



STA, NIS Vinschgerbahn

Calcolo del campo elettromagnetico

ECH-344.01-006
Versione 1.0

Cliente:

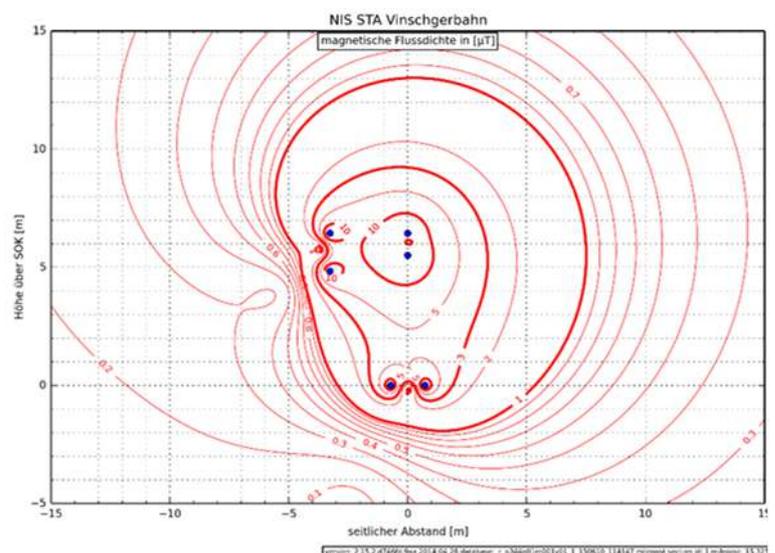
Südtiroler Transportstrukturen AG
Gerbergasse 60
39100 Bozen I
Italia

Emesso da:

ENOTRAC AG
Seefeldstrasse 8
CH-3600 Thun
Tel. +41 (0)33 346 66 11
Fax +41 (0)33 346 66 12
e-mail: info@enotracs.com
www.enotracs.com

Approvato
24/08/2015

ECH-344.01-006.V1.0.STA_NIS_Meran_Mals.docx
© ENOTRAC AG



Versione attuale

Versione	Data	Stato	Preparato	Controllato	Approvato
1.0	24/08/2015	Approvato	P. Boss	NyS, PA, VA	H. Voegeli

Versione precedente

Versione	Data	Stato	Preparato	Controllato	Approvato

Modifiche rispetto alla versione precedente

--

Proprietà intellettuale

© ENOTRAC AG

Bookmarks

Titolo del progetto	ProjTitle1	STA, NIS Vinschgerbahn
	ProjTitle2	
Titolo del documento	DocTitle1	Calcolo del campo elettromagnetico
	DocTitle2	
	DocTitle3	
Numero del documento	DocNumber	ECH-344.01-006
Cliente	ClientName	Südtiroler Transportstrukturen AG
	ClientAddr	Gerbergasse 60 39100 Bozen I Italia
Logos	EnoLogoHeader	
	ClientLogo1Header	
	ClientLogo2Header	
Contatto	Contact	Pascal Boss, Tel. +41 (0)33 346 66 17
	Contact_Mail	pascal.boss@enotrac.com

Contenuto:

1	Introduzione	5
1.1	Situazione iniziale	5
1.2	Scopo di fornitura	6
1.3	Riepilogo	7
1.4	Abbreviazioni e terminologia	9
2	Elementi di Valutazione	10
2.1	Emissioni / Valore limite dei dispositivi	10
2.2	Limiti di immissione	11
2.3	Tipico profilo trasversale	13
2.3.1	Sezione trasversale 1 – Tratta a cielo aperto senza fermate a singolo binario	13
2.3.2	Sezione trasversale 2 – Fermata con ampia piattaforma	14
2.3.3	Sezione trasversale 3 – Fermata con piccola piattaforma	14
2.3.4	Sezione trasversale 4 – Fermata con palo centrale tipo A	15
2.3.5	Sezione trasversale 5 – Fermata con palo centrale tipo B	15
2.3.6	Sezione trasversale 6 – Fermata con palo laterale tipo A	16
2.3.7	Sezione trasversale 7 – Fermata con palo laterale tipo B	16
2.3.8	Sezione trasversale 8 – Fermata con palo laterale tipo C	17
2.3.9	Alimentazione della sottostazione – linea ferroviaria	17
3	Software utilizzati	19
3.1	SIMNET	19
3.2	EMFCALC	20
4	Modellizzazione dei dispositivi a 25 kV	21
4.1	Costruzione dei modelli	21
4.2	Messa a terra	21
4.3	Caratteristiche dei conduttori	21
5	Corrente per la valutazione dei valori di soglia	22
5.1	Corrente nella catenaria e nei cavi di alimentazione	22
5.2	Corrente nella catenaria dei binari di raccordo	24
5.3	Corrente nei conduttori di ritorno	25
6	Corrente per il calcolo delle Immissioni	26
7	Calcolo della densit� del flusso magnetico	27
7.1	Valori di densit� flusso magnetico nelle 24 ore (emissioni)	27
7.1.1	Sezione trasversale 1	27
7.1.2	Sezione trasversale 1a Laas	28
7.1.3	Sezione trasversale 2	29
7.1.4	Sezione trasversale 3	30
7.1.5	Sezione trasversale 4	31
7.1.6	Sezione trasversale 5	32
7.1.7	Sezione trasversale 6	33
7.1.8	Sezione trasversale 7	34

7.1.9	Sezione trasversale 8	35
7.1.10	Linea di alimentazione	36
7.2	Densità di flusso magnetico nelle OKA (Immissioni)	37
7.2.1	OKA 1	38
7.2.2	OKA 2	39
7.2.3	OKA 3	40
8	Referenze	41
Allegato 1	Progetti approvati in Svizzera con dimostrazione di conformità a NIS	42

1 INTRODUZIONE

1.1 Situazione iniziale

La Südtiroler Transportstrukturen AG (STA) ha in programma l'elettificazione della linea ferroviaria tra Merano e Malles (Val Venosta) con alimentazione a 25 kV / 50 Hz. La linea ferroviaria si estende per 60 km e verrà alimentata mediante due trasformatori 132 / 25 kV da 7,2 MVA ciascuno. Tra la sottostazione in Goldrain e la linea ferroviaria, è prevista l'installazione di cavi per l'alimentazione e il ritorno di corrente.

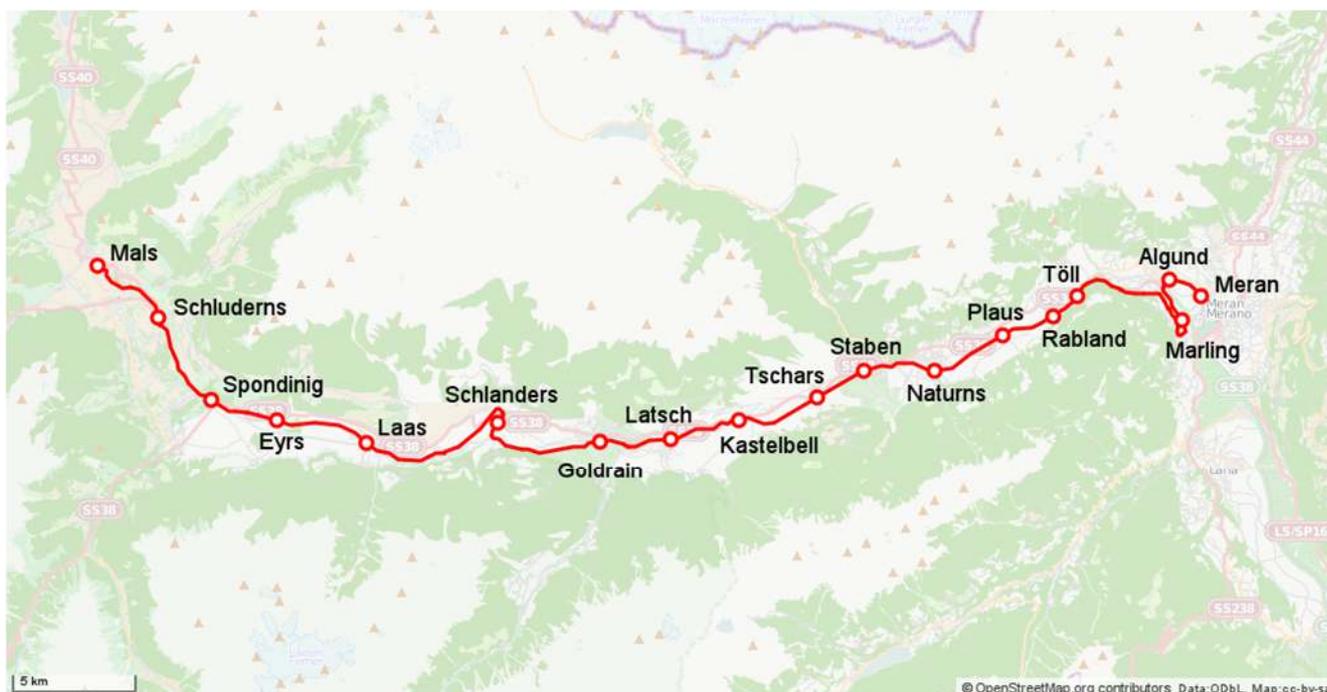


Figura 1-1: Linea Merano - Mals (Fonte: Wikipedia.org)

In aggiunta, sono previsti in Merano e in Malles trasformatori di alimentazione di emergenza, i quali possono alimentare la tratta in caso di totale fuori servizio della sottostazione di Goldrain. Le correnti e le potenze dei trasformatori di emergenza, se confrontate con quelle della sottostazione di Goldrain, risultano significativamente minori. In aggiunta, sono presenti dispositivi che, nel funzionamento normale, non risultano essere in funzione. Pertanto, l'alimentazione di emergenza non viene trattata nel presente documento.

1.2 Scopo di fornitura

Come parte del processo di approvazione, deve essere dimostrato, per gli impianti previsti, il rispetto dei limiti di legge in materia di campi elettrici e magnetici. La presente relazione, insieme con l'allegato [8], prevede che l'attestazione riassume i necessari fondamenti, descriva la procedura e mostri i risultati dei calcoli effettuati in merito all'estensione dei campi magnetici ed elettrici.

Per le analisi, in linea di principio, in Italia deve essere applicato il decreto DPCM dell'8 luglio 2003 [1]. In aggiunta, in Svizzera deve anche essere considerata l'Ordinanza sulla protezione contro le radiazioni non ionizzanti ORNI [2].

Per determinare i valori di carico dei vari sistemi in base alla normativa vigente,   stata utilizzata la seguente procedura:

- 1) Sono stati raggruppati i criteri di valutazione applicabili. Si tratta in particolare delle norme nazionali applicabili e dei limiti in materia di emissioni di radiazioni elettromagnetiche (limite dei dispositivi) e dei limiti inerenti all'immissione (valori di esposizione).
- 2) Sono state ricavate in seguito le correnti delle linee di alimentazione, della linea di contatto e delle funi portanti al fine di determinare le emissioni e le immissioni:
 - a) Il computo delle correnti, nelle linee di alimentazione e nei conduttori della tratta principale, si basa sulla corrente calcolata da STA per la sottostazione Goldrain
 - b) Le correnti nei conduttori dei binari di raccordo sono state calcolate sulla base dell'orario e delle informazioni sui veicoli fornite da STA.
- 3) La ripartizione delle correnti di ritorno nel sistema della catenaria, nella terra e nei cavi di ritorno dell'alimentazione si basa su modelli simulati tramite Simnet (per la descrizione dello strumento di simulazione SIMNET si veda il Capitolo 3). In particolare, sono state utilizzate 8 tipiche configurazioni delle rotaie e della catenaria, in base ai dati provenienti da STA.
- 4) Si   reso necessario definire per prima cosa la disposizione dei conduttori per le linee di alimentazione tra la sottostazione di Goldrain e la linea ferroviaria. La disposizione deve soddisfare contemporaneamente i requisiti normativi e giuridici riguardo alla sicurezza e alla portata di corrente (riscaldamento dei conduttori). Le tipologie di cavi e le sezioni sono stati stabiliti da STA.
- 5) Sulla base delle correnti nei conduttori,   stata poi calcolata la densit  di flusso magnetico per le emissioni e le immissioni (per i dispositivi selezionati) considerando ogni configurazione tipica della catenaria e della linea di alimentazione. Il calcolo   stato effettuato utilizzando EMFCalc secondo la legge di Biot-Savart per un conduttore infinitamente lungo (vedasi Capitolo 3).
- 6) Utilizzando EMFCalc, sono stati evidenziati graficamente i contorni dei valori limite e le disposizioni dei conduttori. Dai grafici, si pu  essere notare l'andamento orizzontale delle curve relative ai valori limite.
- 7) Sulla base dell'andamento delle curve relative ai valori limite, STA ha preparato un piano relativo alla situazione in essere [8], in cui sono visibili, lungo i binari e gli edifici vicini, le soglie limite evidenziate dalle curve. Il piano   da considerarsi, unitamente al presente rapporto, evidenza della conformit  in base al DPCM dell'8 luglio 2003 [1] relativamente alla compatibilit  elettromagnetica.

1.3 Riepilogo

La legislazione in merito ai limiti per i campi elettromagnetici nei sistemi a 50 Hz, valida in Italia per la tratta Merano-Malles,   rappresentata dal decreto DPCM dell'8 luglio 2003 [1], in cui sono stabiliti i seguenti limiti:

- valore di intensit  del campo elettrico pari a 5 kV / m, valore efficace,
- valore limite di esposizione (limite di immissione) relativo alla densit  del flusso magnetico pari a 100 μ T, valore efficace,
- in generale, pertanto anche per gli impianti esistenti, il valore limite precauzionale di emissione della densit  del flusso magnetico risulta essere di 10 μ T valore efficace. Tale limite   applicabile ai luoghi a utilizzazione sensibile (parchi giochi, asilo, scuole, saloni e spazi con soggiorno > 4 ore al giorno). Il valore   mediato su un periodo di 24 ore,
- per le nuove installazioni, il valore limite precauzionale di emissione per l' induzione magnetica risulta essere di 3 μ T valore efficace. Tale limite   inteso come obiettivo di qualit  per le nuove installazioni in prossimit  di zone a utilizzazione sensibile (parchi giochi, asilo, scuole, saloni e spazi con soggiorno > 4 ore al giorno). Il valore   mediato su un periodo di 24 ore.

Siccome nel progetto sono prese in considerazione solo linee nuove, il limite dell'impianto considerato, relativamente alla densit  del flusso magnetico, risulta il essere il solo obiettivo qualitativo di 3 μ T per i luoghi a utilizzazione sensibile.

Inoltre, durante la pianificazione, deve essere presa in considerazione la regolamentazione svizzera sulle radiazioni non ionizzanti ORNI [2], la quale definisce, per i luoghi a utilizzazione sensibile (OMEN), un limite per la densit  del flusso magnetico di 1 μ T valore efficace mediato su un periodo di 24 ore; di conseguenza risulta un limite 3 volte pi  severo rispetto a [1]. In accordo con ORNI [2], il limite di immissione per la densit  del flusso magnetico risulta essere, come descritto in [1], di 100 μ T valore efficace.

I calcoli delle emissioni (valore della densit  del flusso magnetico su 24 ore) hanno determinato, per la configurazione tipica, le distanze minime consentite per l'asse di riferimento (asse di riferimento = centro della tratta principale, ovvero il centro del portacavi). I risultati sono mostrati nella Tabella 1-1. Va notato che i valori sono stati calcolati con il valore di corrente nel punto di alimentazione (112 A, eccetto che 65 A per profilo trasversale 1a). Dato che la corrente diminuisce con l'aumentare della distanza dalla sottostazione, diminuisce pertanto anche la distanza dal centro della tratta delle isolinee del campo magnetico. Di conseguenza si pu  effettuare un confronto fra le distanze della sezione 1 (nel punto di alimentazione) e la sezione trasversale 1a (a Laas, a circa 15 km di distanza dall'alimentazione).

Sezione trasversale Nr.	Configurazione dei conduttori	Estensione orizzontale (sinistra / destra) rispetto all'asse di riferimento [m]	
		1 μ T curva in accordo a [2]	3 μ T curva in accordo a [1]
1	Tratta a binario unico a cielo aperto senza fermate	-7.1 / 10.4	-4.5 ¹ / 4.9
1a	Tratta a binario unico a cielo aperto senza fermate presso Laas ²	-5.4 / 7.1	-4.0 ¹ / 3.1
2	Fermata con un'ampia piattaforma	-8.3 / 11.0	-6.0 ¹ / 5.0
3	Fermata con una piccola piattaforma	-7.6 / 10.7	-5.0 / 5.0
4	Fermata con palo centrale tipo A	-9.6 / 10.5	-7.2 ³ / 4.9
5	Fermata con palo centrale tipo B	-10.5 / 9.0	-4.9 / 6.8 ³
6	Fermata con palo laterale tipo A	-10.3 / 7.8	-8.7 ¹ / 5.0 ¹
7	Fermata con palo laterale tipo B	-8.2 / 11.1	-5.8 ¹ / 9.5 ¹
8	Fermata con palo laterale tipo C	-10.7 / 12.1 ³	-9.4 ¹ / 11.5 ³
-	Alimentazione sottostazione ferroviaria	-7.0 / 7.0	-2.0 / 2.0

Tabella 1-1: Andamento orizzontale, per le diverse tipologie di conduttori, delle linee con costante densit di flusso di 1 μ T e 3 μ T rispetto all'asse di riferimento (sinistra / destra)

È evidente che l'andamento dei campi elettromagnetici risulta asimmetrico in quasi tutte le configurazioni. Questo dipende dalla configurazione asimmetrica della catenaria (vedasi anche l'analisi grafica nel capitolo 7). Occorre inoltre osservare che la disposizione dei binari principali e dei binari di raccordo non è la stessa in tutte le sezioni.

Dai calcoli risulta inoltre, che in [1] e anche in [2], lungo la tratta a cielo aperto senza fermate e lungo il portacavi della linea di alimentazione, il limite di immissione di densit di flusso magnetico di 100 μ T valore efficace viene rispettato in tutte le aree pubbliche senza problemi.

Grazie all'isolamento elettrico del cavo, non è necessaria alcuna distanza minima da rispettare o barriera riguardante il cavo di alimentazione della catenaria in merito alla protezione dai contatti diretti (tensione). Tuttavia, il limite massimo consentito di immissione viene qui superato entro un raggio max. di 1 m dalla linea. È pertanto necessario garantire, tramite misure strutturali (come recinzione di sicurezza o il posizionamento di scale nella zona non di pubblico accesso), che le persone non autorizzate non possano accedere a quest'area.

¹ A ridosso del palo della catenaria

² Valore di comparazione con la corrente a met della tratta

³ A ridosso dei binari di raccordo

1.4 Abbreviazioni e terminologia

Termine	Definizione
AGW	Anlagengrenzwert (Definition nach Dekret DPCM [1] sowie NISV [2]), auch Emissionsgrenzwert
ACSR	Condotto in alluminio con rinforzo in acciaio (Aluminium conductor steel reinforced)
Cu	Rame
DPCM	Decreto del presidente del consiglio dei ministri
IGW	Valore limite di immissione (Immissionsgrenzwert / Expositionswert nach Dekret DPCM [1])
Immissione	Il termine „immissione“, relativo alla normativa svizzera [2],  da intendersi come “esposizione”
NIS	Radiazioni non ionizzanti, (Nichtionisierende Strahlung)
NISV	Ordinanza sulle radiazioni non ionizzanti (Verordnung ber den Schutz vor nichtionisierender Strahlung [2])
ORNI	Ordinanza sulle radiazioni non ionizzanti (Verordnung ber den Schutz vor nichtionisierender Strahlung [2])
OKA	Luoghi con soggiorno di breve durata secondo l'Art. 13, Abs 1 NISV [2]
OMEN	Luogo ad utilizzo sensibile secondo l' Art. 3, Abs. 3 NISV [2]
SOK	Altezza dal bordo della rotaia
Staku	Condotto in lega di rame e acciaio (Stahl-Kupfer)

Tabella 1-2 Tabella con abbreviazioni e della terminologia utilizzati

2 ELEMENTI DI VALUTAZIONE

2.1 Emissioni / Valore limite dei dispositivi

In base alle DPCM [1] e ORNI [2], nei luoghi a utilizzazione sensibile, il valore di ciascun impianto in condizioni operative di riferimento (funzionamento normale) deve essere contenuto nel limite prescritto dalle direttive. La catenaria, le linee di alimentazione a 25 kV e il circuito di ritorno sono considerati come un unico insieme e sono, ai fini del calcolo dei limiti per impianto, da considerarsi quindi come un unico sistema.

La base per stabilire il rispetto del valore limite dell'impianto   la corrente indotta dal campo magnetico. Secondo il DPCM [1], per la determinazione delle correnti,   valida la norma CEI 11-60 [5] nonch  la procedura APAT ARPA [6]. Tuttavia, per la valutazione dei limiti termici delle linee dovuti alla corrente, entrambe le fonti fanno esclusivamente riferimento alle linee di trasmissione ad alta tensione. In particolare, questa base di calcolo si applica alla linea di alimentazione tra le sottostazioni e la linea ferroviaria, quindi al di fuori dalla tratta.

Tuttavia, non vi sono norme o regolamenti specifici per le apparecchiature ferroviarie. La valutazione delle emissioni magnetiche per i sistemi ferroviari, basata sulla valutazione termica delle correnti limite, non risulta opportuna, in particolare per la linea ferroviaria Merano-Malles. I motivi risultano essere i seguenti:

- I conduttori sono piuttosto sovradimensionati per i carichi considerati. In particolare, i cavi di alimentazione sono dimensionati per avere ridondanza n-1;
- Nel sistema ferroviario possono manifestarsi grossi e rapidi picchi di corrente. La corrente a regime risulta, in proporzione, molto pi  piccola;
- Durante la fermata notturna della linea Merano-Mals (circa 5 ore), non scorre alcuna corrente;
- Nella catenaria scorrono, a regime, esattamente le stesse correnti che scorrono nella linea di alimentazione nelle vicinanze.

Di conseguenza, per la determinazione delle correnti della catenaria e dell'alimentazione, sono stati utilizzati i criteri NIS stabiliti dall'Ufficio federale dell'ambiente svizzero e validi in Svizzera. Le referenze di simili progetti sono elencate nell'allegato 1.

Perci , la corrente viene mostrata in base al valore medio di corrente previsto (calcolato) sulle 24 h per ciascun punto di alimentazione nella sottostazione di Goldrain, per la catenaria dei binari di raccordo di fermate e stazioni. I dati di base per i flussi sono stati derivati da STA.

La ripartizione delle correnti di ritorno nei vari conduttori e nella terra,   stata calcolata tramite SIMNET, lo strumento di simulazione di Enotrac (vedere anche paragrafo 3.1).

Il valore di emissione della densit  del flusso magnetico viene calcolata sulla base delle correnti nella catenaria e nei conduttori di ritorno in un intervallo di 24 h.

2.2 Limiti di immissione

I limiti di immissione per le persone devono sottostare all'Art. 3, DPCM [1] und Art. 13, NISV [2]. I limiti valgono, in particolare, nei luoghi ove e plausibile che le persone possano sostare.

Al fine di valutare se i limiti prescritti siano rispettati, sono stati pertanto identificati i cosiddetti luoghi con soggiorno di breve durata (OKA), per i quali i valori ammissibili risultano essere i piu alti:

OKA 1: Livello del terreno, sopra il portacavi della catenaria e della linea di alimentazione.

OKA 2: Livello del terreno dei dispositivi di alimentazione presso un passaggio a livello di una tratta a binario unico, a cielo aperto senza fermate (Sezione trasversale 1).

OKA 3: Lungo il palo della linea di contatto fino al punto di alimentazione della linea (2 cavi di alimentazione attivi).

Secondo DPCM [1], il limite di esposizione non deve essere superato. Tuttavia, non e definito dove e in accordo a quali condizioni. Ai sensi del comma 4 dell'art. 14 ORNI [1], le immissioni sono rilevate per lo stato di esercizio dell'impianto in cui esse registrano il valore massimo. Sono quindi da considerarsi tutti i sistemi di generazione e di radiazione insieme.

Per la presente valutazione, si sono considerati i valori di picco di corrente forniti da STA. E' stata qui considerata una stato della rete in cui le correnti, in particolare nella linea di alimentazione, risultino essere le maggiori possibili.

Il paragrafo 1 Art. 3 DPCM [1], definisce i limiti di esposizione definiti per le varie grandezze del campo. Ad una frequenza di 50 Hz e necessario osservare i seguenti limiti:

- 5'000 V/m valore efficace dell'intensita del campo E
- 100 μ T valore efficace del flusso magnetico B

A causa delle distanze di sicurezza tra conduttori in tensione e strutture messe a terra, parti accessibili e terreno, viene generalmente rispettata la soglia prescritta per l'intensita campo elettrico, relativa alle linee aeree con tensione nominale di 25 kV. Questo, per la configurazione di catenaria con tratta singola a cielo aperto senza fermate, viene dimostrato tramite i calcoli generici effettuati con il software FEMM 4.2, come mostrato in Figura 2-1. E evidente che un'intensita di campo superiore a 4'750 V / m (magenta a colori), con una tensione di catenaria di 27.5 kV (tensione massima ammessa in funzionamento continuo, secondo la norma EN 50163), si denota da un'altezza di circa 4,2 m dalle SOK. Non sono quindi necessarie ulteriori considerazioni.

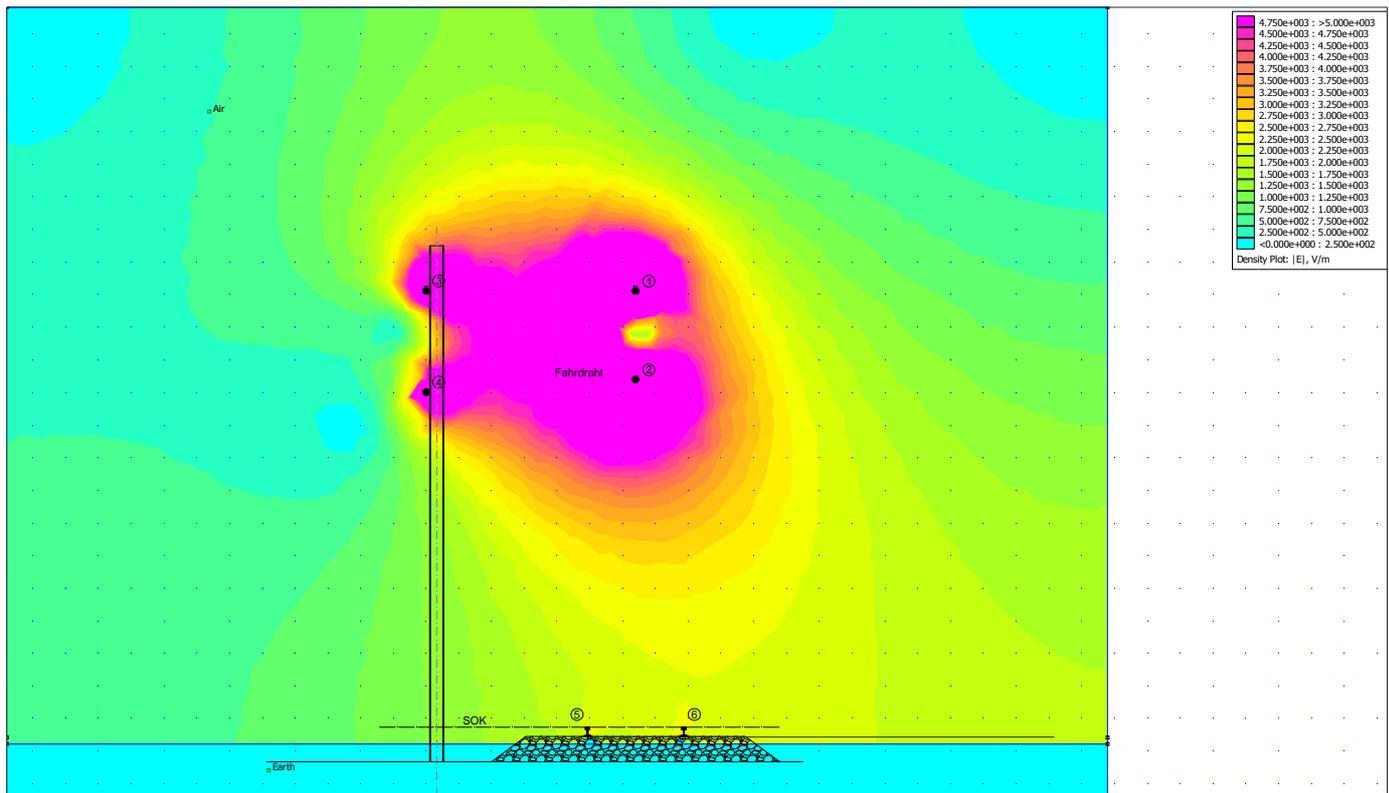


Figura 2-1: Intensit di campo elettrico (V/m) su linea a cielo aperto senza fermate

Le linee in cavo possono essere accessibili, al contrario delle linee aeree. Non ci sono distanze di sicurezza obbligatorie perch l'isolamento esterno dei cavi pu essere toccato in sicurezza. Oltretutto, il campo elettrico  completamente schermato dall'isolante. Per questo motivo, il limite dell'intensit del campo elettrico  generalmente rispettata in questa zona, motivo per cui non sono necessarie ulteriori considerazioni.

Di conseguenza, per validare i limiti di immissione,  stata calcolata solo la densit di flusso magnetico.

2.3 Tipico profilo trasversale

Il calcolo dei campi elettromagnetici è stato effettuato considerando 8 tipiche configurazioni della catenaria e della linea di alimentazione tra le sottostazioni e la tratta. Il posizionamento dei conduttori è stato prestabilito da STA (si veda [7]) e viene presentato nei capitoli seguenti. Si applicano le seguenti denominazioni per i conduttori:

Nr.	Denominazione	Tipo / Sezione
1	Fune portante	BzII, 50 mm ²
2	Linea di contatto	CuAg0.1, 80 mm ²
3	Conduttore di ritorno	ACSR (Aldrey) 148.5 mm ² (Cat. 785/142)
4	Conduttore di ritorno	ACSR (Aldrey) 148.5 mm ² (Cat. 785/142)
5	Rotaia	UIC 50
6	Rotaia	UIC 50

Tabella 2-1: Denominazione e tipo di conduttore

2.3.1 Sezione trasversale 1 – Tratta a cielo aperto senza fermate a singolo binario

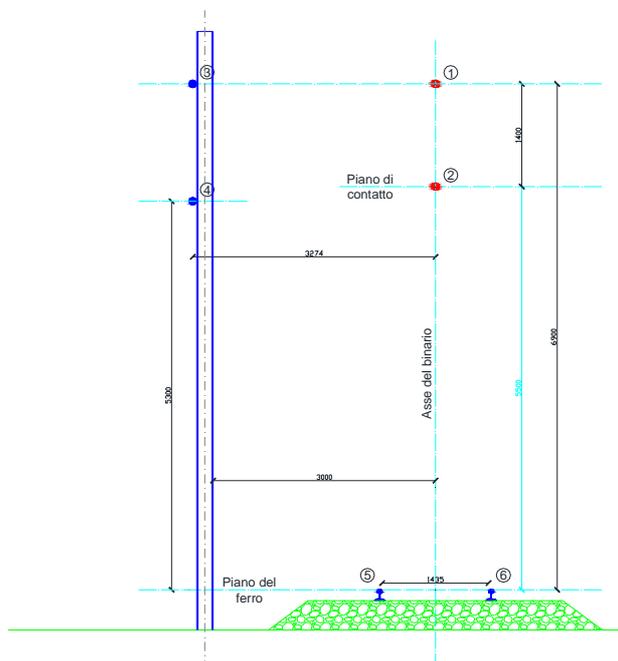


Figura 2-2: Disposizione dei conduttori della linea a cielo aperto senza fermate a binario singolo (Fonte: [7])

2.3.2 Sezione trasversale 2 – Fermata con ampia piattaforma

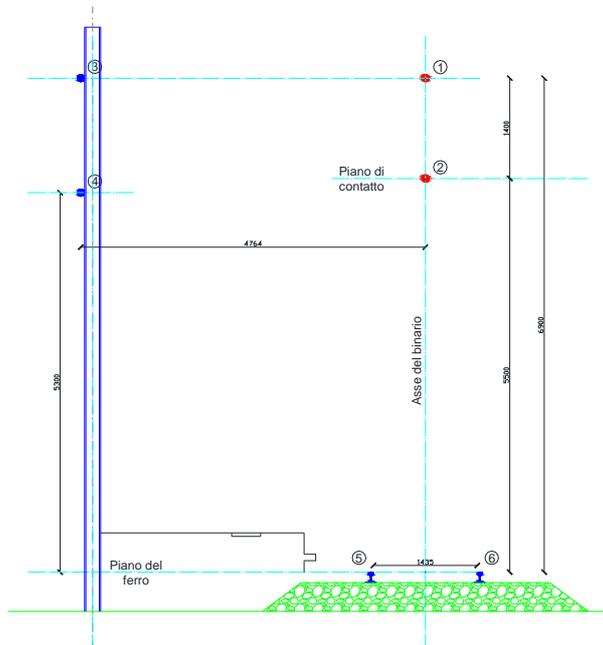


Figura 2-3: Disposizione dei conduttori delle fermate con ampia piattaforma (Fonte: [7])

2.3.3 Sezione trasversale 3 – Fermata con piccola piattaforma

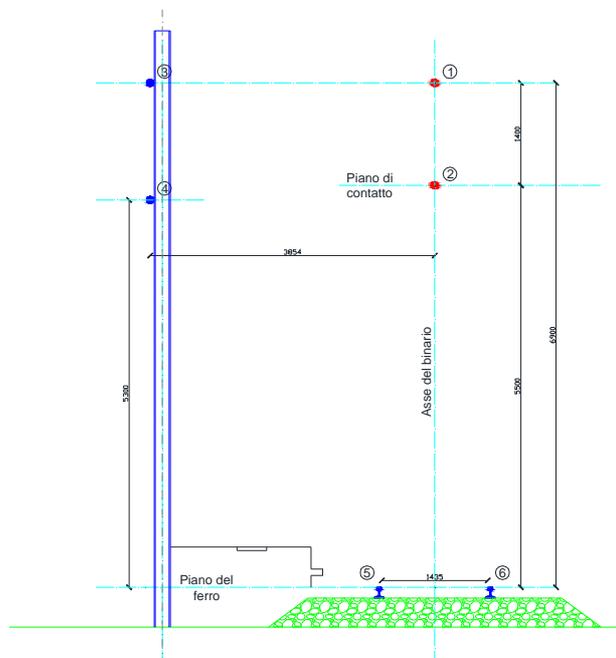


Figura 2-4: Disposizione dei conduttori delle fermate con piccola piattaforma (Fonte: [7])

2.3.4 Sezione trasversale 4 – Fermata con palo centrale tipo A

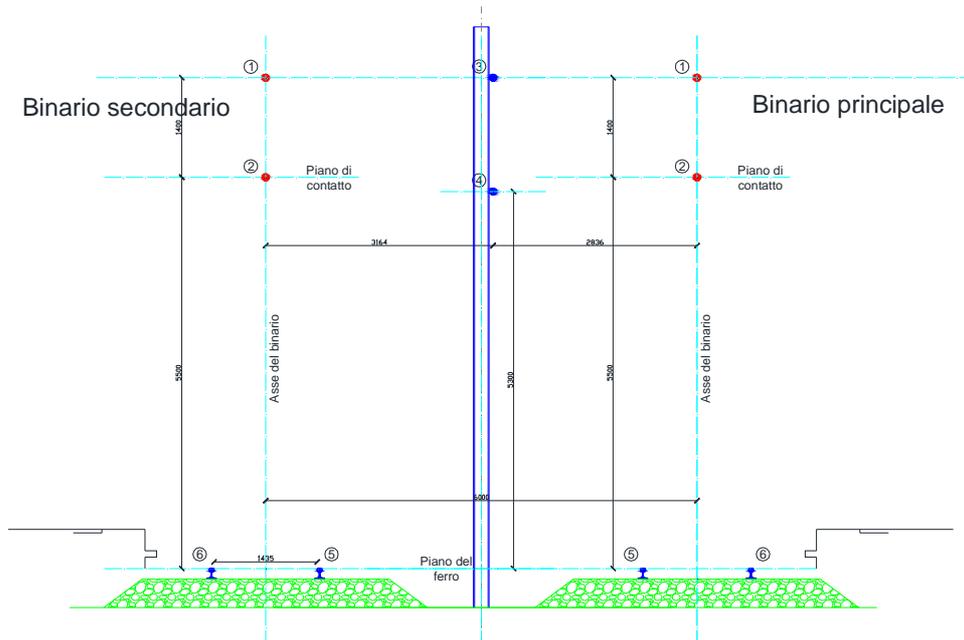


Figura 2-5: Disposizione dei conduttori nelle fermate con palo centrale tipo A (Fonte: [7])

2.3.5 Sezione trasversale 5 – Fermata con palo centrale tipo B

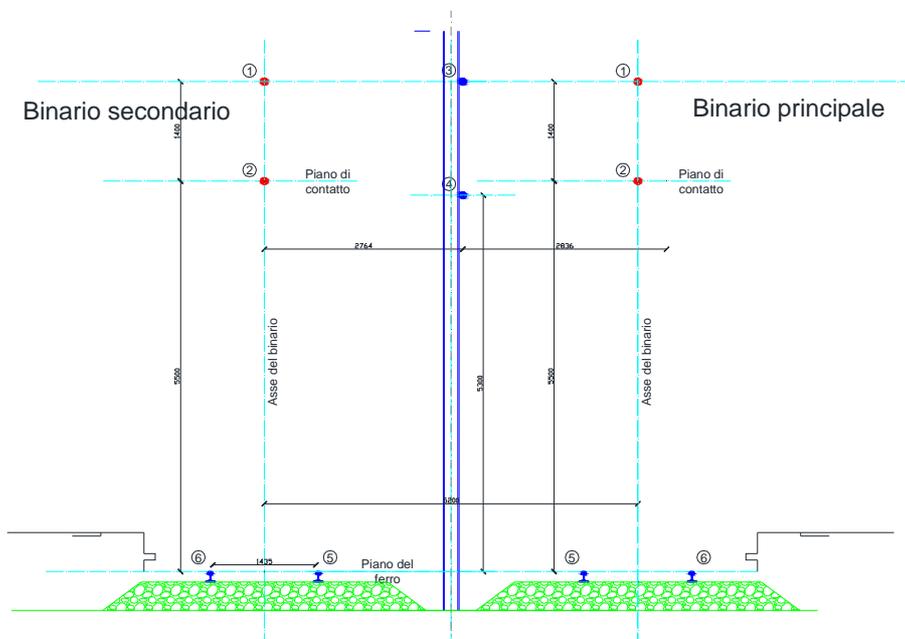


Figura 2-6: Disposizione dei conduttori nelle fermate con palo centrale tipo B (Fonte: [7])

2.3.6 Sezione trasversale 6 – Fermata con palo laterale tipo A

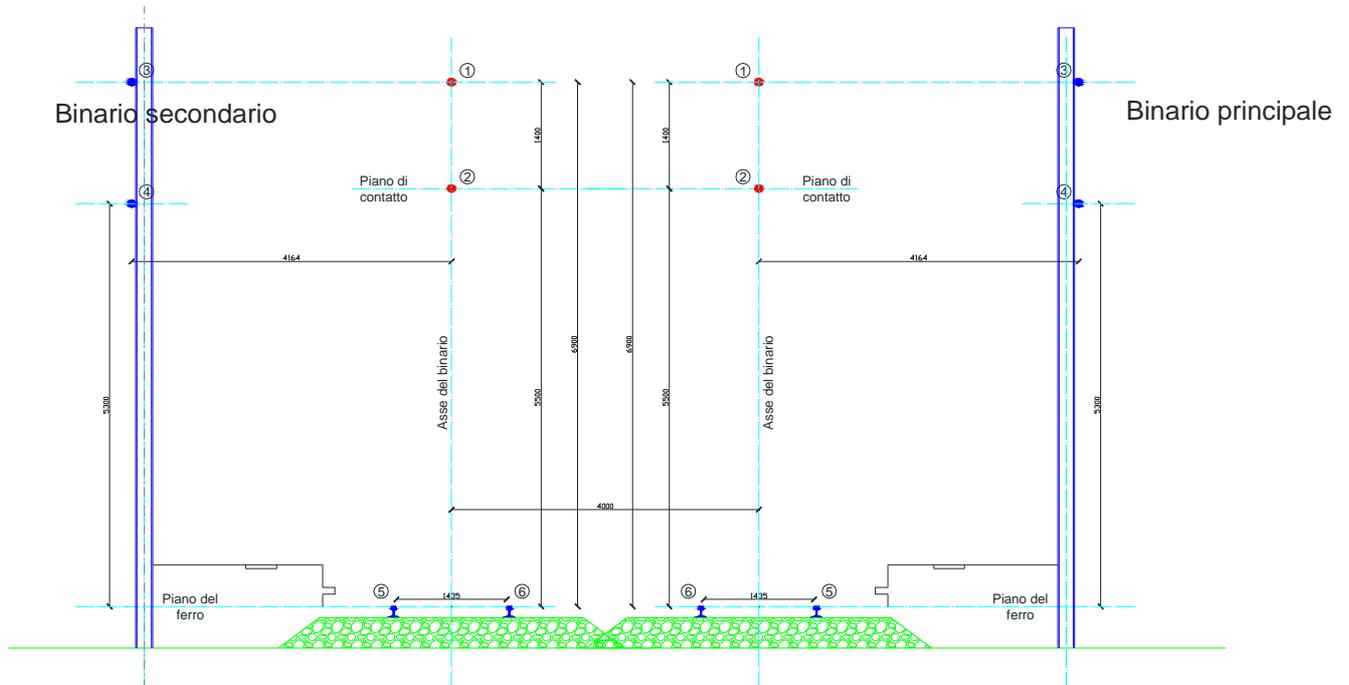


Figura 2-7: Disposizione dei conduttori nelle fermate con palo laterale tipo A (Fonte: [7])

2.3.7 Sezione trasversale 7 – Fermata con palo laterale tipo B

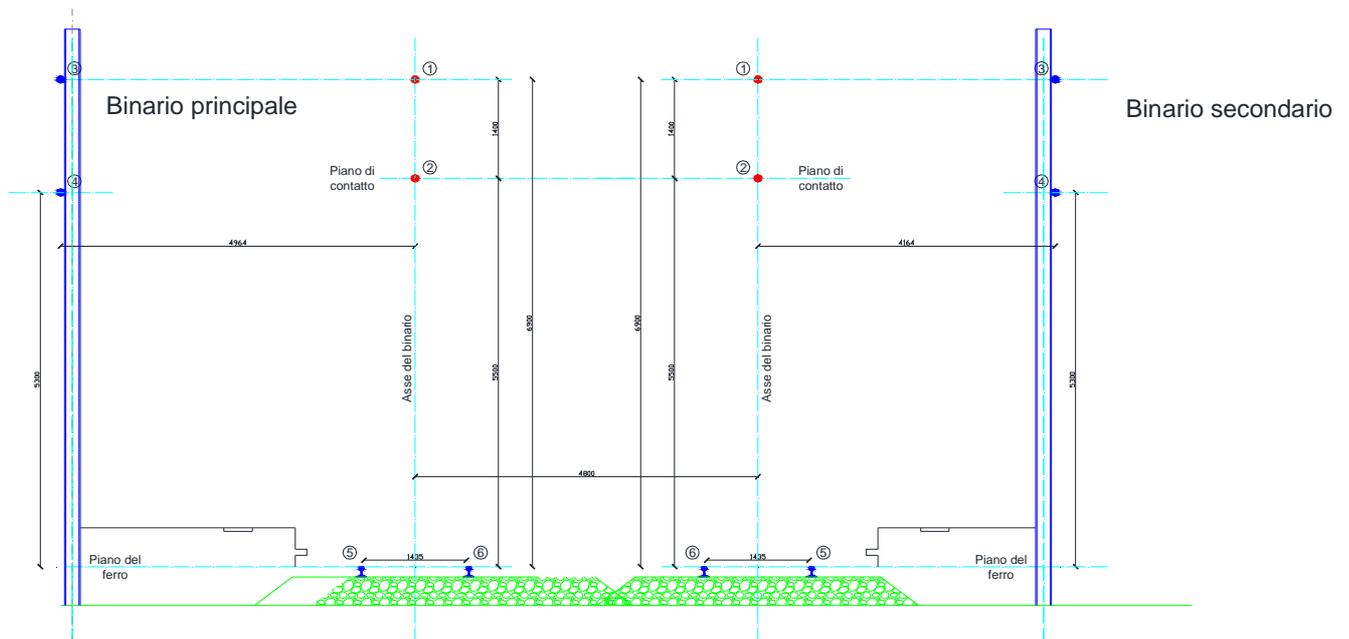


Figura 2-8: Disposizione dei conduttori nelle fermate con palo laterale tipo B (Fonte: [7])

2.3.8 Sezione trasversale 8 – Fermata con palo laterale tipo C

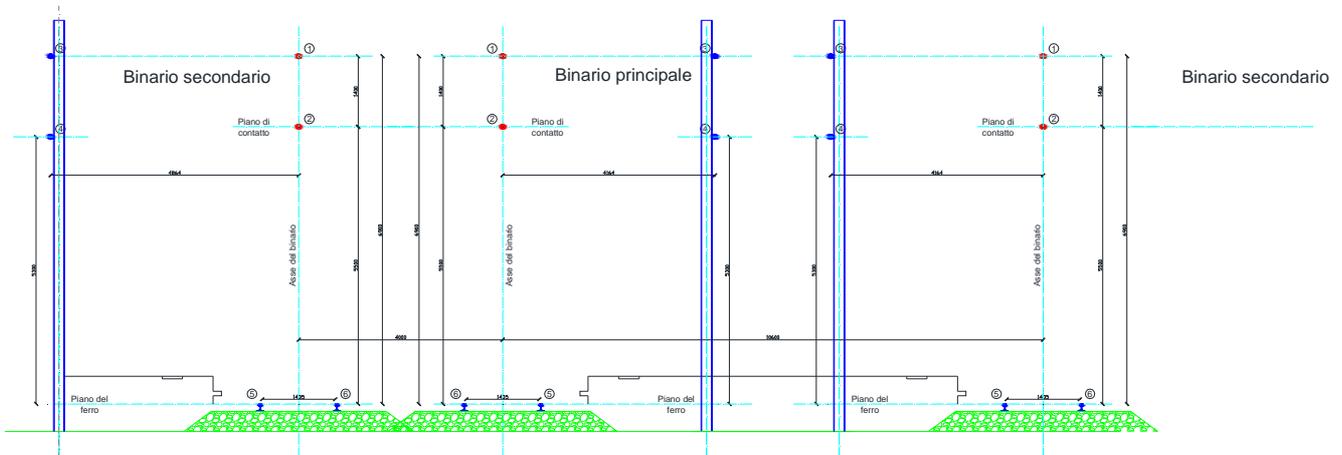


Figura 2-9: Disposizione dei conduttori nelle fermate con palo laterale tipo C (Fonte: [7])

2.3.9 Alimentazione della sottostazione – linea ferroviaria

Secondo STA, le linee di alimentazione e di ritorno, dalla sottostazione alla catenaria, sono da realizzarsi in cavo con relative canaline.

In base alle informazioni di STA, due cavi di andata e due di ritorno sono installati per punto di alimentazione. A causa della tensione nominale di 25 kV della linea aerea (fase - terra, U_0) devono essere utilizzati cavi di andata da 26 / 45 kV. Il conduttore di ritorno è previsto anche come sistema di terra. A causa dei collegamenti diretti con tutte le parti accessibili e messe a terra, nei cavi di ritorno si presentano piccole tensioni verso terra. Per questo motivo, i cavi, in contrasto con le esigenze di STA, non possono essere isolati dalla tensione nominale della catenaria. I cavi per il circuito di ritorno possono essere quindi dimensionati per una tensione nominale di 0,6 / 1 kV.

Come sezione nominale per i cavi di alimentazione di andata e ritorno, STA ha determinato conduttori da 120 mm² Cu. Cavi di andata e ritorno sono posizionati insieme a coppie in una canalina. Le canaline per i cavi saranno cementate in un blocco pluricanali. Per definire la profondità di montaggio e le distanze minime al fine di ottenere una sufficiente portata di corrente, è stata considerata la norma IEC 60502-2. Anche se tale norma è a rigore applicabile solo a cavi con una tensione nominale massima di 18 / 30 kV; è stato necessario farvi riferimento stante la mancanza di standard validi per i cavi di media tensione con valori nominali superiori.

Come base per determinare la portata di corrente, è stato utilizzato un cavo a tre conduttori (due conduttori sotto carico per condotto non sono previsti nello standard). Con 120 mm² Cu e isolamento XLPE risulta una portata di corrente massima per cavo di 264 A a una profondità di 0.8 m. Il fattore di riduzione da considerare per 4 passerelle cavi affiancate con una distanza di 20 cm è di 0.75 ([3], Tabella B.20). In [4] non viene specificata alcuna profondità minima per i condotti cementati. Di conseguenza, il blocco pluricanali è generalmente posto ad una profondità di circa 1 m. Il fattore di riduzione corrispondente per questo è di 0.98. Ciò si traduce in una portata di corrente di 194 A per cavo.

Le correnti previste a 15 minuti risulterebbero essere (in conformità con la Sezione 5.1) al massimo di 220 A. Con due cavi di andata paralleli posati per punto di alimentazione, la portata di 388 A risulta

sufficiente. A seguito della perdita di uno dei 4 conduttori di ritorno (n-1), i rimanenti 3 attivi, porterebbero 582 A e non risulterebbero quindi sovraccaricati.

Un cavo unipolare 26/45 kV da 120 mm² Cu ha tipicamente un diametro esterno di circa 44 mm, mentre un cavo 0,6 / 1 kV da 120 mm² Cu un diametro di circa 20 mm. Così, entrambi i cavi possono essere tirati in un condotto il cui diametro interno, secondo le specifiche del produttore di cavi, deve essere 1.5 volte quello di entrambi i cavi. Pertanto, sarebbe sufficiente un condotto con 100 mm di diametro interno. Tuttavia, si raccomanda di utilizzare canaline con un diametro interno minimo di 150 mm al fine di avere abbastanza spazio per cavi di diametro più grande in caso di futuri ampliamenti.

Secondo lo standard [4], le canaline dei cavi di media tensione su linee a bassa tensione o di telecomunicazioni, sono tenute ad avere una distanza minima di 30 cm. Inoltre, un'etichetta di indicazione deve essere inserita attraverso il condotto ad una distanza di almeno 20 cm. La Figura 2-10 mostra una possibile disposizione di canaline e la distanza minima per i blocchi pluricanali tra la sottostazione e la linea ferroviaria.

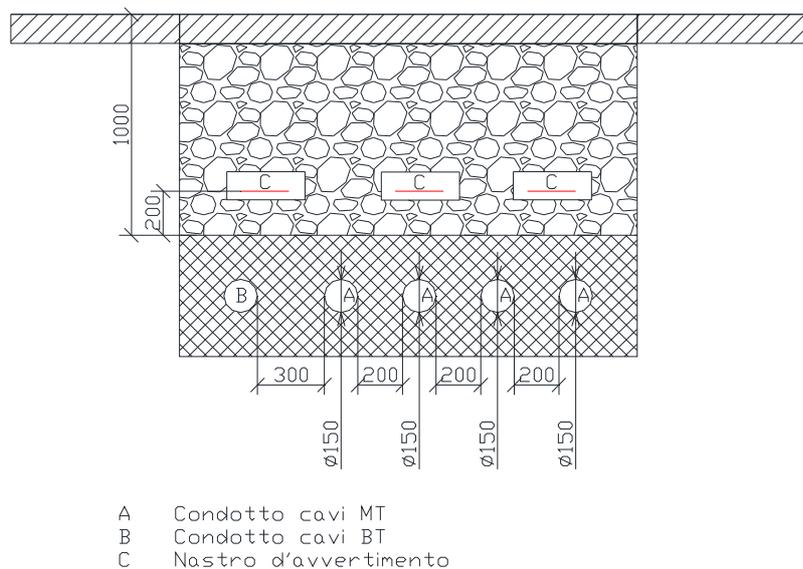


Figura 2-10: Blocco pluricanali tra la sottostazione e la linea ferroviaria

3 SOFTWARE UTILIZZATI

3.1 SIMNET

La logica di simulazione di SIMNET permette di calcolare le correnti, le tensioni e i campi magnetici risultanti da differenti conduttori di una rete, disposti in parallelo. E' in tal modo possibile lo studio delle installazioni ferroviarie composte da elementi quali: linea di contatto, funi portanti, linea di alimentazione, feeders, conduttori di terra, rotaie e cavi. SIMNET   particolarmente adatto per:

- calcolare la ripartizione della corrente nei diversi conduttori di andata e di ritorno, su linee all'aperto o in galleria
- calcolare l'intensit  del flusso magnetico in proximit  di una linea ferroviaria in relazione ad una determinata disposizione e carico dei conduttori
- calcolare l'impedenza nelle differenti configurazioni della linea di contatto e dei conduttori di ritorno, utilizzando tale valore come parametro per le simulazioni con FABEL
- studiare la mutua influenza di conduttori disposti parallelamente, come i cavi di segnale e di comando
- determinare il potenziale dei conduttori verso terra (tensione di contatto), in caso di corto circuito o durante il normale funzionamento

La simulazione di SIMNET mostra la ripartizione della corrente nei conduttori, cos  come il potenziale verso terra di ciascun conduttore lungo tutta la tratta in esame. Le tensioni e le correnti sono indicate considerandone la fase in modo da poter determinarne resistenza, induttanza e capacit  per unit  di lunghezza di un sistema completo di conduttori disposti in parallelo. In base alla ripartizione delle correnti, si determina l'intensit  del flusso magnetico intorno al sistema considerato tramite EMCCALC.

I dati fisici e geometrici dei conduttori possono essere inseriti per ciascuna configurazione possibile e per ciascun tipo di tracciato. Ai dati di ingresso appartengono, per esempio:

- frequenza di rete: SIMNET permette di simulare tutte le frequenze di rilevanza ferroviaria, comprensive di corrente continua, 16.7 Hz, 50 Hz, 60 Hz e le relative armoniche
- posizione e geometria dei conduttori in un sistema di coordinate: X-Y-Z
- collegamenti fra i conduttori, come la connessione diretta, messa a terra o conduttanza verso terra
- punti di iniezione di corrente e di consumo (treni)
- distanza fra i conduttori e gli eventuali luoghi a utilizzazione sensibile (esposizione ai campi magnetici)

Sulla base dei dati in ingresso, SIMNET calcola la resistenza e l'autoinduttanza dei diversi conduttori considerati individualmente, la mutua induttanza e la capacit  tra conduttori. L'effetto pelle e la profondit  di penetrazione delle correnti nella terra sono calcolati.

3.2 EMFCALC

EMFCALC  un programma per calcolare il campo magnetico in una zona di una linea ferroviaria. Come base per il calcolo, EMFCALC utilizza la distribuzione di energia sui vari conduttori calcolata con SIMNET.

EMFCALC calcola la densit di flusso magnetico in piani perpendicolari ai conduttori. La densit di flusso  calcolata in punti predefiniti relativi a queste aree. La distanza tra questi punti pu essere selezionata dall'utente. La densit di flusso magnetico calcolato pu essere visualizzata con la rappresentazione di isolinee.

4 MODELLIZZAZIONE DEI DISPOSITIVI A 25 kV

4.1 Costruzione dei modelli

Per calcolare la distribuzione di corrente nei conduttori di ritorno, è stata modellata in SIMNET una linea ferroviaria a binario unico in punto intermedio tra le alimentazioni (sottostazione di Goldrain) lunga 60 km. L'intero percorso è stato modellato con la configurazione di catenaria a linea cielo aperto senza fermate (sezione trasversale 1). Per il calcolo della distribuzione di corrente nei conduttori di fermate e stazioni (sezione trasversale da 2 a 8), è stato conseguentemente adattato il modello iniziale della tratta singola. La configurazione della catenaria relativa alla corrispondente sezione trasversale, è stata inserita nella sezione centrale della catenaria (45 km) per una lunghezza di 600 m.

4.2 Messa a terra

Per la messa a terra sono stati considerati i seguenti valori:

- Resistenza del terreno: 161 Ω m
- Messa a terra dei pali: ogni 50 m con 25 Ω per palo
- Collegamenti trasversali: ogni 250 m sono collegati fra loro i conduttori di ritorno e i binari
- Messa a terra della sottostazione: 200 m Ω
- Profondità della corrente di terra: 2035 m (calcolato con SIMNET)

4.3 Caratteristiche dei conduttori

Conduttore-Nr. (secondo al capitolo 2.3)	Raggio [mm]	Resist. DC [Ω /m]	Permeabilità relativa	Conduttanza [S/m]
1. Fune portante	4.0	566E-03	1	0.000
2. Linea di contatto	5.3	224E-03	1	0.000
3. Conduttore di ritorno	6.4	222E-03	1	0.000
4. Conduttore di ritorno	6.4	222E-03	1	0.000
5. Rotaie	45 ⁴	3.69E-05	50	0.001 ⁵
6. Rotaie	45	3.69E-05	50	0.001

Tabella 4-1: Caratteristiche dei conduttori considerate nel modello

⁴ Raggio equivalente

⁵ Per tratte normali su base di ghiaia

5 CORRENTE PER LA VALUTAZIONE DEI VALORI DI SOGLIA

5.1 Corrente nella catenaria e nei cavi di alimentazione

Il valore limite per la densit del flusso magnetico dell'impianto secondo il DPCM 8 luglio 2003 [1]  di 3 μT valore efficace, inteso come valore medio nelle 24 ore. In base alla ORNI [2], il valore limite per la densit del flusso magnetico dell'impianto  di 1 μT valore efficace, inteso come valore medio nelle 24 ore.

La valutazione si basa su una corrente media in base alle condizioni operative di riferimento (funzionamento normale). Nel presente studio, questa corrente  stata derivata da un simulazione relativa ai carichi orari del trasformatore in Goldrain, come si vede nella Figura 5-1. Le informazioni relative al trasformatore si basano su informazioni di STA.

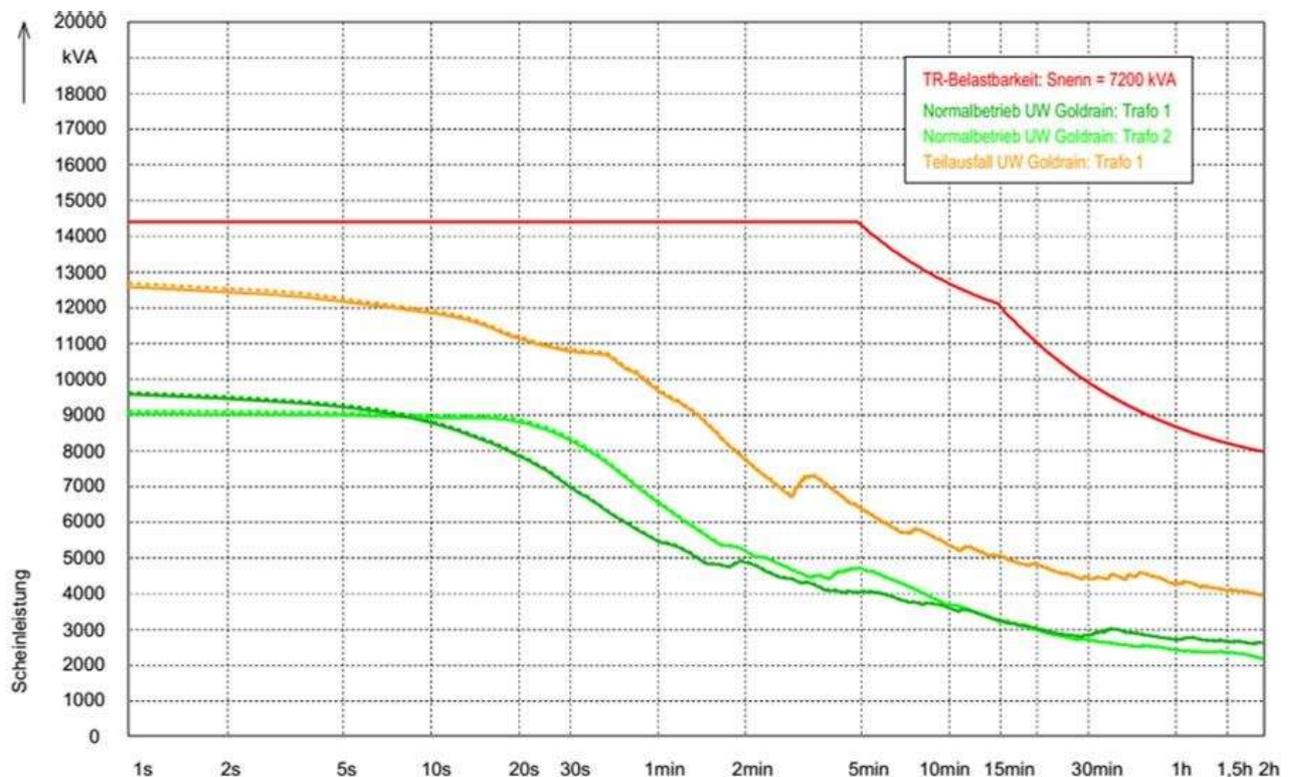


Figura 5-1: Media pesata del carico del trasformatore nella sottostazione di Goldrain (Fonte: STA)

I carichi orari per i trasformatori 1 e 2 risultano circa 2.8 MVA. Ci corrisponde ad una tensione di 25 kV e ad una corrente di 112 A per ciascun punto di alimentazione. Questa corrente  stata utilizzata per i calcoli del campo magnetico della linea di alimentazione e della catenaria relativa alla tratta principale, senza considerare la durata normale di funzionamento di 19 ore. Il margine del 26% pertanto ottenuto,  stato consapevolmente preso in considerazione come riserva per eventuali future modifiche operative.

Inoltre, i seguenti punti devono essere considerati in termini di corrente assorbita:

- Il calcolo del carico effettuato da STA  stato eseguito considerando 6 veicoli FLIRT ETR 170 di Stadler a pieno carico. Il carico utile utilizzato in questo caso  di 225 t, pari a 650 passeggeri per treno.

- Sulla Vinschgerbahn attualmente operano in ogni direzione tre treni ogni due ore (alternati ogni ora e ogni mezz'ora). Per i calcoli del carico, è stata considerata occupata anche la mezz'ora ad oggi libera, per cui può essere effettuata una circolazione di due treni all'ora in entrambe le direzioni. Tuttavia, a causa della situazione attuale del percorso (mancanza di adeguamento della tratta Silandro-Lasa da 70 a 100 km/h), ne risulterebbe un piano orario disomogeneo. Questo dà luogo a più picchi di carico, come peraltro ci si attende anche in futuro nella linea potenziata, con la circolazione ogni mezz'ora.
- Tale piano orario corrisponde alla massima efficienza possibile della Vinschgerbahn con i sistemi attuali presenti sulla tratta (tenendo conto della suddetta espansione tra Silandro e Lasa). La combinazione di questo ampliamento (circa il 265% al giorno rispetto alla capienza di oggi) e dell'aumento della frequenza (circa il 130% del numero attuale di treni per tutta la giornata), dovrebbe, secondo STA, soddisfare le necessità di traffico in val Venosta nel medio-lungo termine.
- La politica dei trasporti si applica a tutte le linee ferroviarie cadenzate ogni mezz'ora dal lunedì al venerdì; nei fine settimana la cadenza viene ridotta a ogni ora. La cadenza ogni mezz'ora è prevista solo sulle principali linee di Neumarkt-Bressanone e Bolzano-Merano su un orizzonte temporale di 10 anni, anche se questo sarà limitato alle ore di punta.
- Si prevede di operare con una tensione di 27.5 kV. Tuttavia, per la determinazione della densità di flusso magnetico, la corrente di carico nella sottostazione è stata determinata considerando 25 kV come tensione nominale. Ciò si traduce, in merito al carico elettromagnetico, in un ulteriore margine del 10%.
- I calcoli di campo magnetico sono stati eseguiti per tutte le sezioni trasversali utilizzando direttamente il valore di corrente del punto di alimentazione in Goldrain. Tuttavia, la corrente nella catenaria risulta, a fine tratta, in costante diminuzione, come mostra la Figura 5-2. Come esempio, è stata eseguita una comparazione in una tratta a binario unico a cielo aperto senza fermate avente un valore di corrente di 65 A, come avviene in Lasa (sezione trasversale 1a Lasa).

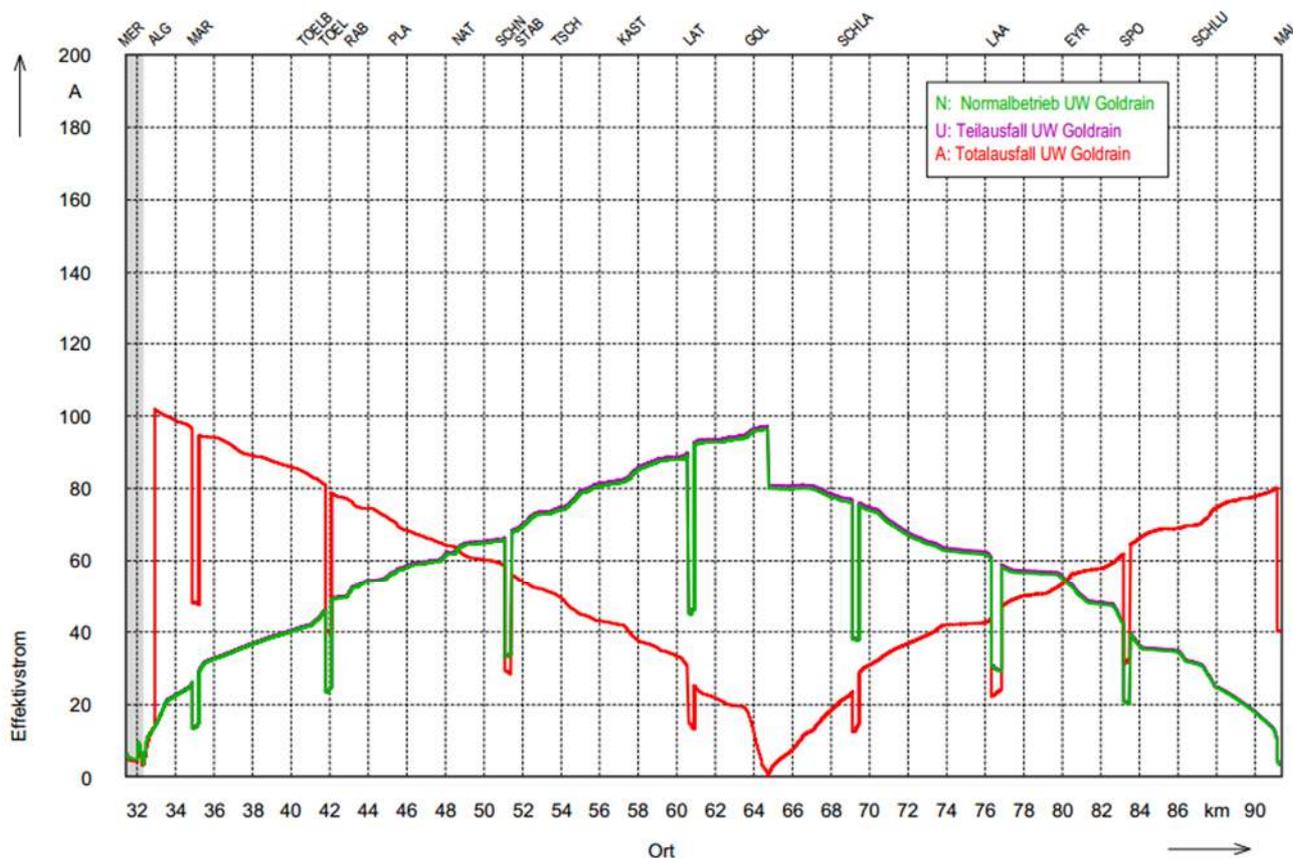


Figura 5-2: Valori orari di andamento della corrente lungo la tratta (dal calcolo di carico di STA a 27.5 kV)

5.2 Corrente nella catenaria dei binari di raccordo

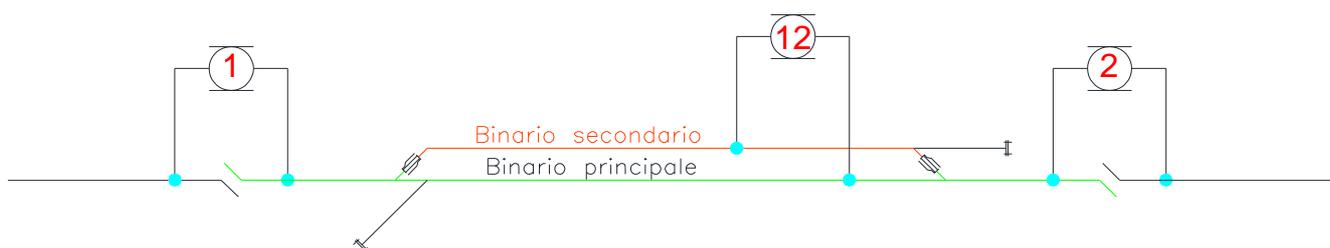


Figura 5-3: Tipico schema di sezionamento di una fermata

Come si vede in Figura 5-3, nelle fermate e nelle stazioni, la catenaria è costruita in modo tale da far scorrere la corrente di trazione esclusivamente nella catenaria dei binari principali.

Nelle catenarie dei binari di raccordo scorrono solo le correnti utilizzate dai binari in questione. Per il funzionamento normale, un cadenzamento di 30 minuti è previsto in entrambe le direzioni. I calcoli si basano su veicoli ETR 170 FLIRT di Stadler, con una potenza massima di 3 MVA.

Nelle 19 ore giornaliere di funzionamento, si registrano 38 partenze dai binari di raccordo. E' supposto che il settore di catenaria dei binari di raccordo consti in media di 600 m di lunghezza, la

velocit  massima risulti di 100 km / h mentre l'accelerazione del veicolo di 0.8 m / s^2 . La risultante rampa di corrente ha dunque una durata di circa 30 secondi. Il massimo assorbimento di corrente   di 120 A. Questo si traduce in una corrente oraria di 4 A nei binari di raccordo.

In base a questa corrente oraria, risulta, nella catenaria dei binari di raccordo, una corrente di 3.2 A nelle 24 ore.

5.3 Corrente nei conduttori di ritorno

La distribuzione di corrente nei conduttori di ritorno, relativa al modello descritto nel capitolo 4,   stata calcolata utilizzando SIMNET.

6 CORRENTE PER IL CALCOLO DELLE IMMISSIONI

Per il calcolo delle immissioni sono stati considerati i massimi valori a 1 s.

Relativamente alla linea di alimentazione tra le sottostazioni Goldrain e la linea ferroviaria, si denota il valore di corrente maggiore quando l'alimentazione viene effettuata tramite un singolo cavo (2 x 120 mm²). Cio equivale a 500 A e corrisponde al valore massimo della somma 'pesata' nel tempo delle correnti relative a entrambi i punti di alimentazione. Questo valore risulta inferiore alla somma aritmetica delle correnti parziali in entrambi i settori di catenaria, poiche i carichi di picco vengono rispettivamente traslati.

La valutazione delle immissioni relative alla catenaria  stata eseguita per tutte le tipologie di catenarie considerate, con un valore di picco di riferimento di 380 A. Questo corrisponde ad un carico massimo calcolato di 9.5 MVA per trasformatore e quindi al carico di picco per ogni punto di alimentazione (vedasi in Figura 5-1 il trasformatore 1 di Goldrain in funzionamento normale).

7 CALCOLO DELLA DENSIT  DEL FLUSSO MAGNETICO

7.1 Valori di densit  flusso magnetico nelle 24 ore (emissioni)

I capitoli successivi contengono i grafici con le linee di flusso costante in tutte le sezioni. I conduttori sono rappresentati come piccoli puntini blu fissi. Le linee a densit  costante di flusso magnetico sono rosse, mentre i contorni in grassetto dei rispettivi limiti sono 1 μ T, 3 μ T e 10 μ T. Le linee blu rappresentano le delimitazioni.

7.1.1 Sezione trasversale 1

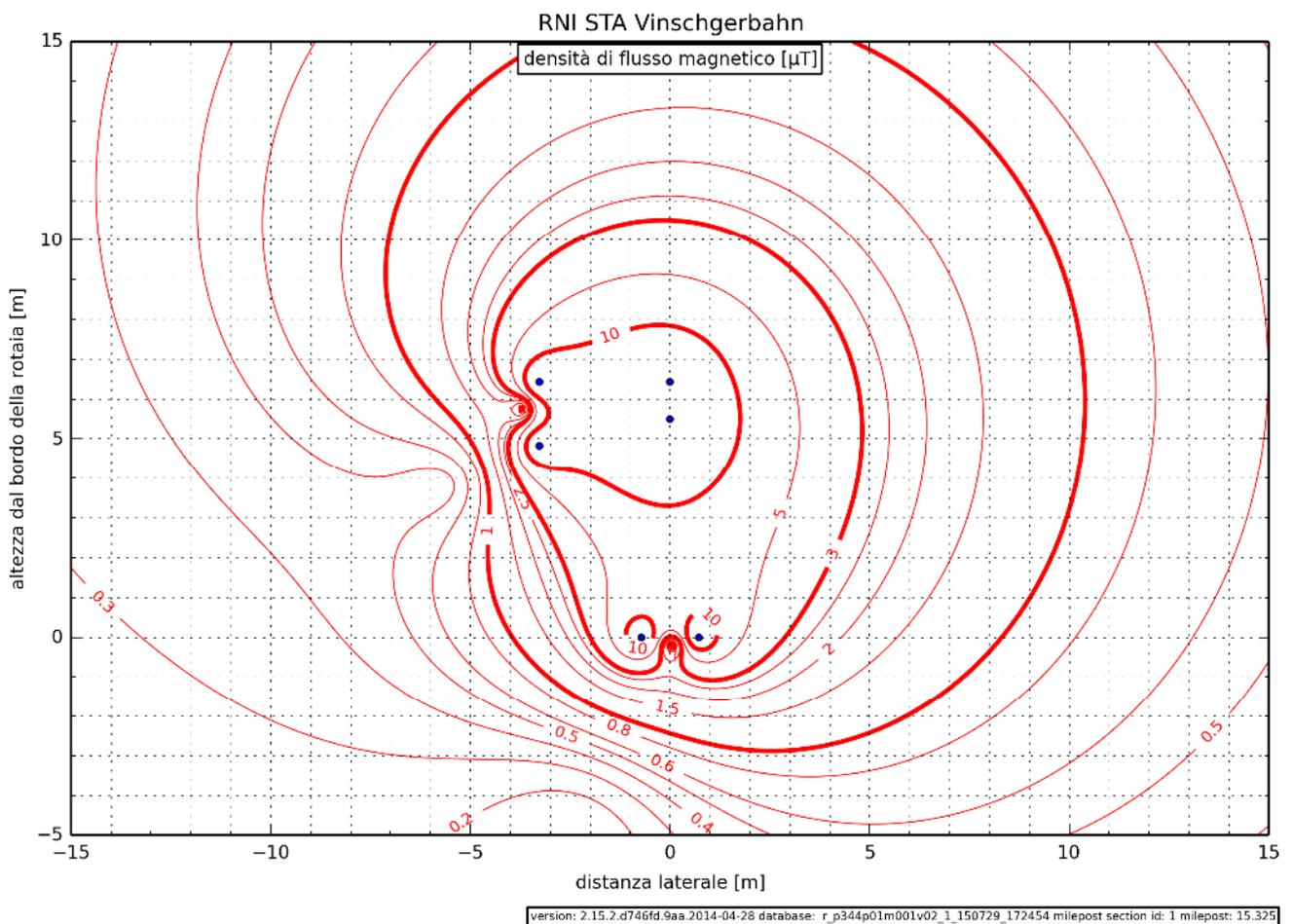


Figura 7-1: Linee a densit  costante di flusso prodotto dai sistemi di trazione, relative alla sezione trasversale 1, tratta singola a cielo aperto senza fermate. Calcolo per un valore di corrente di 112 A in accordo al capitolo 5.1.

7.1.2 Sezione trasversale 1a Laas

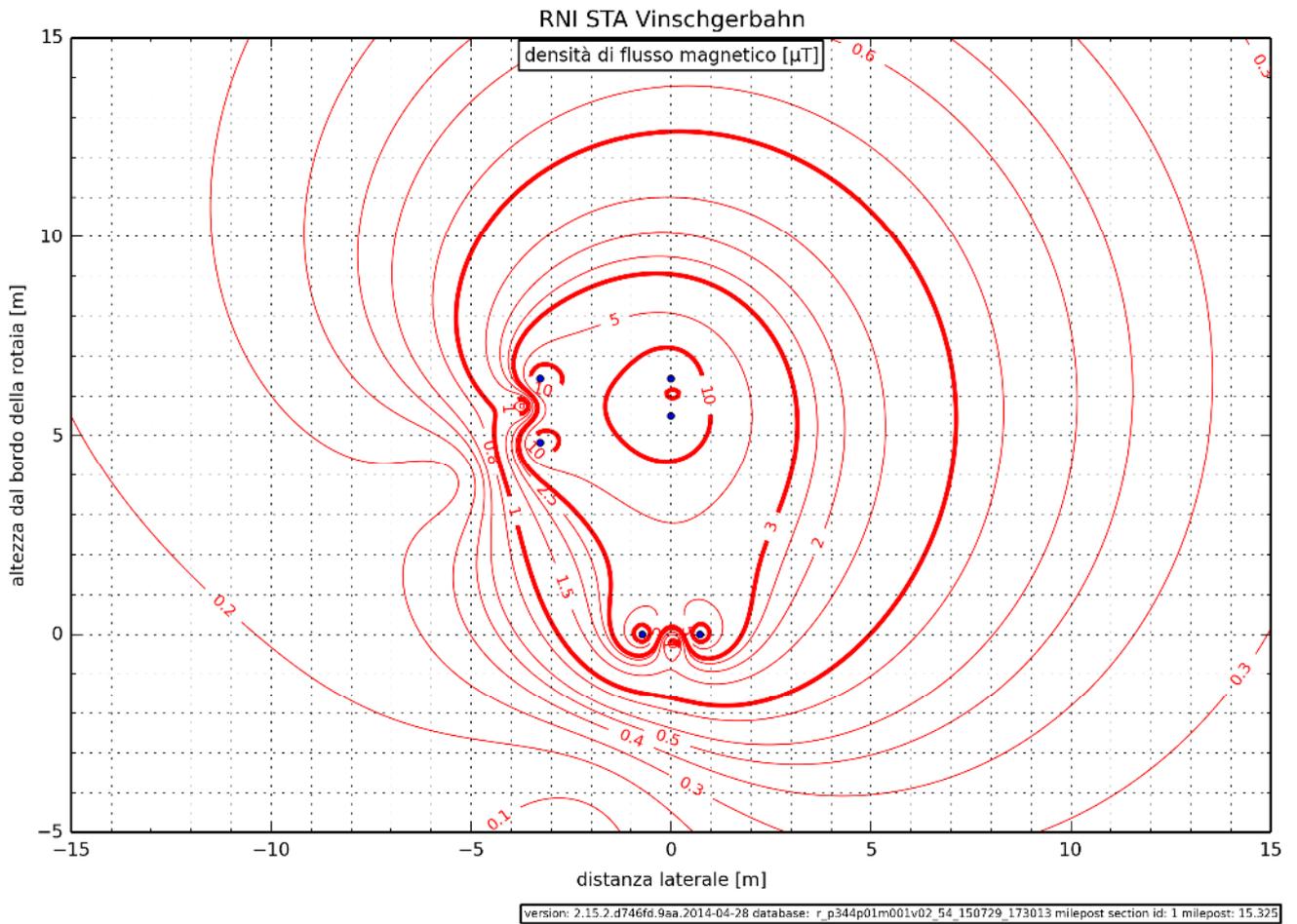


Figura 7-2: Linee a densità costante di flusso prodotto dai sistemi di trazione, relative alla sezione trasversale 1, tratta singola a cielo aperto senza fermate a Laas. Calcolo per un valore di corrente di 65 A in accordo al capitolo 5.1.

7.1.3 Sezione trasversale 2

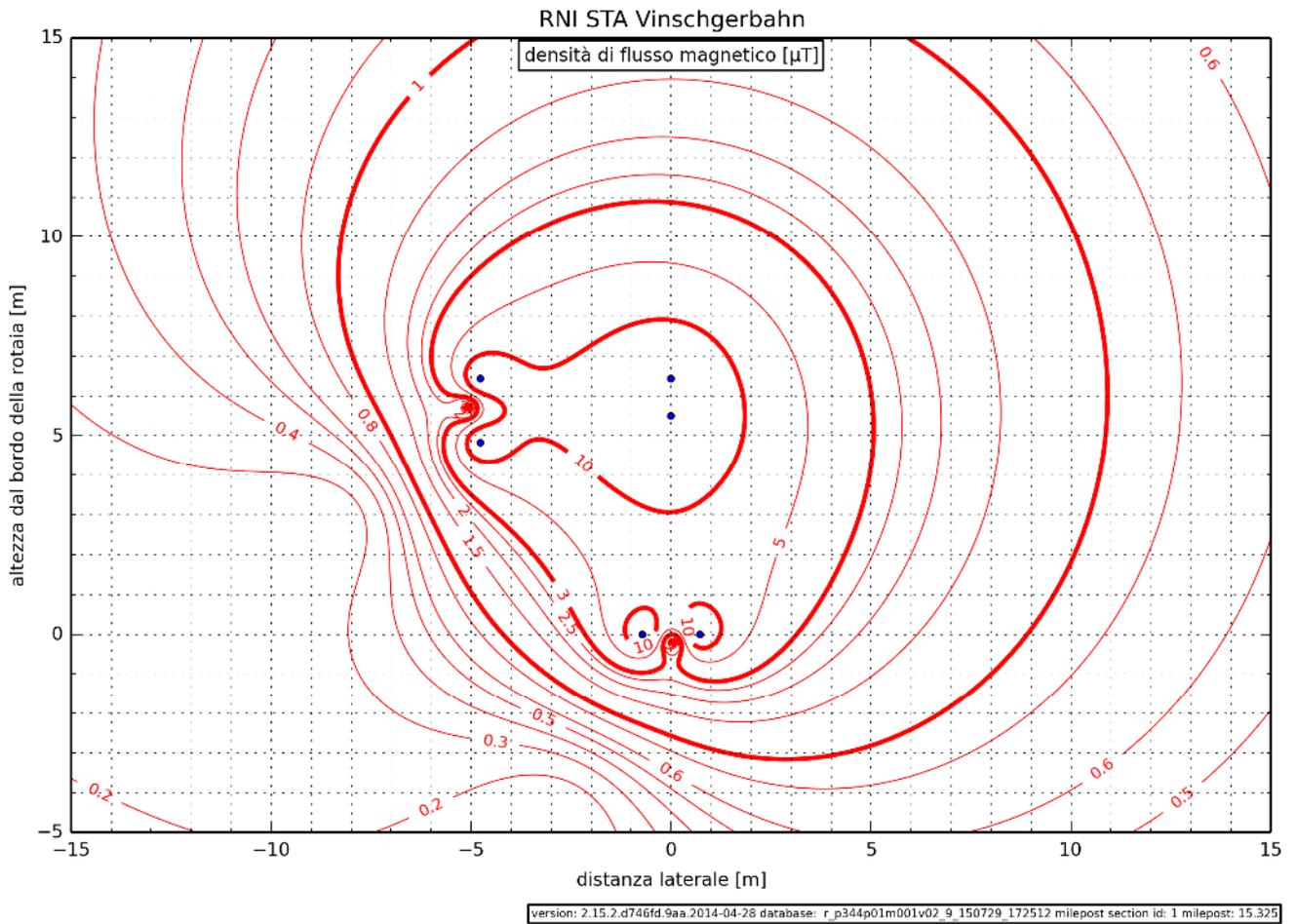


Figura 7-3: Linee a densità costante di flusso prodotto dai sistemi di trazione, relative alla fermata con ampia piattaforma. Calcolo per un valore di corrente di 112 A in accordo al capitolo 5.1.

7.1.4 Sezione trasversale 3

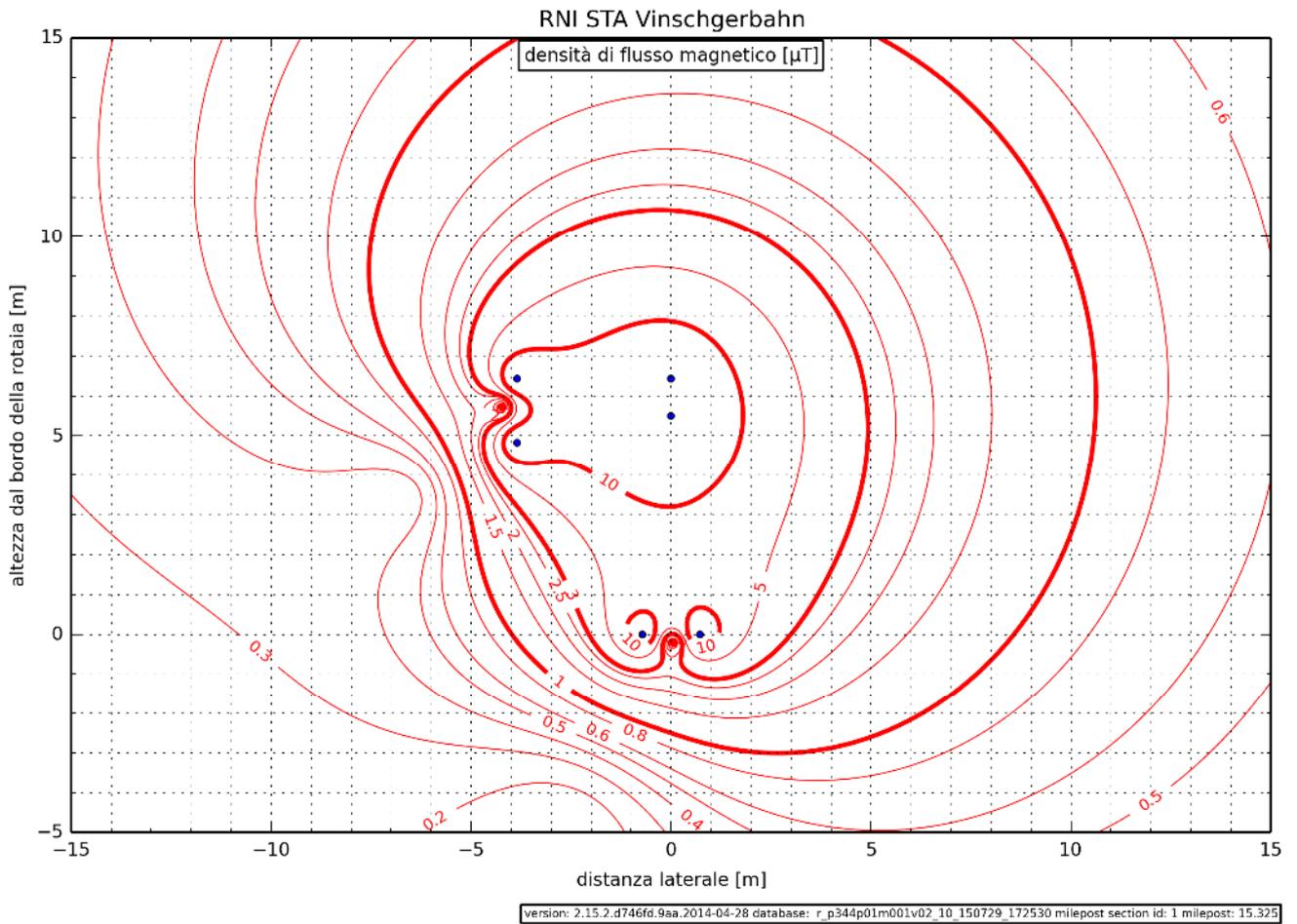


Figura 7-4: Linee a densità costante di flusso prodotto dai sistemi di trazione, relative alla fermata con piattaforma ristretta. Calcolo per un valore di corrente di 112 A in accordo al capitolo 5.1.

7.1.5 Sezione trasversale 4

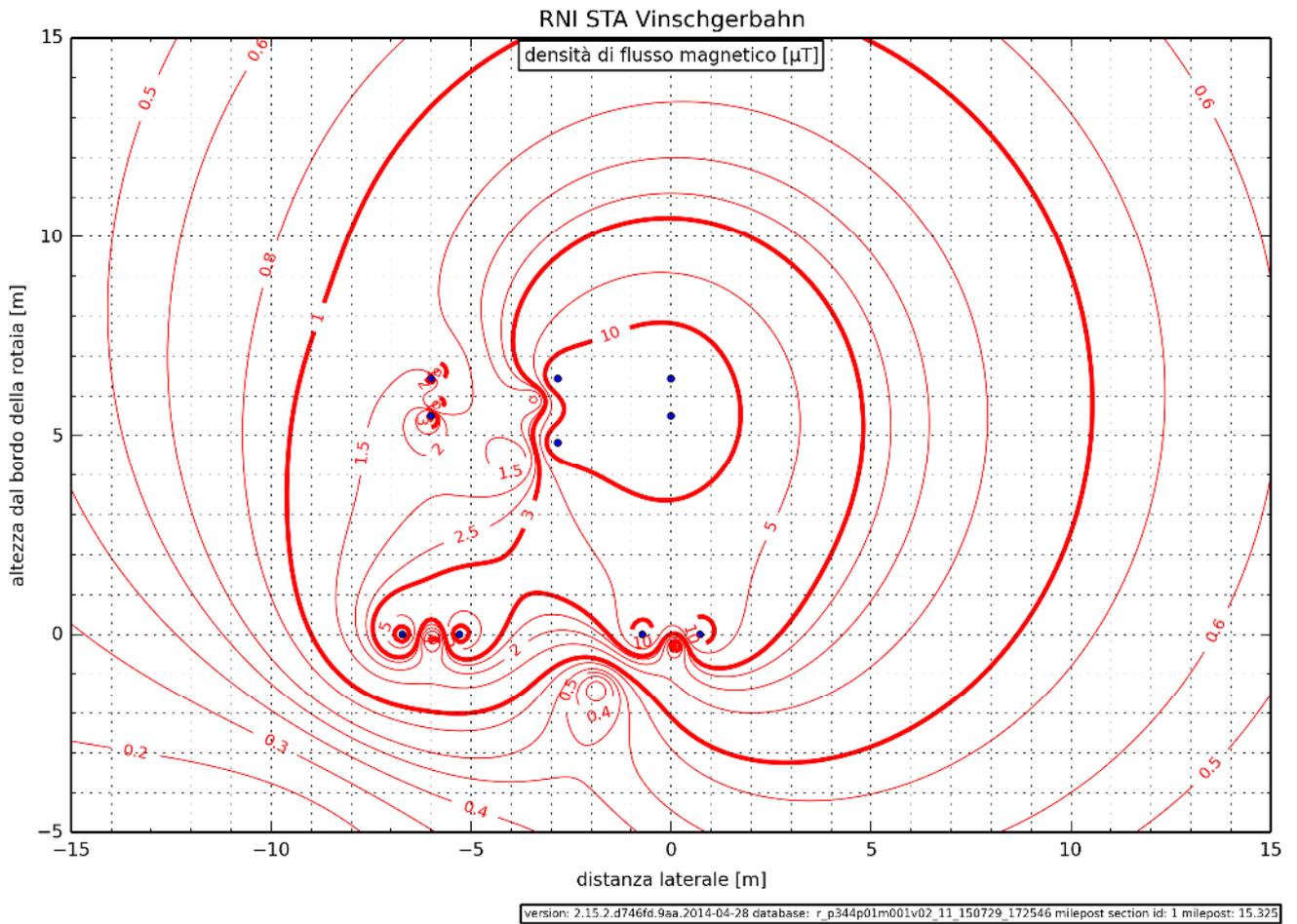


Figura 7-5: Linee a densità costante di flusso prodotto dai sistemi di trazione, relative alla fermata con palo centrale tipo A. Calcolo per un valore di corrente di 112 A in accordo al capitolo 5.1.

7.1.6 Sezione trasversale 5

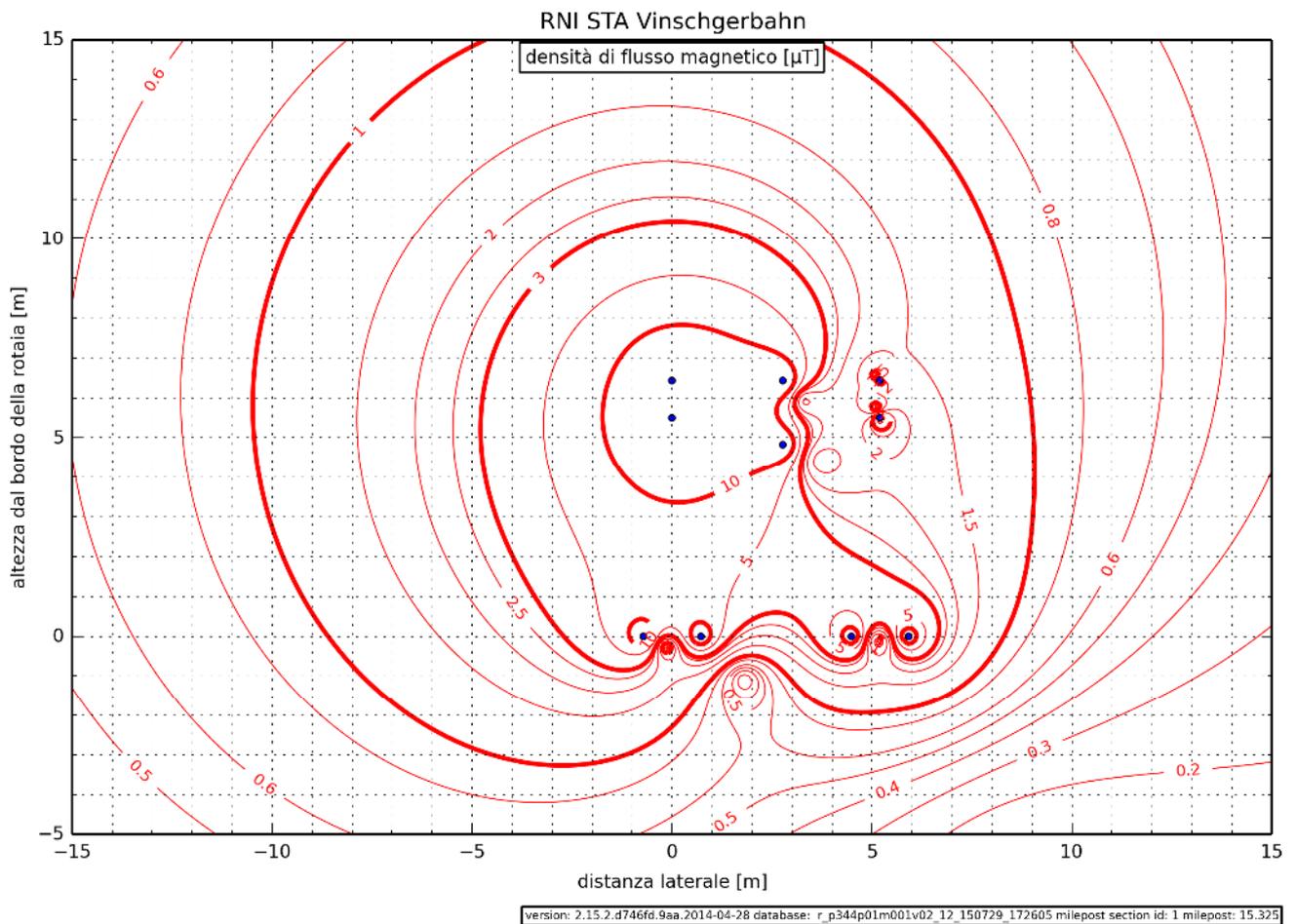


Figura 7-6: Linee a densità costante di flusso prodotto dai sistemi di trazione, relative alla fermata con palo centrale tipo B. Calcolo per un valore di corrente di 112 A in accordo al capitolo 5.1.

7.1.8 Sezione trasversale 7

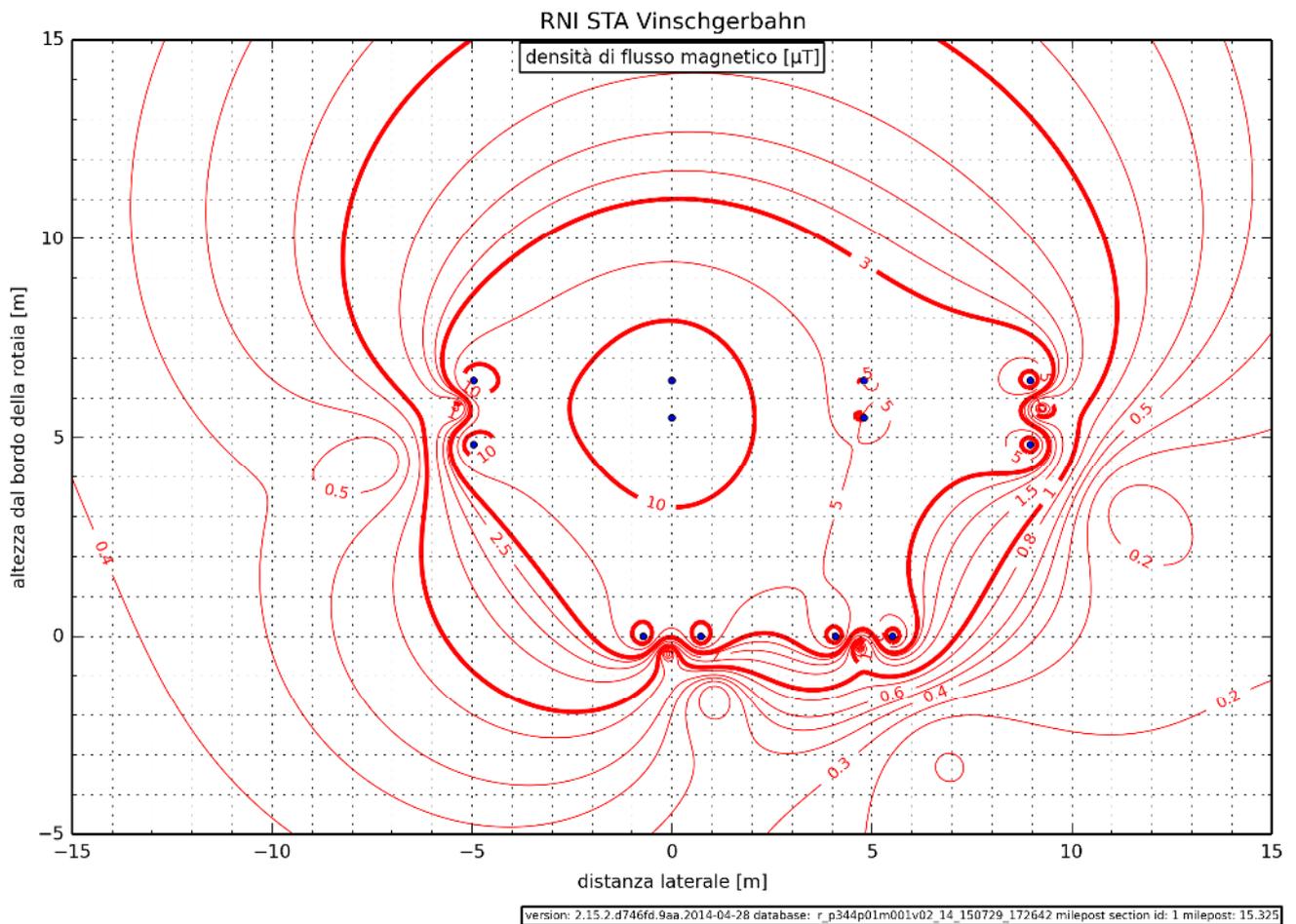


Figura 7-8: Linee a densità costante di flusso prodotto dai sistemi di trazione, relative alla fermata con palo laterale tipo B. Calcolo per un valore di corrente di 112 A in accordo al capitolo 5.1.

7.1.9 Sezione trasversale 8

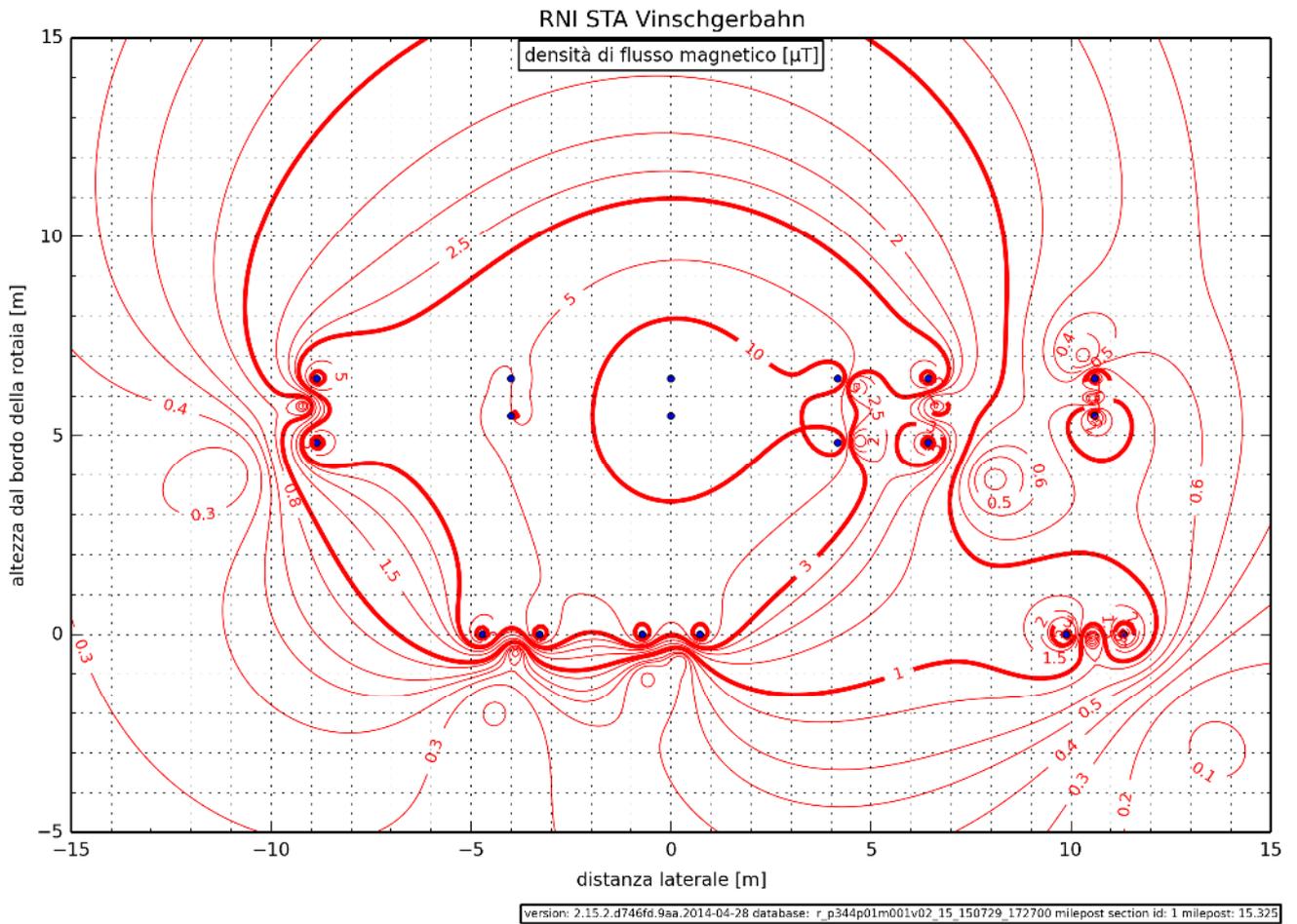


Figura 7-9: Linee a densità costante di flusso prodotto dai sistemi di trazione, relative alla fermata con palo laterale tipo C. Calcolo per un valore di corrente di 112 A in accordo al capitolo 5.1.

7.1.10 Linea di alimentazione

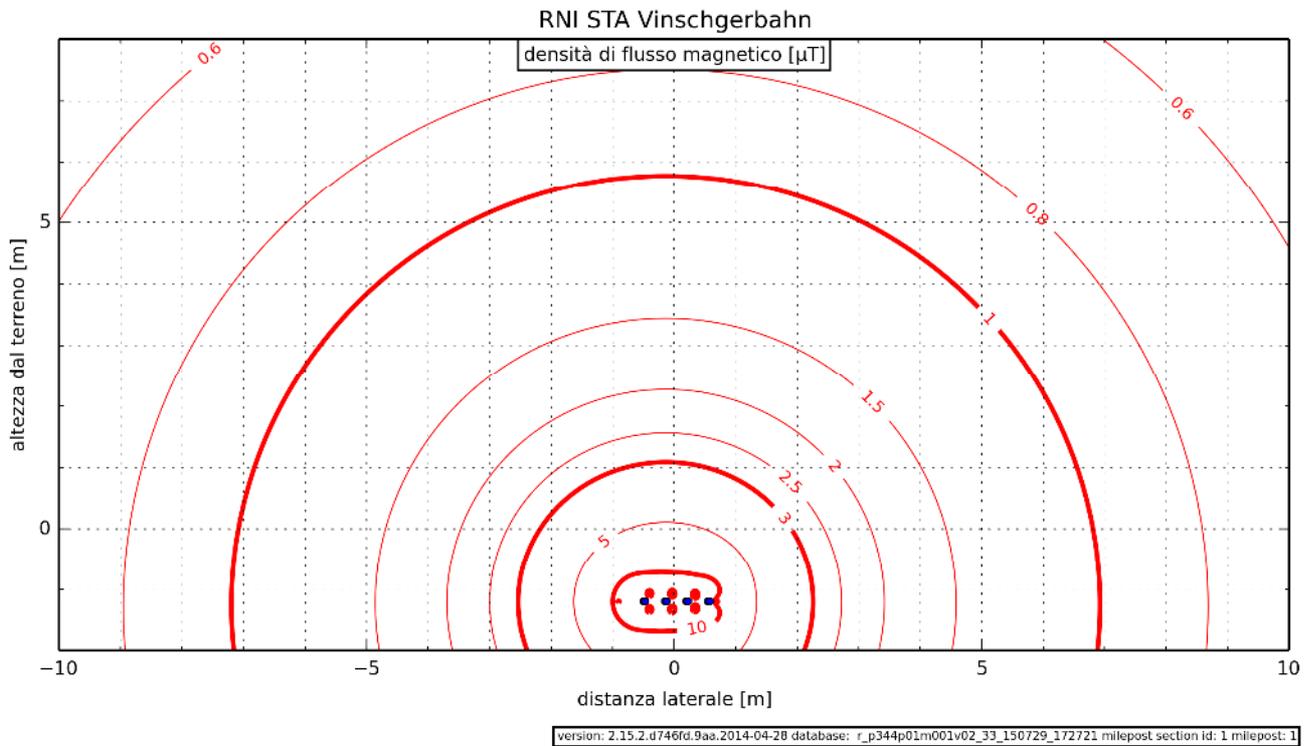


Figura 7-10: Linee a densità costante di flusso prodotto dai sistemi di trazione, relative all'alimentazione nel portacavi. Calcolo per un valore di corrente di 112 A in accordo al capitolo 5.1.

7.2 Densità di flusso magnetico nelle OKA (Immissioni)

La Tabella 7-1 mostra in maniera riassuntiva i valori massimi di densità di campo magnetico, generato da catenaria e alimentazione a 25 kV, nelle delimitazioni delle OKA modellate.

OKA Nr.	Denominazione	Punto di riferimento	Massima densità di flusso magnetico nelle OKA [μ T]
1	Livello del terreno sopra il portacavi dell'alimentazione e della catenaria.	Asse di riferimento (Centro del portacavi), 1.2 m sopra i cavi	34
2	Livello del terreno presso i sistemi di catenaria di un passaggio a livello di una linea a cielo aperto senza fermate a tratta singola	30 cm sopra i binari	63(*)
3	Presso la risalita dell'alimentazione.	Linea in cavo	> 100

Tabella 7-1: Valori di immissione nelle zone con sosta breve

(*) Si può immediatamente notare che livelli superiori a 100 μ T si trovano nelle linee alimentate. La curva a 100 μ T si trova nel range di pochi centimetri dal binario. Ad una distanza di 30 cm l'induzione magnetica risulta ancora circa 63 μ T. Un'esposizione uniforme di tutto il corpo umano non si verifica ad una distanza inferiore a 30 cm. Pertanto, il limite di immissione è rispettato anche presso i passaggi a livello.

Nella OKA 3, ovvero presso le risalite cavo in nella zone della stazione, con 100 μ T la distanza della curva dal conduttore è arrotondata a 70 cm, purchè, nei pressi dal palo, la corrente di ritorno scorra nei cavi paralleli a quelli di andata. Un'esposizione uniforme del corpo umano è possibile fino a un raggio di circa 20-30 cm; la soglia viene quindi superata. Pertanto, le risalite dei cavi devono essere create in modo tale che l'avvicinamento da parte di personale non autorizzato non sia possibile. A questo scopo, nelle zone pubbliche è necessaria una barriera di sicurezza.

Le linee di flusso magnetico a densità costante nelle OKA sono descritte nei capitoli seguenti. I conduttori sono rappresentati come piccoli puntini fissi di colore blu. Le linee di densità di flusso magnetico costante sono rosse, i contorni dei limiti di immissione di 100 μ T sono evidenziati in grassetto. Le linee blu rappresentano le delimitazioni.

7.2.1 OKA 1

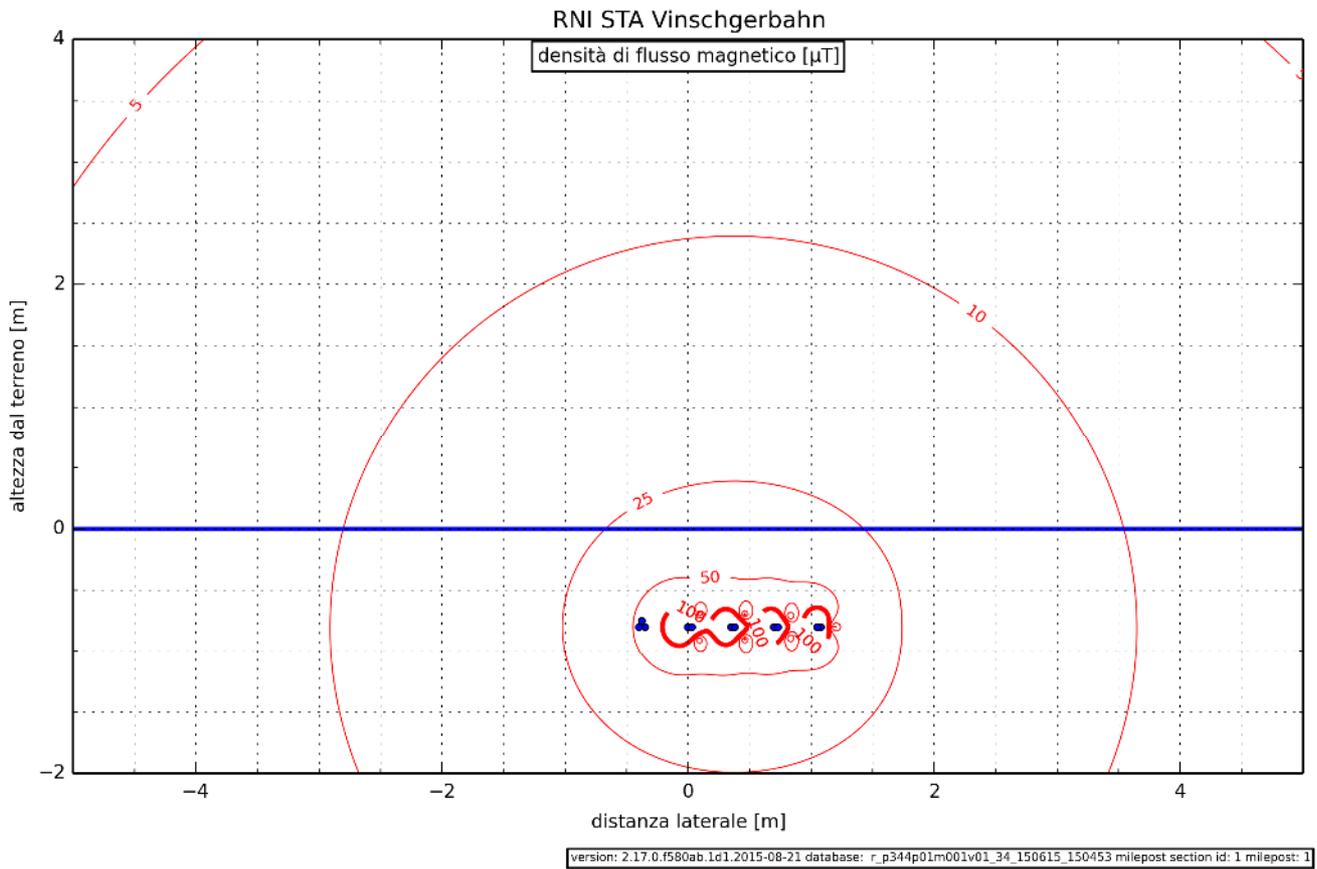


Figura 7-11: Linee a densità costante di flusso prodotto dai sistemi di trazione e alimentazione, relative a OKA 1. Calcolo sulla base dei valori di picco della corrente. Linea blu: livello del terreno

7.2.2 OKA 2

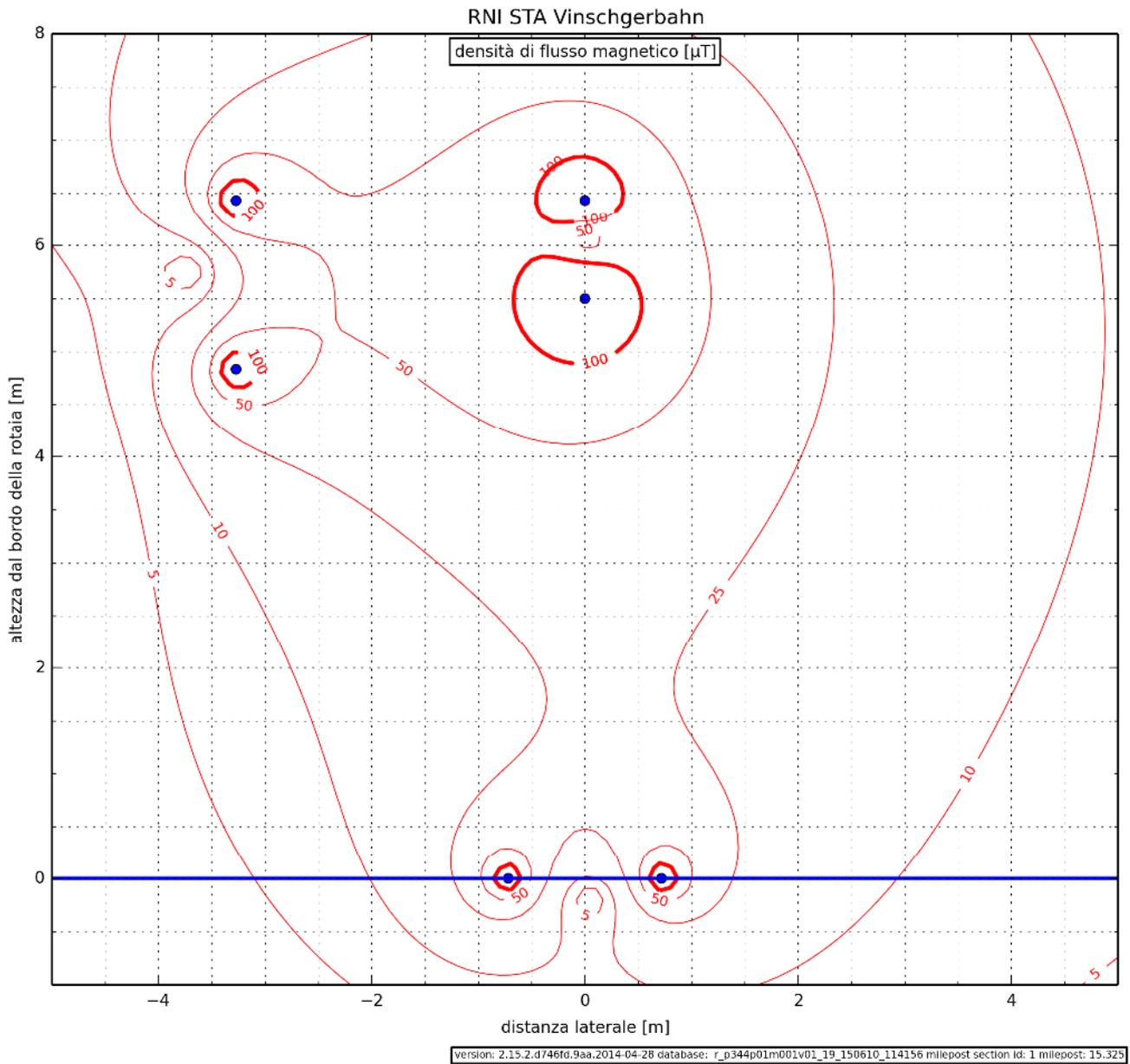


Figura 7-12: Linee a densità costante di flusso prodotto dai sistemi di trazione, relative a OKA 2. Calcolo sulla base dei valori di picco della corrente. Linea blu: livello del terreno

7.2.3 OKA 3

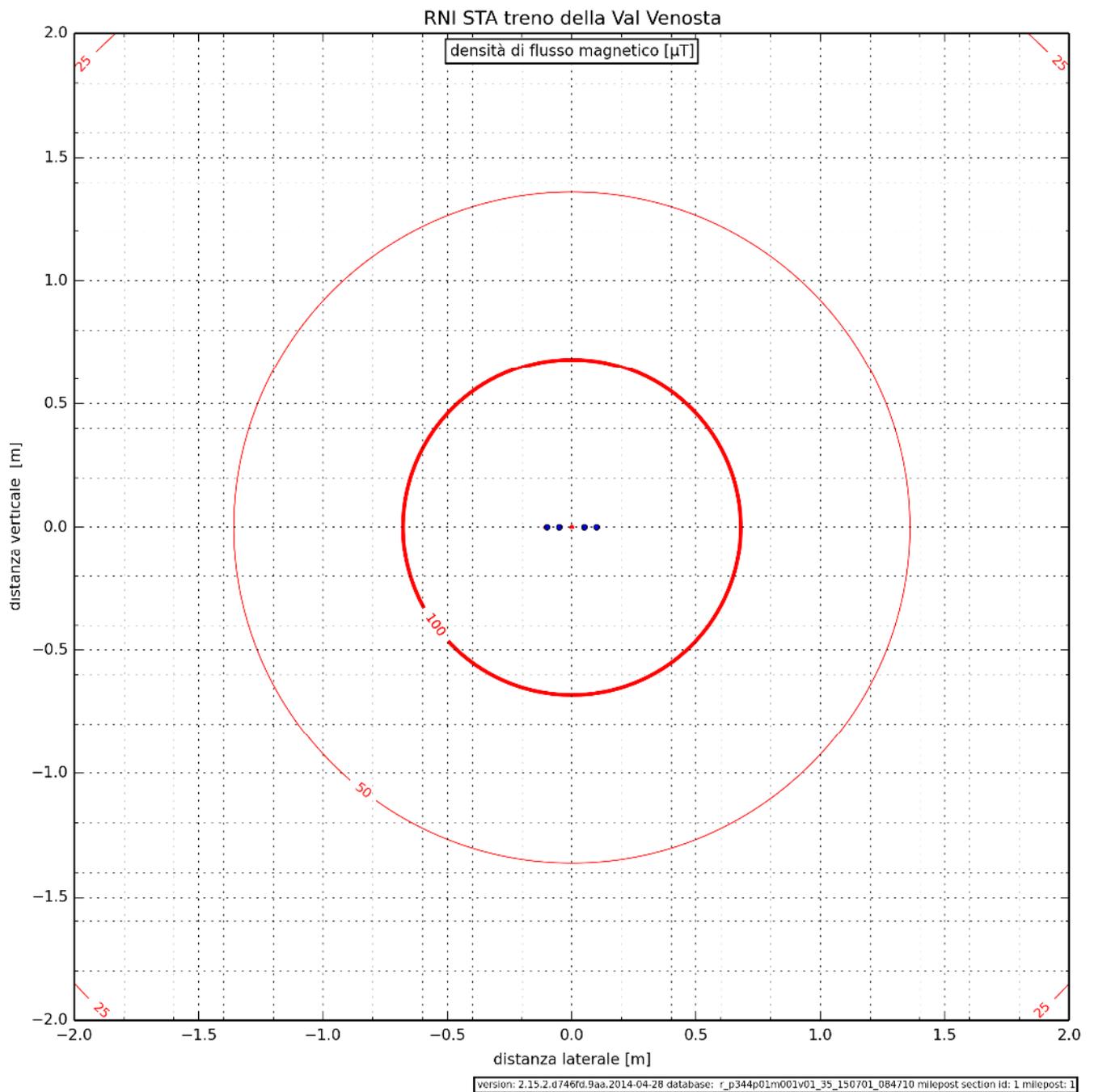


Figura 7-13: Linee a densità costante di flusso prodotto dai sistemi di trazione e alimentazione, relative a OKA 3, risalita cavi con linea interrata e conduttore di ritorno parallelo. Calcolo sulla base dei valori di picco della corrente.

8 REFERENZE

- [1] DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 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. (GU n. 200 del 29-8-2003)
- [2] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV, SR 814.710), 23. Dezember 1999 (Stand am 1. September 2012)
- [3] IEC 50502-2:2005-3: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV)
- [4] CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica Linee in cavo
- [5] CEI 11-60: Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV
- [6] Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, Supplemento ordinario alla GAZZETTA UFFICIALE, 5. Giulio 2008, Agenzia per la protezione dell'ambiente per i servizi tecnici APAT,
- [7] ELE-024-01 Magnetic fields, Typische Querprofile und elektrische Schemata, Südtiroler Transportstrukturen AG STA, Index A vom 11. Mai 2015
- [8] Plan ELE-024 Magnetfeldnachweis von STA

ALLEGATO 1 PROGETTI APPROVATI IN SVIZZERA CON DIMOSTRAZIONE DI CONFORMIT  A NIS

Di seguito sono elencati alcuni progetti, approvati o in via di approvazione da parte dell'Ufficio federale dei trasporti (UFT), per i quali ENOTRAC ha prodotto la dimostrazione di conformit  alla ORNI [2]. La dimostrazione di conformit    stata effettuata con la stessa metodologia utilizzata nel presente studio per quanto concerne il calcolo di campo e delle emissioni generati dalla corrente.

- BLS Linie Bern - Neuenburg: Rossh usern Tunnel, Bahnhof Ins, Fanel-Wald, Marin - Neuchâtel
- BLS G rbetal Linie: Wabern – Kehrsatz, Toffen - Kaufdorf, Umbau Bahnhof Thurnen, Umbaus Bahnhof Burgstein-Wattenwil
- BLS Umbau Bahnhof Frutigen
- BLS Bahnstromleitung Gampel - Hohtenn
- BLS Hasle Rüegsau - Ramsei, Bahnhof Huttwil
- CEVA, Liaison ferroviaire Cornavin – Eaux-Vives – Annemasse
- CFF, diverse Fahrleitungsumbauprojekte
- DB, Bahnhof Thayngen
- MGBahn, UL Visp – Herbruggen, diverse Fahrleitungsabschnitte
- RhB, Umbau diverser Bahnhöfe: Klosters, Samedan, Davos Platz, Landquart, St. Moritz usw.
- RhB, Anpassungen an der Bahnstromversorgung: Chur Langwies, Davos – Glaris
- SBB, Neubaustrecke Mattstetten – Rothrist
- SBB, Umelektrifizierung Knoten Genf
- SBB, Umbau Knoten Lausanne und 4. Gleis Lausanne - Renens
- SBB, Raum Brig
- SBB, Tunnel-Sanierung in St-Maurice und Sieders
- SBB, Entflechtung Fahrleitungsanlage Wylerfeld in Bern
- TPF, diverse Fahrleitungsumbauprojekte
- TransRUN, Neuch tel - La Chaux-de-Fonds
- Zb Zentralbahn, diverse Fahrleitungsumbauprojekte