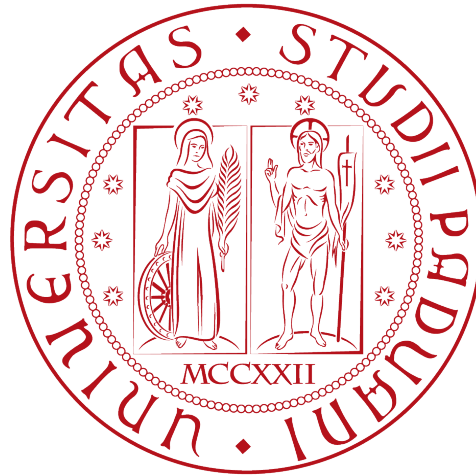


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



Dipartimento di Scienze Geologiche

direttrice Prof.ssa Cristina Stefani

TESI DI LAUREA TRIENNALE

IN

GEOLOGIA

***CONTROLLO GEOLOGICO E GEOCHIMICO
SULLA PRESENZA DI RADON E SULLA
RADIOATTIVITÀ NATURALE NEL DISTRETTO
DEI COLLI EUGANEI
(ITALIA NORD ORIENTALE)***

Relatore: Prof. Raffaele Sassi

Correlatore: Prof. Claudio Mazzoli

Laureando: Alessio Ambrosi

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	7
3.1. CARATTERI GEO-STRUTTURALI GENERALI DELL'AREA EUGANEA	
3.2. DESCRIZIONE LITOLOGIE AFFRIORANTI NELL'AREA IN ESAME	
4. RADON E RADIOATTIVITÀ NATURALE.....	17
4.1. INFORMAZIONI GENERALI	
4.2. PROCESSO DI FORMAZIONE E DECADIMENTO DEL RADON	
4.3. IMPORTANZA DELLO STUDIO SUL RADON	
5. MATERIALI E METODI.....	21
5.1. SCELTA E PREPARAZIONE DEI CAMPIONI	
5.2. ANALISI DI LABORATORIO	
5.2.1. Analisi chimica XRF	
5.2.2. Analisi dello spettro di emissione gamma	
5.2.3. Misurazione della radioattività naturale tramite dosimetro	
6. RISULTATI.....	29
6.1. REALIZZAZIONE CARTA GEOLOGICA	
6.2. ANALISI CHIMICA XRF	
6.3. ANALISI SPETTROMETRIA GAMMA	
6.4. RISULTATI MISURAZIONI CON DOSIMETRO	
6.5. RAPPORTI LITOLOGIA – RADIOATTIVITÀ	
6.6. CONCENTRAZIONE ELEMENTI RADIOATTIVI	
7. CONFRONTO DATI SPETTROMETRIA – DATI DOSIMETRO.....	41
8. CARATTERIZZAZIONE DEI CAMPIONI STUDIATI IN RAPPORTO CON ALTRI CAMPIONI DI ORIGINE MAGMATICA – INTRUSIVA.....	43
9. CONCLUSIONI.....	45
10. BIBLIOGRAFIA.....	47

1 INTRODUZIONE

Allo scopo di effettuare delle ricerche approfondite sul Radon e più in generale sulla radioattività naturale nel distretto Euganeo, nel 2013 è stato istituito un apposito programma di ricerca denominato " Geological and geochemical control on Radon occurrence and natural radioactivity on Euganean Hills district (North-Eastern Italy)".

All'interno di questo progetto si sviluppa la seguente tesi, la quale prende in considerazione un'area limitata, tuttavia significativa sotto il profilo litologico.

Per realizzare al meglio l'obbiettivo della tesi e del progetto è stata però necessaria la creazione di una nuova carta geologica poiché la precedente, risalente al 1981 (*Piccoli et Al. 1981*), risente dell'età e della piccola scala, mentre la carta realizzata da I.S.P.R.A e Parco Colli all'interno del Foglio 147 Padova Sud (*Cucato et Al. 2011*) non comprende l'area in esame.

Inoltre, grazie alla significativa varietà litologica presente, si è effettuato un campionamento e un rilevamento con dosimetro più particolareggiato, fornendo quindi una maggiore densità di dati allo scopo di avere un risultato finale più preciso e vicino alla realtà possibile.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La zona oggetto di studio si trova sui Colli Euganei, un gruppo collinare di origine vulcanica che sorge nella pianura padano-veneta, pochi Km a Sud-Ovest di Padova.

Sviluppati su una superficie di circa 100 Km², i Colli Euganei sono costituiti da un corpo principale allungato in direzione Nord-Sud (Cucato et al., 2011) e circondato da altri rilievi minori (Fig. 1).

Il distretto si compone di 52 colline, un tempo 53, una collina infatti, il Monte Fiorin, è stata completamente spianata dall'intensa attività estrattiva delle marne euganee negli anni 50 e 60.

Il rilievo maggiore è il Monte Venda che con i suoi 601 m è l'unico "vero" monte del complesso Euganeo.

Altri rilievi importanti sono il Monte della Madonna (525 m), Baiamonte (486 m), il Monte Grande (474 m) e il Monte Vendevolo (461 m).

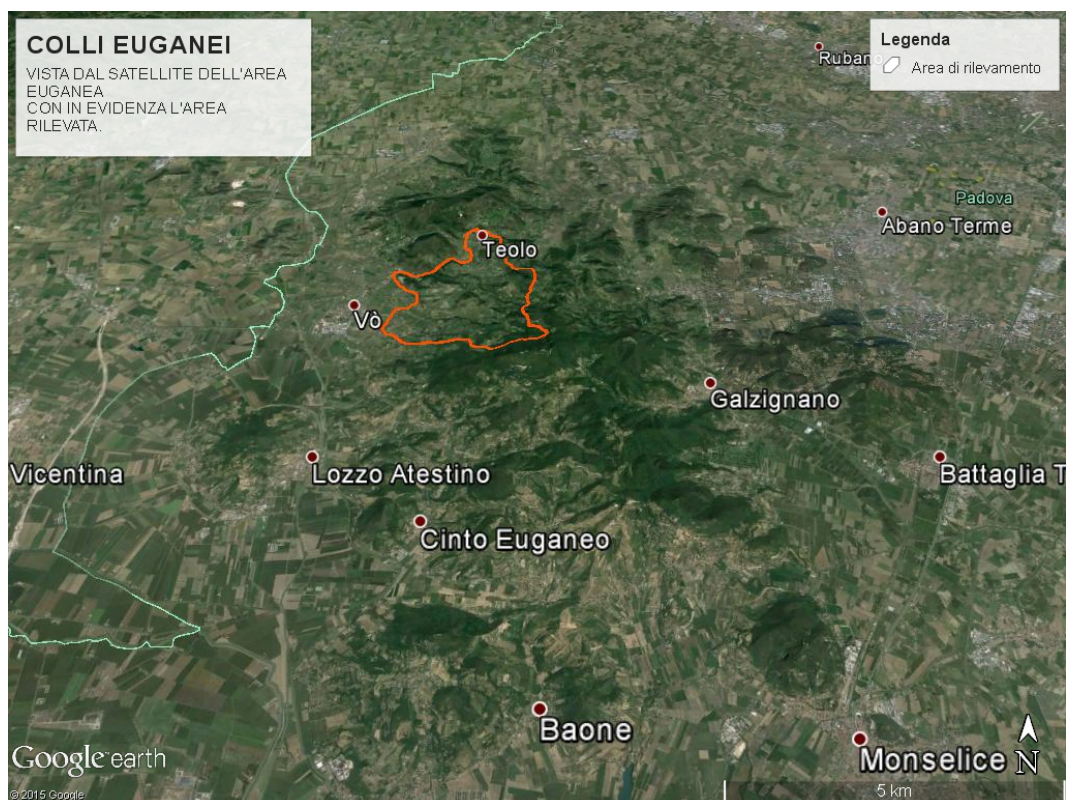


Fig. 1. Visuale dal satellite dei Colli Euganei, (ortofoto Google Earth™ 2015).

Osservando una panoramica della zona, si può notare come le geometrie varino salendo di quota, abbiamo infatti:

- forme arrotondate e ondulate alla base dei rilievi, dove sono presenti rocce sedimentarie;
- forme a cupola e dai ripidi versanti dove le coperture sedimentarie tenere sono state erose lasciando esposte rocce eruttive subvulcaniche più dure e resistenti all'erosione.

In particolare l'area di rilevamento è situata nella zona tra Vo', Zovon, Teolo, Castelnuovo e Boccon e comprende il versante Est della dorsale Venda – Vendevolo, il Monte delle Forche e le Forche del Diavolo, il Monte Castellaro, il Monte Rovarolla, la località di Ronco, Rocca Pendice, il Monte Brecale e parte del Monte Baiamonte (*Fig. 2*).

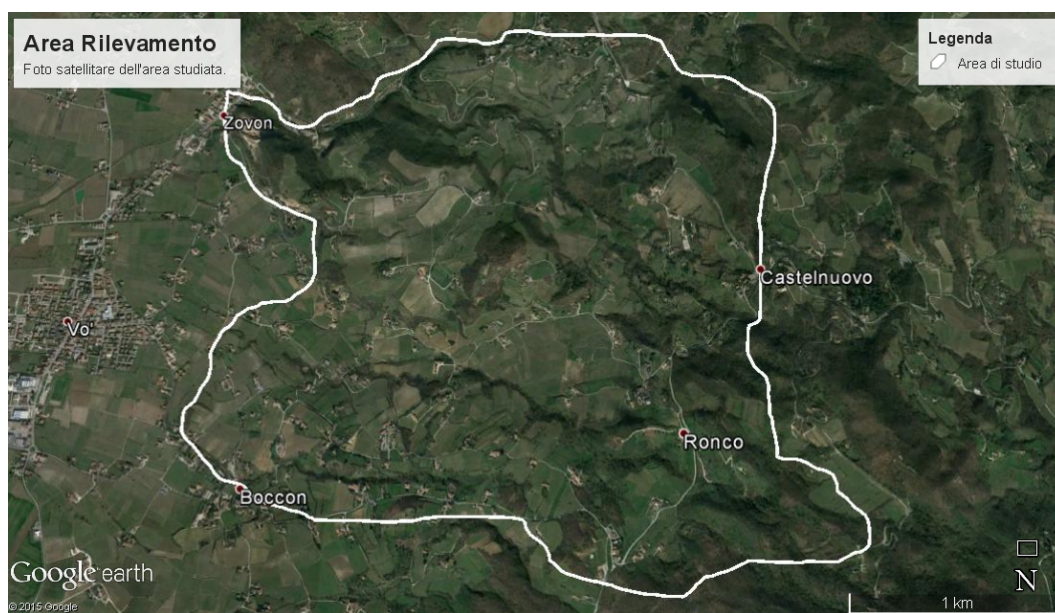


Fig. 2. Vista satellitare dell'area di rilevamento (Ortofoto Google Earth™, 2015)

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1. CARATTERI GEO-STRUTTURALI GENERALI DELL'AREA EUGANEA

l'area rilevata si trova nella porzione meridionale della piattaforma di Trento e, come le aree Beriche e dei Lessini, è coinvolta nel processo distensivo di età Paleocenica – Eocenica. Questo processo causa la messa in posto dell'half graben distensivo denominato Alpone – Agno (AAG), il quale è probabilmente delimitato da faglie listriche normali rotazionali. Queste fasi deformative, sono probabilmente causa del vulcanesimo caratteristico del terziario veneto, in cui si inserisce il primo ciclo magmatico Euganeo (*Zampieri 1995; Pola et al., 2013*). Inoltre, la direzione di alcuni filoni intrusi, suggerisce l'esistenza di fratture antiche predecessori della faglia Schio-Vicenza.

Le formazioni più antiche affioranti nell'area euganea sono riconducibili a litologie sedimentarie bacinali di alto fondale, le quali, poiché comuni a tutta l'area Sud-alpina veneta, si possono raggruppare in una categoria distinta rispetto alle litologie successive.

In ordine di antichità la prima formazione è il Rosso Ammonitico Veronese (RAV) di età Cretacica (affiorante nella zona di Fontanafredda), alla quale si sovrappone in maniera graduale la Maiolica (MAI) e Scaglia Variegata Alpina (VAA) di età compresa tra il Titoniano superiore e il Turoniano, infine compare la Scaglia Rossa Alpina (SAA) (affioranti ad esempio lungo la strada da Villa a Teolo).

3.2. DESCRIZIONE LITOLOGIE AFFRIORANTI NELL'AREA IN ESAME

In seguito alla messa in posto della Scaglia Rossa Alpina si ha l'inizio del cosiddetto "primo ciclo magmatico euganeo" seguito dal "secondo ciclo magmatico euganeo (o euganeo s.s.)".

PRIMO CICLO MAGMATICO EUGANEO

di età Eocenica superiore, è caratterizzato da due formazioni principali:

la formazione di Torreglia (FDT) (ex Marne Euganee) è composta da calcari biocostruiti di età Luteziano – Rupeliano (48 Ma – 28 Ma) occasionalmente intercalati a prodotti vulcanici basici o terrigeni (pelitici). Affiorante

principalmente presso l'abitato di Teolo in maniera continuativa, ha spessore variabile da 1-2 metri a più di 20 metri e giacitura variabile. Affiora sporadicamente anche nel resto dell'area rilevata, solitamente, in vallate o zone pianeggianti comprese tra due o più rilievi di origine vulcanica.

In campagna si presenta come una marna poco compatta e fittamente stratificata di colore variabile da grigio chiaro a grigio scuro (*Fig. 3*).



Fig.3. Foto affioramento FDT zona Passo Del Vento.

Dagli esami XRF svolti su dei campioni rappresentativi è emerso l'alto contenuto carbonatico, specie nel campione in zona Monte delle Forche (circa 90%), confermato dall'esame delle sezioni sottili, determinanti, il carattere biocostruito della litologia e le specie fossili coinvolte (nummuliti, globigerine, discocicline, amphistegina, macroforaminiferi agglutinanti, briozoi, echinodermi e alghe come *Bacinella Irregularis*).

La formazione di Castelnuovo (CVO) formata da prodotti magmatici basici di vario genere; questo ciclo è correlabile al sopracitato vulcanesimo terziario veneto. Questi prodotti, essendo riconducibili a effusioni sottomarine, si pongono, in campagna, al di sopra delle formazioni sedimentarie precedentemente citate (rapporto stratigrafico normale). Sono distinguibili in campagna diverse tipologie litologiche riconducibili a tale formazione:

Basalto: roccia effusiva di tipo basico e dalla colorazione scura appartenente sia al primo che al secondo ciclo vulcanico.

In carta affiorano (spesso intercalati in laloclastiti) nelle zone limitrofe a Castelnuovo (*Fig.4*), Ronco ed a Nord di Boccon sia in forma di filoni che colate riconducibili principalmente al primo ciclo magmatico, mentre i numerosi filoni ritrovati sul Monte delle Forche e nell'area delle cave di pietra di Zovon sono di più difficile interpretazione.



Fig. 4. Foto di un affioramento basaltico vicino al cimitero di Teolo.

Al microscopio la grana è fine e la struttura è porfirica, inequigranulare iatale. E'

costituita da fenocristalli di plagioclasio e pirosseno immersi in una pasta di fondo microcristallina ialopilitica.

Ialoclastiti: breccie vulcanoclastiche formatesi durante un'eruzione sottomarina. Di colorazione grigio-nerastra, appartengono al primo ciclo vulcanico. Sono costituite da clasti vetrosi molto alterati.

In carta si trovano nelle aree di Castelnuovo, Ronco, Nord di Boccon, tra Castelnuovo e Teolo sul versante di Rocca Pendice, e , in maniera sparsa, in località Contea e sul monte Castellaro (*Fig. 5*).



Fig. 5. Foto affioramento di Ialoclastiti vicino a Castelnuovo.

Al microscopio la roccia mostra una struttura brecciata con clasti devetrificati,

clasti marnosi in una matrice carbonatica e infine calcite e zeoliti come riempimenti di cavità. Appare fortemente alterata, infatti la sezione è cosparsa di strutture di devetrificazione a formare sferuliti.

SECONDO CICLO MAGMATICO EUGANEO (EUGANEO S.S.)

Di età Oligocenica, è caratterizzato da un magmatismo intermedio-acido (solo tardivamente basico-intermedio) costituente la Formazione di Monte Venda (MVD); esso è l'unico esempio di vulcanesimo acido contemporaneo alla formazione alpina e, tranne in alcuni casi, si presenta sotto forma di laccoliti (Fig. 6), andandosi ad intercalare tra le più antiche formazioni sedimentarie, per poi riemergere a causa dell'erosione delle coperture.

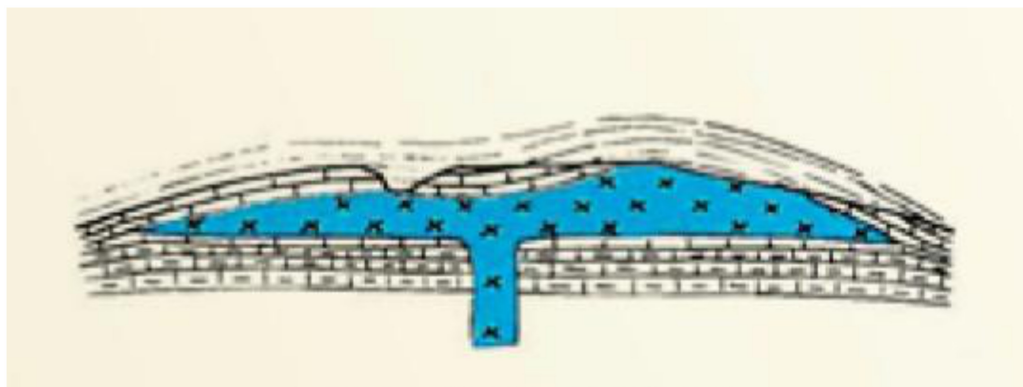


Fig. 6. Profilo geologico del Monte Cecilia.

Frutto di un processo differente è il Monte Lozzo (Fig. 7), il quale pur intrudendosi tra la Maiolica e la Scaglia Rossa, a causa della frattura della stessa Scaglia Rossa divenne un laccolite di eruzione.

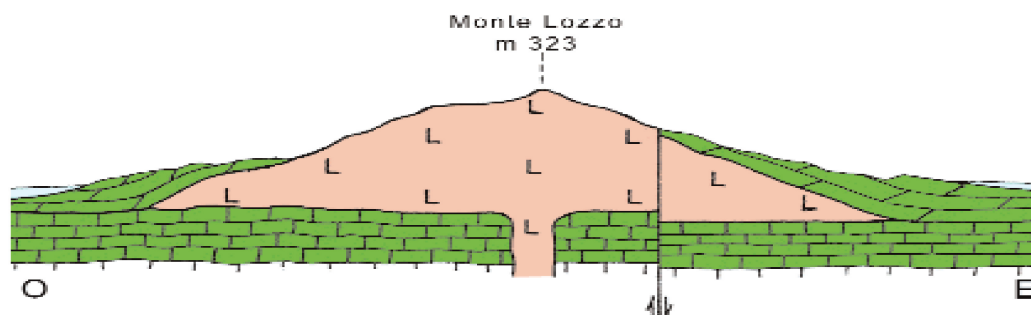


Fig. 7. Profilo geologico del Monte Lozzo.

Ancora differente la genesi della dorsale comprendente il Monte Venda, Monte Vendevolo e Monte Brecale, i quali sono costituiti da duomi Riolitici.

All'interno della Formazione del Monte Venda si possono distinguere diverse litologie:

Riolite: si tratta di una roccia effusiva acida appartenente al secondo ciclo vulcanico, di colore chiaro, che forma corpi subvulcanici, duomi di eruzione e corpi filoniani.

In campagna affiora principalmente nell'area compresa tra il Monte Venda, il Monte Vendevolo, il Monte Castellaro, e, seppur con carattere più alcalino, sulle Forche del Diavolo. (Fig. 8)



Fig.8. Foto filone riolitico lungo via Castellaro.

Al microscopio la grana è fine e la struttura di tipo porfirico con matrice microcristallina. I fenocristalli sono di quarzo, plagioclasio, sanidino e biotite immersi in una pasta di fondo microcristallina.

Brecce piroclastiche: rocce a composizione riolitica con fenocristalli di sanidino, biotite in lamelle allungate submillimetriche in matrice vetrosa. Sono presenti xenoliti vetrosi con strutture di flusso orientate diversamente in ognuno di questi, ciò è un indice del carattere breccioso della roccia. Non si rinvennero all'interno dell'area rilevata (Monte Baiamonte), ma sono state ugualmente campionate per avere una raccolta di dati completa.

Trachite: roccia effusiva alcalina generalmente di colore grigio chiaro variabile fino ad un giallastro appartenente al secondo ciclo vulcanico.

In campagna affiora principalmente sul Monte delle Forche, Monte Rovarolla (Fig. 9) e Rocca Pendice oltre ad alcuni filoni nell'area a Sud-Est della carta.



Fig. 9. Foto di una cava presente vicino l'abitato di Zovon.

Al microscopio la roccia si presenta con struttura di tipo porfirico con fenocristalli di K-feldspato, plagioclasio, quarzo e biotite immersi in una pasta di fondo microcristallina composta principalmente da sanidino e quarzo; talvolta sono presenti zirconi fra i minerali accessori.

Latite: roccia effusiva intermedia color grigio scuro a tessitura porfirica. E' costituita da fenocristalli di pirosseno, anfibolo e plagioclasio immersi in una pasta di fondo microcristallina. Appartiene al secondo ciclo vulcanico, ed è presente solamente sotto forma di dicchi o filoni.

In carta è stata rilevata sul Monte delle Forche e lungo il Rio Molini (*Fig. 10*) in prossimità all'incrocio dell'omonima via e via Contea.



Fig. 10. Foto di un filone latitico lungo il Rio Molini.

Alteriti: In prossimità di tali depositi sono presenti anche corpi formatisi dal risultato dell'alterazione avvenuta sulle rocce vulcaniche del secondo ciclo. Nella carta Geologica dell'area da noi rilevata sono riportate fra Castelnuovo e Teolo come alteriti trachitiche, mentre quelle riolitiche si trovano principalmente a nord di Boccon (Fig. 11). Sono state cartografate all'interno della formazione del Monte Venda. (Piccoli et al. 1981; Cucato et al., 2011).



Fig. 11. Foto di un affioramento alteritico riolitico vicino l'incrocio tra via Castellaro e Via Monte Venda.

4 RADON E RADIOATTIVITÀ NATURALE

4.1. INFORMAZIONI GENERALI

La radioattività è una proprietà intrinseca dei nuclei di alcuni isotopi naturali ed artificiali.

Nel caso delle radioattività naturale, una delle fonti principali è costituita dalle rocce, le quali, in misura più o meno elevata a seconda della tipologia, contengono isotopi radioattivi.

La quasi totalità dell'emissione radioattiva proveniente dalle rocce è da ricercarsi in soli tre elementi: l'Uranio, il Torio ed il Potassio.

Nel caso del Potassio, solamente l'isotopo ^{40}K è radioattivo, e costituisce circa il 0,0118% della totalità del Potassio esistente.

Il Torio e l'Uranio, d'altra parte, costituiscono i capostipiti delle cosiddette "famiglie radioattive naturali", le quali sono responsabili della maggior parte della radioattività naturale misurata.

Anello in comune con tutte e tre le famiglie di radionuclidi è il Radon.

Il Radon, numero atomico 86, è un gas nobile incolore, inodore, quasi del tutto inerte (reagisce lievemente col fluoro) ed è responsabile di circa il 50% della radioattività naturale totale.

In natura sono presenti tre isotopi: ^{219}Rn (Actinon) derivante dal decadimento dell' ^{235}U , ^{220}Rn (Thoron) derivante dal decadimento del ^{232}Th e il ^{222}Rn che deriva dal decadimento radioattivo dell' ^{238}U (costituisce il 99,28% dell'Uranio complessivo) ed essendo il più comune dei tre isotopi, ed il solo ad avere un tempo di dimezzamento apprezzabile (91 ore e 42 minuti circa, contro i 55 secondi del ^{220}Rn e i soli 4 secondi del ^{219}Rn) è l'unico dei tre preso in esame dagli studi radiometrici.

4.2. PROCESSO DI FORMAZIONE E DECADIMENTO DEL RADON

Come si può osservare dallo schema (Fig. 12) non solo i progenitori e il Radon stesso sono radioattivi ma anche i prodotti figli lo sono. La radioattività del Radon è misurata in Becquerel/metro cubo, ovvero il numero di disintegrazioni nucleari avvenuti in un secondo all'interno di un metro cubo di aria.

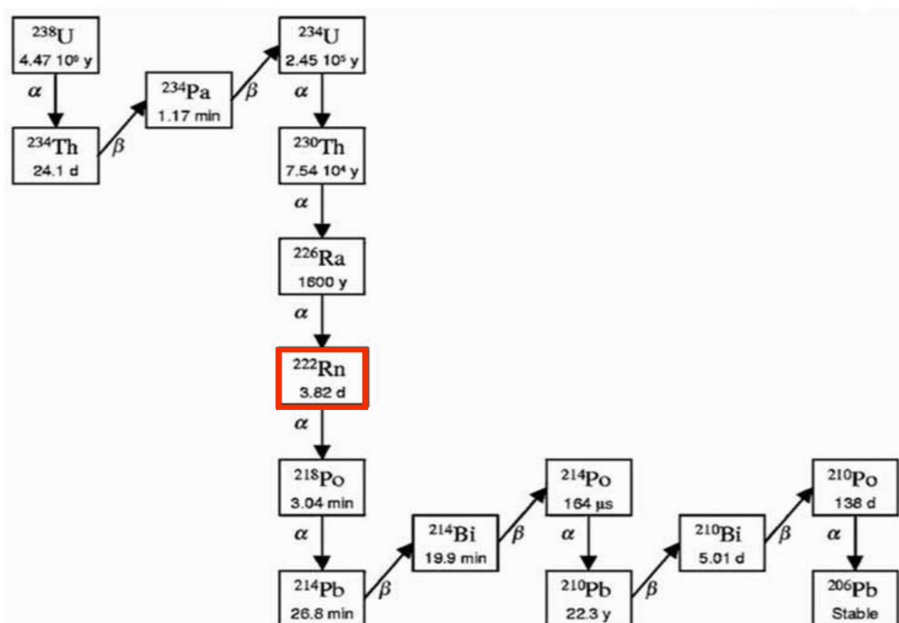


Fig. 12. Catena di decadimento dell'Uranio 238.

4.3. IMPORTANZA DELLO STUDIO SUL RADON

- La natura gassosa del Radon unita al suo carattere radioattivo lo rende un elemento pericoloso per la salute dell'uomo in quanto può penetrare all'interno delle abitazioni, ed essendo un gas più pesante dell'aria, concentrarsi in luoghi chiusi come cantine o seminterrati raggiungendo facilmente concentrazioni superiori a quelle indicate come soglia radioprotezionistica ($200 \text{ Bq/m}^3 \cdot \text{y}$ per le abitazioni e $500 \text{ Bq/m}^3 \cdot \text{y}$ per i luoghi di lavoro).

Per tale motivo è stato negli anni oggetto di studio e di opere che ne prevenivano gli effetti.

- Lo studio sotto il profilo geologico-strutturale è avvenuto, invece, nel tentativo di correlare la presenza di questo gas in concentrazioni anomale

alla presenza di faglie attive, le quali agirebbero da "camini" per la diffusione del Radon all'esterno.

- Infine nell'ambito dei tentativi di previsione dei terremoti è tenuta in considerazione anche la variazione di concentrazione del Radon, il cui incremento dovrebbe essere legato a una maggiore attività sismica in profondità e quindi appartenere ai fenomeni precursore dei terremoti.

5 MATERIALI E METODI

Il lavoro svolto si può suddividere in rilevamento in campagna e analisi dei dati raccolti.

La prima parte consiste nel rilevamento geologico dell'area, seguito da un campionamento di litologie rappresentative ed infine da misurazioni radiometriche con dosimetro.

La seconda invece è costituita da analisi mineralogica-petrografica tramite microscopio ottico, analisi XRF, analisi di spettrometria gamma, un modello informatico realizzato con ArcGis™ e uno statistico realizzato con Surfer™.

5.1. SCELTA E PREPARAZIONE DEI CAMPIONI

I siti del campionamento sono stati pianificati sulla base di della Carta Geologica dei Colli Euganei 1:25000 (Piccoli et al., 1981) e di quella da noi redatta alla scala 1:12500 , selezionando 22 possibili punti d'interesse in relazione alle litologie e alle strutture geologiche presenti in zona.

La posizione di raccolta dei campioni è indicata nella seguente figura (Fig. 13) in e i campioni sono elencati nella successiva tabella (Tab. 1).

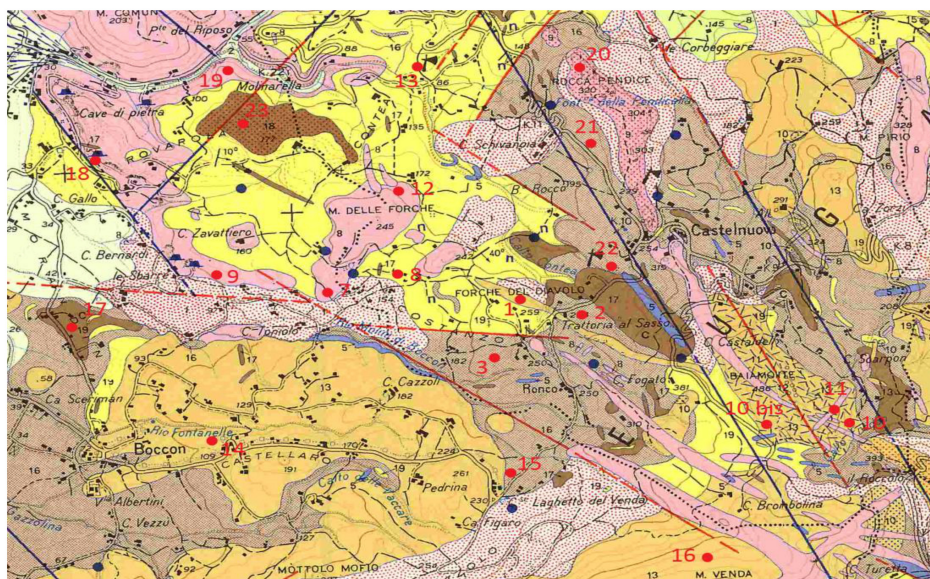


Fig. 13. Ritaglio Carta Geologica Piccoli Et Al. 1981 con segnati i punti di campionamento

Tab.1. Tabella campioni con specificazione litologica e località di provenienza.

Sigla Campione	Litologia	Zona Campionamento
Rn1	Riolite Alcalina	Forche del Diavolo
Rn2	Ialoclastite Basica	Ronco
Rn3	Ialocalstite Basica	Ronco
Rn7	Trachite	Monte delle Forche
Rn8	Marna Calcareo (?)	Monte delle Forche
Rn9	Trachite	Vicino Cava "le Sbarre"
Rn10	Breccia Riolitica	Monte Baiamonte
Rn10bis	Breccia Riolitica	Monte Baiamonte
Rn11	Riolite	Monte Baiamonte
Rn12	Trachite	Monte delle Forche
Rn13	Marna	Teolo
Rn14	Riolite alterata	Rio Fontanelle
Rn15	Ialoclastite Basica	Laghetto del Venda
Rn16	Riolite	Monte Venda
Rn17	Basalto	Loc. Morandine
Rn18	Trachite	Zovon
Rn19	Trachite	Zovon
Rn20	Trachite	Rocca Pendice
Rn21	Ialoclastite basica	Castelnuovo
Rn22	Ialoclastite	Castelnuovo
Rn23	Basalto	Mt. Rovarolla

Terminato il campionamento, il materiale raccolto è stato preparato e sottoposto ad analisi chimica XRF e analisi dello spettro di emissione gamma. Sono state inoltre tagliate delle sezioni sottili per lo studio mineralogico e petrografico in luce trasmessa che hanno permesso la caratterizzazione petrografica delle litologie affioranti. In particolare per ognuno dei 21 campioni raccolti si è proceduto dapprima ad una riduzione, scartando le parti alterate. Successivamente si sono eseguite secondo le seguenti fasi di preparazione:

1. Esecuzione di taglio tramite troncatrice a lama diamantata (Fig. 14) e realizzazione di sezione sottile a 30 um tramite smerigliatura su dischi rotanti cosparsi di una soluzione acqua-abrasivo.



Fig. 14. Foto troncatrice durante il taglio di un campione.

2. Il materiale restante a seguito del taglio con la troncatrice è stato utilizzato per le analisi di emissione dello spettro gamma e le analisi chimiche XRF. Preparazione per analisi dell'emissione radiogenica: il materiale è stato ridotto mediante frantoio a mano e successivamente macinato con l'utilizzo di un frantoio a mascelle in carburo di tungsteno portandolo ad una granulometria circa centimetrica (Fig. 15).



Fig. 15. Foto dei frantoi e del risultante campione destinato all'esame spettrometrico.

Si è quindi proceduto con la quartazione del materiale ed una parte è stata inviata in un contenitore ermetico al 14 Laboratorio di Chimica e Radiochimica Ambientale del Dipartimento di Chimica “G. Ciamician” di Bologna per eseguire le analisi di emissione.

3. Preparazione per le analisi XRF:

parte del materiale macinato è stato ulteriormente ridotto anche con l'utilizzo di un mulino a dischi in agata per raggiungere una granulometria inferiore ai 10 micron. Durante tutta la procedura si è provveduto ad evitare possibili contaminazioni pulendo mulini e frantoi a seguito di ogni riduzione. Dal macinato < 10 um sono state ottenute perle vetrificate omogenee mediante fusione delle polveri con perlatrice. Le perle sono poi state sottoposte ad analisi chimica XRF (Fig. 16).



Fig. 16 Foto mulino a dischi in agata e le perle risultanti.

5.2. ANALISI

5.2.1 ANALISI CHIMICA XRF

Le analisi sono state eseguite presso il laboratorio di Spettrometria XRF del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova. La spettrometria a raggi X di fluorescenza permette di eseguire analisi chimiche totali (analisi di bulk) e dei materiali in esame.

Lo strumento utilizzato è uno spettrometro sequenziale WDS Philips PW2400 con tubo al Rodio(Rh) e 5 cristalli analizzatori:LiF220, LiF200, Ge, PE, TLAP, 2 rivelatori, 3 collimatori e 4 filtri.

La precisione strumentale è entro 0.6% per gli elementi maggiori, ed entro 3% per gli elementi in traccia. L'accuratezza è inferiore a 0.5% per il Si, minore del 3%

per gli altri elementi maggiori, minore del 5% per gli elementi in traccia. I limiti di rivelabilità sono per gli elementi maggiori Al, Mg, e Na entro 0.01%, per Si entro 0.2%, ed entro 0.005% per Ti, Fe, Mn, Ca, K e P. I limiti di rilevabilità per gli elementi in traccia sono dell'ordine di alcuni ppm.

La procedura analitica prevede:

- Perdita al fuoco a 860°C per 20 minuti e a 980°C per circa 2 ore;
- Determinazione % FeO per permanganometria;
- Preparazione dei campioni in perla (diluizione 1:10, con tetraborato di litio Li₂B₄O₇ come fondente).

Con questa tecnica è possibile eseguire analisi chimiche di tipo qualitativo e quantitativo. Entrambe si avvalgono dello spettro di emissione, ovvero un tracciato nel quale le intensità di fluorescenza X sono proiettate in funzione dell'angolo 2θ dove ad ogni picco corrisponde una specie atomica. L'analisi qualitativa si basa sulla misura delle λ di emissione e sul riconoscimento delle relative specie atomiche mentre l'analisi quantitativa si effettua per confronto con appositi standard che permettono di costruire rette di calibrazione attraverso le quali si ottengono valori di concentrazione degli elementi in funzione dell'intensità del picco di emissione (*Nestola, 2013*)

5.2.2 ANALISI DELLO SPETTRO DI EMISSIONE GAMMA

Le analisi sono state eseguite presso il Laboratorio di Chimica e Radiochimica Ambientale del Dipartimento di Chimica "G. Ciamician" dell'Università di Bologna. La spettrometria gamma è un metodo di analisi non distruttivo che permette una determinazione qualitativa e quantitativa dei radionuclidi presenti nel campione che decadono con emissione di fotoni gamma. Tali fotoni vengono raccolti da un rivelatore di Germanio ad elevata purezza che trasforma l'energia dei raggi gamma in una quantità di carica elettrica, ad essa proporzionale, che viene raccolta per generare impulsi elettrici che possono essere registrati ed analizzati da un opportuno circuito elettrico. Si ottiene così uno spettro energetico che viene successivamente analizzato per ottenere analisi qualitative e quantitative mediante un apposito software.

I campioni vengono analizzati contando il numero di fotoni emessi durante un periodo standard di circa 80000 secondi (poco meno di un giorno) per ottimizzare la statistica di conteggio e così minimizzare l'incertezza di misura. Lo spettro ottenuto viene analizzato dopo aver effettuato delle opportune calibrazioni considerando i seguenti parametri: volume campionato, emissione di fondo del laboratorio (che va sottratta da quella del campione), radionuclidi di interesse e data di campionamento per l'eventuale correzione della concentrazione a seguito del decadimento intercorso tra campionamento e misura. Mediante il numero di conteggi registrati è possibile risalire all'attività specifica dei campioni, da questa, dividendo per il volume di massa d'aria si ottiene l'attività specifica in mBq/m³.

5.2.3. MISURAZIONE RADIOATTIVITÀ NATURALE TRAMITE DOSIMETRO.

Il processo di rilevamento in campagna si è concluso con la misurazione tramite dosimetro di una cinquantina di affioramenti rappresentativi.

Allo scopo si è utilizzato il dosimetro GammaRay™ dell'ElettronicaNet S.r.l. (*Fig 17*).

Il dosimetro in questione funziona secondo il principio di Geiger-Muller, infatti è dotato di un tubo di Geiger-Muller, il quale, è un cilindro ermetico in vetro o metallo (in questo caso vetro) con una finestra in mica. Esso è preventivamente riempito a bassa pressione (0,1 atmosfere) con gas inerti e vapore d'alcol, in modo tale da causare una scintilla quando entra in contatto con una radiazione ionizzante. Scintilla che viene rilevata e discretizzata da una particolare circuiteria elettronica.

I valori di radioattività vengono riportati di default in CPM (colpi per minuto), corrispondenti a circa 0,00815 $\mu\text{Sv/h}$ e $\mu\text{Sv/h}$ (micro Sievert per ora).

È possibile cambiare l'unità di misura in Becquerel o in mR/h (milliRoentgen) ma, poiché tale cambiamento verrebbe resettato dopo ogni spegnimento, si è scelto di utilizzare solo le misure di default.

Lo strumento permette di salvare le misure in maniera automatica all'interno di una memoria dedicata e di scaricarle tramite un software gratuito (GammaRay) messo a disposizione dall'azienda produttrice.

Sono stati effettuati circa 50 punti di rilevamento. In ciascun punto sono state effettuate sia delle rilevazioni al suolo che a un metro di distanza (nel grafico sottostante sono riportate solo le prime) costituite da una media ottenuta da un numero variabile da 3 a 9 di rilevazioni singole, a seconda della litologia e dalle variazioni presenti da una misurazione all'altra.



Fig. 17, Dosimetro GammaRay™.

La misurazione comincia nel momento stesso in cui si accende il dosimetro, il quale, dopo un primo intervallo di 10 secondi fornisce un valore in CPM e $\mu\text{Sv/h}$. Dopodiché lo strumento regola in automatico l'intervallo di misurazione a seconda della radioattività misurata, 30 secondi se inferiore a 50 CPM, 20 secondi se compresa tra 50 e 75 CPM, e fino a un massimo di una misurazione ogni 5 secondi in caso di radioattività molto elevata.

I valori ottenuti sono stati trascritti su carta e successivamente riportati su foglio elettronico, inoltre si è preso nota delle coordinate geografiche, della tipologia di roccia e si è effettuata una foto con unità di misura per esemplificare le condizioni dell'affioramento.

6 RISULTATI

6.1. REALIZZAZIONE CARTA GEOLOGICA

Confrontando i dati ottenuti dalle analisi di laboratorio, dallo studio delle sezioni sottili e dal rilevamento effettuato in campagna è stata possibile, tramite l'utilizzo del software ArcGis™ dell'Esri, la realizzazione di una carta geologica (Fig. 18) dell'area presa in esame in scala 1:12500.

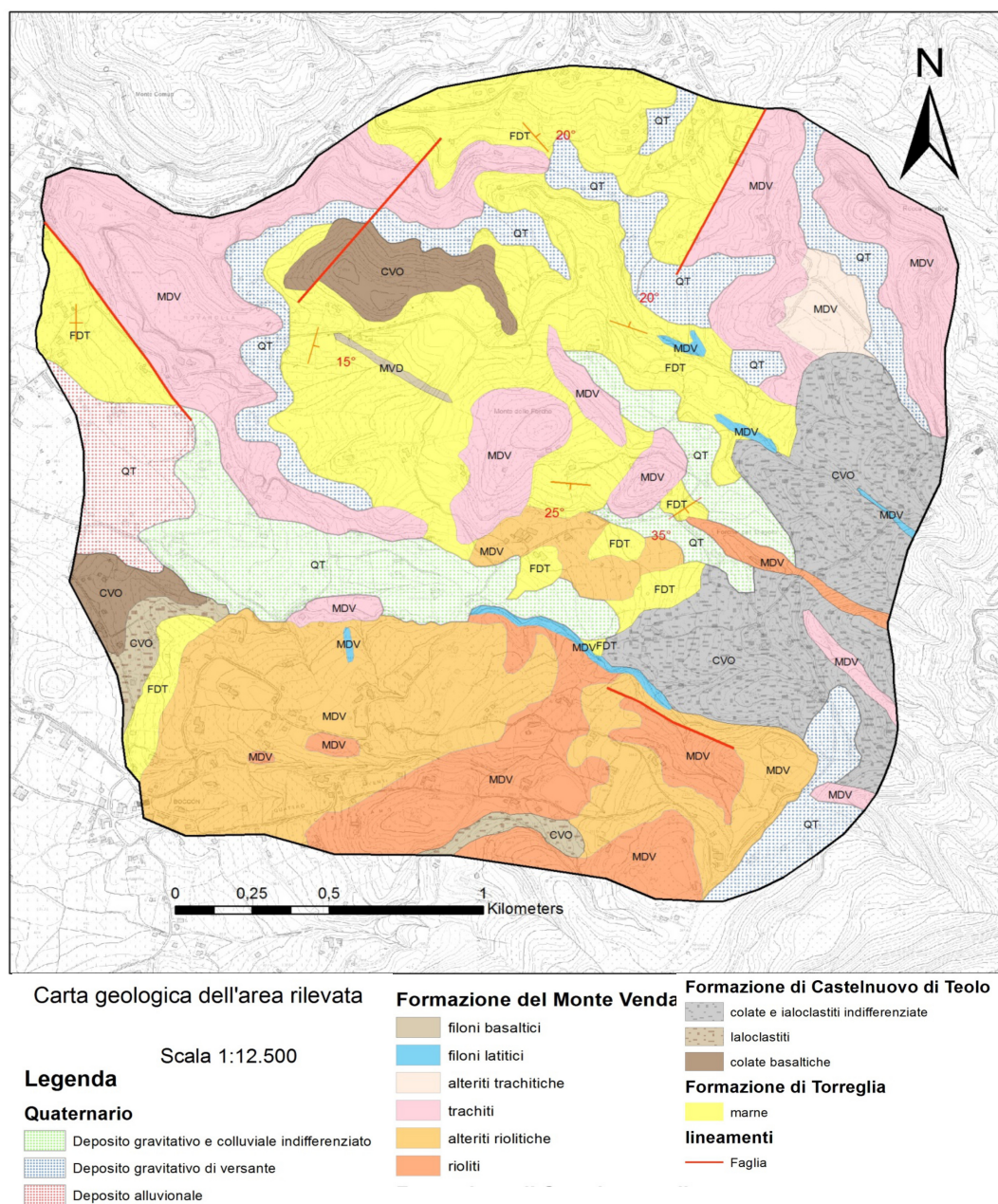


Fig. 18. Carta geologica 1:12500 dell'area rilevata.

6.3. ANALISI SPETTROMETRIA GAMMA

Nell'ambito del progetto seguito in collaborazione con l'Università degli Studi di Bologna sono stati effettuati due modelli statistici della concentrazione radiometrica nell'area euganea. In quello riportato qui (*Fig. 20 e Fig. 21*) vengono considerati i dati puntuali come nodi di una griglia a cui viene assegnato un valore dipendente dall'inverso della distanza dal punto di vicinaggio (campionamento) ed indipendente dalla posizione reciproca dei campioni.

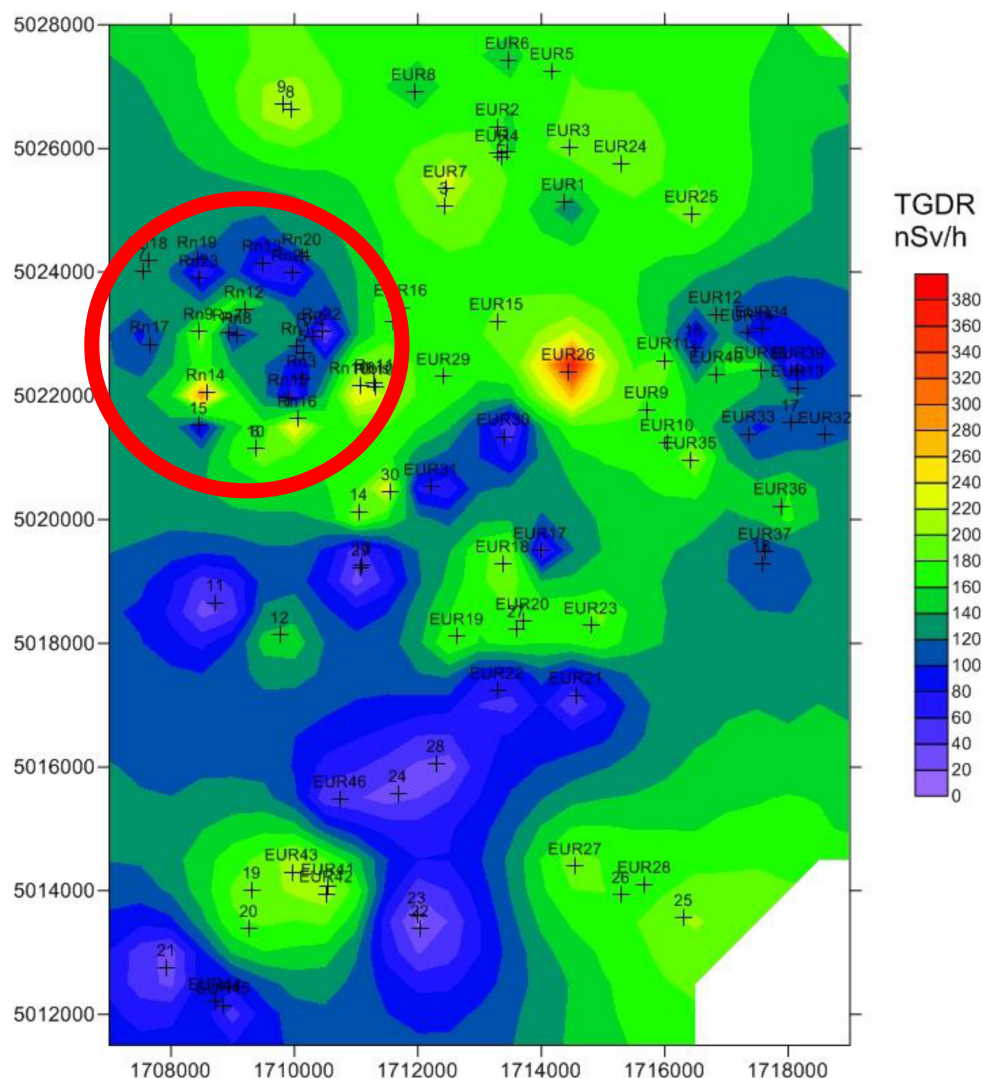


Fig. 20. Mappatura della Theoretical Ground-level Dose-Rate (TGDR) in nSv/h nel distretto euganeo ottenuta il metodo dell'inverso dei quadrati delle distanze

Il secondo metodo invece prende in considerazione la media aritmetica dei punti all'interno del vicinaggio di stima.

A causa della peculiare e particolareggiata alternanza litologica dell'area rilevata (nel giro di un centinaio di metri si cambia ripetutamente litologia) l'ultimo metodo risulta poco significativo e pertanto non è stato riportato, mentre il metodo dell'inverso delle distanze è risultato più fedele all'alternanza litologica e quindi migliore nell'ottica di realizzazione futura di una mappa di pericolosità.

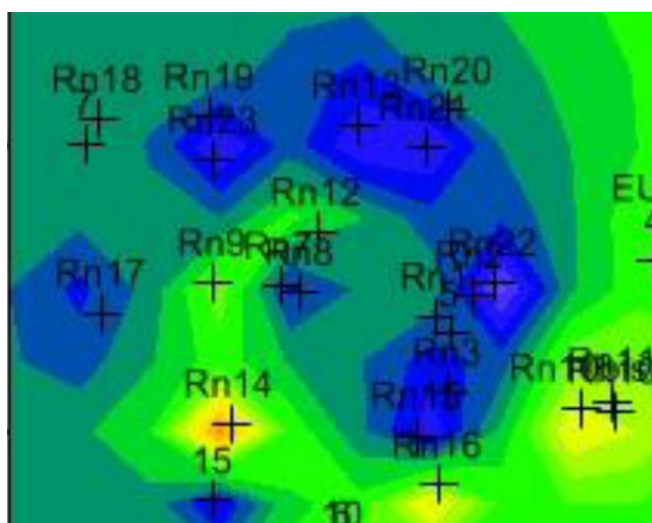


Fig. 21. Particolare dell'area di studio.

Il modello (Fig. 21) dimostra una buona affidabilità, infatti i punti con livello TGDR più alti corrispondono a Rioliti (aree giallo-arancioni) quelle a livelli medi (verde più o meno intenso) a Trachiti, mentre, le aree blu sono appannaggio della formazione di Castelnuovo (CVO) costituita da litologie basiche e di quella di Torreglia (FDT) costituita da Marne.

Nel caso delle alteriti riolitiche i risultati sono stati estremamente variegati a causa della profonda variazione del corpo litologico a seconda dell'area e di possibili interferenze di detrito proveniente da altre litologie nelle aree al limite e la pedogenizzazione spinta in altre aree.

La media totale rimane comunque alta (35-40 CPM) , inoltre in alcune aree il risultato della misurazione risulta simile a quello dei membri riolitici non alterati con punte anche di 63 CPM (0,563 μ Sv/h).

Per quanto riguarda le trachiti alterate, risultano in entrambi i casi più radioattive dei corrispettivi non alterati ma meno delle versioni più acide (le trachirioliti delle Forche del Diavolo).

Questo dato va tuttavia contestualizzato, in quanto sono stati misurati i dati di soli due campioni di trachite alterata a causa della rarità della stessa nell'area.

Infine è interessante osservare come la litologia a più alta emissione di radioattività naturale sia la Breccia Riolitica, rilevata in zona Baiamonte, ha infatti valori superiori a quelli della Riolite o comunque simili nella totalità delle medie, pur avendo la media per punto (il 43) più alta sia al suolo che a un metro (56,3333 CPM e 46,1666667 CPM).

La litologia a più bassa emissione complessiva al suolo è la Ialoclastite mentre a un metro sono i basalti.

Come media puntuale i risultati sono i medesimi, infatti il punto 25 è costituito da Ialoclastiti (8,3333 CPM) e il 42 da basalti (12 CPM).

6.5. RAPPORTI LITOLOGIA/RADIOATTIVITÀ

Nel diagramma (*Fig. 23*) sono riportati i dati radiometrici attraverso gli indici α e γ , i quali, sono grandezze ottenute mediante un rapporto tra la misurazione delle emissioni alfa e gamma ottenuta dai campioni e una misura standard considerata come "limite di guardia" per i materiali da costruzione.

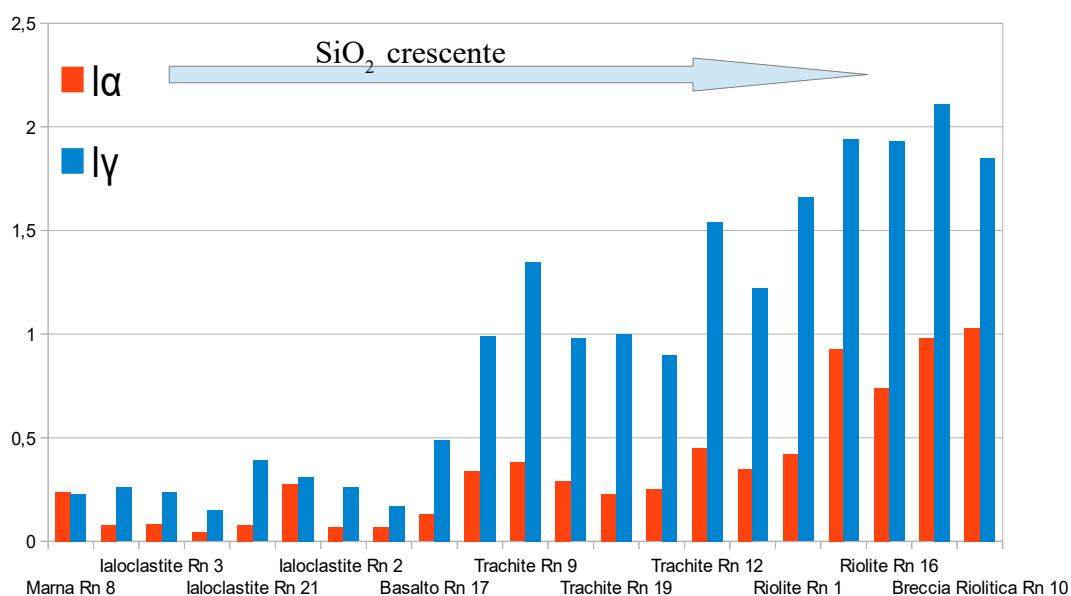


Fig. 23. Valori indici α e γ dei campioni esaminati.

Pertanto, un valore al di sotto di 1 è considerabile "sicuro", mentre se maggiore è sconsigliabile usare tale materiale per costruire, o per lo meno non da usare all'interno di case o edifici.

Come si può vedere dal grafico soprastante, le marne (usate soprattutto in passato per la produzione di cementi) e i prodotti basici (poco adatti all'uso edilizio) sono decisamente sotto tale limite, mentre le trachiti essendo a cavallo (circa da 0,90 a 1,5) del valore soglia risultano meno consigliabili ad un uso interno (pavimentazioni, ornamentazioni, caminetti) mentre non costituiscono grossi pericoli per un uso esterno (pavimentazioni e muretti).

Infine, le rioliti superando decisamente il valore soglia (tra i campioni si arriva a 2) sono decisamente sconsigliate, tanto da essere state prese in considerazione come causa dei decessi avvenuti nella base militare nel Venda (in parte costruita all'interno del monte attraverso tunnel nella riolite).

6.6. CONCENTRAZIONI ELEMENTI RADIOATTIVI.

Attraverso la spettrometria è stato possibile ottenere la concentrazione di determinati elementi radioattivi come l'Uranio ed il Torio (Tab. 2).

Tab. 2. Tabella con i valori degli elementi presi in esame.

Sigla campione	Concentrazione U (ppm)	Concentrazione Th (ppm)	Concentrazione ⁴⁰ K (%)
Rn 1	6,8	30,74	7,34
Rn 2	1,07	2,95	1,54
Rn 3	1,38	3,76	1,07
Rn 7	4,62	13,72	5,07
Rn 8	3,92	2,55	0,17
Rn 9	6,15	20,15	6,58
Rn 10	16,61	34,25	4,55
Rn 10bis	15,04	47,13	3,49
Rn 11	5,63	25,06	4,66
Rn 12	7,27	26,56	6,78
Rn 13	1,29	3,77	1,28
Rn 14	15,92	45,91	5,02
Rn 15	4,46	2,48	0,73
Rn 16	12,02	43,21	5,36
Rn 17	2,05	8,02	2,38
Rn 18	4,1	13,83	4,39
Rn 19	3,76	16,81	4,85
Rn 20	5,57	12,91	4,87
Rn 21	1,29	2,16	2,88
Rn 22	0,7	3,88	0,44
Rn 23	1,18	3,39	0,48

Di seguito sono stati plottati i dati presenti nella tabella con lo scopo di evidenziare caratteristiche comuni nei diversi campioni.

Nel grafico seguente (Fig. 24) sono riportati i dati in ordine di acidità crescente.

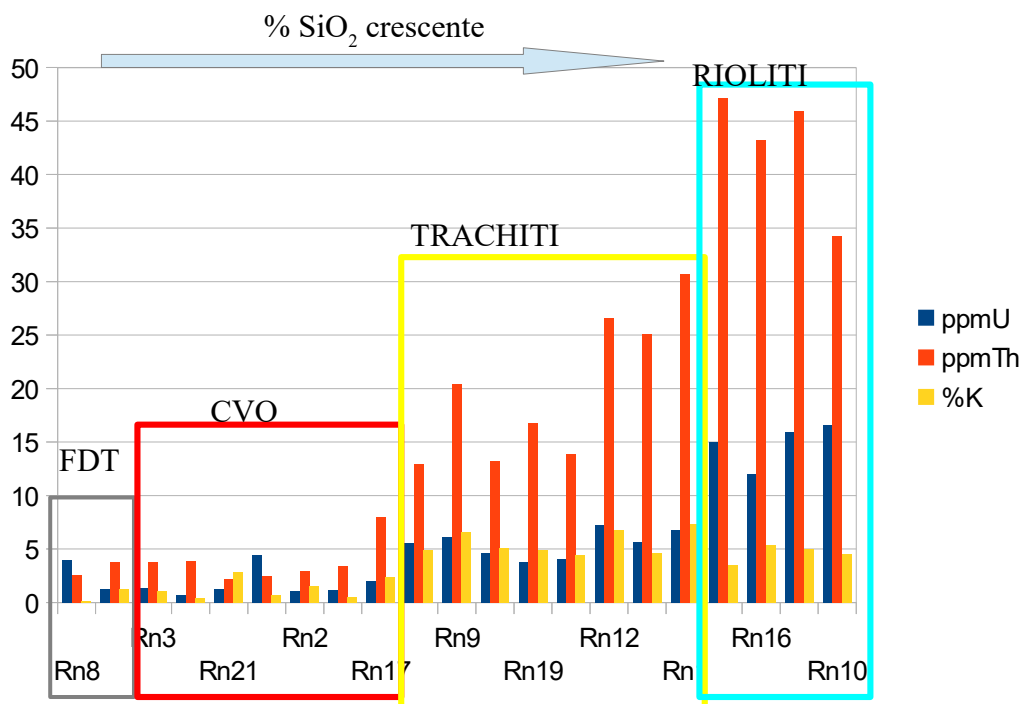


Fig. 24. Rappresentazione delle concentrazioni in U, Th e K dei campioni esaminati

Come si può osservare, le concentrazioni tendono ad avere un andamento simile a quello del SiO₂, eccezion fatta per il Potassio, il quale nelle rioliti scende di concentrazione. Inoltre risultano evidenti le distinzioni tra i due cicli magmatici, infatti la FDT ed il CVO hanno concentrazioni nettamente inferiori rispetto ai due membri della Formazione di Monte Venda (trachiti e rioliti).

Per finire, come volevasi dimostrare, il grafico soprastante ricalca fedelmente quello sulle emissioni alfa e gamma.

distribuzione concentrazione in K(%) e U(ppm)

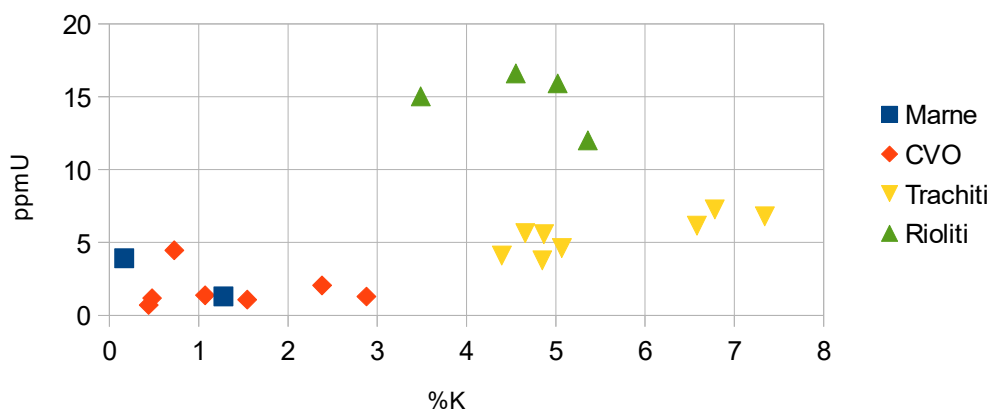


Fig. 25. Distribuzione dei campioni secondo la concentrazione in K e U.

In questo caso i campioni si possono suddividere in 3 gruppi distinti:

il primo costituito da marne (blu) e prodotti basici della formazione di Castelnuovo (CVO) (rosso);

il secondo costituito dalle trachiti (gialle), le quali, pur avendo un significativo aumento in concentrazione di K ha un incremento in Uranio poco significativo, tant'è che alcuni campioni sono in linea con i valori ottenuti da un campione di marna e uno di materiale basico.

Infine il terzo gruppo è costituito dalle rioliti, le quali si distinguono nettamente dai due gruppi precedenti in quanto pur avendo valori di potassio inferiori alle trachiti hanno valori di U nettamente superiori (4-8 vs. 12-18) (Fig. 25).

distribuzione concentrazioni di Th e K

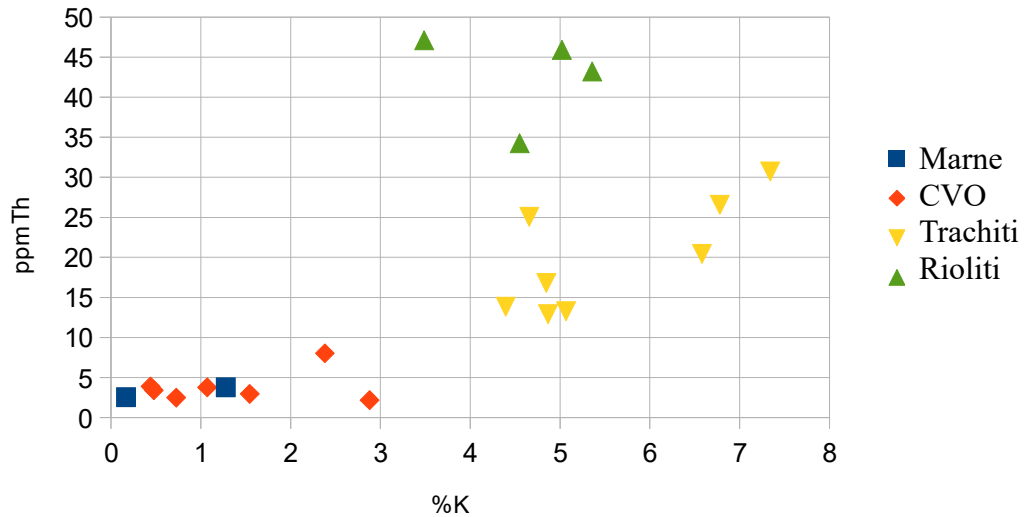


Fig. 26. Distribuzione de campioni secondo le concentrazioni di Th e K.

Si può concludere che, se i primi due gruppi si possono unire idealmente con una retta che mette in stretta correlazione l'aumento in potassio a quello in uranio, il terzo gruppo è totalmente non correlato (Fig. 26).

distribuzione concentrazioni di Th e U

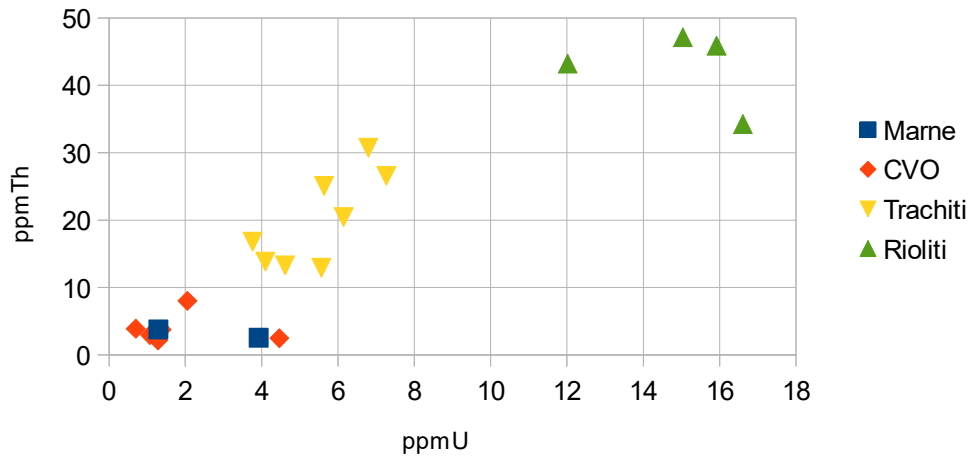


Fig. 27. Distribuzione dei campioni secondo le concentrazioni di Th e U.

Se nel caso precedente i gruppi di litologie si potevano correlare tra di loro, in questo caso il grafico (Fig. 27) mostra un andamento significativo solamente

all'interno dello stesso gruppo litologico.

Questo fenomeno è probabilmente da attribuire al diverso stato di alterazione dei campioni, in quanto il Torio tende ad aumentare la propria concentrazione all'aumento dell'alterazione.

Infine si può osservare una correlazione lineare piuttosto marcata nelle concentrazioni tra Torio e Uranio.

Infatti si nota come, soprattutto nel caso delle trachiti, ci sia un rapporto direttamente proporzionale tra le concentrazioni degli elementi in esame, tanto da poter essere uniti da una retta ideale.

7 CONFRONTO DATI SPETTROMETRIA - DATI DOSIMETRO

Tab. 3. Confronto litologico/radiometrico tra misurazioni di laboratorio e sul campo.

LITOLOGIA	MEDIA VALORI SPETTROMETRIA (nSv/h)	MEDIA VALORI DOSIMETRO(nSv/h)
RIOLITI	286,1	366,4
BRECCE RIOLITICHE	281,4	349,5
ALTERITI RIOLITICHE	313	307,7 (344,3)
RIOLITI ALCALINE	254,4	293,2
TRACHITI ALTERATE	Non misurato	281,2
TRACHITI	160,6	244,5
LATITI	Non misurato	159,7
BASALTI	72,7	151,7
IALOCLASTITI	37,6	96,3
MARNE	36,3	131

In generale (Tab. 3) si può notare una certa corrispondenza tra i valori ottenuti tramite la spettrometria e quelli ottenuti con il contatore Geiger. Fanno eccezione le alteriti riolitiche, le quali, nel primo caso ottengono un valore più elevato rispetto alle misurazioni in campagna; ciò è probabilmente dovuto alla varietà e diversità degli affioramenti rilevati in campagna e alla natura intrinseca dei stessi, infatti, se nel caso del campione di laboratorio si tratta più di un "residuo riolitico" solido, in campo si hanno i medesimi campioni mischiati a terreno e residui riolitici in avanzato stato di argillificazione, i quali influiscono sicuramente nella misura totale ottenuta.

Come si può osservare, i valori ottenuti tramite dosimetro sono generalmente più elevati, differenza dovuta probabilmente da ioni radioattivi di origine cosmica.

8 CARATTERIZZAZIONE DEI CAMPIONI STUDIATI IN RAPPORTO CON ALTRI CAMPIONI DI ORIGINE MAGMATICO - INTRUSIVA.

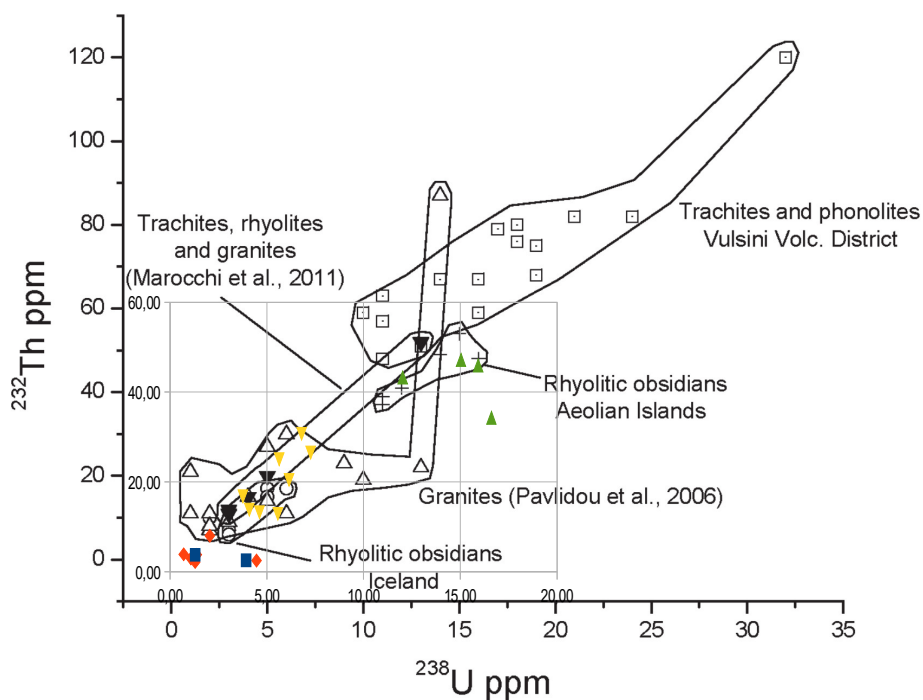


Fig. 28. Correlazione tra le concentrazioni di ^{232}Th e ^{238}U ottenute mediante spettrometria gamma dei campioni oggetto di studio e le concentrazioni di campioni provenienti dal distretto vulcanico dei Vulsini (Cinelli, 2012), ossidiane riolitiche dall'Islanda e Isole Eolie (dati non pubblicati) graniti da diverse origini (Pavlidou, 2006) e trachiti, rioliti e graniti da diversi luoghi (Marocchi et Al., 2011)

Come si può osservare (Fig. 28), i valori dei campioni provenienti dall'area studiata ricalcano quelli degli altri campioni provenienti da altri luoghi;

le trachiti ad esempio, si distribuiscono interamente all'interno dell'area in comune con i Graniti (Pavlidou et Al., 2006) avendo un andamento del tutto simile a quello riscontrato nei campioni di Marocchi (2011).

Le rioliti, d'altronde, mostrano una buona associazione con le loro analoghe provenienti dalle Eolie, infatti il solo campione Rn10 (breccia riolitica) cade fuori l'area comune.

9 CONCLUSIONI.

Nell'elaborato presentato, si sono approfondite le conoscenze riguardanti una materia di interesse sia geologico che ambientale, ricercando i possibili legami tra la geologia di un luogo e la sua radioattività naturale.

In dettaglio:

- è stata realizzata una carta geologica specifica per l'area esaminata a scala 1:12500.
- sono state prodotte 21 nuove analisi chimiche tramite XRF riguardanti le litologie esaminate
- sono state prodotte 21 nuove analisi di spettrometria gamma basate sugli stessi campioni
- sono state effettuate 50 misurazioni della radioattività naturale tramite dosimetro.
- I dati ottenuti sono stati analizzati, elaborati e confrontati tra loro per verificarne l'affidabilità.

In questo modo, nell'area studiata, è stato possibile definire uno stretto legame tra litologia e radioattività naturale. Resta ancora da definire il contributo degli elementi strutturali, i quali, possono localmente causare anomalie positive della radioattività presente.

Questo studio ha permesso, quindi, di raccogliere dati affidabili sulle proprietà radiogeniche delle litologie euganee, mettendo in evidenza come le rioliti (anche sotto forma di breccie e alteriti), siano le rocce più ricche in ^{238}U e quindi rappresentino importanti sorgenti di Radon. Questo studio ha inoltre evidenziato considerevoli concentrazioni in Th in queste litologie, per cui localmente si possono ipotizzare livelli significativi di Thoron, ossia l'isotopo di Radon di massa 220, meno studiato ma di crescente interesse radioprotezionistico.

10 BIBILIOGRAFIA

Cinelli, G., (2012). - Indoor and Outdoor Natural Radioactivity in the Vulsini Volcanic District (Central Italy): Estimation of Doses and Radiological Risks. <http://amsdottorato.unibo.it/4458/> . 90.

Chiozzi, P., Verdoya, M., Pasquale V.,(2006) – Radiometric survey for exploration o hydrothermal alteratione in a volcanic area. Journal of Geochemical Exploration,13-20, Elsevier.

Cucato, M., De Vecchi, Gp., Mozzi, P., Abba, T., Paiero, G., Sedea, R., (2011) – Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50000, foglio 147 Padova sud

Dramis (2004) – Italia-Atlante dei Tipi Geografici

Klein, C. (2008) Fluorescenza di raggi X- Mineralogia, ed. Zanichelli, 308-310.

Marocchi, M., Righi, S., Bargossi G.M., Gasparotto, G., (2011). - Natural radionuclides content and radiological hazard of commercial ornamental stones: An integrated end radiometric and mineralogical-petrographic study, Radiaton Measurement 46, 538-545

Nestola, F. (2013) – Dispense per il corso di Metodologie Analitiche

Pavlidou, S., Koroneos, A., Papastefanou, C., Christofides, C., Stoulos, S., Vavelides, M., (2006). - Natural radioactivity of granites used as buildig materials. - Journal of Environmental Radioactivity, 89, 48-60

Piccoli G., Sedea R., Bellati R., Di Lallo E., Medizza F., Girardi A., De Pieri R., De Vecchi Gp., Gregnanin A., Piccirillo E.M., Norinelli A., Dal Prà A., (1981) Note illustrative della carta geologica dei Colli Euganei alla scala 1: 25.000. Memorie di Scienze Geologiche, Vol. XXXIV, 523-546

Pola, M., Gandin, A., Tuccimei, P., Soligo, M., Deiana, R., Fabbri, P., Zampieri, D. (2014) – A multidisciplinary approach to understanding carbonate deposition under tectonically controlled hydrothermal circulation: A case study from a recent travertine mound in the Euganean hydrothermal system, northern Italy – *Sedimentology* 61, 172-199,

Shon, J.H., (2011)– *Physical Property of Rocks*, cap. 5, 107-148 – Elsevier

Strati, V., Baldoncini, M., Bezzon, G.P., Broggin, C., Buso, G.P., Caciolli, A., Callegari, I., Carmignani, L., Colonna, T., Fiorentini, G., Guastaldi, E., Kaçeli Xhinx, M., Mantovani, F., Menegazzo, R., Mou, L., Rossi Alvarez, C., Xhinx, G., Zanon, A., (2011). - Total natural radioactivity, Veneto (Italy) – *Journal of maps* 2014.

Zampieri, D. (1995) – Tertiary extension in the southern Trento Platform, Southern Alps, Italy- *Tectonics*, Vol. 14, 645-657 .

