



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

commissario straordinario
BRESCIA CAFFARO

STABILIMENTO CAFFARO BRESCIA

ANALISI STRUMENTALE A SUPPORTO DELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO BELLICO RESIDUO

Prepared for:

Commissario Straordinario Brescia Caffaro

Prepared by:

AECOM URS Italia S.p.a.
20143 - Via Giacomo Watt 27
Milano
Italia

T: +39 02 4225561
aecom.com

Revision History

Revision	Revision date	Details	Authorized	Name	Position
0	30/11/2018	Emissione	GL	GL	Project Director

Distribution List

Code Number	# Hard Copies	PDF Required	Association / Company Name
CIG 7590107271_MI_R4-REV-00	-	1	Commissario Straordinario Brescia Caffaro

© Novembre 30 2018 AECOM URS Italia S.p.a.. All Rights Reserved.

This document has been prepared by AECOM URS Italia S.p.a. ("AECOM") for sole use of our client (the "Client") in accordance with generally accepted consultancy principles, the budget for fees and the terms of reference agreed between AECOM and the Client. Any information provided by third parties and referred to herein has not been checked or verified by AECOM, unless otherwise expressly stated in the document. No third party may rely upon this document without the prior and express written agreement of AECOM.



AECOM URS Italia S.p.A. - Via Watt 27, 20143 Milano (MI)

ANALISI STRUMENTALE A SUPPORTO DELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO BELLICO RESIDUO

AREA: stabilimento "Caffaro Brescia srl" in Via Nullo in Comune di Brescia

• ANALISI STRUMENTALE GEOFISICA

GEOSIDE snc

TITOLO ELABORATO: RELAZIONE TECNICA					DATA: 06.11.2018
CODIFICA ELABORATO					
STR	0128	RTC	001	0	
EMITTENTE	NR. COMMESSA	TIPO ELABORATO	NR. PROGRESSIVO	REV.	
SERVIZIO TECNICO:					
 CONSORZIO S.T.E.R.N. via Marie Curie, 17 – 39100 Bolzano (BZ) e-mail: consorzio stern@gmail.com PEC: consorzio stern@pec.it p.IVA: 02945340210 numero REA: 218776		 VINCA srls / vGmbH Via Marie Curie, 17 – 39100 Bolzano (BZ)  GEOSIDE snc Via Busiagio, 106/2 - 35010 Campo San Martino (PD)  BORD srl via Longhin, 83 – 35129 Padova (PD)  ECOGAIA SRL Via Cantù 2B - 35010 Cadonoghe (PD)			
REV. N.	DATA	DESCRIZIONE	RED.	APPR.	
00	06.11.2018	PRIMA EMISSIONE	RRM/LF	RRM	



1 INDICE

1	INDICE.....	2
2	GENERALITA'	3
3	FINALITA'	4
4	INQUADRAMENTO NORMATIVO	5
	4.1 Legge N. 177/2012	5
	4.2 D.M. nr.82 del 11 maggio 2015 (Regolamento attuativo messa in sicurezza)	6
5	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	7
6	ANALISI STRUMENTALE	8
	6.1 METODOLOGIA DELLE OPERAZIONI DI RILIEVO ED ACQUISIZIONE DEI DATI.....	9
	6.2 METODOLOGIE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATE	10
	6.2.1 INDAGINI MAGNETOMETRICHE	10
	6.2.2 INDAGINI GEORADAR	16
	6.2.3 INDAGINI CON RADIOLOCALIZZATORE	20
	6.2.4 RILIEVO TOPOGRAFICO	21
	6.3 ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI.....	21
	6.3.1 DATI MAGNETICI	21
	6.3.2 DATI RADAR	22
	6.3.3 DATI TOPOGRAFICI	22
	6.4 RISULTATI	22
7	APPENDICE FOTOGRAFICA INDAGINE STRUMENTALE	25

2 GENERALITA'

Il consorzio **S.T.E.R.N.** è stato incaricato dalla Committenza – AECOM URS Italia S.p.A. - di eseguire una campagna di analisi strumentale a supporto della valutazione del rischio bellico residuo all'interno dello stabilimento "Caffaro Brescia srl" in Via Nullo in Comune di Brescia.

Le indagini si sono svolte in corrispondenza di piazzole di area 5m x 5m nell'intorno di 21 punti di futura realizzazione di sondaggi geognostici.

Titolare delle competenze professionali per la valutazione del rischio interferente è la società **V.INC.A. srls**, consorziata al citato consorzio, nella persona dello scrivente ing. Roberto Ricci Maccarini, mentre le indagini geofisiche sul campo sono state eseguite dalla società **GEOSIDE snc**, anch'essa consorziata.

Accertato in via preventiva che il territorio in esame non è stato estraneo ad eventi bellici, l'obiettivo della presente campagna di misure è quello di fornire alle persone preposte alla Valutazione del Rischio (CSP) uno strumento in grado di indagare la possibile presenza di anomalie dovute alla presenza di masse tipo riconducibili a potenziali ordigni bellici.

Le tecniche di prospezione geofisica valutate più efficaci e messe in atto per il caso specifico sono state:

- rilievo georadar a copertura totale con sistema GPR multicanale IDS STREAM X;
- rilievo gradiometrico a copertura totale con sistema Gem System GSM-19;
- rilievo topografico per la georeferenziazione delle misure geofisiche con strumentazione satellitare sistema GNSS Trimble R8S.

I risultati di tale indagine sono descritti nella presente relazione e riportati nelle tavole grafiche allegate alla presente.

Sono dunque parte integrante della presente relazione anche gli elaborati grafici:

- da **STR.0128.EGR.001** a **STR.0128.EGR.005**

Le prospezioni di campagna sono state eseguite nella giornata del 15 ottobre 2018.

3 FINALITA'

La presente specifica tecnica si pone l'obiettivo di eseguire una corretta valutazione preliminare del rischio bellico residuale ascrivibile all'area di progetto, al fine di permettere l'esecuzione dei lavori previsti in sicurezza e di determinare la necessità o meno di procedere in fase successiva con un intervento di messa in sicurezza convenzionale, definito da normativa tecnica vigente.

La compenetrazione tra i dati documentali [analisi storiografica], lo stato di fatto sovrapposto allo stato di progetto [analisi stato di fatto] ed i dati empirici raccolti su campo [analisi strumentale] permetterà la definizione di massima del grado di rischio bellico residuo dell'area progettuale. L'analisi storiografica è eseguita mediante raccolta dati ed informazioni storiche prodotte da archivi ufficiali, escludendo informazioni non preventivamente censite, relative per esempio a memorialistica soggettiva (diari, scritti postumi) prodotta da singoli combattenti non suffragate da bibliografia ufficiale.

L'analisi documentale deve essere eseguita mediante la raccolta, integrazione, armonizzazione e valutazione complessiva dei dati messi a disposizione dalla committente, in relazione ai diversificati interventi di antropizzazione che hanno interessato o modificato il piano campagna esistente del sito oggetto di monitoraggio di campo, nel corso del periodo post bellico. Di fatto per il sito in esame non sono state forniti dettagli sull'intervento previsto, e per tale motivo si è considerato di condurre l'analisi per l'intero spessore di sub-strato ritenuto potenzialmente a rischio. Come verrà più specificatamente descritto nel seguito, non essendoci state evidenti modifiche del piano campagna dagli eventi bellici ad oggi, tale spessore può cautelativamente ritenersi esaurito ad una profondità di 7.00 m dal p.c. odierno.

L'analisi strumentale eseguita sull'area progettuale, vista la tipologia di opere antropiche previste, con relativa incidenza sotto piano di campagna consegnato, è stata eseguita con esplorazione indiretta dal piano campagna attuale esistente con analisi geofisica magnetica, mediante prospezione gradiometrica differenziale e mediante georadar multicanale, in grado di rilevare eventuali anomalie magnetiche riconducibili a massa target fino anche ad una profondità di 10.0/11.0 m.

La successiva definizione di ulteriori eventuali interventi di antropizzazione in area progettuale resta unicamente ad arbitrio ed insindacabile giudizio del RUP [Responsabile Unico del Procedimento] e del CSP (Coordinatore della Sicurezza in fase di Progettazione) figura legislativamente direttamente preposta, ai sensi della Legge n. 177, emanata in data 1 ottobre 2012, oggetto di successivo decreto di attuazione interministeriale (D.M. 82/2015).

In tale sede si è proceduto alla sola analisi strumentale, dato per accertata, quindi, una rilevanza degli eventi bellici che possono aver interessato l'area, non oggetto della presente relazione.

4 INQUADRAMENTO NORMATIVO

Le fonti del diritto in materia di valutazione del rischio bellico residuo sono le seguenti:

- Testo Unico Sicurezza [D. Lgs 81/2008];
- Legge N. 177 del 01 ottobre 2012;
- D.M. nr. 82 del 11 maggio 2015;
- Parere Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali in data 29/12/2015;
- Decreto Legislativo 81/2008 (Testo Unico Sicurezza.)
- Linee guida per la VRB del C.N.I. del 26.05.2017

L'obbligo legislativo associato a una responsabilità diretta vige a carico dell'ente proprietario o concessionario di un'area di pubblico godimento e consiste nella corretta ed esaustiva valutazione del rischio bellico residuale. La scelta progettuale finale sulla tipologia di attività o procedura definita, con la relativa assunzione di responsabilità, spetta unicamente alle figure responsabili preposte in nome e per conto dell'ente proprietario o concessionario delle aree oggetto di successiva antropizzazione [CSP / CSE].

4.1 Legge N. 177/2012

In data 1 ottobre 2012 è stata approvata la Legge nr. 177 dal titolo "*Modifiche ed integrazioni del D.Lgs 81/2008 in materia di ordigni residuati bellici*" rinvenibili sul territorio nazionale. Il testo integrale è disponibile su G.U. nr. 244 del 18/10/2012. In sintesi il testo prevede le seguenti modifiche:

- a) Obbligo diretto a carico del C. S. P. (Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione) di eseguire la valutazione preliminare del rischio bellico residuale di un'area progettuale;
- b) Previsione del C. S. P., in caso di rischio residuo, di una messa in sicurezza convenzionale;
- c) Esclusiva competenza del Ministero Difesa in materia di procedure di messa in sicurezza;
- d) Predisposizione a cura del Ministero della Difesa di un sistema di qualificazione per imprese specializzate in bonifica bellica (in sostituzione dell'ex Albo A. F. A., soppresso in precedenza) dalla data della pubblicazione del decreto del Ministro della Difesa, di cui al comma due.

4.2 D.M. nr.82 del 11 maggio 2015 (Regolamento attuativo messa in sicurezza)

In data 26 giugno 2015 è stato pubblicato in Gazzetta Ufficiale nr. 146 il decreto attuativo interministeriale (Decreto Ministero della Difesa, Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali, nr. 82), emanato in data 11 maggio 2015, che produce i seguenti effetti giuridici:

- a) Conferisce piena efficacia giuridica alla Legge n 177/2012 (emendamento TUS – DLGS 81/2008) in materia di valutazione rischio bellico:
- b) Riorganizza integralmente il settore della messa in sicurezza (bonifica bellica preventiva e sistematica).

La piena efficacia di diritto attribuita alla Legge n 177/2012, modifiche ed integrazioni al T.U.S. in materia di Valutazione Rischio Bellico (V.R.B.) comporta a carico delle figure normative preposte (RUP/CSP) l'obbligo di procedere in sede preliminare così:

- ✓ *Valutare i rischi derivanti da possibile rinvenimento di ordigni bellici inesplosi nei cantieri temporanei o mobili (art 28 mod), interessati da attività di scavo, Art. 89 - com 1-a»;*
- ✓ *Prevedere, in presenza di rischio residuo non accettabile, la successiva attività di messa in sicurezza convenzionale (art 91 – comma 2).*
- ✓ *Inserire nel P.S.C. evidenza (specifico riferimento) alla valutazione dei rischi derivanti dal possibile rinvenimento di ordigni (art 100 comma 1).*
- ✓ *Verificare il possesso requisiti impresa certificata - accreditata, in nuovo albo da istituire presso il Ministero Difesa (art 104 – comma 4 bis).*
- ✓ *Inserire in elenco lavori che espongono i lavoratori a rischio di esplosione derivante dall'innescio accidentale di ordigno inesplosivo rinvenuto nelle attività di scavo (allegato I.)*
- ✓ *Inserire in fase analisi rischi aggiuntivi al rischio di esplosione derivante dall'innescio accidentale di un ordigno bellico inesplosivo rinvenuto nelle attività di scavo (allegato XII).*
- ✓ *In caso di livello di rischio inaccettabile, inserire ai sensi dell'art 25 del DLgs 81/2008 un costo per la messa in sicurezza convenzionale (bonifica bellica), negli oneri sicurezza non soggetti a ribasso (interpretazione giuridica prevalente).*

La valutazione del rischio bellico fornirà al Coordinatore della Sicurezza dell'opera gli strumenti necessari per definire il livello di rischio, secondo due tipologie standard:

- a) Livello di rischio accettabile per l'area oggetto di monitoraggio, nell'ipotesi in cui il rilievo geofisico non documenti la presenza di anomalie di cui a massa tipo a potenziale rischio bellico residuo; in tal caso non necessita un iter procedurale di messa in sicurezza convenzionale;
- b) Livello di rischio non accettabile, nell'ipotesi in cui il rilievo geofisico documenti la presenza di anomalie di campo magnetico di cui a massa tipo ascrivibile a rischio bellico residuo.

L'eventuale successiva messa in sicurezza convenzionale (BOB - *bonifica da ordigni bellici*), disciplinata ai sensi del D.Lgs 66/2010 e s.m.i. (D.Lgs 20/2012 – D.M. 82/2015), sarà eseguita secondo il “parere vincolante” dell’ente preposto, emanato a seguito attivazione di idoneo iter procedurale presso l’organo tecnico ministeriale competente (Ministero Difesa – 5° Reparto Infrastrutture – Ufficio BCM Padova).

5 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le aree oggetto della presente campagna di misure geofisiche sono ubicate all’interno dello stabilimento Caffaro Brescia srl nel Comune di Brescia (BS).

Le indagini si sono svolte in corrispondenza di piazzole di area 5m x 5m nell’intorno di 21 punti di futura realizzazione di sondaggi geognostici.

L’obiettivo delle indagini era individuazione della posizione più idonea all’esecuzione dei carotaggi mediante mappatura di strutture sepolte/sottoservizi ed l’individuazione di eventuali oggetti metallici di interesse ai fini della VRB.

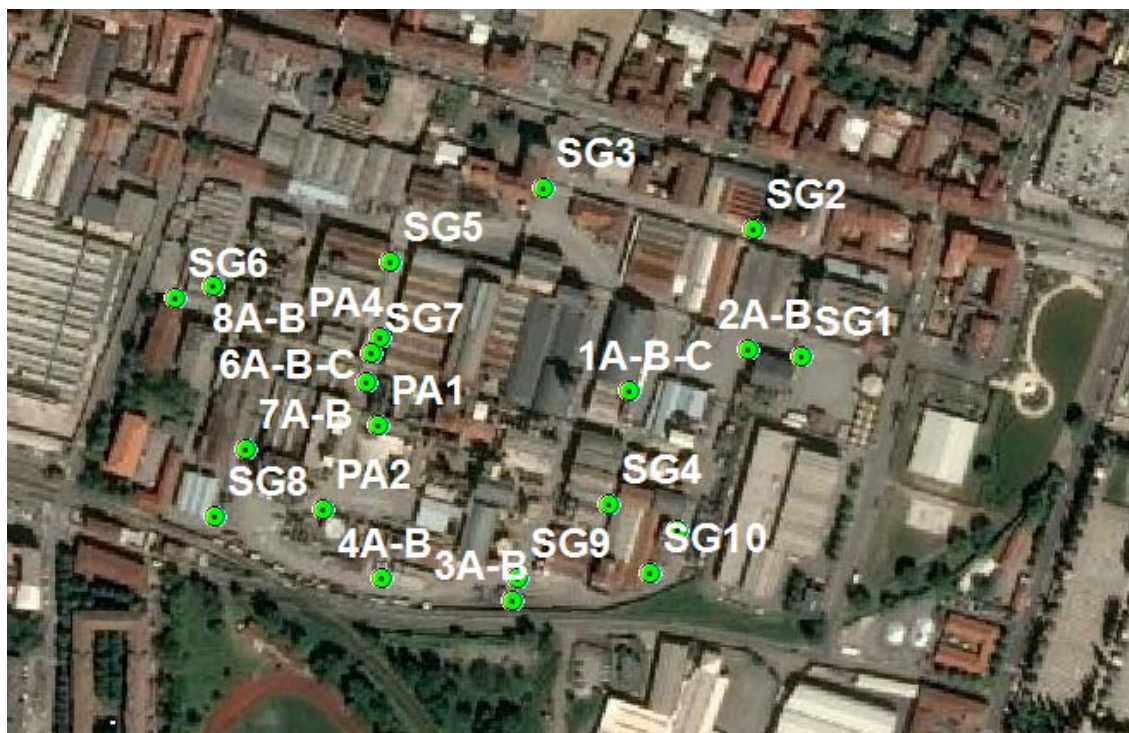


Immagine 1 - Immagine satellitare dell’area in esame con ubicazione dei punti di indagine

6 ANALISI STRUMENTALE

La geofisica applicata rappresenta una forma avanzata di prospezione non invasiva del sottosuolo, capace di fornire modelli dettagliati e attendibili della geometria e delle caratteristiche fisico meccaniche di grandi volumi di rocce e terre attraverso indagini principali geoelettriche, radar, magnetiche, elettromagnetiche.

Il rilievo geofisico indiretto è considerato da sempre strumento fondamentale sia nelle fasi preliminari che esecutive di piccole e grandi opere di ingegneria, nella realizzazione di strutture industriali e nelle infrastrutture stradali e ferroviarie, nel campo dell'idrogeologia, della prospezione di risorse minerarie. Gli sviluppi normativi recenti hanno esteso l'ambito di applicazione geofisico anche al campo della valutazione dei principali rischi interferenze riferibili al contesto del "cantiere", quali analisi del rischio ambientale, archeologico e bellico residuo.

La tipologia di prospezione o la combinazione di prospezioni ottimali è funzione diretta dello stato di fatto del sito oggetto di analisi; maggior livello di antropizzazione esistente comporta la necessità di applicare diverse metodologie combinate di analisi indirette, al fine di massimizzare i dati rinvenibili su campo ed elaborabili con software applicativi a tavolino.

Questo rapporto tecnico si fonda sull'applicazione di conoscenze e di leggi scientifiche riconosciute ma anche di calcoli e di valutazioni professionali circa eventi o fenomeni suscettibili di interpretazione.

Le stime e le considerazioni ivi espresse sono basate su informazioni acquisite o comunque disponibili al momento dell'indagine e sono strettamente condizionate dai limiti imposti dalla tipologia e dalla consistenza dei dati utilizzabili, dalle risorse fruibili per il caso di specie, nonché dal programma di lavoro concordato con il Cliente.

E' importante ricordare che le procedure di misura impiegate per l'indagine geofisica si basano su tecniche di esplorazione indiretta che, nonostante siano utilizzate allo stato dell'arte sia delle conoscenze scientifiche che degli avanzamenti tecnologici, hanno una serie di limitazioni intrinseche. L'indagine geofisica non può, infatti, sostituire integralmente l'esplorazione diretta anche se ne rappresenta un indispensabile complemento per colmare le lacune informative e per garantire un'univoca correlazione dei principali elementi strutturali presenti nel sottosuolo.

Questo rapporto si basa inoltre sulla conoscenza professionale degli attuali standard e codici, tecnologia e legislazione dell'Unione Europea. Modifiche e aggiornamenti di quanto sopra citato potrebbero rendere inappropriate o scorrette le conclusioni, le raccomandazioni e le indicazioni stilate nel testo.

Le conclusioni ed i suggerimenti operativi contenuti nel presente rapporto vanno intesi come proposte di intervento e non come azioni vincolanti, salvo ciò non sia specificatamente indicato.

La scrivente non intende, inoltre, fornire alcuna garanzia, espressa o implicita, utilizzabile per qualsiasi finalità, relativa allo stato di qualità ambientale di settori di proprietà non indagati e, più in generale, al valore commerciale del sito in argomento.

Si tiene a precisare, infine, che le valutazioni contenute in questo rapporto sono state elaborate da tecnici e pertanto rivestono un carattere esclusivamente tecnico, non costituendo in alcun modo parere legale.

Gli Autori rispondono unicamente al Committente circa la corrispondenza del rapporto emesso, in ordine agli obiettivi delle ricerche definite nell'ambito dell'incarico, e non possono farsi carico di responsabilità per danni, rivendicazioni, perdite, azioni o spese, qualora subite anche da terzi, come risultato di decisioni prese o azioni condotte e basate sul rapporto stesso.

6.1 METODOLOGIA DELLE OPERAZIONI DI RILIEVO ED ACQUISIZIONE DEI DATI

Come anticipato nei paragrafi precedenti lo scopo del rilievo gradiometrico e georadar multicanale era l'individuazione e la mappatura dei sottoservizi, la mappatura di strutture sepolte e l'individuazione di eventuali oggetti metallici di dimensioni rilevanti nel primo sottosuolo dell'area di indagine al fine di fornire informazioni geofisiche di supporto alla VRB (Valutazione del Rischio Bellico).

Le indagini si sono svolte in corrispondenza di 21 piazzole di area 5m x 5m nell'intorno dei punti di futura realizzazione di sondaggi geognostici. Il fine delle indagini era quello di valutare la posizione più idonea all'esecuzione dei carotaggi.

A tal fine, si è optato per l'utilizzo dei seguenti sistemi geofisici:

- Georadar multicanale IDS stream X che ha consentito un rilievo di dettaglio per tutte le aree accessibili all'interno dei settori concordati con la committenza. Al fine di individuare eventuali target presenti in corrispondenza di ogni punto di indagine si è provveduto ad effettuare più scansioni radar georeferenziate in real time mediante un sistema GNSS fino ad ottenere la completa mappatura delle aree di indagine.
- Magnetometro GEM GSM – 19 Overhauser, con il quale è stato eseguito un rilievo gradiometrico per tutte le aree accessibili all'interno dei settori concordati con la committenza.

Per l'ubicazione delle aree indagate si rimanda alle tavole allegate alla presente.

Per la descrizione delle caratteristiche degli strumenti e delle metodologie d'indagini adottate si rimanda ai paragrafi successivi.

6.2 METODOLOGIE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATE

6.2.1 INDAGINI MAGNETOMETRICHE

I magnetometri sono strumenti ampiamente utilizzati per misurare il campo magnetico terrestre. I campi magnetici sono quantità vettoriali caratterizzati da intensità e direzione. L'intensità di un campo magnetico è misurata in unità Tesla nel SI. Le misurazioni del campo magnetico terrestre vengono misurate in nanoTesla ($nT=10^{-9}$ Tesla), anche chiamato "gamma".

Le sorgenti magnetiche interne alla Terra sono costituite da una componente proveniente dal Nucleo Interno (Campo Principale) ed una dai materiali che costituiscono la Crosta Terrestre (Campo Crostale); il Mantello non contiene sorgenti che contribuiscono al Campo Magnetico Terrestre (CMT).

Esistono inoltre variazioni giornaliere (Campo Esterno) dovute alle esplosioni della corona solare, sunspots, ed a perturbazioni della ionosfera, tempeste magnetiche, che possono produrre anche rapide ed intense variazioni.

Il campo magnetico terrestre può variare da 20.000 a 80.000 nT seconda della posizione; il CMT alle nostre latitudini ha un'intensità di circa 46000 nT, un'inclinazione (I) di circa 60° e una declinazione magnetica (D) di circa $0^\circ 05'$. Le fluttuazioni del campo magnetico terrestre sono dell'ordine di 100 nT, e le variazioni di campo magnetico dovute ad anomalie magnetiche possono essere nell'intervallo del picotesla (pT).

Nell'ambito delle indagini geofisiche, le misure magnetometriche trovano impiego nell'individuazione di anomalie magnetiche di vario tipo: dall'individuazione di strutture geologiche a scala regionale e nell'esplorazione mineraria alla localizzazione di tubazioni, di siti archeologici, di materiali metallici e di discontinuità sepolte nella prospezione ambientale. Le variazioni di campo magnetico che si registrano in ricerche di tipo ambientale e/o archeologico vanno da 1 a qualche centinaia di nanotesla per piccole localizzazioni a diverse profondità. Accumuli importanti di oggetti metallici sepolti possono creare anomalie da 100 a 1.000 nanotesla e oltre.

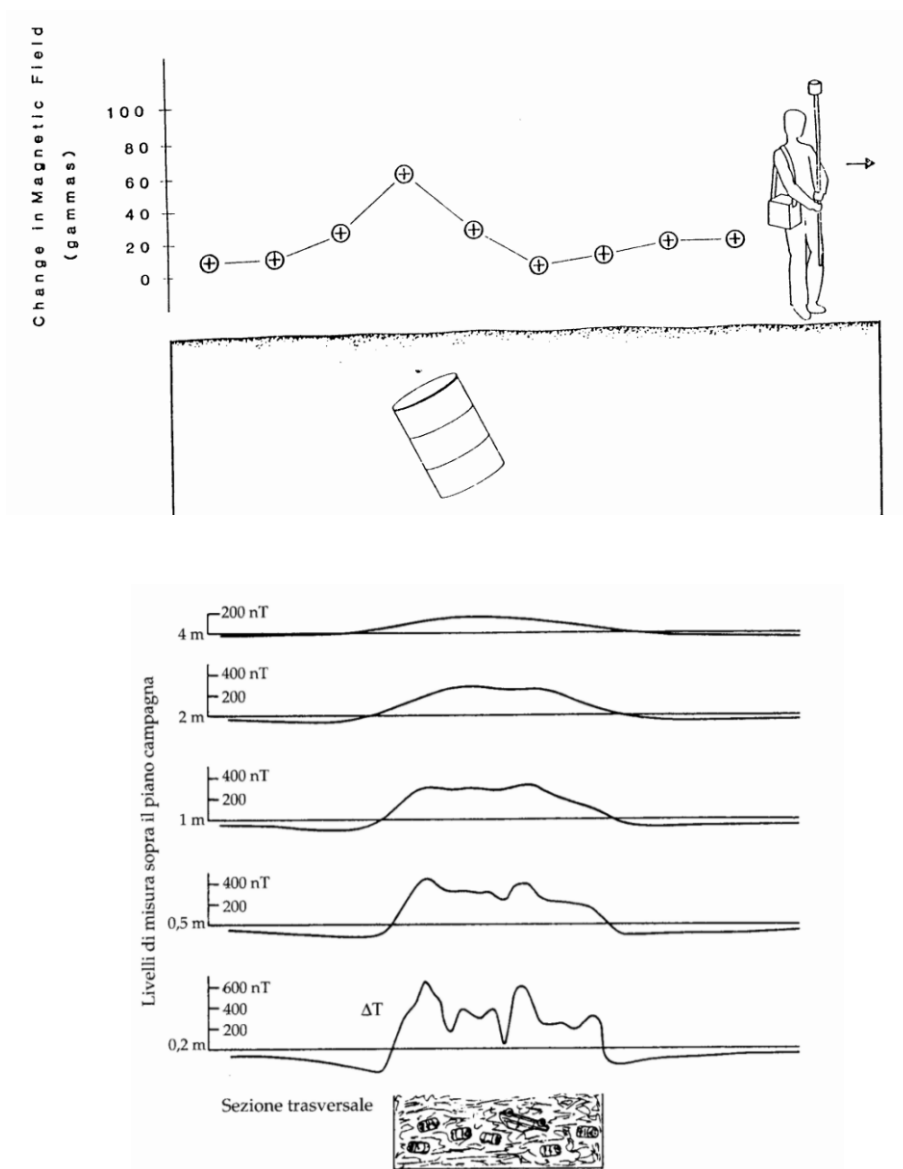


Immagine 2 - Schematizzazione del rilievo e dei dati magnetometrici

Le misure magnetometriche presentano alcuni limiti:

- sono limitate esclusivamente all'individuazione di materiali ferrosi (ferromagnetici); metalli non-ferromagnetici, quali l'alluminio, il rame e lo stagno, non inducono anomalie del campo magnetico;

- parecchi fattori influenzano la risposta di un magnetometro, in particolare la massa e la profondità, nonché l'interferenza con tubazioni, recinzioni o altri oggetti in ferro eventualmente presenti nell'area;
- materiali dotati di magnetizzazione residua possono innalzare o diminuire la risposta totale dell'oggetto al campo magnetico terrestre che risulta di difficile interpretazione. Inoltre, anche la forma e l'orientazione dell'oggetto metallico influenzano l'intensità e la forma dell'anomalia risultante.
- L'interpretazione delle misure risulta molto spesso esclusivamente di tipo semi quantitativo, consentendo di determinare l'ubicazione e l'estensione di eventuali oggetti in ferro, senza però fornire indicazioni sulla quantità e profondità del ritrovamento.

Dal punto di vista operativo, le misure possono essere riferite ad una stazione fissa sul sito oppure effettuate in configurazione gradiometrica al fine di escludere variazioni di campo dovute alle fluttuazioni naturali del Campo Magnetico Terrestre.

La strumentazione viene mobilitata lungo linee di misura equidistanti (es. 2x2; 4x4 m grid), a seconda della risoluzione richiesta, e le misure avvengono per punti o in continuo lungo i tracciati dei percorsi. La sonda è sospesa sul terreno. Possibilità di georeferenziazione con sistema GPS.

Dall'elaborazione delle misure magnetometriche si ottengono delle cartografie che illustrano in planimetria per isolinee il gradiente/Campo Magnetico Terrestre, che come riportato in precedenza forniscono un'interpretazione semi quantitativa dell'ubicazione ed estensione di eventuali ferromagnetici presenti.

La risposta di un magnetometro dipende dalla massa e dalla profondità a cui si trova l'oggetto metallico: è possibile individuare accumuli importanti di materiale ferroso anche ad oltre una decina di metri di profondità.

Le anomalie sono estremamente variabili in forma ed ampiezza: sono quasi sempre asimmetriche e complesse anche se dovute a sorgenti semplici. La natura asimmetrica delle anomalie è soprattutto una conseguenza delle direzioni delle linee di campo della sorgente.

La presenza di un corpo metallico nel sottosuolo, alle nostre latitudini ($F=46000$ Nt, $I=60^\circ$, $D=0,05^\circ$) genera un'anomalia costituita da un dipolo magnetico: l'orientazione delle linee di forza del campo magnetico generato dal corpo metallico è tale che vi sia un settore in cui le linee di forza si sommano (picco positivo) a quelle del CMT ed un altro in cui si sottraggono (picco negativo).

Il corpo metallico che genera l'anomalia è collocato al metà tra il massimo della componente positiva ed il minimo di quella negativa del dipolo generato.

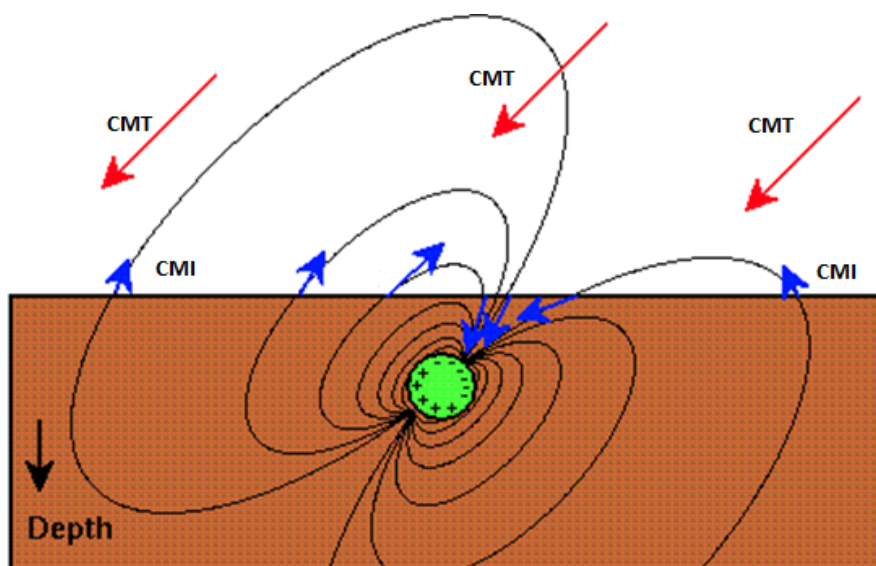


Immagine 3 - Linee di forza del Campo Magnetico Terrestre (CMT) e del Campo Magnetico Indotto (CMI) dall'anomalia

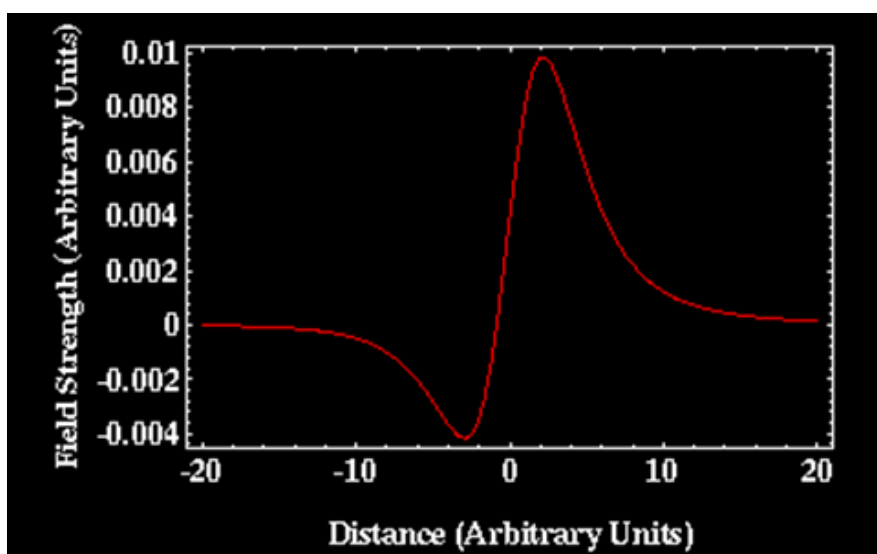


Immagine 4 - Intensità del campo magnetico per presenza di anomalia

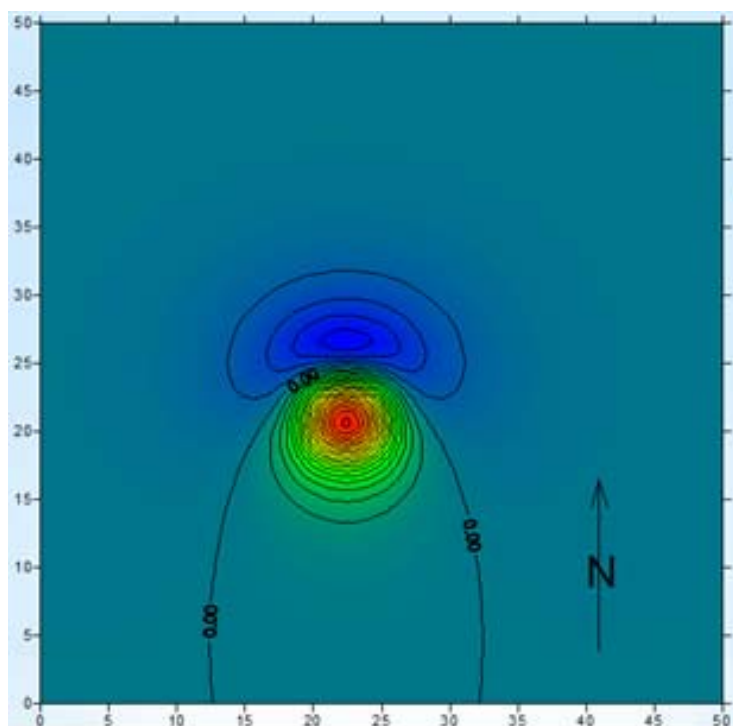


Immagine 5 - Vista in pianta di un'anomalia magnetica alle nostre latitudini

In commercio esistono differenti tipologie di magnetometri. Nel campo ambientale e/o archeologico vengono generalmente utilizzati:

- **MAGNETOMETRO FLUXGATE:** consiste in due nuclei ferromagnetici avvolti da bobine primarie e secondarie. I nuclei sono portati a saturazione uguale e di segno opposto. In presenza di un campo esterno la saturazione avverrà per una corrente rispettivamente minore e maggiore, a seconda se il campo esterno si somma o sottrae a quello indotto dalle bobine. La precisione è dell'ordine del nT. A seconda dell'orientazione dei nuclei lo strumento misura qualsiasi componente del campo magnetico terrestre.
- **MAGNETOMETRO A PROTONI** viene generato un campo magnetico intorno ad un fluido di una sostanza particolare. Il campo creato produce una orientazione dei protoni all'interno del fluido. Quando il campo magnetico viene annullato, il movimento di spin dei protoni si orienta secondo il campo magnetico totale. La loro precessione nucleare genera un segnale la cui frequenza è proporzionale all'intensità del campo. Viene così misurata direttamente l'intensità del campo magnetico locale.
- **MAGNETOMETRO OVERHAUSEN** utilizza lo stesso effetto fondamentale del magnetometro a precessione di protoni per effettuare le misure. L'effetto Overhausen avviene quando uno speciale liquido (con elettroni non accoppiati) è combinato con atomi d'idrogeno e successivamente esposto a polarizzazione secondaria da un campo

magnetico a radiofrequenza (RF). Gli elettroni non accoppiati trasferiscono la loro forte polarizzazione agli atomi d'idrogeno, creando in tal modo un forte segnale di precessione che è ideale per misure ad elevata precisione. Questo ha due vantaggi principali: operando nel campo RF consente batterie più leggere per le unità portatili ed un campionamento di misura più veloce. Un magnetometro Overhauser produce letture con una deviazione standard di 0,01 nT a 0,02 nT, e un campionamento inferiore al secondo.

Nello specifico del presente rilievo, è stato adottato un magnetometro GEM GSM – 19 Overhausen che presenta le seguenti caratteristiche:

Sensitività	0.022 nT/1 Hz
Risoluzione	0.01 nT
Accuratezza Assoluta	± 0.01 nT
Range	200000÷1200000 nT
Tolleranza Gradiente	Fino a 10000 nT/m
Campionamento a	60+, 5, 3, 2, 1, 0.5, 0.2 sec
Temperatura di funzionamento	-40 °C ÷ + 50 ° C

Inoltre lo strumento è dotato di un sistema GPS integrato OEM (GPS Board built-in type) NovAtel con risoluzione < 1.5 m, in modalità real-time che consente di ubicare senza soluzione di continuità le misure durante il rilievo.



Immagine 6 - Consolle d'acquisizione e sensore del magnetometro GEM GSM-19 Overhauser

6.2.2 INDAGINI GEORADAR

Le misure radar sono state acquisite mediante un sistema IDS (Ingegneria dei Sistemi) Stream X equipaggiato con 16 antenne a frequenza centrale di 200 Mhz.



Immagine 7 - Strumentazione IDS Stream X

Il metodo comunemente chiamato georadar (noto in campo internazionale con il termine anglosassone di ground probing radar - GPR), è un sistema di indagine del sottosuolo basato sulla riflessione delle onde elettromagnetiche con frequenza compresa tra 10 e 2000 MHz.

Operativamente consiste nell'invio nel terreno di impulsi elettromagnetici ad alta frequenza (radio frequenze) e nella misura del tempo impiegato dal segnale a ritornare al ricevitore dopo essere stato riflesso da eventuali discontinuità intercettate durante il suo percorso. Tali riflessioni sono causate in generale dal cambiamento delle proprietà elettriche del sottosuolo, dalla variazione del contenuto d'acqua e da cambiamenti litostratigrafici.

In particolare, nel caso della prospezione per la ricerca di sottoservizi, le riflessioni possono essere prodotte da strutture, da vuoti presenti nel terreno (ipogei, cunicoli, ecc.), da elementi metallici e superfici di contatto tra strati differenti.

Da un punto di vista teorico il principio di funzionamento dello strumento infatti è legato alla propagazione di un'onda EM nel sottosuolo e si basa sul fenomeno fisico di partizione dell'energia ad un'interfaccia tra due mezzi con diverse proprietà dielettriche.

In particolare, in corrispondenza di un'interfaccia fisica, l'onda EM generata in superficie ed immessa nel sottosuolo per mezzo dell'antenna subisce un fenomeno di riflessione e parte dell'energia ritorna verso la superficie.

La velocità di propagazione V_m di un onda EM in un mezzo m è data dalla (1) dove C è la velocità della luce ed ϵ_r è la costante dielettrica del mezzo, normalizzata rispetto a quella dell'aria.

$$V_m = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}}; \quad (1)$$

Il grado di direzionalità dell'onda EM generata dall'antenna, com'è noto, determina l'ampiezza dell'angolo solido in fase di energizzazione, governando quindi l'area di effettiva riflessione sulla superficie del bersaglio. Una delle unità di misura utilizzabili per la caratterizzazione del sottosuolo e quindi gli orizzonti riflettenti è il grado di riflettività (R), dato dalla (2), e cioè il rapporto tra energia incidente (E_i) ed energia riflessa (E_r) per ogni singolo riflettore.

$$R = \frac{E_i}{E_r} \quad (2)$$

Il risultato dell'elaborazione strumentale è una serie di diagrammi, spikes, la cui intensità dipende da quella del contrasto tra gli orizzonti attraversati oltre che dall'impostazione strumentale; l'ubicazione dei radargrammi dipende dalla velocità di propagazione delle onde nei materiali.

Conoscendo le principali grandezze fisiche elettromagnetiche dei terreni attraversati è possibile trasformare la sezione distanze-tempi in una sezione distanze-profondità. La profondità massima di esplorazione risulta funzione della frequenza dominante del segnale emesso e della resistività elettrica del terreno.

In questo modo, una volta valutate le caratteristiche elettriche del mezzo attraversato dall'impulso elettromagnetico, si è in grado di identificare la forma dell'oggetto, il suo spessore e valutare la profondità alla quale esso si trova, con una precisione e attendibilità maggiore di quella degli altri metodi geofisici.

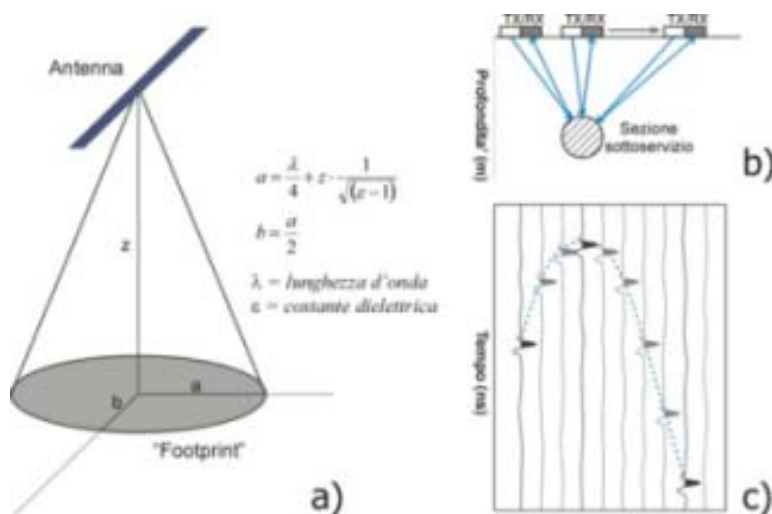


Immagine 8 - a) propagazione impulso con la profondità;
 b) schema di funzionamento georadar: trascinamento antenna rx/tx e
 c) radargramma

In commercio esistono radar mono o multicanale: la prima tipologia è costituita da strumenti dotati di una sola antenna trasmittente ed una ricevente, con un ingombro in termini di dimensioni modesto: da ogni linea di scansione si ottiene una sola sezione 2D del terreno, di conseguenza la copertura dei rilievi risulta generalmente limitata e per correlare tra loro più sezioni sono necessarie inevitabili interpolazioni.

La seconda tipologia di strumenti, dal momento che sono dotati di più antenne emittenti e riceventi, presenta un ingombro maggiore: da una singola scansione si ottengono più sezioni 2D, assai ravvicinate, con una copertura in termini di rilievo maggiore il che comporta una riduzione anche importante degli errori legati all'interpolazione. Dall'elaborazione dei dati radar è possibile ottenere modelli 3D e timeslices (piani di riflettenza radar) a differenti profondità.

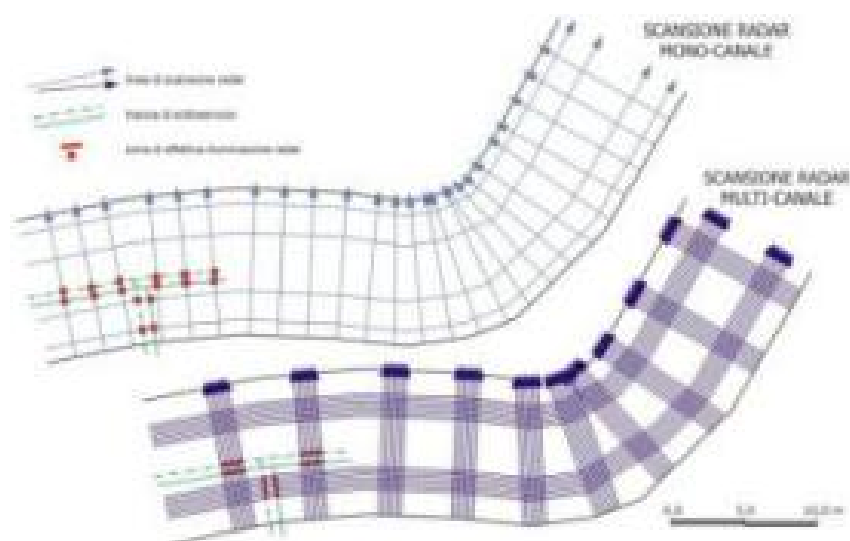


Immagine 9 - Confronto scansione radar mono-canale e multi-canale: notare la maggior copertura che si è in grado di assicurare con il georadar multi antenna.

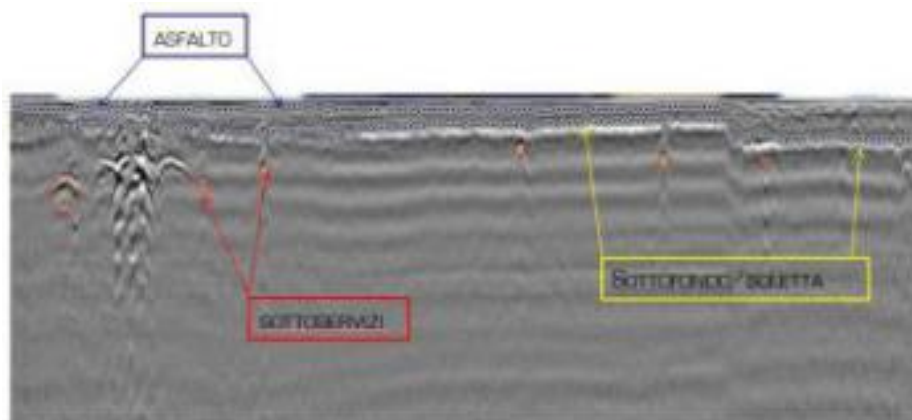


Immagine 10 - Sezione 2D da radar mono-canale.

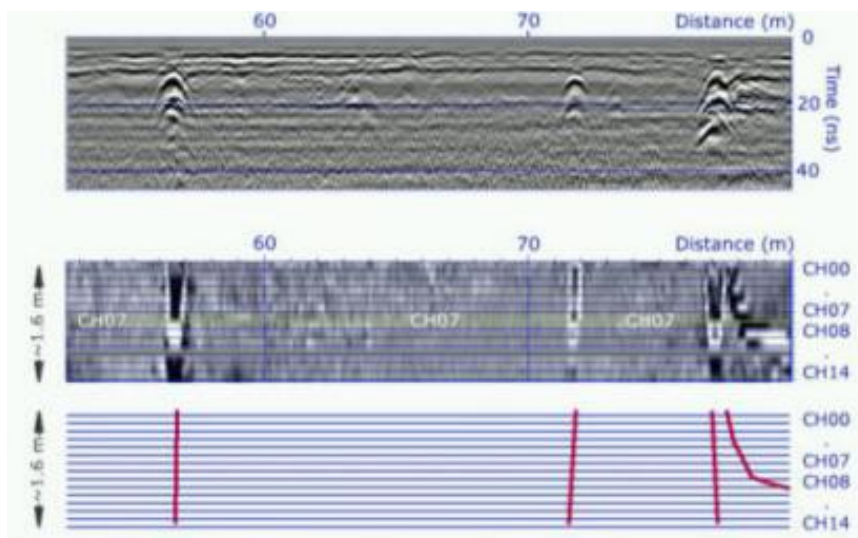


Immagine 11 - Georadar multiantenna: radargramma e planimetria.

Nello specifico per l'esecuzione dei rilievi georadar si è adottato un sistema georadar equipaggiato con un'antenna a medio bassa frequenza (200 Mhz);

Nel caso in esame lo strumento è stato adattato per essere spinto a mano per la conformazione del tracciato e poter mappare la maggior superficie possibile.

L'unità di controllo e il display sono collegati mediante un cavo al trasduttore; i dati vengono visualizzati direttamente sullo schermo LCD a matrice attiva sotto forma di radargrammi a colori e registrati su hard disk interno, per poi essere trasferiti al computer di elaborazione.

6.2.3 INDAGINI CON RADIOLOCALIZZATORE

Il sistema si compone di un ricevitore nel quale è incorporata una bobina ricevente e di un trasmettitore. Lo strumento rileva le correnti indotte nella bobina ricevente.

Come noto una corrente continua (D.C.) che fluisce attraverso un conduttore determina la formazione di un campo magnetico stazionario che risulta distribuito intorno al conduttore e possiede una forma. Anche una corrente alternata (A.C.) che fluisce attraverso un conduttore determina la formazione di un campo magnetico; il campo ha la medesima forma del precedente ma presenta un'intensità ed una direzione variabile nel tempo. La misura di questo campo è possibile sfruttando il principio dell'induzione EM.

Nello specifico verrà utilizzato il sistema radiolocalizzatore (RD7000 Plus della Radiodetection LTD).

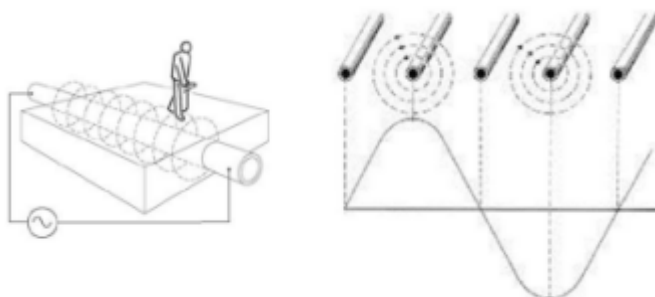


Immagine 12: Rilievo con RD7000 Plus della Radiodetection LTD e schema di funzionamento della strumentazione

6.2.4 RILIEVO TOPOGRAFICO

Tutti gli elementi del rilievo sono stati georeferenziati mediante un rilievo topografico satellitare. Il rilievo satellitare è stato eseguito con strumentazione GNSS Trimble R8s in modalità Real-Time.

I punti-misura sono stati codificati in fase di memorizzazione nello strumento impiegato.

La precisione di questa configurazione di misura non è risultata inferiore ai 8 mm + 1 ppm in planimetria e 15 mm + 2 ppm in quota.

6.3 ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI

6.3.1 DATI MAGNETICI

I dati magnetici sono stati importati ed elaborati nei software commerciale GEM Link e importati in GIS. In questo modo i dati sono stati sottoposti ai necessari filtraggi e guadagni in modo da renderli leggibili, oltre che ad abbinarli ai dati geometrici di navigazione per ottenere la corretta ubicazione delle anomalie. In questo modo è stata ottenuta una planimetria per isolinee del gradiente dell'area indagata.

6.3.2 DATI RADAR

Dall'analisi dei dati radar grezzi, in parte elaborati in sito per tracciare eventuali bersagli target presenti nel sottosuolo, si evince come la tipologia dei suoli superficiali ha limitato la propagazione coerente dell'energia EM che penetra sino ad un massimo di circa 2.00 m dal piano campagna. All'interno di questo strato la risposta dei bersagli, in funzione della capacità di detezione, è decisamente buona soprattutto quando i contrasti di impedenza elettrica sono adeguati.

I dati radar, sono stati importati ed elaborati nei software commerciale GPR-CAD della Macleod & Simmonds Ltd.

Ogni singola scansione radar è stata sottoposta ai necessari filtraggi (background removal, vertical bandpass filter etc.) e guadagni in modo da ottenere radar grammi leggibili, successivamente si sono abbinati i dati geometrici di navigazione per ottenere la corretta correlazione tra le anomalie.

Per la trasposizione da tempo a profondità è stata utilizzata la velocità di 0.14 m/ns, che è stata stimata analizzando la curvatura di alcuni iperboloidi di riflessione.

6.3.3 DATI TOPOGRAFICI

Gli elementi del rilievo geofisico sono stati georeferenziati mediante rilievo topografico integrato satellitare-tradizionale con strumentazione Satellitare GNSS in modalità Real-Time dove vi era copertura satellitare e Total Station Robotica negli settori al di sotto delle alberature.

Da un punto di vista metodologico il rilievo è stato effettuato in modalità Real-Time VRS agganciandosi per la correzione differenziale alla rete di stazioni permanenti NETGEO certificata dall'Istituto Geografico Militare. La precisione di questa configurazione di misura non è risultata inferiore ai 8 mm + 1 ppm in planimetria e 15 mm + 2 ppm in quota.

La restituzione e proiezione planimetrica è stata eseguita attraverso il software topografico Trimble Business Center con conversione delle coordinate native WGS 84 in sistema UTM Fuso 32 (WGS84); per quanto riguarda l'altimetria le quote ellissoidiche native del sistema GNSS sono state convertite in quote ortometriche s.l.m.m. tramite l'utilizzo del modello geoidico Egm 2008.

6.4 RISULTATI

Le indagini georadar effettuate hanno permesso di ottenere un set di informazioni ad altissima risoluzione delle aree indagate; hanno permesso di mappare il primo sottosuolo dell'area di indagine con un'ottima coerenza del segnale fino ad una profondità di circa 2.0 m dal pc.

Il rilievo georadar eseguito, ha consentito di individuare:

- tubazioni;
- strutture sepolte (come, per esempio, solette armate, scatolari, binari ferroviari a altro).

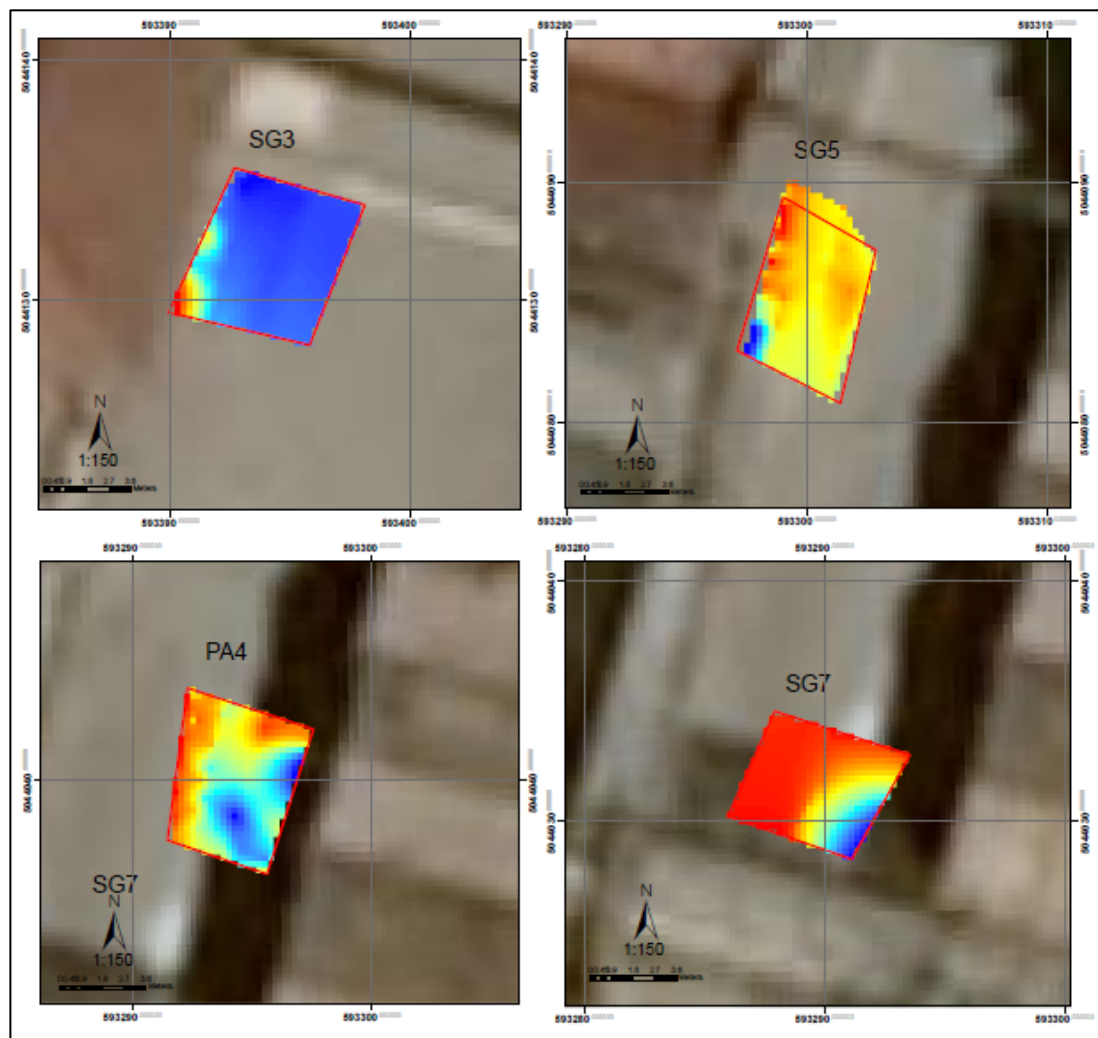


Immagine 13 - Dettaglio di una delle tavole di consegna



Immagine 14 - Legenda degli elementi del rilievo

Il **rilevo gradiometrico** ha consentito di ottenere una planimetria di Gradiente/Campo Magnetico Terrestre, che fornisce un'interpretazione semi-quantitativa dell'ubicazione ed estensione di elementi ferromagnetici che possono essere presenti fino a circa 12 m dal piano campagna.

L'analisi e l'interpretazione dei dati gradiometrici, effettuata in sito, è risultata essere molto complessa a causa dell'elevata presenza di oggetti metallici in superficie e nel sottosuolo (cisterne, tubazioni, recinzioni, tombini, strutture sepolte, etc). La presenza di tali strutture potrebbe in qualche modo mascherare la presenza di bersagli target posti o al di sotto di esse o nelle loro immediate vicinanze.

La combinazione delle due tipologie di rilievo ha consentito di individuare la posizione più idonea per l'esecuzione dei 21 sondaggi: tale posizione, nei casi in cui differiva da quella originaria tracciata in campagna dalla Committenza, è stata ritracciata direttamente in sito con uno spray di colore blu.

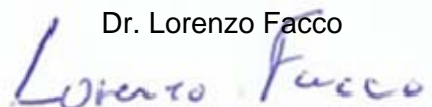
L'ubicazione idonea alla realizzazione dei 21 punti di sondaggio è stata inoltre indicata al responsabile del sito preposto dalla Committenza che ha seguito le attività di rilievo per tutta la loro durata.

Nelle tavole allegate si riportano le planimetrie magnetiche e l'indicazione delle aree indagate con georadar per tutti i 21 punti di indagine.

Bolzano, 06.11.2018

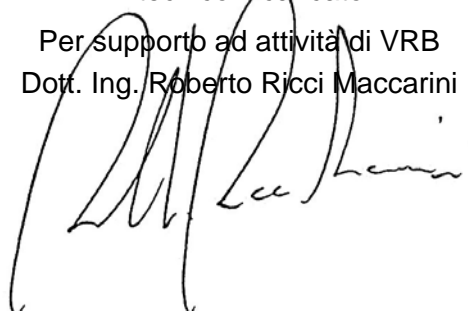
Il tecnico responsabile dell'indagine geofisica

Dr. Lorenzo Facco

A handwritten signature in blue ink that reads "Lorenzo Facco".

Il tecnico incaricato

Per supporto ad attività di VRB
Dott. Ing. Roberto Ricci Maccarini

A large, stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Roberto Ricci Maccarini.

7 APPENDICE FOTOGRAFICA INDAGINE STRUMENTALE



Foto - Rilievo Georadar con Georadar IDS Stream-X e rilievo con Radiolocalizzatore RD7000+



Foto - Rilievo gradiometrico



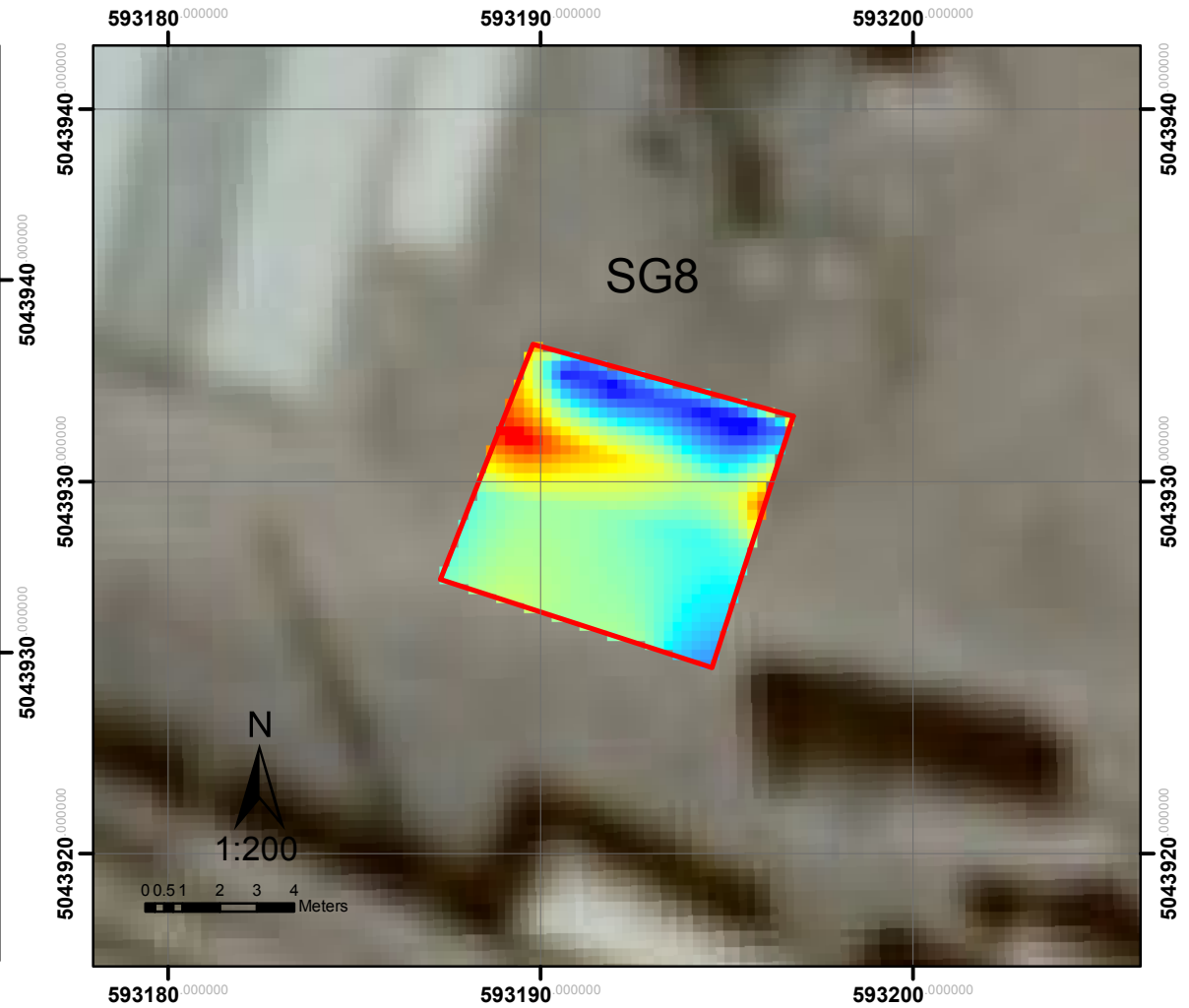
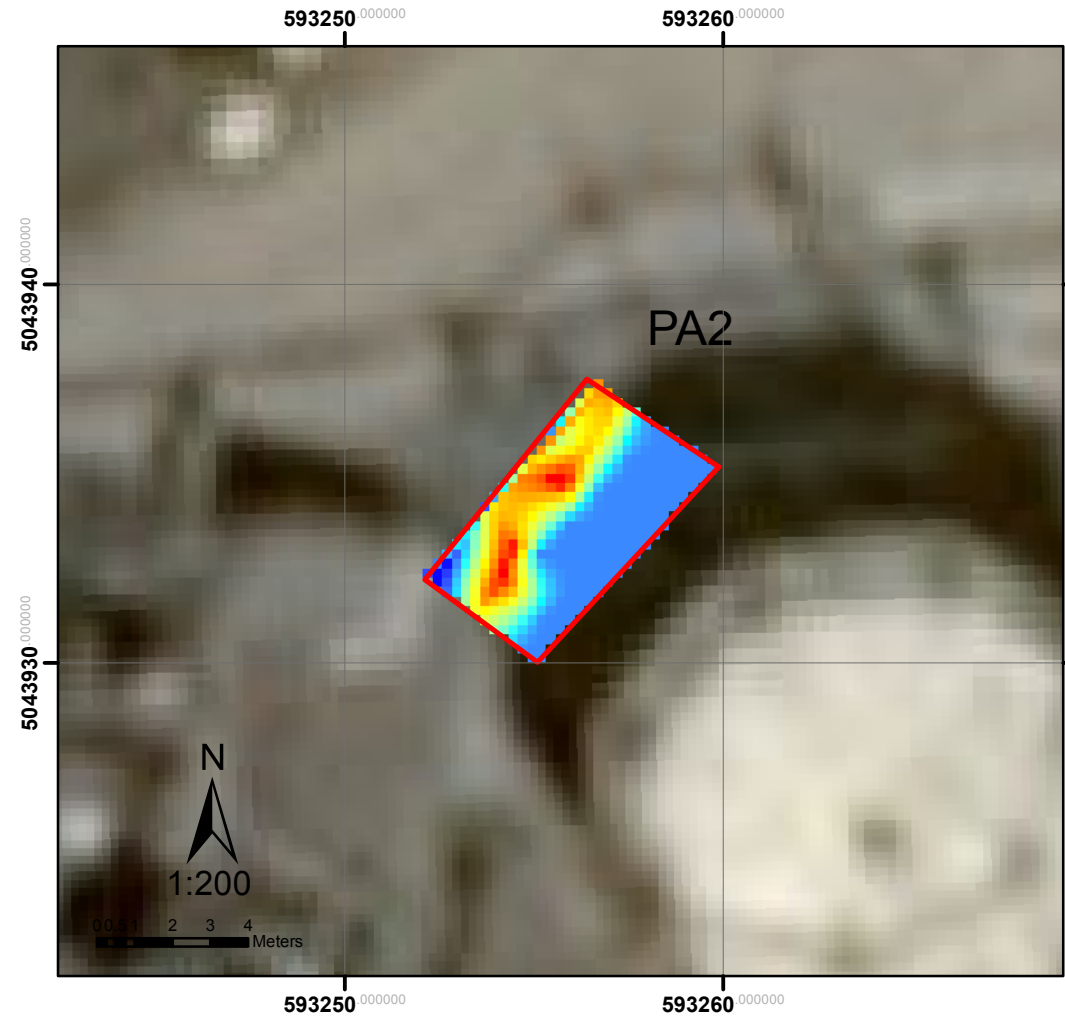
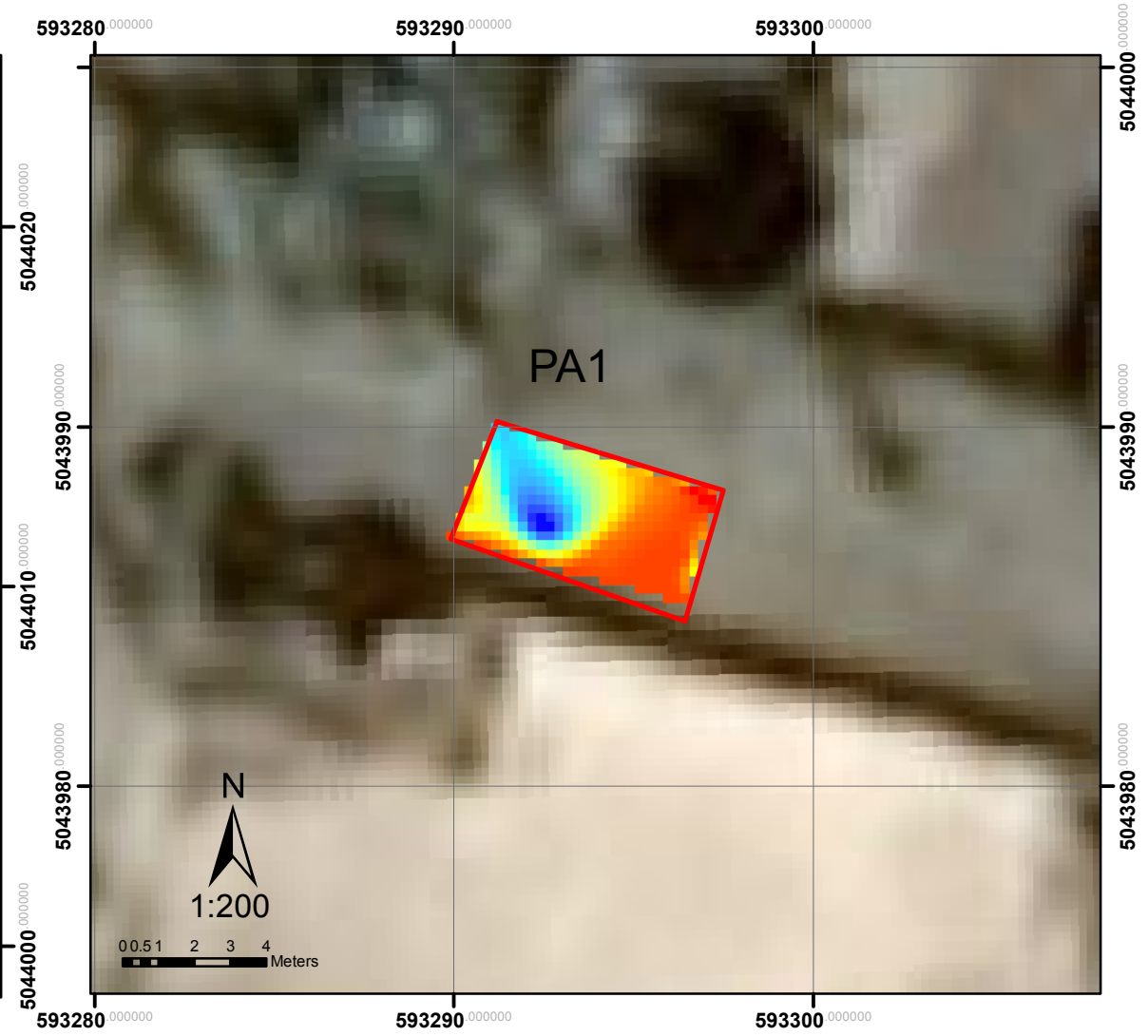
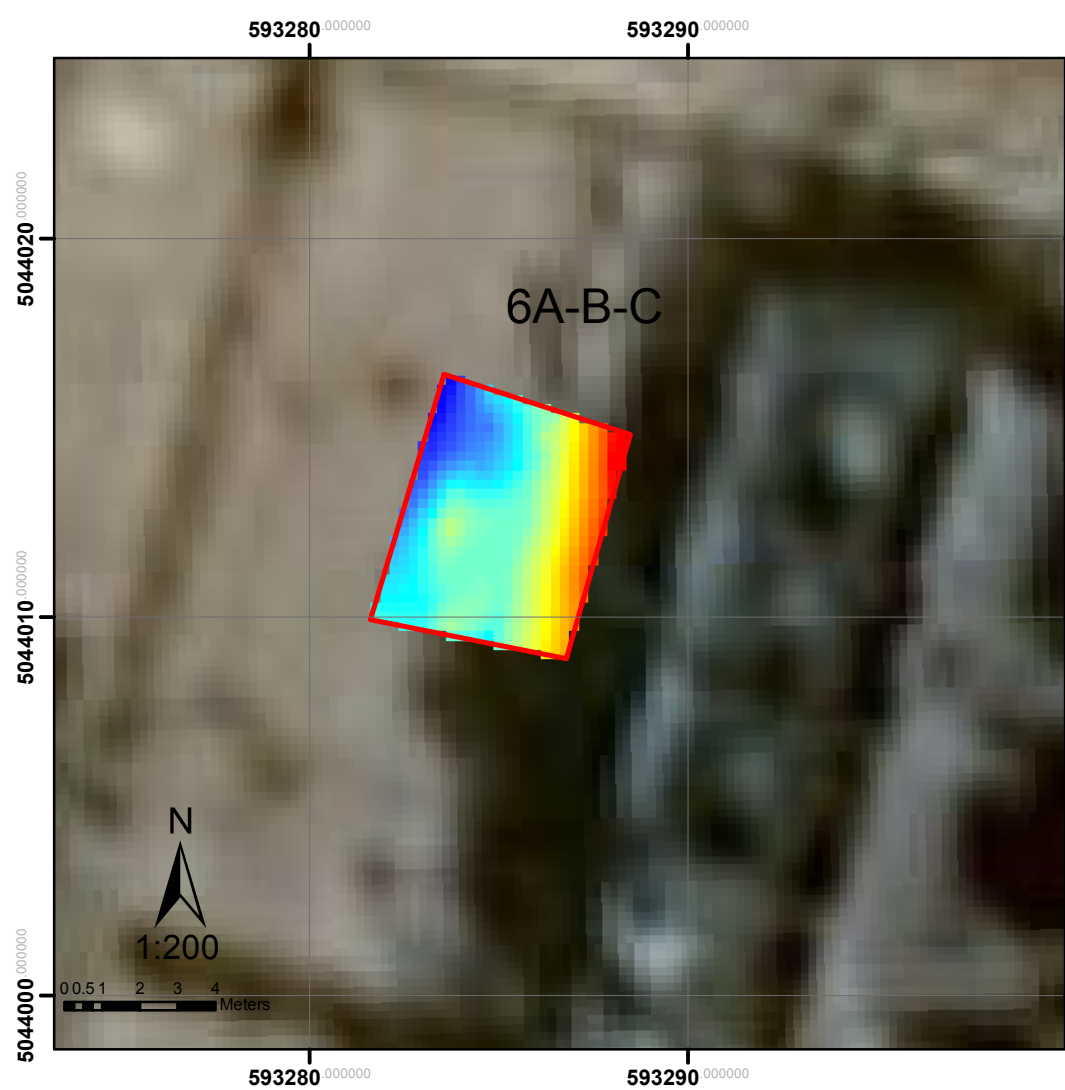
Foto-Rilievo gradiometrico



Foto-Ubicazione del punto di sondaggio SG8 (in blu la posizione idonea all'esecuzione del sondaggio)



Foto-Anomalie lineari tracciate mediante rilievo georadar e con radiolocalizzatore



**SERVIZIO DI RILIEVO
GRADIOMETRICO
E GEORADAR MULTICANALE**

TAV02

**PUNTI DI INDAGINE 6A-B-C, PA1, PA2,
SG8**

Esecutori:

Consorzio S.T.E.R.N.
via Marie Curie, 17 – 39100 Bolzano
e-mail: consorzio stern@gmail.com
PEC: consorzio stern@pec.it
CF/P.IVA 02945340210

STERN

Committente:

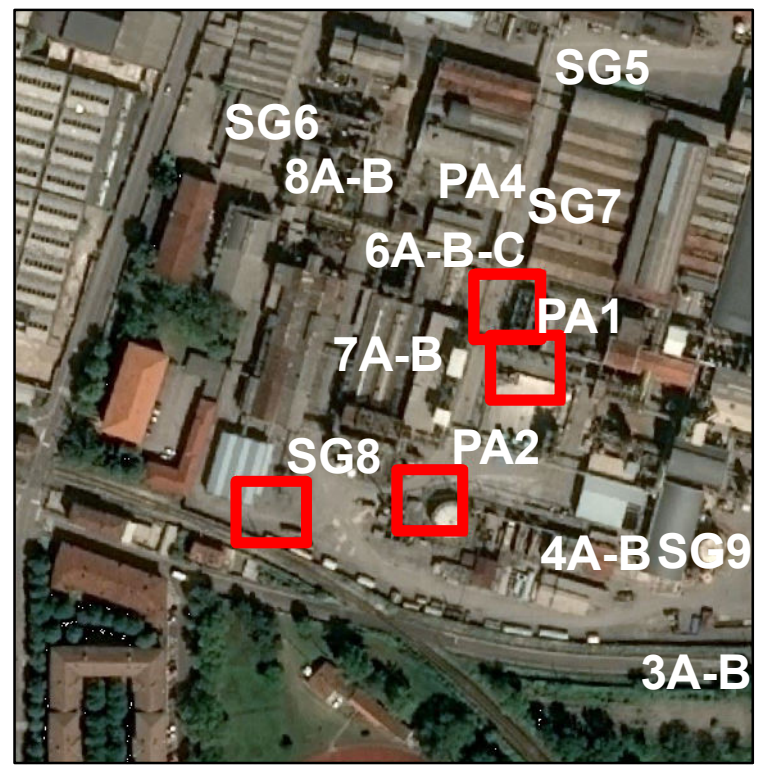
AECOM URS Italia S.p.A.
Via Watt, 27 - 20143 Milano
Tel: +39 (02) 4225561
P.IVA 10388820150

AECOM

Ubicazione: Via Francesco Nullo 8, Brescia

Data: 15 ottobre 2018

ID Commessa: C51418



LEGENDA

Area_Indagine_Georadar

Mappa_gradiometrica

Valori nT/m

High : 5000
Low : -5000

SERVIZIO DI RILIEVO
GRADIOMETRICO
E GEORADAR MULTICANALE

TAV03

PUNTI DI INDAGINE 7A-B, SG6, 8A-B,
4A-B

Esecutori:

Consorzio S.T.E.R.N.
via Marie Curie, 17 – 39100 Bolzano
e-mail: consorzio stern@gmail.com
PEC: consorzio stern@pec.it
CF/P.IVA 02945340210



Committente:

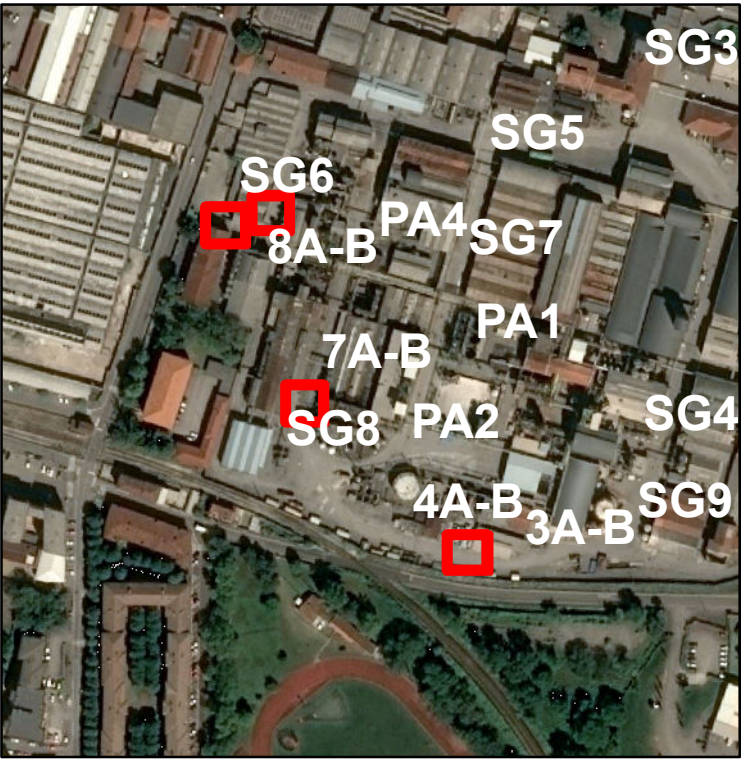
AECOM URS Italia S.p.A.
Via Watt, 27 - 20143 Milano
Tel: +39 (02) 4225561
P.IVA 10388820150

AECOM

Ubicazione: Via Francesco Nullo 8, Brescia

Data: 15 ottobre 2018

ID Commessa: C51418



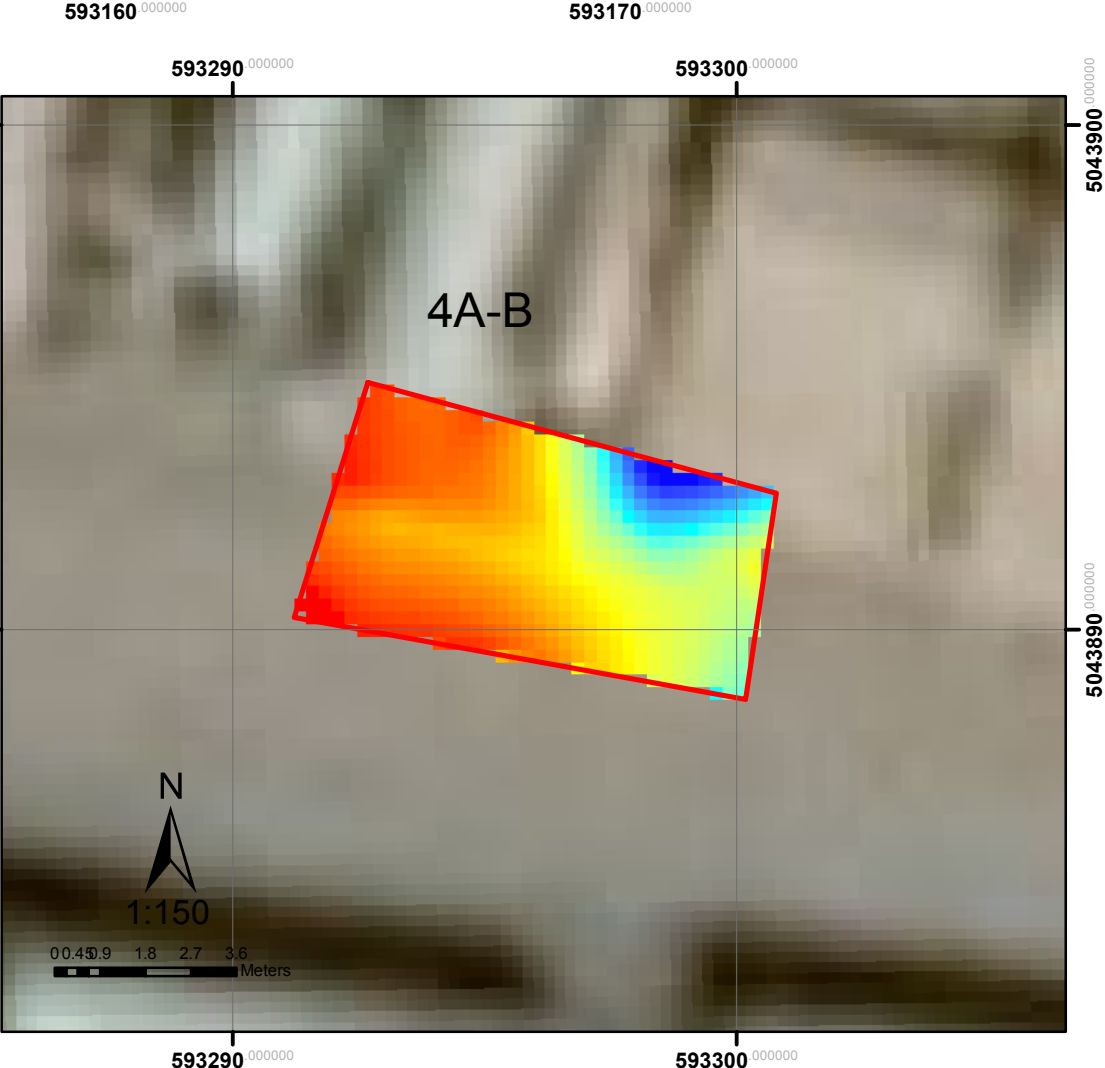
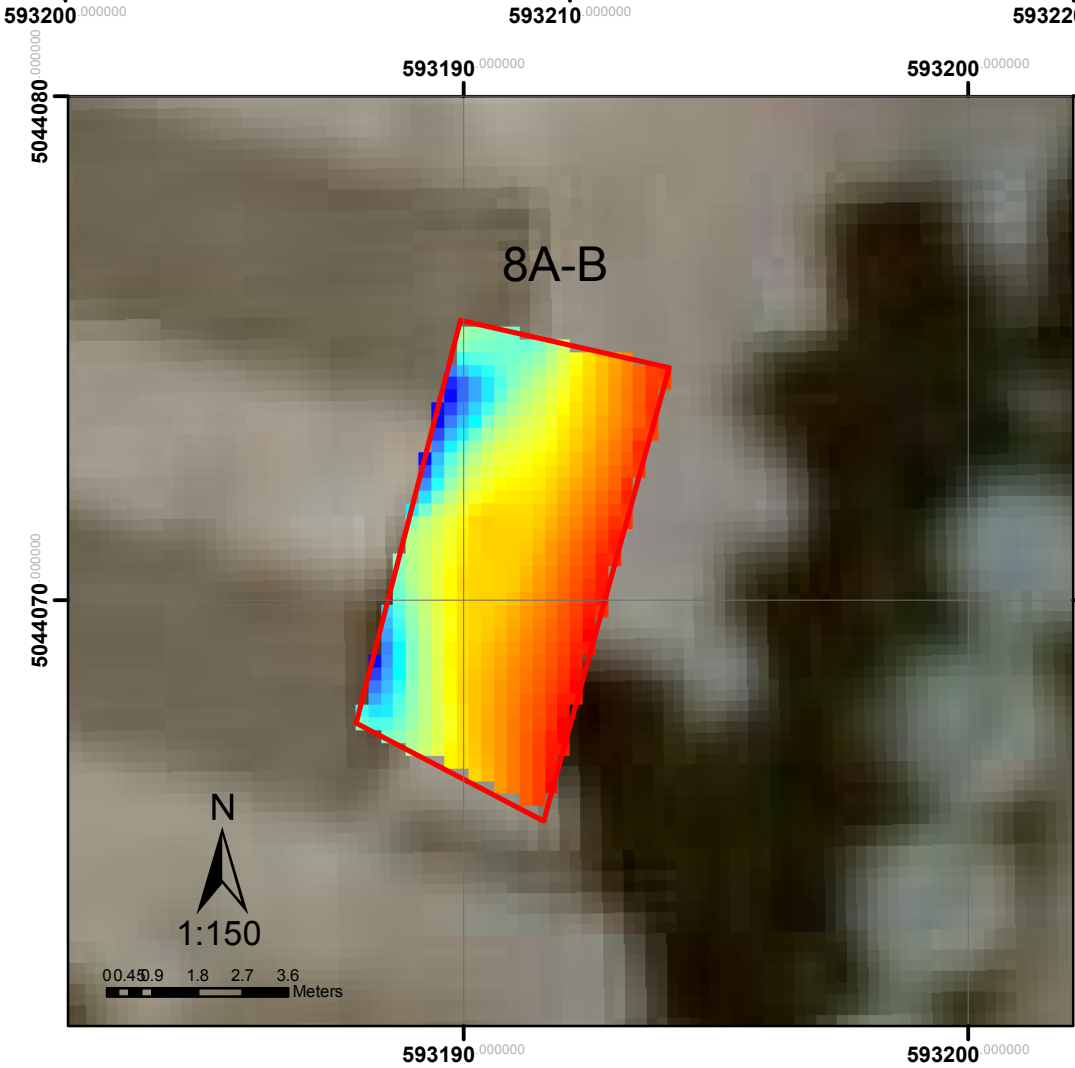
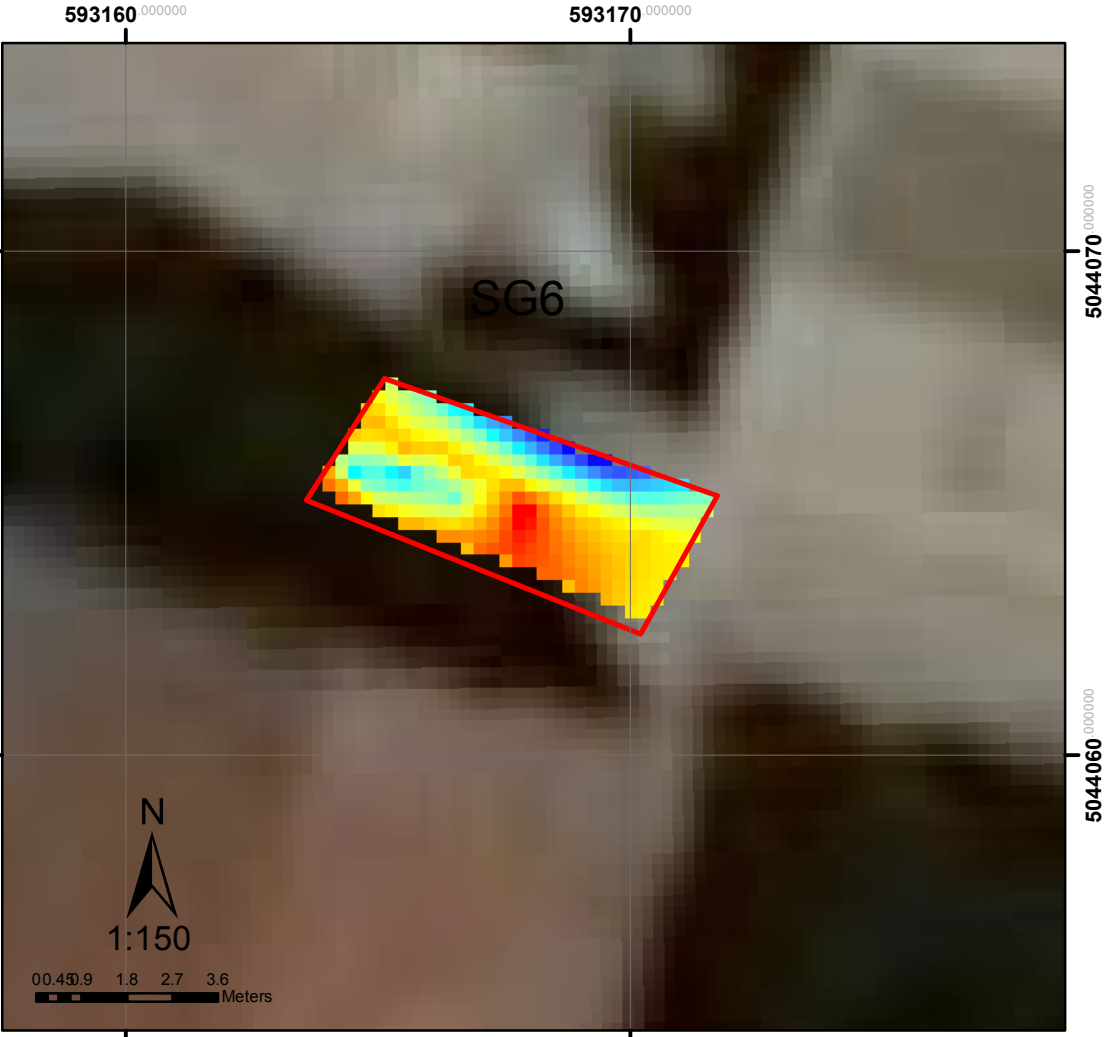
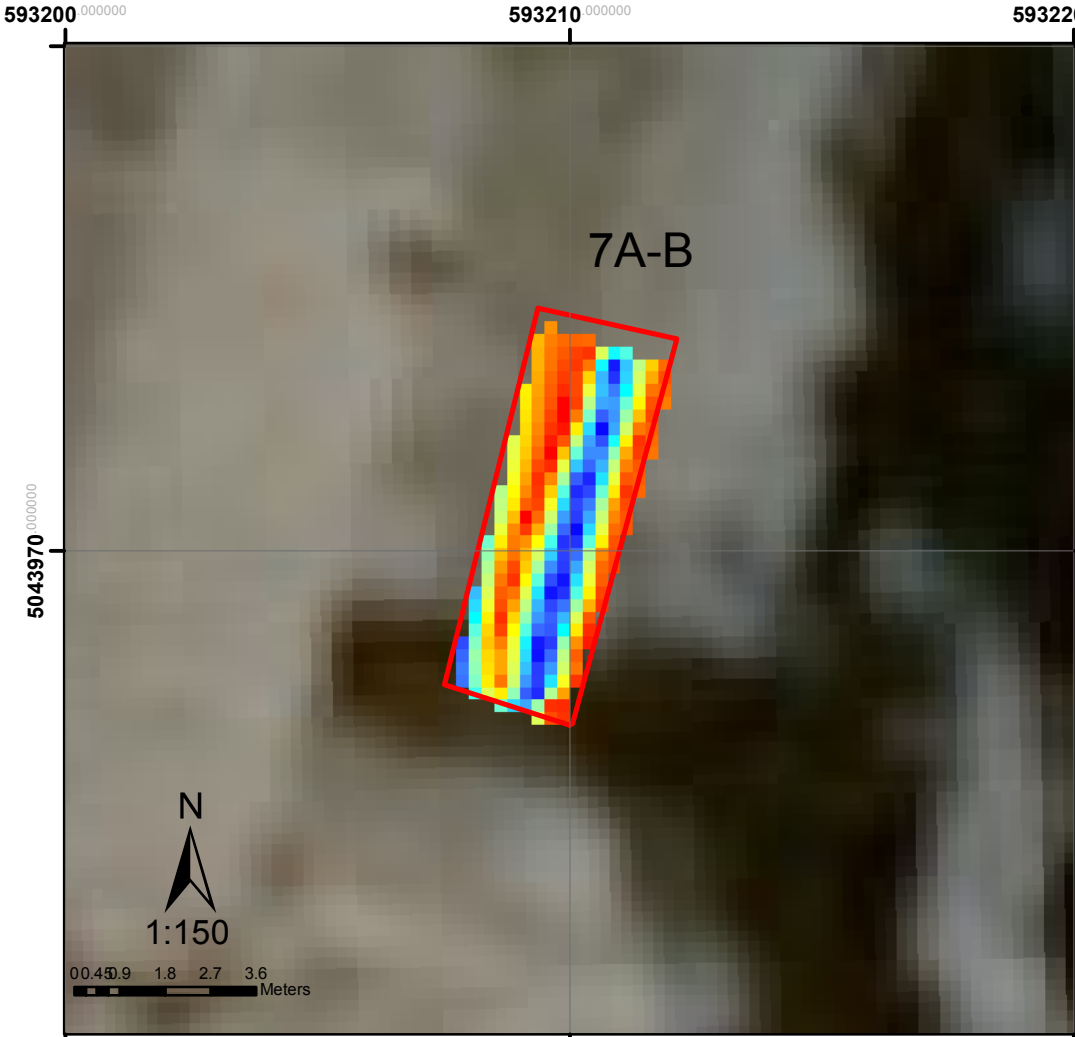
LEGENDA

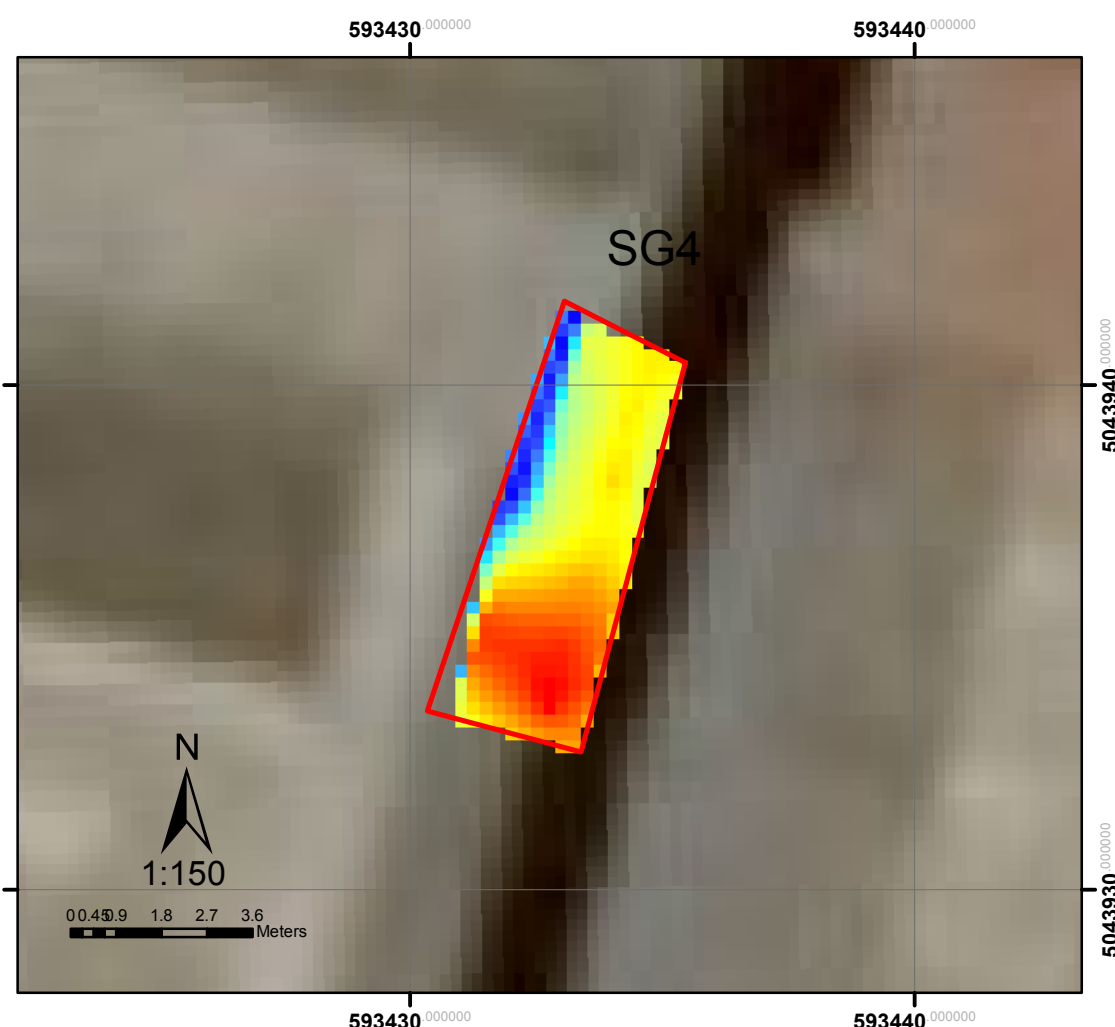
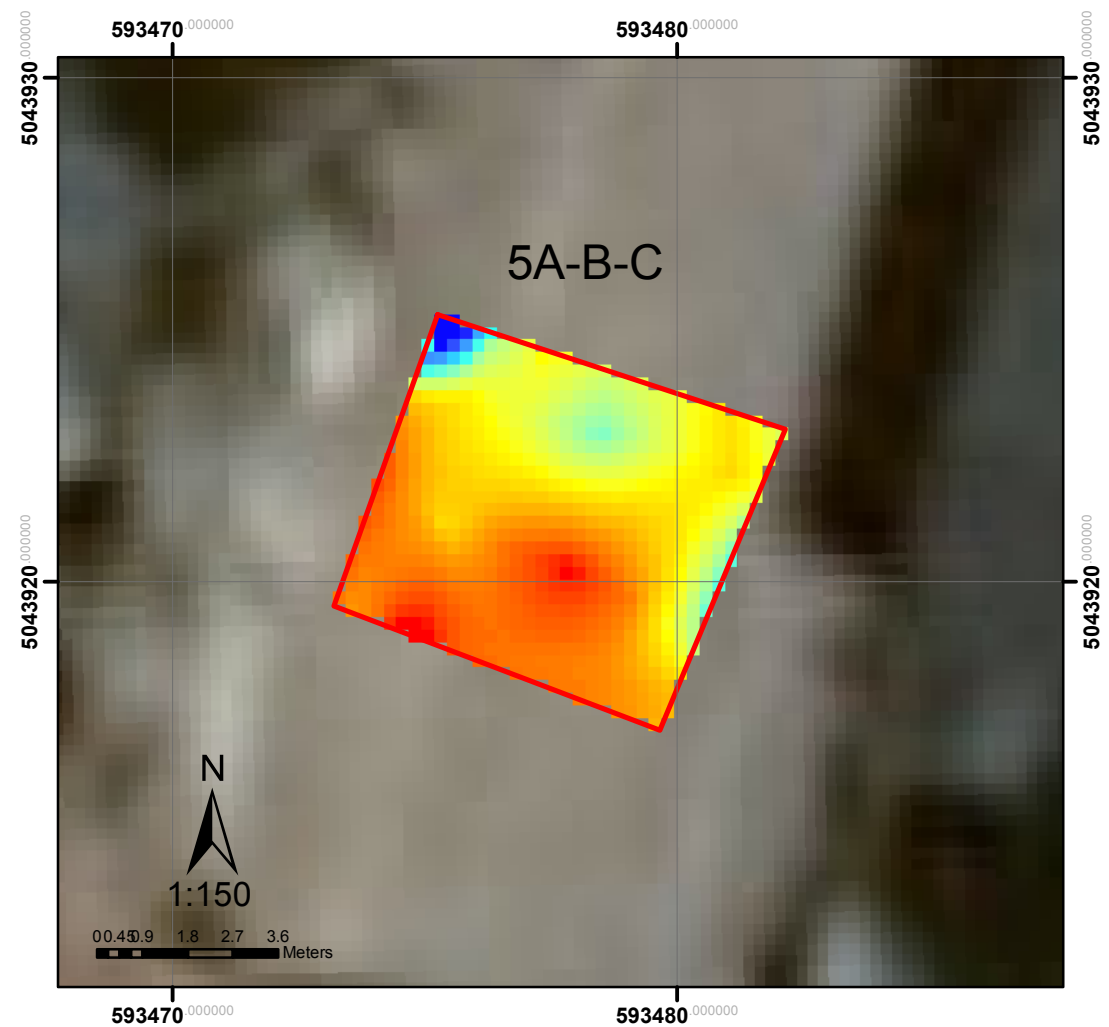
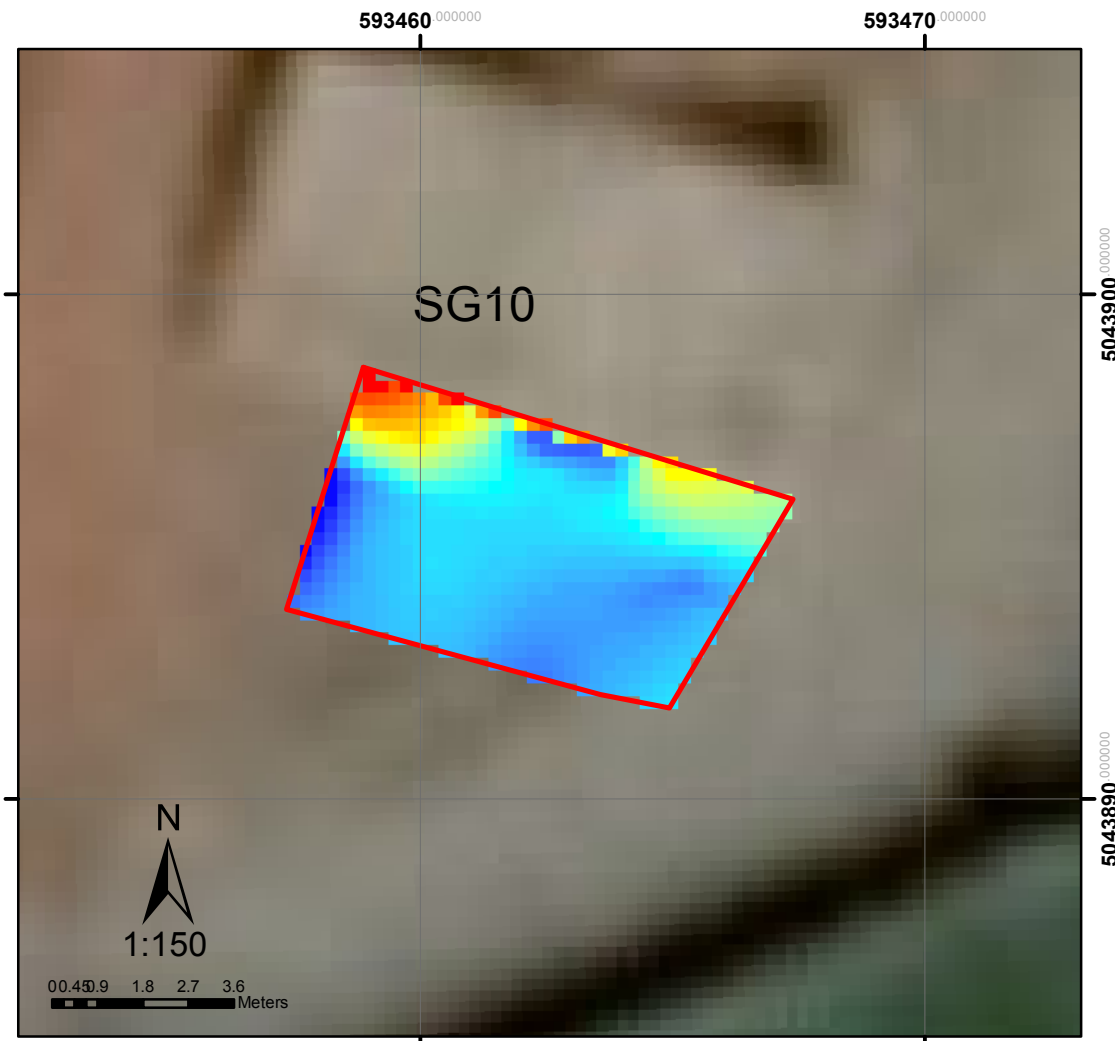
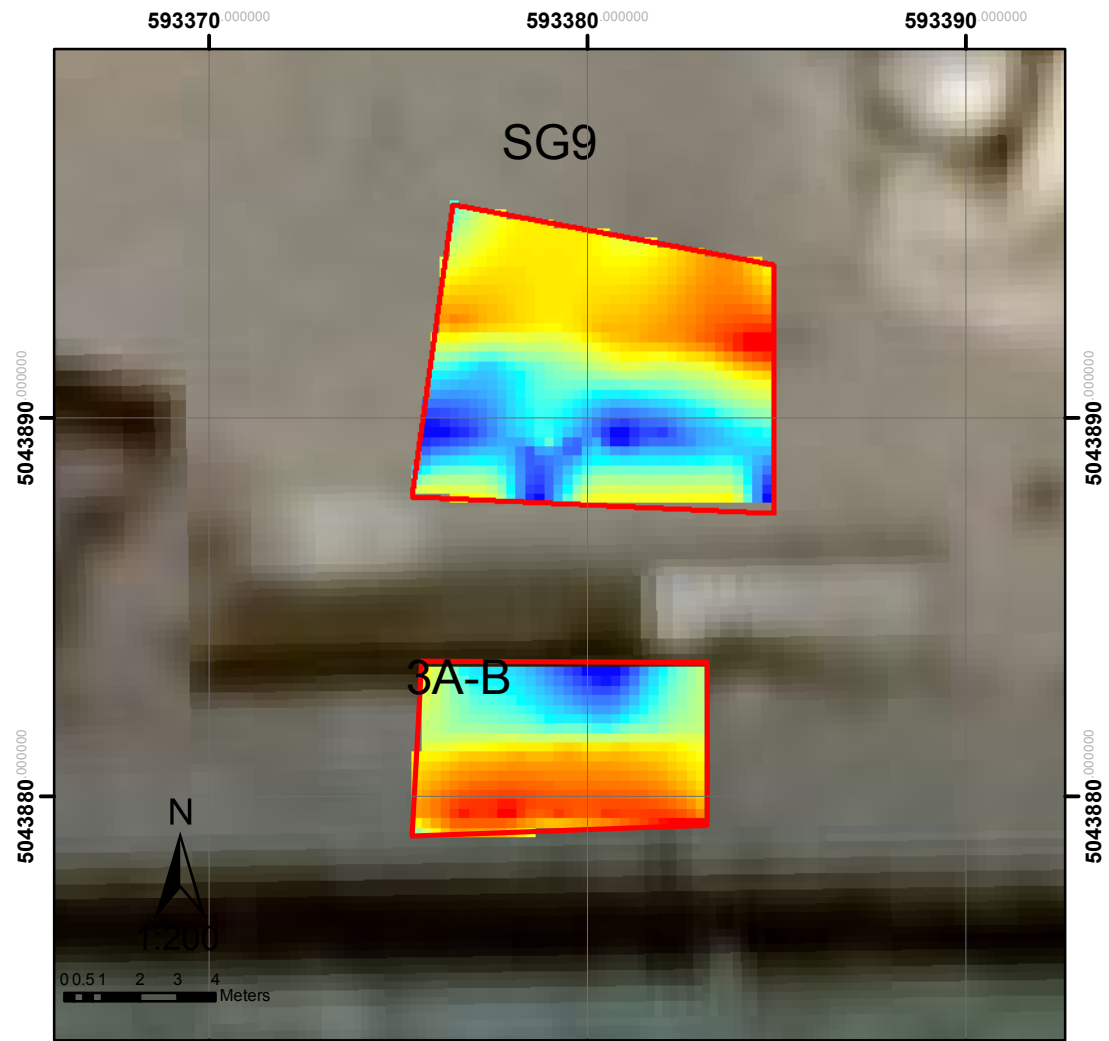
 Area_Indagine_Georadar

Mappa_gradiometrica

Valori nT/m

 High : 5000
Low : -5000





**SERVIZIO DI RILIEVO
GRADIOMETRICO
E GEORADAR MULTICANALE**

TAV04

**PUNTI DI INDAGINE 3A-B, SG9, SG10,
5A-B-C, SG4**

Esecutori:

Consorzio S.T.E.R.N.
via Marie Curie, 17 – 39100 Bolzano
e-mail: consorzio stern@gmail.com
PEC: consorzio stern@pec.it
CF/P.IVA 02945340210



Committente:

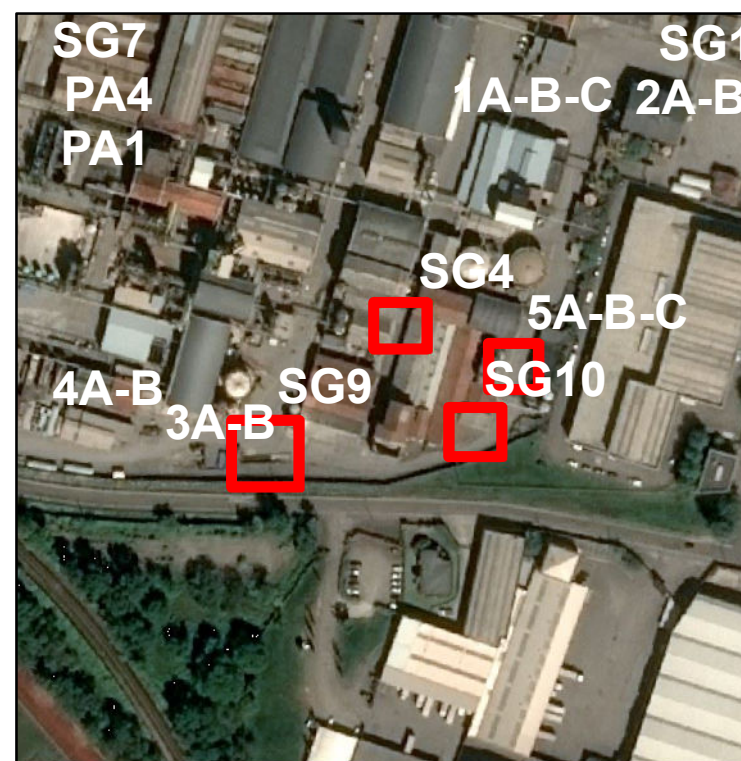
AECOM URS Italia S.p.A.
Via Watt, 27 - 20143 Milano
Tel: +39 (02) 4225561
P.IVA 10388820150

AECOM

Ubicazione: Via Francesco Nullo 8, Brescia

Data: 15 ottobre 2018

ID Commessa: C51418



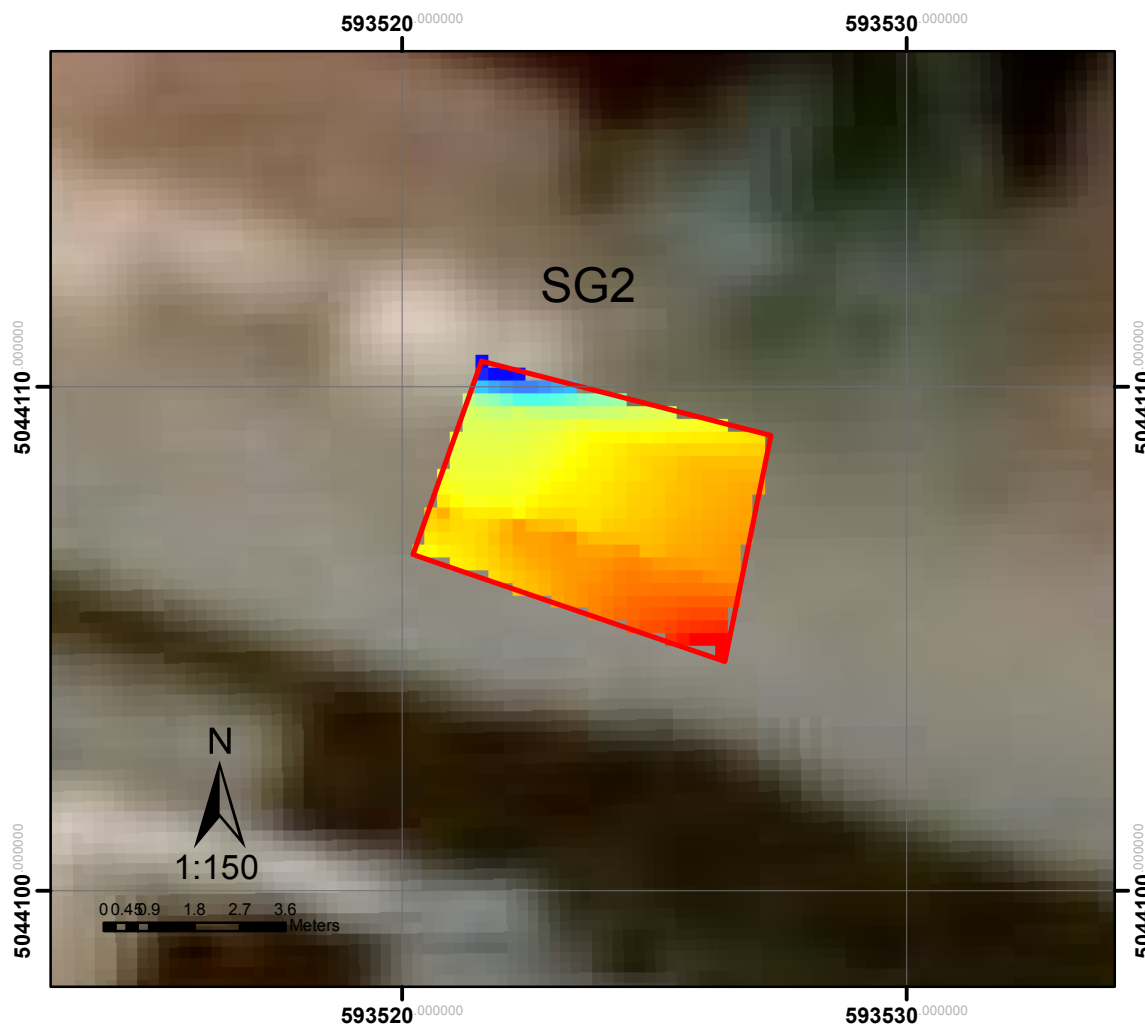
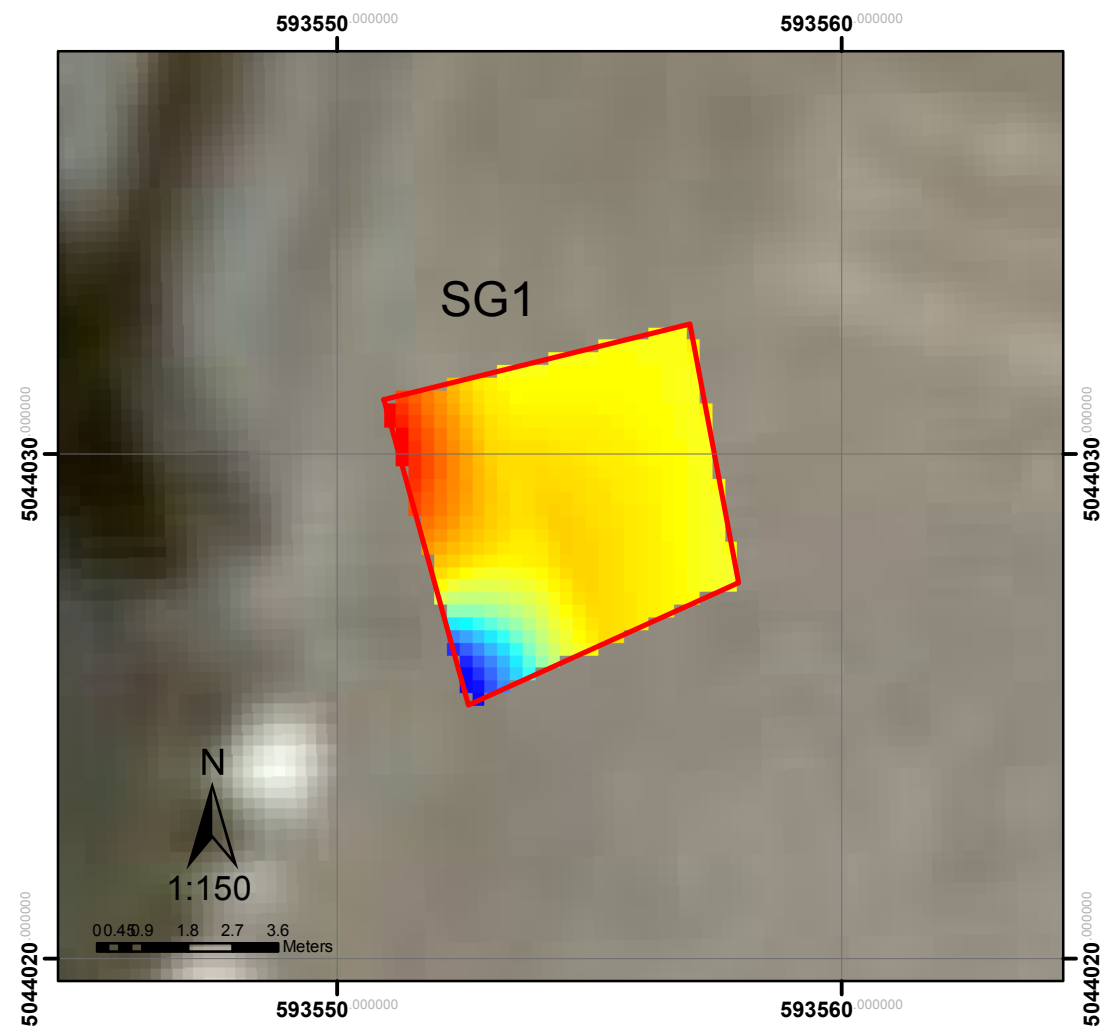
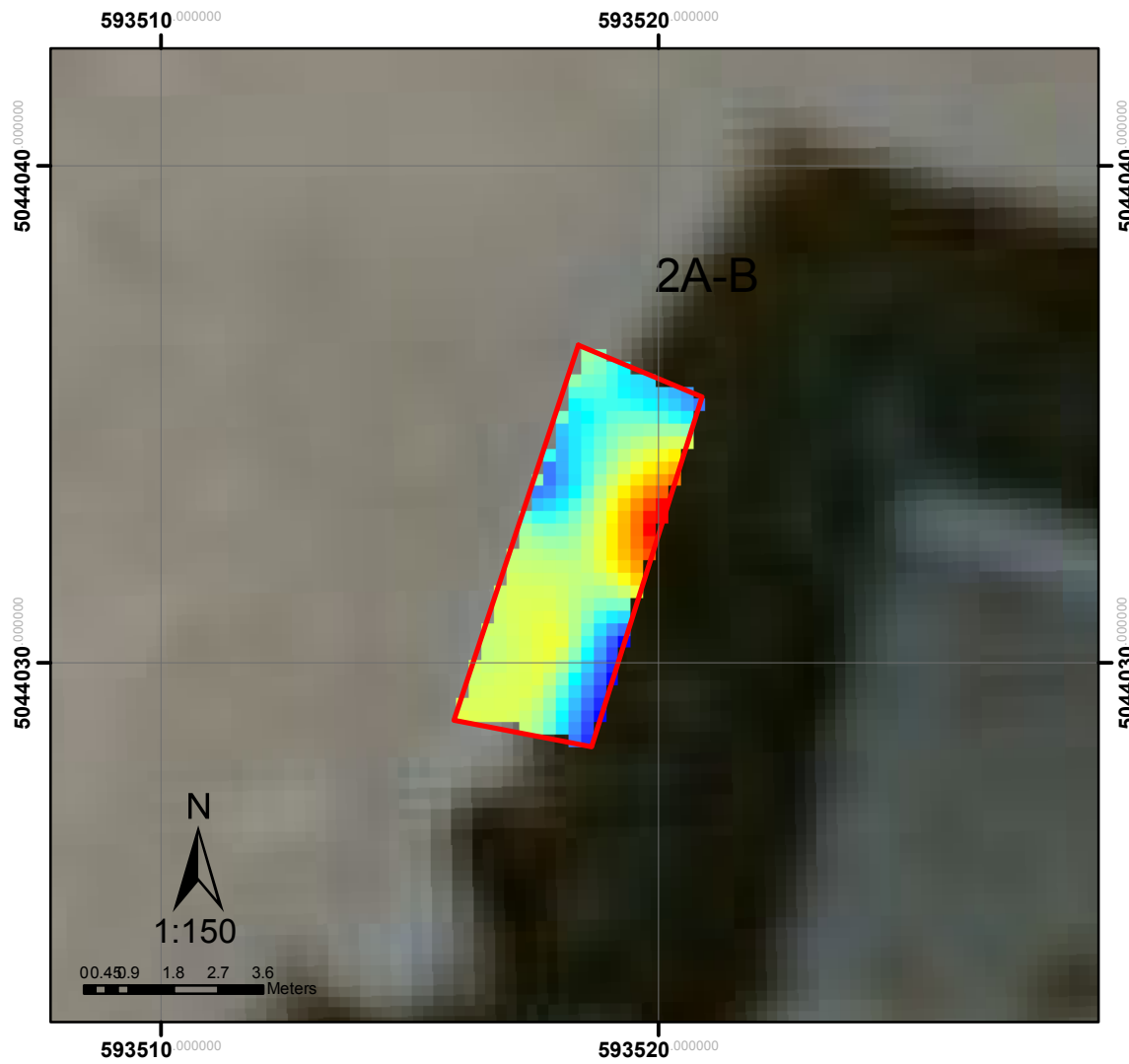
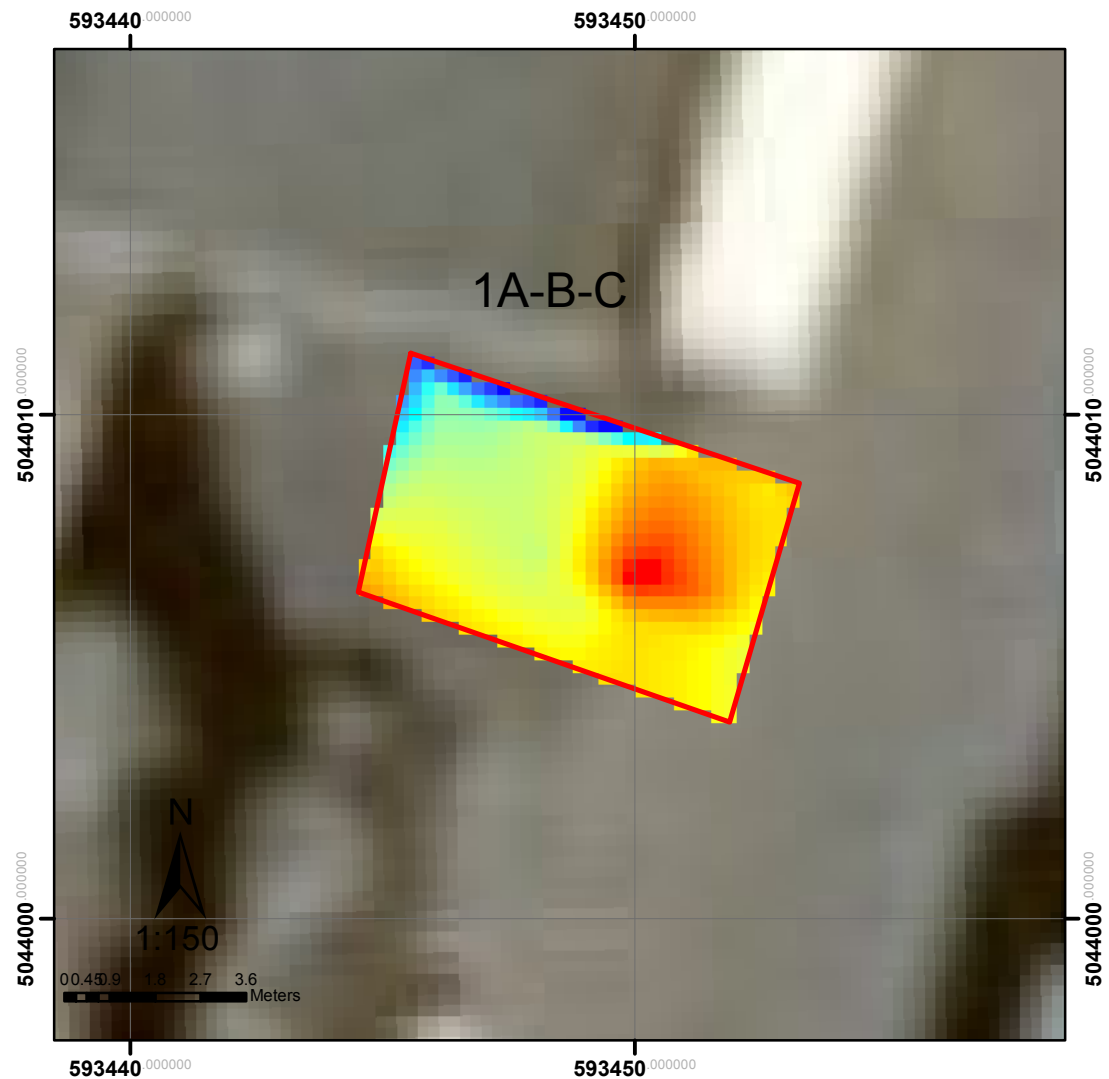
LEGENDA

Area_Indagine_Georadar

Mappa_gradiometrica

Valori nT/m

High : 5000
Low : -5000



**SERVIZIO DI RILIEVO
GRADIOMETRICO
E GEORADAR MULTICANALE**

TAV05

**PUNTI DI INDAGINE 1A-B-C, 2A-B,
SG1, SG2**

Esecutori:

Consorzio S.T.E.R.N.
via Marie Curie, 17 – 39100 Bolzano
e-mail: consorzio stern@gmail.com
PEC: consorzio stern@pec.it
CF/P.IVA 02945340210



Committente:

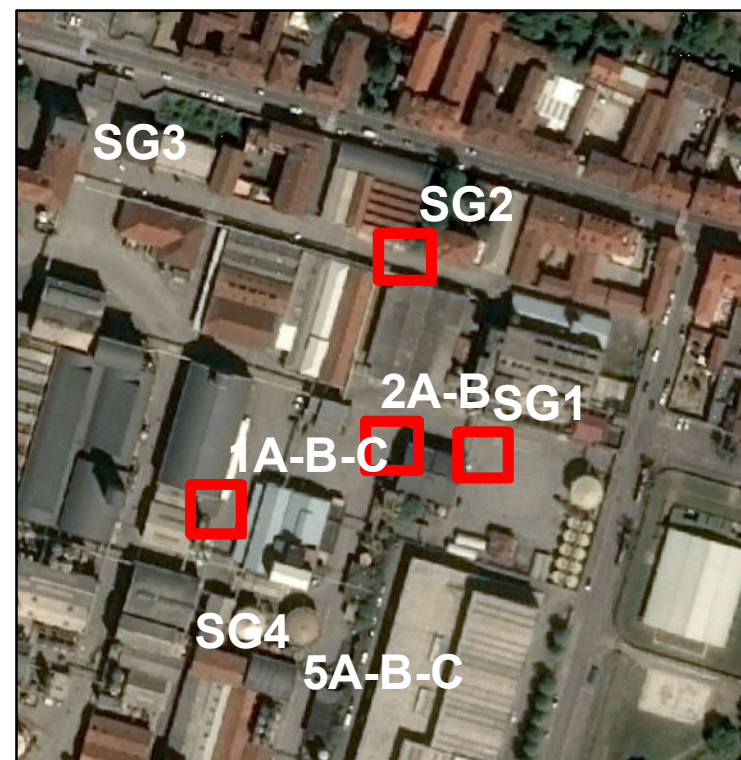
AECOM URS Italia S.p.A.
Via Watt, 27 - 20143 Milano
Tel: +39 (02) 4225561
P.IVA 10388820150

AECOM

Ubicazione: Via Francesco Nullo 8, Brescia

Data: 15 ottobre 2018

ID Commessa: C51418



LEGENDA

Area_Indagine_Georadar

Mappa_gradiometrica

Valori nT/m

High : 5000
Low : -5000