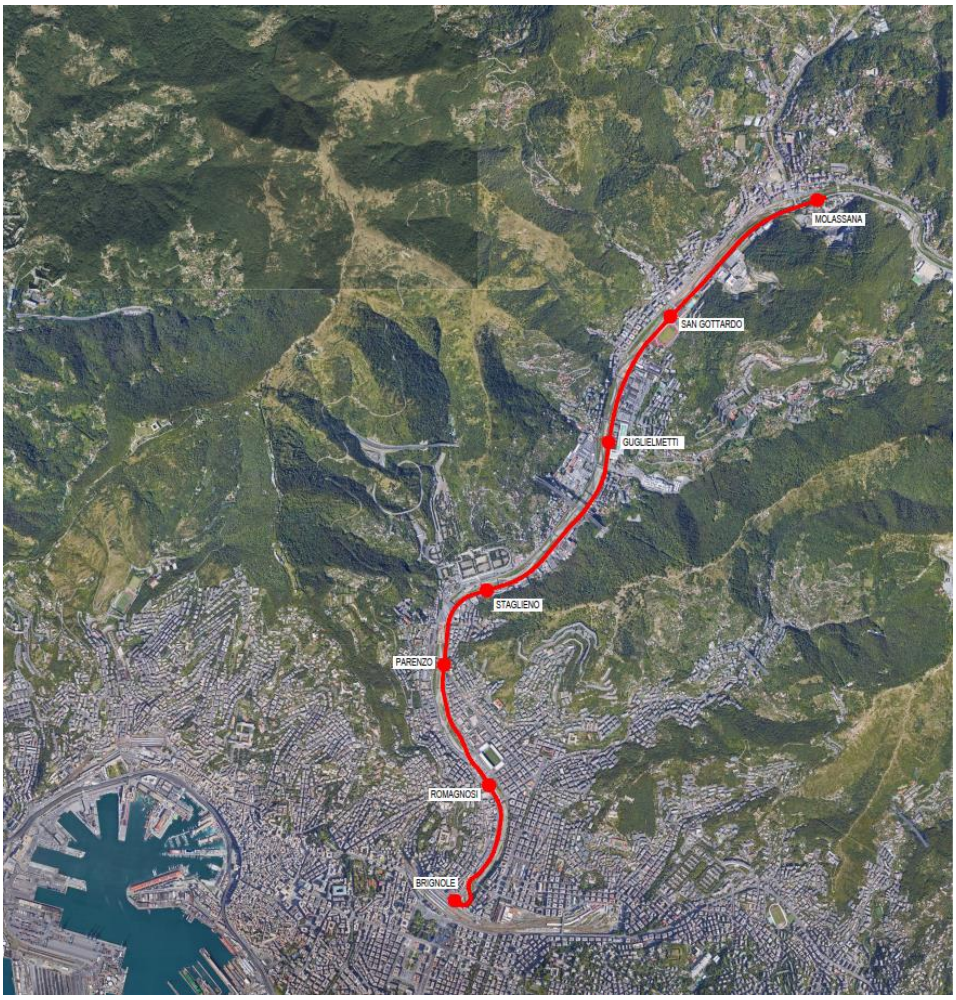
Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO

CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
(D.lgs. n. 36 / 2023)



IMPIANTI CIVILI
LUCE E FORZA MOTRICE
Relazione valutazione previsionale campi elettromagnetici

Commessa	Fase	Lotto	Disciplina	WBS	Tipo	Numero	Foglio	Rev.
MGE1	PR	LV	IEL	S00	R	001	00	B

SYSTRA SOTECNI SYSTRA SYSTRA SWS ITALFERR architecna LAND

Rev.	Descrizione	Nome		Data
A	Emissione	Redatto	M. Scatena	21/11/2023
		Verificato	A.Bovio	21/11/2023
		Approvato	G. Guidi Buffarini	21/11/2023
		Autorizzato	P. Marchetti	21/11/2023
B	Emissione a valle commenti ARPAL	Redatto	M. Scatena	07/12/2023
		Verificato	A.Bovio	07/12/2023
		Approvato	G. Guidi Buffarini	07/12/2023
		Autorizzato	P. Marchetti	07/12/2023
C		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		
D		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		

INDICE

1.	**OGGETTO E SCOPO**	**5**
2.	**RIFERIMENTI NORMATIVI**	**6**
2.1	**NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO**	**6**
2.2	**NORME LEGISLATIVE E GUIDE**	**6**
2.3	**DEFINIZIONI**	**7**
2.4	**LIMITI DI ESPOSIZIONE DPCM 8 LUGLIO 2003 (50 HZ)**	**8**
3.	**ANALISI DEI CAMPI ELETTRICOMAGNETICI**	**10**
3.1	**ANALISI DEL CAMPO ELETTRICO**	**10**
3.2	**ANALISI DEL CAMPO MAGNETICO**	**11**
3.2.1	CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO	11
3.2.2	FASCE DI RISPETTO PER IL CAVIDOTTO INTERRATO DI MT	11
3.2.3	FASCE DI RISPETTO PER IL FABBRICATO DI STAZIONE	12
3.2.4	FASCE DI RISPETTO PER IL FABBRICATO DI STAZIONE CON SSE	13
3.3	**ANALISI CASISTICHE SKYMETRO**	**15**
4.	**CONCLUSIONI**	**16**

INDICE TABELLE E FIGURE

Tabella 1 - Limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità previsti dal DPCM 8/7/03 per i campi elettrici e magnetici a 50 Hz prodotti dagli elettrodotti 8
Figura 1 - Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa a trifoglio oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità (d è la profondità del centro del conduttore) 12
Tabella 2 – DPA per cavidotto MT 3x1x240 mm² interrato alla profondità di 0,8 m 12
Figura 2. Layout apparecchiature SSE 14

1. OGGETTO E SCOPO

Oggetto della presente relazione è la valutazione previsionale dei Campi Elettromagnetici dei fabbricati di stazione e dei relativi cavidotti MT di collegamento previsti nell'ambito del progetto SkyMetro.

Verranno utilizzati i dati tecnici di progetto per la verifica previsionale con le distanze di prima approssimazione e di rispetto dei limiti normativi nei confronti dell'esposizione ai campi elettromagnetici al fine di dimostrare la non interferenza con aree adibite a permanenze prolungate.

In generale, per affrontare il tema in questione, occorre riferirsi alla Direttiva 2013/35/UE, Direttiva EMF, che esamina l'esposizione ai Campi Elettromagnetici in tutto lo spettro delle frequenze; per le basse frequenze (ELF), di fatto, è sufficiente riferirsi alla Direttiva quadro 89/391/CEE.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

2.1 Norme tecniche di riferimento

- CEI 211- 6. “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell’intervallo di frequenza 0 Hz 10 kHz, con riferimento all’esposizione umana”.
- CEI 211- 4. “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”.
- CEI 106-10. Esposizione ai campi elettrico e magnetico nell'intervallo delle frequenze basse e intermedie – Metodi di calcolo della densità di corrente e del campo elettrico interno indotti nel corpo umano Parte 1: Aspetti generali.
- CEI 106-11. “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo”.
- CEI 106-12. Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/bt.
- CEI 106-20 - CEI EN 50413 - Norma di base sulle procedure di misura e di calcolo per l'esposizione umana ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (0 Hz-300 GHz).
- CEI 106-23 - CEI EN 50499 - Procedura di valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici.
- CEI 106-27 - CEI EN 62110 - Livelli di campo elettrico e magnetico generati da sistemi di potenza in c.a. – Procedure di misura con riferimento all'esposizione umana.
- CEI 106-30 - CEI EN 50527-2-1. Procedura per la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici dei lavoratori con dispositivi medici impiantabili attivi Parte 2-1: Valutazione specifica per lavoratori con stimolatore cardiaco (pacemaker).

2.2 Norme legislative e guide

- Linee guida ICNIRP 2010 (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection): Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1Hz to 100 kHz).
- Direttiva 2013/35/UE - Disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell’articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) e che abroga la direttiva 2004/40/CE.
- Guida non vincolante di buone prassi per l’attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici - Volume 1: Guida pratica.

- Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici - Volume 2: Studi di casi.
- Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici - Guida per le PMI.
- DLgs 159/2016 pubblicato nella GU 192 del 18/08/2016 entrato in vigore il 02/09/2016: recepisce la Direttiva UE 2013/35/UE.
- D.Lgs. 81/08 (modifiche) Recepimento del DLgs 159/2019: con la sostituzione all'Allegato XXXVI degli articoli: 206, 207, 209, 210, 211, 212, 219, inserimento dell'art. 210 bis.
- Legge n. 36, del 22 febbraio 2001: "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici". G. U. n. 55 del 7 marzo 2001.
- DPCM 8 luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti"- G. U. n. 200 del 29 agosto 2003.
- Decreto 29 maggio 2008. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti. (Supplemento ordinario n.160 alla G.U. 5 luglio 2008 n. 156).
- Documento Enel - Linee Guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche.

2.3 Definizioni

Per specificare i valori limite di esposizione relativi ai campi elettromagnetici, a seconda della frequenza, sono utilizzate le seguenti definizioni:

- Esposizione: condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale.
- Limite di esposizione: valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori.
- Valore di attenzione: valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere, superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate.
- Obiettivo di qualità: valori di CEM che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Essi costituiscono la misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine.
- Elettrodotto: Insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.

- Esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici: è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.
- Esposizione della popolazione: è ogni tipo di esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici.
- Corrente: Valore efficace dell'intensità di corrente elettrica.
- Portata in corrente in servizio normale: Corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento. Essa è definita nella norma CEI 11-60 par. 2.6 e sue successive modifiche e integrazioni.
- Portata in regime permanente: Massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato (secondo CEI 11-17 par. 1.2.05).
- Fascia di rispetto: Spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.
- Distanza di prima approssimazione (Dpa): Distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto, la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di Dpa, si trovi all'esterno delle fasce di rispetto. Per le cabine è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra.

2.4 Limiti di esposizione DPCM 8 Luglio 2003 (50 Hz)

Il DPCM 8 Luglio 2003, pubblicato sulla G.U. n. 200 del 29.08.2003 e in vigore dal 13.09.2003, ai sensi della legge 36/01, art. 4, comma 2, fissa i limiti di esposizione per la protezione della popolazione dai campi elettrici e magnetici a 50 Hz generati dagli elettrodotti; stabilisce inoltre il valore di attenzione e l'obiettivo di qualità per la sola induzione magnetica, poiché non sono stati finora ipotizzati effetti differiti per il campo elettrico a bassa frequenza.

	Campo elettrico (kV/m)	Induzione magnetica (μT)
Limite di esposizione [1]	5	100
Valore di attenzione [2]	-	10
Obiettivo di qualità [2]	-	3

Tabella 1 - Limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità previsti dal DPCM 8/7/03 per i campi elettrici e magnetici a 50 Hz prodotti dagli elettrodotti

[1] Valore efficace.

(2) Mediana dei valori nell'arco di 24 h nelle normali condizioni di esercizio dell'elettrodotto. Per mediana si intende il valore di mezzo di una serie di valori crescenti (o decrescenti). Se il numero di valori della serie è pari, si assume come mediana il valore medio dei due valori centrali.

Ai fini del decreto in questione, gli elettrodotti comprendono le linee elettriche, le sottostazioni e le cabine di trasformazione, comprese le cabine MT/bt.

Il valore di attenzione di 10 µT per l'induzione magnetica, introdotto come misura di cautela per la protezione dai possibili effetti a lungo termine, si applica nelle aree di gioco per l'infanzia, negli ambienti abitativi, negli ambienti scolastici e in tutti i luoghi in cui possono essere presenti persone per almeno 4 h al giorno.

L'obiettivo di qualità di 3 µT per l'induzione magnetica, introdotto al fine della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi magnetici, si applica ai nuovi elettrodotti nelle vicinanze dei sopracitati ambienti e luoghi, nonché ai nuovi edifici ed insediamenti in prossimità di linee ed installazioni elettriche esistenti.

3. ANALISI DEI CAMPI ELETTRICOMAGNETICI

Nei successivi paragrafi verrà fornita l'analisi del campo elettrico e del campo magnetico secondo la normativa vigente. Nel caso specifico del campo magnetico, sono state considerate le 3 casistiche che sono individuabili nell'ambito del progetto SkyMetro:

1. cavidotto MT;
2. fabbricato tecnologico di stazione;
3. fabbricato tecnologico di stazione con sottostazione di trazione elettrica (SSE);

3.1 Analisi del Campo Elettrico

Il campo elettrico prodotto da una linea è proporzionale alla tensione di linea.

Considerando che per una linea di 400 kV si ottiene un valore di 4 kV/m prossimo al limite di 5 kV/m, quello emesso dalla linea a 15 kV e dalle installazioni MT risulta essere molto minore dei limiti di emissione imposti dalla normativa (ordine di grandezza pari a circa 100 V/m).

Il campo elettrico generato dal cavidotto MT ha dunque valori minori di quelli imposti dalla legge. Questa affermazione deriva dalle seguenti considerazioni:

- i cavi utilizzati (tipo RG26H1M16 12/20 kV) sono costituiti da un'anima in rame (il conduttore elettrico vero e proprio), da uno strato di isolante + semiconduttore, da uno schermo elettrico in rame, e da una guaina in PVC. Lo schermo elettrico in rame confina il campo elettrico generato nello spazio tra il conduttore e lo schermo stesso;
- il terreno ha un ulteriore effetto schermante;
- il campo elettrico generato da una installazione a 15 kV è minore di quello generato da una linea, con conduttore non schermato (corda), a 400 kV, il quale è minore ai limiti imposti dalla legge.

Non si effettua quindi un'analisi puntuale del campo generato ritenendolo trascurabile.

3.2 Analisi del Campo Magnetico

3.2.1 Calcolo delle fasce di rispetto

Per un calcolo accurato delle fasce di rispetto, devono essere utilizzati i seguenti dati:

- Portata di corrente in servizio normale;
- Numero e tipologia dei conduttori (diametro e materiali), geometria della disposizione;
- Condizioni di fase relative alle correnti nei conduttori;
- Profondità/altezza dei conduttori rispetto al suolo.

Il modello di calcolo regolato dalla norma CEI 106-11 è quello previsto dalla legge di Biot-Savart, la quale calcola il valore dell'induzione magnetica su un piano trasversale alla linea (aerea o interrata), quindi su due sole dimensioni. Questo considera la stima dell'induzione magnetica di ciascun conduttore percorso da corrente e l'applicazione successiva della sovrapposizione degli effetti per determinare l'induzione magnetica totale. Le ipotesi di calcolo, prevedono che i conduttori siano considerati rettilinei, orizzontali, indefinitamente lunghi e paralleli fra loro; che le correnti siano considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori. Non sono prese in considerazione le correnti indotte negli schermi (linee in cavo interrato) e viene assunto che il suolo sia perfettamente *trasparente* dal punto di vista magnetico.

3.2.2 Fasce di rispetto per il cavidotto interrato di MT

Ai fini della valutazione previsionale, vanno individuate le sezioni più significative, possibilmente cautelative, per procedere alla rappresentazione dei valori, in particolare dell'induzione magnetica.

La rete MT a 15 kV prevista per il collegamento fra il fabbricato tecnologico di stazione e l'area dei binari, sarà realizzata con una terna di cavi unipolari (tipo RG26H1M16 12/20 kV) posati in piano alla profondità di 0,8 m.

Nel caso di cavidotti costituiti da una singola terna, è possibile impiegare la formula semplificata della norma CEI 106-11 per il calcolo diretto della distanza R_0 dall'asse della linea al livello del suolo (h = 0) oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto del valore di 3 μT:

$$R_0 = \sqrt{(0{,}115 * S * I - d^2)} \text{ [m]}$$

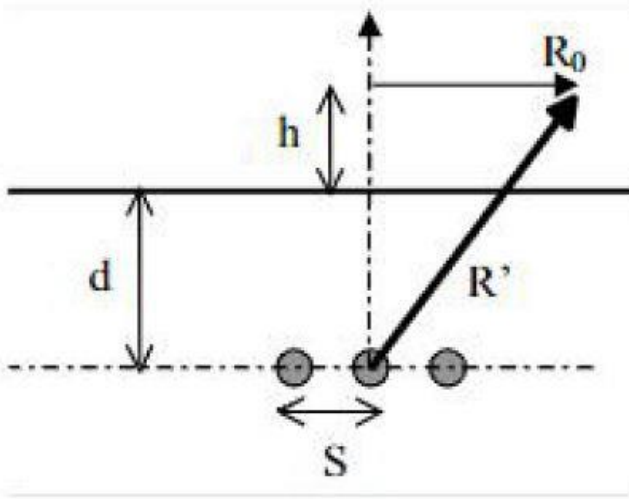


Figura 1 - Schema di principio per il calcolo delle distanze da terne di cavi interrati con posa a trifoglio oltre le quali l'induzione magnetica è inferiore all'obiettivo di qualità (d è la profondità del centro del conduttore)

Considerando il caso più sfavorevole, sostituendo i valori numerici, si ottiene la DPA indicata nella seguente tabella:

Tipologia cavidotto	Portata in regime permanente [A]	Profondità di posa [m]	R_0 (distanza alla quale il limite 3 µT è rispettato [m]	DPA [m]
3x1x240 mm²	582	0,8	1,46	1,5

Tabella 2 – DPA per cavidotto MT 3x1x240 mm² interrato alla profondità di 0,8 m

3.2.3 Fasce di rispetto per il fabbricato di stazione

I fabbricati di stazione sono stati assimilati a cabine mt/bt, per cui il calcolo della DPA (distanza di prima approssimazione) è stato effettuato considerando la formula definita nel documento *Enel - Linee Guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.2008*, che individua un metodo approssimato di calcolo secondo la seguente formula:

$$DPA = 0{,}40942 * \sqrt{I} * x^{0{,}5241} \text{ [m]}$$

Dove:

- I è la corrente nominale secondaria del trasformatore;
- x è il diametro dei cavi in uscita dal trasformatore.

Nel caso peggiore, nel fabbricato di stazione sono presenti due trasformatori 15kV/400V da 400 kVA (uno di riserva) e un trasformatore da 400V/15kV da 2500 kVA relativo al sistema fotovoltaico. Secondo la formula sopracitata, le DPA relative ai trasformatori sono:

Potenza trasformatore [kVA]	Corrente lato BT [A]	DPA [m]	
		Esatta	Approssimata
400	577	1,87	2,00
2500	3608	4,66	5,00

Considerando che:

- i trasformatori sopracitati sono a una distanza di circa 8 metri l'uno dall'altro;
- i trasformatori sono dimensionati con una certa riserva di potenza e che statisticamente funzionano a pieno carico per un tempo limitato;
- la DPA calcolata è approssimata per eccesso;

si ritiene che una DPA di 5 metri dal fabbricato possa essere considerata cautelativa.

3.2.4 Fasce di rispetto per il fabbricato di stazione con SSE

I fabbricati di stazione con SSE sono stati assimilati a cabine mt/bt, per cui il calcolo della DPA (distanza di prima approssimazione) è stato effettuato considerando la formula definita nel documento *Enel - Linee Guida per l'applicazione del par. 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.2008*, che individua un metodo approssimato di calcolo secondo la seguente formula:

$$DPA = 0{,}40942 * \sqrt{I} * x^{0{,}5241} \text{ [m]}$$

Dove:

- I è la corrente nominale secondaria del trasformatore;
- x è il diametro dei cavi in uscita dal trasformatore.

Nel caso peggiore, nel fabbricato sono presenti (*rif. 4.MGE1PRLVLTESS1T001-00*):

- due trasformatori per servizi ausiliari 15kV/400V da 160 kVA (uno di riserva);
- tre trasformatori di trazione 15kV/590V (uno di riserva) da 1930 kVA
- un trasformatore da 400V/15kV da 2500 kVA relativo al sistema fotovoltaico.

Secondo la formula sopracitata, le DPA relative ai trasformatori sono:

Potenza trasformatore [kVA]	Corrente lato BT [A]	DPA [m]	
		Esatta	Approssimata
1930x2+160=4020 (*)	3930	4,9	5,00
2500	3608	4,7	5,00

(*) conservativamente, vista l'adiacenza dei 2 trasformatori di trazione e del trasformatore per servizi ausiliari, le potenze sono state sommate.

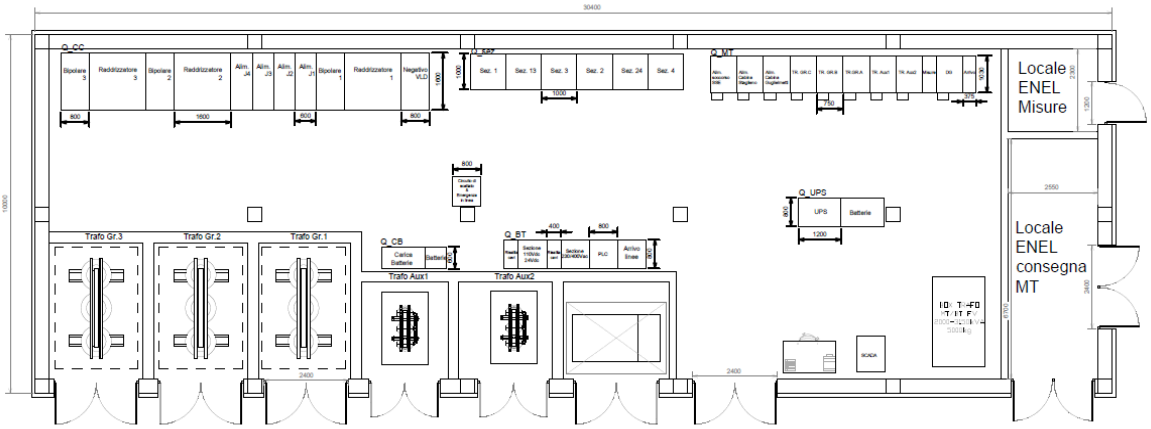


Figura 2. Layout apparecchiature SSE

Considerando che:

- i trasformatori sopracitati sono a una distanza di circa 17 metri l'uno dall'altro;
- i trasformatori sono dimensionati con una certa riserva di potenza e che statisticamente funzionano a pieno carico per un tempo limitato;
- la DPA calcolata è approssimata per eccesso;

si ritiene che una DPA di 5 metri dal fabbricato possa essere considerata cautelativa.

3.3 Analisi casistiche SkyMetro

Con riferimento ai seguenti elaborati:

- MGE1PRLVURBSROT001-00 PLANIMETRIE DI INSERIMENTO STAZIONE ROMAGNOSI
- MGE1PRLVURBSPAT001-00 PLANIMETRIE DI INSERIMENTO STAZIONE PARENZO
- MGE1PRLVURBSSTT001-00 PLANIMETRIE DI INSERIMENTO STAZIONE STAGLIENO-
- MGE1PRLVURBSGUT001-00 PLANIMETRIE DI INSERIMENTO STAZIONE GUGLIELMETTI
- MGE1PRLVURBSGOT001-00 PLANIMETRIE DI INSERIMENTO STAZIONE SAN GOTTARDO
- MGE1PRLVURBSMOT001-00 PLANIMETRIE DI INSERIMENTO STAZIONE MOLASSANA
- MGE1PRLVFUNS00T004-00 LOCALE TECNICO ROMAGNOSI LAYOUT FUNZIONALE
- MGE1PRLVFUNS00T005-00 LOCALI TECNICI PARENZO LAYOUT FUNZIONALE
- MGE1PRLVFUNS00T006-00 LOCALI TECNICI E SOTTOSTAZIONE GUGLIELMETTI LAYOUT FUNZIONALE
- MGE1PRLVFUNS00T007-00 LOCALI TECNICI SAN GOTTARDOLAYOUT FUNZIONALE
- MGE1PRLVFUNS00T008-00 LOCALI TECNICI E SOTTOSTAZIONE MOLASSANA LAYOUT FUNZIONALE
- MGE1PRLVFUNS00T009-00 LOCALE TECNICO STAGLIENO LAYOUT FUNZIONALE

è stato verificato che non sussistano situazioni in cui le DPA non siano rispettate, secondo quanto prescritto dall'articolo 4 c. 1 lettera h, della Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001 (*all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore*).

4. CONCLUSIONI

Per i campi elettrici: considerati i livelli di tensione (15 kV), la disposizione dei conduttori e gli schermi delle varie parti presenti nelle zone di impianto, considerando sia i modelli disponibili sulla letteratura tecnica, sia i calcoli effettuati, nelle aree operative generiche non vengono mai superati i valori limite di 5 kV/m.

Per i campi magnetici: sulla base delle DPA calcolate, è stato verificato che non sussistano situazioni in cui le DPA non siano rispettate, secondo quanto prescritto dall'articolo 4 c. 1 lettera h, della Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001 (all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore). Considerando che è stato effettuato un calcolo tramite metodo approssimativo (da DM 29.05.2008) e in condizioni cautelative, cioè considerando correnti pari ai valori nominali per i trasformatori e alla portata per i cavi (di fatto gli impianti lavorano statisticamente con valori inferiori), si rimanda alla fase di progetto esecutivo un'analisi più dettagliata (tramite software di simulazione), che tenga conto delle reali condizioni di installazione e delle effettive apparecchiature previste per una verifica finale. Qualora dovessero verificarsi situazioni di non rispetto delle prescrizioni normative suddette, andranno previsti opportuni interventi di mitigazione (es. azioni di schermatura all'interno dei locali tecnici).