

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



PROGETTO ESECUTIVO

**LINEA FERROVIARIA MILANO - NAPOLI
NODO DI FIRENZE - PENETRAZIONE URBANA LINEA AV**

PASSANTE AV

MONITORAGGI

Interferometria radar da terra per il monitoraggio delle vibrazioni e delle subsidenze lungo il percorso del sottoattraversamento AV a Firenze

Relazione di monitoraggio

SCALA -



Infrarail Firenze srl - IFR Firenze
sede legale: Via Circondaria, 32-34 - 50127 Firenze
PEC: infrarail.pec@legalmail.it
Codice fiscale e n. iscr. al Registro Imprese: 06956550484

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO	DISCIPLINA	PROGR.	REV.
NF1W	00	E	ZZ	RH	GN0330	003	A

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	DATA	VERIFICATO	DATA	APPROVATO	DATA
A	Emissione	Ing. Ziller	11/2020	Ing. Cucino	11/2020	Ing. Sorbello	11/2020

File NF1W.00.E.ZZ.RH.GN0330.003.A	n. Elab.:
-----------------------------------	-----------

SOMMARIO

1.	INTRODUZIONE.....	1
2.	SPECIFICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE RADAR INTERFEROMETRICA.....	3
3.	POTENZIALI SITI DI INSTALLAZIONE LUNGO IL TRACCIATO DEL SOTTOATTAVERSAMENTO AV	5
3.1.	PIAZZA LIBERTÀ.....	5
3.2.	LA FORTEZZA DA BASSO	9
4.	REQUISITI DELLE POSTAZIONI RADAR	11
5.	CARATTERISTICHE DELLE MISURE RADAR INTERFEROMETRICHE.....	12

1. INTRODUZIONE

La “Convenzione” stipulata il 28 maggio 2007 tra RFI S.p.A. e il Contraente Generale “Nodavia”, comprendeva, tra le varie prestazioni, anche la progettazione esecutiva e la realizzazione del Passante Ferroviario Alta Velocità del Nodo di Firenze e della Nuova Stazione Alta Velocità di Belfiore, opere ricadenti nel cosiddetto “Lotto 2”.

In data 25/02/2010, conclusesi le attività di verifica e l’iter autorizzativo da parte degli enti preposti, RFI ha approvato il progetto esecutivo del Lotto 2 e, in data 10/03/2010, ha consegnato i relativi lavori.

Tra gli anni 2010 e 2018 sono state realizzate soltanto alcune parti d’opera previste contrattualmente, in particolare:

- Nuova stazione AV di Belfiore: paratie a protezione dei manufatti intorno alla Stazione, diaframmi del Camerone, pali di fondazione, gli scavi di approfondimento e la realizzazione del primo solaio;
- Passante AV: pozzo avvio scavo meccanizzato, trincea di approccio, prima fase delle gallerie artificiali, aria di triage nord;
- Deposito Definitivo ex miniera di S. Barbara: terminal ferroviario di Bricchette, piazzole per la caratterizzazione del materiale proveniente dagli scavi, area logistica, viabilità di accesso alle piazzole;

Dal 2018 i lavori oggetto di convenzione risultano di fatto sospesi, in quanto l’Appaltatore ad aprile di tale anno ha presentato richiesta di concordato preventivo, successivamente accettata. Ciò ha portato, in data 27/05/2020, RFI e l’Appaltatore alla risoluzione della Convenzione anzidetta.

A seguito di questi eventi, RFI, al fine di riavviare al più presto i lavori di costruzione del c.d. “Lotto 2” e mettere in esercizio la linea AV, ha affidato alla propria società Infrarail Firenze (di seguito “IFR”) le attività necessarie a mettere a disposizione la documentazione progettuale da porre a base di appalto della sola esecuzione delle opere ancora da realizzare.

In ragione di questo affidamento, IFR ha, quindi, avviato le attività di revisione degli elaborati del progetto esecutivo già approvato, al fine di renderli coerenti con lo stato attuale delle opere già realizzate e le attività finora eseguite. Inoltre gli elaborati progettuali sono stati revisionati ed aggiornati, per le parti d’opera ancora da realizzare, in coerenza con le vigenti norme di riferimento e con il manuale di progettazione di RFI, ma, soprattutto, al fine di garantire l’interoperabilità delle linee transeuropee ai sensi della direttiva 2008/57/CE. Nel contempo sono state recepite le prescrizioni impartite in sede di approvazione del Progetto Esecutivo redatto dal Contraente Generale.

Si evidenzia che le attività di revisione progettuale sono state svolte nel rispetto degli indirizzi e delle autorizzazioni ottenute, pertanto sono stati inseriti, per completezza documentate, nella documentazione costituente il progetto esecutivo revisionato anche gli elaborati già approvati dagli enti competenti, con particolare riferimento all’Osservatorio Ambientale a suo tempo nominato, e che, come tali, sono stati di riferimento per la revisione ed aggiornamento delle soluzioni progettuali al fine di garantire la validità delle autorizzazioni già espresse.

La linea Alta Velocità Napoli – Milano, in corrispondenza della città di Firenze, presenta un tratto realizzato in galleria naturale che si snoda nel sottosuolo dell’area urbana a partire dalla zona della stazione di Rifredi fino alla futura stazione A.V. di Firenze (zona Macelli) e da questa fino alla zona della stazione di Campo di Marte, per uno sviluppo complessivo di circa 5000 m.

Tranne alcuni tratti a ridosso della nuova stazione A.V. l’opera prevista è costituita da una coppia di gallerie naturali a singolo binario poste generalmente ad un interasse di 19.3 m, con coperture variabili da 6 a 27 m. Si prevede l’impiego di scavo meccanizzato con fronte in pressione; il diametro di scavo è di 9.4 m.

Le interferenze con le strutture e le infrastrutture presenti in superficie richiedono una particolare e dettagliata operazione di monitoraggio allo scopo di verificare le previsioni di progetto ed evidenziare in tempo situazioni impreviste che potrebbero indurre danni e dissesti sui manufatti.

Nella presente relazione s'illustrano i criteri seguiti per la progettazione del sistema di monitoraggio esterno, per la parte realizzata con l'utilizzo dell'interferometria radar da terra.

L'Osservatorio Ambientale ha esplicitamente richiesto all'interno delle sue prescrizioni, di integrare il progetto del piano di monitoraggio con strumentazione radar interferometrica da terra, come riportato nel punto 7, pag. 9, sez. Prescrizioni:

“Oltre al monitoraggio sul costruito previsto dal progetto dovrà essere realizzato un monitoraggio con la tecnica dell'interferometria radar da terra funzionale all'analisi degli effetti delle vibrazioni e delle subsidenze sugli edifici ad alta valenza storico-architettonica lungo il percorso del sottoattraversamento ed in particolare sulle costruzioni presso Piazza della Libertà, sull'Arco Ginori, sulla Porta Muraria di P.zza Libertà e sulla Fortezza da Basso. Il monitoraggio dovrà essere effettuato con una cadenza di misurazione adatta a verificare con anticipo gli effetti dello scavo delle gallerie sui manufatti sopra menzionati. Per quanto riguarda la Fortezza il monitoraggio dovrà essere funzionale anche a verificare, in aggiunta agli altri sistemi previsti dal progetto, gli effetti combinati di scavo e compensation-grouting. Il progetto dovrà essere sottoposto all'Osservatorio prima della sua attuazione. I dati derivanti da tale sistema, oltre ad essere forniti all'Osservatorio, dovranno essere inseriti nel flusso di tutti gli altri dati di monitoraggio al fine di ampliare i dati disponibili di analisi e di consentire il confronto, laddove possibile, con gli altri sistemi di controllo.”

A fronte di tale osservazione è stata effettuata una prima valutazione delle caratteristiche tecniche della strumentazione radar interferometrica da terra necessaria per effettuare un monitoraggio che rispondesse alle specifiche riportate nelle prescrizioni (misura sia di subsidenze che di vibrazioni con restituzione di dati che possano essere inserite nel flusso degli altri dati forniti dai diversi sistemi di monitoraggio). Sono inoltre riportate le risultanze di un sopralluogo effettuato per identificare la migliore logistica per l'installazione di tali sistemi sui siti di valenza storico-architettonica menzionati nel documento dell'Osservatorio. In aggiunta, dato che non è stato possibile effettuare una valutazione esaustiva dei possibili siti di installazione in questa fase, ma è stata solo fatta una preliminare valutazione tecnica sulla base di quanto potuto rilevare durante il sopralluogo (si rimanda a questo ulteriore approfondimento in una fase successiva) vengono anche brevemente citate quelli che sono le dotazioni che ogni potenziale sito di installazione deve avere per poter consentire l'ottimale installazione di questa strumentazione.

2. SPECIFICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE RADAR INTERFEROMETRICA

Facendo riferimento allo scopo che il monitoraggio con tecniche radar interferometriche deve avere, come riportato dall'Osservatorio, e nello specifico alla necessità di monitorare i fenomeni di subsidenza e le vibrazioni potenzialmente indotte sugli edifici di valenza storico-architettonica presenti lungo il tracciato dagli scavi delle gallerie con una cadenza atta ad identificare in anticipo tali effetti, è possibile delineare i requisiti necessari per tale strumentazione e di conseguenza le specifiche tecniche minime che tale strumentazione dovrà possedere. In particolare, la strumentazione radar interferometrica dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- capacità di misurare spostamenti "statici" con accuratezza sub-millimetrica
- capacità di misurare vibrazioni con accuratezza sub-millimetrica
- capacità di acquisire in remoto, per lunghi periodi e con elevata frequenza di campionamento
- fruibilità dei dati di output per essere inseriti nel sistema di gestione di tutti i dati di monitoraggio (in un formato numerico leggibile da tale sistema)
- certificazioni di compatibilità elettromagnetica e di non interferenza con altri servizi (per essere impiegato in ambiente urbano)
- robustezza e capacità di essere installato all'aperto

Questi requisiti generali che si evincono dalla prescrizione dell'Osservatorio consentono di delineare alcune specifiche tecniche minime che dovrà possedere la strumentazione da utilizzare per questa attività che possono essere sinteticamente riportate come segue:

- Accuratezza di misura sub-millimetrica
- Possibilità di acquisire sia in modalità statica che dinamica (a seconda dei periodi di attività dei lavori di scavo).
- Elevata risoluzione spaziale (almeno 0.75 m in range)
- Frequenza di acquisizione misure fino a 200 Hz
- Marcatatura CE del sistema in accordo con Decisione Europea 2009/381
- Classificazione dell'apparato nella classe SRD (Short Range Device) per applicazioni di radio-determinazione ed operare nelle frequenze comprese tra 17.1 GHz e 17.3 GHz in modo che sia consentito il libero utilizzo senza causare interferenze ad altri servizi operanti nella stessa banda (vedasi Decisione Europea 2009/381, CEPT REC 7003 Annex 6, standard GBSAR)
- Sistema automatico in tempo reale per la stima e rimozione degli artefatti atmosferici per il monitoraggio statico delle subsidenze
- Possibilità di esportare i dati di output in diversi formati (grid di ArcView, dbf, ecc.) compatibili con il sistema di gestione dei dati di monitoraggio
- Sistema gestibile in remoto via GPRS, UMTS o connessione point-to-point wireless
- Capacità di acquisizione ed elaborazione dei dati in automatico per il monitoraggio in continuo e per utilizzo a scopo di early warning con generazione di allerte via sms o email in caso di superamento di soglie selezionabili dall'utente

- Sistema impermeabile e resistente alla polvere (almeno IP54) capace di essere installato all'aperto senza la necessità di una struttura protettiva
- Sistema dai ridotti ingombri e pesi per essere installato in ambiente urbano senza creare impedimento
- Sistema a basso consumo (assorbimento inferiore ai 100 W), eventualmente alimentabile con pannelli fotovoltaici

Di seguito vengono riportate a titolo di esempio le specifiche tecniche di un radar interferometrico da terra disponibile commercialmente. Tale del sistema, è utilizzabile contemporaneamente in configurazione L per i moti statici (misura della subsidenza) ed S per le acquisizioni in modalità dinamica (per la misura delle vibrazioni). Il sistema è basato sulla tecnologia radar interferometrica, con capacità SAR (nella configurazione L), capacità di monitoraggio dinamico (campionamento fino a 200 Hz) delle vibrazioni proprie delle strutture (nella configurazione S), è facilmente trasportabile, compatto e di pronta installazione.

Strumento	L	S
Frequenza radar di lavoro	17.1-17.3 GHz	17.1-17.3 GHz
Modulazione	SF-CW	SF-CW
Tipologia apparato	SRD	SRD
Capacità SAR	SI	-
Capacità interferometriche	SI	SI
Distanze di lavoro	[10 - 4000] m	[10 - 1000] m
Risoluzione spaziale	Range = 0.75 m Cross-range = 4.38mrad	Range = 0.75 m
Accuratezza di misura	Fino a 0.1 mm	Fino a 0.01 mm
Tempo di acquisizione	≥ 4 min	≥ 5msec
Tempo di installazione	~ 2 h	15÷30 min
Alimentazione	24 VDC o connessione 220 V	12-24 VDC o connessione 220V
Dimensioni	250 x 100 x 100 cm	50 x 100 x 40 cm
Peso	100 Kg	14 Kg
Assorbimento	70 W	40W
Marchatura CE	SI	SI

3. POTENZIALI SITI DI INSTALLAZIONE LUNGO IL TRACCIATO DEL SOTTOATTAVERSAMENTO AV

A seguito di un sopralluogo sono stati identificati i possibili siti di installazione per poter effettuare il monitoraggio degli edifici ad alta valenza storico-architettonica lungo il percorso del sottoattraversamento ed in particolare sulle costruzioni presso Piazza della Libertà, sull'Arco Ginori, sulla Porta Muraria di P.zza Libertà e sulla Fortezza da Basso

3.1. PIAZZA LIBERTÀ

Al fine di effettuare il monitoraggio con sistemi radar interferometrici da terra degli edifici più rilevanti ubicati in Piazza della Libertà sono stati identificati quattro possibili siti di installazione dai quali è possibile monitorare tre diversi edifici. Nelle figure riportate sotto è possibile identificare i siti di installazione ed i relativi edifici coperti da ogni sito.

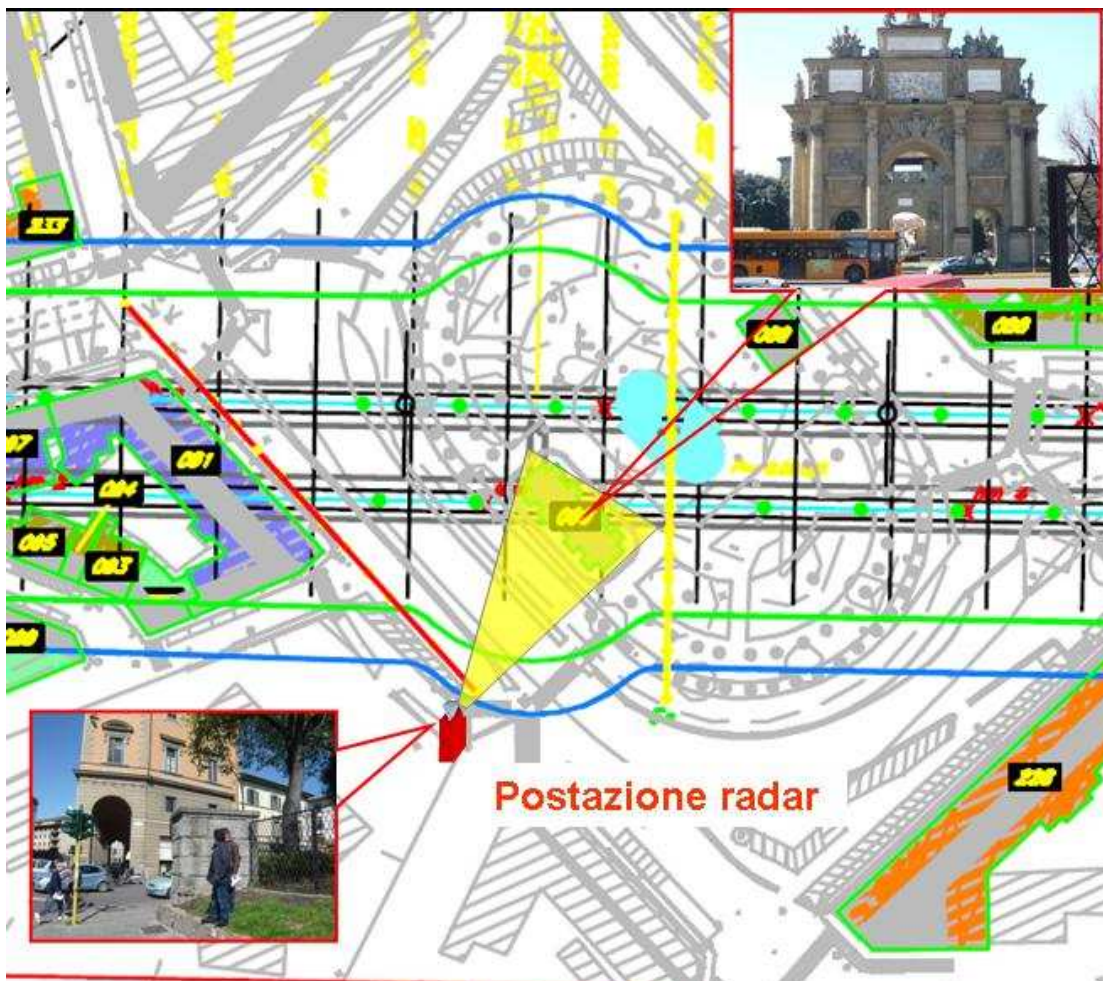


Fig.1: possibile postazione per l'installazione del radar per il monitoraggio dell'Arco Ginori in P.zza Libertà.

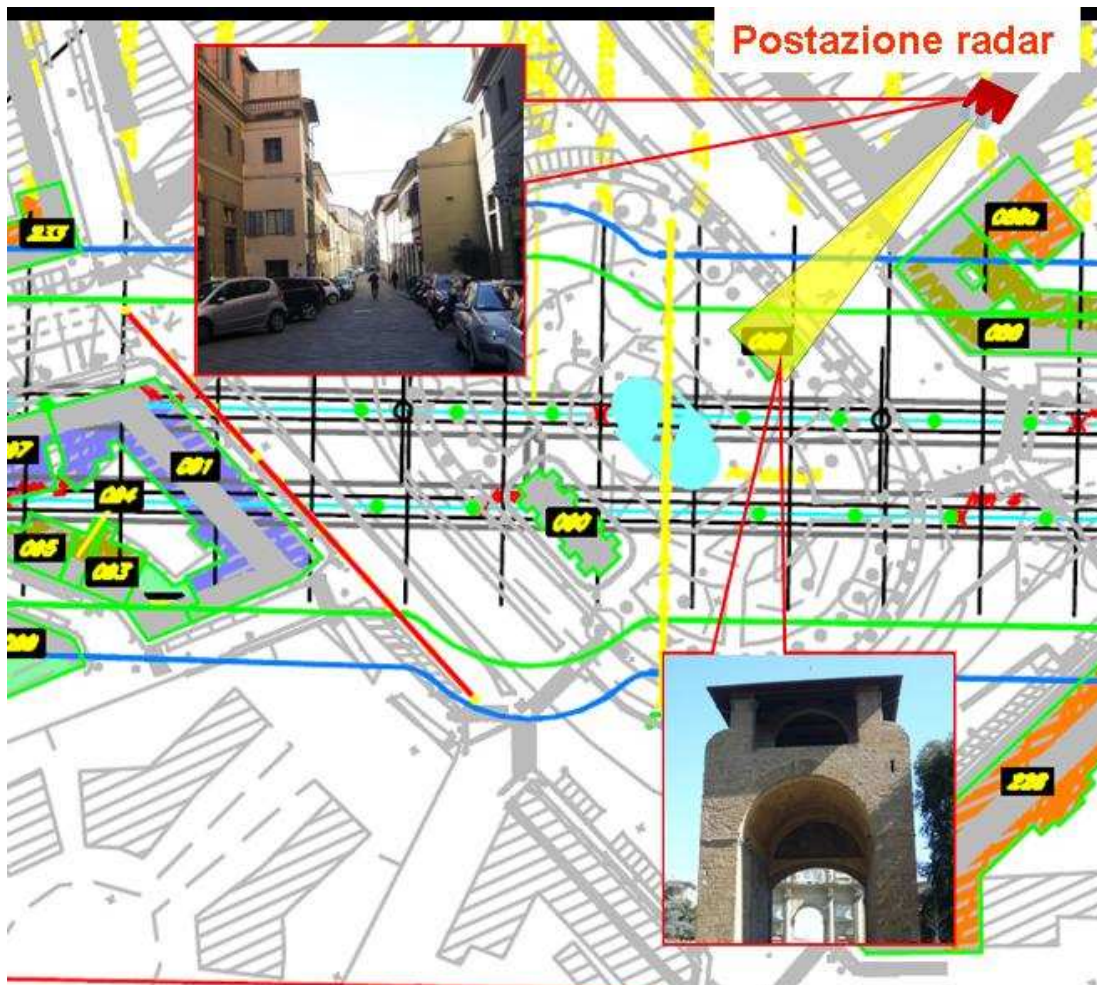


Fig.2: possibile postazione per l'installazione del radar per il monitoraggio della Porta Muraria in P.zza Libertà.

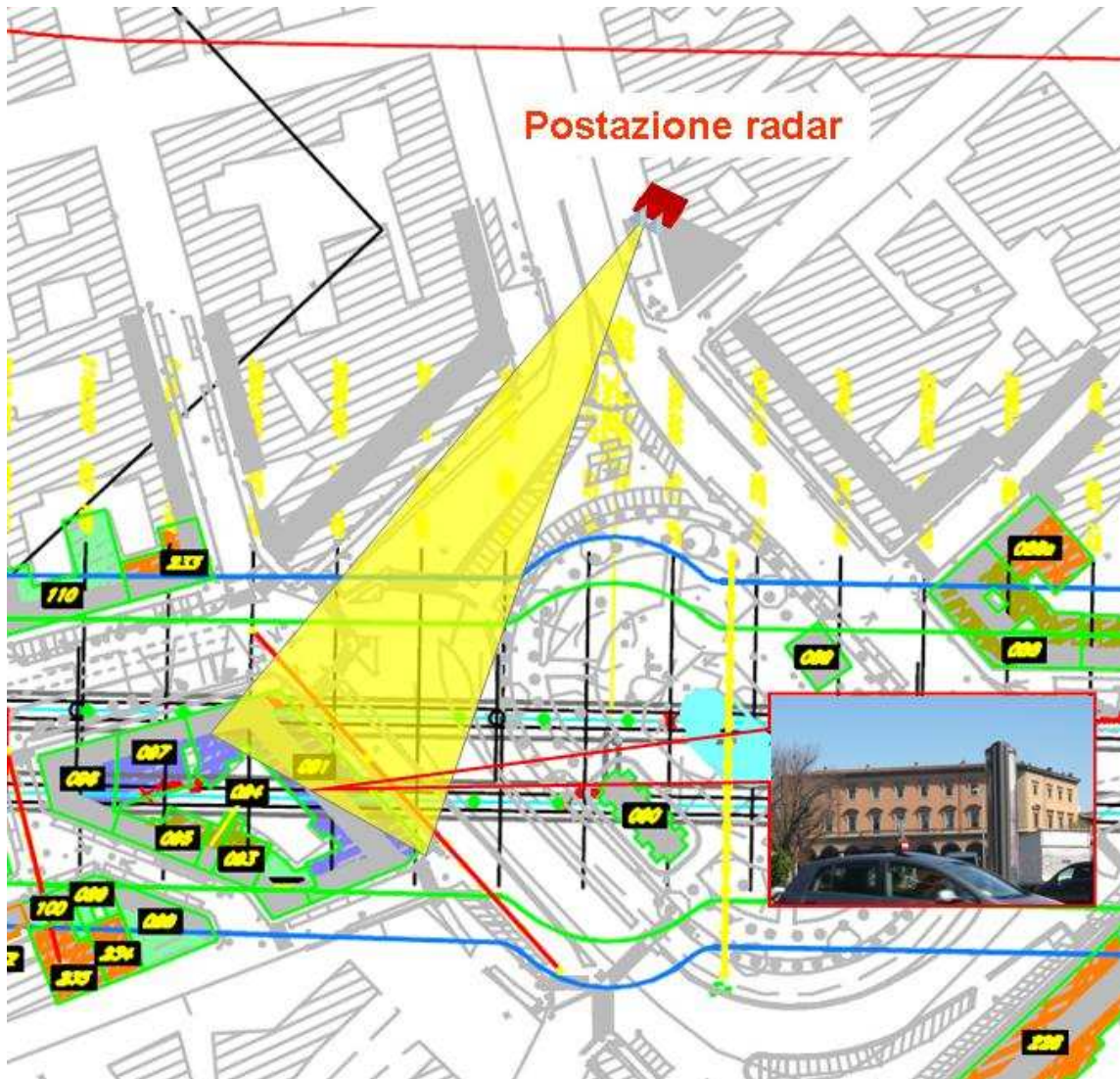


Fig.3: possibile postazione per l'installazione del radar per il monitoraggio del palazzo de La Fondiaria sul lato NE di P.zza Libertà.

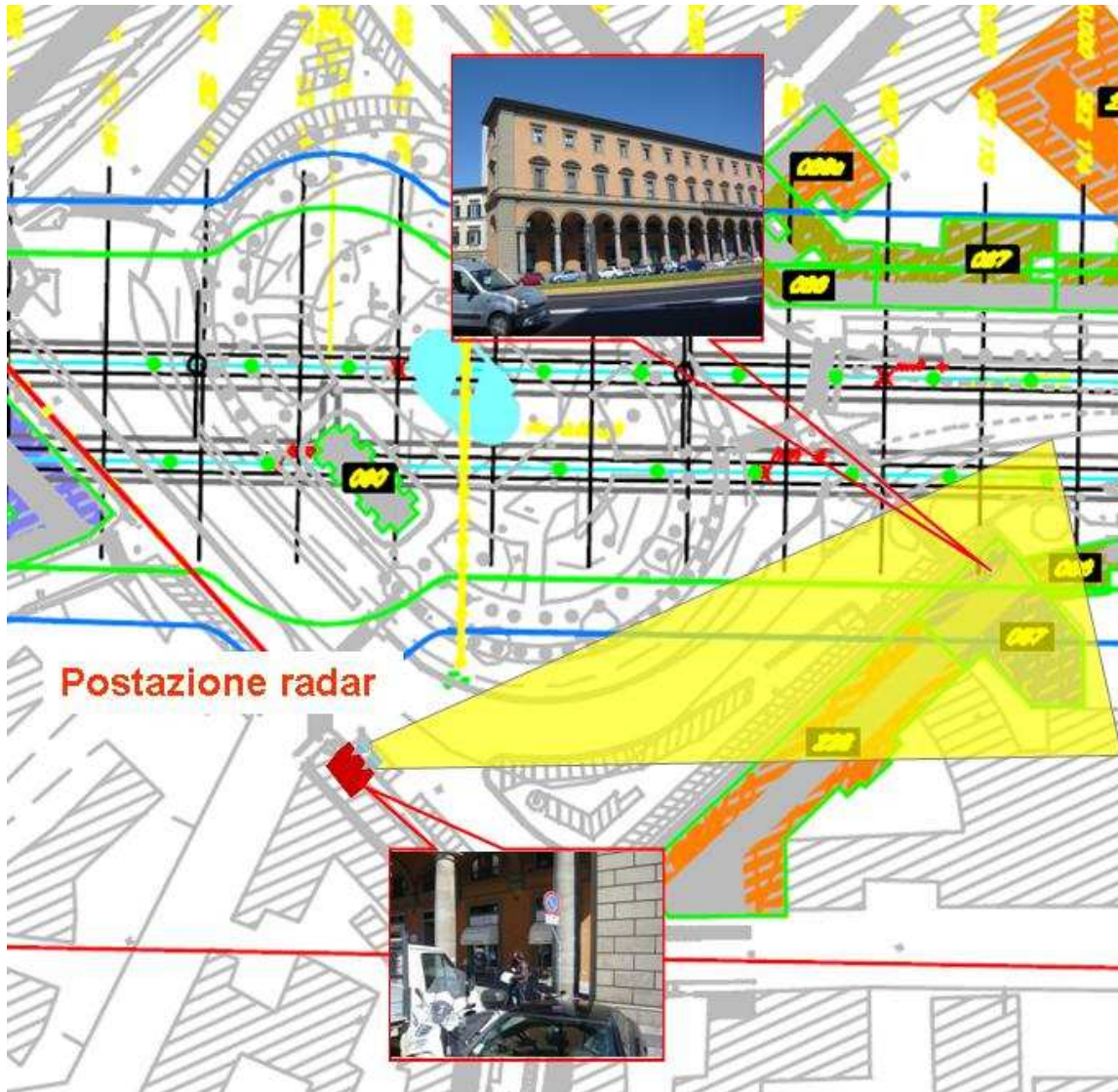


Fig.4: possibile postazione per l'installazione del radar per il monitoraggio del palazzo de La Fondiaria sul latoSW di P.zza Libertà.

3.2. LA FORTEZZA DA BASSO

Al fine di effettuare il monitoraggio con sistemi radar interferometrici da terra degli edifici più rilevanti ubicati nella zona della Fortezza sono stati identificati due possibili siti di installazione dai quali è possibile monitorare i due bastioni della Fortezza interessati dal tracciato dell'AV. Nella figure riportate sotto è possibile identificare i siti di installazione ed i relativi edifici coperti da ogni sito.



Fig.5: possibile postazione per l'installazione del radar per il monitoraggio bastione est della Fortezza.

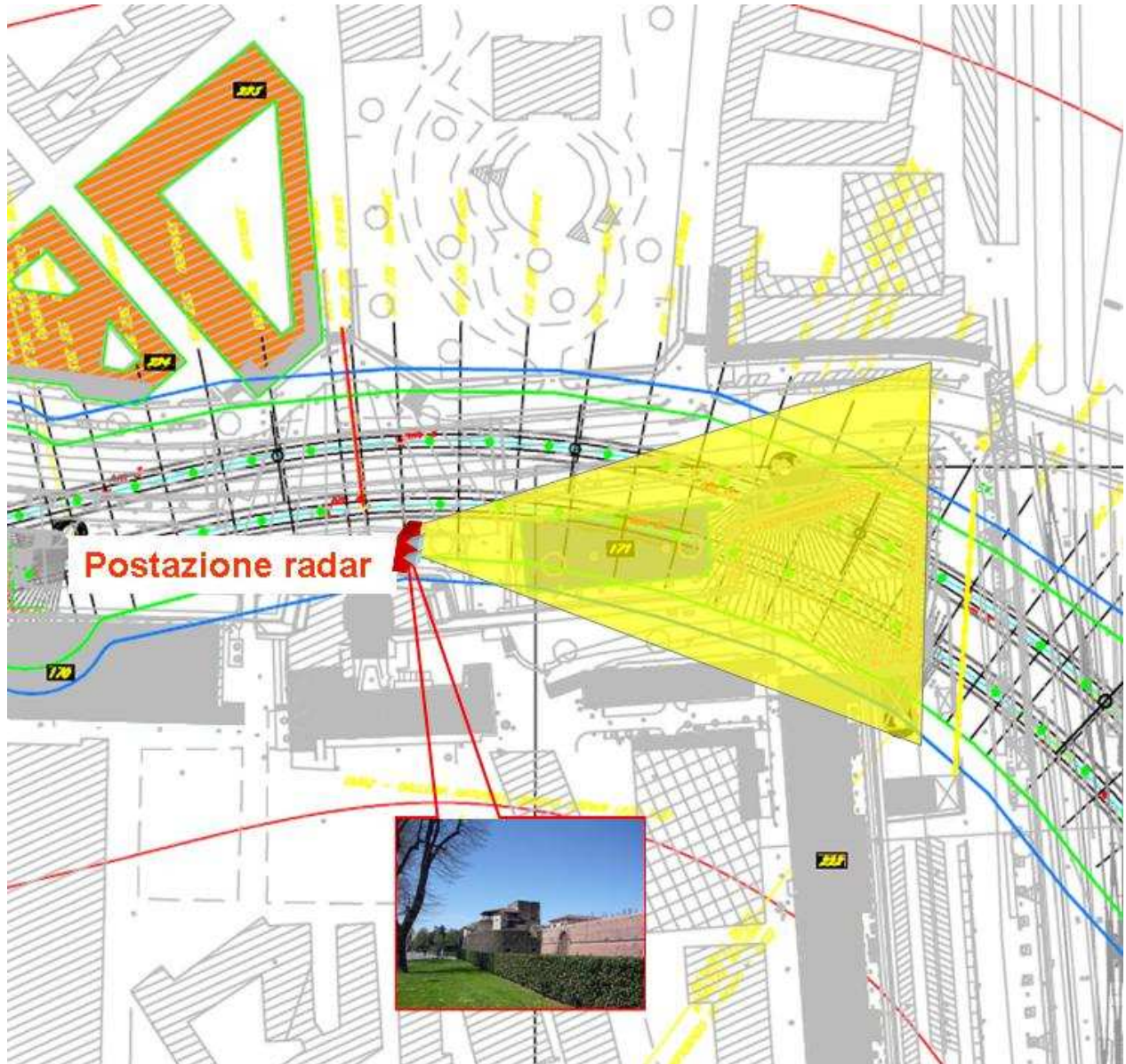


Fig.6: possibile postazione per l'installazione del radar per il monitoraggio bastione lato ferrovia della Fortezza.

4. REQUISITI DELLE POSTAZIONI RADAR

In funzione delle caratteristiche (ingombri, pesi, ecc.) dei sistemi radar interferometrici e delle caratteristiche della tecnologia sulla quale sono basati è necessario segnalare alcune caratteristiche importanti nella corretta identificazione di un sito di installazione e della relativa logistica necessaria affinché sia possibile l'installazione.

Dando per scontato che dai siti selezionati vi sia una buona visibilità dell'area da monitorare e che tra l'edificio oggetto del monitoraggio e la postazione del radar non si frappongano elementi di disturbo, quali ad esempio automezzi o persone in movimento, di seguito sono riportati i principali requisiti delle postazioni radar:

- **Dimensioni:** i sistemi radar interferometrici, nella loro configurazione SAR (Synthetic Aperture Radar), che consente la misura delle deformazioni lente (subsidenze) su una mappa di punti ad elevata risoluzione spaziale, sono dotati di un binario lineare, di dimensioni variabili tra 1 e 3 m a seconda della risoluzione spaziale in cross-range che si vuole ottenere. Risulta quindi necessario che i siti di installazione siano dotati almeno di uno spazio di lunghezza intorno ai 3 m e di larghezza intorno ai 1-2 m al fine di installare lo scanner lineare, il modulo di alimentazione ed il data logger.
- **Connessione alla rete elettrica:** benché i sistemi radar interferometrici da terra di ultima generazione abbiano assorbimenti ridotti (intorno ai 70-80 W), è buona norma prevedere la presenza della connessione alla rete elettrica (220V). Laddove questo non sia possibile è necessario pianificare l'installazione di pannelli fotovoltaici (almeno 3-4 da 130 W ciascuno per garantire il corretto funzionamento lungo tutto il corso dell'anno) ed eventualmente un generatore di back-up attivabile automaticamente in caso il livello delle batterie scenda sotto al livello minimo per garantire il funzionamento
- **Connessione ad internet:** al fine di garantire la trasmissione dei dati e la gestione remota della strumentazione è necessario pianificare per ogni sito di installazione dei radar interferometri da terra una connessione internet (UMTS, GPRS od eventualmente ethernet) o una connessione wire-less point to point che consenta di trasferire i dati fino al più vicino accesso internet in zona.

5. CARATTERISTICHE DELLE MISURE RADAR INTERFEROMETRICHE

I sistemi radar interferometrici possono fornire, a seconda della configurazione impiegata, due tipologie di misure:

1. mappe di spostamento
2. punti di misura

Le mappe di spostamento sono ottenute per le acquisizioni in modalità statica, mediante l'impiego di scansione SAR lungo il binario lineare. Per ogni pixel della mappa di spostamento è possibile poi ottenere il grafico spostamento-tempo per l'intera durata del monitoraggio. Le mappe di spostamento possono essere ottenute con una frequenza di campionamento massima dell'ordine di alcuni minuti (il tempo necessario per effettuare la scansione lungo il binario lineare). Le mappe possono essere fornite sotto forma di file raster numerici georeferenziati (come ad esempio i grid ASCII arcview) o come geotiff, mentre le serie temporali dei singoli pixel possono essere fornite come file di testo o file excel.

I singoli punti di misura vengono acquisiti nella modalità dinamica, per la misura delle vibrazioni della struttura oggetto di misura. In questo caso le frequenze massime di campionamento a distanze inferiori ai 100 m sono dell'ordine dei 200 Hz. Per questo motivo, data la grande mole di dati che si acquisiscono anche in brevi intervalli temporali in questa modalità di acquisizione, nel caso si voglia acquisire in continuo per periodi prolungati (giorni, settimane, mesi), è necessario pianificare una politica di gestione/back-up del dato in maniera tale da evitare di saturare in breve tempo le unità di storage installate di default su ogni sistema di misura (normalmente harddisk di 80-100 GByte).