

ANALISI ELETTROMAGNETICA PRELIMINARE PER LA REALIZZAZIONE DI UNA RETE WIRELESS ALL'INTERNO DEI LABORATORI SOTTERRANEI DEL GRAN SASSO DELL'ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Fabio Garzia, Luigi Apicella
Ingegneria della Sicurezza – Dipartimento ICMMPM
Università degli Studi di Roma “La Sapienza”

Paolo Rossi
ISPESL - Dipartimento di Igiene del Lavoro

Roberto Tartaglia
Laboratori Nazionali del Gran Sasso
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

1. INTRODUZIONE

Le reti wireless, grazie alla possibilità di offrire delle velocità di trasmissione dati ormai comparabili a quelle delle reti su cavo, senza il vincolo del cavo stesso, stanno attualmente incontrando un notevole sviluppo che tende a diventare sempre più rapido con il passare del tempo. Le tecnologie che utilizzano le reti wireless vengono anche denominate *Wi-Fi*, abbreviazione di *Wireless Fidelity*.

Date le possibilità di trasmissione di dati ad elevata velocità tra dispositivi fissi e mobili senza ricorrere all'utilizzo di cavi, tale tecnologia permette la realizzazione di servizi e funzionalità estremamente avanzate nei luoghi dove viene utilizzata.

Le reti wireless utilizzano le onde elettromagnetiche alla frequenza delle microonde (2,5 GHz, detta anche banda ISM, Industrial-Scientific-Medical, o 5 GHz). Esse permettono la connessione punto-punto tra due dispositivi (connessione peer to peer) o una connessione multi-punto tra più dispositivi. In entrambi i casi uno dei dispositivi può essere rappresentato da un punto di accesso (*access point*) che funziona in maniera analoga alle stazioni radio base per telefonia cellulare, permettendo a tutti i dispositivi della rete abilitati di accedere alla rete LAN (Local Area Network) fissa a cui il punto di accesso è connesso.

Le potenze di emissione sono estremamente basse (dell'ordine della decina di milliWatt) e notevolmente inferiori, ad esempio, rispetto a quelle di un telefono cellulare attuale che può arrivare ad emettere potenze di picco al di sopra del Watt. Se da un lato ciò fornisce delle elevate garanzie per quanto riguarda la sicurezza delle persone esposte, dall'altro non consente ai dispositivi *Wi-Fi* di superare distanze superiori a qualche decina di metri.

La tecnologia più utilizzata per il *Wi-Fi* si basa sul protocollo IEEE 802.11X, sviluppato dal International Institute of Electrical and Electronic Engineers (da cui l'acronimo IEEE). La X finale sta ad indicare le varie versioni che si sono susseguite (a, b, g), caratterizzate da una velocità di trasferimento dei dati sempre crescente (variabile da 11 sino a 54 Mbit/s potendo raggiungere i 108 Mbit/s in modalità veloce, uguale, quindi a quella delle normali reti cablate), unitamente al livello di sicurezza (protocollo crittografico).

La velocità di scambio dei dati decresce sia con la distanza che con il livello di disturbo elettromagnetico presente nella banda di frequenza utilizzata, passando per esempio dagli 11 Mbit/s ad una distanza di 35 m da un access point di medie caratteristiche che utilizza un protocollo 802.11b all'interno di un edificio, sino a 1 Mbit/s ad una distanza di 100 metri. Il protocollo 802.11g permette di raggiungere velocità di 54 Mbit/s in modalità standard e di 108 Mbit/s in modalità avanzata (comparabile con quella delle reti cablate).

E' evidente che la progettazione e la realizzazione di una rete wireless che debba garantire un funzionamento ottimale in termini di velocità di funzionamento e un elevato rapporto benefici/costi (evitando di installare un numero eccessivo di punti di accesso che aumenterebbe inutilmente i costi

e diminuirebbe l'affidabilità della rete stessa a seguito del sovrabbondante numero di componenti installati) richiede comunque un'analisi preliminare delle specifiche richieste in termini di servizio e della qualità dell'ambiente elettromagnetico in cui dovrà essere installata il quale può costituire una potenziale fonte di disturbo e quindi di diminuzione delle prestazioni della rete stessa.

Tale attività deve in particolare essere condotta con rigore estremo quando ci si trova in ambienti, come quelli in oggetto, che impongono specifiche particolarmente stringenti.

Scopo del presente lavoro è dunque quello di illustrare l'analisi elettromagnetica preliminare per la progettazione e la realizzazione di una rete wireless all'interno dei laboratori sotterranei del Gran Sasso, al fine di fornire delle funzionalità e dei servizi estremamente innovativi che permetteranno di aumentare, tra l'altro, la sicurezza delle persone presenti e dell'ambiente circostante.

2. I LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO

I Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) sono localizzati ad Assergi, in provincia di L'Aquila (Abruzzo), a circa 120 km ad est di Roma. I laboratori sotterranei sono localizzati circa 1400 metri sotto il massiccio roccioso centrale del Gran Sasso, precisamente sotto la vetta del Monte Aquila. Gli uffici ed il centro direzionale sono situati a circa 1 km dall'uscita autostradale di Assergi ed occupano attualmente un'area di circa 12.000 mq. Al di sotto del Gran Sasso è presente un tunnel autostradale a doppia canna separata (una canna per consentire il flusso di traffico, su due corsie, nella direzione L'Aquila-Teramo e una canna, sempre a due corsie, per consentire il flusso di traffico nella direzione opposta Teramo-L'Aquila).

L'accesso ai laboratori sotterranei avviene attraverso il tunnel autostradale relativo al flusso di traffico Teramo-L'Aquila, utilizzando una corsia autorizzata ai soli utenti dei LNGS creata mediante un restringimento di carreggiata di circa 1 km in corrispondenza delle sale sotterranee.

I LNGS sono i più grandi e importanti laboratori sotterranei del mondo e davvero unici per l'attività di ricerca che in essi viene svolta, essendo stati peraltro creati appositamente e non recuperando ed adattando strutture già esistenti, quali miniere dismesse o ancora attive (KAMIOKANDE in Giappone SNO in Canada).

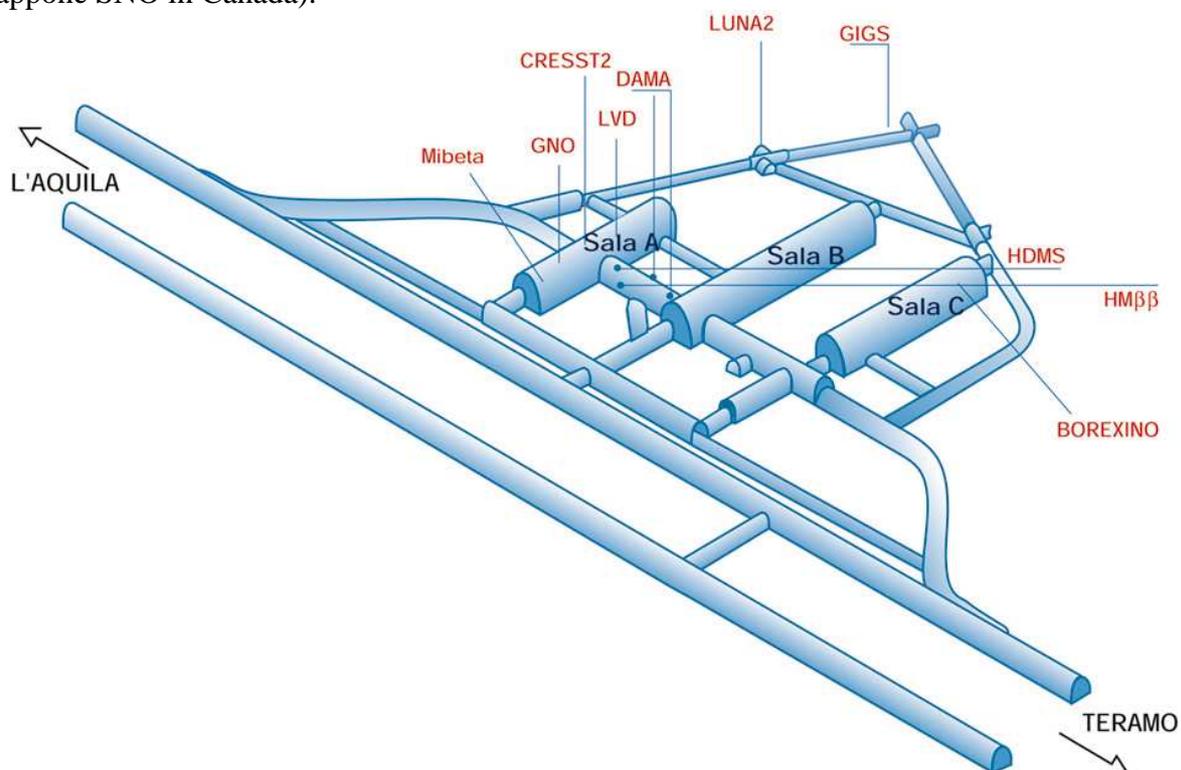


Fig.1 Schema tridimensionale dei laboratori con indicazione degli esperimenti presenti

Il progetto, l'approvazione e il finanziamento statale sono stati possibili grazie alla costruzione simultanea, negli anni '70-'80, del tunnel autostradale nella stessa zona. La realizzazione del L.N.G.S. è iniziata nel 1982 e la costruzione del primo apparato sperimentale è iniziata solo 4 anni più tardi, nel 1986, quando il primo tunnel è stato aperto al traffico pubblico. I laboratori sotterranei sono sostanzialmente costituiti da 3 sale sperimentali, le cui dimensioni sono di circa 100 x 20 x 20 metri, e da una serie di gallerie di collegamento che vengono utilizzate per ospitare tutta l'impiantistica di supporto alle attività ed esperimenti di dimensione ridotte.

Attualmente sono in corso circa quindici esperimenti correntemente in funzione nelle 3 sale sperimentali e in alcuni tunnel di collegamento, fra cui i principali sono:

Esperimento BOREXINO <i>Sala C</i>	Volto a rivelare particelle subnucleari (neutrini).
Esperimento LVD <i>Sala A</i>	Volto a operare come un avanzato telescopio neutrino in grado di osservare collassi stellari nella nostra galassia.
Esperimento GNO <i>Sala A</i>	Volto a fornire una più accurata osservazione e misura dell'intensità del flusso di neutrini elettronici solari. Tale esperimento ha terminato il suo ciclo di vita ed è attualmente in fase di dismissione.
Esperimenti Luna 1 e Luna 2 <i>Gallerie di collegamento</i>	Volti ad effettuare misure con acceleratore da 400 kV per studiare i processi termonucleari del sole.
Esperimento LENS <i>Galleria collegamento</i>	Volto ad eseguire un programma di ricerca e sviluppo non ancora avviato con test su celle di Pseudocumene, opportunamente segregate e di volume estremamente ridotto.
Esperimento $\beta\beta$ Milano <i>Sala A e sala C</i> Esperimento Heidelberg-Moscow <i>Galleria di collegamento</i> Esperimento Cresst <i>Sala A</i>	Costituiscono una famiglia di esperimenti particolari volti all'osservazione dell'interazione di particelle rare con cristalli quali ossido di tellurio, germanio, zaffiro a temperature molto prossime allo zero assoluto.
Esperimento Dama <i>Galleria collegamento</i>	Volto alla ricerca di particelle candidate come materia oscura dell'universo, usando scintillatori a temperatura ambiente
Esperimento Opera <i>Sala C</i>	Volto alla ricerca di neutrini τ con emulsioni fotografiche e spettrometri.

Tab.1 Principali esperimenti attualmente in corso di svolgimento nei laboratori.

Nel massiccio del Gran Sasso sono presenti altri soggetti che esercitano attività specifiche (autostrada, acquedotto, ecc.) e per tale motivo i L.N.G.S. non sono che una componente, peraltro di primo piano, di un sistema complesso più ampio, in cui ogni componente interagisce, inevitabilmente, con le altre componenti. Si pensi che, per esempio, rappresentando l'autostrada l'unica via di accesso ai L.N.G.S., non solo le persone e gli automezzi devono utilizzare tale via di transito ma anche tutte gli impianti generali che garantiscono il funzionamento e la sicurezza dei laboratori (ventilazione, alimentazione elettrica, raffreddamento, telecomunicazioni, ecc.) devono passare per la stessa via. Ciò implica che un possibile incidente in uno dei tunnel stradali aperti al traffico può compromettere sia la stabilità e l'affidabilità degli impianti dei laboratori sia la possibilità per il corpo dei Vigili del Fuoco, gli operatori del tunnel stradale e le squadre di

emergenza di poter raggiungere i laboratori sotterranei. Lo stesso vale per un possibile incidente che si dovesse verificare nei laboratori. Per tale motivo i piani di emergenza previsti per uno qualunque dei soggetti che esercitano una qualche attività all'interno del massiccio del Gran Sasso non possono non tenere conto anche degli altri soggetti.

Ciò costituisce un ulteriore fattore che conferisce ai L.N.G.S., un carattere di estrema unicità a livello internazionale.

Data la moltitudine di sistemi, dispositivi e impianti da controllare, è evidente che i laboratori necessitano, per poter essere gestiti nel migliore dei modi e in sicurezza, di utilizzare intensivamente tecnologie sempre più avanzate al fine di garantire una qualità dei servizi sempre più elevata ed efficiente.

In tal senso si sta analizzando la possibilità di realizzare una rete wireless, da installare all'interno dei laboratori, che possa assicurare la raggiungibilità di qualunque dispositivo interfacciabile, fisso o mobile, senza richiedere l'installazione di cavi che porterebbero comunque ad un aumento della complessità del sistema e ad una inevitabile diminuzione di affidabilità dello stesso nonché ad un aumento degli ingombri all'interno dei laboratori.

Tale rete wireless consentirebbe, in futuro, la realizzazione di nuove ed efficienti funzionalità, soprattutto in termini di sicurezza delle persone e dell'ambiente circostante.

3. FINALITA' DELL'ANALISI ELETTROMAGNETICA DEI LABORATORI

Al fine di verificare la possibilità di realizzare una rete wireless in un ambiente sotterraneo e complesso, quale quello dei L.N.G.S., è necessaria una analisi elettromagnetica preliminare dell'ambiente, al fine di acquisire tutti gli elementi necessari per una corretta ed efficiente progettazione e realizzazione della stessa.

Infatti una rete wireless, per poter operare correttamente, necessita di una serie di punti di accesso i quali, essendo caratterizzati da un livello di emissione estremamente ridotto, possono raggiungere una portata limitata (50-100 metri) all'interno della quale consentono l'accesso, alla rete fissa a cui sono connessi, dei dispositivi presenti.

La presenza di apparati sperimentali e dispositivi vari può inevitabilmente generare una certa quantità di disturbi elettromagnetici di fondo che, inevitabilmente, possono disturbare la rete wireless in termini di massima distanza raggiungibile e di velocità di trasmissione.

Di contro, la rete wireless non costituisce un rischio per le persone presenti o un disturbo per gli apparati sperimentali, data l'esigua potenza di emissione di ogni punto di accesso e le tecniche di modulazione utilizzate, entrambi certificati da numerosi ed autorevoli enti di certificazione internazionali se si utilizzano standard internazionali consolidati, quali IEEE 802.11X.

Inoltre, l'ambiente sotterraneo, per sua natura, porta ad un elevato assorbimento delle onde elettromagnetiche di cui è necessario tenere conto nella progettazione della rete.

Se non si effettuasse una verifica preliminare si correrebbero 2 rischi principali: sottodimensionare il numero di punti di accesso *Wi-Fi* installati o sovradimensionare tale numero. Il primo rischio si manifesterebbe se si fosse in presenza di un elevato disturbo di fondo (non individuato attraverso un'indagine preliminare) il quale ridurrebbe notevolmente la portata teorica dei punti di accesso considerata in fase di progetto, non garantendo una copertura integrale dei laboratori. Il secondo rischio si manifesterebbe, al contrario, se si riducesse la portata teorica di ogni punto di accesso rispetto a quella dichiarata al fine di tenere in considerazione possibili disturbi di fondo non valutati attraverso un'indagine preliminare: tale rischio comporterebbe un aumento ingiustificato e non indifferente nel numero di punti di accesso *Wi-Fi* installati e quindi un aumento del costo della rete stessa e ad una riduzione della sua affidabilità a seguito dell'eccessivo numero di componenti installati.

Per una progettazione ottimale di una rete wireless, in termini di una corretta distribuzione dei punti di accesso e di raggiungimento delle velocità richieste dai vari dispositivi presenti, è quindi necessario condurre un'analisi elettromagnetica sistematica e dettagliata.

4. L'ANALISI ELETTROMAGNETICA PRELIMINARE

4.1 Oggetto dell'indagine

L'indagine ha riguardato l'intero complesso sotterraneo dei laboratori ed in particolare quelle aree ove, a causa della presenza di particolari sorgenti, era prevedibile una intensificazione delle emissioni elettromagnetiche, senza comunque escludere la presenza di altre sorgenti di campi elettromagnetici. In tal senso l'analisi e le misure sono state condotte sia in alta frequenza (100 kHz – 3 GHz) che in bassa frequenza (5 Hz – 300 Hz), anche se quest'ultima non risulta comunque costituire una fonte rilevante di possibili disturbi per la rete wireless ma comunque di interesse ai fini protezionistici nei confronti delle persone presenti all'interno dei laboratori.

4.1.1 Sorgenti note

4.1.1.1 Sorgenti a frequenza industriale

Le sorgenti principali sono rappresentate dai trasformatori elettrici 20 kV – 0,4 kV di alimentazione dei laboratori e la sala quadri entrambe situate al primo piano degli edifici nella galleria servizi.

4.1.1.2 Sorgenti a radiofrequenza

La sorgente principale è rappresentata dall'impianto utilizzato per la comunicazione radio all'interno dei laboratori interrati. Tale impianto è composto da un ponte radio (localizzato al primo piano degli edifici nella galleria servizi e connesso fisicamente con i laboratori in superficie mediante un cavo telefonico) il cui segnale in radiofrequenza viene distribuito mediante un cavo fessurato. Le frequenze di trasmissione e ricezione sono rispettivamente 178,725 MHz e 163,325 MHz.

4.1.1.3 Sistemi di prossimità per il controllo accessi

Sono sistemi installati presso i varchi di ingresso e uscita che connettono la galleria TIR con le sale A, B e C. Essi operano con segnali a bassissima potenza nella banda tra 100 e 500 kHz.

4.2 Criteri di riferimento

Attualmente in Italia le leggi in vigore non forniscono criteri di riferimento per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori a radiazioni non ionizzanti mentre esistono due decreti del 2003 che fissano i limiti di esposizione, i valori di attenzione, e gli obiettivi di qualità per l'esposizione della popolazione. A livello europeo è stata recentemente emanata la Direttiva 2004/40/CE del 29/04/2004 riguardante "prescrizioni minime di sicurezza e salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)". La direttiva europea, in quanto tale, non è una legge dello stato italiano fino al recepimento nel nostro ordinamento (che dovrà avvenire al più entro il 30/04/2008) tuttavia ad oggi costituisce un riferimento fondamentale direttamente inerente la protezione dei lavoratori dalle NIR (Non Ionizing Radiation). Peraltro, nel rispetto dello spirito del D.Lgs. 626/94 ed in applicazione dei disposti di cui all'art. 4 comma 5 lettera b dello stesso, il datore di lavoro è tenuto all'obbligo di valutazione del rischio nei confronti di ogni possibile agente.

I criteri di riferimento per la valutazione della accettabilità dei campi elettromagnetici oggetto dell'indagine sono dunque proprio i valori di azione espressi dalla direttiva e qui di seguito riportati (i limiti di esposizione sono prescritti in termini delle grandezze dosimetriche).

FREQUENZA (f)	INTENSITA' DI CAMPO IMPERTURBATO		Densità di potenza (W/m ²)
	Campo elettrico (V/m)	Campo magnetico (A/m)	
Fino a 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	-
1 - 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	-
8 - 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	-
0,025 - 0,82 kHz	500/f	20/f	-
0,82 - 65 kHz	610	24,4	-
0,065 - 1 MHz	610	1,6/f	-
1 - 10 MHz	610/f	1,6/f	-
10 - 400 MHz	61	0,16	10
0,4 - 2 GHz	$3 \times f^{1/2}$	$0,008 \times f^{1/2}$	f/40
2 - 300 GHz	137	0,36	50

Tab.2 Valori di azione della Direttiva 2004/40/CE del 29/04/2004.

4.3 Metodologia d'indagine

Sono state condotte due indagini distinte: la prima nella gamma di frequenze compresa tra 5 Hz e 2 kHz e la seconda in quella tra 100 kHz e 3 GHz.

Si è utilizzata della strumentazione professionale in possesso di certificazione di calibrazione valida al momento della misura.

In particolare si è utilizzato per la bassa frequenza un Misuratore a banda larga PMM 8053 con sonda EP330S mentre per l'alta frequenza si è utilizzato un Misuratore a banda larga PMM 8053 con sonda EHP 50B, in grado anche di fornire informazione sullo spettro del segnale.

Si è eseguita un'analisi mirata ai dispositivi e impianti individuati prima della misura e un'analisi generalizzata estesa a tutti i laboratori al fine di ricercare eventuali sorgenti elettromagnetiche di emissione non individuate in fase preliminare.

4.3.1 Metodologia d'indagine per le frequenze tra 5 Hz e 20 kHz

Le misure sono state concentrate in prossimità delle sorgenti (trasformatori, cavi, quadri) e presso le postazioni di lavoro e le vie di transito ad esse più vicine. In questo modo si è inteso misurare le condizioni più sfavorevoli di esposizione. All'interno del locale presidiato e nella sala quadri sono inoltre state effettuate e registrate misure dell'andamento dell'intensità di campo magnetico nello spettro di frequenze considerato (riportate nella relativa figura).

4.3.2 Metodologia d'indagine per le frequenze tra 100 kHz e 3 GHz

Per l'indagine in questo spettro di frequenze, date le caratteristiche costruttive e funzionali dell'impianto emittente, oltre alla misura in prossimità del ponte radio si è ritenuto opportuno effettuare misure in tutti gli ambienti ove il cavo fessurato è installato. Queste misure sono state condotte sollecitando il cavo ad emettere (mediante l'attivazione di una radio portatile).

Sono inoltre state condotte delle misure in tutto il laboratorio al fine di valutare eventuali sorgenti non individuate in precedenza.

4.4 Risultati dell'indagine

Di seguito sono riportati i risultati più significativi delle misure effettuate.

Misure nello spettro di frequenza tra 5 Hz e 2 kHz			
Luogo della misura	Induzione magnetica (μT)	Intensità di campo elettrico (V/m)	Note
Stanza presidiata al di sotto della sala quadri	0,04	5	Fig.2-1
Sala quadri (30 cm dai cavi in tensione)	10	1	Fig.2-2
Trasformatore 1 (5 cm dalla grata)	50	0,2	
Corridoio c/o Trasformatore 1 (1 m dalla grata)	16	0,2	
Corridoio c/o Trasformatore 1 portato alla massima potenza (1 m dalla grata)	40	0,1	
Trasformatore 1 (5 cm dalla grata)	13	0,2	
Corridoio c/o Trasformatore 1 (1 m dalla grata)	7	0,2	
Corridoio antistante il laboratorio analisi acque	0,3	0,1	

Tab.3 Risultati delle misure in bassa frequenza

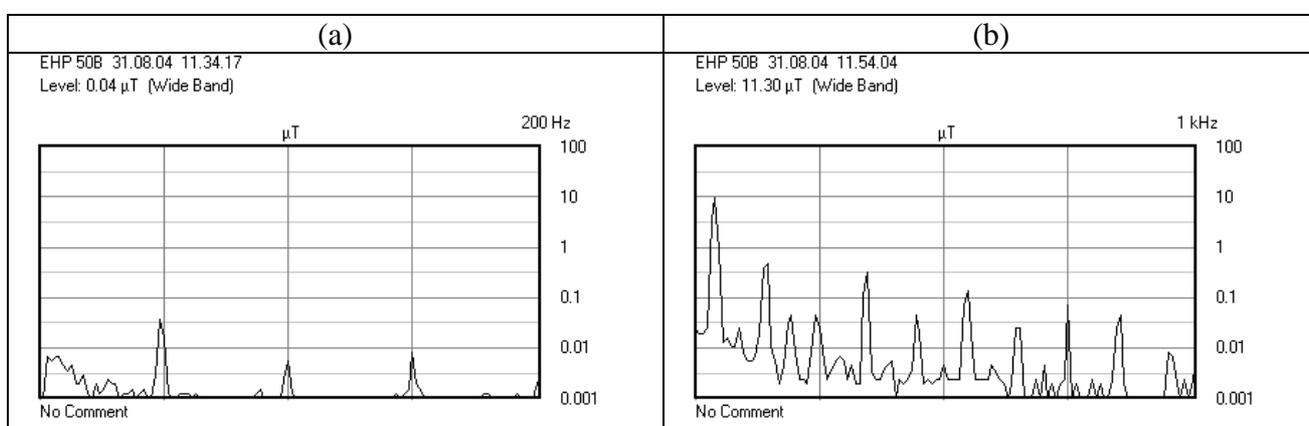


Fig.2 Risultati delle misure di campo magnetico, in funzione della frequenza, condotte all'interno del locale presidiato posto al di sotto della cabina di trasformatore (a) e immediatamente al di sotto del fascio di cavi di distribuzione dell'energia elettrica a valle dei quadri elettrici principali e all'interno del locale stesso (b).

Misure nello spettro di frequenza tra 100 kHz e 3 GHz		
Luogo della misura	Intensità di campo elettrico (V/m)	Note
Galleria auto	<0,3*	
Galleria servizi	<0,3*	
Galleria TIR	<0,3*	
Galleria interferometrica	<0,3*	
Galleria interferometrica (sotto le lampade fluorescenti)	4	
Sala A	<0,3*	
Sala B	<0,3*	
Sala C	<0,3*	
Letture TAG a radiofrequenza (a 1 m)	3	

*nota: in queste zone l'intensità di campo assume valori inferiori alla soglia di sensibilità dello strumento (circa 0,3 V/m).

Tab.4 Risultati delle misure in alta frequenza

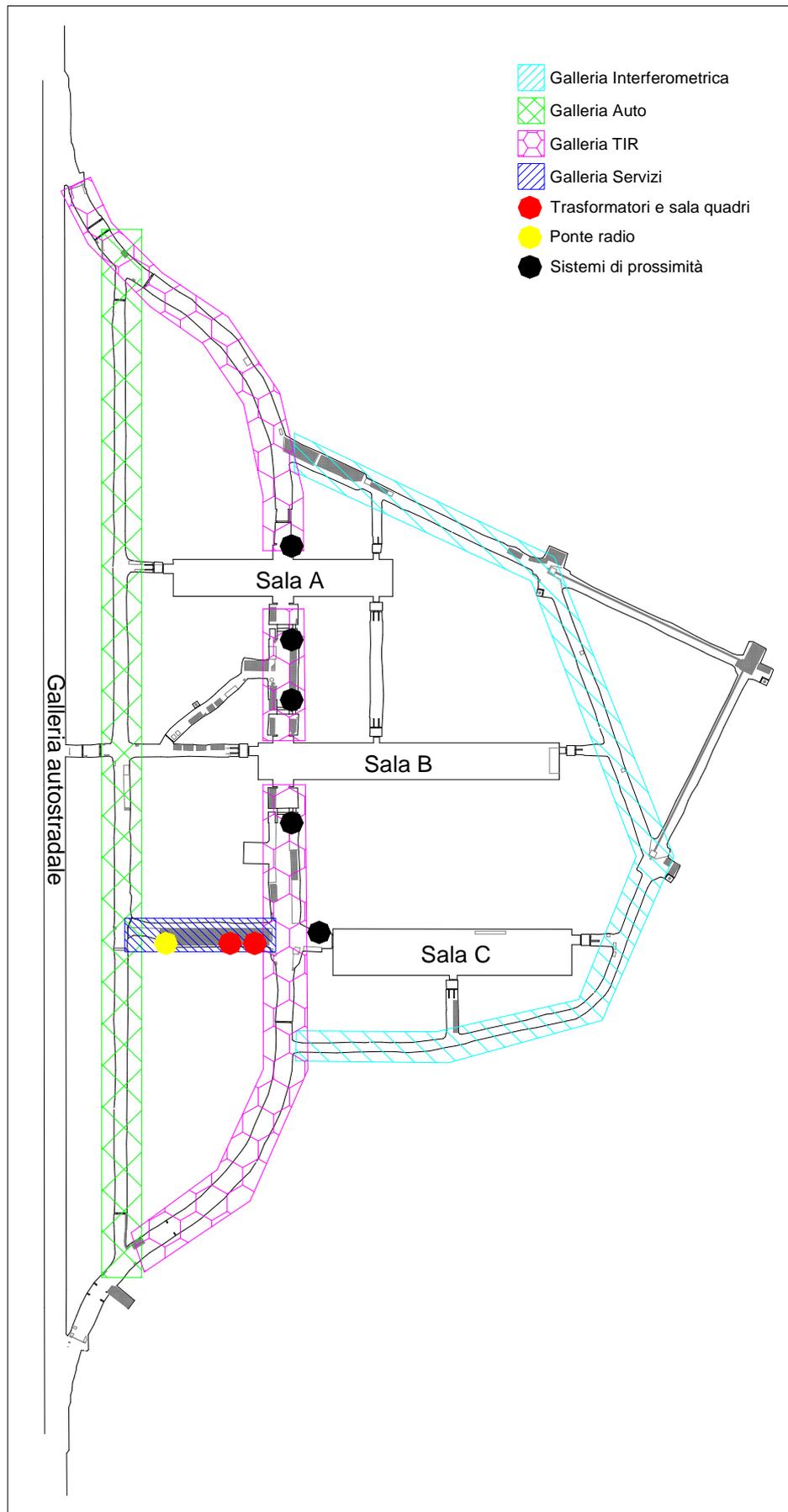


Fig.3 Pianta dei laboratori con evidenziazione delle zone specifiche e dei dispositivi che si sono dimostrati di particolare interesse per l'analisi e le misure in oggetto.

4.5 Conclusioni delle misure

I valori più significativi sono stati riscontrati nelle immediate vicinanze delle sorgenti, registrando in genere dei valori al di sotto della soglia di sensibilità della strumentazione nella maggior parte dei laboratori.

Non sono state individuate sorgenti significative al di fuori di quella già individuate in fase preliminare, ad eccezione delle lampade fluorescenti della galleria interferometrica che sono installate ad altezza relativamente ridotta rispetto alle altre installazioni dei laboratori. Le loro emissioni standard, peraltro nei limiti di legge, diminuiscono rapidamente all'aumentare della distanza da esse, come dimostrato dai valori di misura ottenuti immediatamente al di sotto delle stesse e nelle altre zone della galleria interferometrica.

Tutti i valori misurati sia in bassa frequenza che in alta frequenza rientrano all'interno dei limiti previsti dalla legislazione italiana per quanto riguarda la popolazione e dalla legislazione comunitaria (direttiva 2004/40/CE) per quanto riguarda i lavoratori e non rappresentano un fattore di disturbo significativo per l'operatività della futura rete wireless e nemmeno un fattore di rischio per le persone presenti.

4. CONCLUSIONI

La realizzazione di una rete wireless all'interno dei laboratori sotterranei di ricerca del Gran Sasso, in cui sono presenti vincoli progettuali non trascurabili a causa delle caratteristiche peculiari dei laboratori stessi, deve essere affrontata in maniera sistematicamente rigorosa, tenendo in considerazione tutti i fattori già presenti e non limitandosi alla sola progettazione avulsa dal contesto specifico.

Per tale motivo è stata condotta un'analisi elettromagnetica preliminare di tutti i laboratori, al fine di individuare eventuali criticità che potrebbero ridurre la funzionalità della rete stessa in termini di massima portata e massima velocità raggiungibile dai singoli punti di accesso.

L'analisi condotta non ha rivelato situazioni di particolare criticità, rilevando ovunque valori nella norma e permettendo di acquisire tutte le informazioni necessarie per una corretta progettazione e realizzazione di una rete wireless la quale permetterà di introdurre delle funzionalità estremamente avanzate in termini di sicurezza delle persone presenti e dell'ambiente circostante.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] F.Garzia, G.M.Veca, *L'inquinamento elettromagnetico: fondamenti tecnici e principi normativi*, Carocci Faber, Roma, 2002.
- [2] F.Garzia, *La sicurezza delle reti wireless: protezione e tecniche di progettazione ottimizzata*, Atti del convegno CNR "La progettazione innovativa: Spazi, ergonomia, emergenza e nuovi rischi - L'accessibilità e la fruibilità per ogni livello di abilità", Isola della Maddalena (Olbia), 2004.
- [3] *La protezione dai campi elettromagnetici in ambiente di lavoro*. A cura di Paolo Bevitori. Gruppo Editoriale Esse Libri Simone. Napoli, giugno 2004.
- [4] Randall K. Nichols, Panos C. Lekkas, *WIRELESS SECURITY – Model, Threats, and Solutions*, Mc Graw Hill Telecom, New York, 2003.
- [5] T.Bucciarelli, F.Garzia, G.M.Poscetti, *Sicurezza delle Telecomunicazioni*, Il Sole 24 Ore, Milano, in preparazione.
- [6] Hitchcock R.T., Patterson R.M., *Radio-Frequency and ELF Electromagnetic Energies: A Handbook for Health Professionals*, John Wiley & Sons, New York (USA), 1995
- [7] AA.VV., *ICNIRP, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*, Health Physics, Vol. 74, n. 4, pp. 494-522 (1998)
- [8] AA.VV., *CEI 211-5 (CEI ES 59005), Considerazioni per la valutazione dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici (EMF) derivanti da apparecchi di telecomunicazione mobile (MTE) nel campo di frequenza 30 MHz – 6 GHz*, CEI Comitato Elettrotecnico Italiano, Milano, 1999

- [9] AA.VV., *CEI 211-6, Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana*, CEI Comitato Elettrotecnico Italiano, Milano, 2001
- [10] AA.VV., *CEI 211-7, Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana*, CEI Comitato Elettrotecnico Italiano, Milano, 2001
- [11] Legge 22 febbraio 2001, n.36 - Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. (G.U. del 7 marzo 2001, n.55).
- [12] 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 a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz . (GU n. 199 del 28-8-2003).
- [13] 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).
- [14] Raccomandazione del Consiglio dell'unione Europea relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici con frequenza da 0 Hz a 300 GHz. G. U. Comunità Europee 30 luglio 1999, L 199/62.
- [15] Direttiva 2004/40/EC del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 29 Aprile 2004, sulle norme minime per la salute e sicurezza in relazione all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (diciottesima Direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16(1) della Direttiva 391/89/EEC). G.U. UE L184 del 24 maggio 2004.