

## **Il monitoraggio della concentrazione di radon nel Teatro romano di Ercolano**

WEBINAR – 6 giugno 2023

Ing. Antonio Testa  
*Parco Archeologico di Ercolano*



## Il monitoraggio del radon nel Teatro Romano di Ercolano

In vista della programmata apertura del Teatro entro il 2018, nell'ottobre del 2017, l'RSPP e il MC eseguono un sopralluogo al fine di valutare le criticità e procedere alle azioni di mitigazione dei rischi ipotizzabili

Il Teatro Romano di Ercolano, fino a quel momento caratterizzato da presenze saltuarie per soli fini di studio e ricerca, sta per diventare un luogo di lavoro

Ai fini di quello che diremo è importante la cornice legislativa all'interno della quale viene sviluppato l'iter per il monitoraggio di radon all'interno del Teatro.

Il primo ciclo di monitoraggio messo in campo dal Parco Archeologico di Ercolano va dal 2018, anno in cui è stato programmata l'apertura del Teatro, al 2019.

A quel tempo era in vigore il D.Leg.vo 241/2000 che modificava il D.Leg.vo 230/95, recependo la Direttiva EURATOM 96/29 in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.

Quanto diremo sarà dunque conforme all'impalcatura legislativa all'epoca vigente

Ad oggi il Parco Archeologico si appresta a dare corso ad un secondo ciclo di monitoraggio ambientale, il quale dovrà essere coerente al D.Leg.vo 101/2020, attualmente in vigore le cui modifiche sostanziali sono:

- Nuovo livello di riferimento di 300Bq/mc in termini di concentrazione di attività media annua del gas radon;
- Nel caso di superamento dei livelli di riferimento adozione di misure correttive finalizzate a scendere la concentrazione al di sotto dei livelli di riferimento;
- Nel caso di concentrazione ancora superiore ai livelli di riferimento, sarà necessario effettuare la valutazione delle dosi efficaci annue (il livello di riferimento è passato da 3mSv/anno a 6mSv/anno), tramite l'Esperto di Radioprotezione, che rilascia apposita relazione;
- Il fattore convenzionale di conversione è stato aggiornato recependo la ICRP 137

Con una relazione tecnica, in allegato al DVR, il Datore di Lavoro viene messo nelle condizioni di conoscere le fonti di rischio legate all'apertura del Teatro e precisamente:

SCALA DI ACCESSO E SUPERFICI SCIVOLOSE



RINGHIERA FATISCENTE DI PROTEZIONE DELLA RAMPA



SERVIZIO IGIENICO INADEGUATO E NON A NORMA CON POZZETTO ASSORBENTE



IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE DANNEGGIATO



MA SOPRATTUTTO  
**PRESENZA DI RADON**



MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI E DEL TURISMO

PARCO ARCHEOLOGICO DI ERCOLANO

**DVR**

DOCUMENTO DI VALUTAZIONE DEI RISCHI



Relazione Tecnica Sicurezza -  
SOPRALLUOGO PERIODICO  
Parco Archeologico di ERCOLANO  
TEATRO ROMANO

Valutazione delle condizioni di salute e sicurezza negli ambienti di lavoro (D.Lgs. 81/08 e s.m.i.)

Nell'ottobre del 2017 l'RSPP e il MC erano pienamente consapevoli della presenza di radon all'interno del Teatro e non solo per l'ampia evidenza scientifica riportata in letteratura per ambienti ipogei in suoli simili a quelli vesuviani.

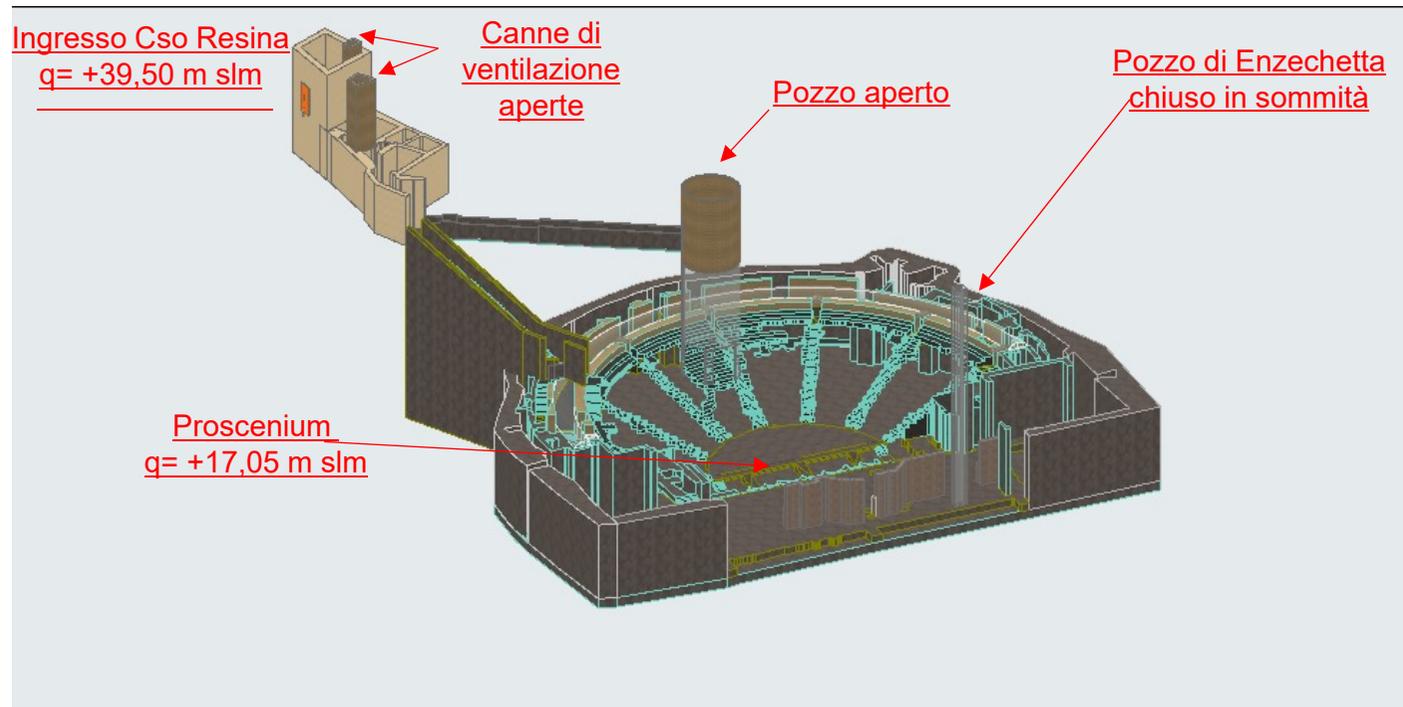
## **L'RSPP e il MC avevano a disposizione rilevazioni pregresse**

Infatti agli atti del Parco Archeologico di Ercolano erano archiviati 2 monitoraggi brevi:

- Un monitoraggio di radon del '99 del Servizio di radioprotezione della Federico II per conto del C.I.BE.C. della durata di 4 gg in 4 punti distinti del Teatro;
- Un monitoraggio del 2008 multiparametrico (temperatura, umidità relativa, radon) in un solo punto del Teatro della durata di 5 h commissionato all'INAIL da HCP.

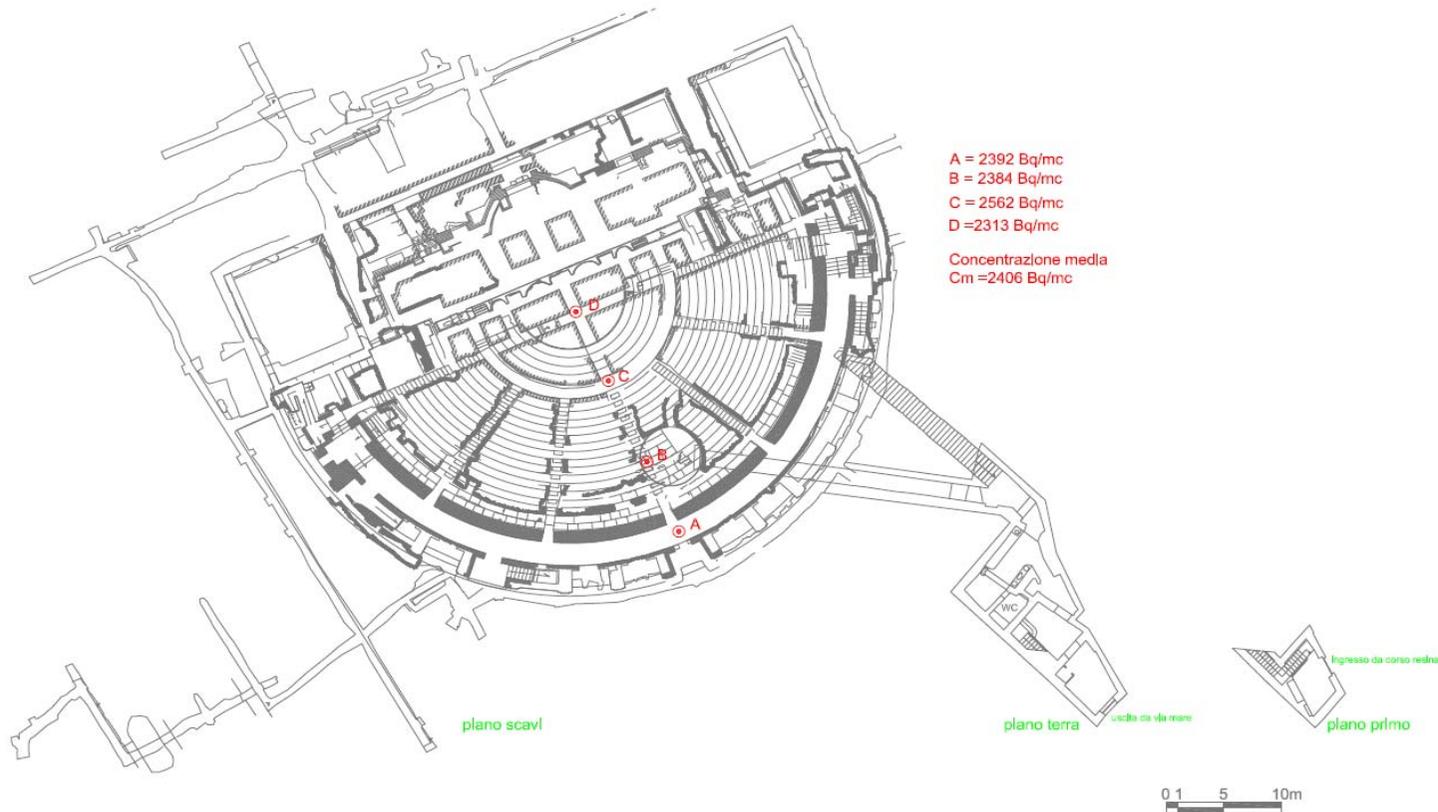
Prima di mostrare l'esito dei monitoraggi pregressi vediamo la geometria del Teatro in una visione assonometrica di insieme

## Il complesso del Teatro antico di Ercolano tra strutture di epoca romana e strutture settecentesche/ottocentesche





**Monitoraggio C.I.BE.C. del maggio 99 con il Servizio di radioprotezione della Federico II**

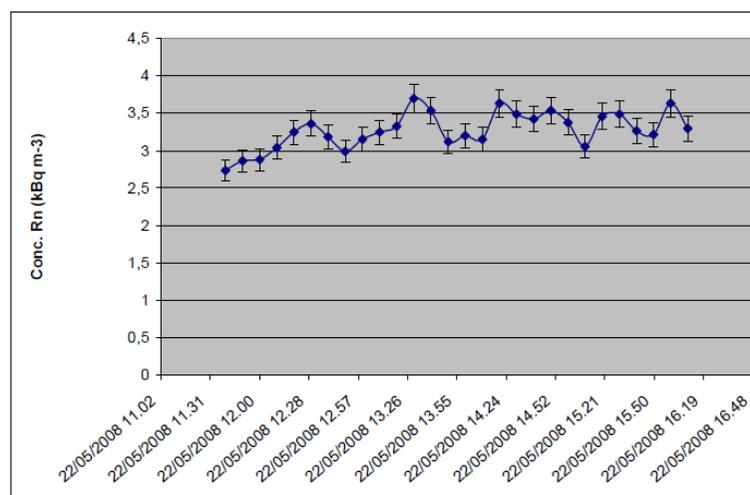


**Monitoraggio multiparametrico HCP del maggio 2008 con l'INAIL con camera a ionizzazione**

Tabella 1 – Sintesi dei principali risultati relativi al sopralluogo conoscitivo al Teatro Romano di Ercolano (Na)

PARAMETRO MICROCLIMATICO	VALORE MEDIO	INTERVALLO DI VALORI
Temperatura (°C)	14,3	13,9 – 15,1
Umidità relativa (%)	98	96,5 – 99
Conc. di <sup>222</sup> Radon (Bq/m <sup>3</sup> )	3271 ± 312	2736 - 3632

Grafico 1: rappresentazione dell'andamento dei valori di concentrazione di radon in aria nei tunnel sotterranei del Teatro Romano di Ercolano (Na)



**Alla luce dei dati già nella loro disponibilità l’RSP e il MC nella loro informativa sulla sicurezza del Teatro dedicano una scheda alla presenza del radon riportando tra gli interventi da pianificare per ridurre i rischi le indicazioni rese disponibili dall’INAIL ad HCP**

<b>DVR</b>	DOCUMENTO DI VALUTAZIONE DEI RISCHI	
	Relazione Tecnica della Sicurezza	
Ente/Amm.ne	PARCO ARCHEOLOGICO DI ERCOLANO	
Plesso/Area	TEATRO ROMANO DI ERCOLANO	

	REFERIMENTO PLANDIMETRICO	tunnel collegamento	LIV.	Area interrata	ST.	Intero sito
RISCHIO: P x D =R	2 4 8	PRIORITÀ				P2
FRONTE DI RISCHIO	Presenza di gas radon					
CATEGORIA E TIPOLOGIA DI RISCHIO	Salute					
NON CONFORMITÀ	Ricontrata presenza di gas radon					
DESCRIZIONE PARTICOLAREGGIATA	<p>Il Teatro Romano di Ercolano è un sito interrato nel quale pertanto occorre applicare a quanto previsto dalla normativa vigente (D.Lgs. 241/00), al fine di valutare il rischio di esposizione da radon per i lavoratori che per eventuali visitatori.</p> <p>Dal sopralluogo e dall'analisi dei dati sperimentali ottenuti si evince che per la valutazione di tale rischio occorre tener conto anche delle seguenti considerazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- il sito interrato risultati notevolmente esteso, articolato in diversi cunicoli, e sale;</li> <li>- il sito è attualmente chiuso ai visitatori ed è quindi accessibile solo al personale addetto al lavoro di studio e di eventuale restauro;</li> <li>- il Teatro Romano è un sito archeologico per cui anche un eventuale intervento di risanamento o bonifica è di difficile realizzazione;</li> <li>- si è in presenza di un tasso di umidità molto elevato.</li> </ul>					
MISURE DA ATTUARSI						
TRANSITORIE	/					
DA PIANIFICARE	<p>Dallo studio della documentazione dei monitoraggi pregressi sembrerebbero da pianificare le seguenti azioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-nomina di un Esperto Qualificato</li> <li>-valutazione preventiva del rischio da presenza di gas radon</li> <li>-monitoraggio individuale dei lavoratori addetti date le presenze brevi, discontinue e contemporaneamente svolte in più postazioni all'interno del Teatro Romano (impiego di dosimetri personali passivi con rivelatori a tracce nucleari in quanto meno sensibili anche ad alti tassi di umidità) da assegnare ai singoli lavoratori</li> </ul>					
ORGANIZZATIVE	/					



- nomina di un Esperto Qualificato
- valutazione preventiva del rischio da presenza di gas radon
- monitoraggio individuale dei lavoratori addetti date le presenze brevi, discontinue e contemporaneamente svolte in più postazioni all'interno del Teatro Romano (impiego di dosimetri personali passivi con rivelatori a tracce nucleari in quanto meno sensibili anche ad alti tassi di umidità) da assegnare ai singoli lavoratori

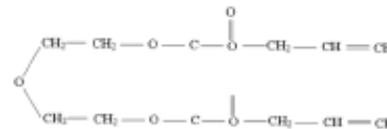
**I dosimetri passivi con rilevatore a tracce nucleari CR-39 sono i più idonei in presenza di meteorologie ipogee ad elevati tassi di umidità**

## DOSIMETRI CR-39

### COS'È IL CR-39?

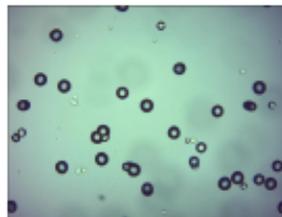
Il CR-39 (Columbia resins-39) è una resina termoindurente che si ottiene mediante un processo di polimerizzazione. Viene usato nelle industrie ottiche per le sue caratteristiche simili al vetro e per la sua maggiore resistenza rispetto a questo. Il materiale è adatto anche alla rilevazione di radiazioni di particelle alfa, e quindi di radon.

#### Poli Allil Diglicol Carbonato



### COM'È FATTO IL DOSIMETRO?

Nel nostro caso il CR-39, sotto forma di una lastrina, è posto all'interno di un piccolo contenitore cilindrico di plastica montabile. Ogni lastrina è dotata di un codice identificativo inciso nella resina per facilitarne il riconoscimento. Il dosimetro ha un diametro di 45 mm, mentre la lastra misura 25x25 mm<sup>2</sup>.

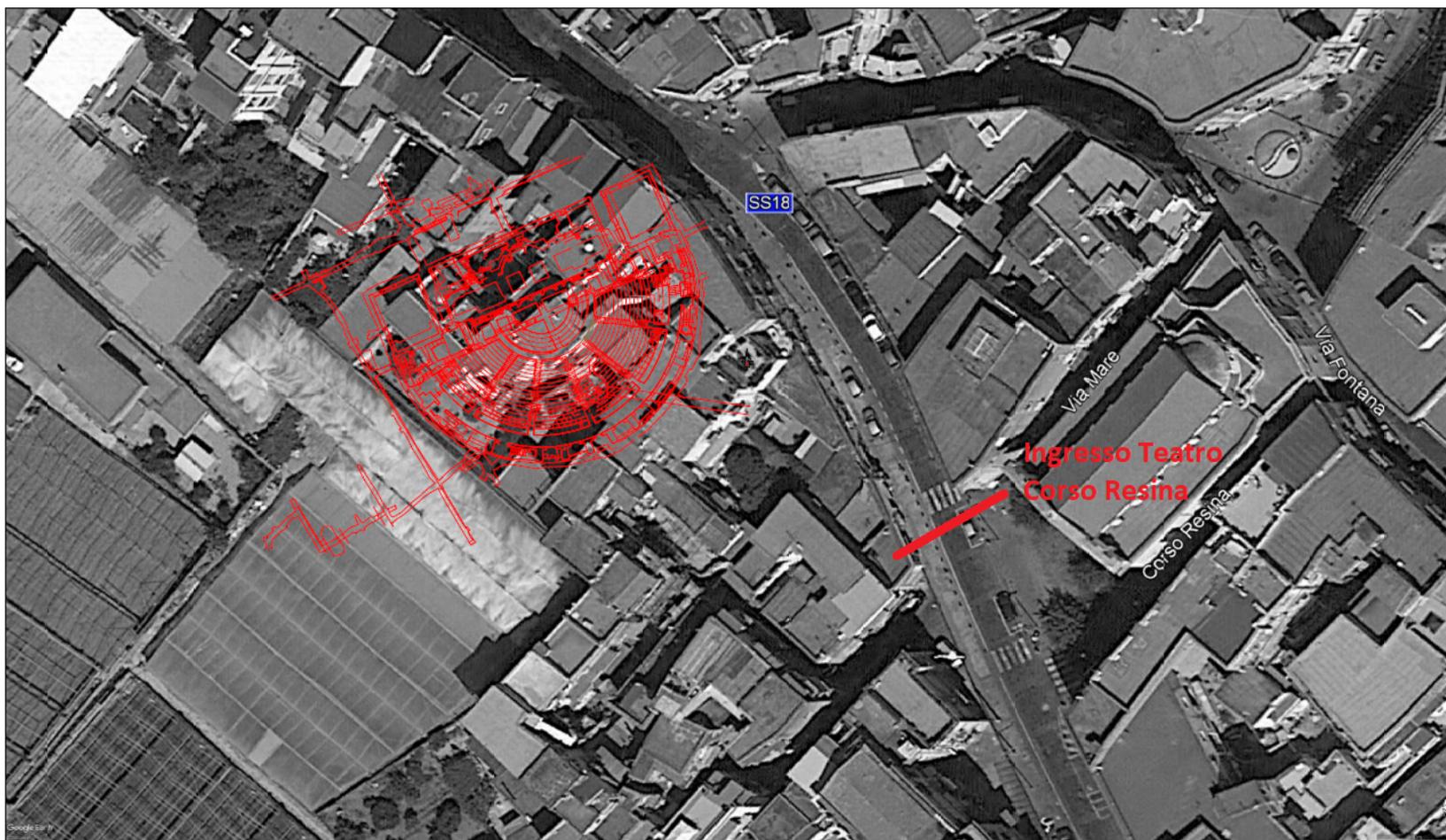


### COME FUNZIONA?

Il contenitore ha la funzione di filtrare le radiazioni derivanti da sorgenti diverse dal radon, che invece può introdursi all'interno delle fessure. La sua presenza è rilevata dalle tracce che lasciano le particelle alfa attraversando la lastra, danneggiandone le molecole del materiale e ionizzando i suoi atomi. I fori sono delle dimensioni dell'ordine del nanometro, ma vengono ingranditi nel successivo sviluppo grazie ad un attacco chimico in soluzione di idrossido di sodio. Le misure non dipendono dalle condizioni ambientali (non vi è dipendenza dalla temperatura, fino a 110°C e dall'umidità tra il 5% e il 95%).

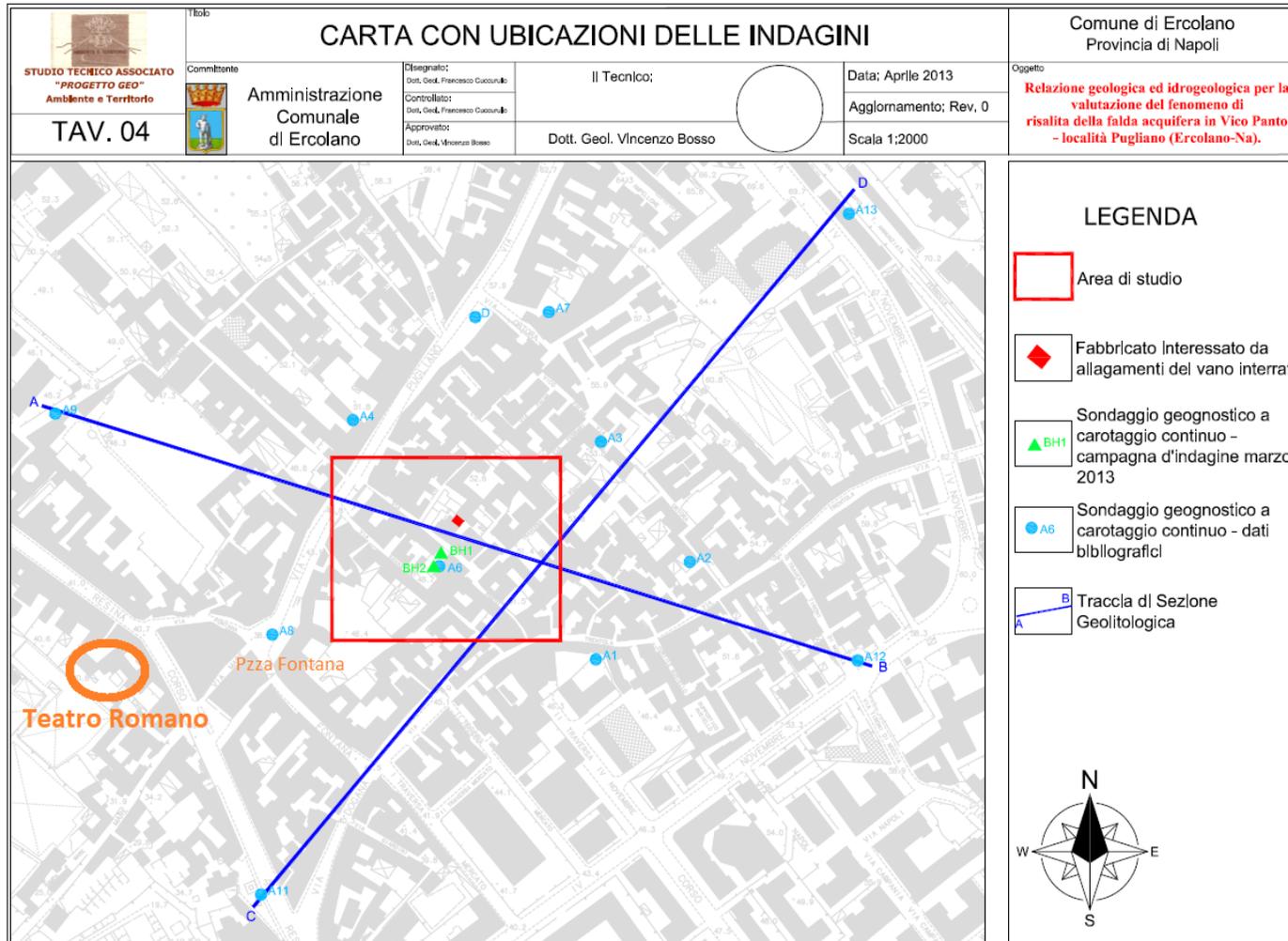
Sopra: dosimetro all'interno del suo contenitore (aperto)  
 Sotto: foto delle tracce fatte al microscopio

Sovrapposizione della pianta del Teatro Romano di Ercolano nel contesto attuale





**PUC del Comune di Ercolano**



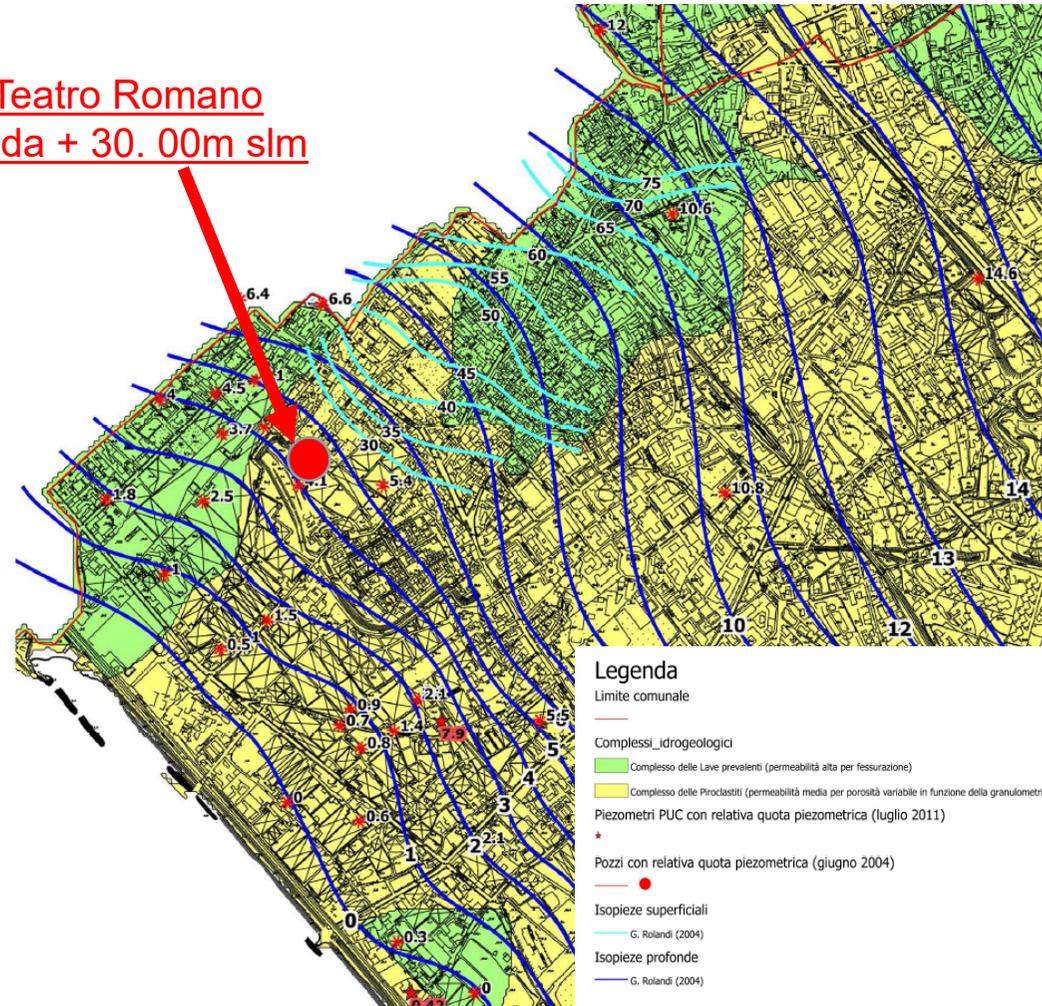


**Sondaggio A8 geognostico a carotaggio continuo in Pzza Fontana**

STUDIO TECNICO			COLONNA STRATIGRAFICA	
Dr. geologo Aldo Velotti			n. A8 "studio di Casertano"	
R. Seb. al Vesuvio Via Michelangelo, 1			eseguita con trivellazione Ø 400	
Comune di Ercolano			data: quota s.l.m. 39,00	
località: Piazza Fontana - Ercolano				
Representaz. del terreni	Quota del piano dia.	Spessore strati	Campioni n.	Descrizione del terreni
	- 1.50			materiale di riporto piroclas.
	- 4.50		(falda acquifera a - 3.50)	cenere e lapillo - sabbia e proietti
	- 6.50			sabbia fine
	- 9.00			sabbia con pomice grige e inclusi lavici.
	- 11.00			sabbia grossa e pomice grige
	- 12.50			sabbione e lenti di conglomerato tufaceo.
	- 14.00			livelli di conglomerato tufaceo
	- 16.20			conglomerato tufaceo grigio-verde a banco.
	- 18.00			conglomerato tufaceo e pomice bianche - mosaico
	- 19.50			lapillo e laterizi ercolanesi - strato Humico.
	- 20.00			sabbia eterogenea.

**PUC del Comune di Ercolano - stralcio carta idrogeologica**

**Teatro Romano**  
**Falda + 30.00m slm**



**L'acqua non offre solo radon ma anche scorci suggestivi:  
Gli speleotemi della summa cavea del Teatro Romano di Ercolano**



**L'acqua non offre solo radon ma anche scorci suggestivi:  
Gli speleotemi della summa cavea del Teatro Romano di Ercolano**



**L'acqua non offre solo radon ma anche scorci suggestivi:  
Gli speleotemi della summa cavea del Teatro Romano di Ercolano**



**L'acqua non offre solo radon ma anche scorci suggestivi:  
Gli speleotemi dei tribunalia Sud-Ovest del Teatro Romano di Ercolano**



**L'acqua non è solo sorgente di radon: contribuisce a tenere alta l'umidità relativa dell'ambiente ipogeo garantendo costanti condizioni di parziale saturazione dei terreni piroclastici sciolti che fornisce una resistenza a taglio aggiuntiva denominata**

**coesione apparente**

**Per la maggiore resistenza a taglio le pareti possono sostenersi anche con inclinazioni maggiori dell'angolo di natural declivio fintanto che permangono le condizioni di parziale saturazione. Un esempio per tutti la cupola di terreno sul pulpitem del Teatro:**



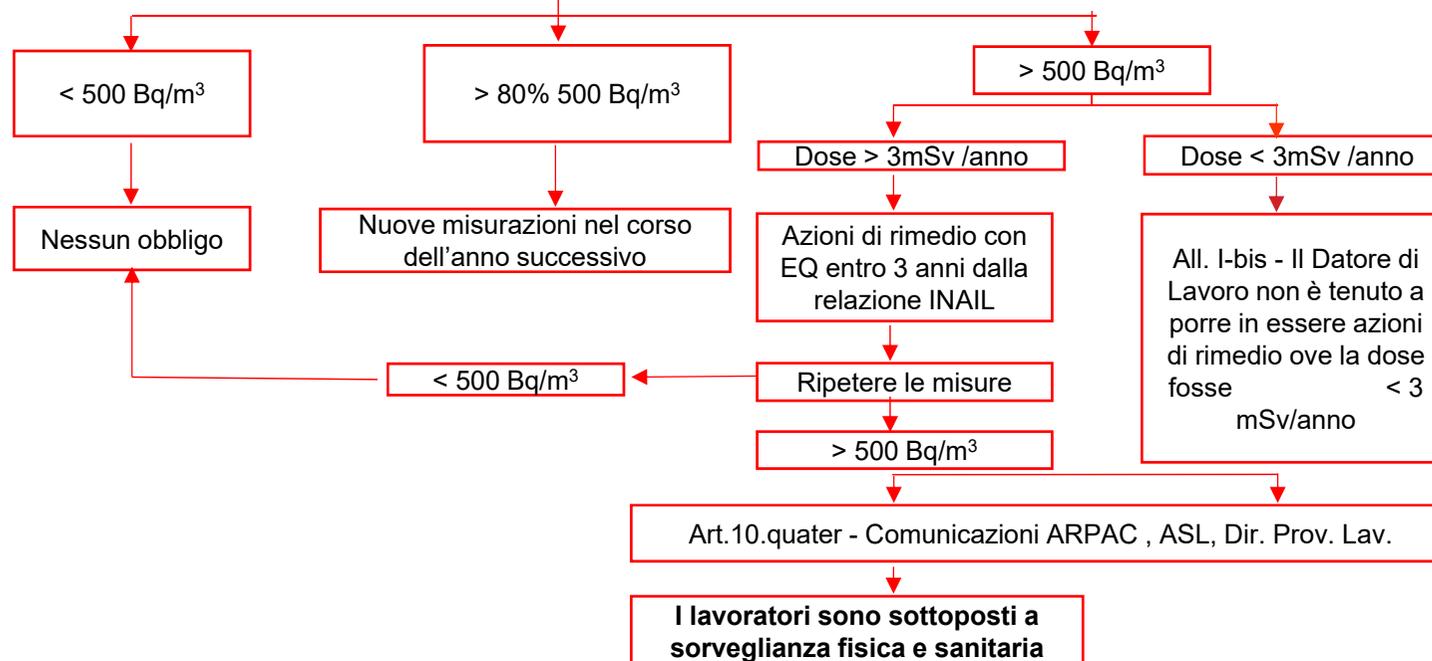
**A tal fine l'eventuale aumento della ventilazione, che con i suoi ricambi d'aria può abbassare la concentrazione di radon non deve alterare la meteorologia ipogea del Teatro di Ercolano perché potrebbe generare dei crolli di cui ad oggi non risultano traccia dalle fonti.**

**D. LEG.VO 230/1995 così come modificato dal D. LEG.VO 241/2000**

Art.10 bis – comma 1 - let. a) - Campo di applicazione  
a) attività lavorative durante le quali i lavoratori e, eventualmente, persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in particolari luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei;

**Art. 10-ter - Misurazioni entro 24 mesi dall'inizio delle attività**

Art. 10-quinquies – livelli di azione, fissati nell'allegato I-bis, in termini di **concentrazione di attività di radon media in un anno**



Sintetizzando l'iter procedurale stabilito dalla norma all'epoca vigente i passaggi salienti sono:

1) In ambienti ipogei la presenza di sorgenti di radiazioni naturali conduce ad un significativo aumento dell'esposizione dei lavoratori o di persone del pubblico, che non può essere trascurato dal punto di vista della radioprotezione;

2) Le misurazioni devono essere relative alla concentrazione di attività di radon media in un anno a causa delle fluttuazioni stagionali (con valori più alti d'estate e minori d'inverno) e orarie tra la notte e il giorno

3) Con il superamento della concentrazione del limite di azione 500Bq/mc:  
- azioni di rimedio per abbassare le concentrazioni;  
- stima della dose efficace con l'Esperto Qualificato, verificando che nessun lavoratore sia esposto ad una dose superiore al limite di 3mSv/anno ;

 4) La strategia condivisa con l'Esperto Qualificato per il Teatro romano di Ercolano è stata quella di gestire la permanenza dei lavoratori, nella fattispecie gli addetti alle guide e alla vigilanza, facendo in modo che la dose efficace sia sempre sotto il limite di 3mSv/anno.

**L'approccio basato sui limiti dell'esposizione in un bene monumentale ancor più complesso e delicato in quanto archeologico è sicuramente più indicato rispetto all'approccio delle azioni di rimedio in quanto spesso costose, invasive e dall'esito incerto dovendole applicare su geometrie complesse ed estese come quelle del Teatro di Ercolano articolato in cunicoli.**

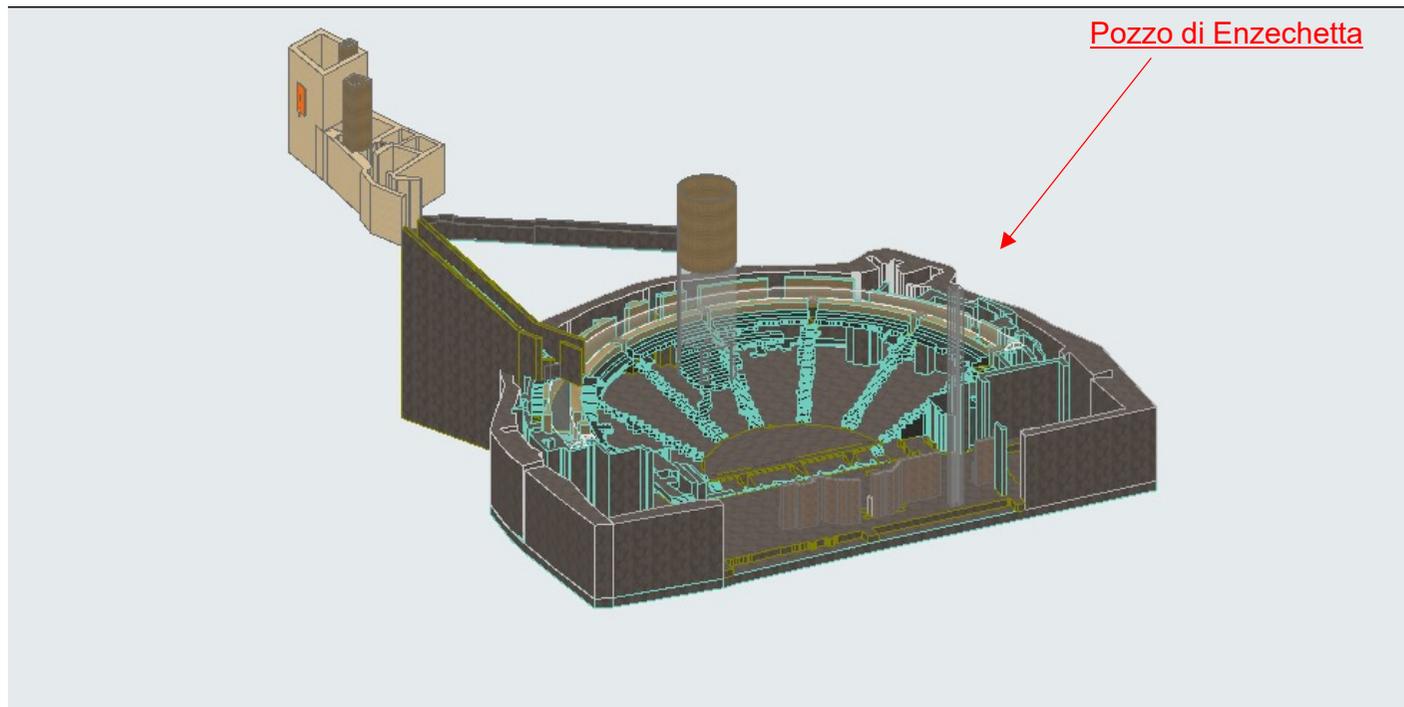
**Quando si parla di azioni di rimedio in genere si intende:**

- depressurizzazione del terreno, aerazione degli ambienti;
- aspirazione dell'aria interna;
- pressurizzazione dell'edificio, ventilazione forzata del vespaio;
- impermeabilizzazione del pavimento;
- sigillatura di crepe e fessure;
- isolamento di porte comunicanti con i luoghi interrati;

**Tutti rimedi da sconsigliare in ambienti ipogei articolati e complessi come quelli del Teatro romano di Ercolano.**

 **La strategia utilizzata per il Teatro Romano di Ercolano, una volta constatato l'ampio superamento della concentrazione del limite di 500Bq/mc, è stata quella di imporre un limite alle ore di permanenza per ciascun lavoratore facendo in modo che la dose annua assorbita sia inferiore a quella limite di normativa. Ovviamente questo è possibile garantendo una registrazione delle ore di permanenza manualmente tramite un registro delle presenze oppure utilizzando accessi tramite badge il tutto garantito dalla rotazione delle risorse umane disponibili.**

**Attualmente l'unica azione di rimedio percorribile è la riapertura del pozzo di Enzechetta che per sezione e altezza si presta ad essere un'ottima canna di ventilazione e potrebbe consentire la riduzione di concentrazione di radon alla base proprio dove attualmente si registrano i più alti valori di radon**



**La strategia condivisa con l'Esperto Qualificato per il Teatro romano di Ercolano è stata quella di gestire la permanenza dei lavoratori, nella fattispecie gli addetti alle guide e alla vigilanza, facendo in modo che la dose efficace sia sempre sotto il limite di 3mSv/anno.**

**Per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori a concentrazione di attività di radon si applica il fattore convenzionale di conversione  $3 \cdot 10^{-6}$  mSv di dose efficace per unità di esposizione espressa in Bq h m<sup>-3</sup>.**

**$E_{\text{dose efficace}} \text{ (mSv/anno)} = T_{\text{tempo di permanenza}} \text{ (h/anno)} \times F_{\text{Fattore convenzionale di conversione}} \text{ } 3 \cdot 10^{-6} \text{ mSvm}^3/\text{Bqh} \times \text{Concentrazione di attività di radon (Bq/m}^3\text{)}$**

**Quindi mentre il tempo di permanenza del lavoratore lo si può stabilire sulla base del programma di visite e il fattore di conversione ci viene suggerito dalle norme, per conoscere la dose efficace a cui è sottoposto ciascun lavoratore occorre conoscere la concentrazione di radon media annua, per adempiere a quanto richiesto dal D.Lgs 241/2000.**

**Dunque si dovrebbe chiudere il monumento, distribuire i dosimetri inviati dal laboratorio nei punti salienti con l'aiuto dell'Esperto Qualificato, attendere l'esito del monitoraggio annuale e solo alla fine stimare la dose efficace noto il numero di ore di permanenza dei lavoratori dal dal programma di visite stabilito dal Datore di Lavoro oppure al contrario imporre la soglia limite di normativa (3mSv/anno) e ricavare il numero massimo di ore di permanenza sulla base delle quali stilare il programma di visite, questo anche in funzione delle risorse umane disponibili.**

**Tenendo conto che al netto del monitoraggio vero e proprio che dura un anno, il Parco Archeologico di Ercolano è un Ente Pubblico e quindi nel rispetto del Codice degli Appalti occorrono i tempi fisiologici amministrativi per gli affidamenti di servizi, rispettivamente all'Esperto Qualificato e al laboratorio. Tempi che possono raggiungere 4 mesi, tenendo conto anche dei preventivi sopralluoghi dell'Esperto Qualificato per capire il grado di complessità del monumento da monitorare**

**Aggiungiamo l'intervallo temporale di circa 2 mesi impiegato dal laboratorio per la restituzione dei risultati e la stesura della relazione tecnica, dalla quale è possibile leggere i valori di concentrazione, a cui segue un altro mese e mezzo per le elaborazioni dell'Esperto Qualificato**

**Quindi a voler pur sottostimare i tempi necessari per arrivare ai risultati di un monitoraggio da radon, per un bene monumentale come il Teatro romano di Ercolano, sono stati necessari circa 18 mesi.**

**Avremmo dovuto dunque aspettare, in ottemperanza al dettato normativo, 18 mesi prima di aprire il Teatro al pubblico**

## **STRATEGIE PAERCO PER RIDURRE I TEMPI DI FRUIZIONE DEL TEATRO**

**Di concerto con l'Esperto Qualificato, con il laboratorio, con l'RSPP e il MC, nonché con la Direzione del Parco Archeologico di Ercolano sono state messe in atto 3 strategie:**

- una a breve termine;
- una a medio termine;
- una a lungo termine.

**Tutte e 3 con un minimo comun denominatore e cioè elaborare i dati di concentrazione di radon di volta in volta disponibili eseguendo delle stime di valutazione della dose efficace sempre più precise man mano che si stabilizzavano i valori di concentrazione che giungevano dal laboratorio.**

**L'Esperto Qualificato, l'unica figura titolata ad eseguire queste valutazioni dosimetriche, progressivamente definiva tempi di permanenza sempre più precisi, tenendo conto, ovviamente, dell'incertezza dei dati, fornendo tempi di permanenza che da una parte garantivano la sicurezza dei lavoratori e dall'altra potessero consentire la fruizione del Teatro.**

**In sintesi l'Esperto Qualificato ricava il numero di ore di permanenza per le unità addette alle guide e alla vigilanza come segue:**

- nel breve termine con il monitoraggio breve del '99;
- nel medio termine con il monitoraggio individuale sulle maestranze impegnate negli interventi di manutenzioni preliminari all'apertura del Teatro ed indicati dall'RSPP nella sua informativa del 2017;
- nel lungo termine con il monitoraggio ambientale.

**Valutazione dosimetrica a breve termine sul monitoraggio C.I.BE.C. del '99.**

Con l'apertura del Teatro prevista in data 09/06/2018, il monitoraggio individuale iniziato il 28/05/2018 e con ultimazione il 22/06/2018 e con il monitoraggio ambientale iniziato in data 28/05/2018 e con ultimazione un anno dopo il 28/05/2019 gli unici dati disponibili di concentrazione di radon erano i dati del Servizio di Radioprotezione della Federico II del '99 commissionati dal C.I.BE.C., che registrarono una concentrazione media di radon di 2.400,00 Bq/mc

L'Esperto Qualificato utilizza questi dati per eseguire subito una valutazione dosimetrica in modo da fissare nel breve termine i tempi di permanenza per le guide e la vigilanza a partire dal 09 giugno, giorno previsto per l'apertura del Teatro.

L'ufficio accessibilità rende noto il prospetto dei giorni e delle ore lavorative del personale che sarà chiamato al Teatro nella gestione della fruizione.

L'esperto Qualificato rispetto alle ore di permanenza considerate dal Parco, ipotizza a vantaggio di sicurezza, un massimo di 16 ore al mese per 11 mesi con un monte ore annuo di 180 ore.

**Con un monte ore di 180 h/anno, una concentrazione di 2.400,00 Bq/mc la dose efficace massima assorbibile da ciascun lavoratore è pari 1,3mSv/anno < 3mSv/anno.**

**Con questa prima relazione basata sui primi dati disponibili, il Teatro apre al pubblico.**

### **Valutazione dosimetrica a medio termine sul monitoraggio individuale**

**L'RSPP nel 2017 con una relazione tecnica al Datore di Lavoro espone una disamina su tutti i rischi connessi all'apertura del Teatro che impongono oltre al monitoraggio del radon l'esecuzione di opere (sistemazione lucernari, consolidamento di elementi strutturali e intonaci, impianti elettrici, di illuminazione e di sicurezza ecc.)**

**I suddetti interventi dovevano essere svolti in ambienti in cui era presente il radon con concentrazioni >500Bq/mc, come rilevato nei monitoraggi brevi del '99 e del 2008.**

**Le unità lavorative dovevano essere sottoposte a sorveglianza fisica con una valutazione del rischio da esposizione radon anche se le stesse svolgevano mansioni lavorative estemporanee. L'Esperto Qualificato dal numero di ore di permanenza lavorative stima la dose assorbita dai lavoratori.**

**Quindi parallelamente al monitoraggio ambientale annuale viene attivato, con l'Esperto qualificato e il laboratorio, un monitoraggio individuale della durata di 4 settimane monitorando 9 unità addette a svolgere attività lavorative con varie mansioni.**

**A tal fine vengono assegnati dei dosimetri passivi con rilevatori a tracce nucleari CR-39, forniti dal laboratorio, che i lavoratori indosseranno durante la loro attività compilando giornalmente una scheda con l'orario di accesso e di uscita dal sito.**

**Il calcolo della dose assorbita dai lavoratori viene impostato sulle seguenti ipotesi:**

- Analisi dei dati di concentrazione di attività del gas radon;**
- Orario di lavoro effettuato nel corso del periodo di monitoraggio;**
- Valutazione del "intake" da radon 222;**
- Fattori di conversione descritti nel D.Leg 241/2000.**

**Esito del monitoraggio di 4 settimane a medio termine attraverso dosimetria personale sui 9 lavoratori addetti alle manutenzioni propedeutiche all'apertura del Teatro.**

ID Dosimetro	Lavoratore	Ore totali	Dose mSv
57139	Gennaro De Martino	98	0,01
57183	Anna Biase	97	0,01
57222	Emiliano Vitello	194	0,6
57259	Eliana De Martino	103	0,1
57296	Aniello Crescenzo	106	0,01
57092	Aniello Tammaro	203	0,4
57135	Daniela Milani	75	0,0
57294	Francesco Notaro	200	0,2
57301	Antonio Testa	36	0,01

Max dose assorbita

Min dose assorbita

**Il monte ore del personale monitorato varia da un minimo di 36 ore ad un massimo di 203 ore a seconda dell'impegno lavorativo nel sito.**

**La dose efficace è risultata estremamente bassa, ma il dato importante è stato che la max dose assorbibile in 192 ore di permanenza all'interno del Teatro è stata di 0,6 mSv, in un mese di attività, da cui  $192/12=16$  ore mensili, limite superiore mensile che l'Esperto Qualificato prescrive per guide turistiche e vigilanza, perché la dose sia inferiore al limite previsto dalle norme pari a 3mSv/anno.**

### **Valutazione dosimetrica a lungo termine con il monitoraggio ambientale**

**E' pur vero che con il monitoraggio breve del '99 e la dosimetria individuale si è potuto consentire l'apertura del Teatro e mettere sotto protezione fisica i lavoratori delle ditte affidatarie degli interventi di manutenzione ma è pur vero che non si era adempiuto compiutamente a quanto richiesto dalla normativa vigente in relazione alla protezione dall'esposizione da radon in luogo di lavoro interrati, ossia alla valutazione della concentrazione media annua.**

**La dosimetria ambientale annuale, espressamente prevista dalla norma, è l'unico approccio che sancisce l'effettiva concentrazione di radon perché scevra dalle oscillazioni stagionali.**

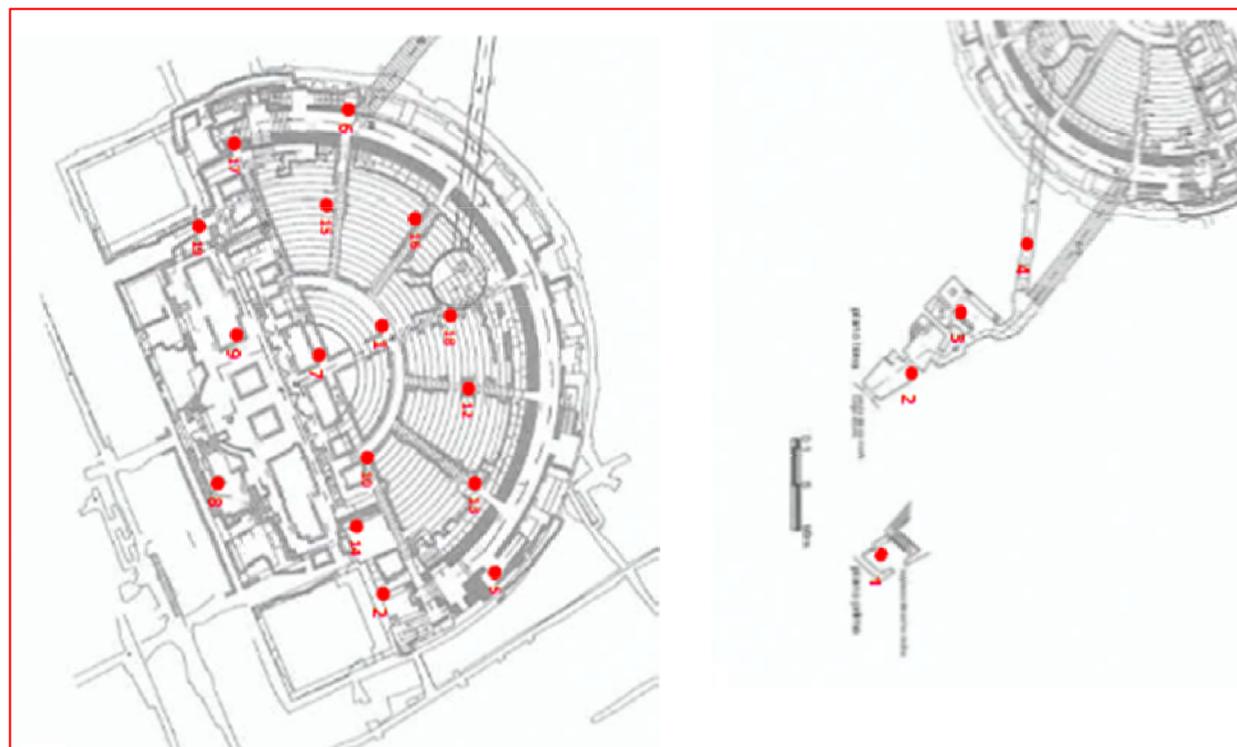
**Dunque occorre colmare questa lacuna.**

**L'importanza del monitoraggio ambientale sarà quello di fornire un valore medio annuo di radon nei diversi "ambienti" del sito archeologico, che andrà riportato anche all'interno del documento di valutazione del rischio (ai sensi del D.Lgs 81/08), in modo tale che negli affidamenti di servizi, forniture e lavori a ditte esterne potrà essere messa in luce l'eventuale necessità che le stesse si avvalgano di un Esperto Qualificato per la gestione di questo rischio di esposizione.**

**Infatti come previsto dall'ar.26 comma 1 let.b) del D.Lgs. 81/2008 vengono fornite ai soggetti a vario titolo presenti in un luogo/organizzazione sotto la responsabilità di un Datore di Lavoro (nel nostro caso nei luoghi afferenti al PARCO ARCHEOLOGICO DI ERCOLANO) dettagliate informazioni sui rischi specifici esistenti negli ambienti e nelle aree in cui sono destinati ad operare e sulle misure di prevenzione ed emergenza adottate.**

Tale documento, denominato “Informativa sui rischi potenzialmente presenti nel PARCO ARCHEOLOGICO DI ERCOLANO” riporta i risultati e le stime dell’EQ sulle ore/anno massime per avere un assorbimento di dose efficace massimo di 3mSv/anno

A seguito di sopralluogo dell’Esperto Qualificato si stabiliscono 20 punti, i più significativi, dove andare a collocare i dosimetri passivi a tracce nucleari che rimarranno in posto per 1 anno con un’interruzione intermedia di 6 mesi.



**Durante i primi sei mesi, dal 28/05/2018 al 03/12/2018, i dosimetri vengono lasciati in situ per un totale di 4536 ore di esposizione e registrate le concentrazioni di radon. Dal primo semestre emerge nella zona del Teatro livelli di radon molto alti che attestano nel range 1717-4195 Bq/mc, con un valore medio di concentrazione pari a 2956 Bq/mc**

**Tabella 1: risultati del monitoraggio del radon – primo semestre**

CODICE DOSIMETRO	PUNTO DI MISURA	N. ORE DI ESPOSIZIONE	ESPOSIZIONE (KBq m <sup>-3</sup> h)	CONCENTRAZIONE (Bq/m <sup>3</sup> )
57251	1	4536	962 ± 106	<b>212 ± 23</b>
57113	2	4536	1098 ± 120	<b>242 ± 26</b>
57235	3	4536	1320 ± 142	<b>291 ± 31</b>
57140	4	4536	1511 ± 161	<b>333 ± 36</b>
57250	5	4536	19028 ± 1917	<b>4195 ± 423</b>
57273	6	4536	8943 ± 906	<b>1972 ± 200</b>
57144	7	4536	16217 ± 1635	<b>3575 ± 361</b>
57125	8	4536	18226 ± 1837	<b>4018 ± 405</b>
57299	9	4536	16262 ± 1640	<b>3585 ± 362</b>
57277	10	4536	14547 ± 1468	<b>3207 ± 324</b>
57095	11	4536	13990 ± 1412	<b>3084 ± 311</b>
57103	12	4536	15762 ± 1590	<b>3475 ± 350</b>
57191	13	4536	17598 ± 1774	<b>3880 ± 391</b>
57134	14	4536	17892 ± 1804	<b>3944 ± 398</b>
57119	15	4536	13800 ± 1393	<b>3042 ± 307</b>
57196	16	4536	10165 ± 1028	<b>2241 ± 227</b>
57218	17	4536	7787 ± 790	<b>1717 ± 174</b>
57209	18	4536	15552 ± 1569	<b>3429 ± 346</b>
57227	19	4536	13276 ± 1340	<b>2927 ± 295</b>
57262	20	4536	17895 ± 1804	<b>3945 ± 398</b>

**Trattandosi di un monitoraggio durante il periodo estivo nel secondo semestre ci attendevamo valori inferiori**

**L'Esperto Qualificato, con i dati del primo semestre, aggiorna le sue ultime valutazioni dosimetriche tarate sulla dosimetria individuale**

**In particolare si valuta che la dose assorbita dai lavoratori che opereranno in qualità di guida per 52 giorni (1 giorno/settimana) per 3 ore di attività par ad un totale di 156 ore, è pari a 1,5 mSv/anno, valore di inferiore a quello prescritto dalla normativa vigente in 3mSv/anno. L'Esperto Qualificato, attesi i valori di concentrazione più attendibili, consente un numero di ore massime di permanenza pari a 250 h/anno.**

**In data 28/05/2019 termina il II° semestre di misurazioni con valori di concentrazione di radon negli ambienti del Teatro nel range 1190-1771 Bq/mc come previsto più basso rispetto al periodo estivo**

Tabella 2: risultati del monitoraggio del radon – secondo semestre

CODICE DOSIMETRO	PUNTO DI MISURA	ORE DI ESPOSIZIONE	ESPOSIZIONE (κBq m <sup>-3</sup> h)	CONCENTRAZIONE (Bq/m <sup>3</sup> )
58601	1	4584	1492 ± 159	325 ± 35
58602	2	4584	1745 ± 184	381 ± 40
58618	3	4584	2395 ± 250	522 ± 54
58626	4	4584	2515 ± 262	549 ± 57
58644	5	4584	8008 ± 813	1747 ± 177
58683	6	4584	6610 ± 672	1442 ± 147
58684	7	4584	5454 ± 556	1190 ± 121
58701	8	4584	6158 ± 627	1343 ± 137
58725	9	4584	5959 ± 607	1300 ± 132
58742	10	4584	5716 ± 583	1247 ± 127
58750	11	4584	6457 ± 657	1409 ± 143
58756	12	4584	8119 ± 823	1771 ± 180
58757	13	4584	6901 ± 701	1505 ± 153
58762	14	4584	6226 ± 634	1358 ± 138
58765	15	4584	6819 ± 693	1488 ± 151
58766	16	4584	6134 ± 625	1338 ± 136
58778	17	4584	6630 ± 674	1446 ± 147
58801	18	4584	7116 ± 723	1552 ± 158
58818	19	4584	5515 ± 563	1203 ± 123
58824	20	4584	5878 ± 599	1282 ± 131

In definitiva i valori medi annui di concentrazione da attività da radon variano nelle zone di accesso a quota livello stradale nel range 269-442 Bq/mc mentre nelle zone del Teatro ci attestiamo in un range 1581-2965 Bq/mc, che consente all'Esperto Qualificato di portare le ore di permanenza nel Teatro a 350 h/anno tenendo conto della variabilità della concentrazione di radon nel sito in oggetto, della presenza discontinua dei lavoratori all'interno dello stesso, delle incertezze dei risultati del monitoraggio e dell'eventuale variabilità del Fattore di Equilibrio tra il gas radon ed i suoi prodotti di decadimento

Tabella 3: risultati finali concentrazione di radon media annua

PUNTO DI MISURA	CONC 1°	CONC 2°	CONC RN MEDIA ANNUA
	Bq/m <sup>3</sup>		
1	212 ± 23	325 ± 35	269 ± 42
2	242 ± 26	381 ± 40	312 ± 48
3	291 ± 31	522 ± 54	407 ± 62
4	333 ± 36	549 ± 57	442 ± 67
5	4195 ± 423	1747 ± 177	2965 ± 459
6	1972 ± 200	1442 ± 147	1706 ± 248
7	3575 ± 361	1190 ± 121	2376 ± 381
8	4018 ± 405	1343 ± 137	2673 ± 428
9	3585 ± 362	1300 ± 132	2436 ± 385
10	3207 ± 324	1247 ± 127	2222 ± 348
11	3084 ± 311	1409 ± 143	2242 ± 342
12	3475 ± 350	1771 ± 180	2619 ± 394
13	3880 ± 391	1505 ± 153	2686 ± 420
14	3944 ± 398	1358 ± 138	2644 ± 421
15	3042 ± 307	1488 ± 151	2261 ± 342
16	2241 ± 227	1338 ± 136	1787 ± 265
17	1717 ± 174	1446 ± 147	1581 ± 228
18	3429 ± 346	1552 ± 158	2486 ± 380
19	2927 ± 295	1203 ± 123	2060 ± 320
20	3945 ± 398	1282 ± 131	2606 ± 419

**GRAZIE**