



Progetto cluster

“LA RADIOATTIVITÀ NEI MATERIALI DA COSTRUZIONE”

Soggetto attuatore: Sardegna Ricerche- sede locale Sulcis-Iglesiente

Soggetto esecutore: Dipartimento di Fisica- Università degli studi di Cagliari

Soggetti Cluster: Imprese partner fornitrici dei campioni

Sintesi dei risultati

LA RADIOATTIVITÀ NEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

GENERALITA'

La radioattività è quel fenomeno per cui dei nuclei instabili, chiamati radionuclidi, decadono spontaneamente, emettendo radiazioni ionizzanti costituite da particelle cariche (α ; β^+ ; β^-) e/o radiazione elettromagnetica (γ). L'emissione di radiazioni

è tanto più intensa quanto maggiore è la rapidità con cui i nuclei decadono.

Le sorgenti di radiazioni ionizzanti che possono contenere un numero più o meno grande di isotopi radioattivi ricadono in due categorie principali: le sorgenti naturali e quelle artificiali.

Le prime sono ulteriormente suddivisibili in due componenti: una di origine extraterrestre (la radiazione cosmica) e l'altra di origine terrestre, con elementi radioattivi presenti nella crosta terrestre (ma anche nell'aria, nelle acque e nel nostro stesso corpo) ed attribuibile perlopiù a tre radioisotopi, l'Uranio 238 (U-238), il Torio 232 (Th-232) ed il Potassio 40 (K-40).

Le seconde, invece, sono collegate ad attività umane, come la produzione di energia nucleare, l'uso di strumenti medici per diagnosi e cure, gli apparati industriali, le attività di ricerca, l'attività bellica ecc.

Le radiazioni di origine naturale, contrariamente a quanto viene spesso divulgato dai mezzi d'informazione,

costituiscono l'aliquota principale della dose di radiazioni assorbite dalla popolazione nel suo insieme. Infatti, in assenza di eventi particolari (esplosioni nucleari o incidenti) la maggior esposizione della popolazione (italiana) alle radiazioni ionizzanti è quella di origine naturale (73%), le cui componenti principali (**Figura 1**) sono dovute ai prodotti di decadimento del radon (55%), ai raggi cosmici (16%) e alla radiazione terrestre (19%). Ciò a fronte di un 27% di radioattività di origine artificiale. Poiché c'è un forte impegno per ridurre le radiazioni in campo medico, ne deriva che il contributo percentuale delle radiazioni da sorgenti naturali è in aumento.

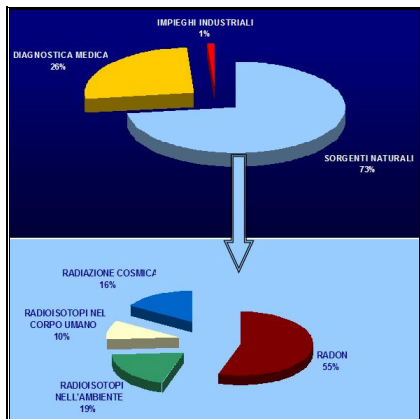


Figura 1- Sorgenti di esposizione alla radioattività per la popolazione (italiana) e loro ripartizione percentuale

Per avere un'idea della pericolosità di una sorgente radioattiva occorre analizzarne l'*attività*, definita come il numero medio di nuclei che decadono nell'unità di tempo, e la *concentrazione di attività* (l'attività per unità di massa). Le unità di misura di tali grandezze sono rispettivamente Bq (**) e Bq/m³.

Per misurare gli effetti biologici e i danni provocati sull'organismo, sui tessuti e sugli organi dall'assorbimento di (**) Bequerel

radiazioni si fa invece riferimento a un'altra grandezza fisica, la *dose equivalente H*.

La somma ponderata delle dosi equivalenti ai vari organi e tessuti i cui pesi tengono conto della diversa radiosensibilità degli organi e dei tessuti irraggiati, rappresenta la *dose efficace*. Sia la dose equivalente che la dose efficace si misurano in Sievert (Sv).

In **Tabella 1** sono riportate le stime dei principali contributi, di origine sia naturale che artificiale, alla dose efficace media individuale in un anno; i valori in essa riportati evidenziano, ancora una volta, come il maggior contributo di esposizione a radiazioni sia dovuto alla radioattività naturale. In questo

senso si sottolinea come la popolazione italiana, in virtù della costituzione geologica del nostro territorio, riceva da fonti naturali di radioattività un contributo annuo superiore alla media mondiale di circa 0,9 mSv.

	Sorgente naturale	Dose efficace media mSv/anno
Sorgenti esterne al corpo	Raggi cosmici	0,4
	Raggi γ da sorgenti terrestri	0,6
Sorgenti interne al corpo	Inalazione (Radon e Toron)	2,0
	Inalazione (altri)	0,006
	Ingestione	0,3
TOTALE NATURALE		3,3
	Sorgente artificiale	Dose efficace media mSv/anno
	Diagnostica medica	1,2
	Incidente di Chernobyl	0,002
	Test nucleari	0,005
	Industria nucleare	0,0002
TOTALE ARTIFICIALE		1,2
TOTALE		4,5

Tabella 1 - le stime dei principali contributi di radioattività, di origine sia naturale che artificiale, alla dose efficace media individuale annua

LA RADIOATTIVITÀ NEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Tutti i materiali da costruzione presentano una quantità piccola ma non trascurabile di radioattività naturale; poiché essi provengono dalla crosta terrestre, tale radioattività è dovuta ai radioisotopi Uranio (U-238), Torio (Th-232) e Potassio (K-40) - già menzionati in precedenza - in concentrazioni variabili a seconda della tipologia e della provenienza.

A titolo di esempio, alcuni graniti e alcuni tufi possono talvolta registrare sensibili concentrazioni di radioisotopi, mentre nei marmi la radioattività è raramente presente in quantità significative. Si può poi avere una radioattività anche in altri materiali, come vari tipi di sabbie o alcuni particolari cementi.

Questi (eventuali) apporti contribuiscono quindi alla dose di radioattività di provenienza naturale. Tale radioattività dà

luogo a due contributi di dose: la dose gamma esterna e la dose alfa interna, legata all'emanazione e all'accumulo del Radon. I radioisotopi presenti nei materiali da costruzione, infatti, oltre ad emettere radiazioni gamma dannose per la salute umana, possono dare origine all'emissione di Radon, un gas radioattivo derivante dal decadimento dell'U-238.

L'accertamento del contenuto radioattivo nei materiali da costruzione riveste pertanto una certa importanza, non solamente per quanto concerne i materiali impiegati per costruire, ma anche nella scelta di un sito per l'edificazione di nuove costruzioni; un'elevata concentrazione di U-238 nei terreni del sottosuolo, infatti, può dare origine ad emissione di Radon il quale, penetrando attraverso fessure all'interno delle abitazioni, può generare elevate concentrazioni del medesimo, soprattutto nei piani bassi e negli scantinati.

LA NORMATIVA

In Italia il dispositivo normativo di riferimento nel campo delle attività lavorative implicanti la presenza di sorgenti naturali è il D.Lgs. 230/95 (incluse successive modifiche e integrazioni), mentre il contenuto radioattivo dei materiali da costruzione non è ancora disciplinato da una legislazione specifica; tuttavia, è stata pubblicata nel 1989 una Direttiva europea per armonizzare le varie normative vigenti negli Stati Membri. La direttiva afferma che le eventuali emissioni di radiazioni dai materiali da costruzione non devono costituire un rischio per la salute degli occupanti l'edificio e/o quella dei

vicini, ma tale (generico) principio non ha avuto, fino ad oggi, una chiara applicazione a causa della mancata fissazione, a livello europeo, di valori limite per tali emissioni. Il Comitato Europeo per la Standardizzazione (CEN), cui la Commissione Europea ha conferito il mandato per la redazione delle future norme sulla radioattività nei materiali da costruzione, intende procedere secondo i criteri e i principi riportati nelle linee guida emanate dalla Commissione Europea col documento Radiation Protection 112.

IL PROGETTO DI RICERCA

Al fine di evitare allarmi eccessivi o, al contrario, di sottovalutare il problema, è stata condotta un'indagine conoscitiva sul contenuto di radioattività nei materiali da costruzione ornamentali e strutturali, onde eventualmente individuare situazioni critiche di concentrazione di radioattività. I lapidei naturali analizzati sia di produzione

della Sardegna (n. 37 campioni), sia di produzione nazionale (n. 1 campione), sia di produzione estera (20 campioni), così come i materiali strutturali sono riportati nelle tabelle 2→4:

CATEGORIA LITOLOGICA	NOME (COMMERCIALE O SCIENTIFICO)	PROVENIENZA	AZIENDE FORNITRICI
GRANITI	ROSA FERULA	Orosei	Scancellà Graniti
	GIALLO SAN GIACOMO	Olbia	Deiana Graniti
	ROSA BETA	Gallura	GMC
	ROSA BETA ACCESO	Arzachena	Granitaly
	GHIANDONE	Sant'Antonio di Gallura	SGE Graniti
	GHIANDONE	Monti Ruiu Luras	SIGRAS
	GHIANDONE	Gallura (San Leonardo)	LORIGA
	BIANCO GALLURA	Gallura (San Leonardo)	LORIGA
	GIALLO SAN GIACOMO	Gallura (San Leonardo)	LORIGA
	ROSA CINZIA	Cava Cinzia -Tempio	MISTRAL
	GHIANDONE	Cava Sinnada -Luras	MISTRAL
	ROSA BETA	Cava di Monti Lu Colbu Bassacutena	MISTRAL
	ROSA BETA MEDIO	Cava La Prugnola- Arzachena	MISTRAL
	ROSA BETA ACCESO	Cava Naracacchiu- Arzachena	MISTRAL
	ROSA ISOLA	Gallura	GrigioPerlato srl
	GRIGIO PERLA	Gallura	GrigioPerlato srl
	MALAGA	Buddusò	Mannu Graniti
	CALA FRANCESE	La Maddalena	-
	ROSA NULE	Nule (Nuoro)	-
"TRACHITI"	TRACHITE "SCURA"	Ittiri	Trachite artigiana
	TRACHITE "CHIARA"	Ittiri	Trachite artigiana
	TRACHITE "ROSSA"	Banari	Trachite artigiana
	TRACHITE DI FORDONGIANUS	Fordongianus	Cosimo Mura
	TRACHITE PEDRA E FERRU	Sedilo	GMC
	RIOLITE NERA	Ittiri	Trachite artigiana
BASALTI	RIOLITE VIOLA	Ittiri	Trachite artigiana
	BASALTO NORMALE "SINDIA"	Sindia	Perdas
	BASALTO NORMALE "SANNA"	Paulilatino	Perdas
	BASALTO COMPATTO	Abbasanta/Sindia	Perdas
	BASALTO	Fordongianus	Guicer Basalti
	BASALTO	Km5,5 sp25 Lula Orosei	Sabbie&Basalti di Sardegna srl
MARMI	BASALTO	Sedilo	GMC
	MARMO NERO TAMARA	Nuxis	Cier Marmi
	MARMO DI OROSEI	Cava:IN.MA.SA - Orosei	Sardegna Marmi
ALTRI MATERIALI	MARMO DI OROSEI	Cava:IN.PRO.MAR-Orosei	
	FILLADE	Siniscola	Pietre di Sardegna
	PORFIDO	Sardegna	-
mattonelle	SCISTO	Lula	Ditta Becciu
	MATTONELLE IN GRES PORCELLANATO	-	-
	MATTONELLE IN COTTO	-	-
	MATTONELLE SMALTATE	-	-

Tabella 2 - elenco, denominazioni, provenienza e aziende fornitrici dei materiali ornamentali isolani sottoposti ad analisi del contenuto di radioattività

CATEGORIA LITOLOGICA	NOME (COMMERCIALE O SCIENTIFICO)	PROVENIENZA	AZIENDE FORNITRICI
GRANITI	KASHMIR	India	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	TIGER RED	India	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	COLIBRI	India	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	JUPPARANÀ	India	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	SWIKASHI	India	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	MULTICOLOR	India	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	VERDE EUCALIPTO	India	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	VERDE MARINA	Brasile	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	VERDE CRUZEIRO	Brasile	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	VERDE	Marocco	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	MULTICOLOR	Brasile	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	LABRADORITE	Africa	SIGRAS
	LABRADOR BLU	Nord America	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	LABRADOR	Nord America	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	SUKURU	Giappone	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	SANTIAGO	Russia	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	ROSA PORRINO	Spagna	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
	ROSSO BALMORAL	Finlandia	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
Marmi	MARMO	Toscana(Carrara)	-
	MARMO ROSA	Portogallo	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.
ALTRI MATERIALI	QUARZITE	Brasile	Lavorazione L.C.D. Marmi S.R.L.

Tabella 3 - elenco, denominazioni, provenienza e aziende fornitrici dei materiali ornamentali esteri sottoposti ad analisi del contenuto di radioattività

CATEGORIA	NOME COMMERCIALE	PROVENIENZA	AZIENDA FORNITRICE
SABBIE	SABBIE GRANITICHE	Km5,5 sp25 Lula Orosei	Sabbie e basalti di Sardegna srl
	SABBIA – QUARZITE	Sinnai(Bellavista)	Cagima.srl
	SABBIA -INERTI	Guspini	FF. Serci srl
	SABBIA ARENARIA	-	-
	SABBIA-CALCARE	Cava Segariu	ICA-Inerti calacarei
MALTE PER INTONACI	“NX120”- MALTA	Samatzai	Calcidrata
	“PEDRANO”- MALTA	Samatzai	Calcidrata
	“NURAMINIS”- MALTA	Samatzai	Calcidrata
CEMENTI E LORO COMPONENTI	CEMENTO 1	-	Calcidrata
	CEMENTO 2	Oristano	Cementi Centro Sud Spa- Santa Giusta (OR)
	CEMENTO 3	Oristano	Cementi Centro Sud Spa- Santa Giusta (OR)
	CEMENTO 4	-	-
	PREMISCELATO_ 4	-	-
	FLY ASH_ 1	-	Calcidrata
	FLY ASH_ 2	-	Cementi Centro Sud Spa- Santa Giusta (OR)
	CLINKER_ 2	-	Cementi Centro Sud Spa- Santa Giusta (OR)
	CLINKER_ 3	-	Cementi Centro Sud Spa- Santa Giusta (OR)
	GESSO (CaSO ₄)	Oristano	Cementi Centro Sud Spa- Santa Giusta (OR)
	CALCE	Oristano	Cementi Centro Sud Spa- Santa Giusta (OR)
	CARBONATO DI CALCIO	Samatzai	Calcidrata
	POZZOLANA	Francia	Calcidrata
	NHL	Francia	Calcidrata
	IDROSSIDO DI CALCIO	Samatzai	Calcidrata
	PERLITE ESSICATA	Oristano	Cementi Centro Sud Spa- Santa Giusta (OR)
ALTRI MATERIALI	TRACHIANDESITE _PER ASFALTI NATURALI	Cava Segariu	ICA-Inerti calacarei
	MATTONI	-	-

Tabella 4 - elenco, denominazioni, provenienza e aziende fornitrici dei materiali strutturali sottoposti ad analisi del contenuto di radioattività

Sui campioni ridotti in granaglie sono state condotte le analisi in spettrometria gamma, alle quali, seguendo le linee-guida della CE, sono stati applicati i criteri sulla criticità dei materiali, calcolando tre parametri: l'indice di concentrazione di attività (I), il rateo di dose gamma assorbita (Da) e la dose efficace annuale (He).

Sui campioni, tagliati in piastrelle cm 5 x 5 x 1, dalle quali ricavare successivamente delle sezioni sottili, sono state poi

condotte le analisi con dosimetri passivi a tracce CR39. Sono state infine realizzate analisi in fluorescenza a raggi X, e con misurazioni all'ESEM, integrate da microscopia polarizzante, al fine di stabilire una correlazione tra la presenza di radioattività e la composizione chimico/mineralogica dei campioni.

Per poter fare una stima dell'esposizione della popolazione ai raggi gamma derivanti dalle sorgenti naturali, e valutare

quindi l'eventuale criticità dei graniti come materiali da costruzione, sono stati calcolati, secondo il documento Radiation Protection 112, i tre parametri di cui sopra (I), (Da) e (He).

L'indice di concentrazione di attività I è stato calcolato mediante la seguente formula:

$$I = \frac{C_{Ra}}{300 Bq Kg^{-1}} + \frac{C_{Th}}{200 Bq Kg^{-1}} + \frac{C_K}{3000 Bq Kg^{-1}},$$

dove C_{Ra} , C_{Th} , C_K , sono le concentrazioni di attività del ^{226}Ra , ^{232}Th e del ^{40}K , rispettivamente, espresse in Bq/Kg.

Secondo questo documento vengono fissati i diversi valori limite dell'indice I, cui corrispondono incrementi di dose gamma efficace agli individui di 0,3 mSv/y e 1 mSv/y, in funzione del limite di dose che si vuol rispettare (per la popolazione e per i lavoratori, rispettivamente) e del tipo di impiego che viene fatto del materiale edilizio, ossia come materiale strutturale o di rivestimento (Tabella 5):

Criterio di dose	0,3 mSv/y	1 mSv/y
Materiale strutturale	$I \leq 0,5$	$I \leq 1$
Materiale di rivestimento	$I \leq 2$	$I \leq 6$

Tabella 5 - valori limite proposti dalla Commissione Europea

Se, per esempio, i materiali da costruzione sono utilizzati come materiali da rivestimento, quando l'indice I risulta inferiore a 2, possono essere considerati esenti da qualsiasi tipo di restrizione, mentre se risulta superiore a 6, non dovrebbero essere utilizzati se non in casi eccezionali e a

livello locale. Se l'indice risulta compreso tra questi valori, il materiale potrebbe essere soggetto a restrizioni riguardanti il suo utilizzo, in base però a specifiche valutazioni di dose (Tabella 6):

	$I \leq 0,5$ $I \leq 2$	Esente da restrizioni
	$0,5 \leq I \leq 1$ $2 \leq I \leq 6$	Possibili restrizioni
	$I > 1$ $I > 6$	Soggetto a restrizioni

Tabella 6 - schema visuale delle relazioni tra i valori limite proposti dalla Commissione Europea e i possibili vincoli di utilizzabilità nei materiali da costruzione

La Raccomandazione Radiation Protection 112 fornisce inoltre indicazioni riguardo all'esposizione interna della

popolazione, dovuta all'inalazione del Radon, proponendo di inserire in fase di progettazione specifiche e misure di

controllo che garantiscano una soglia massima di concentrazione di Radon nei nuovi edifici pari a 200 Bq/m³,

Il rateo di dose gamma assorbita (Da), utilizzando il modello di una casa a forma di parallelepipedo, con pareti infinitamente spesse e senza porte e finestre, è stato calcolato mediante la seguente formula:

$$D_a (nGyh^{-1}) = \alpha_1 C_{40K} + \alpha_2 C_{232Th} + \alpha_3 C_{226Ra}$$

dove C_{40K} , C_{232Th} , C_{226Ra} , sono le concentrazioni di attività del ²²⁶Ra, ²³²Th e del ⁴⁰K, rispettivamente, espresse in Bq/Kg, mentre i coefficienti assumono valori variabili a seconda della geometria dell'edificio e del materiale utilizzato (densità, spessore).

Se, per esempio, si utilizzano granito, trachite, basalto o marmo (densità $\cong 2,7$ g/cm³, spessore 3 cm), come materiale da rivestimento, utilizzando come modello una casa di dimensioni m 3 x 3 x 3:

NORMATIVA NEL MONDO E CONFRONTO CON LE ANALISI DEI CAMPIONI ESTERI

Nei paesi nordici si usa lo stesso criterio europeo per l'indice di concentrazione di attività gamma (I_γ):

$$I_\gamma = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000},$$

ma si introduce in più un criterio per il rilascio del radon attraverso l'indice alfa ($I_\alpha \leq 1.0$):

$$I_\alpha = \frac{C_{Ra}}{200} \frac{Bq}{Kg} \quad [18]$$

La Repubblica popolare cinese invece ha adottato criteri ottenuti da correlazioni che mettono in rapporto le concentrazioni dei radionuclidi nei materiali con la dose; ne risultano due indici l'indice di esposizione esterna I_γ e l'indice di esposizione interna I_α per i quali vengono definiti dei limiti che non devono essere superati, calcolati come segue [19]:

$$I_\gamma = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{260} + \frac{C_K}{4200}, \quad I_\alpha = \frac{C_{Ra}}{200} \frac{Bq}{Kg}$$

Secondo questa normativa gli edifici vengono suddivisi in due tipologie:

- gli edifici civili
- gli edifici industriali

Gli edifici civili sono a loro volta classificati in:

CLASSE I, che comprende: gli edifici residenziali, i pensionati, gli asili, gli ospedali, le scuole, le poste, gli alberghi, etc.

CLASSE II, che comprende: i centri commerciali, le piazze di intrattenimento del pubblico, le librerie, i musei, le sale d'attesa dei trasporti pubblici, le palestre, i ristoranti, i parrucchieri, etc

mentre per quelli esistenti a livello europeo si consiglia una soglia di intervento di 400 Bq/m³.

$$\alpha_1 = 0.0414 nGyh^{-1} / BqKg^{-1};$$

$$\alpha_2 = 0.623 nGyh^{-1} / BqKg^{-1};$$

$$\alpha_3 = 0.461 nGyh^{-1} / BqKg^{-1}.$$

Se si utilizza invece il calcestruzzo (densità $\cong 2,35$ g/cm³, spessore 20 cm) come materiale strutturale per una casa di dimensioni m 4 x 5 x 2,8:

$$\alpha_1 = 0.080 nGyh^{-1} / Bqkg^{-1};$$

$$\alpha_2 = 1.1 nGh^{-1} / Bqkg^{-1}; \alpha_3 = 0.92 nGyh^{-1} / Bqkg^{-1}$$

Infine, per la dose efficace annuale H_e (mSv) il fattore di conversione utilizzato è stato $8,8 \times 10^{-3}$ mSv $\cdot$ y⁻¹ / nGyh⁻¹ (UNSCEAR, 1993), e considerando che il valore limite per la dose efficace annuale sia pari a 1 mSv.

Gli edifici industriali sono invece quegli edifici utilizzati per svolgere attività di produzione, come le officine, i magazzini etc..

Anche il modello cinese, così come quello europeo, suddivide i materiali in:

- materiali strutturali e
- materiali decorativi.

Per i primi le attività specifiche devono soddisfare il criterio: $I_\gamma \leq 1.0$ e $I_\alpha \leq 1.0$ contemporaneamente; se il tasso di porosità supera il 25%, allora: $I_\gamma \leq 1.3$ e $I_\alpha \leq 1.0$

I materiali decorativi vengono invece suddivisi in tre classi (A, B, C), sulla base dei livelli di radioattività dei materiali.

CLASSE A:

Se $I_\gamma \leq 1.3$ e $I_\alpha \leq 1.0$ contemporaneamente i materiali decorativi sono classificati in classe A e non ci sono restrizioni.

CLASSE B:

Tutti quei materiali che non sono classificati in classe A ma soddisfano le condizioni: $I_\gamma \leq 1.9$ e $I_\alpha \leq 1.3$, sono classificati in classe B e allora non possono essere usati come materiali decorativi per le superfici interne degli edifici civili che rientrano nella classe I, ma possono essere usati come materiali decorativi per le superfici interne degli edifici civili classificati in classe II e degli edifici industriali e per le superfici esterne di qualunque edificio.

CLASSE C:

Tutti quei materiali che non sono classificati in classe A e in classe B, ma soddisfano le condizioni: $I_\gamma \leq 2.8$, sono classificati

in classe C e possono essere usati come materiali decorativi solo per le superfici esterne degli edifici.
Per i materiali esteri oltre alla metodologia utilizzata per gli altri materiali si è proceduto ad un confronto tra gli indici di

attività calcolati secondo le raccomandazioni europee e quelli calcolati secondo le raccomandazioni della Repubblica popolare cinese.

RISULTATI

1-Materiali ornamentali

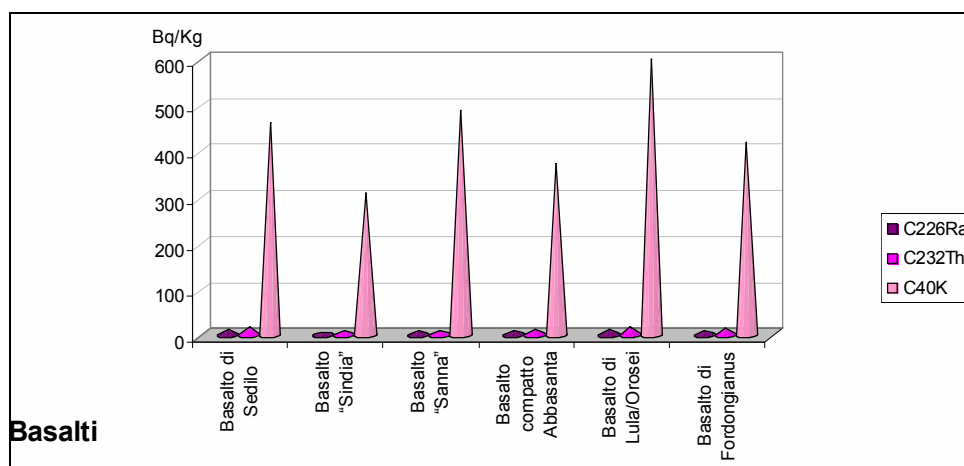
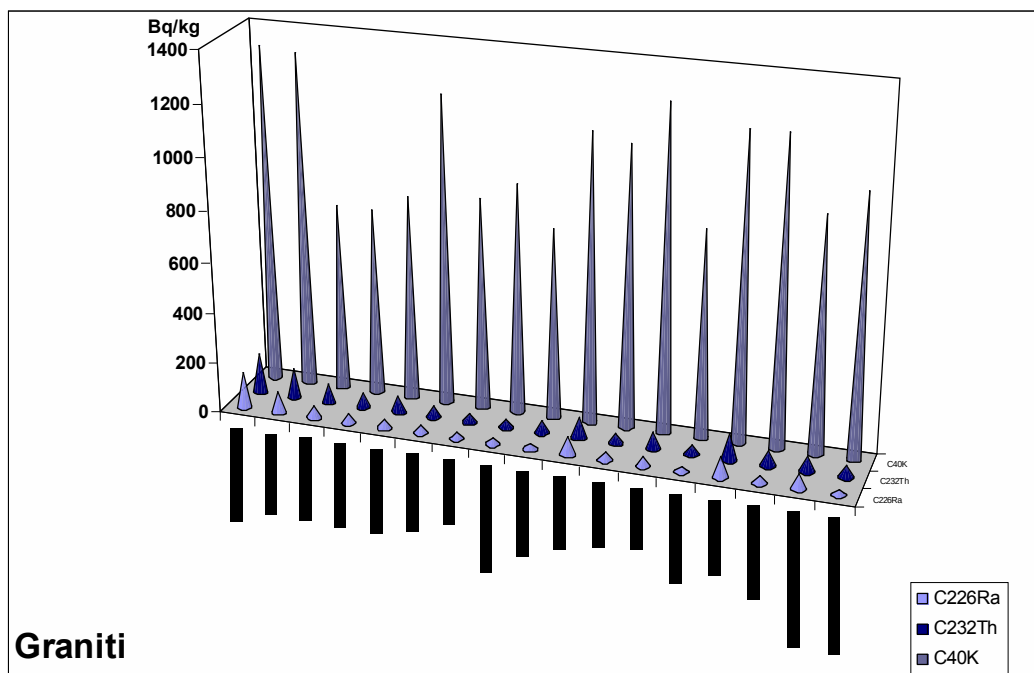
Le concentrazioni di attività del Ra226, del Th232 e del K40, e relativo grafico, sono riportate in Tabella 7 e nelle figure seguenti.

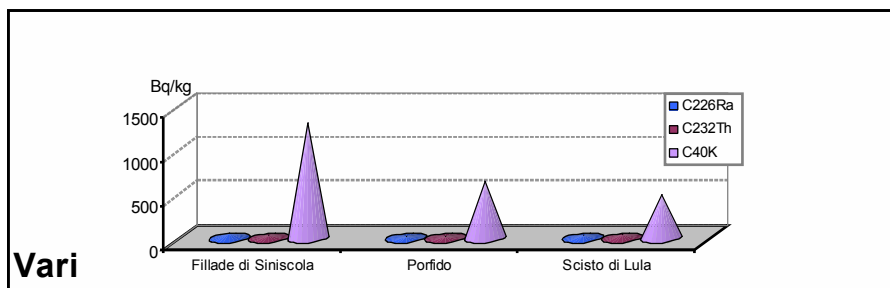
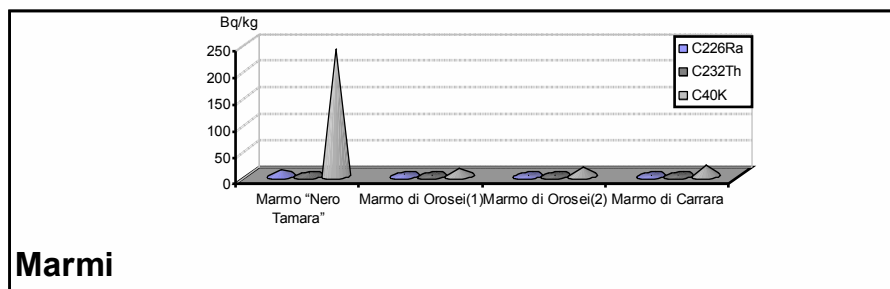
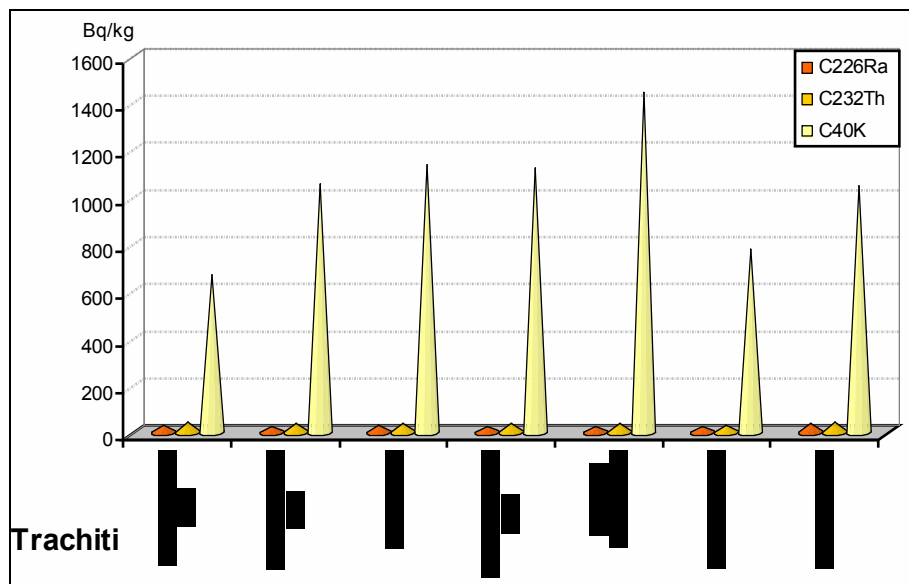
Queste ultime riportano gli istogrammi differenziati per categorie litologiche.

CAMPIONE	C _{40K} (Bq/Kg)	C _{232Th} (Bq/Kg)	C _{226Ra} (Bq/Kg)
Granito Ghiandone(1)	736,650	73,500	47,370
Granito Ghiandone(2)	736,650	59,180	35,420
Granito Ghiandone(3)	801,730	62,689	33,379
Granito Ghiandone(4)	893,520	61,760	34,675
Granito Grigio Perla	1208,244	45,341	33,787
Granito Rosa Beta(1)	830,982	38,491	27,618
Granito Rosa Beta(2)	957,890	34,300	27,400
Granito Rosa Beta acceso(1)	899,98	33,59	22,87
Granito Rosa Beta acceso(2)	996,320	39,720	29,140
Granito Rosa Beta medio	887,780	34,101	24,520
Granito Rosa Cinzia	1023,630	56,170	34,014
Granito Grigio Malaga	748,390	51,290	22,955
Granito Rosa Sardo	1130,660	83,410	75,650
Granito Rosa Isola	1097,315	42,206	30,630
Granito Rosa Nule	1266,030	66,020	40,240
Granito Cala Francese	813,77	35,76	21,70
Granito Rosa Ferula	1195,79	102,89	79,67
Granito Bianco Gallura	1201,570	56,810	28,870
Granito Giallo San Giacomo(1)	919,280	58,030	58,690
Granito Giallo San Giacomo(2)	1019,600	47,509	19,805
Granito Rosso Balmoral	1324,782	159,218	139,628
Granito Rosa Porriño	1308,220	114,476	85,421
Granito Kashmir	1202,912	60,745	247,211
Granito tiger red	880,000	77,690	13,340
Granito Colibri	467,341	19,719	2,695
Granito Jupparanà	660,670	64,030	14,470
Granito Swikashi	951,002	9,930	22,623
Granito Multicolor	897,734	849,015	22,143
Granito Verde eucalyptus	1245,307	18,742	33,410
Granito Verde marina	626,614	83,400	100,580
Granito verde Cruzeiro	1128,743	31,095	19,167
Granito verde	565,602	23,079	18,165
Granito Multicolor	1125,214	107,336	15,678
Granito Labrador blu	898,200	32,389	35,804
Granito Labrador	1019,26	47,156	42,940
Granito Sukuru	1206,569	117,892	41,137
Granito Santiago	1292,255	63,42	31,65
Trachite "scura" di Ittiri	675,440	47,350	34,220
Trachite "chiara" di Ittiri	1055,780	42,34	26,720
Trachite rossa	1136,820	43,420	34,450
Trachite "Pedra 'e ferru"	1125,700	40,540	30,600
Trachite di Fordongianus	1445,870	43,300	27,640
Riolite viola di Ittiri	783,38	34,890	26,080
Riolite nera di Ittiri	1050,175	46,760	38,170
Basalto di Sedilo	460,630	17,290	13,430
Basalto "Sindia"	310,510	10,050	6,550

Basalto "Sanna"	489,410	10,850	9,480
Basalto compatto Abbasanta	374,590	13,850	9,460
Basalto di Lula/Orosei	599,290	19,930	13,970
Basalto di Fordongianus	417,960	14,530	8,830
Fillade di Siniscola	1289,410	29,770	55,250
Scisto di Lula	487,980	37,450	26,880
Porfido	638,143	20,843	17,521
Quarzite	1072,848	18,679	11,005
Labradorite	151,890	0,750	1,006
Marmo di Orosei(1)	13,620	0,620	2,840
Marmo di Orosei(2)	14,920	1,130	1,520
Marmo "Nero Tamara"	239,030	4,960	12,440
Marmo di Carrara	19,370	0,300	1,900
Marmo rosa	26,711	0,791	1,009

Tabella 7 - concentrazioni di attività nei campioni sottoposti ad analisi





Istogrammi delle concentrazioni di attività del Ra226, del Th232 e del K40 relative ai campioni sottoposti ad analisi

I campioni sottoposti ad analisi sono normalmente impiegati come materiali da costruzione ornamentali; conseguentemente, per quanto riguarda i limiti proposti dalla Commissione Europea, si è fatto riferimento a quelli relativi ai materiali di rivestimento.

In **Tabella 8** e nell'istogramma successivo è possibile osservare come tutti i campioni isolani analizzati mostrino un indice di concentrazione di attività inferiore a 2, risultando quindi esenti da qualsiasi tipo di restrizione.

Effettuato - infine - il calcolo del rateo della dose assorbita e della dose efficace, si nota come solo alcuni

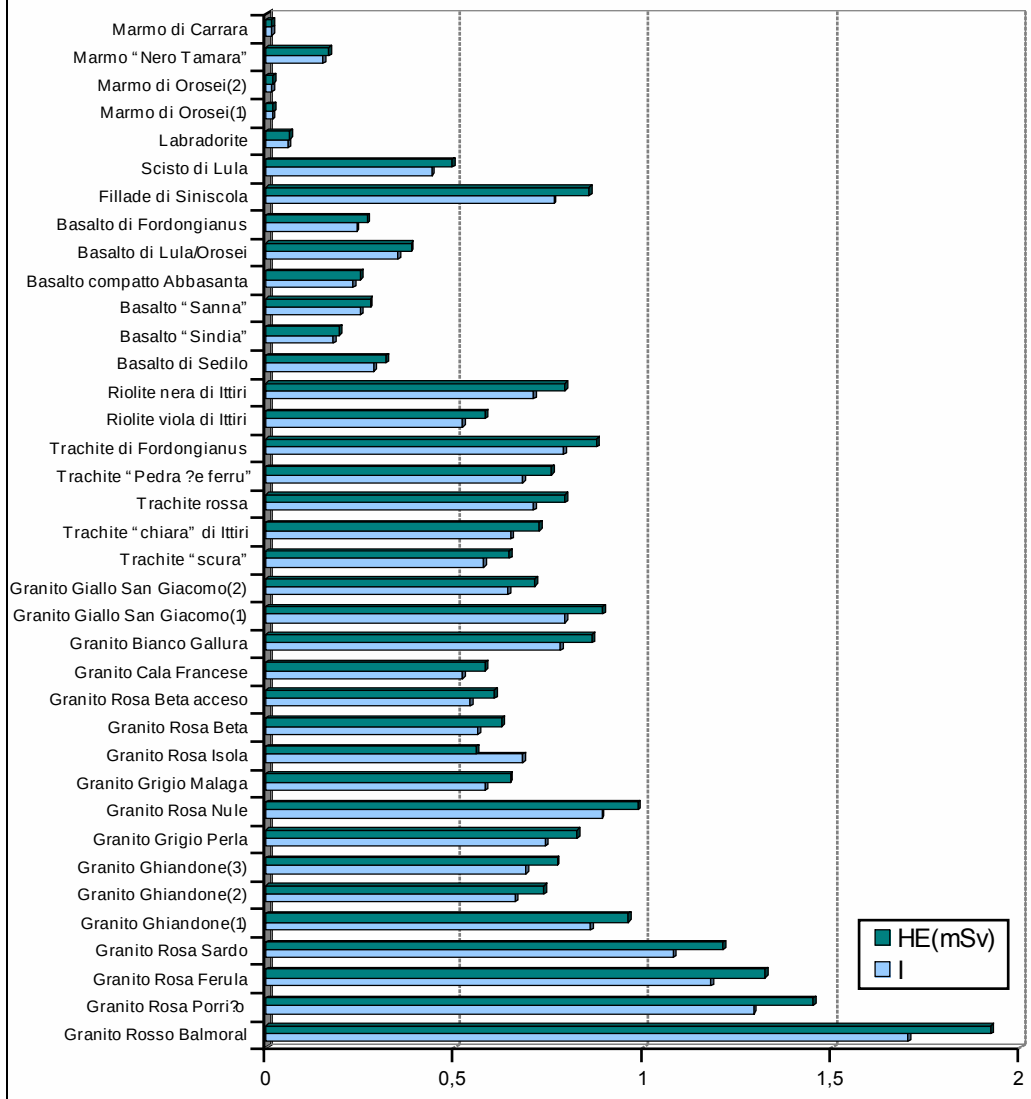
campioni di granito superino, seppur di poco, il limite di 1 mSv.

Diverso è il discorso per quanto riguarda i materiali ornamentali esteri: Ad una prima analisi si può notare come tutti i campioni in generale abbiano degli indici mediamente più elevati rispetto ai campioni ornamentali sardi: In particolare il campione di granito "Multicolor", proveniente dall'India ha un indice superiore a 2, ma comunque inferiore a 6, valore per il quale sarebbe soggetto a restrizioni sull'uso.

CAMPIONE	I	D _a (nGyh ⁻¹)	H _E (mSv)
Granito Rosa Ferula	1,179	150,334	1,323
Granito Rosa Sardo	1,079	137,788	1,213
Granito Ghiandone(1)	0,860	108,999	0,959
Granito Ghiandone(2)	0,660	83,695	0,737
Granito Ghiandone(3)	0,690	87,635	0,771
Granito Ghiandone(4)	0,720	91,453	0,805
Granito Grigio Perla	0,742	93,845	0,826
Granito Rosa Nule	0,890	112,095	0,986
Granito Grigio Malaga	0,582	73,519	0,647
Granito Rosa Isola	0,680	63,342	0,557
Granito Rosa Cinzia	0,740	93,053	0,819
Granito Rosa Beta(1)	0,562	71,114	0,626
Granito Rosa Beta(2)	0,580	73,657	0,648
Granito Rosa Beta acceso(1)	0,540	68,729	0,605
Granito Rosa Beta acceso(2)	0,630	79,427	0,699
Granito Rosa Beta medio	0,550	69,303	0,610
Granito Cala Francese	0,522	65,972	0,581
Granito Bianco Gallura	0,780	98,447	0,866
Granito Giallo San Giacomo(1)	0,792	101,267	0,891
Granito Giallo San Giacomo(2)	0,640	80,940	0,712
Granito Rosso Balmoral	1,703	218,407	1,922
Granito Rosa Porriño	1,293	164,858	1,451
Granito Kashmir	1,530	201,608	1,774
Granito tiger red	0,730	90,983	0,801
Granito Colibri	0,260	32,867	0,289
Granito Jupparanà	0,590	73,995	0,651
Granito Swikashi	0,440	55,987	0,493
Granito Multicolor_I	4,620	576,310	5,072
Granito Verde eucalipto	0,620	78,634	0,692
Granito Verde marina	0,960	124,267	1,094
Granito verde Cruzeiro	0,600	74,938	0,659
Granito verde	0,360	46,168	0,406
Granito Multicolor_B	0,960	120,682	1,062
Granito Labrador blu	0,580	73,869	0,650
Granito Labrador	0,720	91,371	0,804
Granito Sukuru	1,130	142,363	1,253
Granito Santiago	0,850	107,602	0,947
Trachite "scura"	0,576	73,238	0,644
Trachite "chiara" di Ittiri	0,650	82,405	0,725
Trachite rossa	0,710	89,996	0,792
Trachite "Pedra 'e ferru"	0,680	85,967	0,757
Trachite di Fordongianus	0,790	99,577	0,876
Riolite viola di Ittiri	0,523	66,191	0,582
Riolite nera di Ittiri	0,710	90,205	0,794
Basalto di Sedilo	0,285	36,033	0,317
Basalto "Sindia"	0,180	22,136	0,195
Basalto "Sanna"	0,250	31,391	0,276
Basalto compatto Abbasanta	0,230	28,498	0,251
Basalto di Lula/Orosei	0,350	43,667	0,384
Basalto di Fordongianus	0,240	30,426	0,268
Fillade di Siniscola	0,763	97,399	0,857
Scisto di Lula	0,440	55,925	0,492
Porfido	0,380	47,481	0,418
Quarzite	0,490	61,126	0,538
Labradorite	0,060	7,219	0,064
Marmo di Orosei(1)	0,017	2,259	0,020
Marmo di Orosei(2)	0,016	2,022	0,018
Marmo "Nero Tamara"	0,150	18,721	0,165
Marmo di Carrara	0,014	1,865	0,016
Marmo rosa	0,02	2,064	0,018

Tabella 8 - indice di concentrazione di attività, rateo della dose assorbita e della dose efficace nei campioni sottoposti ad analisi

Dose efficace annuale e Indice di Attività



Istogramma della dose efficace annuale ed indice di attività nei campioni sottoposti ad analisi

Riportiamo per i materiali esteri anche un confronto sui valori degli indici di esposizione interna ed esterna, calcolati secondo la normativa cinese e la successiva classificazione

dei materiali (ricordiamo che se $I_{\gamma} \leq 1.3$ e $I_{\alpha} \leq 1.0$ contemporaneamente i materiali decorativi sono classificati in classe A e non ci sono restrizioni):

CAMPIONE	I_{CE}	$I_{\alpha-Cina}$	$I_{\gamma-Cina}$	classe
GRANITO KASHMIR	1,53	1,24	1,19	B
GRANITO TIGER RED	0,73	0,07	0,54	A
GRANITO COLIBRI	0,26	0,01	0,19	A
GRANITO JUPPARANÀ	0,59	0,07	0,44	A
GRANITO SWIKASHI	0,44	0,11	0,33	A
GRANITO MULTICOLOR_I	4,62	0,11	3,54	B
GRANITO VERDE EUCALIPTO	0,62	0,17	0,46	A
GRANITO VERDE MARINA	0,96	0,50	0,74	A
GRANITO VERDE CRUZEIRO	0,60	0,10	0,44	A
GRANITO VERDE	0,36	0,09	0,27	A
GRANITO MULTICOLOR_B	0,96	0,08	0,72	A
GRANITO LABRADORITE	0,06	0,01	0,04	A
GRANITO LABRADOR BLU	0,58	0,18	0,44	A
GRANITO LABRADOR	0,72	0,21	0,54	A
GRANITO SUKURU	1,13	0,21	0,85	A
GRANITO SANTIAGO	0,85	0,16	0,64	A
GRANITO ROSA PORRINO	1,29	0,43	0,98	A
GRANITO ROSSO BALMORAL	1,70	0,70	1,31	B
MARMO ROSA	0,02	0,01	0,01	A
QUARZITE	0,49	0,06	0,36	A

Per quanto riguarda i risultati della correlazione tra le tecniche nucleari CR39-ESEM-EDAX e le osservazioni al microscopio ottico, è stata evidenziata nei campioni studiati la presenza di diversi minerali radioattivi. Uranio e torio sono generalmente presenti come elementi vicarianti in minerali

accessori, principalmente zirconi, allaniti e monaziti, e come elementi principali nel minerale thorite.

In figura riportiamo un esempio di questa tipologia di analisi:

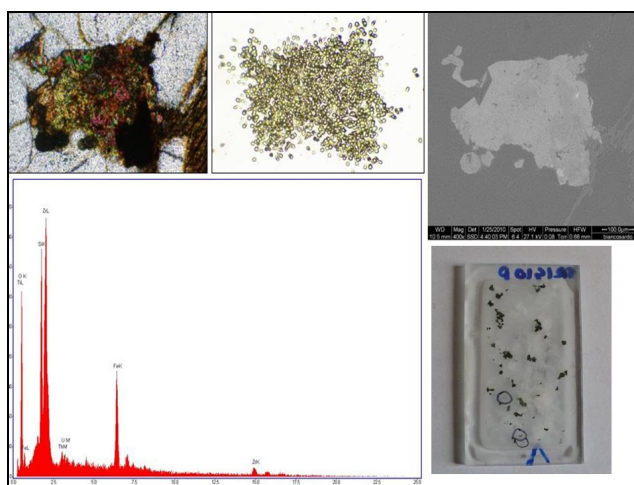


Figura: Zircone: Da sinistra in alto, in senso orario, immagine al microscopio ottico (NI; 10X), corrispondenti tracce di emissione alfa sul dosimetro CR39, immagine ESEM, sezione sottile e spettro di emissione (EDAX)

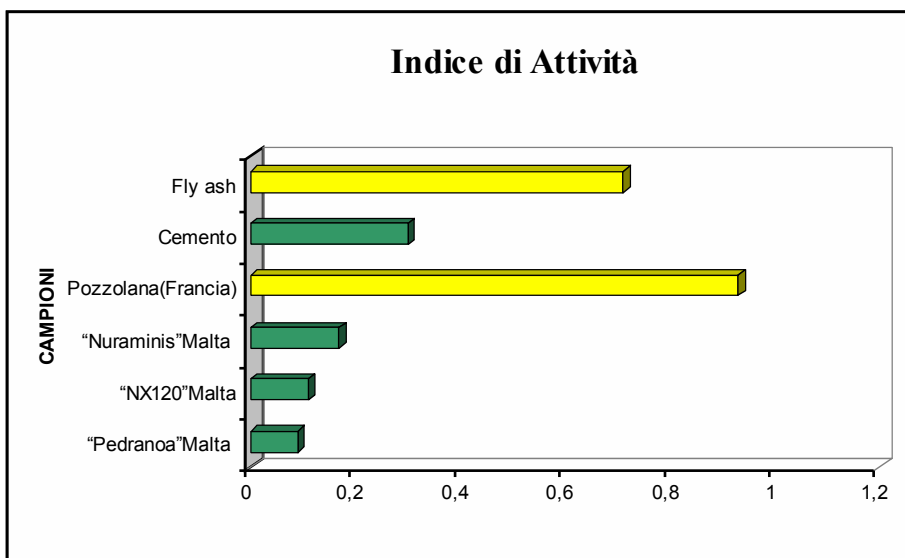
2-Materiali strutturali

Come per i materiali ornamentali, riportiamo nella tabella seguente i dati relativi al contenuto di radioattività naturale per i materiali strutturali:

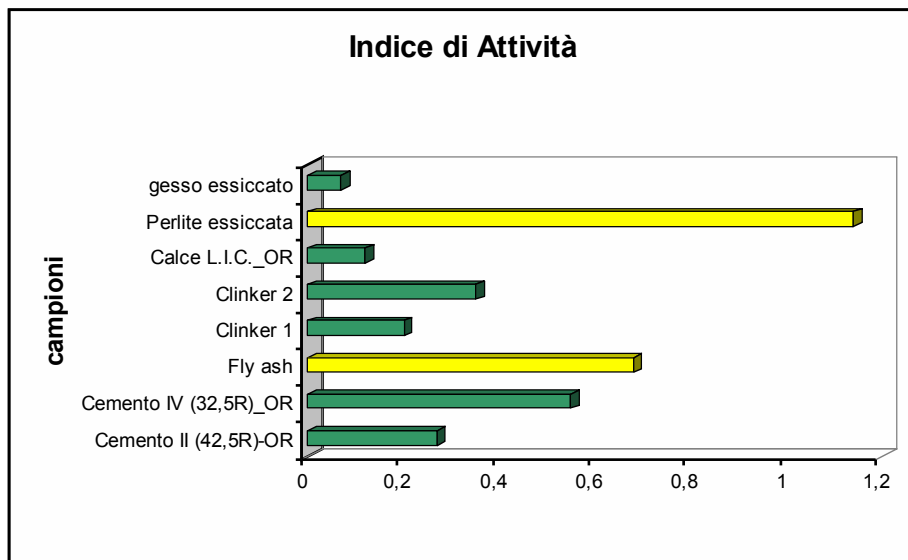
CAMPIONE	C _{40K} (Bq/Kg)	C _{232Th} (Bq/Kg)	C _{226Ra} (Bq/Kg)	I
Sabbie granitiche	1087,96	64,91	14,42	0,69
Sabbie arenaria	510,21	19,01	10,11	0,33
Sabbia quarzite (CAGIMA)	1114,65	58,30	40,88	0,77
Sabbia calcarea	18,280	1,590	19,710	0,08
Sabbia inerti	886,509	33,769	24,300	0,55
"Nuraminis"Malta per intonaci	279,700	4,460	16,300	0,17
"Pedranao"Malta per intonaci	33,150	3,530	18,360	0,09
"NX120"Malta per intonaci	42,040	3,770	22,520	0,11
Pozzolana(Francia)	216,850	100,137	103,957	0,93
Cemento	252,640	15,870	41,950	0,30
Fly ash	581,650	49,400	79,520	0,71
Cemento II (42,5R)-OR	250,500	14,250	36,060	0,27
Cemento IV (32,5R)_OR	628,707	42,517	37,638	0,55
Fly ash_OR	560,258	48,435	74,016	0,68
Clinker 1_OR	227,480	14,657	13,960	0,20
Clinker 2_OR	287,602	19,591	46,352	0,35
Calce L.I.C._OR	90,621	7,862	15,690	0,12
Perlite essiccata_OR	1482,250	97,339	49,170	1,14
gesso essiccato_OR	24,554	5,482	9,440	0,07
Cemento	591,327	40,310	49,284	0,56
Premiscelato	47,431	2,907	30,254	0,13
Trachiandesite_ per asfalti naturali	129,525	14,750	5,650	0,14
Mattoni	699,630	50,110	59,210	0,68

Essendo materiali strutturali, perché risultino esenti da restrizioni l'indice di attività deve risultare inferiore a 0.5. Si può notare come, talvolta, anche se il materiale commerciale risulta inferiore a tale valore, non si può dire lo stesso delle

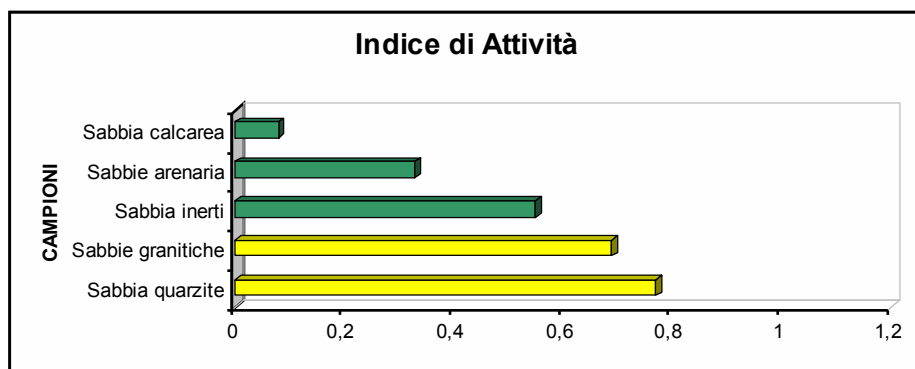
sue componenti, come si può notare dagli istogrammi seguenti. Raramente comunque i materiali analizzati riportano un indice di attività superiore a 1, valore per il quale risulterebbero soggetti a restrizioni :



Malte per intonaci



Cementi



Sabbie