

Progetto per la costruzione e l'esercizio di un Impianto eolico denominato "Energia Molise"

Progetto definitivo

Oggetto:

MOL.62 – Relazione sui campi elettromagnetici opere di utenza

Proponente:

 **Fred. Olsen Renewables**

Fred. Olsen Renewables Italy S.r.l
Viale Castro Pretorio, 122 (Roma)

Progettista:

 **Stantec**

Stantec S.p.A.
Centro Direzionale Milano 2, Palazzo Canova
Segrate (Milano)

Rev. N.	Data	Descrizione modifiche	Redatto da	Rivisto da	Approvato da
00	01/03/2024	Prima Emissione	D. Stangalino	G. Della Ca	D. Stangalino
01	01/03/2024	Integrati commenti	D. Stangalino	G. Della Ca	D. Stangalino

Fase progetto: **Definitivo**

Formato elaborato: **A4**

Nome File: **MOL1.62.01 - Relazione sui campi elettromagnetici opere di utenza.docx**



Indice

1	CONTENUTI DELLA RELAZIONE.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3	IMPIANTO EOLICO.....	5
4	CAMPI MAGNETICI.....	7
4.1	GENERALITÀ.....	7
4.2	CAMPO MAGNETICO PRODOTTO DALLA SOTTOSTAZIONE.....	7
4.3	CAMPO MAGNETICO PRODOTTO DAL TRASFORMATORE AT/MT.....	8
4.4	CAMPO MAGNETICO PRODOTTO DAI CAVI MT IN SOTTOSTAZIONE.....	9
4.5	CAMPO MAGNETICO PRODOTTO DAI CAVI MT NEL PARCO EOLICO.....	9
4.6	CAMPO MAGNETICO GENERATO DAI CAVI MT IMPIANTO BESS.....	11
5	CAMPI ELETTRICI.....	13
6	CONSIDERAZIONI SU POSSIBILE ESPOSIZIONE LAVORATORI (D.LGS 159/2016).....	14
7	CONCLUSIONI.....	16

Indice delle figure

Figura 4-1: Schema e distanze di cavi interrati posati a trifoglio (CEI 106-11) 11

Figura 4-2: Schema e distanze di cavi interrati posati a trifoglio (CEI 106-11) 12

Indice delle tabelle

Tabella 4-1: valore di portata effettiva della singola terna 9

1 CONTENUTI DELLA RELAZIONE

La presente relazione ha l'obiettivo di valutare i campi elettromagnetici prodotti dalle apparecchiature elettriche (linee in cavo in media tensione) installate nel nuovo impianto eolico "Energia Molise" e delle apparecchiature installate nella sottostazione utente.

La valutazione del campo magnetico consiste nella determinazione della distanza di prima approssimazione (nel seguito indicata con D_{pa}) in accordo alle prescrizioni del DPCM del 8 luglio 2003.

Per informazioni dettagliate riguardo al proponente dell'iniziativa e il progetto proposto, si rimanda all'elaborato MOL1.00 – *Presentazione del proponente e dell'iniziativa*.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella stesura della presente relazione tecnica, sono state seguite le prescrizioni indicate e applicabili al caso specifico dalle seguenti norme:

- ✓ Decreto Ministeriale del 21 marzo 1988 n. 449 "Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne".
- ✓ Legge Quadro n. 36 del 22/02/01 e relativo DPCM 08-07-2003 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.
- ✓ 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.
- ✓ Decreto Ministeriale 29 maggio 2008: Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti.
- ✓ Norma CEI 106-11: "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003".
- ✓ Guida CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche".
- ✓ Guida CEI CLC/TR 50453 "Valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza".
- ✓ DLgs 81/2008 del 9/4/2008 "Testo unico sulla sicurezza".
- ✓ Norma CEI EN 61936-1, "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. Parte 1: Prescrizioni comuni".

3 IMPIANTO EOLICO

Il progetto di costruzione dell'impianto eolico consiste nell'installazione di n. 12 torri di generazione eolica di nuova costruzione ciascuna equipaggiata generatore sincrono permanente in bassa tensione 690 V da 6,2 MW, convertitore di frequenza per la regolazione della corrente di rotore, interruttore principale, servizi ausiliari, trasformatore elevatore a 30 kV e quadro di media tensione (36 kV isolamento) per la connessione esterna. Tutte le suddette apparecchiature sono installate all'interno della navicella della torre eolica.

Trasformatore elevatore singolo generatore eolico

Tensione primaria	30 kV $\pm 2 \times 2,5\%$ a vuoto
Potenza nominale	6,2 MVA
Gruppo vettoriale	YNd11
Tensione secondaria	0,690 kV
Tensione di corto circuito	8%
Sistema di raffreddamento	AN/AF (resina)
Perdite cc	0,57% (valore ipotizzato)

Generatore eolico

Tipologia	PMSG (permanent magnet sincrono)
Potenza	6,2 MW
Tensione	690 V
Fattore di potenza	0,9
Contributo alla c.c.	4 In

La massima potenzialità del parco eolico sarà di 72 MW.

Il parco eolico sarà suddiviso in n. 4 sottocampi composti da 3 aerogeneratori collegati in entrata-esci con linee in cavo e connessi al quadro di media tensione installato all'interno del fabbricato della sottostazione di trasformazione.

Pertanto saranno previsti n. 4 elettrodotti che convoglieranno l'energia prodotta alla sottostazione di trasformazione:

- Elettrodotto 1: aerogeneratori T02-T03-T05
- Elettrodotto 2: aerogeneratori T06-T04-T01
- Elettrodotto 3: aerogeneratori T09-T08-T07
- Elettrodotto 4: aerogeneratori T12-T11-T10

In aggiunta sarà prevista la realizzazione anche di un impianto BESS da 14 MW autonomia 4 ore che sarà connesso al quadro di media tensione installato all'interno del fabbricato della sottostazione di trasformazione.

L'impianto BESS sarà composto da 16 container batteria aventi potenza 1860 kW ciascuno, energia nominale di 3,72 MWh, connessi a n. 4 container PCS contenenti un quadro di media tensione a 30 kV, un trasformatore elevatore da 4000 kVA e un inverter da 4000 kVA.

Sarà inoltre previsto un container ausiliari contenente un trasformatore mt/bt da 1250 kVA e un container contenente il quadro di media tensione.

4 CAMPI MAGNETICI

4.1 GENERALITÀ

L'intensità del campo magnetico prodotto dagli elettrodotti (sia linee in cavo che conduttori nudi aerei) e/o dalle apparecchiature elettriche installate nelle sottostazioni elettriche può essere calcolata con formule approssimate secondo i modelli bidimensionali indicati dal DPCM 8/7/2003 e dal DM 29/5/2008.

La Norma CEI 106-11 costituisce una guida per la determinazione della fascia di rispetto per gli elettrodotti in accordo al suddetto DPCM.

La fascia di rispetto comprende lo spazio circostante un elettrodotto, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, dove l'induzione magnetica è uguale o maggiore dell'obiettivo di qualità.

Secondo la Legge 36/01 e il DPCM 8/7/03 allegato A l'obiettivo di qualità

corrisponde al limite di 3 μT da rispettare nella costruzione dei nuovi elettrodotti.

Dalla proiezione al suolo della fascia di rispetto si ottiene la Dpa (distanza di prima approssimazione) misurata tra la proiezione al suolo del baricentro dei conduttori e la proiezione al suolo della fascia di rispetto.

Infine si tenga presente che l'intensità del campo magnetico è funzione dell'intensità della corrente e della distanza tra i conduttori e diminuisce all'aumentare della distanza dal baricentro dei conduttori.

A favore della sicurezza per il calcolo della fascia di rispetto, il DM 29/5/2008 impone che si utilizzi la portata massima dell'elettrodotto e/o delle linee in cavo, e non la corrente di massimo impiego. La portata massima è definita in funzione delle caratteristiche costruttive delle apparecchiature e delle linee elettriche.

4.2 CAMPO MAGNETICO PRODOTTO DALLA SOTTOSTAZIONE

Secondo il DM 29/5/2008 (art. 5.2.2) per le sottostazioni in genere la fascia di rispetto dovrebbe rientrare nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso.

Considerando le sbarre principali in tubolare di alluminio di adeguata sezione, con una distanza tra le fasi di 2,2 m (valore unificato dal codice di rete di Terna per le stazioni a 132/150 kV), con una corrente nominale delle sbarre di 1250 A, si ottiene una fascia di rispetto e quindi una Dpa (distanza di prima approssimazione) di 18 m, oltre la quale l'induzione è inferiore ai 3 microtesla e quindi nei limiti di legge imposti dalla normativa nazionale (obiettivo di qualità del DPCM 8/7/03).

I 18 m vanno calcolati dal baricentro dei conduttori e quindi dalla fase centrale delle sbarre in aria.

La proiezione al suolo di tale fascia di rispetto determina la distanza di prima approssimazione Dpa che risulta essere quindi di 18 m.

4.3 CAMPO MAGNETICO PRODOTTO DAL TRASFORMATORE AT/MT

Le caratteristiche del trasformatore elevatore sono di seguito indicate:

		TR1
Potenza nominale	MVA	90
Tensione nominale primaria	kV	150
Corrente primaria	A	346.4 A
Tensione nominale secondaria	kV	30
Corrente secondaria	A	1732.10 A
Gruppo vettoriale		Ynd11
Impedenza di corto circuito	Vcc	13
Sistema di raffreddamento		ONAN/ONAF

La valutazione del campo magnetico è stata effettuata recependo alcune indicazioni del rapporto CLC/TR 50453 e della Guida CEI 211-4, in quanto nel D.M. 29 maggio 2008 "Metodi numerici per il calcolo delle fasce di rispetto" non viene contemplato questo particolare caso.

Le indicazioni delle suddette pubblicazioni permettono di poter effettuare le seguenti considerazioni:

- I valori più significativi del campo magnetico a frequenza di rete sono dovuti alla corrente che circola nei terminali a bassa tensione.
- Il campo magnetico del trasformatore, prodotto dalle correnti che circolano negli avvolgimenti può essere trascurato.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte si può ritenere che i valori più significativi sono quelli prodotti dai cavi elettrici di media tensione collegati all'avvolgimento secondario.

Il trasformatore sarà collegato al quadro di media tensione di raccolta dei sottocampi con 3 cavi (1x630) mm² in parallelo per fase.

In corrispondenza dei terminali di media tensione i cavi di ogni fase sono tutti raggruppati insieme e collegati allo stesso terminale. La distanza tra i terminali di media tensione è di 350 mm.

Considerando come valore di corrente, quella nominale lato secondario del trasformatore at/mt (1732,10 A), si ottiene per la configurazione descritta un valore della distanza di prima approssimazione pari a 8,37 m.

In analogia al paragrafo 5.1.4.5 del decreto 29 Maggio 2008 incrementiamo la distanza di prima approssimazione di 1,5 volte per eventuali cambi di direzione, ottenendo un valore di 12,55 m.

In conclusione la distanza di prima approssimazione (Dpa) del trasformatore at/mt risulta essere di 8,9 m.

4.4 CAMPO MAGNETICO PRODOTTO DAI CAVI MT IN SOTTOSTAZIONE

I cavi di media tensione impiegati per il collegamento delle apparecchiature elettriche (trasformatore elevatore, trasformatore dei servizi ausiliari) hanno le seguenti caratteristiche:

Tipo di cavo	unipolare
Conduttore:	rame ricotto stagnato secondo norma CEI 20-29
Forma conduttore:	corda rotonda compatta
Isolamento:	mescola etilenpropilenica di qualità G16 (HEPR)
Schermo metallico:	rame non stagnato
Guaina esterna:	mescola termoplastica in PVC qualità Rz
Temperatura massima:	90 °C in condizioni di esercizio normali 250°C in condizioni di corto circuito
Posa:	interrata in cunicolo
Tensione isolamento:	18/30 kV
Designazione del cavo:	RG16H1R12 18/30 kV

Per il calcolo della Dpa sono state considerate le seguenti condizioni:

- Massima corrente per ogni singola linea, corrispondente alla massima portata dei cavi.
- Geometria in funzione del percorso cavi

Le formazioni per ciascuna linea di media tensione e i valori della fascia di rispetto e quindi della Dpa (distanza di prima approssimazione) sono di seguito indicati:

Tabella 4-1: valore di portata effettiva della singola terna

Formazione [mm ²]	Da	A	Diametro esterno [mm]	Portata [A] (NOTA 1)	Posa	Dpa [m]
3x3x(1x630)	TR1	QMT	61,9	860	A trifoglio interrati/passarella	7,15
3x(1x50)	QMT	TSA	34,1	214	A trifoglio interrati/passarella	0,77

I suddetti cavi sono posati all'interno di banchi tubi interrati alla profondità di 1 m nel piazzale della sottostazione e su passerelle all'interno dell'edificio della sottostazione.

4.5 CAMPO MAGNETICO PRODOTTO DAI CAVI MT NEL PARCO EOLICO

I cavi di media tensione impiegati per il collegamento tra le singole torri di generazione e la sottostazione hanno le seguenti caratteristiche:

Tipo di cavo	unipolare
Conduttore:	alluminio

Forma conduttore:	corda rotonda compatta
Isolamento:	in polietilene di tipo XLPE
Schermo metallico:	in nastro di alluminio
Guaina esterna:	polietilene
Temperatura massima:	90 °C in condizioni di esercizio normali 250°C in condizioni di corto circuito
Posa:	interrata
Tensione isolamento:	18/30 kV
Designazione del cavo:	ARE4H5E

Sono usate le seguenti sezioni di cavo:

Formazione [mm ²]	Diametro esterno [mm]	Portata [A]
1x300	44	480
1x630	51	606

Per il calcolo della Dpa sono state considerate le seguenti condizioni:

- Massima corrente per ogni singola linea, corrispondente alla massima portata dei cavi.
- Geometria in funzione del percorso cavi e del tipo di posa: a trifoglio alla profondità di 1,2 m.

In riferimento alle suddette condizioni di posa si ottiene una distanza di prima approssimazione Dpa, intesa come distanza dal baricentro della linea in tutte le direzioni (R' nella figura seguente), come indicato in tabella.

Invece della distanza dal baricentro può essere interessante conoscere la distanza dall'asse della linea a livello del suolo (distanza Ro nella figura seguente, con h=0), come indicato in tabella.

Formazione [mm ²]	Diametro esterno [mm]	Dpa [m]	Distanza asse a livello del suolo	Valore induzione a 1 m dal suolo [μT]
1x300	44	1,31	0,729	1,069
1x630	51	1,60	1,017	1,211

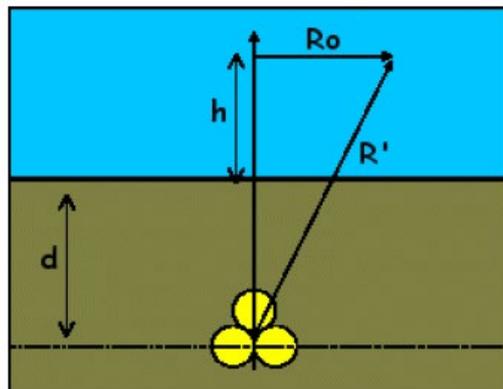


Figura 4-1: Schema e distanze di cavi interrati posati a trifoglio (CEI 106-11)

4.6 CAMPO MAGNETICO GENERATO DAI CAVI MT IMPIANTO BESS

I cavi di alta tensione impiegati per il collegamento delle torri eoliche di generazione alla cabina di raccolta hanno le seguenti caratteristiche:

- Tipo di cavo: unipolare
- Conduttore: rame
- Isolamento: in gomma tipo G16
- Tensione isolamento: 18/30 kV
- Designazione del cavo: RG16H1R12

Sono usate le seguenti sezioni di cavo:

Formazione [mm ²]	Diametro esterno [mm]	Portata [A]
1x150	40,7	400
1x300	47,8	593

Per il calcolo della Dpa sono state considerate le seguenti condizioni:

- Massima corrente per ogni singola linea, corrispondente alla massima portata dei cavi.
- Geometria in funzione del percorso cavi e del tipo di posa: a trifoglio alla profondità di 1,2 m.

In riferimento alle suddette condizioni di posa si ottiene una distanza di prima approssimazione Dpa, intesa come distanza dal baricentro della linea in tutte le direzioni (R' nella figura seguente), come indicato in tabella.

Invece della distanza dal baricentro può essere interessante conoscere la distanza

dall'asse della linea a livello del suolo (distanza R_0 nella figura seguente, con $h=0$), come indicato in tabella.

Formazione [mm ²]	Diametro esterno [mm]	D _{pa} [m]	Distanza asse a livello del suolo	Valore induzione a 1 m dal suolo [μT]
1x150	40,7	1,154	0,367	0,824
1x300	47,8	1,523	1,060	1,435

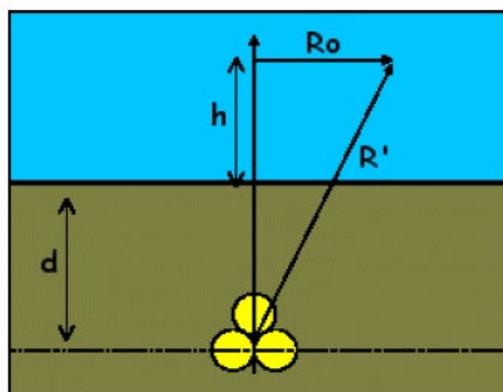


Figura 4-2: Schema e distanze di cavi interrati posati a trifoglio (CEI 106-11)

5 CAMPI ELETTRICI

Tutti i componenti dell'impianto presentano al loro interno schermature o parti metalliche collegate all'impianto di terra, per cui i campi elettrici risultanti all'esterno sono del tutto trascurabili o nulli.

Tutti gli schermi o le masse metalliche saranno collegati a terra, imponendo il potenziale di terra, ovvero zero, agli stessi, col risultato di schermare completamente i campi elettrici.

Anche nel caso in cui gli effetti mitigatori delle schermature non dovessero essere totali, sicuramente le fasce di rispetto dovute ai campi elettrici saranno ridotte e ricadrebbero all'interno di quelle già calcolate per i campi magnetici.

Per le linee in cavo di media tensione essendo i cavi schermati il campo elettrico esterno allo schermo è nullo o comunque inferiore al valore di 5 kV/m imposto dalla Norma.

6 CONSIDERAZIONI SU POSSIBILE ESPOSIZIONE LAVORATORI (D.LGS 159/2016)

Il Lgs. 159/2016 riguarda l'attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE. In particolare, il decreto arreca modifiche ad alcuni articoli del D.Lgs 81/2008, che già prevedeva le disposizioni di salute e sicurezza dei lavoratori anche in relazione all'esposizione ai campi elettromagnetici.

Come stabilito dall'art. 206 del D.Lgs. 81/2008, così come modificato dal D.Lgs. 159/2016, il campo di applicazione è riferito alla determinazione dei "requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici (da 0 Hz a 300 GHz) , come definiti dall'articolo 207, durante il lavoro. Le disposizioni riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti biofisici diretti e agli effetti indiretti noti provocati dai campi elettromagnetici."

Il decreto definisce tra gli altri parametri:

- "Valori Limite di Esposizione (VLE), valori stabiliti sulla base di considerazioni biofisiche e biologiche, in particolare sulla base degli effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati, ossia gli effetti termici e la stimolazione elettrica dei tessuti";
- "Valori di azione (VA)", livelli operativi stabiliti per semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai pertinenti VLE e, ove appropriato, per prendere le opportune misure di protezione o prevenzione specificate" (n.d.a. sempre nel medesimo capo del D.Lgs.)

Come riportato all' Art. 208 (Valori Limite di esposizione e valori di azione):

"1. Le grandezze fisiche relative all'esposizione ai campi elettromagnetici sono indicate nell'allegato XXXVI, parte I. I VLE relativi agli effetti sanitari, i VLE relativi agli effetti sensoriali e i VA sono riportati nell'allegato XXXVI, parti II e III.

2. Il datore di lavoro assicura che l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici non superi i VLE relativi agli effetti sanitari e i VLE relativi agli effetti sensoriali, di cui all'allegato XXXVI, parte II per gli effetti non termici e di cui all'allegato XXXVI, parte III per gli effetti termici. Il rispetto dei VLE relativi agli effetti sanitari e dei VLE relativi agli effetti sensoriali deve essere dimostrato ricorrendo alle procedure di valutazione dell'esposizione di cui all'articolo 209. Qualora l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici superi uno qualsiasi dei VLE, il datore di lavoro adotta misure immediate in conformità dell'articolo 210, comma 7. [...]"

L'articolo prosegue indicando le condizioni in cui si considera che i VLE sono rispettati e le condizioni in cui è possibile superare i valori di esposizione (adottando specifiche misure/condizioni operative).

In ogni caso tutti i rischi per i lavoratori derivanti da campi elettromagnetici sul luogo di lavoro dovranno essere opportunamente valutati dal datore di lavoro nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'art.181 del D.Lgs. 81/2008, ed in caso si rendesse necessario il datore di lavoro dovrà provvedere alla misura o al calcolo dei livelli dei campi elettromagnetici a cui i lavoratori sono esposti, tenendo conto (come indicato nell'art. 209 del D.Lgs. 81/2008 e ss.mm.ii.) anche delle guide pratiche della Commissione europea, delle norme tecniche europee e di quelle del

Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), nonché delle buone prassi individuate o emanate dalla Commissione consultiva permanente di cui all'art. 6 del D.Lgs.81/2008, delle informazioni reperibili presso le banche dati INAIL o delle Regioni.

In generale, sia per la fase di cantiere relativa alla costruzione dell'impianto, sia per la fase di esercizio e dunque per le operazioni di gestione, controllo e manutenzione dell'impianto e delle opere connesse, dovranno essere rispettati i disposti del D.Lgs. 81/2008 e ss.mm.ii. (pertato anche relativamente alle modifiche sull'esposizione ai campi elettromagnetici introdotte con il D.Lgs. 159/2016) ed i rischi di esposizione per i lavoratori, nonché le relative misure di prevenzione e protezione, dovranno essere attentamente valutate nell'ambito della valutazione dei rischi e riportati nel Documento di Valutazione dei Rischi (DVR) e nel Documento Unico di Valutazione dei Rischi Interferenziali (DUVRI).

7 CONCLUSIONI

Dall'analisi dei risultati si può concludere che i valori di induzione calcolati sono compatibili con i vincoli previsti dalla normativa vigente.

Infatti le aree di prima approssimazione individuate non includono in nessun punto luoghi con permanenza abituale di persone superiore a 4 ore, ed essendo contenute all'interno o nei dintorni dell'area di insediamento del nuovo parco eolico e della sottostazione annessa non coinvolgono né civili abitazioni, né locali pubblici con permanenza di persone, né luoghi di divertimento o svago.

Prima dell'inizio lavori e per le fasi di costruzione, esercizio/manutenzione, dismissione, dovrà essere fatta dal datore di lavoro un'accurata valutazione dei rischi, che includa la valutazione del rischio di esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici e la predisposizione dei relativi documenti, nonché l'adozione delle misure di prevenzione e protezione così come disposto dal D.Lgs. 81/2008 e ss.mm.ii. (così come modificato anche dal D.Lgs. 159/2016).