

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)
 SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)
 COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)
 SACYR S.A.U. (MANDANTE)
 ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)
 A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

 IL PROGETTISTA Dott. Ing. D. Spoglianti Ordine Ingegneri Milano n° A 20953	IL CONTRAENTE GENERALE Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)	STRETTO DI MESSINA Direttore Generale (Ing. G. Fiammenghi)	STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)
 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408	Firmato digitalmente ai sensi dell' "Art. 21 del D.Lgs. 82/2005"		

<i>Area tematica</i>	STUDIO D'IMPATTO AMBIENTALE
<i>Ente emittente</i>	MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE
<i>Autore dell'osservazione</i>	COMMISSIONE TECNICA VIA - VAS
<i>Riferimento richiesta</i>	INTEGRAZIONI ALLA RICHIESTA PROT. CTVA-2011-0004534 DEL 22/12/2011
<i>Titolo del documento</i>	RISPOSTA INTEGRAZIONE LATO CALABRIA ID 87

CODICE

V I A C 0 8 7 - F1

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F1	30/05/2012	EMISSIONE	M.BATTISTON	M.SALOMONE	D.SPOGLIANTI

NOME DEL FILE: VIAC087_F1.doc

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

INDICE

INDICE	3
Integrazioni e chiarimenti al Gruppo Istruttore della Commissione Tecnica VIA - VAS	5
1 Premessa	5
2 Richiesta integrazione ID C87	5
3 Risposta integrazione VIAC087	5
3.1 Considerazioni Iniziali.....	5
3.2 Potenzialità Linea di Contatto nella Trazione Ferroviaria DC	7
3.3 Limiti di Sovratemperatura della Linea di Contatto.....	8
3.4 Limite per carico massimo ammissibile per i gruppi raddrizzatori.....	9
3.5 Limite per Tensione al Pantografo	9
3.6 Calcolo finale della potenzialità del sistema di trazione elettrica	9
3.7 I Valori Limite del Campo Magnetico con cui confrontarsi.....	15
3.8 La simulazione dell'induzione magnetica generata dalla linea	15
3.9 Conclusioni.....	22

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RISPOSTA ID C087</p>		<p><i>Codice</i> VIAC087_F1.doc</p>	<p><i>Rev</i> F1</p>	<p><i>Data</i> 30/05/2012</p>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

Integrazioni e chiarimenti al Gruppo Istruttore della Commissione Tecnica VIA - VAS

1 Premessa

Il presente documento fornisce riscontro alle osservazioni e alla richiesta di integrazione avanzate dalla Commissione Tecnica di Valutazione di Impatto nell'ambito della Procedura di VIA Speciale (L.O. 141), ex D.Lgs. 163/2006 e ss.mm.ii., artt. 166 e 167, comma 5, e Verifica di Ottemperanza, ex artt. 166, comma 3, e 185, comma 4 e 5 in riferimento al Progetto Definitivo "Attraversamento stabile dello Stretto di Messina e dei collegamenti stradali e ferroviari sui versanti Calabria e Sicilia".

In particolare, con riferimento seconda parte quadro di riferimento ambientale, componente ambiente radiazioni ionizzanti e non ionizzanti, relativamente al Lato Calabria, il Ministero avanza le seguenti richieste di chiarimenti ed integrazioni, che verranno sviluppati nel dettaglio al successivo paragrafo.

2 Richiesta integrazione ID C87

SECONDA PARTE: LATO CALABRIA – QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

COMPONENTE AMBIENTE RADIAZIONI IONIZZANTI E NON IONIZZANTI

Effettuare nuovamente il calcolo del campo magnetico statico relativo alla linea elettrica di trazione della linea ferroviaria, tenendo conto anche dei percorsi di richiusura del circuito elettrico, generalmente costituiti dai feeder e dalle rotaie.

3 Risposta integrazione VIAC087

3.1 Considerazioni Iniziali

La simulazione del campo magnetico statico generato da una linea di trazione ferroviaria in CC, necessita del dimensionamento della:

- Corrente transitante nelle linee di alimentazione e, come ritorno, nelle rotaie
- Posizioni dei conduttori nello spazio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

Nel caso delle linee CC, a differenza delle linee in corrente alternata, non vi è la presenza di fasori e, quindi di fasi della corrente. Essendo la corrente continua, l'unica cosa da considerare è il fatto che la corrente di alimentazione presente nelle linee aeree, e la corrente di ritorno presente nelle rotaie, hanno verso opposto. Conseguentemente, esse generano dei vettori del campo magnetico che, dipendentemente dalla relazione spaziale dei conduttori, contribuiscono in maniera costruttiva o distruttiva al campo magnetico totale in un dato punto dello spazio.

Per quanto riguarda la disposizione dei conduttori nello spazio nella presente analisi si fa riferimento ad una sezione tipica di una linea di trazione. In questo caso è da considerare che l'alimentazione di andata viaggia sia sul filo di contatto che sulla linea portante (mentre quella di ritorno può pensarsi concentrata sulle rotaie, trascurando in prima approssimazione la corrente dispersa nel terreno). Le due strutture sono caratterizzate dal seguente andamento spaziale:

- Filo di contatto - Indipendentemente dal fatto che sia costituita da 1 o 2 conduttori, ha un tiro molto più elevato di quello al quale è assoggettata la linea portante. In prima approssimazione, essa può quindi considerarsi come avente la stessa altezza dal terreno, considerando il tratto tra due sostegni. Questo anche considerando che la linea di contatto viene sorretta, tramite dei pendini, dalla linea portante
- Linea portante. Ha un andamento simile ad una catenaria. Per la precisione può definirsi una catenaria vincolata, perché essa non è libera di muoversi sotto l'azione delle due forze concorrenti costituite dal tiro e dal suo peso, ma è vincolata alla linea di contatto attraverso i pendini sopra menzionati.

L'andamento altimetrico del filo di contatto e della linea portante, con i pendini interposti, può essere schematizzato come nella vista altimetrica di Figura 3.1

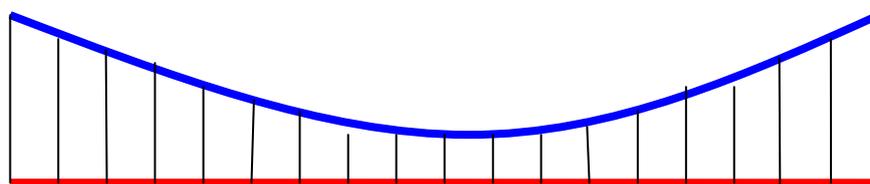


Figura 3.1 Linea portante (blu), fili di contatto (rosso), pendini (nero)

Per quanto riguarda l'andamento longitudinale dell'accoppiata linea portante-filo di contatto, si nota come essa non scorra parallelamente ai binari, ma segue una sorta di andamento a zig.zag, come esemplificato schematicamente dalla vista dall'alto di Figura 3.2. Questa soluzione viene adottata per evitare che il contatto tra pantografo e filo di contatto avvenga sempre in un dato punto, comportando in questo modo l'usura accelerata e localizzata del pantografo stesso.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012



Figura 3.2 Rotaie (blu), Linea portante+filo di contatto (rosso), portali di sostegno

Considerando l'estensione laterale dello zig-zag (alcune decine di centimetri) rispetto alla distanza tra due portali di sostegno, ai fini della modellizzazione del campo magnetico generato dalla linea, la linea portante+filo di contatto può considerarsi rettilinea e parallela alle rotaie. Questo equivale a trascurare la piccola componente longitudinale del campo magnetico rispetto alla componente presente su una sezione ortogonale ai binari.

3.2 Potenzialità Linea di Contatto nella Trazione Ferroviaria DC

La potenza che può essere derivata dalla linea di contatto, la quale determina, in ultima analisi, il dimensionamento del sistema di trazione elettrica, deriva dalla necessità di soddisfare contemporaneamente varie condizioni:

1. la temperatura dei conduttori della linea di contatto non superi il massimo valore ammissibile;
2. non venga superato il carico massimo ammissibile per i raddrizzatori (attualmente realizzati al silicio, con tagli principali da 3,6 e 5,4 MW) presenti in sottostazione (SSE). A questo scopo è da sottolineare che in questa modellizzazione viene considerata una situazione in cui un dato tratto di linea venga alimentata da due SSE presenti agli estremi (situazione questa estremamente frequente nelle condizioni pratiche);
3. la tensione al pantografo dei treni rimanga a livelli accettabili, dove l'accettabilità viene intesa sia con riferimento al buon funzionamento dei motori DC adibiti alla trazione, sia con riferimento all'efficienza del trasporto della stessa energia sulla linea di contatto;
4. l'assorbimento non superi i valori di taratura per massima corrente degli interruttori extrapolari di linea, al fine di un sicuro intervento nel caso dei cortocircuiti più lontani dall'interruttore (ossia di cortocircuiti situati nei punti dove è massima l'impedenza dell'anello di guasto e, conseguentemente, è minima la corrente di cortocircuito associata).

La 4° condizione, inizialmente rappresentante un vincolo pesante da rispettare, specialmente nel momento in cui sono stati messi in esercizio locomotori di elevata potenza, è stata attenuata attraverso un asservimento degli interruttori extrarapidi presenti in due SSE limitrofe. Questo, unitamente alla messa in atto di sistemi di protezione digitale, che permettono di distinguere il

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

cortocircuito dal sovraccarico, ha definitivamente portato in secondo piano il quarto punto rispetto ai primi tre sui quali viene nel seguito sviluppata il lavoro. Nel seguito vengono esaminate situazioni di esercizio “Normale” ed “Anomalo”, con le seguenti precisazioni:

- Esercizio Normale – Vengono presi in considerazione i periodi della giornata in cui il traffico è più intenso.
- Esercizio Anomalo – Vengono presi in considerazione casi particolari (riavvio di una serie di treni dopo un loro arresto, o situazioni di indisponibilità di una SSE).

3.3 Limiti di Sovratemperatura della Linea di Contatto

I conduttori devono essere in grado di sopportare, per brevi periodi, delle correnti superiori di quelle associate ad un funzionamento in regime permanente, senza superare la massima sovratemperatura permessa. Da prove sperimentali effettuate in questo ambito, si è evinto che l'andamento della temperatura assunta dalla linea di contatto può essere rappresentata con buona accuratezza dalla seguente equazione differenziale:

$$\tau \frac{\partial \vartheta}{\partial t} + \vartheta = C \sigma^2$$

dove

ϑ (t) è la sovratemperatura (rispetto a 45°C) assunta dalla Linea di Contatto in funzione del tempo

σ (t) è la densità di corrente

τ è la costante di tempo che caratterizza lo scambio termico

C è una costante

Per i conduttori in rame delle linee di contatto attualmente utilizzate (sezioni da 100 o 150 mm²) viene assunto per C un valore di 2,5 e per un valore di 10 minuti.

Considerando che la temperatura limite del conduttore a regime viene assunta di 85°C, e quindi ammettendo una sovratemperatura di 40°C rispetto ai 45°C di riferimento (peraltro cautelativi), la densità di corrente massima ammissibile per non avere questa temperatura (nel caso di linee di contatto di 100 mm²) è di:

$$\sigma = 4 \text{ A/mm}^2$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

Per brevi periodi è tuttavia ammesso che la sovratemperatura delle linee di contatto possa aumentare di 50 °C.

3.4 Limite per carico massimo ammissibile per i gruppi raddrizzatori

La Tabella 3.1 riassume le specifiche, in termini di corrente massima sopportabile, dai gruppi raddrizzatori.

Potenza Nominale	Corrente Nominale	Corrente Media Quadratica		Corrente di Punta
		Limite in condizioni Normali (+50%)	Limite in condizioni Anomale (+100%)	Durata max 5 minuti
[kW]	[A]	[A]	[A]	[A]
3600	1000	1500	2000	3000
5400	1500	2250	3000	3500

Tabella 3.1

Il limite in situazioni normali (+50%) è sopportabile da ciascun gruppo in maniera continuativa, mentre in condizioni pratiche è improbabile che tale situazione si verifichi per più di tre ore. Il limite in situazioni anomale (+100%) è sopportabile per almeno 2 ore, tempo quest'ultimo abbondantemente inferiore alla durata delle situazioni anomale stesse. A meno che non si tratti di messa in fuori servizio di SSE (in tali casi potranno comunque essere imposti limiti sulla circolazione).

3.5 Limite per Tensione al Pantografo

Essa può variare, rispetto alla tensione nominale di 3000V, da un minimo del -33% (2000 V) ad un massimo del +20% (3600 V). Le STI (specifiche tecniche di interoperabilità) richiedono che, per linee progettate per velocità superiori a 250 km/h, la tensione media non sia inferiore a 2800 V. Sotto questa tensione, i moderni locomotori a regolazione elettronica non sono in grado di assorbire la piena potenza. In particolare si ammette che una tensione minore di 2800 V possa esistere per un tempo inferiore al 10%, in condizioni normali, e per un tempo inferiore al 20% in condizioni anomale.

3.6 Calcolo finale della potenzialità del sistema di trazione elettrica

La verifica della potenzialità del sistema di trazione viene effettuata con programmi di simulazione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

che permettono di definire gli indicatori di corretta di funzionalità della linea: la massima densità di corrente con il valore di sovratemperatura associato, la massima corrente sui gruppi di raddrizzatori in SSE e, infine, la tensione al pantografo. La prima attività riguarda la categorizzazione dei dati di ingresso, ossia la loro classificazione in categorie di appartenenza contraddistinte da caratteristiche peculiari. La prima categoria di dati riguarda gli “Standard degli impianti di Trazione Elettrica” (Tabella 3.2). Lo standard di un impianto di trazione elettrica viene individuato dalla combinazione di due standard: lo standard della SSE (ossia la distanza o passo tra due SSE consecutive ed il numero e potenza dei gruppi di raddrizzatori ivi presenti) e lo standard delle linee di contatto che le collegano (ossia della sezione complessiva di conduzione della linea di contatto, data dalla sezione della corda portante più quella dei fili di contatto).

Tipologia Standard TE	SSE		Linea di Contatto [mm ²]
	Passo	Gruppi	
	[km]	n°	
1	20	2 x 3,6 MW	320
2	20	2 x 5,4 MW	440
3	20	2 x 5,4 MW	540
4	16	2 x 5,4 MW	540
5	12	2 x 5,4 MW	610
6	12	2 x 5,4 MW	540

Tabella 3.2 Standard degli impianti di Trazione Elettrica

Una seconda categorizzazione (Tabella 3.3) riguarda le caratteristiche e le potenzialità dei treni che verranno normalmente impiegati nella linea.

Categoria	Locomotiva	Massa Completa	Velocità Impostata	Fermate su 100 km
		[T]	[km/h]	n°
Eurostar	ETR 500	690	250	1
Eurostar	ETR 500	690	200	1
Intercity	E 402 A	600	200	1
Espresso	E 656	700	160	2
Merci	E 402 B	800	120	0
Merci	E 402 B	800	80	0
Merci	2 x E 402 B	1600	120	0
Merci	2 x E 402 B	1600	80	0

Tabella 3.3 Caratteristiche e potenzialità dei treni in esercizio

Una terza ed ultima categorizzazione è quella inerente le caratteristiche e le prestazioni della linea da elettrificare o da potenziare. Nel seguito sono presi in considerazione due casi:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

- LINEA A) – linea lunga circa 96 km, con pendenza massima del 16 per mille, comprendente 3 sezioni uguali da 32 km ciascuna, costituita da 5 tratti di 6,4 km con pendenza del 8 – 16 – 0 – 8 – 16 per mille- La sezione centrale è in galleria.
- LINEA B) – linea lunga circa 96 km, stabilita per simulare una linea di valico con pendenza massima del 25 per mille, comprendente 8 tratti di 12km con pendenza (per mille) del 12.5 - 25 in galleria - 12.5 in galleria – 25 – 25 - 12.5 - 25 in galleria - 12.5.

Per alcune delle combinazioni più significative tra il tipo di linea (A o B), la tipologia degli Standard TE, e la categorie di treno, sono stati simulati i valori dei distanziamenti temporali minimi al fine di mantenere la compatibilità con i tre indicatori precedenti relativi alle potenzialità della linea di contatto. Ossia:

- la massima densità di corrente con il valore di sovratemperatura associato;
- la massima corrente sui gruppi di raddrizzatori in SSE;
- la tensione al pantografo.

I parametri utilizzati nella simulazione sono:

- **Linea Campione:** identifica il tipo di linea A o B
- **Standard TE:** identifica lo standard dei sistemi di trazione, da 1 a 6, secondo la tabella 2. Qui non verrà considerato il caso numero 1, essendo meno significativo nel definire il limite di potenzialità di un sistema di trazione elettrico
- **Tipo Treno:** identifica la categoria di treno, secondo la tabella 3
- **Energia Specifica Media E:** ossia l'energia in [kW/treno*km] da fornire ad un treno per ogni km percorso sulla linea considerata
- **Potenza Media W:** la potenza media in [kW/treno] assorbita da ogni treno
- **Distanziamento minimo d:** distanza minima ottenuta dalla simulazione e dal confronto con i valori limite dei tre indicatori sopra citati

Seguono poi i dati relativi al distanziamento minimo trovato, ossia

- **Potenza fornita da LdC (Linea di Contatto) P:** definita anche come Potenza specifica di linea, in [kW/km], ovvero la potenza che deve essere fornita ai treni per km di linea
- **Iquad max SSE:** la corrente media quadratica fornita dalla SSE più caricata
I di Punta SSE: la corrente di punta massima erogata dalla SSE, in condizioni di esercizio anomalo
- **Dquadr max LdC:** la densità di corrente media quadratica nella linea di contatto più caricata
- **$\Delta\theta_{max}$:** sovra riscaldamento massimo, derivante dalla densità di corrente circolante come definita al punto precedente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

- **Vutile** media: la tensione media al pantografo, da confrontare con il limite di 3000V
- **Vminimo**: la tensione minima al pantografo, da confrontare con il limite di 2500V
- **V < 2.8kV**: rappresenta la percentuale dei rilievi di tensione al pantografo di valore minore di 2800V da confrontarsi con il limite del 10%, valido in condizioni di funzionamento normale. In ultima analisi, tale percentuale rappresenta, rispetto al tempo totale di percorrenza, il tempo durante la quale il treno troverà una tensione media minore di 2800V
- **ηLdC**: rendimento medio della linea di contatto, ossia il rapporto tra la l'energia fornita al pantografo e l'energia erogata dalle sottostazioni. Tale parametro è bene non scenda al di sotto del 90%.
- **G Critiche**: l'ultima colonna indica quale delle grandezze considerate ai punti precedenti è da considerarsi critica, ossia vicina al limite ammissibile, nelle attuali condizioni di identificazione delle condizioni che danno il distanziamento minimo temporale.

I risultati di calcolo dei distanziamenti temporali minimi sono contenuti in Tabella 3.4.

Considerando una Linea Campione di tipo A, esercita con uno standard di tipo 2, ed ipotizzando un transito di un intercity con velocità impostata a 200 km/h, che effettua una fermata lungo la linea. Dalla tabella di marcia ricaviamo una Energia Specifica Media assorbita dal treno per ogni km di marcia di 27,2 kWh/(treno*km), una velocità media di 141 km/h ed una potenza assorbita dal treno 3419kW/tr. In base ai risultati, il distanziamento minimo temporale permesso è di 6 minuti.

Questo è un distanziamento minimo perché alcuni parametri indicatori della potenzialità della linea di trazione sono già vicini o appena oltre il loro valore limite. In questo caso infatti abbiamo una θ di 41 °C (con un limite di 40 °C). Inoltre, la tensione utile media e minima (rispettivamente di 3079V e 2493V) sono vicini al loro valore limite (di 3000V e 2500V). Quindi non si può forzare oltre, sebbene per altri parametri, come la Iquad max SSE, abbiano ancora un certo margine.

Analizzando i dati di corrente, essi vanno confrontati con i limiti permessi dai gruppi raddrizzatori (di 4500 A per la Iquad SSE, e di 7000 A per la I di punta SSE).

Si può notare che il limite di 4500 A per la Iquad è quasi raggiunto nella situazione A---eurostar---5 con 4429 A, in corrispondenza della quale si ha addirittura un leggero superamento del limite della corrente di picco, con 7267 A (contro il limite di 7000).

Ora, queste correnti sono quelle date da una singola SSE (la più caricata delle due consecutive che alimentano un tratto di linea). Dividendo la corrente per i due binari (di andata e ritorno, o pari e dispari) è possibile ipotizzare una corrente quadratica massima di 2225 A per linea di contatto, ed una corrente di punta massima di 3635 A per linea di contatto.

E' comunque da evidenziare che la corrente di punta si verifica in situazioni estremamente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

sfavorevoli dal punto di vista del carico, situazioni che si verificano difficilmente e, comunque, che durano per periodo di tempo molto breve (al massimo qualche minuto). Inoltre, l'aver una corrente che superi i 3500 A, che rappresenta la capacità massima di erogazione per un periodo limitato dei raddrizzatori della SSE, è una situazione sicuramente eccezionale e, al tempo stesso, non considerabile come uno standard di funzionamento.

In base a quanto detto, ai fini di una analisi cautelativa del campo magnetico generato, nel dimensionare la corrente che transita nella linea di contatto si assumerà pari a 3500 A.

		Dati Iniziali								Dati derivanti dalla Tabella di Marcia								Risultati Relativi alla Situazione di Distanziamento Minimo							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19							
Tipo Linea	Tipo Treno	Standard TE	Velocità Impostata	Fermate n°	Energia Specifica Media E	Velocità Media vm	Potenza Media Treni W	Distanza minima d	Potenza fornita da LdC	Iquad max SSE	I di punta SSE	Dquad max LdC	$\Delta \vartheta$ max	V utile media	V minima	V < 2.8kV	ηLdC	G critiche							
			Km/h		Kwh /tr*km	Km/h	Kw/tr	minuti	kw/km	A	A	A/mm2	°C	V	V	%	%								
A	intercity	2	200	1	27.2	141	3419	6	544	3878	4964	3.85	41	3079	2493	9.2	89.6	$\Delta \vartheta, V$							
	espresso		130	2	27.7	90	2490	6	554	3558	4044	3.6	33	3186	2928	0	92.4	$\Delta \vartheta$							
	M 800t	3	120	0	27.3	110	2987	7	468	3012	4144	3.57	33	3181	2753	0.2	91	$\Delta \vartheta$							
	eurostar		200	1	28.5	162	4628	10	342	2597	5352	3.09	29	3035	2546	11.8	86.7	V							
	intercity	4	200	1	27.2	141	3419	5	653	4362	5602	3.74	35	3069	2484	7.8	90.8	$\Delta \vartheta, V$							
	espresso		160	2	27.7	90	2490	5	665	4309	4843	3.63	33	3133	2825	0	92.5	$\Delta \vartheta, Iq$							
	M 800t	5	120	0	27.3	110	2987	5.4	607	3992	5526	3.89	40	3181	2683	2.05	91.5	$\Delta \vartheta$							
	eurostar		250	1	33.9	181	6129	8	509	3458	6022	3.26	31	3035	2569	12.2	87.7	V							
	eurostar	6	200	1	28.5	162	4628	7	489	3591	7198	3.4	32	3081	2533	6.23	88.9	V							
	M 800t		120	0	27.3	110	2987	5	855	3339	4722	3.8	37	3205	2955	0	92.7	$\Delta \vartheta$							
	eurostar	5	250	1	33.9	181	6129	4.4	925	4429	7267	3.68	35	3117	2709	1.3	91.5	$\Delta \vartheta, Iq$							
	M 1600t		120	0	54.6	110	5974	10	655	2786	5339	3.38	35	3184	2732	0.5	91.1	$\Delta \vartheta$							
eurostar	6	250	1	33.9	181	6129	5	814	4108	7688	3.7	35	3114	2649	3.9	90.7	$\Delta \vartheta$								
M 1600t		120	0	54.6	110	5974	12	546	2482	5224	3.55	41	3162	2687	1.7	90.1	$\Delta \vartheta$								
M 1600t	5	120	0	69.8	97	6757	10	838	3758	6992	3.73	41	3108	2789	0	90.4	$\Delta \vartheta$								
M 1600t		80	0	64.2	71	4584	9	856	3716	5552	3.75	39	3233	2983	0	93.8	$\Delta \vartheta$								
M 800t	6	120	0	34.9	97	3378	4	1047	4457	6030	3.72	35	3277	2938	0	94.3	Iq								
M 800t		80	0	32.1	71	2292	4	963	4100	4862	3.84	38	3256	3049	0	95.4	$\Delta \vartheta$								

Tabella 3.4 Distanziamenti temporali minimi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

3.7 I Valori Limite del Campo Magnetico con cui confrontarsi

I valori limiti inerenti il campo magnetico statico sono derivabili dalle Linee Guida ICNIRP e considerano esposizioni in corrispondenza di siti di Risonanza Magnetica. Per questo motivo ammettono valori di induzione magnetica statica molto intensi ma da considerare, secondo ICNIRP, idonei per la tutela della popolazione ed i lavoratori da esposizioni nel breve periodo.

Per l'esposizione professionale si ammette un valore di induzione magnetico statico uguale a 2 Tesla. Tuttavia, in situazioni di esposizione controllata, e dove sia possibile eliminare la possibilità di effetto propulsivo di oggetti ferromagnetici, vengono ammessi campi fino a 8 Tesla.

Per quanto riguarda l'esposizione della popolazione oggetto del presente lavoro, viene utilizzato un fattore riduttivo uguale a 5, che porta il limite massimo ammissibile per l'induzione magnetica statica a 400 milli Tesla.

Oltre a questo, ICNIRP, riconosce che, nel caso di persone in possesso di dispositivi medici impiantati di supporto alle funzioni vitali, o di materiali ferromagnetici (come protesi impiantate), si debba ammettere un limite più basso, uguale a 0,5 milli Tesla, ossia di 500 micro Tesla.

3.8 La simulazione dell'induzione magnetica generata dalla linea

La Figura 3.3 mostra la vista in sezione del portale di sospensione utilizzato per la linea ferroviaria del Ponte sullo Stretto di Messina.

Nella simulazione viene considerato che il portale possa ripetersi ogni 60 metri. Questo non ha comunque influenza significativa sulla modellizzazione. Dovendo definire una origine del sistema di riferimento su questa sezione, scegliamo il punto che rappresenta il centro del cerchio rosso presente tra i due binari nella Figura 3.4.

In questo modo i conduttori, in corrispondenza del portale, sono individuati con la schematizzazione riportata in Figura 3.5. La Tabella 3.5 associa ad ogni conduttore i relativi parametri.

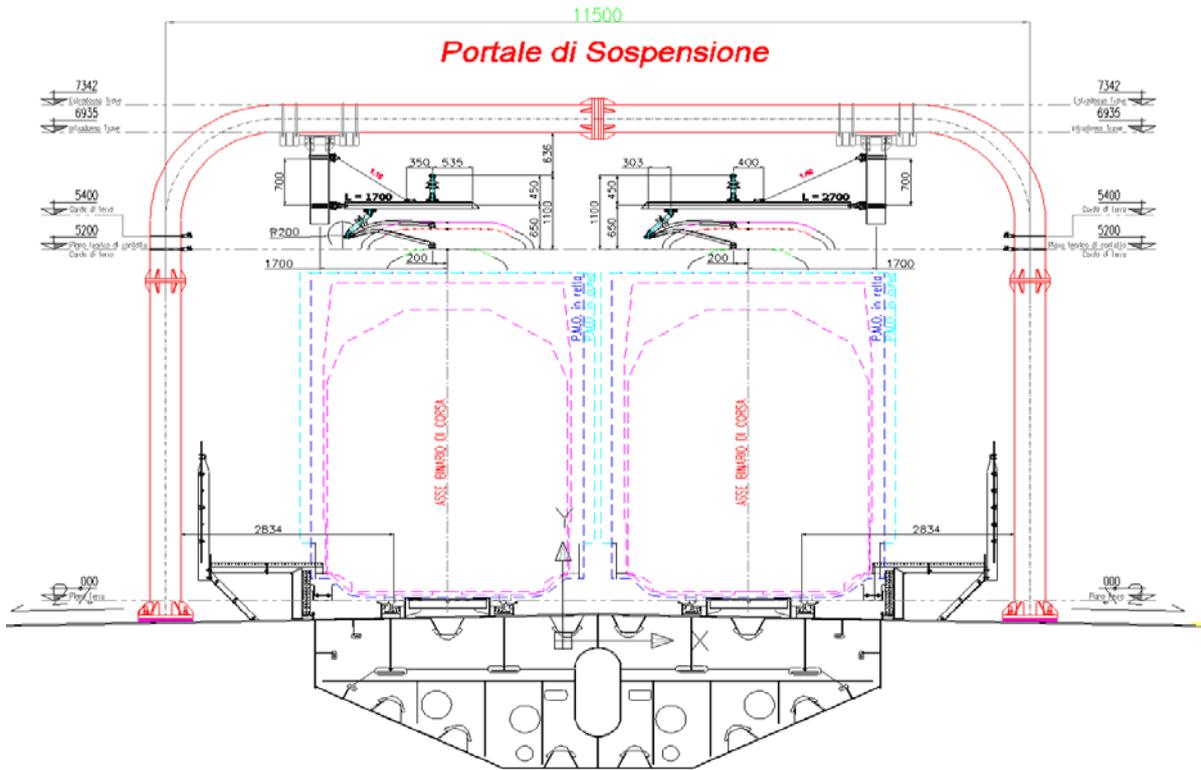


Figura 3.3 Sezione "tipo" impalcato ferroviario e portali di sospensione

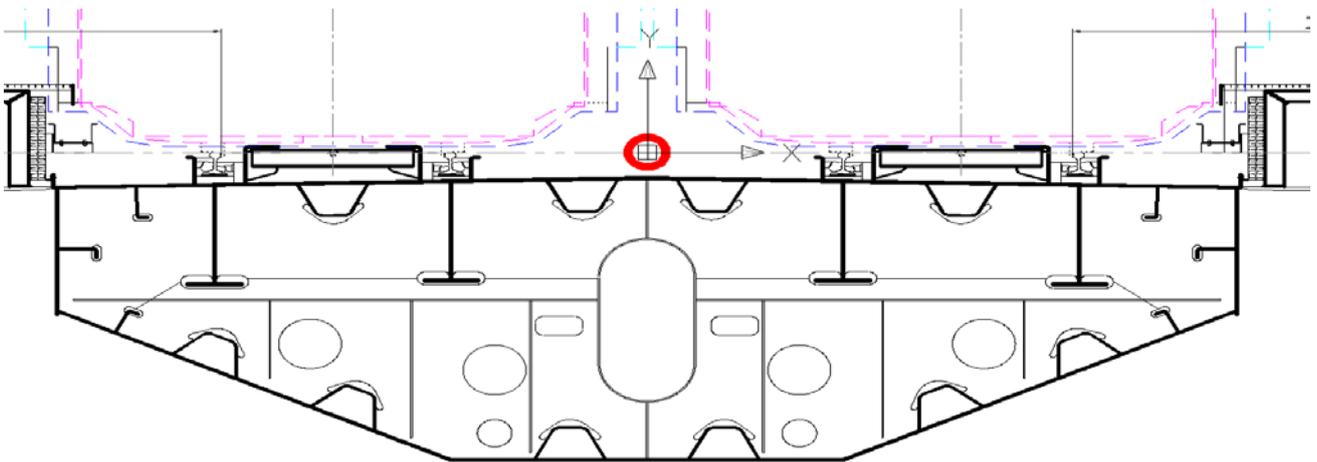


Figura 3.4 Origine del sistema di riferimento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

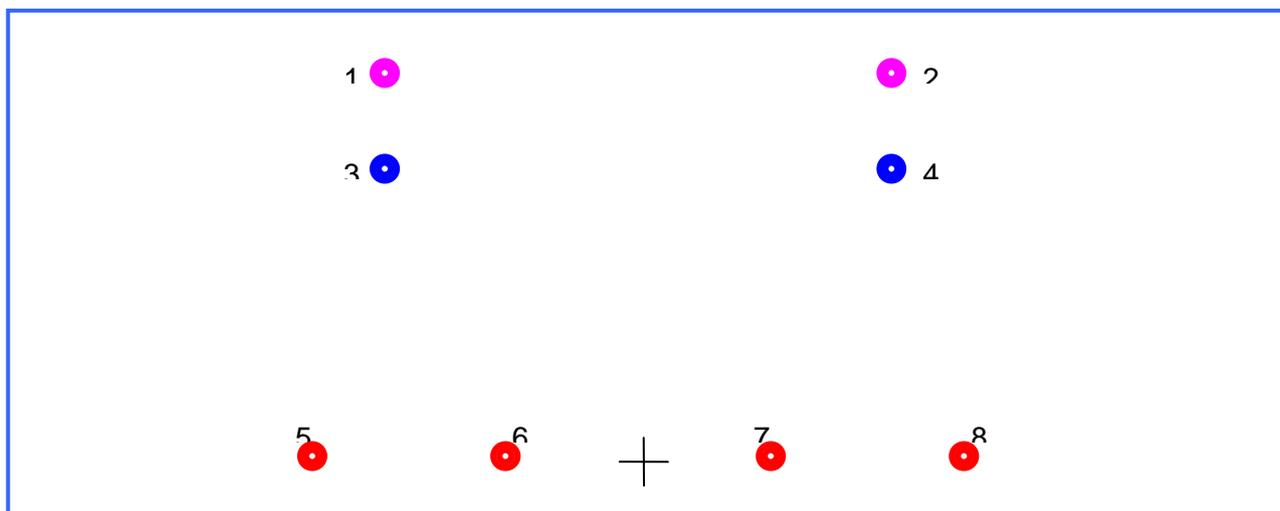


Figura 3.5 Geometria dei conduttori (In rosso sono indicati i conduttori delle rotaie, In blu sono indicate i fili di contatto, In viola sono indicate le corde portanti)

Numero conduttore	Tipo conduttore	Coordinata X	Coordinata Y	Corrente (A)	Verso della Corrente
1	Corda portante	-1.8	6.3	1750	Entrante nel foglio
2	Corda portante	1.8	6.3	1750	Entrante nel foglio
3	Filo di contatto	-1.8	5.2	1750	Entrante nel foglio
4	Filo di contatto	-1.8	5.2	1750	Entrante nel foglio
5	rotaia	-2.75	0	1750	Uscente dal foglio
6	rotaia	-1.25	0	1750	Uscente dal foglio
7	rotaia	1.25	0	1750	Uscente dal foglio
8	rotaia	2.75	0	1750	Uscente dal foglio

Tabella 3.5 Parametri di calcolo

Come si può notare, per ogni linea di contatto, la corrente di 3500° è stata equamente divisa tra filo di contatto e corda portante. Ma questa scelta è stata effettuata perché piccole variazioni nei diametri o nei materiali dei cavi non porta variazioni significative all'estensione laterale dell'isolinea dell'induzione magnetica.

La situazione appena presentata è relativa ad una sezione presa in corrispondenza del portale. Ma

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

mentre il filo di contatto si mantiene pressoché rettilineo, la corda portante assume la forma di una catenaria vincolata (in blu in Figura 3.6). Questo vuol dire che la distanza tra filo di contatto e corda portante è massima in corrispondenza del portale ma diminuisce avvicinandosi a metà campata, ivi raggiungendo il valore minimo che identifica la freccia minima.

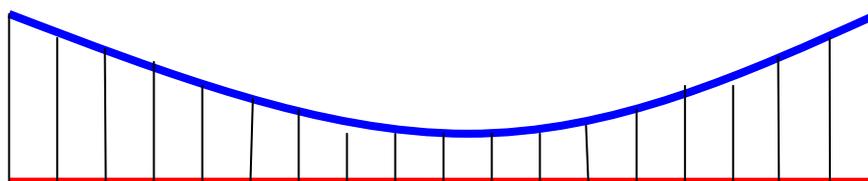


Figura 3.6

Lo scopo del lavoro include la verifica di come l'isolinea dell'induzione magnetica a 500 micro Tesla varia spostandosi dalla sezione sul portale (dove c'è la massima differenza in altezza, uguale a 1.1 m), tra la corda portante ed il filo di contatto, alla zona di freccia minima a metà campata (dove la differenza di altezza, o freccia, tra filo di contatto e corda portante è uguale a 0.2 m, con l'impostazione di 500 m del parametro di posa).

La modellizzazione dei conduttori inserita in SELF3D (software con modello di calcolo 3D per l'analisi dell'induzione magnetica generata da linee aeree, interrate e di forma arbitraria), è visualizzabile in Figura 3.7.

Come si può evincere dalla figura, sono state modellizzate 3 campate consecutive. I calcoli vengono svolti solo sulla seconda campata, quella centrale. Le altre due campate sono state inserite solo per valutare anche il loro contributo nel calcolo nel momento in cui si effettua la stima dei CEM sulla sezione in corrispondenza dei portali.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> <i>Data</i> F1 30/05/2012

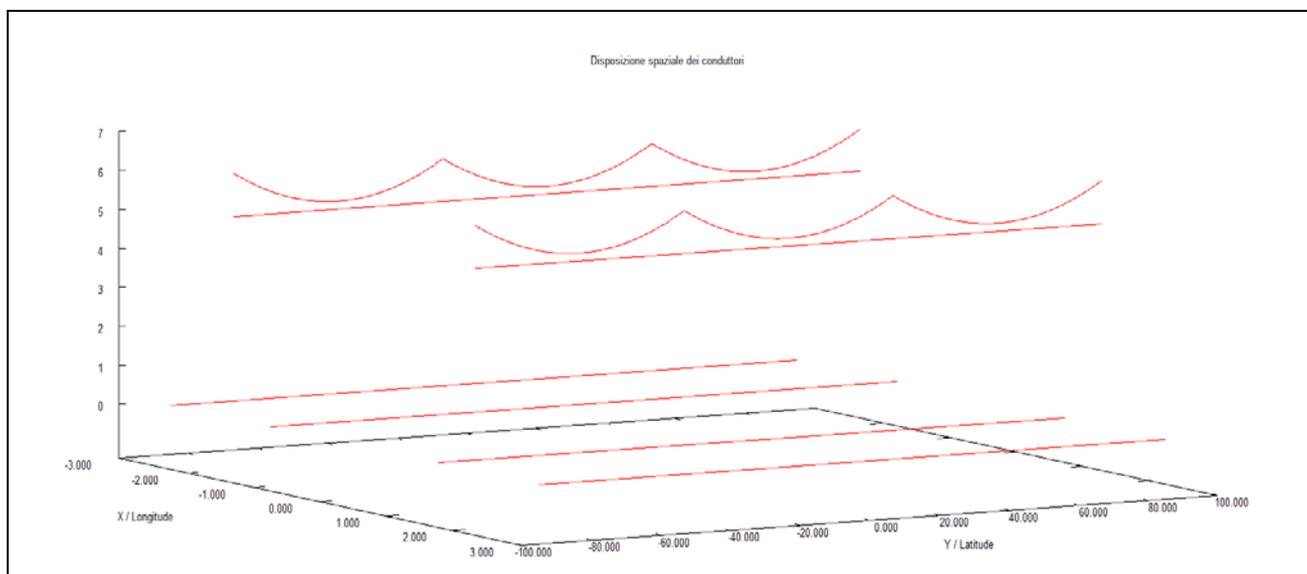


Figura 3.7 Modellizzazione dei conduttori

Considerando quindi la campata centrale, delle tre prima menzionate, la Figura 3.8 visualizza l'Induzione magnetica su piano verticale XZ al centro della campata e l'isolinea a 500 micro Tesla. Il grafico di Figura 3.9 riporta l'Induzione magnetica su piano verticale XZ in corrispondenza del portale.

Analizzando i risultati ottenuti, possiamo notare che, nel caso di simulazione a metà campata l'isolinea ha una estensione orizzontale di ± 3.9 m rispetto al centro del nostro sistema di riferimento, ossia di 1.15 m rispetto alla rotaia esterna. Nel caso di simulazione in corrispondenza del portale, invece, l'isolinea si estende per ± 3.92 m, sempre rispetto al centro del nostro sistema di riferimento, ossia di 1.17 metri rispetto alla rotaia più esterna. In buona sostanza non c'è molta differenza (2 cm) tra le due estensioni orizzontali dell'isolinea.

Può quindi stabilirsi cautelativamente una estensione dell'isolinea di circa ± 4 m rispetto al centro del nostro sistema di riferimento, ossia rispetto alla linea di mezzera tra le due coppie di binari.

La Figura 3.10, infine, riporta la sovrapposizione delle isolinee di induzione magnetica a 500 micro Tesla calcolate in progressione dal portale fino alla sezione a metà campata.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
RISPOSTA ID C087	<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

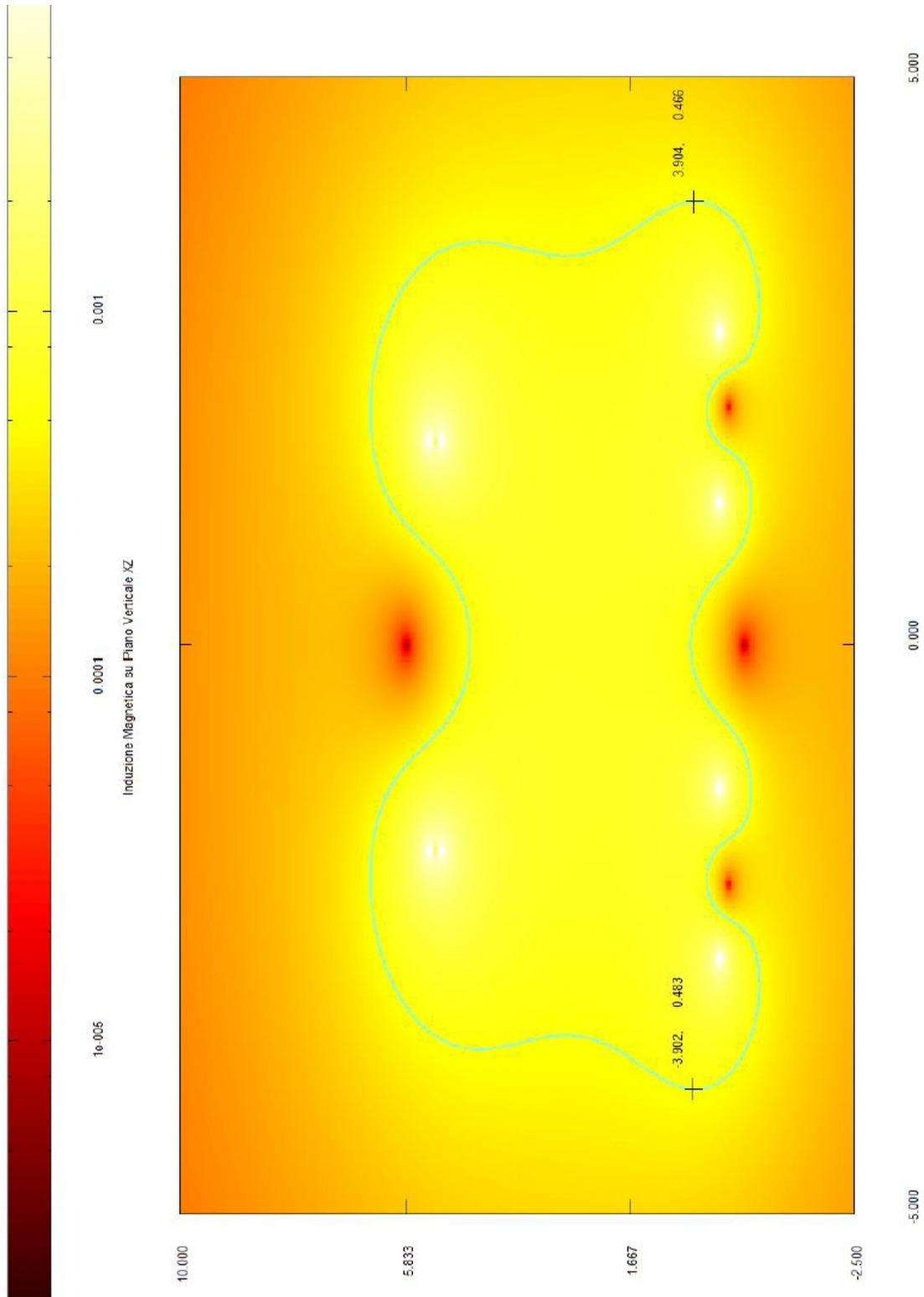


Figura 3.8 Induzione magnetica su piano verticale XZ al centro della campata

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F1</td> <td>30/05/2012</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F1	30/05/2012
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F1	30/05/2012						

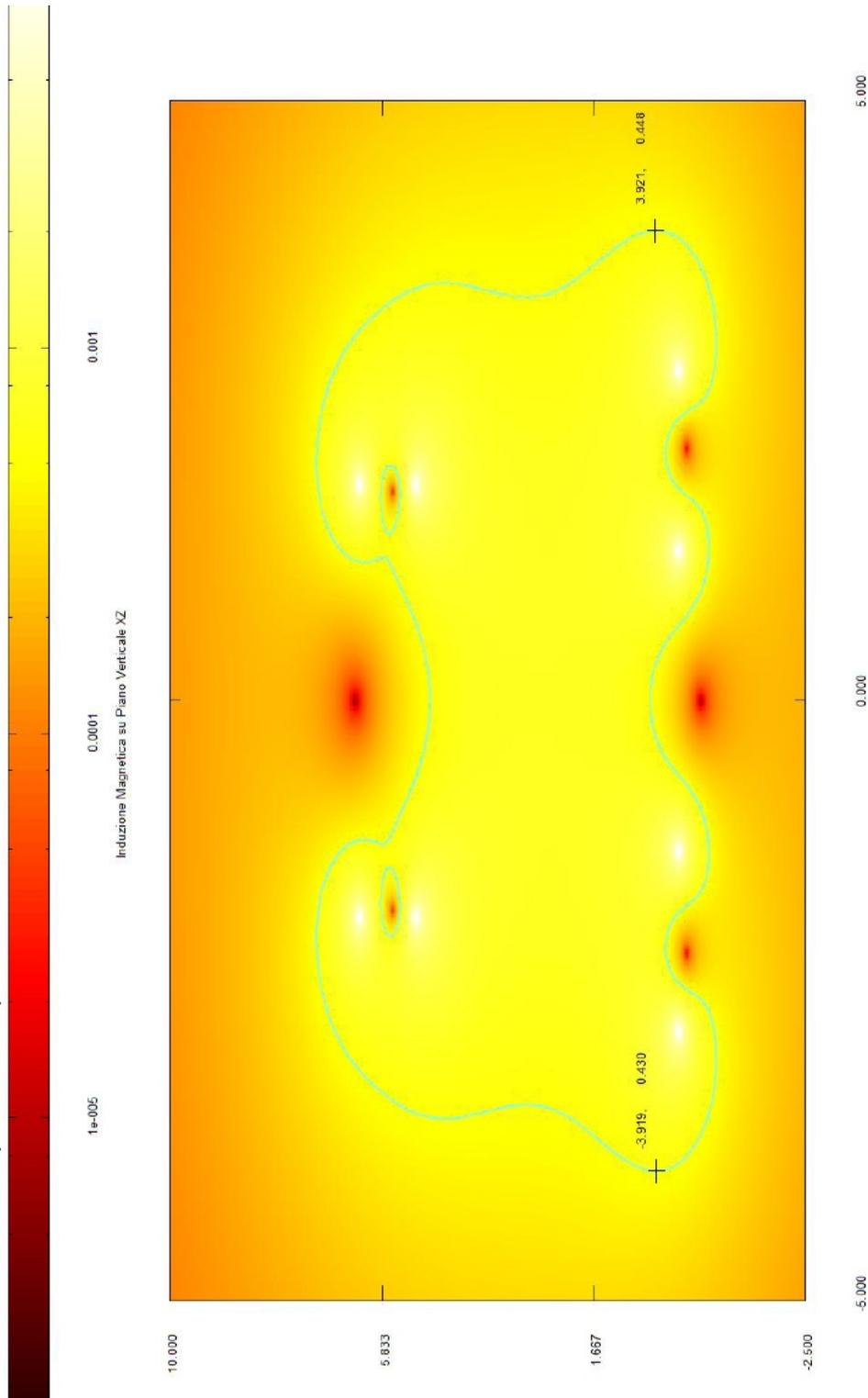


Figura 3.9 Induzione magnetica su piano verticale XZ al centro della campata

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

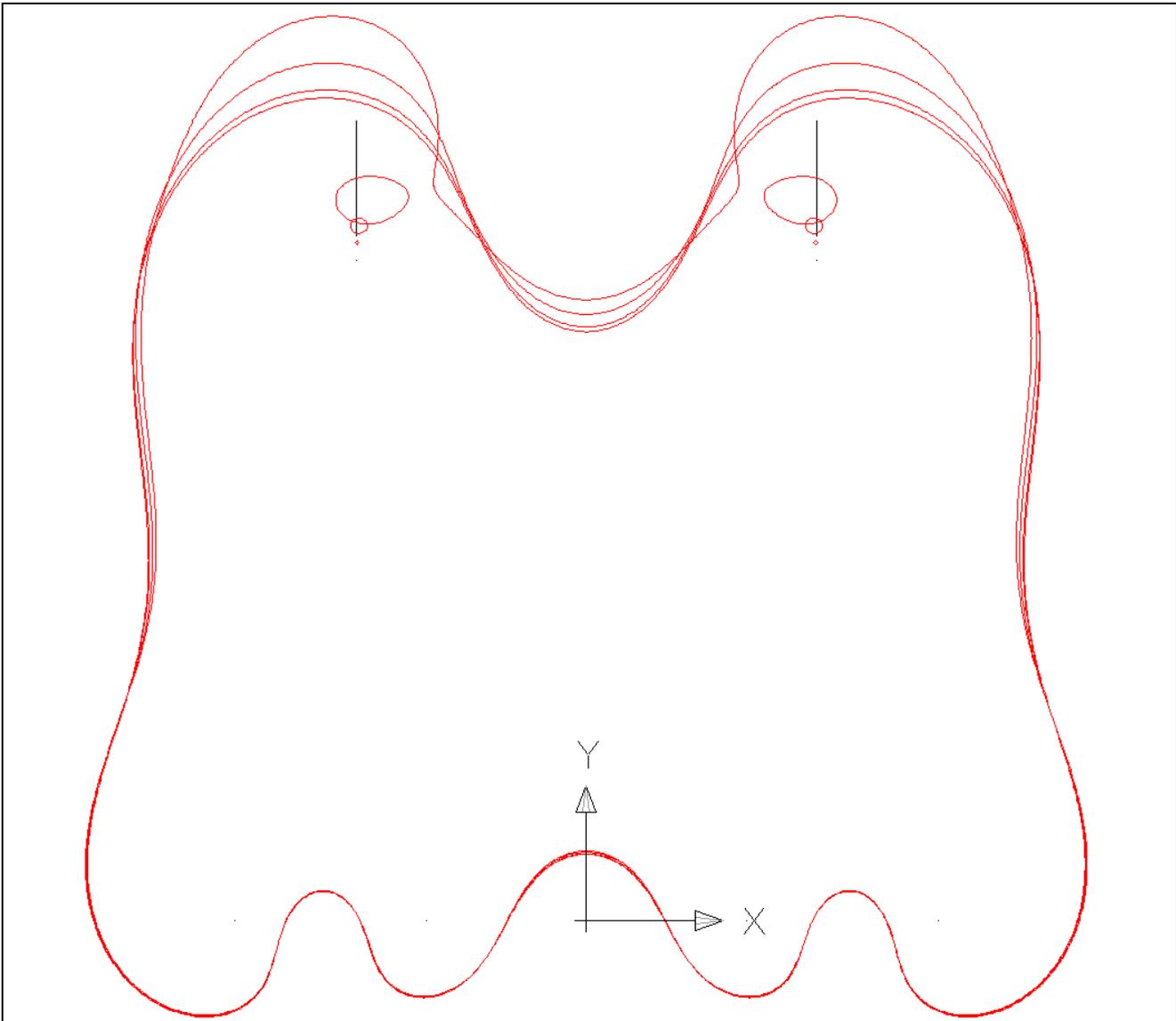


Figura 3.10 Isolinee di induzione magnetica a 500 μ T

3.9 Conclusioni

Il presente lavoro ha comportato la simulazione del campo magnetico statico generato dalla linea ferroviaria prevista per l'attraversamento stabile del Ponte sullo Stretto di Messina, con trazione elettrica DC a 3000 V.

Il calcolo ha generato delle isolinee a 500 μ T che si estendono lateralmente per una distanza di \pm 4 m rispetto alla linea di mezzera tra le due coppie di binari. Rispetto al binario piú esterno l'isolinea si estende per una distanza di 1,25 metri. Questa distanza rientra ampiamente nella

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RISPOSTA ID C087		<i>Codice</i> VIAC087_F1.doc	<i>Rev</i> F1	<i>Data</i> 30/05/2012

fascia di rispetto ferroviaria.

Considerando i limiti sul campo magnetico statico dettati dalle Linea Guida ICNIRP, che stabiliscono per la popolazione un valore limite di 400 milli Tesla, si può affermare che questo valore non è presente in aree aventi valore radioprotezionistico. ICNIRP, inoltre, stabilisce che, al fine della protezione di persone in possesso di dispositivi medici impiantati di supporto alle funzioni vitali, o di materiali ferromagnetici (come protesi impiantate), si debba ammettere un limite più basso, uguale a 0,5 milli Tesla, ossia di 500 μ T.

Le simulazioni dimostrano che questi valori possono essere raggiunti solo all'interno del sedime ferroviario.