

ENERGIA MINERALS ITALIA S.R.L.**ISTANZA DI RINNOVO DELLA CONCESSIONE MINERARIA "MONICA"****COMUNI DI OLTRE IL COLLE, ONETA E GORNO - PROVINCIA DI BERGAMO****- MINIERE DEL COMPLESSO MINERARIO RISO/PARINA -****INTEGRAZIONI DOCUMENTALI ALLO
STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE
(D.LGS. N. 152/2006 - LR N. 5/2010)****Relazione specialistica sul monitoraggio del Rn₂₂₂ in aria e acqua
D. Lgs. 101 del 31 luglio 2020***Grassobbio (Bg), 20 novembre 2021*

a cura di:

Hattusas S.R.L.*consulenze e servizi nel vasto campo della geologia e dell'ambiente rilevazioni gas Radon e inquinamento indoor*

sede legale: Via Roma, 37 – 24060 – Castelli Calepio (BG)

sede operativa: Via Vespucci, 47 – 24050 – Grassobbio (BG)

tel. 035 4425112

e-mail: info@hattusas.itPEC: info@pec.hattusas.itWEB: www.hattusas.it

Sommario

1. Premessa	1
2. Normativa di riferimento	3
3. Ubicazione dell'area di studio	8
4. Metodologie d'indagine.....	9
5. Scopo del lavoro.....	10
6. Tecniche di misura	13
6.1. Dosimetria Attiva.....	13
6.2. Dosimetria passiva.....	14
6.3. Misure potenziale alfa.....	17
6.4. Misure concentrazione di Rn ₂₂₂ in acqua	20
7. Risultati.....	21
7.1. Rilievi passivi su base annuale.....	21
7.2. Determinazione della concentrazione di attività	28
7.3. Determinazione potenziale alfa	28
7.4. Misurazioni attive mediante radon mapper	30
7.5. Rilievi con strumentazione attiva per la caratterizzazione della circolazione dell'aria in sotterraneo	35
7.6. Rilievi presso Livello Cascine	41
7.7. Rilievi presso il Livello Ponente.....	47
7.8. Rilievi presso Ribasso Parina	51
8. Conclusioni.....	57

Documento di controllo e di sintesi

Lavoro:	\\hazannu\archivio\in_corso_2020\OLTRE IL COLLE_073_0720_Hat_Emi_monitoraggio_Rn222_RELAZIONI\OLTRE IL COLLE_073_1020_Hat_EMI_Monitoraggio_Rn222.docx
Stato:	Copia di lavoro
Responsabile di progetto:	Dr. Marcello de Angelis
Responsabile interno	Andrea Gritti
Titolo:	Monitoraggio gas radon presso i livelli Forcella, Piazzole, Ponente del comparto minerario di Oltre il Colle- Loc. Zorzone
Autore/i e coordinatori documento:	Andrea Gritti
Cliente:	Energia Minerals Italia S.r.l.
Contatto clienti:	Erika Belotti, Simone Zanin
Data di emissione:	22/11/2021
No. di copie:	1 PDF
Numero pagine:	61
Ultima stampa:	16/11/2021 16:38:00
Ultimo salvataggio:	Andrea Gritti
Trasmissione:	Email
Ulteriori informazioni:	Copia di lavoro

Relazione di sintesi	
Parole chiave	Gas radon, esposizione, dose
Riassunto	Indagini di rilevazione preliminare delle concentrazioni di gas radon e potenziale alfa, mediante dosimetria passiva e attiva con CR-39, Radon Mapper, lungo i Livelli Forcella, Piazzole Ponente del complesso minerario concessione Monica Oltre il Colle, Oneta, Gorno (Bg)

Garanzia di qualità					
Autore	Revisione tecnica	Edito	Versione documento	Approvato per emissione	
					Firma
Andrea Gritti	Fabio Plebani				

1. Premessa

Il gas radon, classificato come sostanza cancerogena, è causa diretta o indiretta di circa il 15% di tumori al polmone secondo i dati dell'Istituto Superiore della Sanità.

I radionuclidi delle famiglie radioattive naturali sono presenti nella crosta terrestre in tutte le rocce e nel suolo, in concentrazioni che dipendono dal tipo di formazione geologica, generalmente comprese fra 0,5 e 5 mg/kg. L'uranio, che genera il radio che a sua volta genera il radon attraverso il decadimento radioattivo, ha la tendenza a concentrarsi in alcuni tipi di roccia di origine vulcanica, e si trova spesso in concentrazioni elevate anche nelle rocce fosfatiche e sedimentarie. Non tutto il radon generato dal decadimento del radio nella roccia viene rilasciato nell'ambiente ma più i grani che costituiscono la roccia sono fini, maggiore è la possibilità di rilascio. Il radon, una volta uscito dalla roccia, può essere trasportato dai fluidi contenuti nel sottosuolo anche a grande distanza dall'origine.



Fonte: Regione Lombardia, Linee Guida prevenzione al gas radon

Quando fuoriesce dal terreno, dai materiali da costruzione e anche dall'acqua, nell'atmosfera tende a disperdersi rapidamente, mentre tende ad accumularsi negli

ambienti chiusi, raggiungendo concentrazioni pericolose per la salute, se i ricambi di aria non sono adeguati.

Il radon si diffonde all'interno degli ambienti chiusi a causa della differenza di pressione fra gli edifici e il suolo: l'aria calda che sale nella casa provoca negli scantinati e nei piani inferiori una lieve depressione dando così luogo a un'aspirazione dal suolo, il cosiddetto effetto "camino".

Oltre all'effetto camino, anche il vento o l'uso di dispositivi quali stufe, camini contribuiscono alla depressurizzazione dei locali e quindi all'ingresso del radon negli edifici. Il radon può penetrare nelle abitazioni attraverso fessure e giunti di muri e pavimenti, canalizzazioni degli impianti idraulici, elettrici e di scarico.

A fini preventivi risulta quindi opportuno, anche alla luce delle più recenti disposizioni in materia di prevenzione e tutela della salute, verificare la penetrazione e l'accumulo del gas Radon nelle abitazioni civili e nelle strutture pubbliche, con particolare riferimento ai luoghi di lavoro, di abitazione e/o di stazionamento.

A tal fine, dunque, con riferimento alle normative e alle linee guida vigenti, il committente ha ritenuto di provvedere a rilevazioni tecniche per la determinazione delle concentrazioni di gas radon negli ambienti delle gallerie minerarie di Oltre il Colle, affidandone l'incarico alla scrivente società Hattusas s.r.l.

Il piano d'indagine, ha previsto la rilevazione a cicli mensili mediante dosimetria passiva CR-39, accompagnata da rilevazioni puntuali mediante monitori attivi, impiegati sia per la misura delle concentrazioni di radon e dei principali parametri ambientali che ne regolano la concentrazione, completando il tutto con misure del potenziale alfa in aria.

2. Normativa di riferimento

Fino all'estate del 2020 la normativa nazionale in materia di radioprotezione era costituita dal **D.lgs 230/95 e s.m.i.** ed in riferimento all'esposizione al gas Radon prevedeva l'obbligo di misurazione da parte dell'esercente per quanto riguarda "particolari luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei" (*Capo III bis, Art.10 bis comma 1 lettera a) e Art.10 ter comma 1*).

Le misurazioni erano da intendersi fissate in termini di "concentrazione di attività di Radon media in un anno" (*Allegato 1 bis, comma 3*). Il livello d'azione era fissato in 500 Bq/m³ di concentrazione di attività di Radon in aria media in un anno (*Art.10 quinquies, comma 1 e Allegato 1 bis, comma 4, lettera a*)).

In data 12 agosto 2020 è stato pubblicato il **D.lgs 31 Luglio 2020 n. 101**, *Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117.*

A seguito dell'entrata in vigore del **D.lgs 31 Luglio 2020 n. 101**, che sostituisce il vecchio **D.lgs. 230/95 e s.m.i.**, tutte le valutazioni radioprotezionistiche devono necessariamente essere effettuate in conformità alla nuova normativa.

Il *Capo I del Titolo IV* del **D.lgs 31 Luglio 2020 n. 101** dettaglia i termini, le modalità e le prescrizioni in riferimento alla valutazione del rischio Radon nei luoghi di lavoro.

In particolare, al momento attuale e in attesa dell'approvazione del Piano Nazionale Radon e delle determinazioni esso conseguenti, le disposizioni del Decreto si applicano a tutti i luoghi di lavoro interrati (*Art. 16, comma 1, lettera a*)) per i quali viene fissato un livello di riferimento in termini di valore medio annuo della concentrazione di attività di Radon in aria pari a 300 Bq/m³ (*Art. 12, comma 1, lettera c*)).

L'esercente è tenuto a completare le misurazioni della concentrazione media annua di attività di Radon in aria entro ventiquattro mesi dall'inizio dell'attività (*Art. 17, comma 1, lettera a*)). Le misurazioni sono da effettuarsi a cura dell'esercente secondo le modalità indicate all'*Allegato II* del Decreto (*Art. 17, comma 6*). L'esercente è responsabile della corretta esecuzione della misurazione.

Qualora la concentrazione media annua di attività di Radon in aria non superi il livello di riferimento l'esercente elabora e conserva per un periodo di 8 anni un documento contenente l'esito delle misurazioni. Tale documento costituisce parte integrante del documento di valutazione del rischio di cui all'articolo 17, del D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81. L'esercente ripete quindi le misurazioni ogni 8 anni (*Art. 17, comma 2*) oppure in caso di interventi a livello dell'interfaccia edificio-suolo o per isolamento termico.

Qualora la concentrazione media annua di attività di Radon in aria superi il livello di riferimento, l'esercente è tenuto a porre in essere misure correttive intese a ridurre le concentrazioni al livello più basso ragionevolmente ottenibile. Dette misure sono completate entro due anni e sono verificate mediante nuova misurazione. L'esercente deve garantire il mantenimento nel tempo dell'efficacia delle misure correttive implementate e deve quindi ripetere le misurazioni ogni 4 anni (*Art. 17, comma 3*)).

Qualora le misure correttive non risultino efficaci nel ridurre le concentrazioni Radon rilevate, l'esercente effettua la valutazione delle dosi efficaci annue, avvalendosi dell'Esperto di Radioprotezione. Nel caso in cui le dosi efficaci siano inferiori a 6 mSv/anno (*Art. 12, comma 1, lettera d*)) l'esercente provvede a tenere sotto controllo le concentrazioni Radon e le dosi al personale tramite nuove misurazioni e valutazioni. Nel caso in cui le dosi efficaci siano inferiori a 6 mSv/anno l'esercente adotta i provvedimenti indicati al *Titolo XI* del Decreto, ossia provvede alla valutazione di rischio e alla classificazione dei lavoratori (*Art. 17, comma 4*).

Le valutazioni della dose efficace o dell'esposizione dei lavoratori sono effettuate secondo le modalità determinate all'*Allegato II* del Decreto (*Art. 17, comma 5*). Ai fini della valutazione della dose efficace annua si applica il fattore convenzionale di conversione $6,7 \cdot 10^{-9} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ (*ICRP 137*); in alternativa è possibile valutare la corrispondente esposizione integrata annua pari a $895 \text{ kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$ (*ICRP 137*).

In **sintesi**, la normativa può essere così riassunta:

Nuovi limiti di concentrazione media annua di Radon in aria (*Art. 12*):

- 300 Bq/m^{-3} per abitazioni esistenti e luoghi di lavoro
- 200 Bq/m^{-3} per abitazioni nuove, a partire da dicembre 2024

Obblighi di misura attualmente vigenti (*Art. 16 e Art. 17*):

- Luoghi di lavoro sotterranei
- Stabilimenti termali

Obblighi dell'Esercente (*Art. 17*):

- 1) **Misurazione della concentrazione media annuale** entro due anni dall'inizio attività o dalla pubblicazione dell'elenco delle Aree Prioritarie.
- 2) In caso di non superamento dei limiti, **ripetizione delle misure ogni 8 anni** o quando si svolgano lavori strutturali a livello di attacco a terra o interventi di miglioramento dell'isolamento termico.
- 3) In caso di superamento dei limiti, mettere in atto **entro due anni azioni di risanamento**, da verificare con **nuove misurazioni**. Per assicurare l'efficacia nel tempo delle azioni intraprese, **le misure sono da ripetere con cadenza quadriennale**. Eventuale prosecuzione dei monitoraggi e/o valutazioni di dose (Esperto di Radioprotezione) in caso di non efficacia delle azioni correttive applicate.

Nella programmazione e nell'esecuzione del lavoro, si è dunque tenuto conto delle normative vigenti in materia e delle note ed approfondimenti tecnici specifici; in particolare:

- D. Lgs. N° 101 del 31 luglio 2020 Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117.
- Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, "Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti ..." L13 17 gennaio 2014

- Legge 4 ottobre 2019, n. 117 Delega al Governo per il recepimento delle direttive europee e l'attuazione di altri atti dell'Unione europea - Legge di delegazione europea 2018. (19G00123) (GU n.245 del 18-10-2019) Vigente al: 2-11-2019. In particolare v. art. 20 "Principi e criteri direttivi per l'attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom".
- Ministero della Salute, 2002 - "Piano Nazionale Radon"
- Regione Lombardia, Direzione Generale Sanità, Decreto n. 12678 del 21.12.2011, "Linee guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor"
- Coordinamento delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano, Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei, 2003
- ISPESL "La presenza di Gas Radon nei luoghi di lavoro. Guida agli adempimenti", 2005
- Raccomandazioni e circolari Regione Lombardia, ARPA Lombardia e ASL Bergamo
- APAT, 2004 - "Linee guida per le misure di radon in ambienti residenziali"
- Castelluccio M. ed al., Università di Roma, 2012 - "La classificazione della pericolosità radon nella pianificazione territoriale finalizzata alla gestione del rischio".

3. Ubicazione dell'area di studio

L'area di studio è situata nel territorio comunale di Oltre il Colle, in Loc. Zorzone, in un contesto di gallerie minerarie esistenti, in parte e per alcuni tratti recuperate alle funzioni dei permessi di ricerca, rientranti nel più ampio areale corrispondente alla Concessione Monica, attualmente in capo alla Società e oggetto di procedura di rinnovo presso gli enti competenti.

La quota di riferimento varia in funzione dei livelli indagati, mediamente compresa tra 940 e 1070 m. s.l.m.

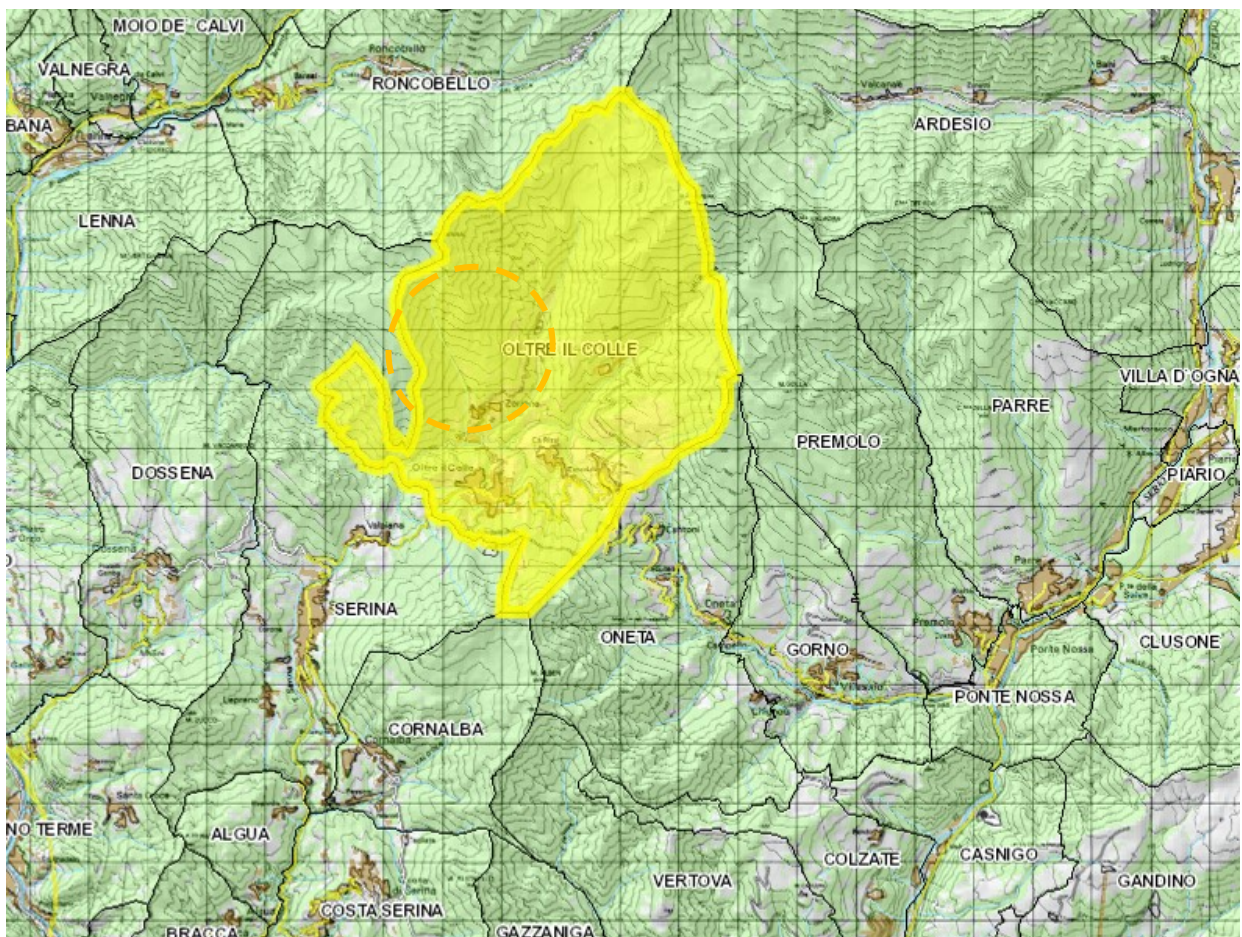


Figura 1- Ubicazione area di studio su cartografia CTR

4. Metodologie d'indagine

E' riconosciuto che la presenza e la migrazione del gas radon sono strettamente collegate alle caratteristiche del substrato geologico locale. Il riconoscimento delle aree a potenziale esposizione al radon dovrebbe dunque derivare anche e soprattutto da valutazioni di tipo geologico: queste dovrebbero dunque essere previste preliminarmente anche alla redazione dei piani urbanistici e nella progettazione di costruzioni pubbliche e private.

Il gas radon rappresenta un vero e proprio rischio geologico e pertanto ai fini della pianificazione territoriale le aree a rischio dovrebbero essere determinate non tanto – o non solo – su valutazioni indoor (misure eseguite all'interno delle abitazioni/edifici e luoghi di lavoro), ma sulla base dello studio e della verifica di indicatori geologici locali e da adeguate misure di concentrazione radon nel suolo.

Tra le molte esperienze descritte in pubblicazioni tecniche, si vogliono qui richiamare alcune considerazioni contenute nel "Rapporto sullo Stato dell'ambiente nella Provincia di Sondrio", in quanto esplicative del significato e dell'effettiva applicabilità del metodo per la rilevazione delle concentrazioni di gas radon nel suolo in funzione dell'assetto geologico locale: "Gli studi condotti negli ultimi decenni hanno messo in evidenza che la sorgente primaria di Radon nelle abitazioni è costituita dal suolo su cui è ubicato l'edificio, in quanto la geologia del territorio è determinante nella formazione del gas, nella concentrazione e nella sua migrazione verso l'atmosfera. Le campagne di misura effettuate negli ambienti indoor spesso non sono risultate sufficientemente rappresentative delle condizioni di rischio locali, perché fortemente condizionate dalle tipologie edilizie degli edifici e dagli stili di vita degli abitanti (...). Dall'esame dei dati ottenuti emerge che il modello previsionale consente di individuare le aree a maggiore probabilità di elevate concentrazioni di Radon e quelle con concentrazioni modeste."

5. Scopo del lavoro

In dettaglio il piano d'indagine prevede una campagna di misure delle concentrazioni di gas radon in aria, mediante dosimetria passiva CR-39 sviluppata su diverse fasi mensili fino a coprire l'arco temporale di 1 anno.

Il posizionamento dei dosimetri riguarda nello specifico i tre livelli attualmente interessati dai lavori, nell'ordine: Livello Forcella, Livello Piazzole e Livello Ponente. A coadiuvo delle rilevazioni passive, vengono effettuate con periodicità variabile in funzione delle attività di cantiere, delle rilevazioni mediante strumentazione attiva radon mapper utilizzando la tecnica dello sniffing. La strumentazione attiva viene impiegata per misure puntuali con campionamento attivo mediante pompa e per misure sull'arco temporale di diversi giorni per lo più localizzate in prossimità delle piazzole di lavoro, dove si prevede un' maggiore stazionamento del personale sull'arco del turno lavorativo. In affiancamento alle rilevazioni attive e passive del gas radon vengono misurate con cadenza periodica velocità; direzione e temperatura dei flussi d'aria interni al comparto delle gallerie minerarie, che certamente vanno ad influenzare le concentrazioni di gas radon nel corso delle diverse stagioni. Il modello interno di circolazione dell'aria è a sua volta

Lo scopo del presente lavoro è dunque quello di rilevare le concentrazioni di radon a lungo termine come previsto dalla normativa sui luoghi di lavoro, definire un modello di circolazione dei flussi d'aria a sua volta regolato dal sistema P-T, indirizzare l'impresa proponente e gli appaltatori nelle scelte puntuali riguardanti i sistemi di mitigazione delle concentrazioni, che essenzialmente consistono in sistemi direzionamento di flussi d'aria controllati dall'esterno verso l'interno.

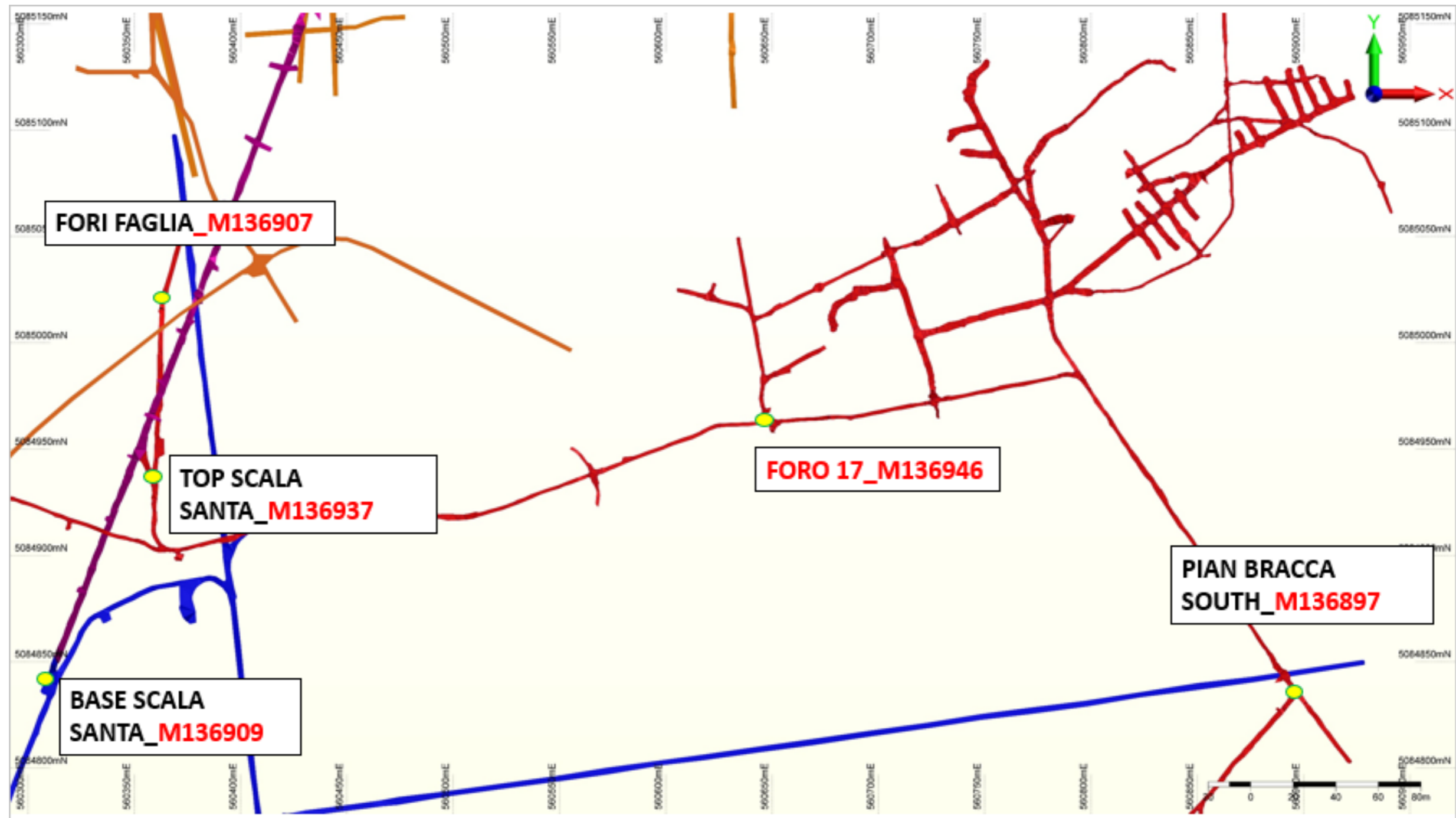


Figura 2- Distribuzione punti di campionamento dosimetri passivi CR-39 a Livello Forcella-Piazzole (1°Periodo)

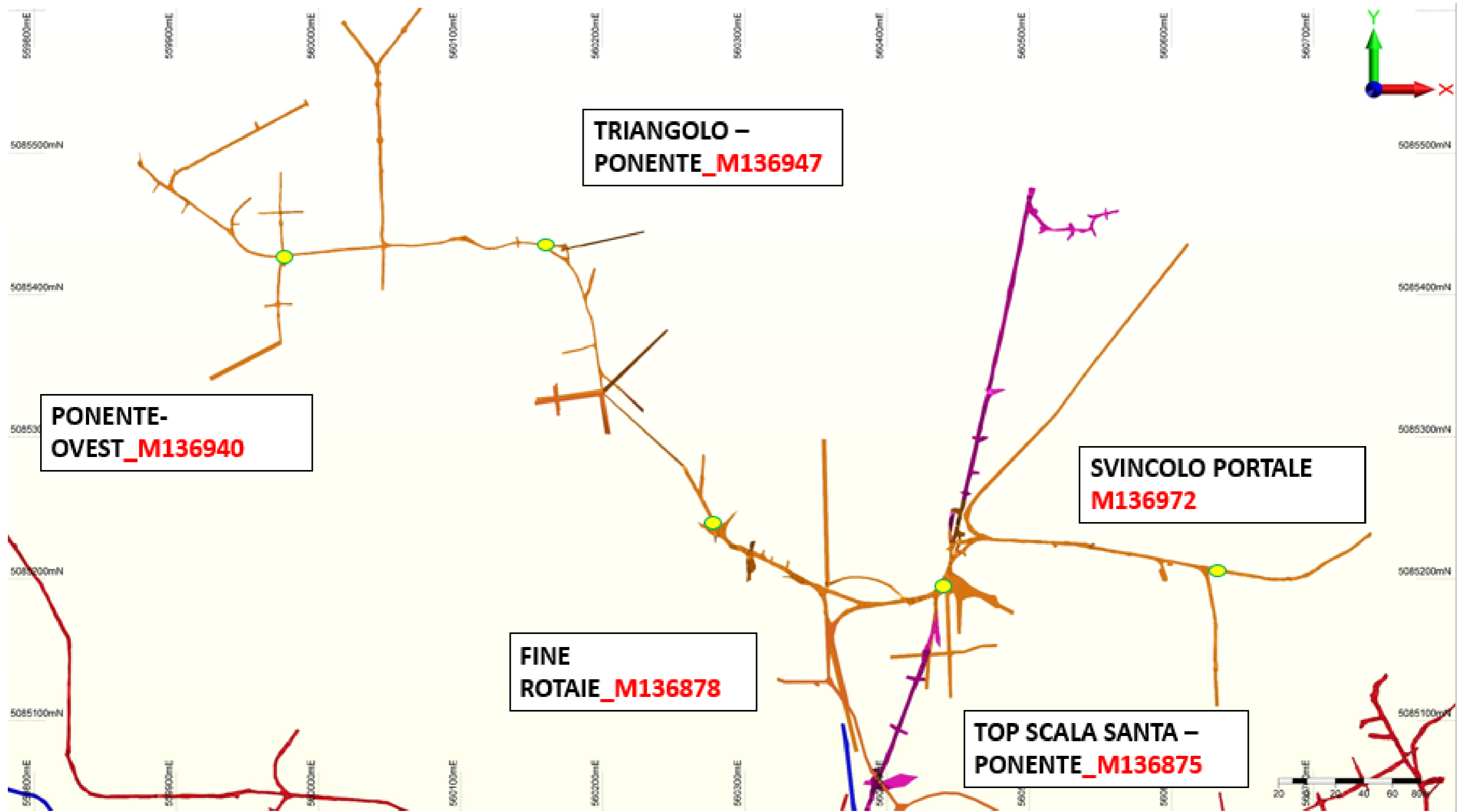


Figura 3- Distribuzione punti di campionamento dosimetri passivi CR-39 a Livello Forcella-Piazzole (1° Periodo)

6. Tecniche di misura

6.1. Dosimetria Attiva

Il Radon Mapper di un campionatore attivo in grado di rilevare le concentrazioni radon anche mediante sniffing, in grado di comunicare direttamente con l'operatore mediante connessione wi-fi e di elaborare in tempo reale informazioni mediante grafici dinamici esportabili e consultabili via web. Lo strumento oltre ai "conteggi" con scansione temporale variabile delle concentrazioni radon, misura contemporaneamente, mediante sensori interni, i parametri ambientali di riferimento che influenzano direttamente le concentrazioni di radon quali Pressione (**P**), Temperatura (**T**) e Umidità (**U**).

Le tecniche d'indagine impiegate sono rispettivamente lo "sniffing", che prevede l'impiego della cella di lucas con pompa attiva a basso flusso su una finestra temporale variabile di 15-20 minuti vengono registrati i conteggi ogni minuto, il valore rilevato viene poi mediato ogni 5 minuti e successivamente viene restituito un valore finale medio corretto in percentuale per l'equilibrio dei figli del ^{222}Rn . Questa tecnica consente di ottenere in breve tempo un valore corretto da un punto di vista fisico e puntuale. La seconda tecnica impiegata prevede l'esposizione del monitore attivo direttamente in postazione, per un periodo prolungato di diversi giorni. La strumentazione registra istantaneamente i valori di concentrazione, pressione, temperatura ed umidità, con restituzione grafica dei dati. La tecnica consente di fare valutazioni sulla variabilità delle concentrazioni e dei fattori che la influenzano, nonché ipotizzare eventuali correttivi sulla ventilazione.

6.2. Dosimetria passiva

Il dosimetro **CR-39 "Radout"**, interamente progettato e predisposto dal laboratorio **Mi.AM**, partner di Hattusas, "consiste in un telaio di plastica conduttiva che racchiude un rivelatore di particelle alfa (...). Le particelle alfa, dovute al decadimento del radon e dei suoi figli, danneggiano la struttura del rivelatore creando delle "tracce". Il numero delle tracce è proporzionale alla presenza di radon nell'ambiente. Dopo il trattamento chimico il rivelatore viene letto tramite il sistema di analisi dell'immagine POLITRACK™, messo a punto da Mi.am in collaborazione con il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano. Il dispositivo viene fornito sigillato in una busta di materiale impermeabile al radon che ne garantisce la conservazione fino al momento dell'esposizione. La misura ha inizio aprendo la busta" (www.miam.it).

I dosimetri CR-39 vengono posizionati in diversi luoghi dell'ambiente oggetto di monitoraggio per una durata variabile. In seguito i dosimetri vengono inviati per l'analisi (la cosiddetta «determinazione della concentrazione del radon») al servizio di misurazione. L'esposizione misurata viene espressa in Becquerel per mc di aria (Bq/mc).



Figura 4 - Dosimetri radon passivi (Mi.am)

Tali tracce vengono quindi contate con metodi ottici o elettrici e, in funzione del tempo di esposizione, si determina la concentrazione media di Radon durante l'esposizione del rivelatore. I tempi di esposizione possono essere da 6 mesi fino anche ad un anno, per cui tale tecnica ben si presta alla determinazione di concentrazione media annuale, misura a cui la concentrazione deve essere rapportata come espressamente previsto dalla legge (alcuni Organismi di controllo impongono una esposizione del dosimetro non inferiore ai 12 mesi). La valutazione è di esclusiva competenza dell'esperto qualificato.

In sintesi, più alto è il numero di tracce, più atomi sono decaduti nel dosimetro durante il periodo di misurazione. Più decadimenti hanno avuto luogo, più atomi di radon si trovano nei locali e più alta è la concentrazione del radon stesso.

Nella valutazione della variazione del livello di radon in funzione del periodo occorre tenere presente che sono diversi i fattori che influenzano il monitoraggio ed in particolare:

- di notte la concentrazione di radon è maggiore che di giorno
- d'inverno la concentrazione di radon è maggiore che d'estate.

Ecco perché è necessario ripetere il monitoraggio in diversi momenti dell'anno oppure far durare il campionamento per 12 mesi. È possibile utilizzare dei fattori di conversione per ciascun mese dell'anno, ma visto che il livello di radon varia in maniera non necessariamente omogenea, si tratta di un espediente non totalmente affidabile.

Tempi lunghi inoltre consentono di livellare maggiormente i comportamenti soggettivi nell'utilizzo degli ambienti stessi, quale:

- maggior utilizzo di un ambiente rispetto ad un altro,
- condizioni meteo più omogenee rispetto a sbalzi di temperatura esterna che possano influire nei ricambi d'aria (finestre aperte/finestre chiuse, riscaldamento interno, condizionamento interno, ecc.),

- situazioni estemporanee che inducono a tenere chiusi gli ambienti con conseguente minor ricambio d'aria,
- che comunque condizionano la misurazione, falsando il risultato finale della rilevazione.

Sono state quindi eseguite analisi radon effettuate con il sistema di misura Mi.am secondo le specifiche tecniche di seguito elencate. La posa e il recupero dei dosimetri sono stati effettuati a cura dei sottoscritti, che hanno altresì comunicato le date di inizio e fine esposizione.

Mi.am

Tipo dosimetro: CR-39

Min. esposizione rilevabile (MER): 20 kBqh/m³

Sistema di analisi: Politrack™

Taratura svolta presso: CESNEF/BFS

6.3. Misure potenziale alfa

Congiuntamente alle letture mediante Radon Mapper, sono state effettuate anche letture mediante spettrometro alfa MEAP V Algade®. Attraverso lo spettrometro alfa viene determinato il volume di energia potenziale alfa (EAPv) dalla misurazione del numero di decadimenti alfa radionuclidi raccolti su un filtro ad alta efficienza.

Dopo aver fermato il campionamento, le concentrazioni di trasmettitori diversi vengono calcolati dalle leggi di decadimento radioattivo e da conteggi ripetuti a i tempi impostati dall' algoritmo utilizzato.

Per la tracciabilità delle misurazioni, MEAP V integra a spettrometro alfa. Gamma di energia da 0 a 10 MeV in 128 canali, risoluzione 0,1 MeV

Lo strumento esegue un conteggio alfa globale di aerosol radioattivi decrescenti di breve durata del radon, preso da un filtro, attraverso due metodi di misurazione basati sulle leggi del decadimento radioattivo; attraverso l'uso di una pompa a palette, viene generato un flusso privo di pulsazioni.

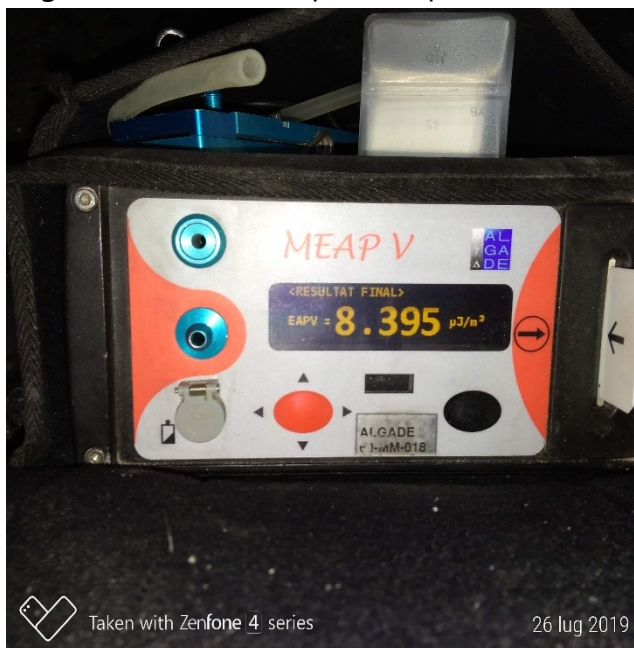


Figura 5- Strumentazione MEAP V utilizzata per il campionamento



Figura 6-Spettrometro MEAP-V per la misura del potenziale alfa in affiancamento a Radon Mapper per la lettura in continuo di ^{222}Rn .



Figura 7- Rilevazioni in galleria mediante radon mapper

6.4. Misure concentrazione di Rn₂₂₂ in acqua

Per la determinazione del Radon si è proceduto alla raccolta del campione in bottiglia tipo Duran da 250 ml, che è stato successivamente sottoposto ad analisi in conformità alla norma ISO 13164-3. I valori di radioattività misurati sono:

Campione "Forcella" = 9 Bq/l

I valori misurati¹ sono molto al di sotto del valore di riferimento (RIF 100 Bq/l), pertanto si può escludere il contributo alla Dose totale dovuto a questo radionuclide, inoltre si può osservare che il suo contributo alla concentrazione di attività alfa totale è al massimo di $\frac{1}{4}$ del valore totale.



¹ L'incertezza è riportata sul rapporto di analisi.

7. Risultati

7.1. Rilievi passivi su base annuale

Nella tabella riportata in seguito sono riportati i valori della dosimetria passiva rilevati durante complessivi 11 cicli di misura completati.

	inizio misura	fine misura	durata GG
1° periodo	07/08/2020	11/09/2020	35
2° periodo	15/09/2020	27/10/2020	42
3° periodo	27/10/2020	03/12/2020	37
4° periodo	03/12/2020	14/01/2021	42
5° periodo	14/01/2021	04/02/2021	21
6° periodo	04/02/2021	11/03/2021	35
7° periodo	11/03/2021	07/04/2021	27
8° periodo*	09/04/2021	11/05/2021	32
9° periodo*	11/05/2021	14/06/2021	34
10° periodo*	14/06/2021	23/07/2021	39
11° periodo*	23/07/2021	23/08/2021	31

Figura 8- Tabella rilievi su base annuale

Livello	Posizionamento	1° per.	Co		Inc		Co		Inc		Co		Inc		Co		Inc		Co		Inc		Co		Inc		Co		Inc		Co		Inc		Media conc. Radon (Bq/m³)
			(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)	(Bq/m³)		
Ponente	Ponente Top Scala Santa	M136875	613	102	M136892	1358	208	M136874	1191	188	M136922	753	120																					1019	
Ponente	Ponente fine rotaie	M136878	1945	296	M136871	2211	333	M136894	906	147	M136898	864	136																					2090	
Ponente	Ponente triangolo	M136947	1313	204	M136910	2663	339	M136951	1946	284	M136923	1418	217																					2071	
Ponente	Ponente Ovest 1																																	2186	
Ponente	Ponente Ovest	M136940	2090	317	M136882	2923	437	M136911	1989	305	M136922	1267	195	M136933	1135	214	M136920	1989	302	M136966	2733	414	M153509	2170	330	M153563	2028	308	M153589	1485	228	M163937	1722	255	1805
Ponente	Ponente Svincolo portale	M136972	724	118	M136877	732	117	M136932	484	86																								583	
Ponente	Svincolo DH PO 01										M136928	2144	323	M136925	2250	347	M136926	1884	287	M136917	5514	821													2817
Ponente	Foro DH PO01																																	4490	
Ponente	Foro DH PO14																																	4923	
Ponente	BASE MALANOTTE																																	676	
Piazzole	Piazzole Foro 17	M136946	1998	304	M136939	1652	251	M136908	1300	201	M136964	712	114																						1809
Piazzole	Piazzole Foro 50																																		1188
Piazzole	Piazzole Fori faglia	M136907	1139	190																															518
Piazzole	Piazzole Ovest																																		691
Piazzole	Piazzole South	M136897	2915	438				M136973	1108	173	M136941	186	30	M136949	206	54	M136949	642	106	M153495	818	135													1325
Piazzole	Piazzole Top Scala Santa	M136937	2029	308	M136903	1777	269	M136956	1039	163	M136885	278	51	M136924	298	65	M136965	461	80	M153556	670	114	M153593	950	152	M153549	1745	267	M153567	1818	276	M164039	1822	269	1102
Piazzole	Piazzole North				M136921	1887	285	M136900	1550	237	M136953	409	70																						1271
Piazzole	Piazzole East				M136884	2172	327	M136961	1559	239	M136930	488	81																						1400
Piazzole	Piazzole svincolo uscita																																		471
Piazzole	Piazzole uscita																																		641
Forcella	Forcella Base Scala Santa	M136909	1344	208	M136902	1358	208	M136927	704	114	M136879	202	40	M136936	210	54	M136915	329	61	M153564	549	96	M153789	772	126	M153585	1068	168	M153796	1135	177	M164236	1421	213	780
Forcella	Forcella Foro 33							M136969	993	156	M136935	138	31																						593
Forcella	Forcella V02/940																																		1534

Tabella 1- Quadro sinottico risultati dosimetria passiva per fasi con indicazione del valore medio (verde).

I Gli esiti delle rilevazioni mediante dosimetria passiva Cr-39, evidenziano valori sostanzialmente elevati presso tutti i livelli oggetto di rilevazione, anche se con alcune differenze con valori inferiori, correlati alla collocazione dei dosimetri lungo tratti delle gallerie più prossimi ai portali d'ingresso e interessate dai flussi di aria. Nello specifico si è notato come nei mesi invernali le gallerie dei livelli bassi, interessate da flussi di aria pulita in entrata dal portale Forcella presentava valori al di sotto del livello di azione di 300 Bq/mq, mentre nel periodo estivo i flussi di aria in uscita, pertanto aria carica di radon, risultano quasi 10 volte più elevati di quelli invernali. Al contrario nei mesi estivi le gallerie dei livelli più alti presentano valori buoni con medie anche al di sotto del livello d'azione.

Invece tutte le gallerie lontane dagli imbocchi, in aree poco ventilate come quelle a livello Ponente, si è visto che i valori di radon non risentono delle condizioni esterne ma restano sostanzialmente alti per tutta la durata del monitoraggio.

Questo andamento è ben evidenziato nel grafico di seguito, dove si riportano i valori di concentrazione registrati sui tre livelli in corrispondenza dei punti fissi.

E' evidente come le concentrazioni per i livelli di Forcella e Piazzole abbia un'inflessione in corrispondenza dei mesi invernali per poi aumentare gradualmente nei mesi estivi, mentre il livello Ponente rappresentato dal punto di rilevazione denominato ' Ponente Ovest' invece non risenta in maniera evidente delle condizioni esterne, mantenendo comunque valori alti.

Nei grafici successivi si può apprezzare l'andamento delle concentrazioni su base mensile per il periodo complessivo di rilievo, con raffronto dei tre livelli indagati (Figura 10) e andamento sempre su base mensile per i tre livelli singoli (Figura 10, Figura 11 e Figura 12).

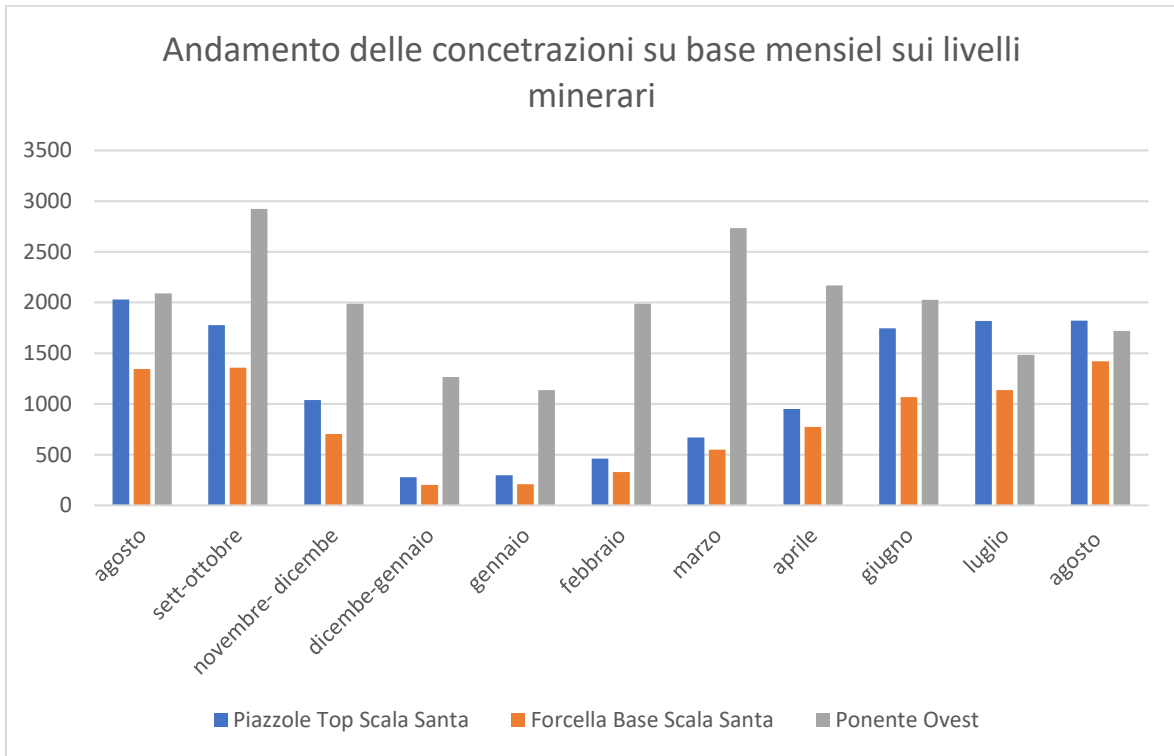


Figura 9- andamento delle concentrazioni su base mensile per i tre livelli minerari indagati

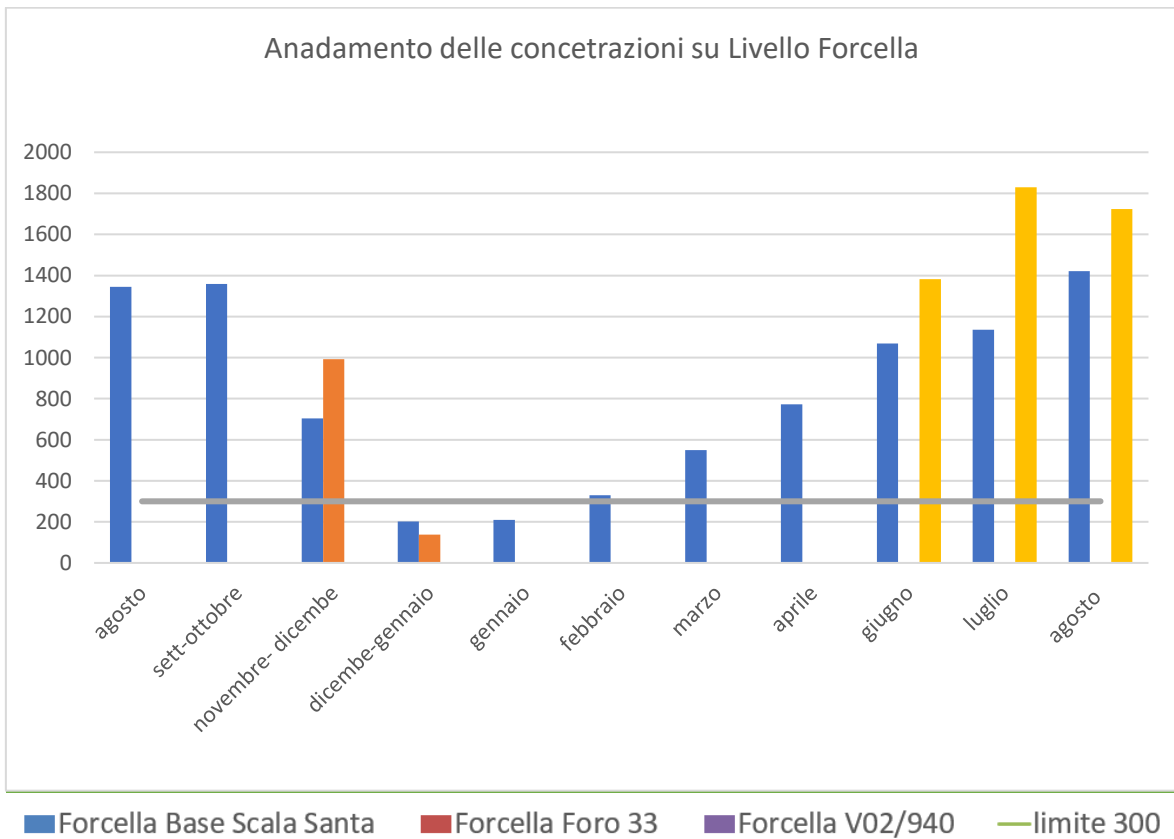


Figura 10- Andamento della concentrazione su base mensile Livello Forcella

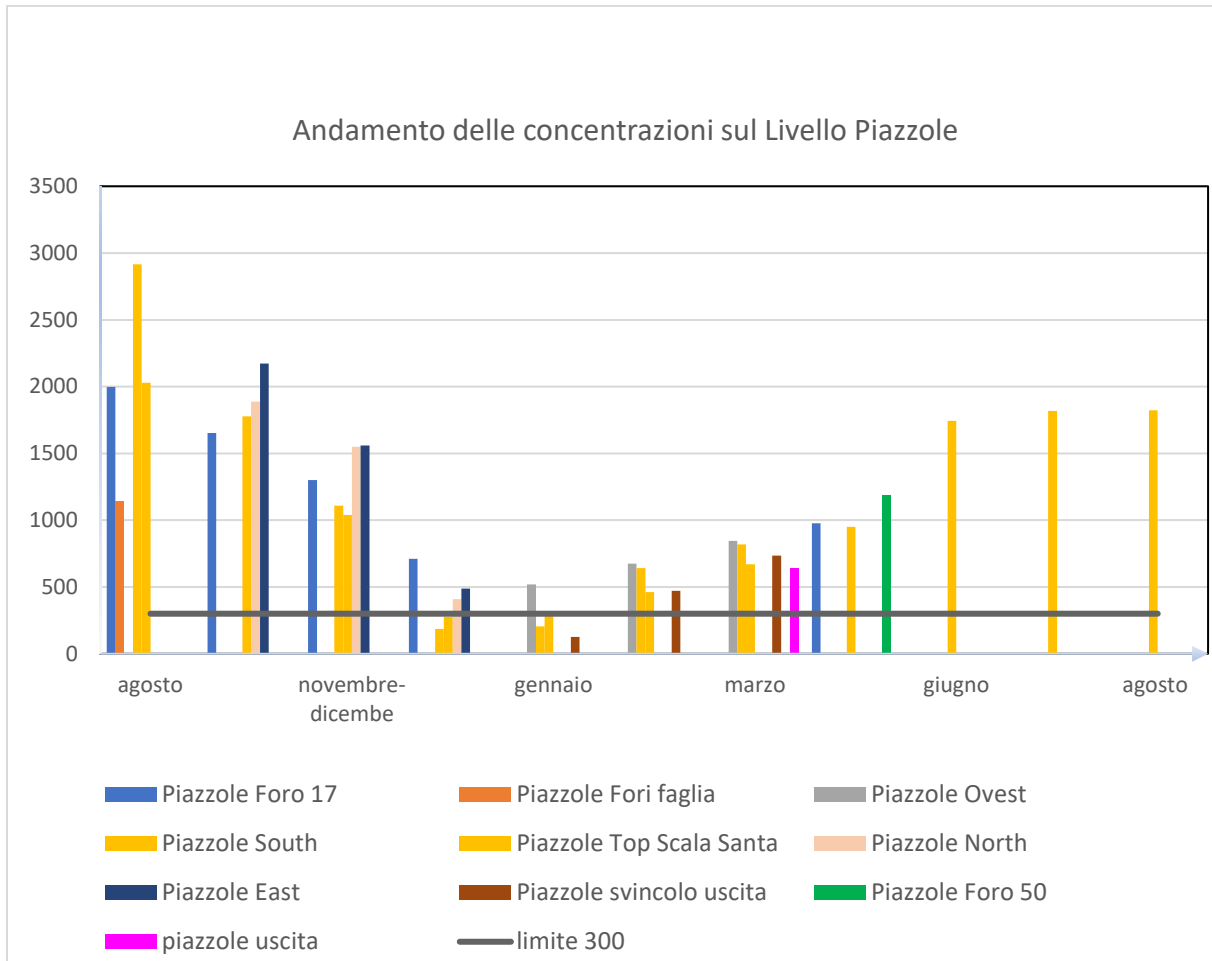


Figura 11- Andamento delle concentrazioni su base mensile Livello Piazzole

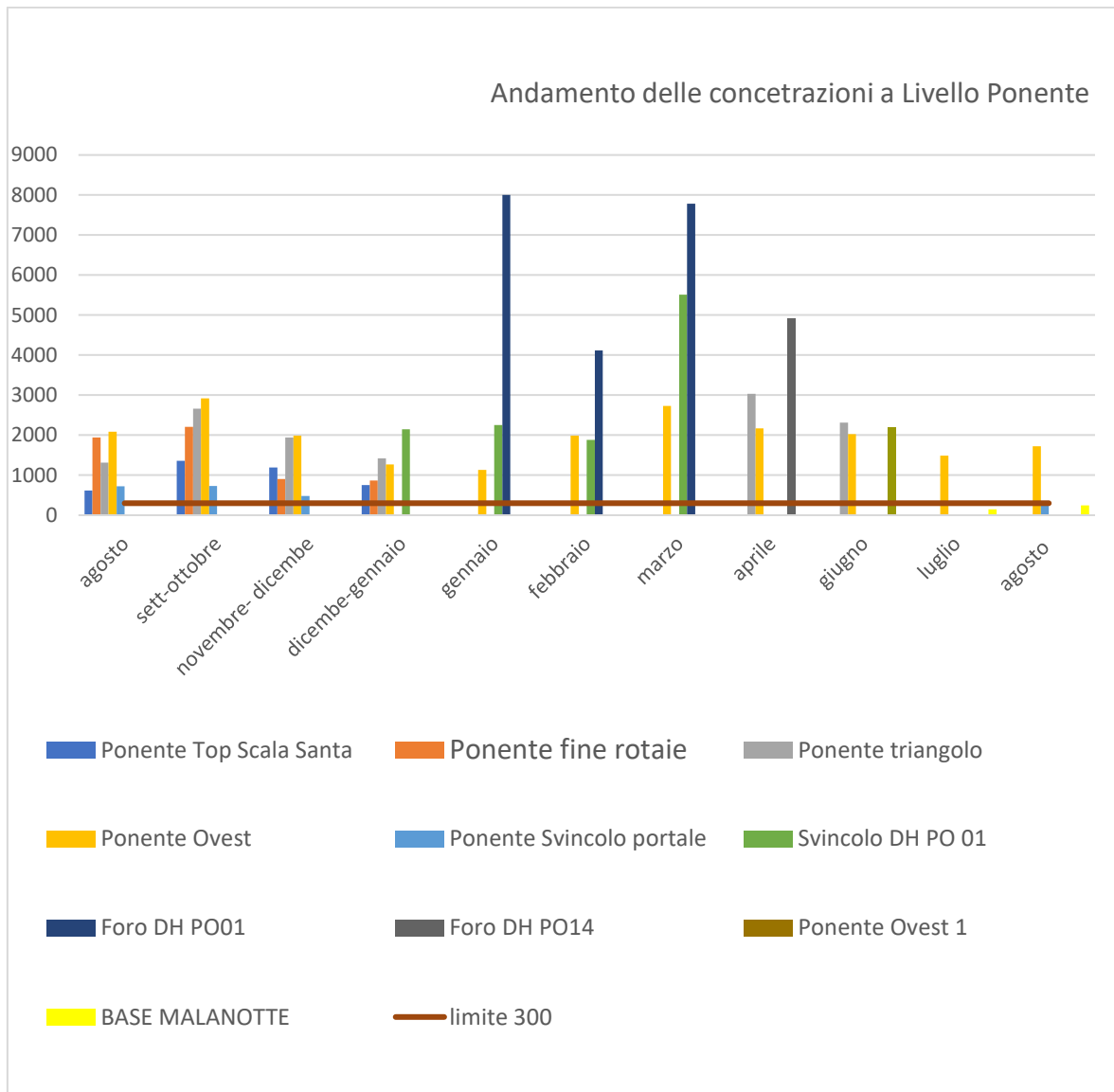


Figura 12- Andamento delle concentrazioni su base mensile a Livello Ponente

Di seguito le considerazioni dell'analisi dei singoli cicli con lo scopo di spiegare le variazioni, in alcuni casi, delle concentrazioni rilevate. .

Il primo ciclo copre lo spazio temporale che va dal 7 /8 al 11/9 del 2020 ed è caratterizzato da valori elevati su tutti i livelli; la conferma che il flusso d'aria con direzione in entrata dal Portale Malanotte possa determinare concentrazioni di Radon con valori elevati nei livelli bassi, in questo caso Piazzole e Forcella, è

avvalorata dal confronto con i risultati dell'undicesimo ciclo relativo al mese di agosto 2021.

Il secondo e terzo ciclo di misura sono sostanzialmente influenzati dalle generali condizioni di stasi atmosferica, preludio all'inversione della circolazione dell'aria tipico dei mesi invernali con dati in incremento del livello Ponente, probabilmente dovuti all'inversione di circolazione d'aria, che superata la fase di stasi o semi-equilibrio autunnale, sia entrata nella sua fase invernale.

Il 4° e 5° ciclo invece hanno evidenziato una netta riduzione delle concentrazioni dovute all'abbassamento delle temperature tipiche in pieno regime invernale. Per questo motivo si è decisa la sospensione totale del ventilatore posto lungo la Scala Santa e invece installare un sistema ad aria compressa sulle postazioni di lavoro nelle aree di Ponente chiaramente non interessate dai flussi di aria, con concentrazioni molto alte.

Con il passaggio progressivo alla stagione primaverile anche l'andamento delle concentrazioni inizia la sua fase di crescita con graduale incremento evidenziato dal 6°, 7° e 8° ciclo, mentre il 9° ciclo vede il concludersi dell'inversione della ventilazione con un decisivo incremento delle concentrazioni nei livelli Forcella e Piazzole mentre un leggero decremento delle stesse a livello Ponente. Il 10° e 11° ciclo mostrano lo stabilizzarsi delle concentrazioni per il livello Piazzole e Forcella a valori elevati, in contrapposizione con i valori di Ponente.

7.2. Determinazione della concentrazione di attività

Su incarico della ditta Edilmac appaltatrice dei lavori di ricerca mineraria, nel maggio del 2016, sono state effettuate analisi su tre campioni di roccia, rappresentativi dei tre litotipi principali presenti in miniera.

L'indagine è stata condotta dal Politecnico di Milano in spettrometria gamma ad alta risoluzione con sistema al Germanio iperpuro (HPGe), per la determinazione della concentrazione di attività di U-238, Th-232 e K-40. Di seguito si riporta il prospetto riassuntivo delle indagini, da cui emerge come nel complesso il minerale presente non contiene più dell' 1% in peso di uranio e /o torio e dunque da questo punto di vista il personale non è classificato come esposto.

Campione	Concentrazione attività U-238 (Bq/kg)	U-238 % in peso	Concentrazione attività Th-232 (Bq/kg)	Th-232 % in peso
Val Sabbia	14±3	0,0001	31±2	0,0008
Breno	33±11	0,0003	< 5	<<0,001
Gorno	55±28	0,0005	40±3	0,0010
Fronte minerario	72±13	0,0006	70±3	0,0017

Figura 13- Estratto schematico delle analisi condotte presso il Politecnico di Milano (Fonte Società EDILMAC 2016)

7.3. Determinazione potenziale alfa

In considerazione della particolarità degli ambienti oggetto di rilevazione, unitamente alle specifiche attività previste dai lavori con la movimentazione tra l'altro di materiale roccioso, consente di ipotizzare che il fattore convenzionale di conversione Radon/Dose, potrebbe essere decisamente sottostimato.

Il fattore di equilibrio $F_c = 0,4$ del radon con la progenie in aria potrebbe dunque non essere sufficientemente cautelativo, causa presenza di polvere, umidità ecc., come per altro già evidenziato dal Politecnico di Milano (report Edilmac 2016).

Di seguito si riportano i valori ottenuti con la strumentazione MEAP V e i relativi calcoli del Coefficiente di Equilibrio.

Risultato MEAP V	EEC	Conc. Radon Misurata	Coeff. Equilibrio F	Rateo Dose da PAEC	Rateo Dose Convenzionale
PAEC ($\mu\text{J}\cdot\text{m}^{-3}$)	$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$	$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$	misurato	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$
9,251	1663,848 921	1500	1,109232614	12,951	4,500
12,18	2190,647 482	1500	1,460431655	17,052	4,500
0,619	111,3309 353	2300	0,048404754	0,867	6,900
8,395	1509,892 086	2500	0,603956835	11,753	7,500

3,00E-09	$\text{Sv}/\text{Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$	Fattore convenzionale di dose: dose efficace per unità di esposizione a concentrazione di gas Radon.
1,4	$\text{Sv}/\text{J}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$	Fattore convenzionale di conversione: dose efficace per unità di esposizione ad energia potenziale alfa (PAEC).
5,56E-09	$\text{J}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}/\text{Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$	Coefficiente di conversione: esposizione in J h m^{-3} (PAEC) per esposizione unitaria a concentrazione Radon equivalente all'equilibrio (EEC).
0,386		Fattore di equilibrio convenzionale: rapporto tra EEC e concentrazione Radon misurata.

7.4. Misurazioni attive mediante radon mapper

Le misurazioni attive hanno previsto misure attive mediante “sniffing” svolte durante le diverse ricognizioni di posa e ritiro dei monitori passivi. Ulteriori misure con cicli temporali più lunghi sono state effettuate in corrispondenza delle piazzole di lavoro, impiegando il monitor in continuo per più giorni consecutivi, nel tentativo di registrare le fluttuazioni delle concentrazioni che sembrano influenzare le misure, durante le diverse fasi legate alle variazioni di P-T in esterna.

Rapporto di prova
Norma di riferimento
Data di Emissione
Descrizione
Inizio registrazione
Fine registrazione
Tecnico responsabile
Localizzazione
Cliente
Località

Hat/04/20
Procedura interna
02-nov-20
Misure puntuali con monitor attivo
27/10/20 9.30 AM
27/10/20 9.15 AM
Dr. Andrea Gritti
Piazzole South
Energia Minerals
Oltre il Colle (Bg)

PROVA	LIMITE STABILITO D.Lgs. 101/2020	CONCENTRAZIONE MEDIA (Bq/m3)	INCERTEZZA (K=2) (Bq/m3)	LIMITE E FONTE	METODICA DI ANALISI
Radon (Rn)	300 Bq/m3	103	/		/

Figura 14- Misura attiva Piazzole South

Rapporto di prova
Norma di riferimento
Data di Emissione
Descrizione
Inizio registrazione
Fine registrazione
Tecnico responsabile
Localizzazione
Cliente
Località

Hat/05/20
Procedura interna
02-nov-20
Misure puntuali con monitore attivo
27/10/20 11.00 AM
27/10/20 11.15 AM
Dr. Andrea Gritti
Foro 33 Livello Forcella
Energia Minerals
Oltre il Colle (Bg)

PROVA	LIMITE STABILITO D.Lgs. 101/2020	CONCENTRAZIONE MEDIA (Bq/m3)	INCERTEZZA (K=2) (Bq/m3)	LIMITE E FONTE	METODICA DI ANALISI
Radon (Rn)	400 Bq/m3	355	/		/

Figura 15- Misura attiva livello Forcella Foro 33



Figura 16- Misurazione in continuo mediante sniffing Piazzole South

Rapporto di prova
Norma di riferimento
Data di Emissione
Descrizione
Inizio registrazione
Fine registrazione
Tecnico responsabile
Localizzazione
Cliente
Località

Hat/06/20
Procedura interna
02-nov-20
Misure puntuali con monitore attivo
27/10/20 11.00 AM
27/10/20 11.15 AM
Dr. Andrea Gritti
Livello Ponente
Energia Minerals
Oltre il Colle (Bg)

PROVA	LIMITE STABILITO D.Lgs. 101/2020	CONCENTRAZIONE MEDIA (Bq/m3)	INCERTEZZA (K=2) (Bq/m3)	LIMITE E FONTE	METODICA DI ANALISI
Radon (Rn)	400 Bq/m3	1657	/		/

TEMPO DI REGISTRAZIONE	VALORE RILEVATO	VALORE CORRETTO	FLUSSO POMPA
5'	885	1580	LOW
10'	1107	1729	LOW
15'	1113	1661	LOW

Figura 17- Misura attiva Livello Ponente

Due monitori radon mapper sono stati impiegati per misure di lungo periodo in corrispondenza delle piazzole di lavoro, rispettivamente Foro 33 (Livello Forcella) e Piazzole South (Livello Piazzole), con la seguente scansione temporale:

Posizione	Inizio	Fine	Giorni
Foro 33	19/11/2020	03/12/2020	16
Piazzole South	25/11/2020	03/12/2020	9



Figura 18_ Predisposizione Radon Mapper per i rilievi in Postazione Foro 33

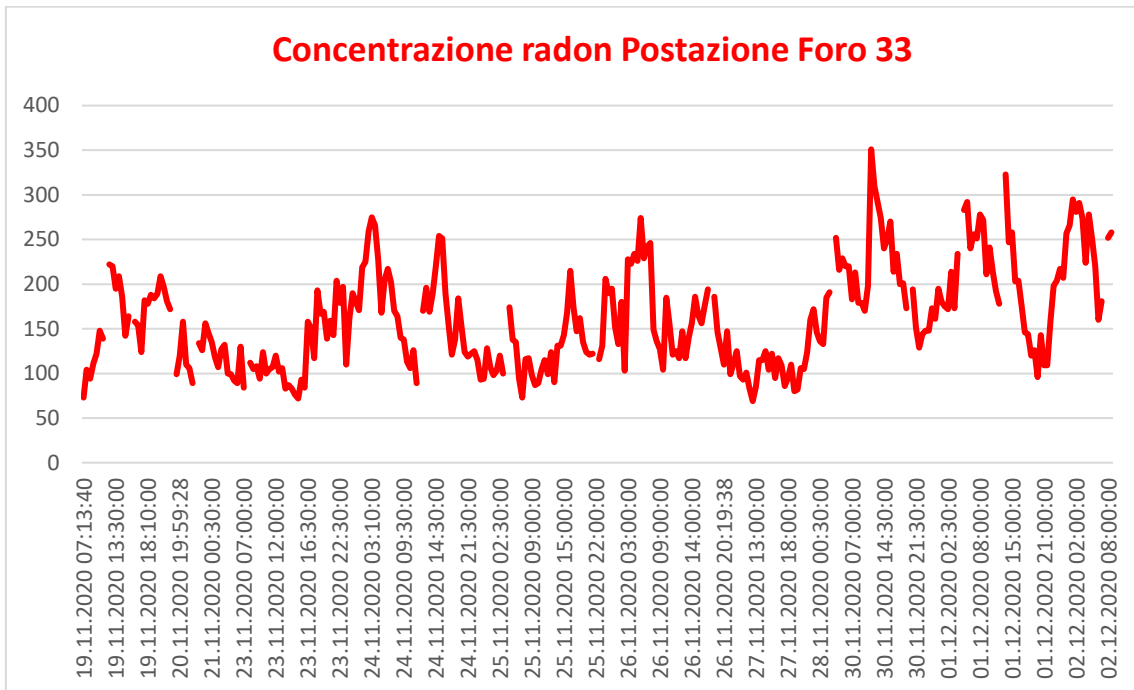


Figura 19- Grafico andamento delle concentrazioni radon rilevate in continuo presso il Foro 33 nel periodo considerato (scansione temporale 30').

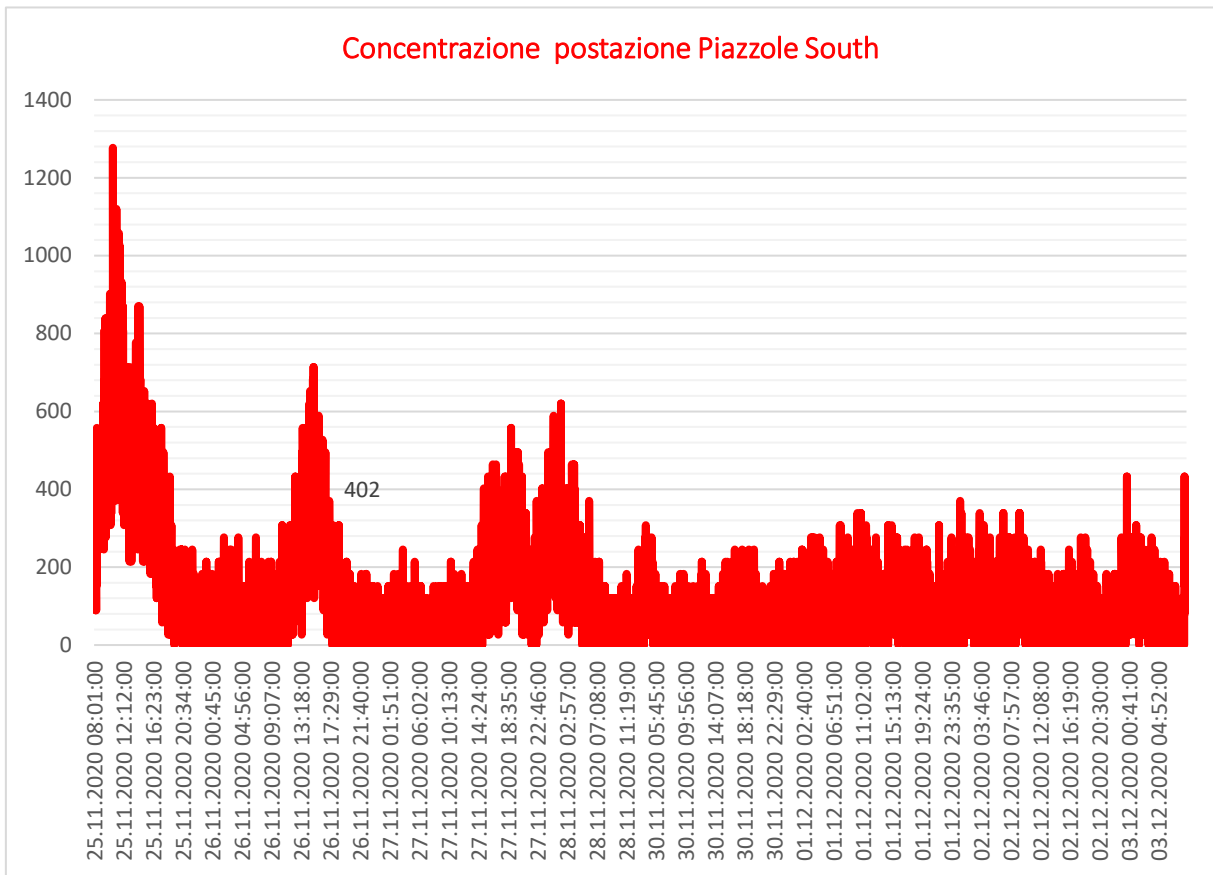


Figura 20- Grafico andamento delle concentrazioni radon rilevate in continuo sulla postazione Piazzole South per il periodo considerato (scansione temporale 1')

Il rapido esame dei dati graficati mostra per il Foro 33 una marcata fluttuazione delle concentrazioni, senza rilevare sia nella mediana che sulla tendenza, valori particolarmente elevati.

Il grafico in Figura 9, pone in evidenza valori generalmente più elevati con picchi di rilievo nel primo periodo, per poi contenersi entro valori piuttosto stabili, tutti comunque entro i valori limite indicati a livello normativo. Il raffronto con i dati della dosimetria indica un disallineamento sui dati, legato ad una scansione temporale del periodo di esposizione del radon mapper troppo breve se commisurato al singolo ciclo mensile dei monitori Cr-39, che non ha avuto modo di rilevare l'andamento fluttuante delle concentrazioni.

7.5. Rilievi con strumentazione attiva per la caratterizzazione della circolazione dell'aria in sotterraneo

Il deflusso dell'aria naturale passa principalmente attraverso la scala santa ovvero una rimonta che collega i vari livelli, partendo dal liv. Forcella a 940 m al Livello Malanotte a 1150m. L'aria in funzione della stagione entra o esce dal Portale Forcella e raggiunge la scala santa che, per effetto camino, fa uscire o entrare i flussi d'aria verso il portale Malanotte. La presenza di un complesso di gallerie, rimonte e fornelli che collegano i vari livelli dell'area oggetto di studio, rendono difficile caratterizzare un unico modello di circolazione dell'aria. Inoltre la presenza di porte sezionali possono far cambiare o direzionare la circolazione a seconda delle esigenze.

Pertanto nell'itinerario del monitoraggio in oggetto è stato effettuato un monitoraggio dei flussi di ventilazione mediante anemometro con il calcolo dei relativi volumi d'aria in corrispondenza di punti denominati stazioni di ventilazione con l'obiettivo di ottenere un modello da correlare ai valori di concentrazione di radon misurati e poter di conseguenza orientare e direzionare i flussi d'aria per la mitigazione delle concentrazioni.

In particolare per le gallerie interessate dai flussi di aria, si possono descrivere in linea generale due modelli di ventilazione legate alla stagione invernale ed estiva dove i flussi di aria raggiungono i livelli di portata massimi e la direzione si mantiene pressoché stabile durante tutta la giornata. Nelle stagioni di transizione, ovvero primaverile ed autunnale, dove le temperature esterne sono simili a quelle presenti all'interno delle gallerie si possono verificare fasi di stasi o semi-equilibri della circolazione, con flussi bassi che man mano vanno ad incrementarsi, stabilendosi al passaggio definitivo di stagione

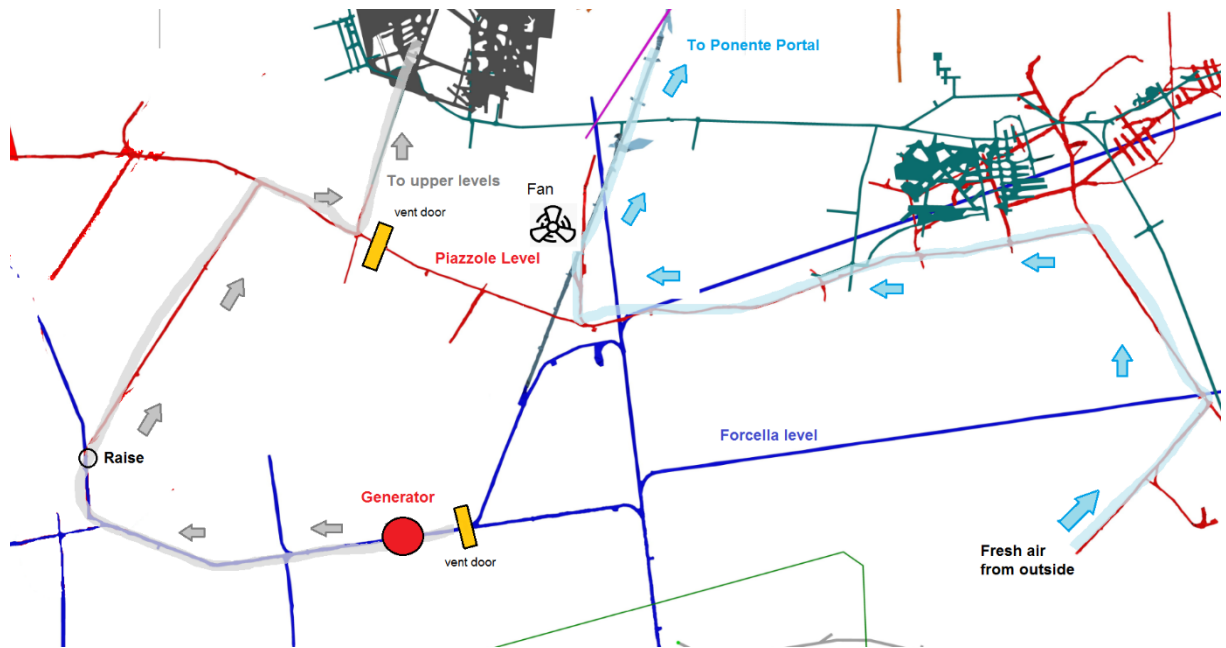


Figura 21- Schema rappresentativo della circolazione d'aria funzionale alle attività di cantiere (Livello Forcella).

Nell'itinerario del monitoraggio si prevede di progredire nella raccolta dati lungo le "stazioni" individuate in prima ipotesi, in cui si prevedono misurazioni mediante ventolino dei flussi d'aria e dei volumi in relazione alla sezione della galleria corrispondente al punto di misurazione. L'obiettivo è quello di ottenere un modello di circolazione dell'aria da correlare ai valori di concentrazione di radon misurati e poter di conseguenza orientare e direzionare i flussi d'aria per la mitigazione delle concentrazioni.

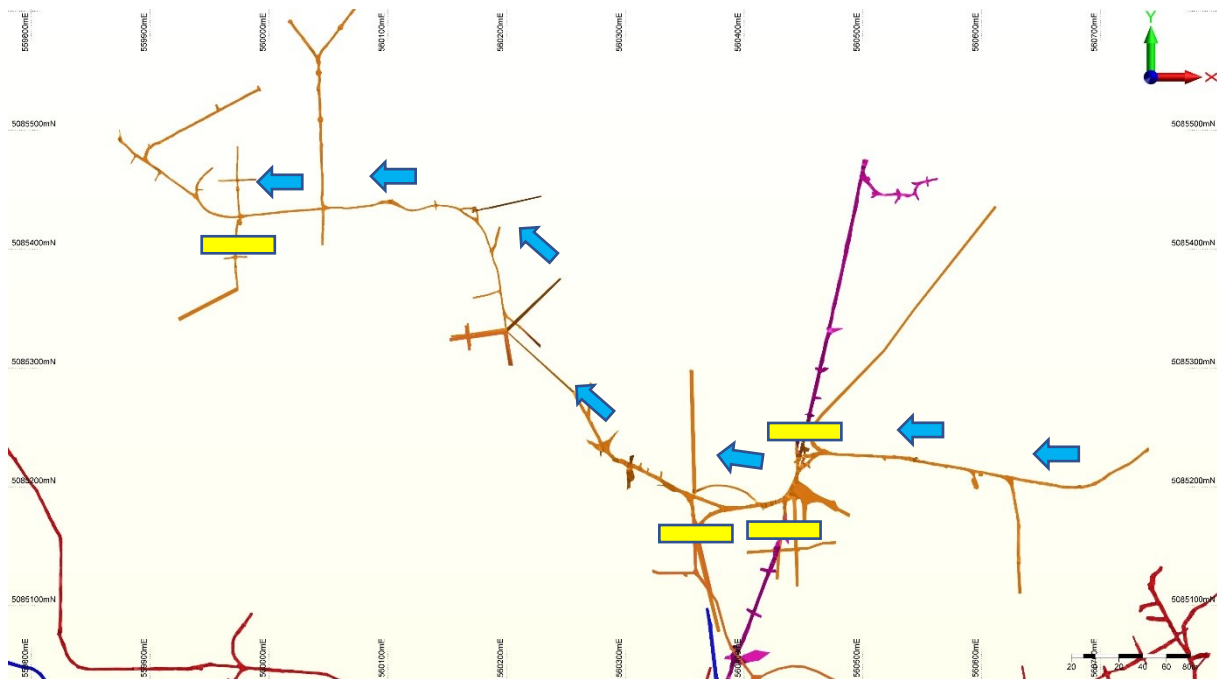


Figura 22- Schema ventilazione livello Ponente (frecche blu direttrici di immissione aria, poligoni gialli possibili sistemi)

Nelle figure vengono presentate due schematizzazioni dei modelli di circolazione dell'aria funzionali alle attività di cantiere, quello di Livello Forcella Figura 21 e quello di Livello Ponente Figura 22 con indicazioni dei punti di misura della ventilazione.

In corrispondenza dei settori in galleria lontani dagli imbocchi in aree poco ventilate, che non risentono dell'influenza stagionale, si è intervenuto con sistemi di ventilazione forzata.

Quanto sopra descritto ci ha permesso di spiegare la notevole variazione dei valori rilevati nelle gallerie interessate direttamente dai flussi di aria in funzione dell'andamento stagionale.

Nello specifico si è notato come nei mesi invernali le gallerie dei livelli bassi, interessate da flussi di aria pulita in entrata dal portale Forcella presentava valori al di sotto del livello di azione di 300 B/m^3 , mentre nel periodo estivo i flussi di aria in uscita in questi livelli, aria non più 'pulita' ma carica di radon, risultano quasi 10 volte

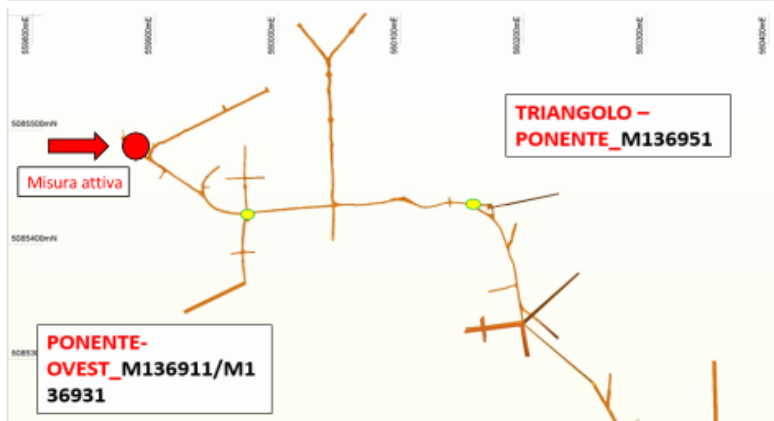
più elevati di quelli invernali. Al contrario nei mesi estivi le gallerie dei livelli più alti presentavano valori buoni con medie anche al di sotto del livello d'azione.

Pertanto per le postazioni di sondaggio dei livelli Forcella e Piazzole non è stato necessario intervenire con sistemi di ventilazione forzata in quanto operando prettamente nel periodo invernale e inizio primavera, la ventilazione naturale è stata sufficiente per mitigare i livelli di Radon.

Per quanto riguarda il Livello Ponente invece si è intervenuti con l'immissione dall'esterno di aria forzata mediante tubazione in condotto e rilancio dall'esterno con generatore, viene immessa in prossimità della piazzola di lavoro. E' stato verificato più volte che il sistema garantisce buone condizioni di salubrità, contribuendo alla mitigazione dei prodotti figli della catena di decadimento del radon non attaccati. In sede rilievi attivi si è infatti trovata conferma che, con i dovuti accorgimenti il sistema mantiene le concentrazioni sotto controllo. In tal senso sono significativi gli esiti dei rilievi puntuali, rispettivamente in prossimità del tubo d'ara forzata con concentrazioni molto contenute, mentre in settori non lontani dalla futura piazzola in prossimità di una diramazione laterale del carreggio principale, si sono rilevate concentrazioni oltre i 3000 Bq/m³

PROVA	LIMITE STABILITO D.Lgs. 101/2020	CONCENTRAZIONE MEDIA (Bq/m3)	INCERTEZZA (K=2) (Bq/m3)	LIMITE E FONTE	METODICA DI ANALISI
Radon (Rn)	300 Bq/m3	347	/		/

TEMPO DI REGISTRAZIONE	VALORE RILEVATO	VALORE CORRETTO	FLUSSO POMPA
5'	182,5	325	LOW
10'	194,8	304	LOW
15'	276,2	412	LOW



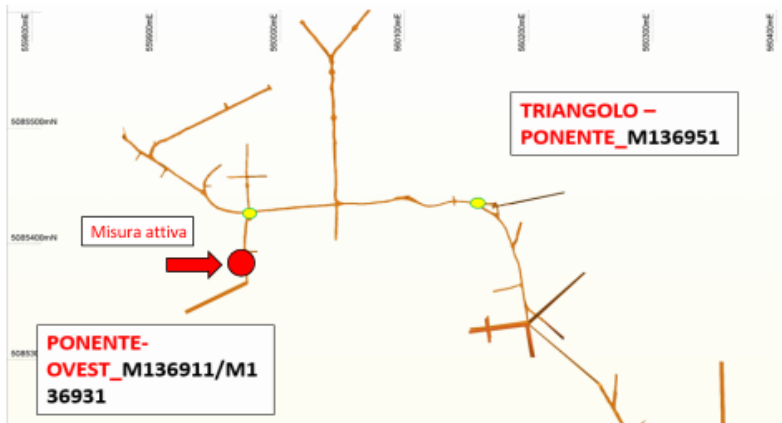
NOTE

Flusso d'aria parzialmente in direzione della calotta mediante sistema d'aria compressa

Figura 23- Misure attive in prossimità della piazzola di carotaggio con sistema di ventilazione forzata in funzione.

PROVA	LIMITE STABILITO D.Lgs. 101/2020	CONCENTRAZIONE MEDIA (Bq/m3)	INCERTEZZA (K=2) (Bq/m3)	LIMITE E FONTE	METODICA DI ANALISI
Radon (Rn)	300 Bq/m3	3205	/		/

TEMPO DI REGISTRAZIONE	VALORE RILEVATO	VALORE CORRETTO	FLUSSO POMPA
5'	1800	3214	LOW
10'	1900	2968	LOW
15'	2300	3432	LOW



NOTE

Misura effettuata in prossimità di un pozzo verticale lungo la diramazione sinistra, flusso d'aria in stasi, probabile incremento delle concentrazioni legato ai collegamenti con livelli inferiori non ventilati.

Figura 24- Misura attiva in prossimità della diramazione laterale.

Inoltre per verificare il corretto effetto di mitigazione del sistema ad aria compressa in una determinata area del livello Ponente caratterizzata da concentrazioni molto elevate, è stato effettuato un ciclo di monitoraggio Radon con mappi della durata di un mese precisamente dal 09/03 al 09/04.

Grazie al continuo esame dei dati registrati si è potuto implementare una serie di misure correttive atte a mantenere i livelli di concentrazione nell'intorno della piazzola di sondaggio, ben al di sotto dei limiti normativi. In particolare è stato appurato che mantenendo il sistema acceso in continuo e tenendo una giusta

distanza tra la postazione di lavoro e il sistema ad aria, si poteva ottenere concentrazioni basse senza fluttuazioni. In allegato si riporta la planimetria dell'area in oggetto con le relative piazzole e indicazione temporale del periodo di sondaggio, e alcuni grafici di concentrazione dove l'andamento continuo rappresenta l'effetto mitigativo del sistema ad aria compressa sulla postazione di lavoro, mentre i picchi rappresentano situazioni di sistema spento.

Ulteriori rilievi con cadenza periodica sono stati effettuati da personale incaricato, impiegando strumentazione attiva utilizzata a campionamento passivo effettuando rilievi mirati nel contesto dei seguenti sotto-livelli della miniera:

- livello Cascine 01/07/2021
- livello Ponente 08/07/2021
- livello Ribasso Parina 15/07/2021.

Nelle pagine che seguono si riportano planimetrie dei sopralluoghi sulle quali è stato indicato:

- il percorso di andata e ritorno
- i punti dove è stato registrato l'orario

Vengono anche riportate le tabelle con registrazione degli orari e relativi livelli misurati di Radon e i punti dove è stato registrato l'orario, in modo da avere un riferimento spaziotemporale del sopralluogo.

7.6. Rilievi presso Livello Cascine

Per il livello Cascine, il sistema di ventilazione vede aria in ingresso dal portale Malanotte Ovest, discesa dalla scala santa ed entrata al livello Cascine. Qui l'aria prende principalmente due direzioni: nella galleria segnata dal punto 3 della mappa che viene richiamata da un grosso fornello al termine della galleria. Questo fornello si presume colleghi più livelli. Un ulteriore direttrice è rappresentata dalla galleria che si collega con una discenderia la quale porta ad un sottolivello collegato direttamente con la

scala santa. Al momento del sopralluogo in corrispondenza dell'imbocco del sottolivello dalla scala santa si è rilevata aria in uscita, mentre il tratto di scala santa fino al livello cascine sembra non ventilato.

Inoltre sempre nella zona evidenziata in Figura 25 è rappresentato un fornello collegato al livello Malanotte est dal quale è stata rilevata aria in uscita.

La zona nei pressi del portale crollato invece riceve aria da una galleria evidenziata dal punto 6 in Figura 25 la quale sicuramente è collegata al liv. Malanotte Est.

I valori registrati di radon relativi a tutto il sopralluogo si mantengono bassi con una media di 245 Bq/m³.

Sempre con riferimento all'immagine di Figura 25, le gallerie più ventilate ovvero riferite ai punti 1 - 2 -3 -4 hanno evidenziato per il periodo valori sotto i 300 Bq/m³. Le zone più lontane invece i valori salgono ma sono nell'intorno dei 400 Bq/m³.

Valori così bassi, nonostante il livello Cascine non abbia un collegamento diretto con l'esterno, sono dovuti alla serie di fornelli collegati ai livelli soprastanti (Malanotte Est e Ovest) da cui entra aria. A fronte dei dati rilevati e delle caratteristiche del livello descritte è ragionevole ipotizzare che nella stagione invernale, dove l'aria in circolazione nel livello proviene dai livelli più bassi, i valori di Radon saranno tendenzialmente più elevati.

Orario	Bq/m3	Punti	Orario	Bq/m3	Punti
08:16:00	247	ufficio	11:15:00	216	5
10:23:44	434	2	11:16:00	403	
10:24:00	28		11:17:00	216	
10:25:00	59		11:18:00	434	
10:26:00	122		11:19:00	184	
10:27:00	153		11:20:00	341	
10:28:00	122		11:21:00	372	
10:29:00	28		11:22:00	247	

10:30:00	91		11:23:00	341	
10:31:00	59		11:24:00	497	
10:32:00	0		11:25:00	528	6
10:33:00	153		11:26:00	528	
10:34:00	91		11:27:00	559	
10:35:00	122		11:28:00	309	
10:36:00	0		11:29:00	372	
10:37:00	28		11:30:00	528	
10:38:00	59		11:31:00	497	
10:39:00	59		11:32:00	278	
10:40:00	91		11:33:00	341	
10:41:00	122		11:34:00	153	
10:42:00	59		11:35:00	559	
10:43:00	91		11:36:00	372	
10:44:00	91		11:37:00	278	7
10:45:00	91		11:38:00	466	
10:46:00	122		11:39:00	309	
10:47:00	91		11:40:00	247	
10:48:00	59		11:41:00	247	
10:49:00	122		11:42:00	341	
10:50:00	153		11:43:00	434	
10:51:00	184		11:44:00	653	8
10:52:00	59		11:45:00	497	
10:53:00	91		11:46:00	309	
10:54:00	216	3	11:47:00	247	
10:55:00	28		11:48:00	216	
10:56:00	153		11:49:00	341	
10:57:00	184		11:50:00	341	
10:58:00	91		11:51:00	278	
10:59:00	153		11:52:00	653	
11:00:00	184		11:53:00	466	

11:01:00	153		11:54:00	653	
11:02:00	122		11:55:00	497	
11:03:00	153	4	11:56:00	466	9
11:04:00	184				
11:05:00	247				
11:06:00	28				
11:07:00	153				
11:08:00	434				
11:09:00	216				
11:10:00	122				
11:11:00	216				
11:12:00	278				
11:13:00	247				
11:14:00	247				

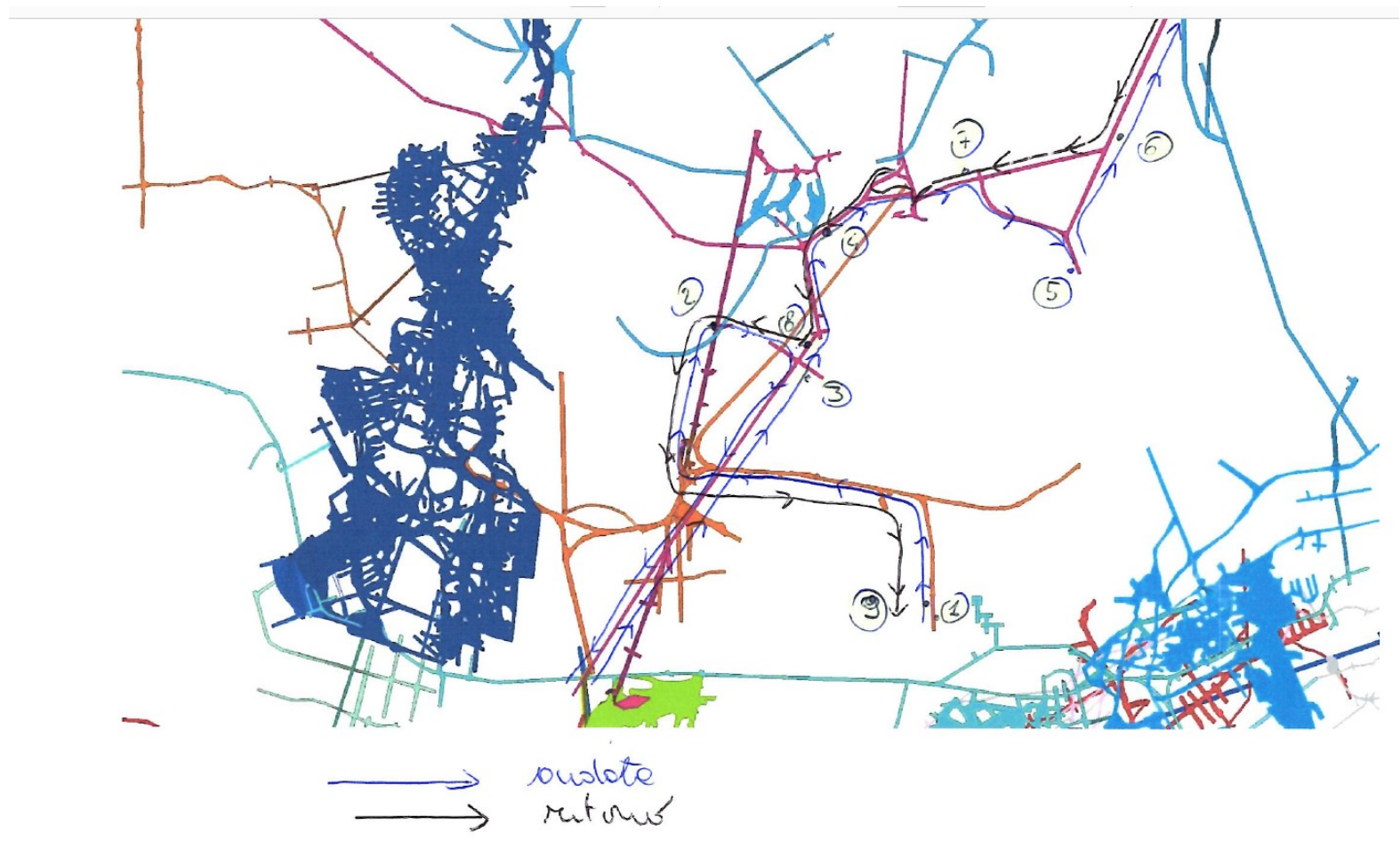


Figura 25- Rappresentazione su mappa del rilievo in continuo presso il ribasso Cascine

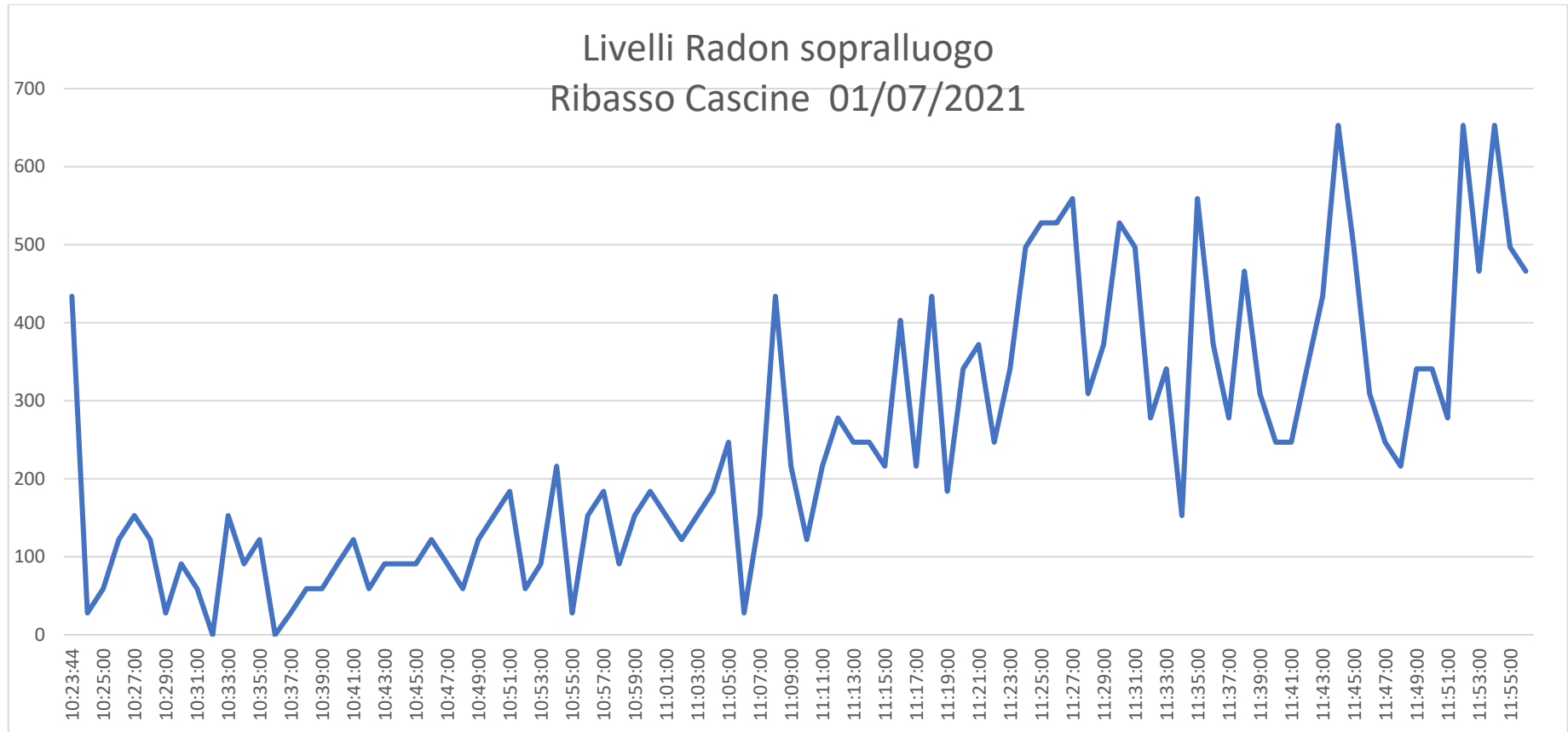


Figura 26- Grafico dati rilievo in continuo presso il Ribasso Cascine

7.7. Rilievi presso il Livello Ponente

Il sopralluogo nell'area di coltivazione a livello Ponente ha evidenziato buoni valori, soprattutto nell'intorno della rimonta (punti 2-3-4-5-6-7 in Figura 27), la quale assume funzione di camino di collegamento, veicolando aria pulita dai livelli altimetricamente superiori di Cascine e Malanotte. Contrariamente, nei settori più distali e non collegati alla rimonta i valori registrati sono tendenzialmente più elevati.

Il valore medio in quest'area è di 265,47 Bq/m³, invece se consideriamo tutta l'area di sopralluogo è di 418,20 Bq/m³, valore comunque non molto superiore al valore di riferimento di 300 Bq/m³.

Orario	Bq/m ³	Punti	Orario	Bq/m ³	Punti
10:41:04	372	5	11:26:04	653	
10:42:04	278		11:27:04	903	
10:43:04	372		11:28:04	809	
10:44:04	403		11:29:04	903	
10:45:04	153		11:30:04	591	
10:46:04	184	6	11:31:04	591	
10:47:04	122		11:32:04	653	
10:48:04	341		11:33:04	466	
10:49:04	403		11:34:04	591	
10:50:04	309		11:35:04	653	
10:51:04	153		11:36:04	528	
10:52:04	341		11:37:04	372	
10:53:04	216		11:38:04	934	
10:54:04	341	11:39:04	591		
10:55:04	309	11:40:04	622		
10:56:04	309	7	11:41:04	622	11
10:57:04	309		11:42:04	778	

10:58:04	341		11:43:04	747	
10:59:04	309		11:44:04	716	
11:00:04	684		11:45:04	434	12
11:01:04	434		11:46:04	684	
11:02:04	622		11:47:04	809	
11:03:04	372		11:48:04	497	
11:04:04	466	8	11:49:04	653	
11:05:04	684		11:50:04	528	
11:06:04	622		11:51:04	591	
11:07:04	434		11:52:04	747	
11:08:04	466		11:53:04	622	
11:09:04	309		11:54:04	684	
11:10:04	434		11:55:04	809	
11:11:04	716	9	11:56:04	497	
11:12:04	684		11:57:04	591	
11:13:04	466		11:58:04	559	
11:14:04	841		11:59:04	591	
11:15:04	716		12:00:04	716	
11:16:04	622		12:01:04	716	
11:17:04	466		12:02:04	716	
11:18:04	591		12:03:04	528	
11:19:04	653	10	12:04:04	466	
11:20:04	372		12:05:04	684	
11:21:04	497		12:06:04	403	
11:22:04	966		12:07:04	341	13

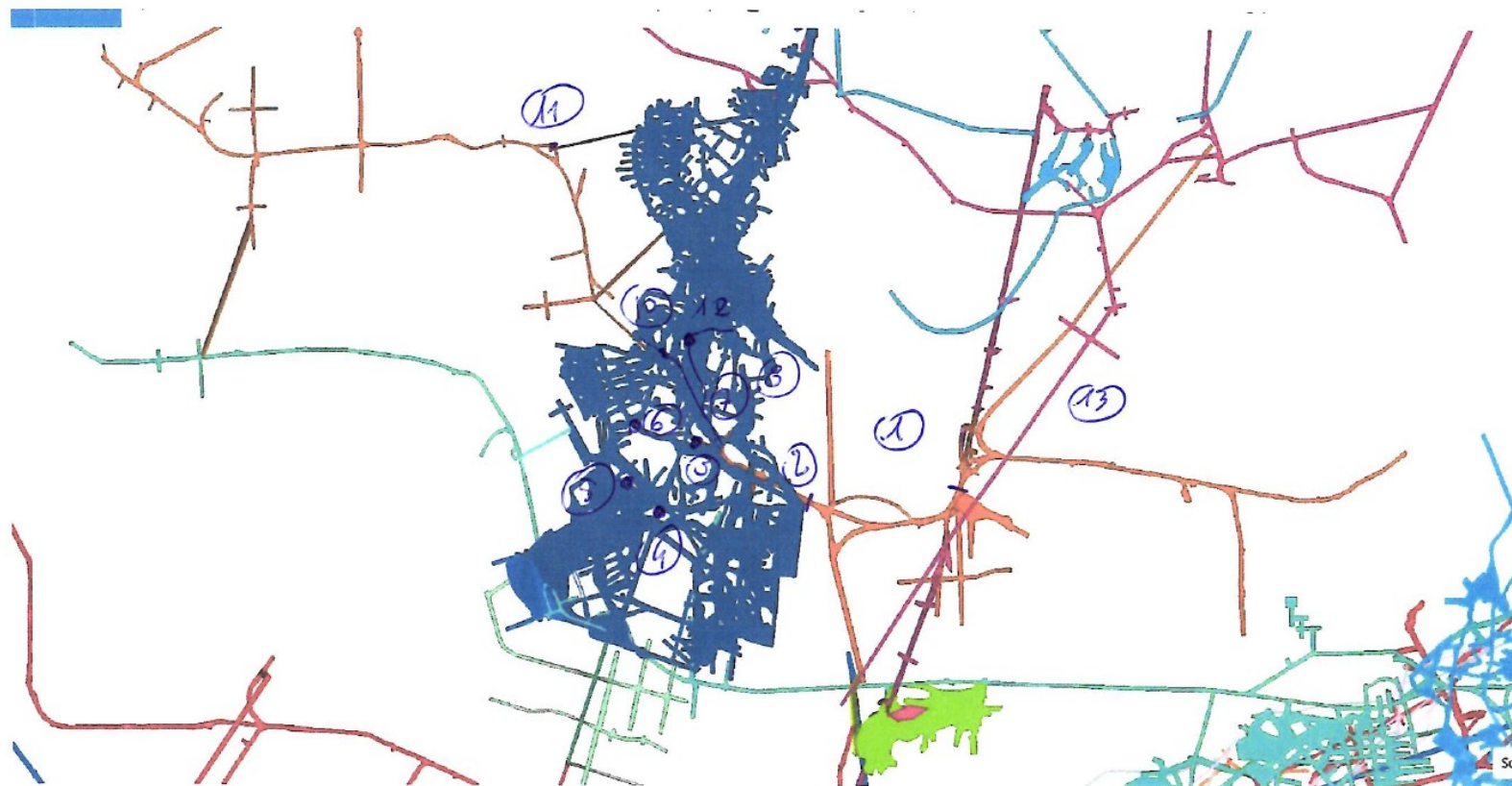


Figura 27- Planimetria rilievo presso Livello Ponente

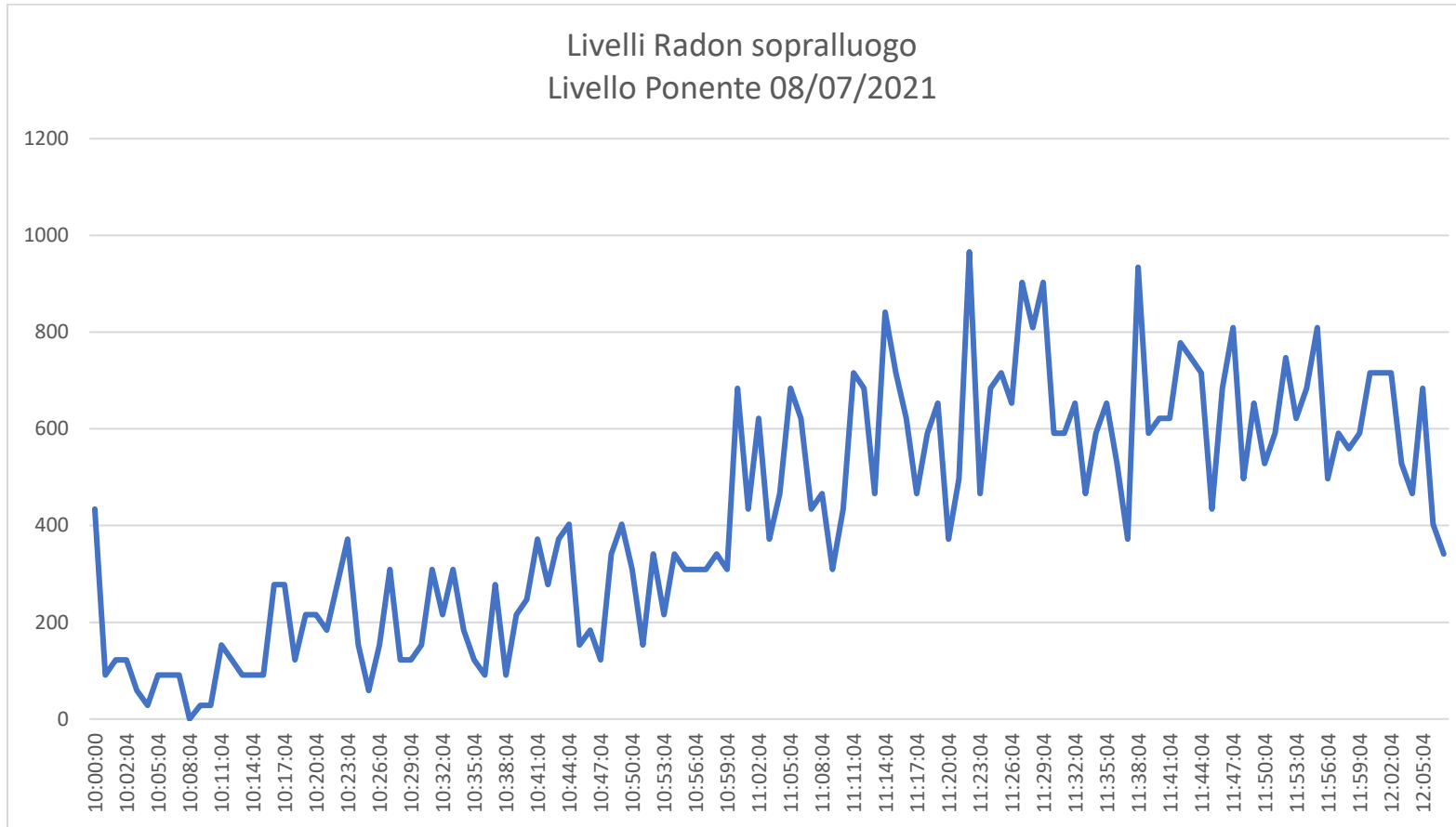


Figura 28- Grafico livello di concentrazione Radon presso il Livello Ponente

7.8. Rilievi presso Ribasso Parina

Il 15/07/2021 è stato effettuato un sopralluogo al livello Rib. Parina focalizzato nella parte a sinistra della scala santa.

Come mostrato dalla tabella, nell'area scala santa i valori si mantengono bassi in linea con l'afflusso di aria fresca dai livelli superiori.

Parte dell'aria fresca entra a liv Parina e si dirama a destra verso i Cantieri Piani di Bracca e a sinistra verso la rimonta. In realtà prima della rimonta l'aria entra in un fornello collegato con i livelli inferiori. Aria fresca proviene anche dalla rimonta (evidenziata in verde in Figura 29).

I valori vanno poi alzandosi man mano ci si allontana dalla rimonta per raggiungere anche valori intorno ai 1000 Bq/m³ nella parte finale della galleria (punti 8-9-10) che risulta meno ventilata. Infatti il fornello di collegamento con il liv Ponente (punto 8) non apporta alcun contributo di aria fresca. La media in quest'area è di 990 Bq/m³ in contrasto con la media di 157 Bq/m³ relativa nell'aree intorno alla scala santa e rimonta dove circola aria fresca.

Invece la media relativa a tutto il sopralluogo è di 540 Bq/m³.

Orario	Bq/m3	Punti	Orario	Bq/m3	Punti
11:14:48	278	1	12:26:00	684	
11:15:00	91		12:27:00	716	
11:16:00	91		12:28:00	622	
11:17:00	122		12:29:00	559	
11:18:00	59		12:30:00	622	
11:19:00	28		12:31:00	653	
11:20:00	122		12:32:00	497	
11:21:00	122		12:33:00	684	
11:22:00	91		12:34:00	841	

11:23:00	122		12:35:00	716	
11:24:00	91		12:36:00	778	
11:25:00	184		12:37:00	1278	
11:26:00	28		12:38:00	934	
11:27:00	0	2	12:39:00	809	
11:28:00	0		12:40:00	747	
11:29:00	153		12:41:00	966	
11:30:00	91		12:42:00	716	
11:31:00	91		12:43:00	1122	
11:32:00	91		12:44:00	1059	
11:33:00	91		12:45:00	966	
11:34:00	59		12:46:00	747	
11:35:00	0		12:47:00	1153	
11:36:00	59		12:48:00	747	
11:37:00	59		12:49:00	997	
11:38:00	0	3	12:50:00	1091	9
11:39:00	59		12:51:00	684	
11:40:00	153		12:52:00	778	
11:41:00	153		12:53:00	1153	
11:42:00	153		12:54:00	778	
11:43:00	216		12:55:00	1216	
11:44:00	184		12:56:00	1309	
11:45:00	91		12:57:00	1247	
11:46:00	59	4	12:58:00	1466	
11:47:00	91		12:59:00	1559	
11:48:00	59		13:00:00	997	
11:49:00	122		13:01:00	1247	
11:50:00	28		13:02:00	1122	
11:51:00	153		13:03:00	1372	
11:52:00	59		13:04:00	1122	

11:53:00	216	5	13:05:00	809	10
11:54:00	153		13:06:00	1153	
11:55:00	91		13:07:00	1091	
11:56:00	91		13:08:00	1309	
11:57:00	184		13:09:00	1466	
11:58:00	184		13:10:00	1091	
11:59:00	341		13:11:00	684	
12:00:00	216		13:12:00	934	
12:01:00	278		13:13:00	841	
12:02:00	403		13:14:00	1309	
12:03:00	216		13:15:00	872	
12:04:00	309		13:16:00	809	
12:05:00	247		13:17:00	747	
12:06:00	372		13:18:00	872	
12:07:00	278		13:19:00	934	
12:08:00	122	13:20:00	997		
12:09:00	309	13:21:00	1153		
12:10:00	559	13:22:00	841		
12:11:00	403	6	13:23:00	1091	
12:12:00	278	7	13:24:00	653	
12:13:00	372		13:25:00	872	
12:14:00	216		13:26:00	1028	
12:15:00	247	7			
12:16:00	153				
12:17:00	653				
12:18:00	372				
12:19:00	403				
12:20:00	278				
12:21:00	278				
12:22:00	247				

12:23:00	591	
12:24:00	434	
12:25:00	403	

Tabella 2- Dati analitici rilievo Ribasso Parina



Figura 29- Planimetria rilievo presso Ribasso Parina

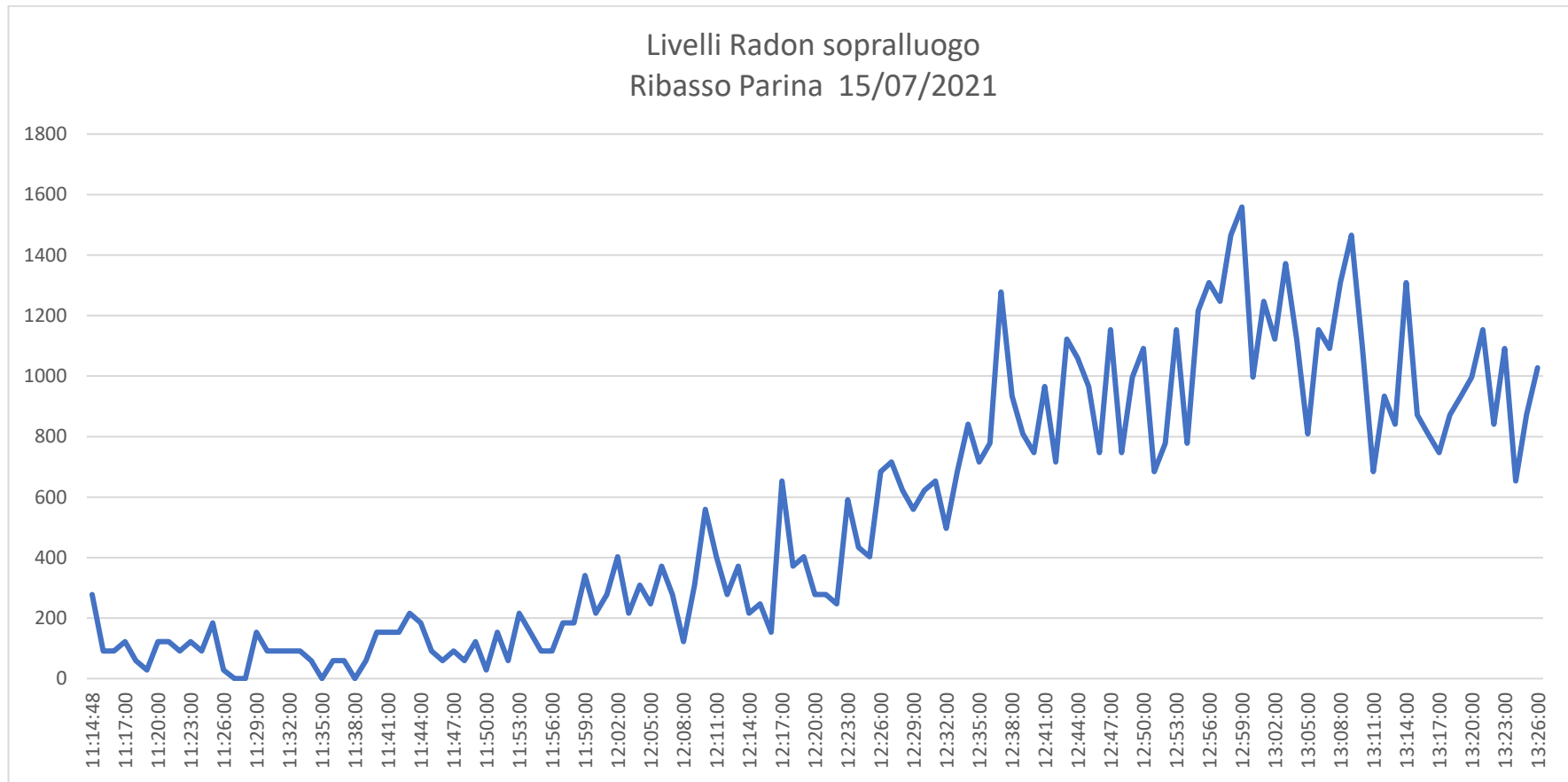


Figura 30- Grafico rilievo presso Ribasso Parina

8. Conclusioni

A conclusione di queste prime fasi di attività di monitoraggio, si ritiene utile approfondire mediante rilevamenti in continuo l'andamento delle concentrazioni, con particolare riferimento alle piazzole di lavoro, sia nelle diverse condizioni di esercizio della ventilazione artificiale, che in relazione al naturale sistema di ventilazione interno delle gallerie oggetto d'indagine. Condizioni maggiormente critiche sono riscontrabili lungo i diversi rami delle gallerie dove l'incidenza del sistema di ventilazione risulta meno efficace.

I livelli di radon in aria rilevati mediante i monitori passivi danno conto di concentrazioni ben oltre i livelli di riferimento previsti dalla normativa. In prossimità delle piazzole di lavoro e in determinati settori prossimi ai portali i livelli di concentrazione risultano essere migliori, grazie anche ai sistemi di ventilazione e agli accorgimenti tecnici impiegati per il direccionamento dei flussi d'aria. I dati delle misurazioni in continuo descrivono una variabilità delle concentrazioni decisamente importante, con valori medi che non sempre coincidono con i rilievi a lungo periodo.

Nel complesso si ritiene opportuno monitorare con continuità e con scansioni temporali più lunghe l'andamento delle concentrazioni, con particolare riferimento ai settori in cui si collocano le macchine perforatrici o di maggior stazionamento delle maestranze.

In relazione al progetto di coltivazione mineraria e al suo sviluppo temporale per fasi, si indicano di seguito le attività ritenute necessarie per il monitoraggio dell'andamento delle concentrazioni del radon. Nella definizione delle attività si è tenuto conto anche degli specifici lavori di ricerca che proseguono nel medesimo contesto della Concessione Mineraria.

Durante la fase di coltivazione vera e propria sarà possibile impiegare appositi monitori attivi, in grado di misurare la concentrazione in continuo del radon e dei


principali parametri ambientali, in prossimità dei cantieri, per tutta la durata delle fasi di coltivazione, dando modo di verificare anche l'efficacia e l'effetto della ventilazione forzata progettata per l'esercizio delle attività di progetto.

FASE DI PROGETTO	Annualità -Periodo	Monitoraggio
<i>FASE ANTE OPERA</i>		
Allestimento del cantiere e attività di Ricerca mineraria connesse al Permesso Cime corrispondente alla Concessione Monica).	2022/ allestimento cantiere	Passivo mediante Monitori CR-39 da valutare a cura dell'Esperto di Radioprotezione incaricato, controllo periodico dei parametri di ventilazione.
Emissione rapporto		mensile
<i>FASE CORSO D' OPERA</i>		
Fase corso d'opera (realizzazione del progetto di coltivazione in sotterraneo).	Durata della coltivazione	Monitoraggio attivo mediante l'impiego di monitore in continuo, da posizionare in funzione della localizzazione-evoluzione del programma di coltivazione, per la misura delle concentrazioni di Rn ₂₂₂ , e dei parametri

		ambientali Pressione, Temperatura e Umidità. Emissione di un report dati su base mensile, con commento dati rilevati e verifica del rispetto dei limiti di normativa del D. L.gs 101/20 e dell'esposizione dei lavoratori.
Emissione Rapporto		mensile
<i>FASE POST-OPERA</i>		
	/	/

Il presente piano di lavoro potrà in ogni caso essere integrato e modificato, a livello di monitoraggio e Sorveglianza fisica anche nelle metodiche di rilievo da parte dell'esperto di Radio protezione, per la definizione dei livelli di esposizione dei lavoratori e di una loro eventuale classificazione ai sensi della normativa vigente.

Grassobbio (Bg), 20 novembre 2021

Hattusas s.r.l.

Dr. Andrea Gritti

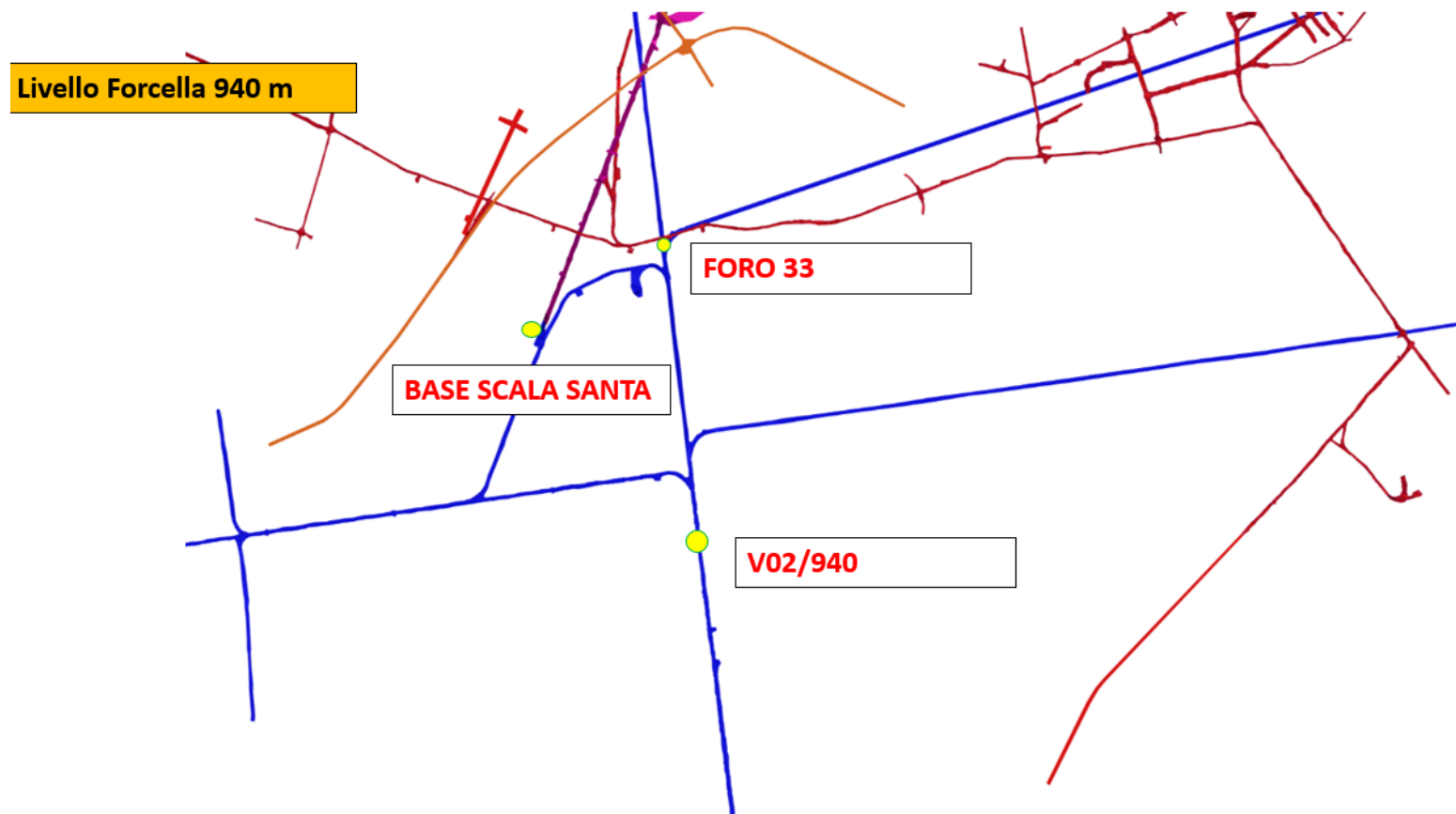


Figura 31- Planimetria della distribuzione dei dosimetri a livello Forcella

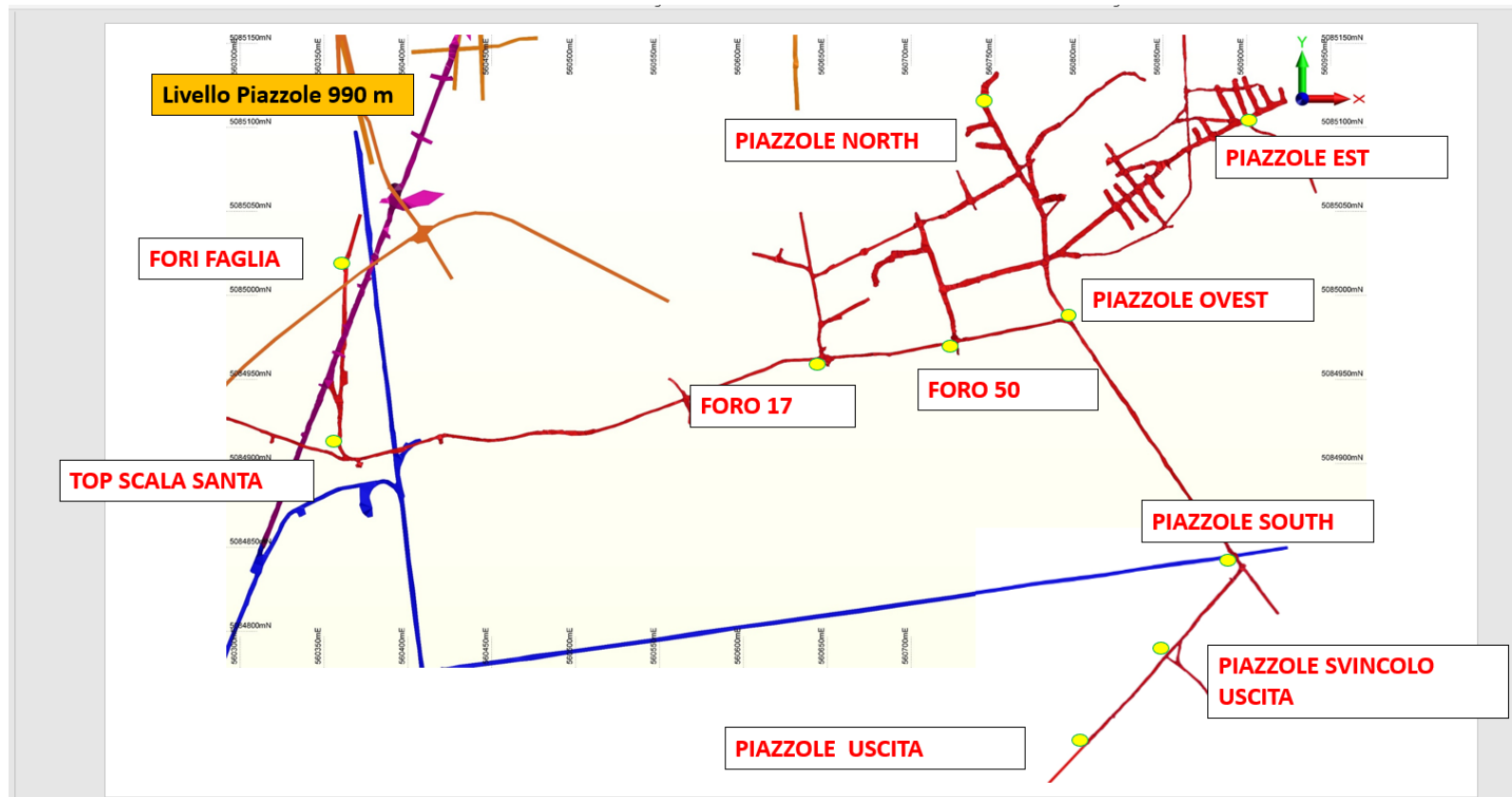


Figura 32- Planimetria della distribuzione dei dosimetri a livello Piazzole

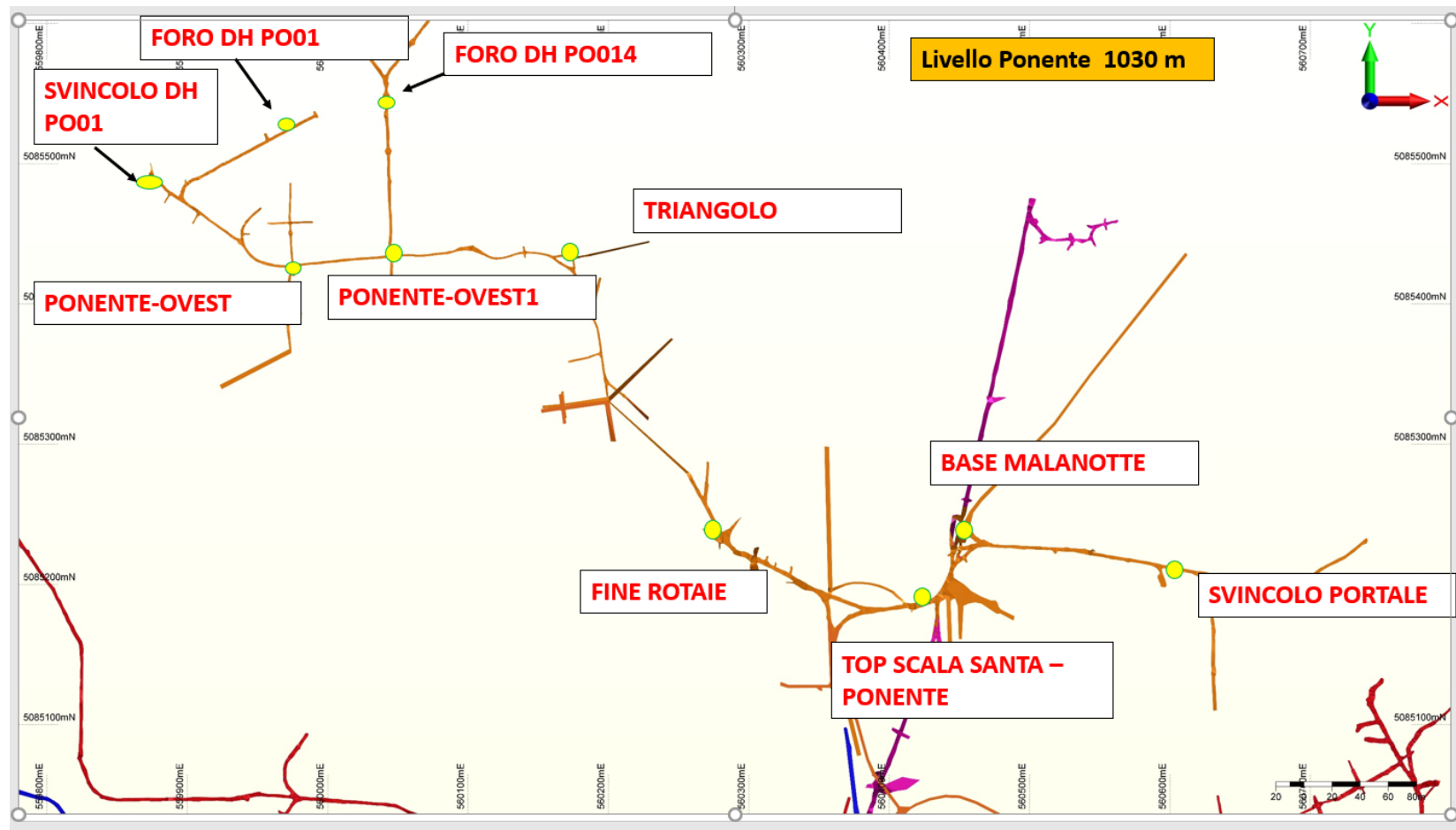


Figura 33- Planimetria della distribuzione dei dosimetri a livello Ponente

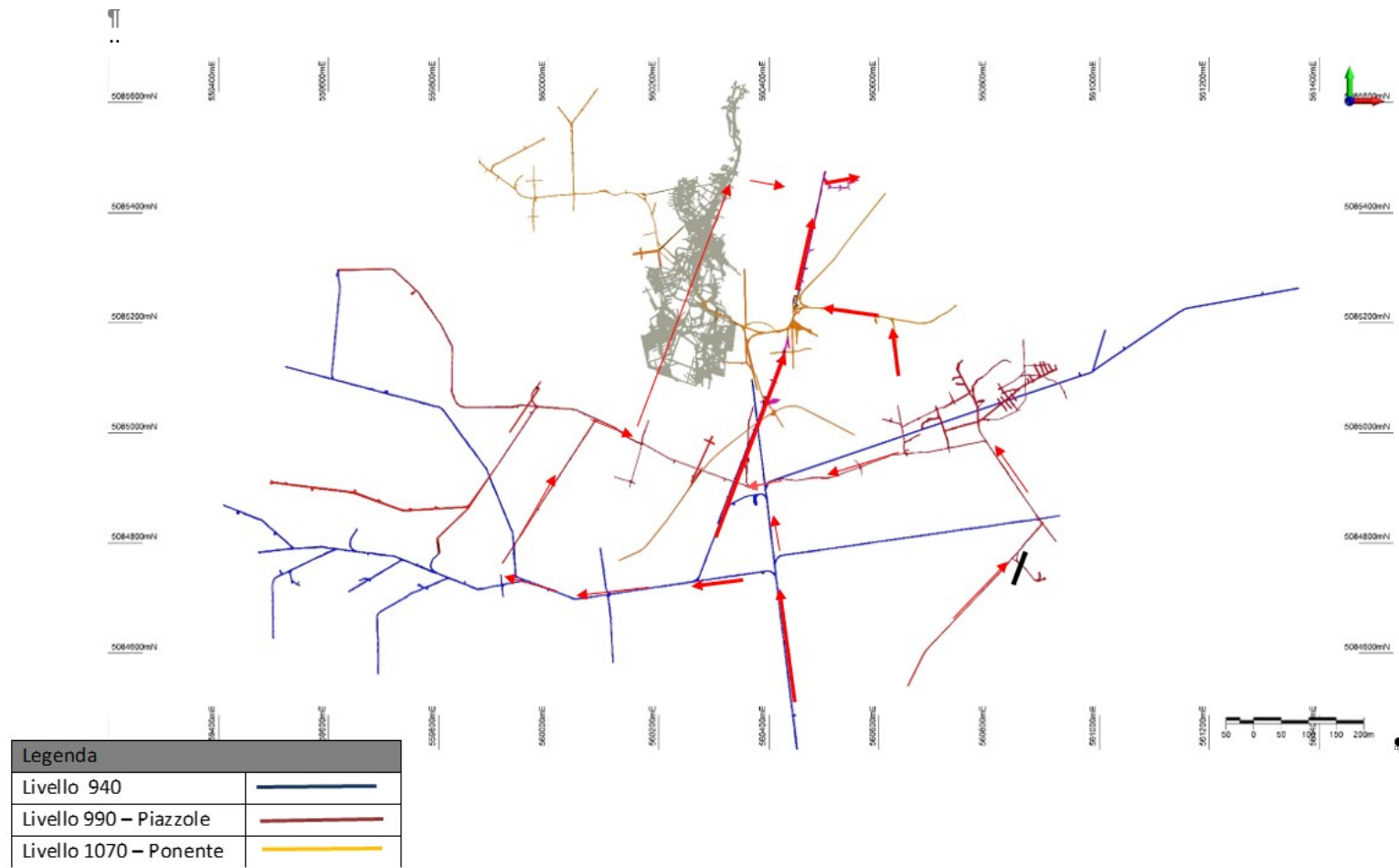


Figura 34- Schematizzazione della ventilazione in regime invernale

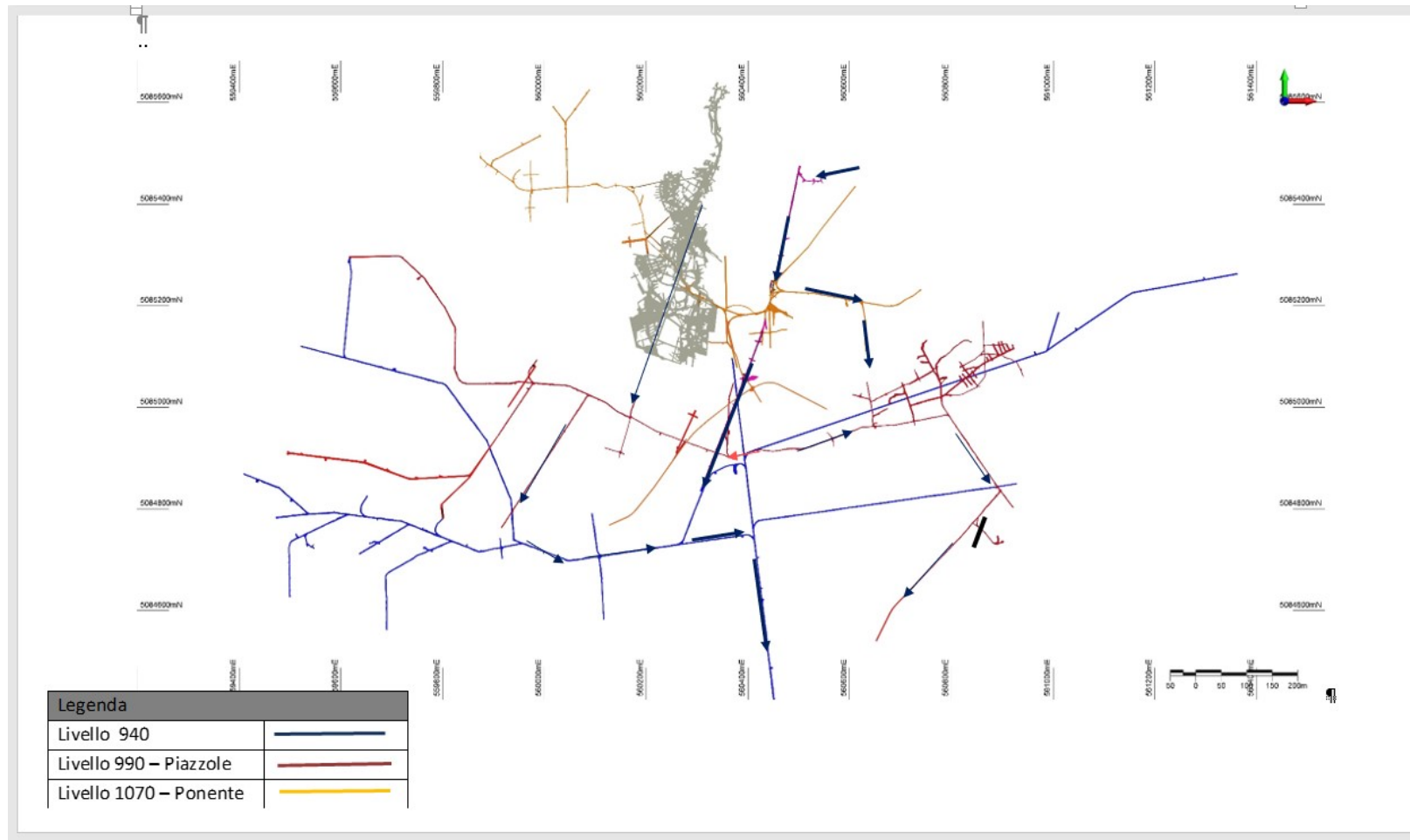


Figura 35- Schematizzazione della ventilazione in regime estivo

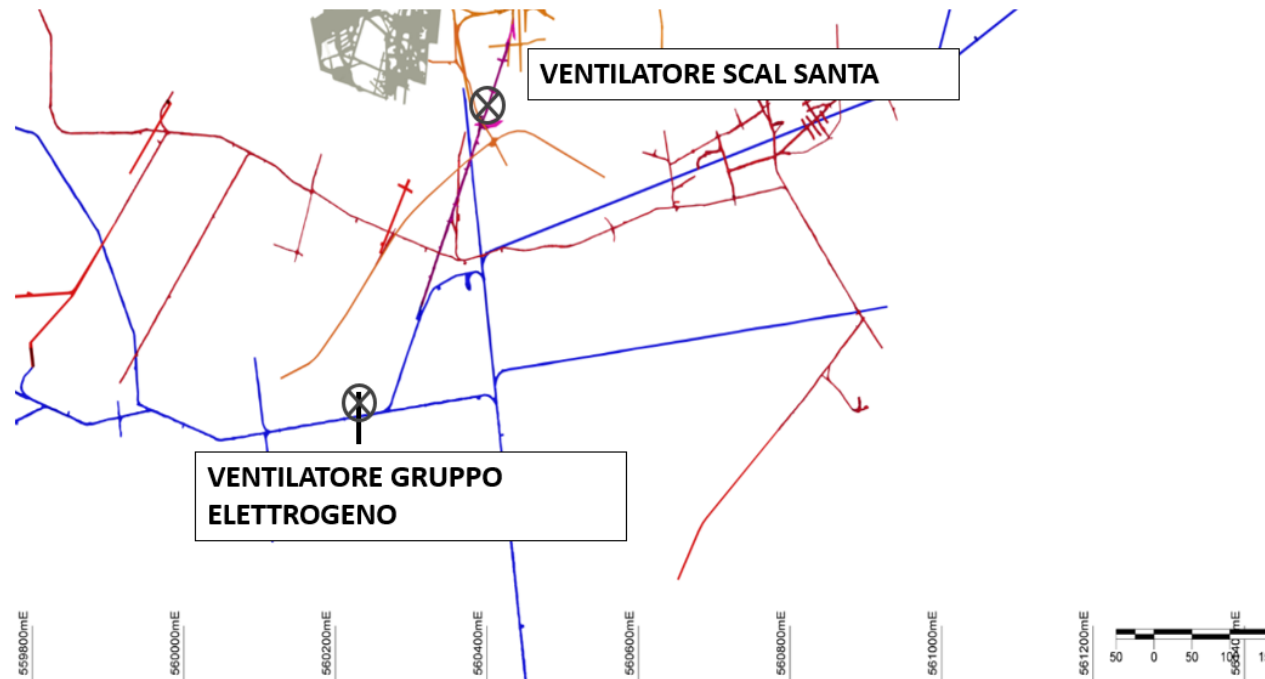


Figura 36- Planimetria del posizionamento del ventilatore lungo la Scala Santa e del ventilatore a servizio del gruppo elettrogeno (in funzione fino a marzo 2021)

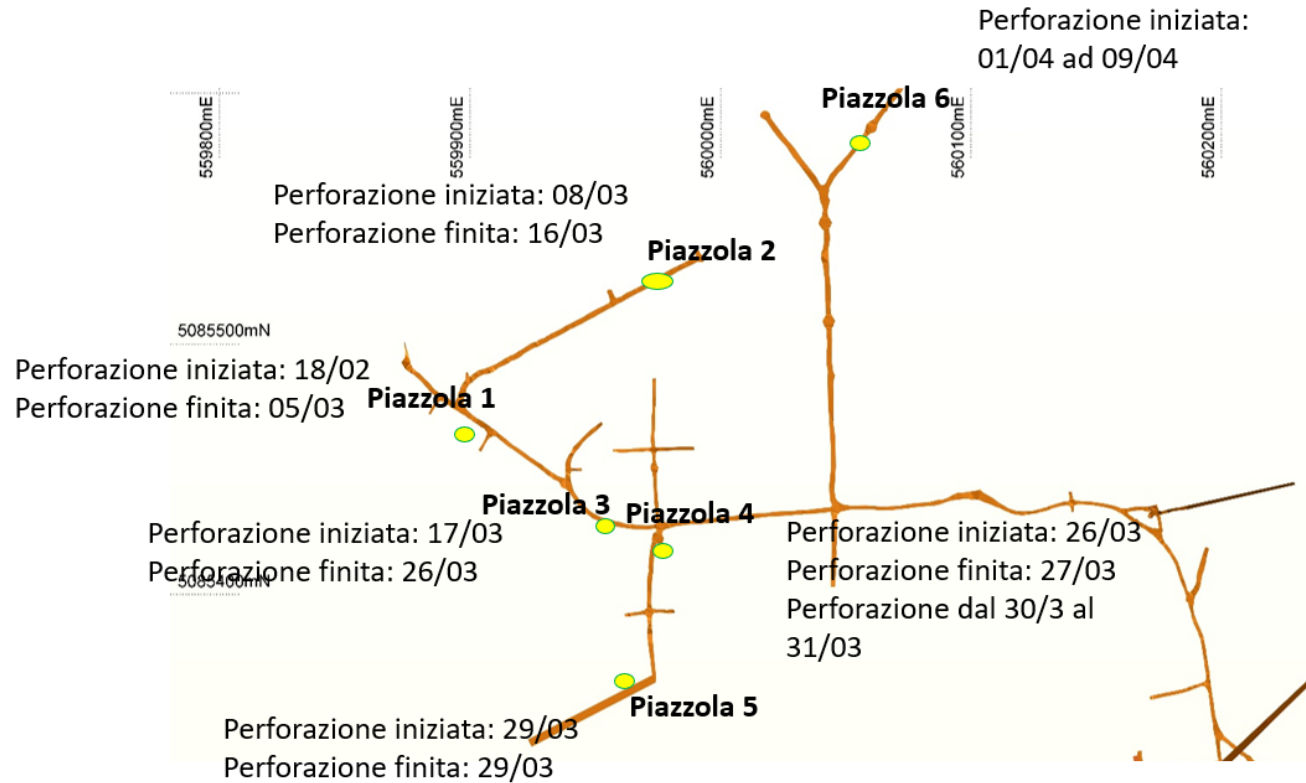


Figura 37- Planimetria delle aree di sondaggio a livello Ponente nel periodo 09/03 a 09/04 2021.



Figura 38- andamento concentrazioni Piazzola 2 09/03-17/03

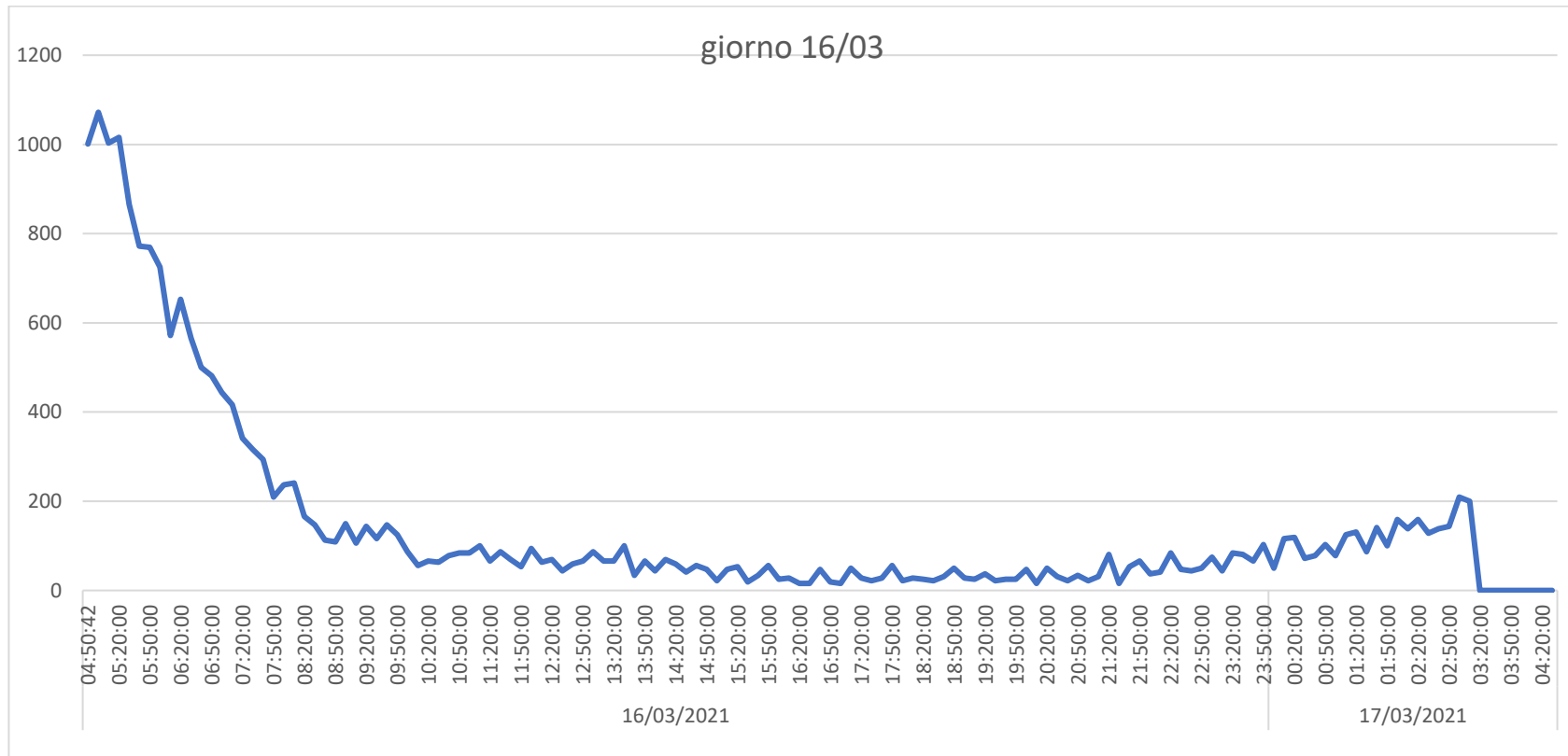


Figura 39- andamento concentrazioni Piazzola 2 16/03-17/03



Figura 40- andamento concentrazioni Piazzola 4 26/03-27/03

Livello Piazzole 990 m

PIAZZOLE NORTH

PIAZZOLE EST

FORI FAGLIA

PIAZZOLE OVEST

FORO 17

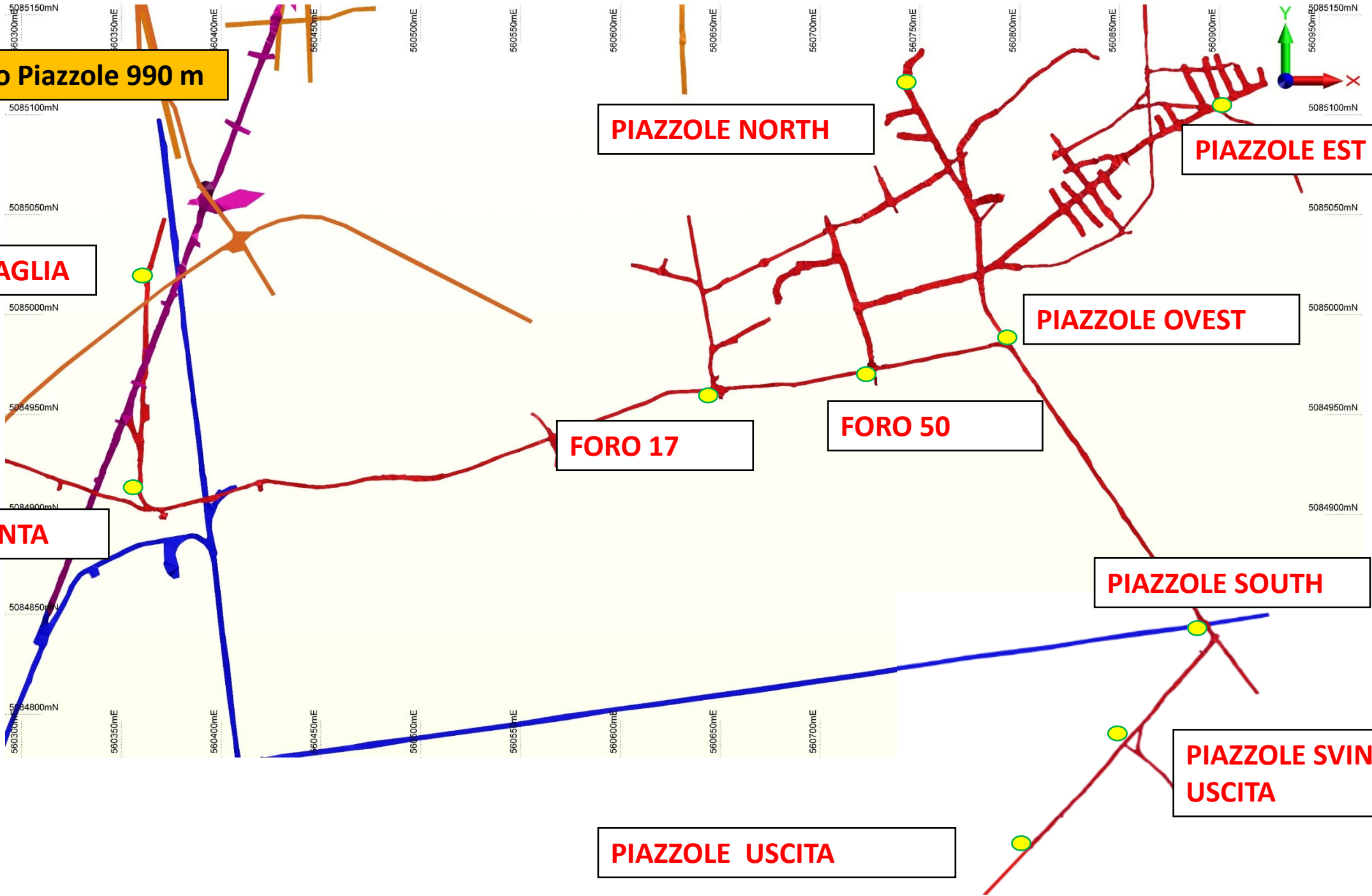
FORO 50

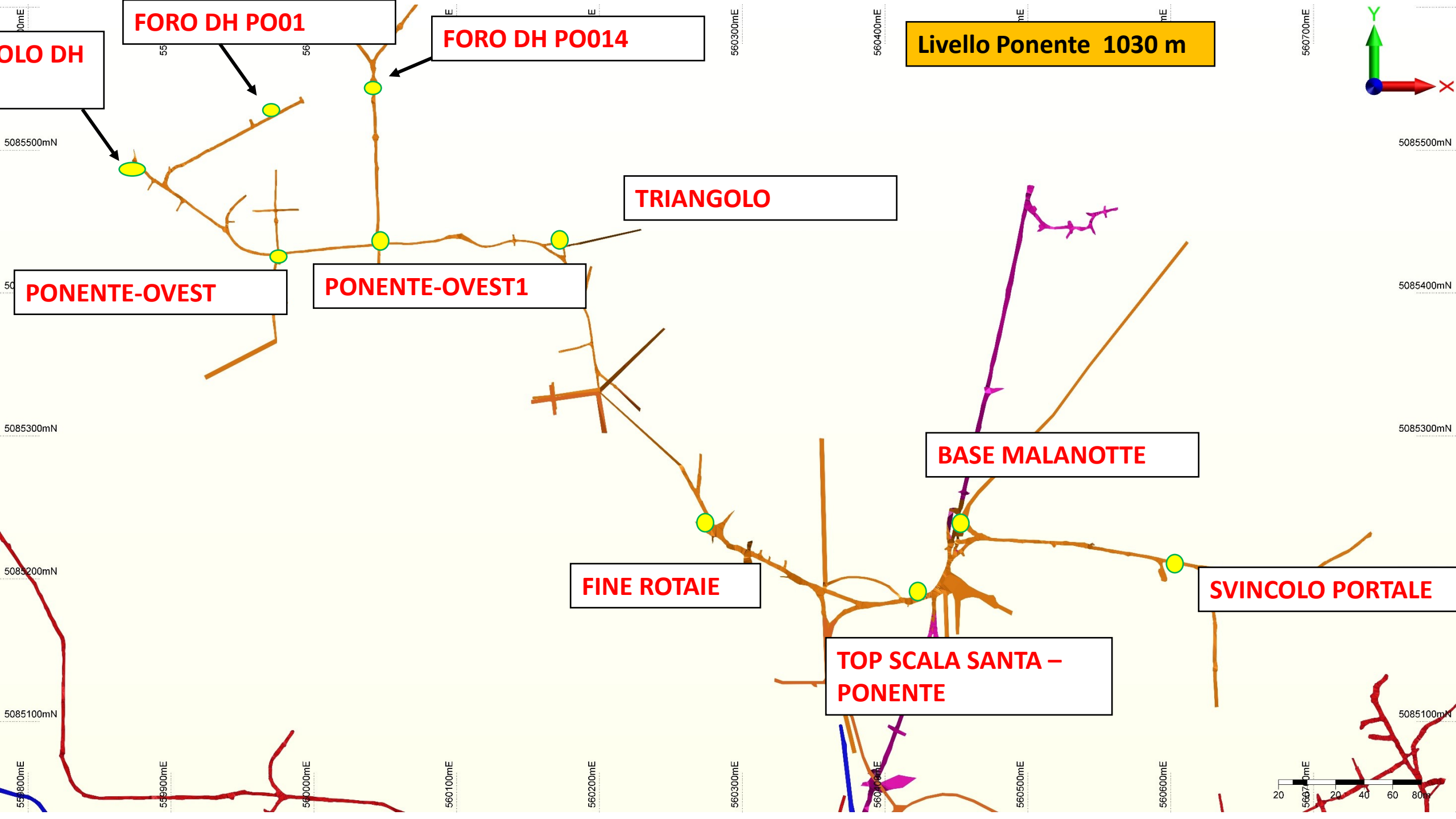
SCALA SANTA

PIAZZOLE SOUTH

PIAZZOLE SVINCOLO USCITA

PIAZZOLE USCITA



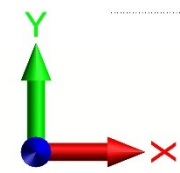


FORO DH

FORO DH PO01

FORO DH PO014

Livello Ponente 1030 m



5085500mN

5085500mN

TRIANGOLO

PONENTE-OVEST

PONENTE-OVEST1

5085300mN

5085300mN

BASE MALANOTTE

5085200mN

5085200mN

FINE ROTAIE

**TOP SCALA SANTA -
PONENTE**

SVINCOLO PORTALE

5085100mN

5085100mN

559800mE

559900mE

560000mE

560100mE

560200mE

560300mE

560400mE

560500mE

560600mE

560700mE



Livello Forcella 940 m

FORO 33

BASE SCALA SANTA

V02/940

