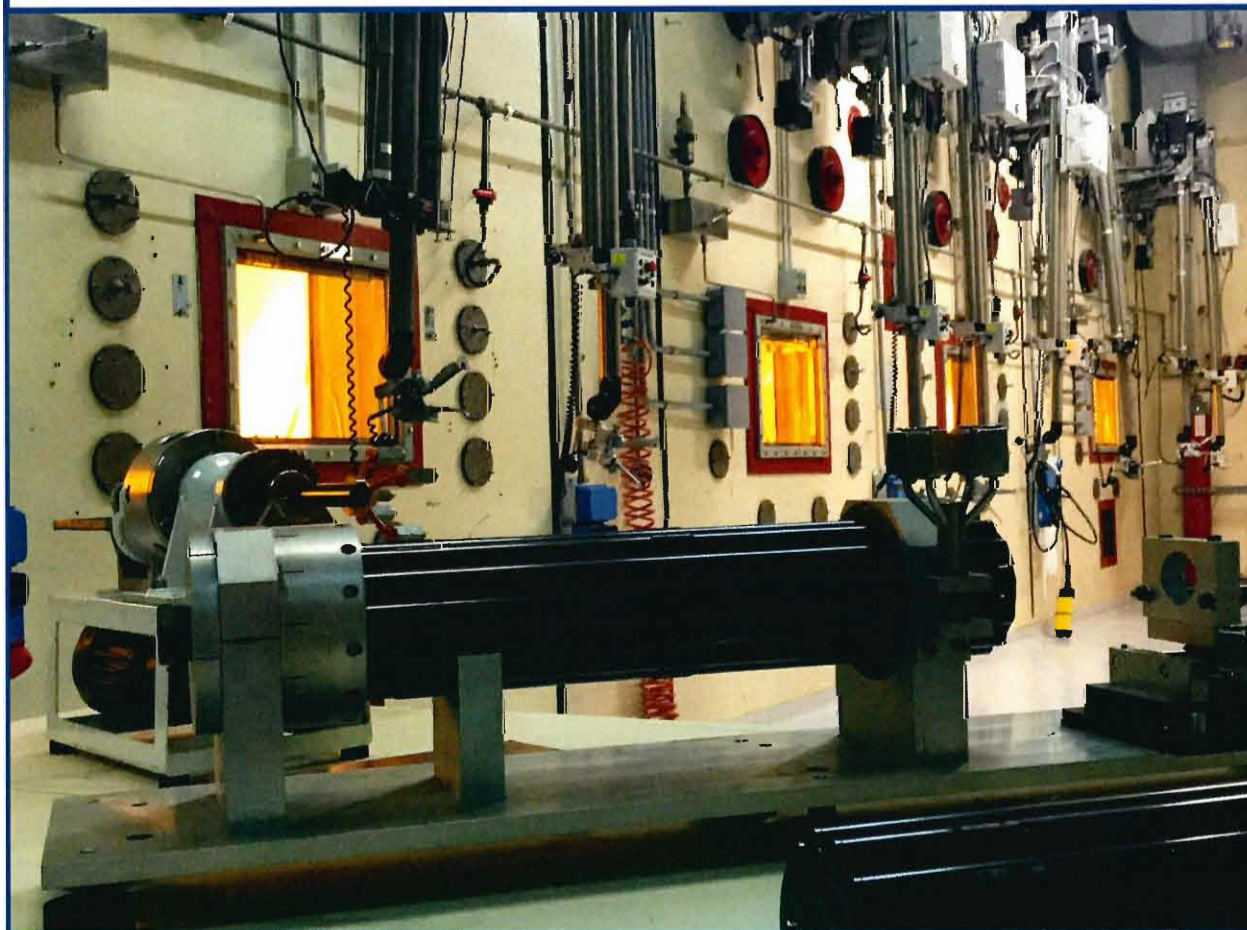




RAPPORTO ANNUALE SULLA RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE DEL CENTRO RICERCHE CASACCIA



Emissione	27/06/2019	ANNO 2018 - ENEA RTI IRP 2019 (8)			
Rapporto di Misure	REV. 0	Campionamento, Analisi e Misure	Redazione	Convalida	Validazione ed approvazione
		G. Antonacci N. Di Marco G. La Notte A. Rizzo L. Sperandio I. Vilardi F. Zazzaroni	G. Antonacci N. Di Marco I. Vilardi	Esperto Qualificato C.R. Casaccia: E. Borra 	Responsabile IRP-SFA: I. Vilardi 

INDICE

PREMESSA.....	1
DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	3
1 CARATTERISTICHE DEL SITO.....	5
1.1 Generalità.....	5
1.2 Meteorologia del sito.....	10
1.3 Demografia.....	15
2 CARATTERISTICHE GENERALI DEGLI IMPIANTI.....	17
2.1 Reattore TRIGA RC-1.....	17
2.2 Reattore TAPIRO.....	18
2.3 Impianto Plutonio – Soc. Sogin S.p.A.	18
2.4 Deposito OPEC-1 – Soc. Sogin S.p.A.	19
2.5 Impianto rifiuti radioattivi - Soc. NUCLECO S.p.A.....	19
2.6 Laboratori e impianti del C.R. Casaccia.....	19
2.7 Materie fissili speciali e prime fonti.....	20
3 LIMITI DI SCARICO.....	21
3.1 Effluenti liquidi.....	21
3.1.1 Effluenti liquidi scaricati.....	21
3.2 Effluenti aeriformi.....	22
3.2.1 Effluenti aeriformi scaricati.....	23
4 RIFIUTI RADIOATTIVI.....	25
5 STIMA DI DOSE ALLA POPOLAZIONE.....	27
6 RETE DI SORVEGLIANZA AMBIENTALE.....	29
6.1 Descrizione della rete.....	29
6.2 Osservazioni generali.....	34
6.3 Strumentazione e Metodi.....	34
7 MATRICE ARIA: PARTICOLATO ATMOSFERICO.....	37
7.1 Modalità di prelievo.....	37
7.2 Modalità di misura.....	38
7.3 Risultati.....	39
8 MISURA DI DOSE.....	47
9 MATRICE ACQUA.....	51
9.1 Modalità di prelievo.....	51
9.2 Modalità di misura.....	52
9.3 Risultati.....	52
10 MATRICE TERRENO E SEDIMENTO.....	57
10.1 Modalità di prelievo.....	57
10.2 Modalità di misura.....	58

10.3	Risultati	58
10.4	Approfondimento	61
11	MATRICE FORAGGIO, ORTAGGI E CEREALI	63
11.1	Modalità di prelievo	63
11.2	Modalità di misura.....	63
11.3	Risultati	64
12	MATRICE LATTE	69
12.1	Modalità di prelievo	69
12.2	Modalità di misura.....	69
12.3	Risultati	70
13	CONCLUSIONI	71
14	BIBLIOGRAFIA	79

PREMESSA

La Sorveglianza Ambientale intorno al Centro Ricerche Casaccia è effettuata dal Laboratorio di Sorveglianza Fisica e Ambientale dell'Istituto di Radioprotezione (IRP-SFA) dell'ENEA, in ottemperanza a quanto previsto dall'art. 54 del D. Lgs. 230/95 e ss.mm.ii.. La rete di monitoraggio ambientale è stata progettata in accordo con l'Ispettorato Nazionale per la Sicurezza Nucleare e la Radioprotezione (ISIN, già ISPRA e APAT), in funzione delle tipologie di impianti presenti nel sito e dei possibili scenari di incidente con rilascio in ambiente esterno di sostanze radioattive.

La Rete di Sorveglianza Ambientale ha come obiettivi principali:

- controllare le concentrazioni di radioelementi nelle matrici ambientali, evidenziando eventuali fenomeni di accumulo;
- fornire le misure necessarie per la valutazione della dose alla popolazione derivante da radionuclidi presenti in matrici ambientali e alimentari;
- costituire la base di dati per una corretta informazione alle istituzioni e alla popolazione.

Inoltre il continuo monitoraggio delle matrici ambientali consente di individuare in modo rapido le contaminazioni a seguito di incidenti nucleari e radiologici coinvolgenti gli impianti di riferimento.

Il monitoraggio radiologico ambientale può essere di due diverse tipologie:

- **Monitoraggio Ordinario:** coincide con la Rete di Sorveglianza Ambientale pianificata sulla base dello studio preliminare del territorio e dell'uso dello stesso, delle modalità e quantità di effluenti radioattivi scaricabili, tenendo conto delle vie critiche di introduzione e dei gruppi di riferimento della popolazione. Il monitoraggio ordinario ha una funzione preventiva con lo scopo di segnalare l'insorgere di situazioni anomale e fenomeni di accumulo.
- **Monitoraggio Straordinario:** comprende tutte le azioni che vengono intraprese in seguito alla identificazione di una situazione anomala in cui si riscontrano valori di contaminazione radioattiva. La campagna di misure si pianifica in funzione dell'accaduto ed ha lo scopo di fornire dati per poter valutare l'origine della contaminazione stessa e le conseguenze sull'ambiente.

DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

- “Rapporto Annuale sulla radioattività ambientale del Centro Ricerche Casaccia – Anno 2017”, ENEA RTI IRP 2018 (3).
- “Rapporto Annuale sulla radioattività ambientale del Centro Ricerche Casaccia – Anno 2016”, ENEA RTI IRP 2017 (5).
- “Rapporto Annuale sulla radioattività ambientale del Centro Ricerche Casaccia – Anno 2015”, ENEA RTI IRP 2016 (5).
- “Rapporto Annuale sulla radioattività ambientale del Centro Ricerche ENEA Casaccia – Anno 2014”, ENEA RTI IRP 2015 (2).
- “Rapporto Annuale sulla radioattività ambientale del Centro Ricerche ENEA Casaccia – Anno 2013”, ENEA RTI IRP 2014 (4).
- “Studio comparativo dei documenti della Rete di Sorveglianza Ambientale del C.R. Casaccia – Anno 2012”, Prot. ENEA/2012/22814/IRP-SFA del 02/05/2012.
- “Valutazioni di Radioprotezione inerenti lo scarico di effluenti liquidi ai sensi di quanto indicato al punto 4 del corpo prescrittivo allegato al nulla osta IMP/37/0 del 15/04/2010”, Prot. N° 0003586 Nucleco del 23/05/2012.
- “Rapporto Annuale sulla radioattività ambientale del Centro Ricerche ENEA Casaccia – Anno 2011”, ENEA RTI IRP 2012 (8).
- “Rapporto Annuale sulla radioattività ambientale del Centro Ricerche ENEA Casaccia – Anno 2010”, Prot. ENEA/2011/39147/IRP del 06/07/2011.
- “Rapporto Annuale sulla radioattività ambientale del Centro Ricerche ENEA Casaccia – Anno 2009”, ENEA RTI IRP 2010 (2).
- “Revisione del Piano di Emergenza esterna del C.R. Casaccia dell’ENEA”, Prot. N. 8902/2001/Gab./P.C. del 18/06/2001.
- “Impianto TRIGA RC-1 - CR Casaccia - Presupposti Tecnici per il Piano di Emergenza Esterna” TLE TRIGA 99/A, marzo 1999.
- “Impianto RSV TAPIRO - CR Casaccia - Presupposti Tecnici per il Piano di Emergenza Esterna” TLE TAPIRO 99/A, marzo 1999.
- “Impianto TRIGA RC-1 - Regolamento di Esercizio” TLE/85/002/E, giugno 1995.
- “Impianto RSV TAPIRO - Regolamento di Esercizio” TLE 94-2/E del 19/05/1995 approvato da ANPA il 29/09/1995.
- P. Spezzano, “Esperienze effettuate presso il C.R. Saluggia dell’ENEA nella determinazione di Plutonio in campioni biologici ed ambientali, RT/AMB(97)22.
- “Rapporto Annuale 1985 sulla radioattività ambientale in Italia” Vol. II – Reti Locali, DISP-ARA/1/89.

- G. Cave-Bondi et al., “La contaminazione del Plutonio nella dieta e nella popolazione italiana”, Rapporto Tecnico RT/PROT (83)9.
- A. Barocas, A. Civica, M. Fantini, E. Soldano, “Determinazione dello Sr-90 in campioni vegetali” CNEN RT/PROT(80)26.
- Delle Site, V. Marchionni, G. Santori, “Un metodo sensibile per la determinazione del Plutonio in campioni ambientali”, CNEN RTI/PROT(79)21.
- G. Bagliano, A. Barocas, “Metodi Radiochimici di determinazione del Cs-137 e dello Sr-90 nei campioni ambientali”, CNEN RT/PROT(77)1.
- G. Branca et al., “Smaltimento dei rifiuti radioattivi e tossici prodotti presso il C.S.N. Casaccia”, Rapporto Tecnico RTI/ISA(68)3, 1968.
- M. D’Aglio, G.P. Giannotti, “Distribution and circulation of Barium, Rubidium, Strontium and Caesium in natural waters around the Casaccia Nuclear Center”, IAEA 1967.
- M.M. Ferraris, “Metodi di separazione chimica per la sorveglianza della radioattività ambientale”, Rapporto Tecnico RT/PROT(66), 12.

1 CARATTERISTICHE DEL SITO

1.1 Generalità

Il Centro Ricerche (C.R.) Casaccia è ubicato nel Comune di Roma, al km 2 della Strada Provinciale Anguillarese (Figura 1); si estende per 65 ettari a SW di questa e per 25 ettari a NE ed è individuato dalle seguenti coordinate geografiche: latitudine 42°02.5' Nord e longitudine 12°18.4' Est da Greenwich.

Il sito è ubicato al di sopra dei depositi vulcanici del Distretto Vulcanico Sabatino, che ha iniziato la sua attività circa 0.6 M.a. Nell'area del C.R., le unità affioranti sono lepiroclastiti di ricaduta provenienti dal centro eruttivo di Sacrofano, che si trovano sovrapposte alle colate laviche fono-tefritiche provenienti da conici di scorie locali. Nel complesso possiedono un'età compresa tra i 0.36-0.43 M.a. [1].

L'idrografia superficiale è costituita principalmente dal fiume Arrone, emissario del lago di Bracciano, che delimita il C.R. ad Est e presenta una portata assai modesta in prossimità del C.R.. Il fiume è alimentato sia dall'infiltrazione che avviene attraverso le vulcaniti e le alluvioni del torrente, sia direttamente dal lago di Bracciano per infiltrazione laterale. Le acque del fiume Arrone sono utilizzate a scopo irriguo soprattutto nel medio e basso corso, dove si incontrano diverse emergenze naturali. Inoltre il C.R. è delimitato ad Ovest da un corso d'acqua chiamato Fossetto della Casaccia, il cui alveo è contenuto nelle lave fono-tefritiche [2].

Il Fossetto della Casaccia è ricettore delle acque bianche del Centro, dello scarico del depuratore ACEA (utilizzato per le utenze del C.R. Casaccia e per l'abitato di Osteria Nuova) e dello scarico di Nucleco; esso confluisce nel fiume Arrone a circa 1 km dall'estremità Sud del Centro.

Presso la confluenza le portate medie sono fortemente variabili in funzione della piovosità annuale; dalle ultime misure eseguite dal Laboratorio IRP-SFA si hanno i seguenti dati medi annuali di portata: circa 100 l/s per l'Arrone e circa 20 l/s per il Fossetto della Casaccia.

I terreni intorno al Centro sono utilizzati per colture agricole e pascolo; una piccola porzione è costituita anche da bosco. Le principali colture sono significativamente rappresentate da produzione di foraggio, frumento e cereali mentre le colture permanenti sono rappresentate per la maggior parte da vecchi impianti di oliveti e vigneti; la presenza di frutteti è minima. In Tabella 1, Tabella 2 e Tabella 3 sono riportati i dettagli relativi all'utilizzazione dei terreni, alle principali coltivazioni praticate e agli allevamenti di bestiame per i Comuni limitrofi al C.R. Casaccia. Le tre Tabelle citate sono state estrapolate fedelmente dal sito ISTAT [3].

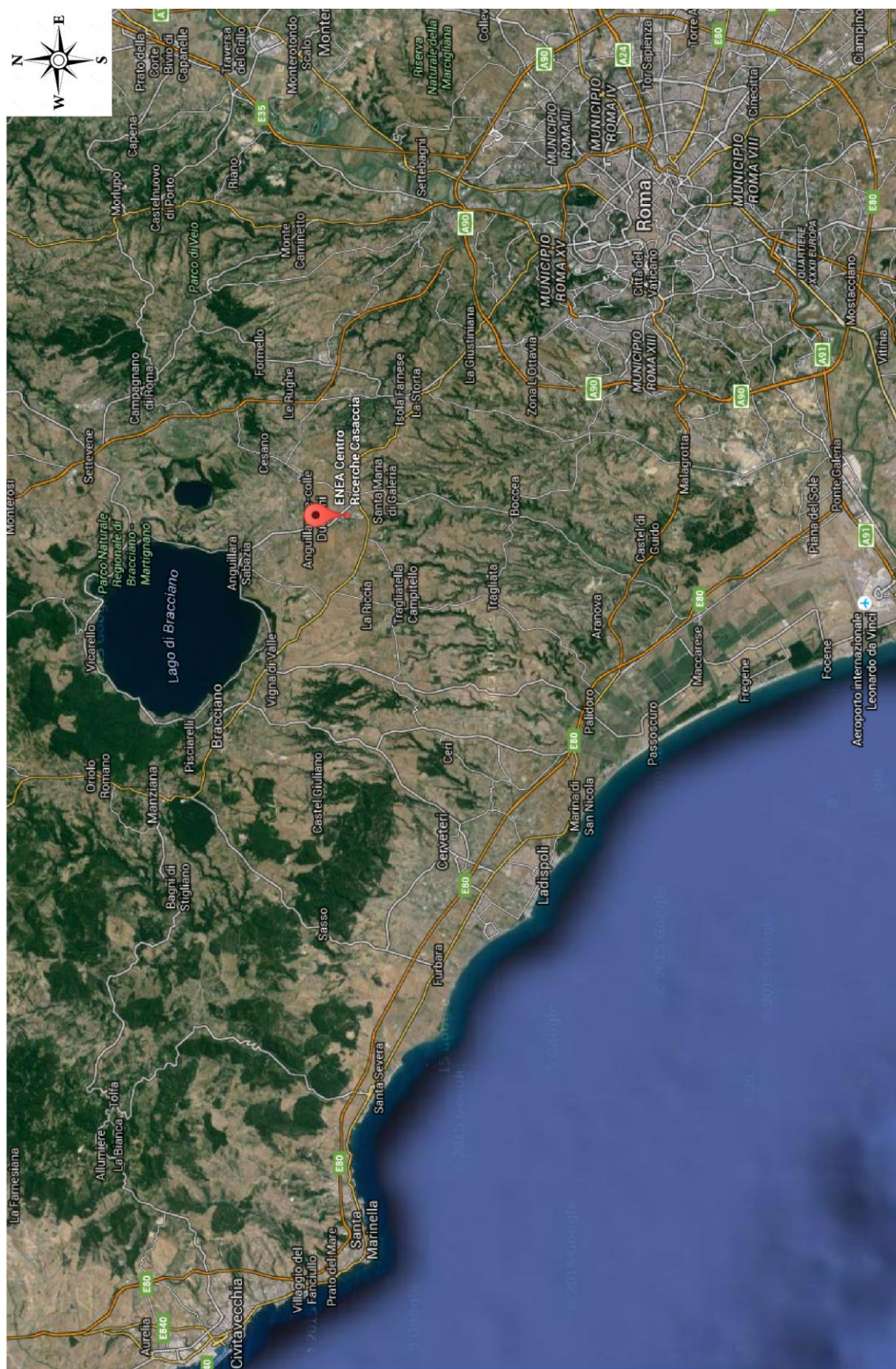


Figura 1 - Ubicazione del C.R. Casaccia nel territorio laziale. Nell'immagine satellitare sono ben identificati i centri abitati prossimi al sito Casaccia, le principali arterie di comunicazione, il lago di Bracciano, il mar Tirreno e il Raccordo Anulare della città di Roma.

Tabella 1 - Superficie dell'unità agricola per caratteristica dell'azienda, centro aziendale e utilizzazione dei terreni dell'unità agricola (superficie in ettari) [3].

Comuni	SUPERFICIE AGRICOLA UTILIZZATA				Arboricoltura da legno annessa ad aziende agricole	Boschi annessi ad aziende agricole	SUPERFICIE AGRARIA NON UTILIZZATA E ALTRA SUPERFICIE
	Seminativi	Coltivazioni legnose agrarie	Orti familiari	Prati permanenti e pascoli			
Anguillara Sabazia	2066	16	2	370	1	40	166
Bracciano	2966	295	8	2442	458	1957	159
Fiumicino	9346	133	5	918	11	1124	970
Roma	33905	3256	54	5745	157	9078	4307
TOTALE	48283	3700	69	9475	627	12199	5602

Tabella 2 - Superficie dell'unità agricola per caratteristica dell'azienda unilocalizzata, presenza centro aziendale e utilizzazione dei terreni dell'unità agricola (superficie in ettari) [3].

Comuni	Cereali per la produzione di granella	Piante sarchiate da foraggio	Ortive	Foraggiere avvicendate	Vite	Olivo	Fruttiferi
Anguillara Sabazia	351.0	17.0	162.6	637.5	1.5	6.3	0.2
Bracciano	992.3	52.8	17.6	1294.4	14.1	179.6	91.2
Fiumicino	1926.7	-	1404.5	4867.1	58.4	69.2	1.2
Roma	10333.1	19.0	589.5	13564.1	644.1	1611.7	315.7
TOTALE	13603.1	88.8	2174.2	20363.1	718.1	1866.8	408.3

Tabella 3 - Numero di unità agricole e di capi totali per caratteristica dell'azienda, classe di superficie agricola utilizzata dell'unità agricola e tipo allevamento [3].

Comuni	Totale aziende	BOVINI + BUFALINI		SUINI		OVINI + CAPRINI		AVICOLI	
		Aziende	CAPI	Aziende	CAPI	Aziende	CAPI	Aziende	CAPI
Anguillara Sabazia	47	28	1121	6	13662	10	5662	3	111
Bracciano	45	31	1737	2	9	11	3170	1	100
Fiumicino	129	83	14813	7	132	23	5737	16	531
Roma	413	169	15627	33	2617	156	54276	55	128785
TOTALE	634	311	33298	48	16420	200	68845	75	129527

Gli alimenti consumati dalla popolazione della zona provengono prevalentemente dai mercati generali di Roma Capitale con l'eccezione della popolazione locale che beneficia di una produzione di ortaggi freschi provenienti da orti casalinghi.

La Sorveglianza Ambientale è effettuata intorno al C.R. Casaccia in un'area circolare con centro il C.R. stesso (in particolare l'area è centrata nel camino di espulsione dell'impianto TRIGA RC-1 presente nel C.R.) e raggio 5 km; l'intero territorio è suddiviso in 8 settori da 45° come illustrato in Figura 2.

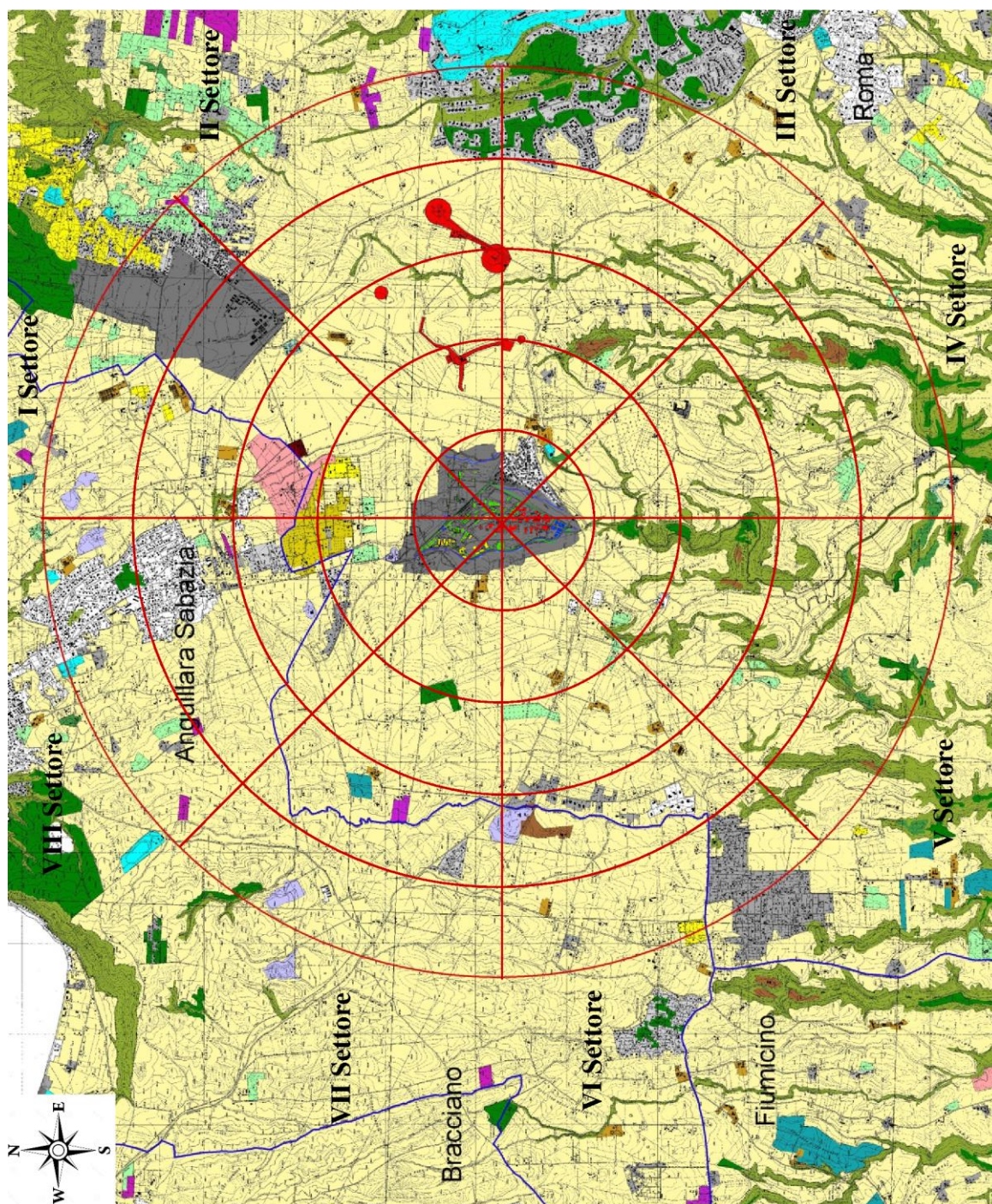


Figura 2 - Area circolare centrata nel camino di espulsione dell'impianto TRIGA RC-1 di raggio 5 km intorno al sito C.R. Casaccia monitorata dalla Rete di Sorveglianza Ambientale. Sono tracciati i confini comunali nell'area del sito e si può osservare che i Comuni che ricadono nei 5 km risultano Anguillara Sabazia e Roma.

1.2 Meteorologia del sito

Le caratteristiche climatiche della zona ove è ubicato il C.R. Casaccia sono in gran parte dipendenti dalla sua posizione geografica e rispecchiano le condizioni climatiche dei territori del medio Tirreno, con estati non eccezionalmente calde ed inverni miti e solo raramente rigidi.

La meteorologia del sito è eseguita dal Servizio ISER-CAS del C.R. Casaccia che cura la manutenzione, l'acquisizione e la gestione dei dati provenienti dalla strumentazione installata sulla torre meteorologica presente nel C.R. Casaccia. I dati, registrati e archiviati con cadenza pari a circa tre secondi per un numero di record giornalieri pari a circa 34000, sono rilevati sia alla quota di 10 metri sia alla quota di 40 metri dal suolo [4]. In Figura 3 è mostrata l'interfaccia grafica del software di gestione dei dati meteo su cui è possibile visualizzare le grandezze monitorate. Ogni record è composto da 56 campi. Per un'avaria del sistema non sono stati acquisiti i dati relativi al periodo dal 22 agosto al 9 ottobre 2018. L'elaborazione dei dati meteo è stata effettuata sia dal Servizio ISER-CAS sia dal Laboratorio IRP-SFA.

Le temperature nell'anno 2018, rilevate ad una quota pari a 2 m dal suolo, si sono mantenute tra i -6.2°C e 37.5 °C, con una media annuale risultata pari a 15.1 °C.

L'escursione termica media annua, ottenuta dalla differenza tra la temperatura media del mese più caldo (agosto 26.0 °C) e quella del mese più freddo (febbraio 6.1 °C), è risultata pari a 19.8°C, mentre il valore medio di umidità annuo è stato pari a 74.1%.

In Tabella 4 sono riassunti i dati meteorologici che hanno caratterizzato l'anno 2018 (la precipitazione totale annua è stata di 638.8 mm di pioggia), mentre le precipitazioni mensili registrate nel corso dell'anno sono indicate in Tabella 5 e rappresentate nel grafico del regime pluviometrico in Figura 4.

Tabella 4 - Riassunto dei dati meteo registrati dalla stazione di controllo installata sulla torre meteorologica del C.R. Casaccia (ISER-CAS) nel corso dell'anno 2018 [4].

Periodo	Temperatura		Umidità	Precipitazioni
	Media	Escursione termica	Media	Totale
Anno 2018	15.1 °C	19.8 °C	74.1 %	638.8 mm

Tabella 5 - Precipitazioni mensili (mm di pioggia) registrate dalla stazione di controllo installata sulla torre meteorologica del C.R. Casaccia (ISER-CAS) nel corso dell'anno 2018 [4].

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
23.6	71.8	127.6	44.4	81.0	12.6	12.0	29.6	-	37.8	154.8	43.6

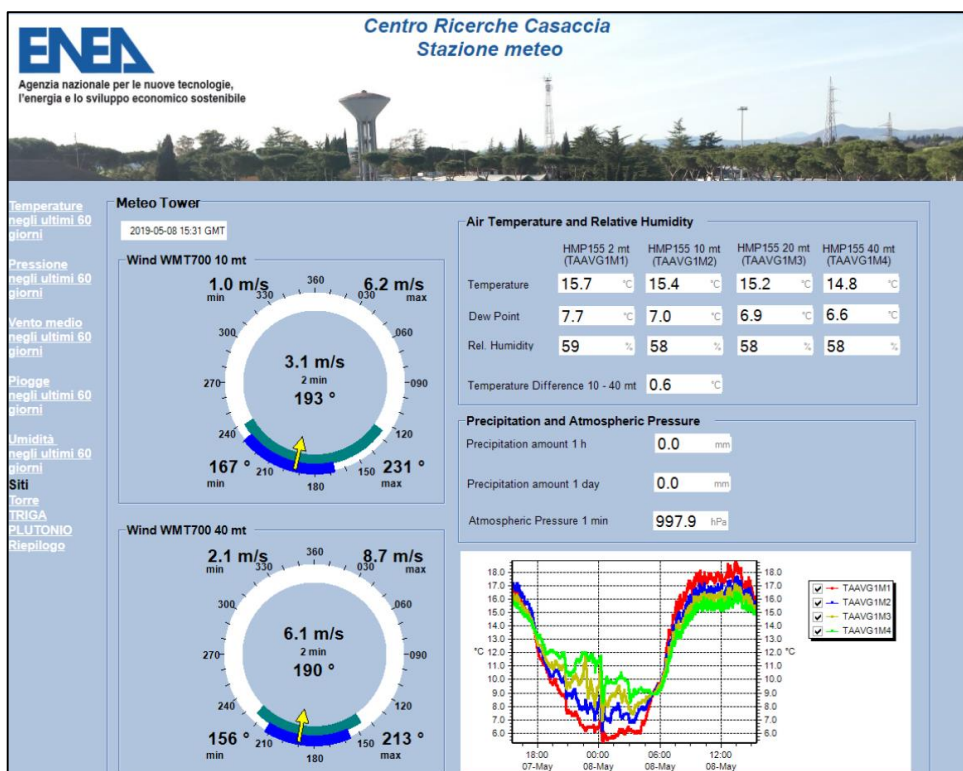


Figura 3 - Interfaccia grafica del software di gestione dei dati meteo del C.R. Casaccia.

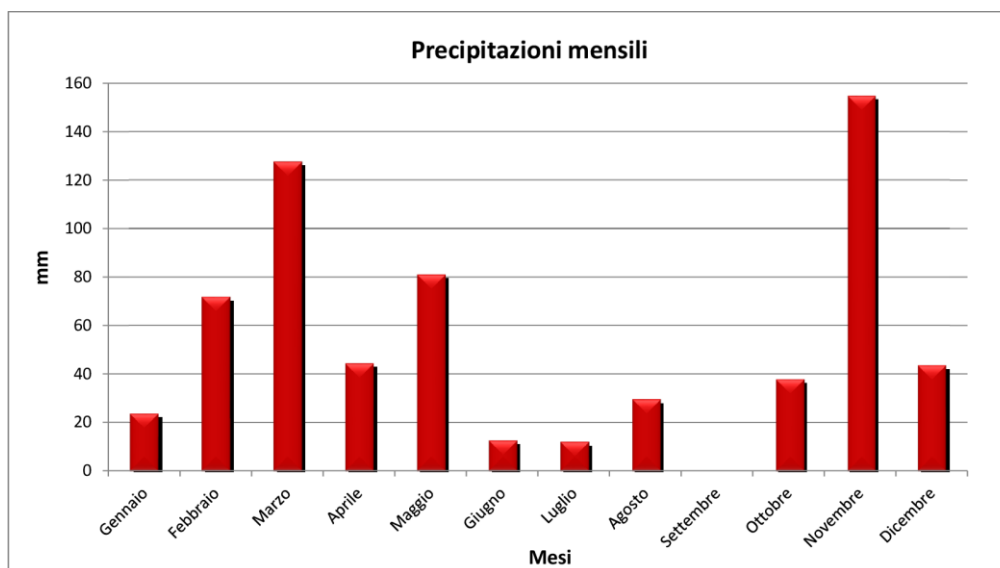


Figura 4 - Regime pluviometrico nel corso dell'anno 2018 nel C.R. Casaccia.

In Tabella 6 e Tabella 7 sono riportate le frequenze di direzione (ossia di provenienza) del vento espresse in percentuale nelle relative classi d'intensità (scala Beaufort) misurate dai sensori a 10 m e 40 m dal suolo rispettivamente. I valori medi annuali della velocità del vento sono risultati pari a 1.62 m/s e a 4.02 m/s rispettivamente alla quota di 10 m e di 40 m.

Tabella 6 - Frequenze (%) di direzione del vento nelle relative classi d'intensità rilevate a 10 m (anno 2018) [4].

Direzione	Velocità del vento (m/s)							Totale
	< 0.3	0.3 – 1.6	1.6 – 3.4	3.4 – 5.5	5.5 – 8.0	8.0 – 10.8	> 10.8	
N	0.3	9.1	7.8	3.8	1.6	0.4	0.1	23.1
NNE	0.3	6.2	4.3	2.1	0.9	0.2	-	14.1
NE	0.3	5.5	1.0	0.1	-	-	-	7.0
ENE	0.4	4.1	0.3	-	-	-	-	4.7
E	0.3	2.6	0.2	-	-	-	-	3.1
ESE	0.3	2.5	0.4	0.1	-	-	-	3.3
SE	0.2	2.2	1.2	0.4	0.1	-	-	4.2
SSE	0.2	2.0	1.7	0.6	0.2	-	-	4.6
S	0.2	2.5	1.6	0.4	0.1	-	-	4.7
SSW	0.2	2.6	1.1	0.2	-	-	-	4.1
SW	0.2	2.9	1.2	0.2	-	-	-	4.5
WSW	0.4	2.7	0.7	0.1	-	-	-	3.8
W	0.4	2.3	0.3	-	-	-	-	3.1
WNW	0.4	2.4	0.2	-	-	-	-	3.0
NW	0.4	4.0	0.5	-	-	-	-	5.0
NNW	0.3	5.7	1.3	0.2	-	-	-	7.3
Totale	4.7	59.2	23.9	8.4	2.9	0.7	0.1	-

Tabella 7 - Frequenze (%) di direzione del vento nelle relative classi d'intensità rilevate a 40 m (anno 2018) [4].

Direzione	Velocità del vento (m/s)							Totale
	< 0.3	0.3 – 1.6	1.6 – 3.4	3.4 – 5.5	5.5 – 8.0	8.0 – 10.8	> 10.8	
N	-	0.9	5.2	8.1	5.1	2.3	0.9	22.6
NNE	-	1.1	3.2	2.1	1.2	0.5	0.2	8.2
NE	-	1.0	2.5	0.6	0.2	-	-	4.3
ENE	-	0.9	3.1	1.7	0.2	-	-	5.9
E	-	0.9	3.5	2.6	0.6	0.1	-	7.7
1.6	-	0.8	1.9	1.0	0.3	0.1	-	4.1
SE	-	0.7	1.6	1.0	0.5	0.2	0.1	4.1
SSE	-	0.8	1.6	0.9	0.5	0.2	-	4.0
S	-	0.7	1.6	1.1	0.6	0.2	0.1	4.2
SSW	-	0.6	1.6	1.6	1.0	0.3	0.1	5.2
SW	-	0.5	1.7	2.5	1.8	0.4	0.1	7.1
WSW	-	0.5	1.3	1.5	0.8	0.2	0.1	4.4
W	-	0.5	0.8	0.5	0.2	0.1	-	2.1
WNW	-	0.4	0.6	0.5	0.3	0.1	-	2.0
NW	-	0.5	1.2	1.1	0.6	0.1	-	3.4
NNW	-	0.7	2.7	4.8	1.8	0.4	0.1	10.5
Totale	0.3	11.5	34.1	31.7	15.6	5.1	1.7	-

La rappresentazione grafica dei valori di Tabella 6 e Tabella 7, divisa per 16 settori di direzione del vento e per 7 classi di velocità, è riportata in Figura 5 e Figura 6 per i dati rilevati alla quota di 10 m e in Figura 7 e Figura 8 per i dati rilevati alla quota di 40 m.

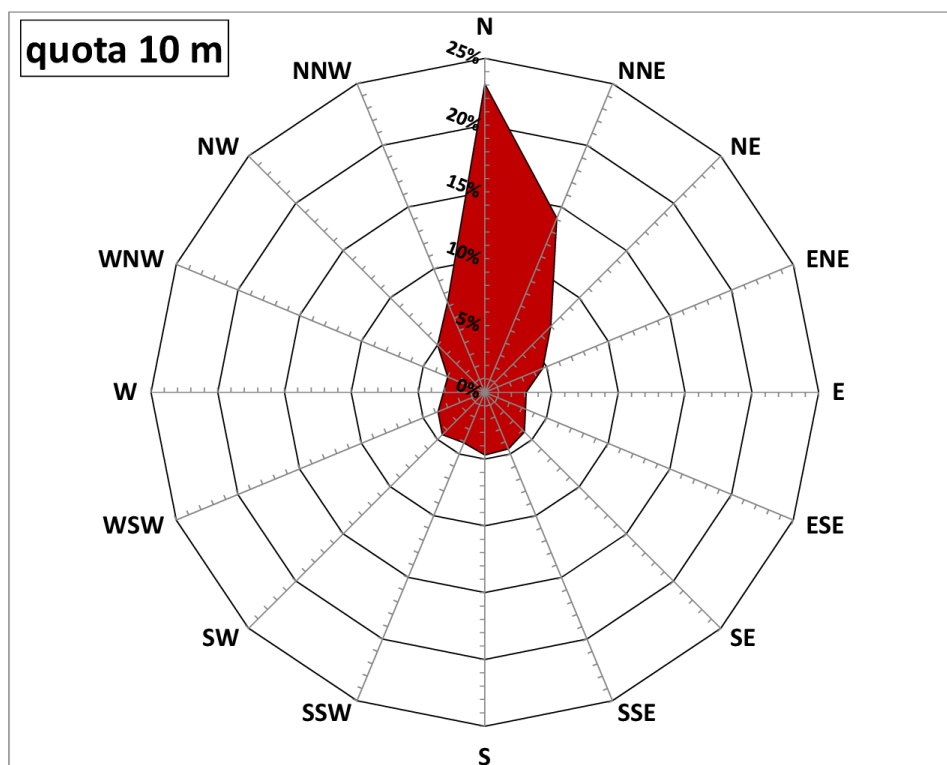


Figura 5 - Frequenze (%) di direzione del vento (anno 2018) rilevate alla quota di 10 m - C.R. Casaccia.

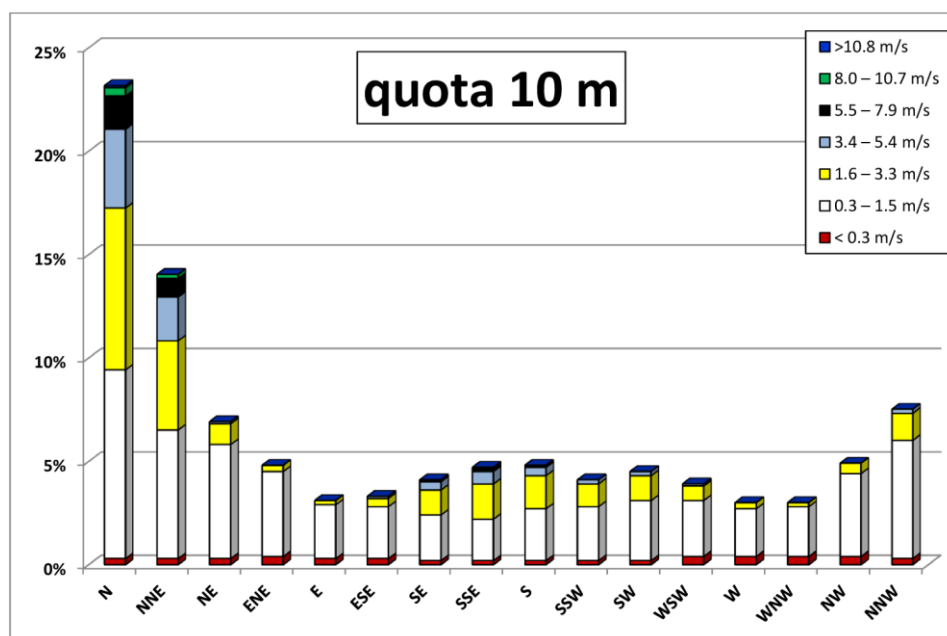


Figura 6 - Frequenze (%) di direzione del vento nelle relative classi di intensità (anno 2018) rilevate alla quota di 10 m - C.R. Casaccia.

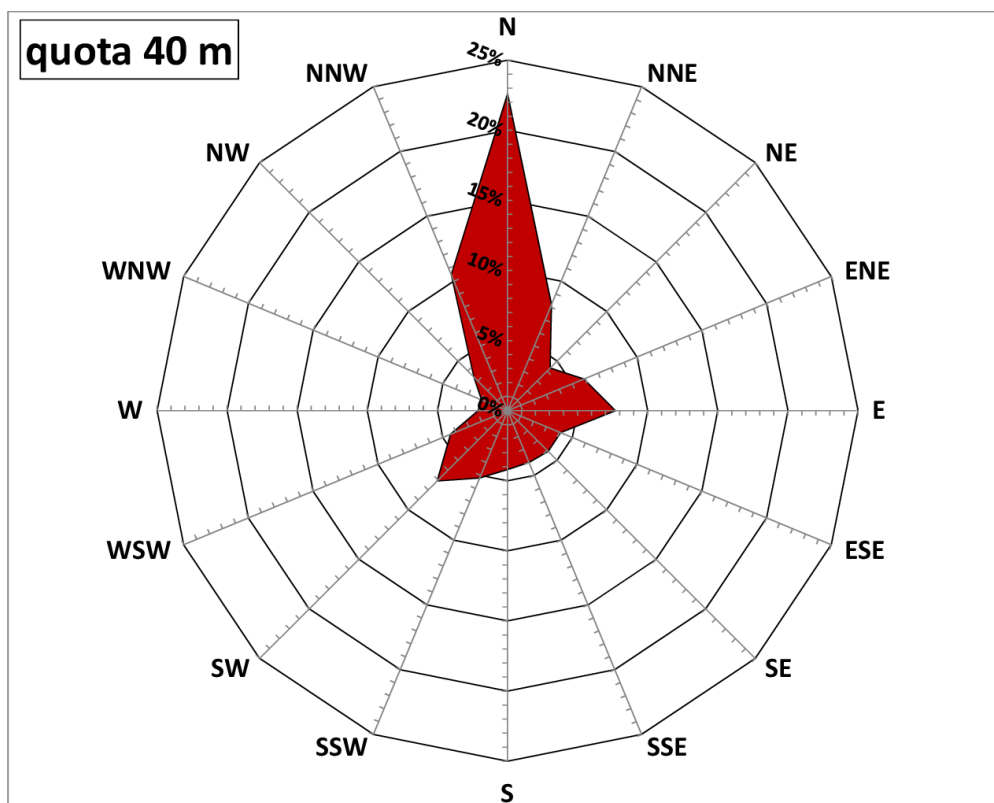


Figura 7 - Frequenze (%) di direzione del vento (anno 2018) rilevate alla quota di 40 m - C.R. Casaccia.

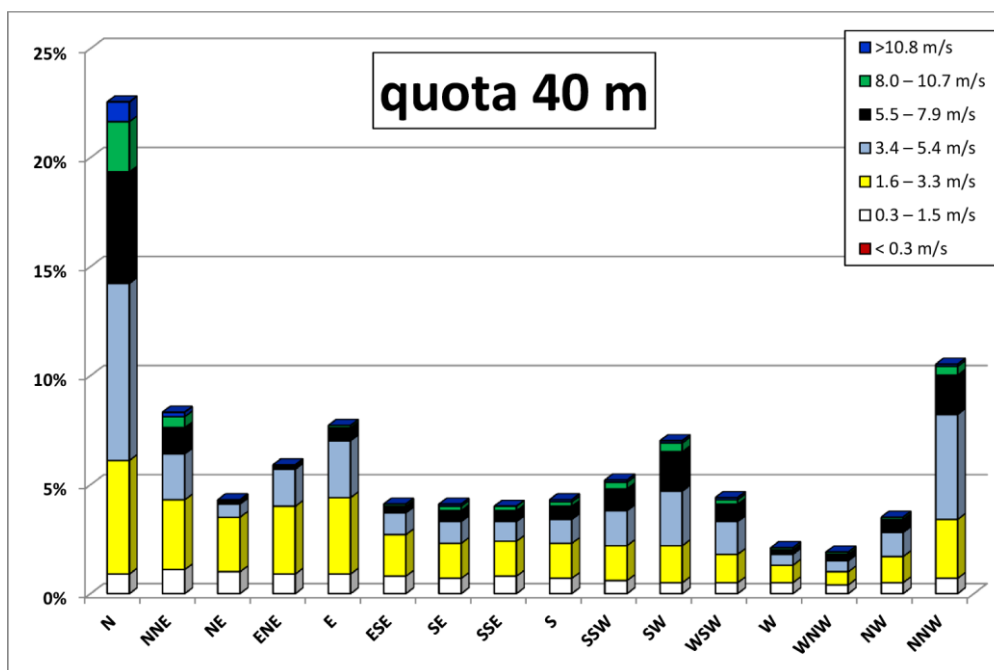


Figura 8 - Frequenze (%) di direzione del vento nelle relative classi di intensità (anno 2018) rilevate alla quota di 40 m - C.R. Casaccia.

1.3 Demografia

Il territorio nella regione circolare di raggio 5 km e centro il camino di espulsione degli effluenti aeriformi dell'impianto TRIGA RC-1 (si veda la già citata Figura 2) interessa i comuni di Roma e Anguillara Sabazia, rispettivamente per il 75% e 25% circa della superficie totale (78.5 km²). Nello specifico il comune di Roma è rappresentato dalle zone di Roma (nell'Agro Romano) di:

- Cesano (identificata con zona Z. LII);
- La Storta (identificata con zona Z. LI);
- Santa Maria di Galeria (identificata con zona Z. XLIX).

In Tabella 8 è riportata la ripartizione demografica attorno al sito del C.R. Casaccia. I dati, estrapolati dal portale ISTAT [5] e dal portale del Comune di Roma [6], sono riferiti al 15° censimento generale della popolazione e delle abitazioni dell'anno 2011.

Per desumere la distribuzione della popolazione all'interno della regione circolare di raggio 5 km laddove non è presente il dato puntuale, è stato ipotizzato che:

- per il territorio di Anguillara Sabazia le case sparse* siano uniformemente distribuite su tutta la superficie;
- per le Zone di Roma quali Cesano e Santa Maria di Galeria gli abitanti non residenti nelle località indicate in Tabella 8 siano uniformemente distribuiti su tutte le rispettive superfici;
- per la Zona di Roma La Storta, non essendo presenti i dati puntuali degli abitanti nei due relativi centri abitati, è stato ipotizzato che il 40% della popolazione sia concentrato nel centro abitato Olgiata, il 40% sia concentrato nel centro abitato La Storta mentre il restante 20% sia uniformemente distribuito su tutta la superficie.

In Tabella 9 è riportata la distribuzione della popolazione distinta per gli otto settori di ampiezza di 45° per corone circolari crescenti a passo di 1 km (si veda la già citata Figura 2), ottenuta sulla base delle argomentazioni precedenti. Il personale presente nel Centro che mediamente consta di 1200 unità non è stato conteggiato in Tabella.

La popolazione rappresentata dai turisti presenti nell'area del lago di Bracciano (VIII° settore) e dai militari della Scuola di Fanteria di Cesano di Roma (Zona di Cesano, I° settore) non è conteggiata nella relativa Tabella.

* La dicitura estesa utilizzata nel portale ISTAT [5] è: Centri e nuclei abitati con numero di abitanti minore di 200, località produttive e case sparse in corso di validazione.

Tabella 8 - Ripartizione demografica attorno al sito del C.R. Casaccia (15° censimento generale della popolazione e delle abitazioni dell'anno 2011).

Territorio e/o Zona di Roma	Località	Abitanti	Distanza (km) Settore	Abitanti totali	Superficie (km ²)	Settori interessati
Anguillara Sabazia	Anguillara Sabazia	14121	3 ÷ 7 VIII	18575	75.24	I – VI – VII – VIII
	Fosso Pietroso	322	4 VII			
	Ponton dell'Elce	1736	6 VI			
	Case sparse*	2396	-			
Cesano (RM)	Cesano di Roma	6549	5 ÷ 7 I – II	10497	38.00	I ÷ VIII
	Osteria Nuova	1210	1 III – IV			
	Anguillarese Colle due Pini	445	2 – 3 I – VIII			
La Storta (RM)	Olgiate	-	5 ÷ 7 II – III	20613	46.67	II – III – IV
	La Storta	-	8 III			
S.M. di Galeria (RM)	Fosso Pietroso	381	4 VI	3659	47.29	III – IV – V – VI
	Tragliatella Campitello	1608	5 – 6 VI			

Tabella 9 - Distribuzione della popolazione per settori e corone circolari.

Distanza (km)	Settori								
	Superficie (km ²)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	0.39	24	24	931	327	24	24	24	24
2	1.18	182	71	42	42	42	71	71	182
3	1.96	201	118	69	69	69	69	118	201
4	2.75	127	204	243	97	97	474	449	4795
5	3.53	2619	4796	2373	187	125	921	112	4819

2 CARATTERISTICHE GENERALI DEGLI IMPIANTI

Sono riassunte di seguito le principali caratteristiche degli impianti nucleari, dei depositi e più in generale delle principali attività con rischio radiologico svolte nel Centro di Ricerca. In Figura 9 sono indicate le localizzazioni degli impianti ENEA, SOGIN e NUCLECO, e del Laboratorio IRP-SFA.

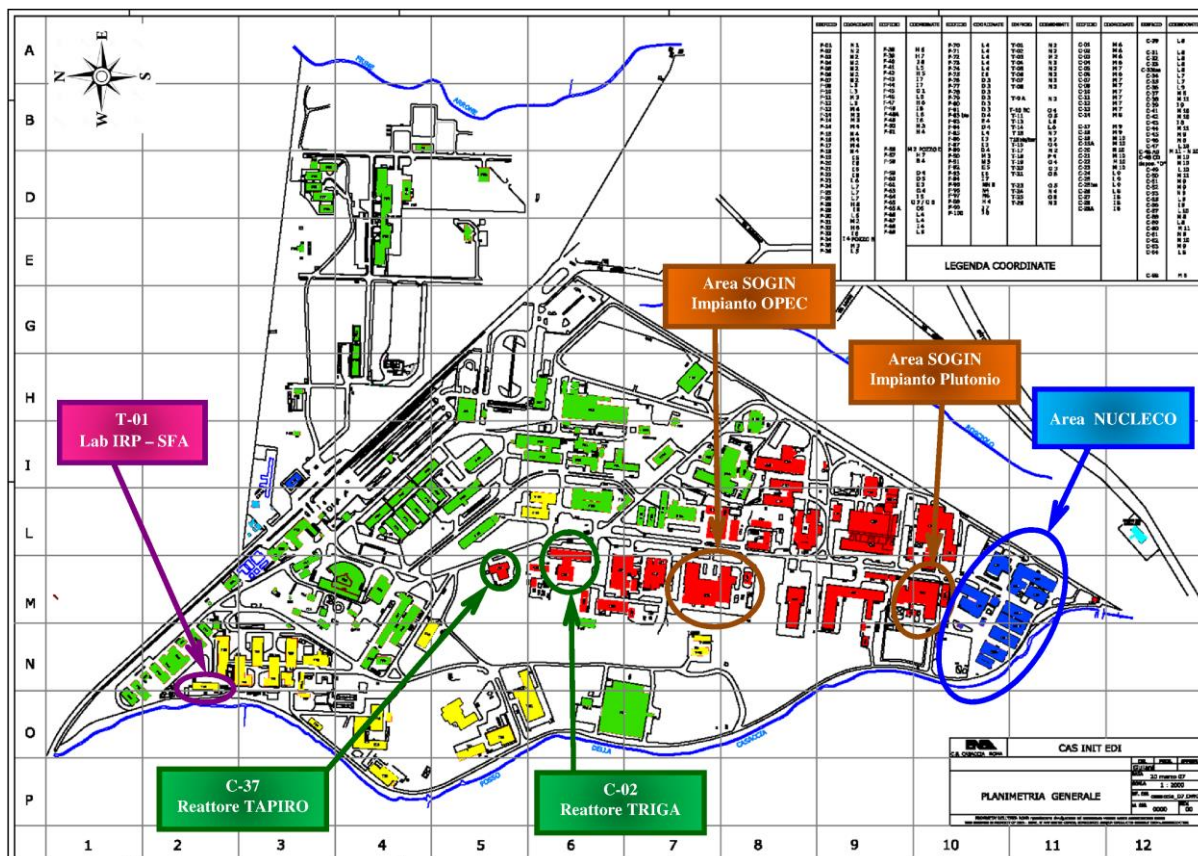


Figura 9 - Mappa del C.R. Casaccia con indicazione della localizzazione degli impianti nucleari, dell'area NUCLECO e del Laboratorio IRP-SFA presenti nel Sito.

2.1 Reattore TRIGA RC-1

L'impianto TRIGA RC-1 (Training Research Isotopes General Atomics, Reattore Casaccia 1), di progettazione americana, è un reattore nucleare di ricerca nel campo della fisica dei solidi e della fisica nucleare, nonché per la preparazione di radioisotopi per esperienze di biologia e chimica nei laboratori del C.R. Casaccia.

Principali caratteristiche dell'impianto TRIGA RC-1

Potenza Massima di esercizio:	1 MW
Tipo di reattore:	Reattore a piscina
Combustibile:	Lega U-ZrH con arricchimento al 20% in ^{235}U
Refrigerante:	Acqua demineralizzata della piscina

Il reattore è dotato in particolare di cinque canali orizzontali ed uno verticale centrale, un porta-campioni per 40 unità ed un sistema a comando pneumatico per l'irraggiamento dei provini.

Nell'impianto sono presenti "Depositi per il combustibile irraggiato", un "Deposito per elementi di combustibile fresco" e un "Serbatoio per la raccolta dei liquidi attivi" della capacità di 2 m³ per la raccolta dei liquidi attivi provenienti dall'area di decontaminazione del personale.

2.2 Reattore TAPIRO

L'impianto RSV TAPIRO (Reattore Sorgente Veloce Taratura Pila Rapida a potenza 0) è un reattore nucleare di ricerca per irraggiamenti e ricerche in campo medico-biologico e per prove di danneggiamento su materiali e componenti.

Principali caratteristiche dell'impianto TAPIRO

Potenza Massima di esercizio:	5 kW
Tipo di reattore:	Veloce, con combustibile compatto
Combustibile:	Lega U-Mo con arricchimento al 93.5% in ^{235}U
Refrigerante:	Elio in circuito chiuso

All'interno dell'impianto è presente un "Serbatoio per la raccolta dei liquidi attivi" della capacità di 2 m³ per la raccolta dei liquidi attivi provenienti dall'area di decontaminazione del personale.

2.3 Impianto Plutonio – Soc. Sogin S.p.A.

L'impianto Plutonio utilizzato per ricerche tecnologiche di fabbricazione di elementi di combustibile ceramici plutoniferi è fornito, in particolare, di cinque "Laboratori Alfa" dotati di 15 scatole a guanti per la manipolazione del plutonio, di due laboratori ed un apposito locale per controlli non distruttivi, di un deposito temporaneo per colli in attesa di caratterizzazione e di un deposito per materiale plutonifero.

Sono in essere attività ed esperienze inerenti la caratterizzazione, il trattamento dei rifiuti contaminati ed attività propedeutiche alla disattivazione dell'impianto stesso. Nel corso dell'anno 2018 nell'impianto sono state svolte attività di manutenzione e di conservazione in sicurezza nonché attività propedeutiche e di smantellamento delle scatole a guanti obsolete.

2.4 Deposito OPEC-1 – Soc. Sogin S.p.A.

L'impianto è costituito da tre celle calde in cemento baritico per attività fino a 74 TBq e tre celle in piombo da 10 cm per attività fino a 1.11 TBq. Il combustibile presente nell'impianto è stato condizionato in contenitori di stoccaggio ed immagazzinato presso il deposito dell'impianto stesso. Le celle sono state decontaminate. Nel corso dell'anno 2018 sono state eseguite attività di manutenzione e di conservazione in sicurezza.

2.5 Impianto rifiuti radioattivi - Soc. NUCLECO S.p.A.

Nucleco è l'operatore nazionale designato nell'ambito della Convenzione sottoscritta con ENEA nel giugno 1989 e rinnovata nell'agosto 2011 per la realizzazione di un "Servizio Integrato di Gestione dei Rifiuti Radioattivi a media/bassa attività provenienti da attività medico-sanitarie, di ricerca scientifica e tecnologica e da altre attività non elettriche" [7]. È presente all'interno del C.R. Casaccia un complesso di installazioni per il trattamento, condizionamento, deposito e smaltimento di rifiuti radioattivi raccolti presso i detentori/produttori. Il complesso di impianti comprende: alcune vasche di stoccaggio con capacità complessiva di circa 280 m³ per i rifiuti liquidi, un impianto di trattamento e condizionamento per i rifiuti solidi e alcuni "Depositi controllati" per lo stoccaggio.

2.6 Laboratori e impianti del C.R. Casaccia

Presso il C.R. Casaccia sono inoltre presenti un'unità di irraggiamento (impianto Calliope) (Edificio T-II-16), un impianto di Caratterizzazione di materiali radioattivi (Edificio C-III-43), i laboratori dell'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI), i laboratori di radiotossicologia e radiometria dell'Istituto di Radioprotezione (IRP) e diversi laboratori per ricerche in radiobiologia e studio dei materiali.

L'unità di irraggiamento Calliope consiste in un impianto a piscina progettato per operare con sorgenti di ⁶⁰Co per un'attività massima di 3.7·10¹⁵ Bq. Le sorgenti in uso sono caratterizzate da una attività totale pari a 2.61·10¹⁵ Bq (aggiornamento al 31/12/2018 [8]).

L'impianto di caratterizzazione di materiali radioattivi è adibito ad attività di caratterizzazione radiologica di rifiuti radioattivi; in esso sono detenute e impiegate sorgenti sigillate per la taratura e per le attività di ricerca in spettrometria γ e sono presenti materiali soggetti ad inventario e transuranici. I limiti di detenzione e impiego di sorgenti di radiazioni per tali attività sono riassunti nel documento [9].

L'Istituto INMRI svolge attività di ricerca sui metodi di base e sui mezzi di misura delle radiazioni ionizzanti con particolare riferimento alle necessità della radioterapia, della radiodiagnostica, della medicina nucleare e della radioprotezione. A tale riguardo l'Istituto svolge il ruolo assegnato all'ENEA dalla Legge 11 agosto 1991 n. 273 sul sistema metrologico nazionale. In relazione a questo ruolo, l'Istituto deve assicurare a livello nazionale la funzione di Istituto Metrologico Primario tramite la realizzazione dei campioni nazionali e la disseminazione, mediante tarature, delle unità di misura nel settore delle radiazioni ionizzanti. L'Istituto svolge inoltre le funzioni previste dal D. Lgs. 230/95 e ss.mm.ii. in relazione all'obbligo di taratura e ai criteri di approvazione degli strumenti di misura delle radiazioni ionizzanti per l'esercizio della radioprotezione. I limiti di detenzione e impiego di sorgenti di radiazioni per tali attività sono riassunti nei documenti [10] [11] [12].

I Laboratori di radiotossicologia e radiometria di IRP forniscono servizi tecnici di misura per monitoraggio per contaminazione interna (misure *in vivo* e misure di radiotossicologia su campioni biologici) e misure radiometriche su campioni ambientali e/o alimentari, nonché in campioni di matrici di varia origine, anche per utenti esterni. I limiti di detenzione e impiego di sorgenti di radiazioni per tali attività sono riassunti nel documento [12].

2.7 Materie fissili speciali e prime fonti

In ottemperanza a quanto previsto dagli artt. 22 e 23 del D. Lgs. 230/95 e ss.mm.ii., è annualmente aggiornato l'elenco delle materie fissili speciali e prime fonti con una comunicazione inviata al Ministero per lo Sviluppo Economico ed all'Ispettorato Nazionale per la Sicurezza Nucleare e la Radioprotezione (ISIN) [13].

3 LIMITI DI SCARICO

3.1 Effluenti liquidi

Lo scarico nell'ambiente esterno dei rifiuti radioattivi liquidi può avvenire solo dal complesso delle installazioni del Centro Nucleco del C.R. Casaccia nel rispetto di specifici limiti stabiliti per ogni radionuclide di interesse la cui lista è riportata in un'apposita tabella allegata al Nulla Osta autorizzativo [14].

L'autorizzazione allo scarico è fornita dal Rappresentante sul sito del Titolare del Nulla Osta, sulla base delle valutazioni di radioprotezione eseguite dall'Esperto Qualificato della Nucleco S.p.A..

3.1.1 Effluenti liquidi scaricati

Nel corso dell'anno 2018 la società Nucleco ha effettuato, nel periodo 19-21 dicembre, un solo scarico di effluenti liquidi radioattivi [15] per un totale di 24 m³ riportato in Tabella 10, per una frazione pari al 2.8% dell'attività limite scaricabile, in forma liquida ed in un anno solare, nel Fossetto della Casaccia Sud.

Tabella 10 - Effluenti liquidi scaricati nel periodo 19-21 dicembre (anno 2018) [15].

Radionuclide	Attività Scaricata (Bq)
^3H	1.40E+08
^{14}C	2.21E+05
^{60}Co	< 6.34E+02 [†]
^{89}Sr	< 6.82E+06 [†]
^{90}Sr	2.98E+04
^{106}Ru	< 5.28E+03 [†]
^{125}I	< 4.46E+02 [†]
^{131}I	< 5.26E+02 [†]
^{134}Cs	< 5.38E+02 [†]
^{137}Cs	7.10E+04
^{152}Eu	< 1.48E+03 [†]
^{226}Ra	< 1.49E+04
^{232}Th	< 2.81E+03 [†]
^{235}U	1.01E+02
^{238}U	2.09E+03
^{238}Pu	< 1.94E+01 [†]
^{239}Pu	< 1.94E+01 [†]
^{240}Pu	< 1.94E+01 [†]
^{241}Pu	< 6.00E+03 [†]
^{241}Am	< 2.64E+01 [†]
^{242}Pu	< 1.94E+01 [†]

3.2 Effluenti aeriformi

In relazione alla entità degli effluenti aeriformi del C.R. Casaccia non è stata definita una formula di scarico per gli impianti presenti, ad esclusione dell'impianto Plutonio, la cui formula di scarico è definita nelle Prescrizioni Tecniche [16] [17].

Tutti gli impianti del Centro sono dotati di camino di espulsione con filtri assoluti e strumentazione di monitoraggio con livello di allarme e registrazione continua delle attività scaricate.

[†] Attività stimata per valori misurati inferiori alla Minima Attività Rivelabile.

Di seguito in Tabella 11 e Tabella 12 sono riportate le altezze e le relative portate per ciascuno degli impianti in prescrizione del Sito Casaccia (il dato di portata relativo a OPEC-1 include il contributo del sistema di ventilazione del cantiere Waste A&B).

Tabella 11 - Caratteristiche tecniche dei sistemi di espulsione degli impianti ENEA [18] [19].

Impianto	Altezza camino (m)	Portata (m ³ /h)
TRIGA RC-1	17	~25000
TAPIRO	15	~4500

Tabella 12 - Caratteristiche tecniche dei sistemi di espulsione degli impianti Sogin [20].

Impianto	Altezza camino (m)	Portata (m ³ /h)
Plutonio	15	~50000
OPEC-1	20	~31000

3.2.1 Effluenti aeriformi scaricati

Le attività scaricate sono valutate per mezzo di rivelatori con lettura in modalità continua installati nelle condotte dei camini di espulsione. In Tabella 13 sono riportate le attività scaricate, come fornite dai Direttori di Impianto, per l'insieme degli impianti del Sito Casaccia.

L'impianto TRIGA RC-1 nel corso dell'anno 2018 è stato operativo per un totale di 46h 25'. Il rilascio di ⁴¹Ar per il periodo considerato è riportato in Tabella 13. Per ¹³¹I, ⁸⁸Kr e per il particolato atmosferico non sono stati rilevati rilasci valutabili [18].

L'impianto TAPIRO nel corso dell'anno 2018 non ha riscontrato emissioni significative di alcun radionuclide gassoso o particolato atmosferico (il valore di ¹³¹I riportato in Tabella 13 si riferisce alla sensibilità dell'apparato di misura) [19].

Per l'impianto Plutonio e il deposito OPEC-1 (incluso il cantiere Waste A&B) le emissioni di particolato atmosferico (alfa totale e beta/gamma totale rispettivamente) sono riportate in Tabella 13 [20]; si fa presente che la tipologia della attività lavorative e le portate dei sistemi di ventilazione dei due impianti non hanno subito variazioni significative rispetto a quelle dell'anno precedente.

Tabella 13 - Effluenti radioattivi aeriformi scaricati da tutti gli impianti presenti nel C.R. Casaccia nel corso dell'anno 2018 [18] [19] [20].

Radionuclide	⁴¹ Ar	⁸⁸ Kr	¹³¹ I	α_{tot}	β/γ_{tot}
Attività complessiva (Bq/anno)	6.57E+10	-	< 1.00E+06	1.38E+04	1.69E+06

I valori riportati in Tabella 13 sono ampiamente inferiori ai valori di ricettività ambientale di riferimento per il sito Casaccia [21].

4 RIFIUTI RADIOATTIVI

L'inventario dei rifiuti radioattivi liquidi e solidi prodotti dagli impianti e dai laboratori ENEA del C.R. Casaccia e trasferiti a NUCLECO nel corso dell'anno 2018 è fornito dalla Divisione FSN-FISS [22] ed è riassunto nella seguente Tabella 14.

Tabella 14 - Volumi di rifiuti totali ritirati nell'anno 2018 dal C.R. Casaccia [22].

Tipologia		Volume (l)	Attività (MBq)
Liquidi		7200	1.04E+00
Solidi	Comprimibili combustibili	6600	3.42E+01
	Filtri	8725	6.93E+00
	Sorgenti	-	4.16E-03
Totali			4.22E+01

5 STIMA DI DOSE ALLA POPOLAZIONE

La dose efficace annuale agli individui dei gruppi critici è la somma della dose efficace da esposizione esterna durante l'anno e della dose efficace impegnata dai radionuclidi incorporati nello stesso anno derivanti dagli effluenti aeriformi scaricati dagli impianti ENEA e SOGIN presenti nel C.R. Casaccia. La dose efficace annuale dovuta a tali installazioni (si esclude il contributo del fondo ambientale) si stima in base ai livelli di radionuclidi negli effluenti, ai modelli radioecologici e ai dati comportamentali.

Considerando i dati degli effluenti liquidi (riportati nella già citata Tabella 10) e degli effluenti aeriformi (riportati nella già citata Tabella 13) scaricati nell'anno 2018, la dose efficace annuale agli individui dei gruppi di riferimento della popolazione risulta ampiamente inferiore ad 1.0 mSv/anno [14] [23].

6 RETE DI SORVEGLIANZA AMBIENTALE

6.1 Descrizione della rete

La Rete di Sorveglianza Ambientale [24] è stata ridefinita nel 1985 da ENEA in accordo con ISIN (già ISPRA); attualmente si continua ad osservare quanto stabilito nell'ultima revisione ad eccezione di piccole modifiche strettamente connesse alle variazioni di coltura nei territori del sito (es. non sono più presenti i grandi frutteti) e modifiche d'impiego dei corsi d'acqua superficiali (es. non si effettua più pesca sportiva per assenza di pescato).

Le matrici esaminate nel corso dell'anno 2018 sono le seguenti:

- Aria
- Acqua
- Terreno
- Sedimento
- Vegetali (foraggio, ortaggi e cereali)
- Latte

La Rete di Sorveglianza Ambientale include anche le misure di equivalente di dose ambientale $H^*(10)$ ed equivalente di dose direzionale $H'(0.07, \Omega)$.

Una descrizione dei 37 punti rappresentativi della Rete di Sorveglianza Ambientale, con inclusa la tipologia della matrice campionata, è riportata in Tabella 15 dove, per i punti della rete esterni al C.R. Casaccia, sono indicati sia i riferimenti puntuali della localizzazione (indicazione della via) sia, tra parentesi, i nomi tradizionali delle località, ove presenti. Nelle mappe in Figura 10 e Figura 11 sono evidenziati, rispettivamente, i punti di controllo fissi interni ed esterni al Sito Casaccia.

La frequenza di prelievo e la tipologia di misura radiometrica per ogni matrice, così come indicato nell'ultima revisione della Rete di Sorveglianza Ambientale [24], sono riassunte in Tabella 16 mentre in Tabella 17 è indicato il numero delle misure eseguite nel corso dell'anno 2018 per le diverse matrici presso il Laboratorio di Sorveglianza Fisica e Ambientale dell'Istituto di Radioprotezione dell'ENEA (IRP-SFA).

Tabella 15 - Descrizione dei punti di controllo fissi previsti dalla Rete di Sorveglianza Ambientale.

n°	Descrizione	Ubicazione	Matrice campionata
1	Area NUCLECO – Edificio C-21	C.R. Casaccia	Dose
2	Impianto Plutonio – Edificio C-19	C.R. Casaccia	Dose
3	Edificio C-24 (Edificio C-59)	C.R. Casaccia	Dose
4	Edificio C-43 (Edificio C-28)	C.R. Casaccia	Dose
5	Edificio F-41	C.R. Casaccia	Dose
6	Area Capanna	C.R. Casaccia	Dose
7	Impianto reattore TRIGA – Edificio C-2	C.R. Casaccia	Dose
8	Edificio F-65	C.R. Casaccia	Dose
9	Edificio F-15	C.R. Casaccia	Dose
10	Edificio T-1	C.R. Casaccia	Dose
11	Via G. Lanfredini Amadori (Località Pantanelle)	Osteria Nuova (RM)	Dose
12	Via della Casaccia	Osteria Nuova (RM)	Dose
13	Via C. Voghera (ex Fattoria S. Brigida)	Osteria Nuova (RM)	Dose
14	Via Braccianense n° 881 (Posta Forano - Fattoria Riccucci)	S. Maria di Galeria (RM)	Dose, Acqua, Latte
15	Asilo Nido – Via Brugine	Osteria Nuova (RM)	Dose, Particolato atmosferico
16	Via S. Maria di Galeria (ex Fattoria S.Teresa)	S. Maria di Galeria (RM)	Dose
17	Via Monti del Nibbio	S. Maria di Galeria (RM)	Dose
18	Via della Stazione di Cesano (Località Torre dei Venti)	Cesano di Roma	Dose, Ortaggi
19	Via Sovramonte	Osteria Nuova (RM)	Dose
20	Via Anguillarese	Osteria Nuova (RM)	Dose
21	Impianto reattore TAPIRO – Edificio C-37	C.R. Casaccia	Dose
22	Impianto Celle Calde – Edificio C-13	C.R. Casaccia	Dose
23	Area NUCLECO – Ingresso	C.R. Casaccia	Dose
24	Area NUCLECO – Edificio M-1	C.R. Casaccia	Dose
25	Area NUCLECO – Capannoni Sud	C.R. Casaccia	Dose
26	Strada di Stracciapappe (Fattoria La Torre)	Campagnano di Roma	Latte
27	Via della Riserva del Carbucceto (Località Incastri)	S. Maria di Galeria (RM)	Ortaggi
28	Fossetto della Casaccia Sud	C.R. Casaccia	Acqua, Sedimento
29	Piazza S. Maria di Galeria (Sorgente Rosciolo)	S. Maria di Galeria (RM)	Acqua
30	Via Braccianense n° 356 (Località Fornace – Fattoria Pazzaglia)	Roma (RM)	Latte
31	Area Capanna	C.R. Casaccia	Particolato atmosferico
32	Area NUCLECO – Sottostazione elettrica	C.R. Casaccia	Particolato atmosferico
33	Via dell'Arrone (Località Testa di Lepre – Fattoria Cecconi)	Maccarese (RM)	Latte, Ortaggi
34	Fossetto della Casaccia Nord	C.R. Casaccia	Acqua, Sedimento
35	Acquedotto Casaccia	C.R. Casaccia	Acqua
36	Acque Reflue – condotte liquami	C.R. Casaccia	Acqua Reflua
FA	Foce Arrone	Località Maccarese	Sedimento

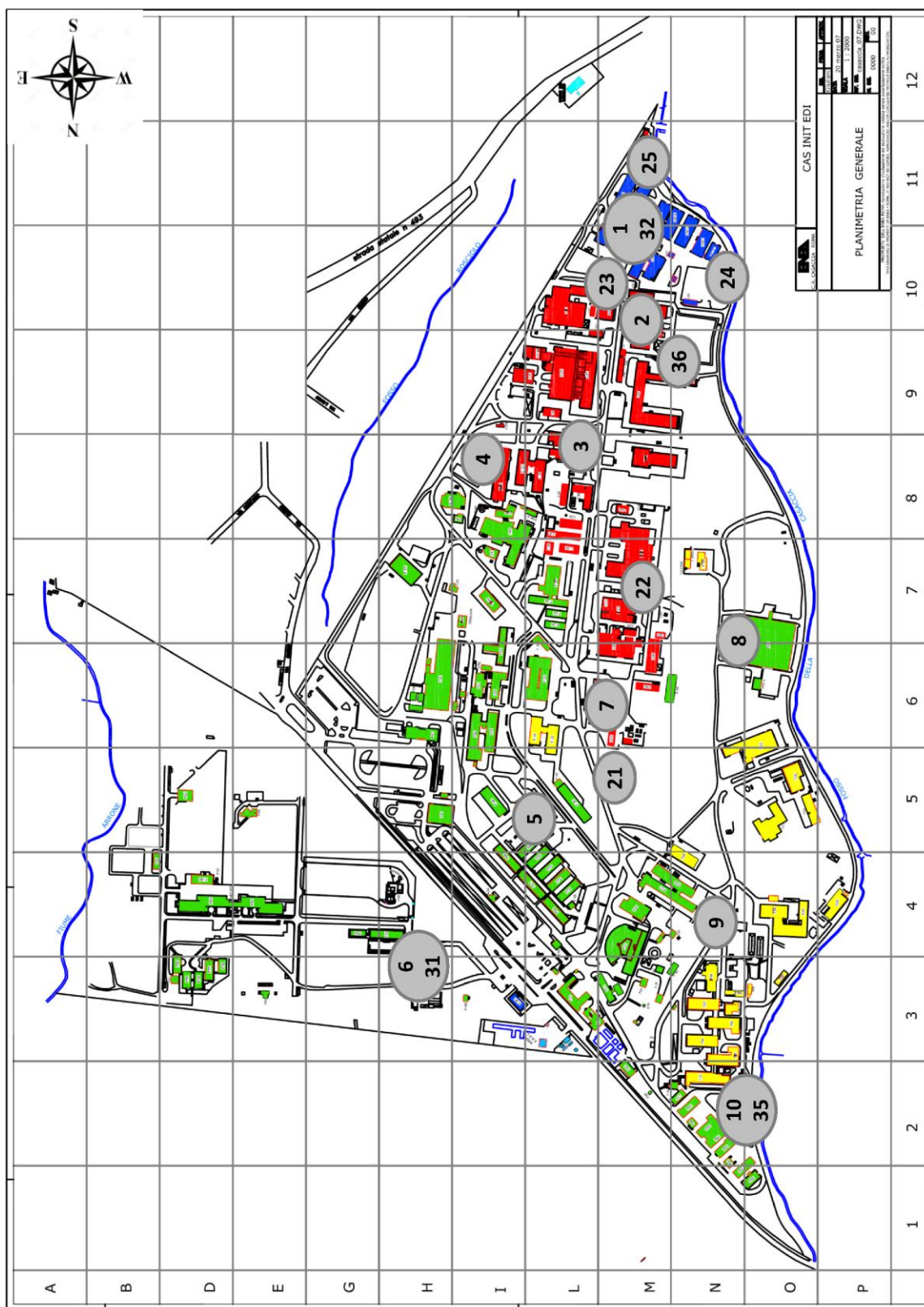


Figura 10 - Punti di controllo fissi della Rete di Monitoraggio Ambientale interni al C.R. Casaccia.

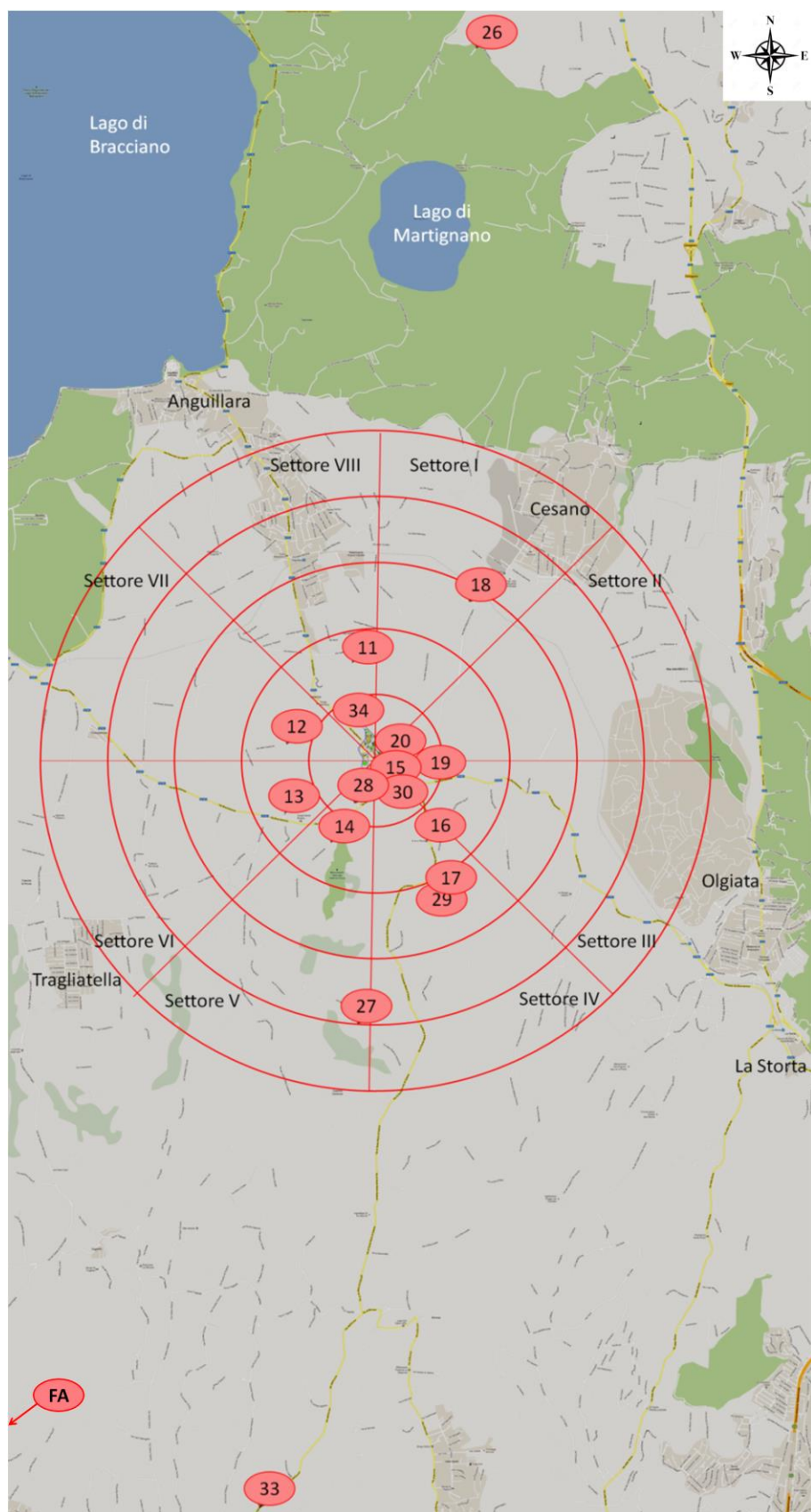


Figura 11 - Punti di controllo fissi della Rete di Monitoraggio Ambientale esterni al C.R. Casaccia.

Tabella 16 - Tipologia di matrice, frequenza dei prelievi e tipologia di misura relative alla Rete di Sorveglianza Ambientale. Si precisa che $H^*(10)$ = equivalente di dose ambientale, $H'(0.07)$ = equivalente di dose direzionale, α_{tot} = misura alfa totale, β/γ_{tot} = misura beta/gamma totale, Spettr. γ = spettrometria gamma, ^{90}Sr = misura di stronzio e Pu = spettrometria alfa degli isotopi del plutonio.

Matrice	Punto della rete	Campionamento		Tipologia di misura						
		N° Campioni/anno previsti	Frequenza	$H^*(10)$	$H'(0.07)$	α_{tot}	β/γ_{tot}	Spettr. γ	^{90}Sr	Pu
Aria - Particolato Atmosferico	n° 15, n° 31, n° 32	1095	giornaliera			X	X	X		X
Dose Esterna	n° 1 ÷ 25	200	45 giorni	X						
		100	trimestrale		X					
Acqua Potabile e di Falda	n° 14	1	annuale			X	X	X		
	n° 29, n° 35	4	semestrale							
Acqua Superficiale	n° 28	52	settimanale			X	X	X		X
	n° 34	4 [‡]	trimestrale			X	X	X		
Acqua Reflua	n° 36	52 (composito)	giornaliera					X		
Terreno	I ÷ VIII settore (a distanza tra 500 – 1500 m dal C.R. Casaccia)	8	annuale			X	X	X		X
Sedimento Fluviale	n° 28	12	mensile			X	X	X		X
	n° 34	4	trimestrale							
	FA	2	semestrale							
Erba e Foraggio	I ÷ VIII settore (a distanza tra 500 – 1500 m dal C.R. Casaccia)	8	annuale			X	X	X	X	X
Ortaggi	n° 18, n° 27, n° 33	N [§]	produzioni locali			X	X	X	X	X
Cereali	-	N [§]	produzioni locali			X	X	X	X	X
Latte	n° 14, n° 30, n° 33	12	trimestrale					X	X	
	n° 26	2	semestrale							

[‡] Si effettuano minimo due prelievi anno in base alle precipitazioni

[§] Il numero di campioni N dipende dalle produzioni locali

Tabella 17 - Misure eseguite nel corso dell'anno 2018 per le differenti matrici ambientali.

Tipologia di Misura	N° di Misure eseguite nel corso dell'anno 2018 per le differenti matrici ambientali					
	Aria	Acqua	Sedimenti	Terreno	Vegetali	Latte
Spettrometria alfa (^{238}Pu e $^{239-240}\text{Pu}$)	4	2	4	4	22	-
Misura alfa totale – beta/gamma totale	1091	42	36	16	44	-
Spettrometria gamma	12	128	21	8	22	28
Misura di ^{90}Sr	-	-	-	-	22	14
Dosimetria per radiazioni X e gamma - H*(10)	398	-	-	-	-	-
Dosimetria per radiazione X+ γ e β H.E. - H'(0.07)	197	-	-	-	-	-

6.2 Osservazioni generali

In Tabella 17 e in quelle seguenti, che riassumono i risultati di misura, si precisa quanto segue:

- La notazione “ - ” indica che il dato è mancante (prelievo e/o misure non effettuate, non previste o non significative).
- Il simbolo “ < ” indica che la misura ha prodotto un valore inferiore alla minima concentrazione rivelabile (“M.D.C.”, Minimum Detectable Concentration) per la tecnica impiegata.
- Il valore dell'incertezza sul dato, espresso come 1σ (fattore di copertura $k = 1$, livello di confidenza 68%), è indicato tra parentesi espresso in percentuale [25] [26].
- Con la notazione $\text{kg}_{\text{fresco}}/\text{kg}_{\text{secco}}$ si intende il rapporto tra la massa della matrice considerata così come prelevata (kg fresco) e quella dopo il trattamento di essiccazione (kg secco). La notazione kg, qualora non diversamente specificato, indica la massa della matrice così come prelevata.
- Con la notazione Pu si intendono, qualora non diversamente specificato, gli isotopi del Plutonio ^{238}Pu , ^{239}Pu e ^{240}Pu .
- Con la notazione alfa totale si intende ^{241}Am equivalente, mentre con la notazione beta/gamma totale si intende ^{90}Sr equivalente.

6.3 Strumentazione e Metodi

Presso il Laboratorio IRP-SFA si eseguono spettrometria gamma, conteggi alfa totale e beta/gamma totale, spettrometria alfa e misure di ^{90}Sr ; in Tabella 18 è elencata la strumentazione del Laboratorio impiegata per la Rete di Sorveglianza Ambientale del C.R. Casaccia.

Tabella 18 - Elenco della strumentazione disponibile nel laboratorio IRP-SFA.

Strumento di misura	N°	Dettagli Tecnici
Spettrometri Gamma	5	Rivelatori: Ortec, GEM series HPGe, Coaxial Detector System Elettronica/ Software: Canberra, Genie 2000 system, Apex
Spettrometri X-Gamma	2	Rivelatori: Ortec, GMX series, Gamma X HPGe, Coaxial Detector System Elettronica/ Software: Canberra, Genie 2000 system, Apex
Spettrometri Alfa	6	Rivelatori: Alfa Analyst Canberra Elettronica/ Software: Canberra, Genie 2000 system
Contatore per conteggi α totale e β/γ totale	1	Rivelatore: Protean Instrument WPC-1050-02
Contatori Proporzionali a flusso di gas per conteggi α totale e β/γ totale	1	Rivelatore: Tennelec LB 5100 con cambia campioni automatico
	2	Rivelatori: Berthold LB 770, Low level Counter, 10 Canali di acquisizione
Dosimetri TLD	25	Rivelatori: LiF(Mg,Cu,P) (GR200A) + filtri metallici (20 mg/cm ² e 290 mg/cm ²)
	25	Rivelatori: LiF(Mg,Cu,P) (GR200A) di 200 mg/cm ² di spessore

I valori di MDC per i diversi sistemi di misura e per la tipologia di matrice analizzata variano in funzione del protocollo di misura e dello strumento impiegato; in Tabella 19 sono indicati i valori minimi (m) e massimi (M) delle MDC per le misure eseguite nel corso dell'anno 2018, differenziati per tipologia di misura, matrice e radionuclide analizzato. Per la misura spettrometrica gamma il calcolo è eseguito secondo l'applicazione dell'algoritmo di Currie [27], mentre per tutte le altre misure è stata applicata la norma ISO 11929 [28].

Per i dosimetri impiegati la soglia di misura nelle attuali procedure di routine in termini di minima attività rivelabile è pari a 0.05 mSv.

Tabella 19 - Valori minimi (m) e massimi (M) di MDC per le misure effettuate nel corso dell'anno 2018 differenziati per tipologia di matrice, misura e radionuclide esaminato. I valori indicati in tabella sono espressi in Bq rispetto all'unità di misura (u.m.) indicata per ogni matrice. Quando non specificato, m = M.

M.D.C. (Bq/u.m.)										
Matrice	α tot	β/γ tot	Spettrometria γ					^{90}Sr	Spettrometria α	
			^7Be	^{40}K	^{60}Co	^{131}I	^{137}Cs		^{238}Pu	$^{239-240}\text{Pu}$
Aria - Particolato Atmosferico (m^3)	m = 3E-05 M = 1E-04	m = 6E-05 M = 2E-04	m = 3E-05 M = 4E-05	-	m = 3E-06 M = 4E-06	m = 2E-04 M = 5E-04	m = 3E-06 M = 4E-06	-	m = 2E-09 M = 3E-09	m = 2E-09 M = 3E-09
Acqua Potabile, di Falda e Superficiale (l)	m = 1E-02 M = 6E-02	m = 3E-03 M = 1E-02	-	m = 2E-02 M = 2E-01	m = 1E-03 M = 1E-02	m = 5E-02 M = 3E-01	m = 1E-03 M = 1E-02	-	1E-06	m = 1E-06 M = 2E-06
Acqua Reflua (l)	-	-	-	m = 9E-01 M = 2E+00	m = 7E-02 M = 1E-01	m = 1E-01 M = 6E-01	m = 7E-02 M = 1E-01	-	-	-
Terreno (kg_{secco})	m = 1E+02 M = 2E+02	m = 2E+01 M = 3E+01	-	m = 1E+00 M = 4E+00	m = 3E-01 M = 4E-01	-	m = 2E-01 M = 3E-01	-	m = 1E-02 M = 2E-02	m = 1E-02 M = 2E-02
Sedimento Fluviale (kg)	m = 4E+01 M = 1E+02	m = 1E+01 M = 3E+01	-	-	m = 8E-02 M = 2E-01	m = 6E-02 M = 2E-01	m = 5E-02 M = 2E-01	-	1E-02	1E-02
Foraggi (kg_{secco})	m = 1E+01 M = 2E+01	m = 2E+00 M = 5E+00	-	m = 6E+00 M = 1E+01	m = 6E-01 M = 9E-01	-	m = 4E-01 M = 8E-01	m = 1E-01 M = 4E-01	m = 3E-04 M = 3E-03	m = 3E-04 M = 3E-03
Ortaggi (kg_{secco})	m = 1E+01 M = 2E+01	m = 3E+00 M = 5E+00	-	m = 3E+00 M = 1E+01	m = 4E-01 M = 8E-01	-	m = 3E-01 M = 7E-01	m = 4E-01 M = 1E+00	m = 1E-03 M = 3E-03	m = 1E-03 M = 3E-03
Cereali (kg_{secco})	m = 2E+00 M = 1E+01	m = 4E-01 M = 2E+00	-	m = 1E+00 M = 4E+00	m = 1E-01 M = 4E-01	-	m = 7E-02 M = 3E-01	m = 1E-01 M = 3E-01	m = 3E-04 M = 1E-03	m = 3E-04 M = 1E-03
Latte (l)	-	-	-	m = 1E-01 M = 4E-01	-	m = 5E-02 M = 1E-01	m = 1E-02 M = 2E-02	m = 2E-03 M = 7E-03	-	-

7 MATRICE ARIA: PARTICOLATO ATMOSFERICO

7.1 Modalità di prelievo

Il prelievo del particolato atmosferico è effettuato in continuo su filtri in fibra di cellulosa (Sartorius, $\Phi = 55$ mm) mediante aspirazione continua con portata media di 11 m³/h. Il campionamento viene effettuato mediante un sistema ZAMBELLI, mostrato in Figura 12, composto da un campionatore dotato di otto porta-filtri, da una centralina di aspirazione e da un contatore volumetrico.

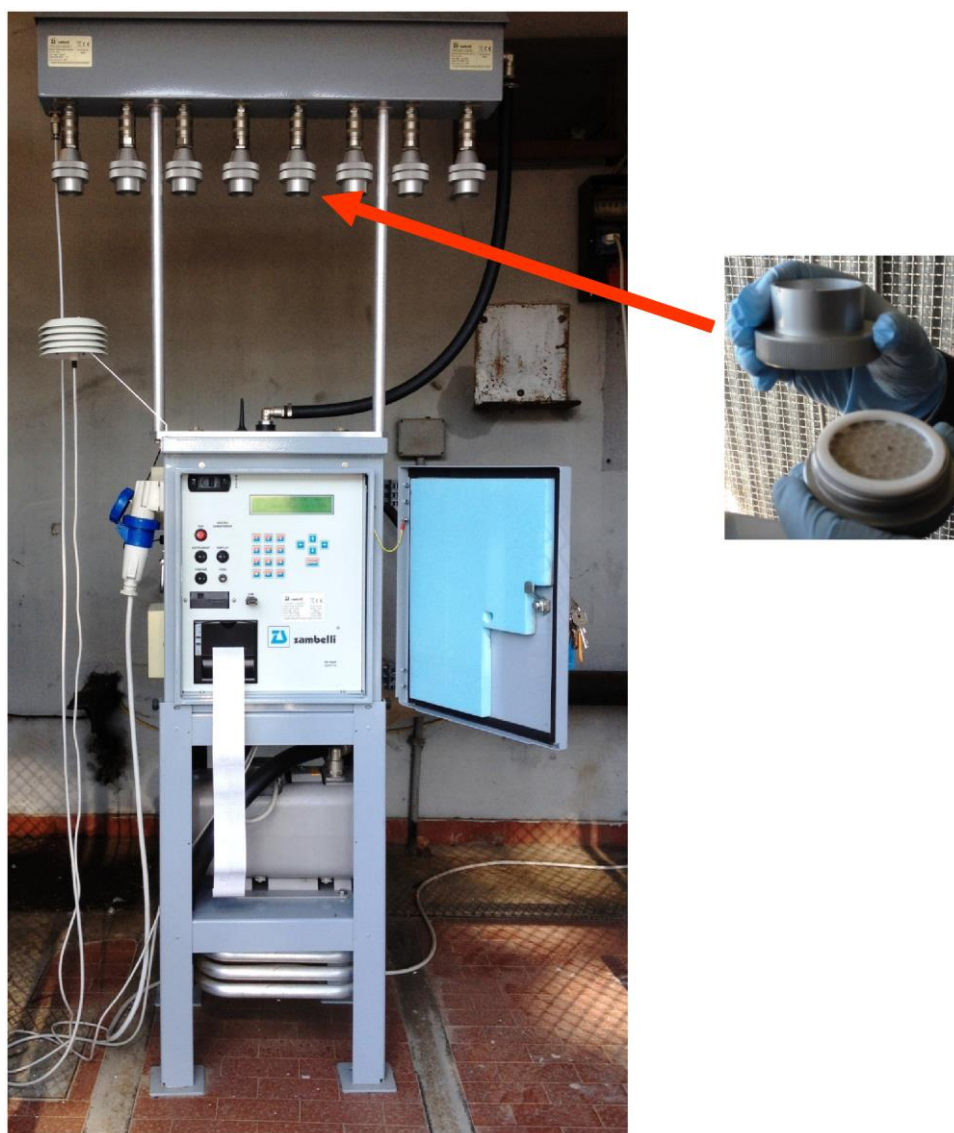


Figura 12 - Sistema Zambelli di campionamento del particolato atmosferico, con in dettaglio l'alloggiamento del filtro.

La bocca del condotto di aspirazione è posta ad una altezza dal suolo di circa 2 metri, per evitare fenomeni di risospensione dal terreno. Il campionamento è effettuato nei tre punti n° 15, n° 31 e n° 32, due interni al C.R. Casaccia e uno nel vicino centro abitato di Osteria Nuova come indicato nella già citata Tabella 15 e rappresentato in Figura 13.

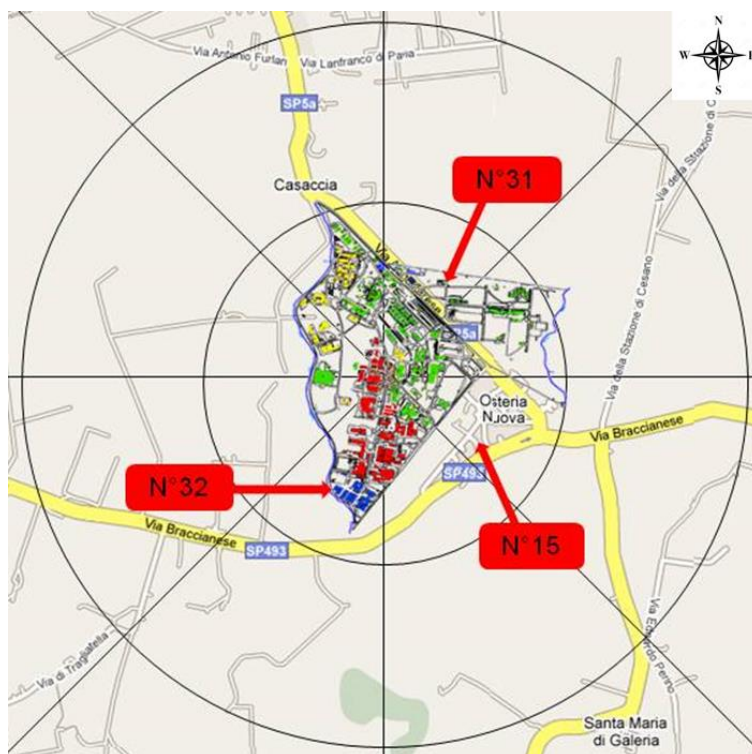


Figura 13 - Mappa del sito C.R. Casaccia con l'indicazione della localizzazione dei sistemi di aspirazione per il campionamento dell'aria: il punto di prelievo n° 15 è posizionato nell'abitato di Osteria Nuova in via Brugine, mentre i due punti n° 31 e n° 32 sono all'interno del C.R. Casaccia, nell'Area Capanna e nell'Area Nucleo, rispettivamente.

7.2 Modalità di misura

La determinazione della concentrazione in attività di alfa totale e beta/gamma totale nel particolato atmosferico depositato su ogni singolo filtro è eseguita con frequenza giornaliera (1091 misure nell'anno 2018) almeno 120 ore successive al prelievo, per permettere il completo decadimento dei radionuclidi naturali largamente preponderanti.

La spettrometria gamma è effettuata con frequenza mensile su un campione composito costituito dall'insieme dei filtri giornalieri (generalmente 90) prelevati nelle tre stazioni di campionamento nell'arco del mese sotto indagine.

La spettrometria alfa è effettuata con frequenza trimestrale su un campione composito costituito dall'insieme dei filtri giornalieri (generalmente 270), prelevati nelle tre stazioni di campionamento

nell'arco del trimestre sotto indagine, previe separazione chimica e conseguente elettrodeposizione su piattello.

L'efficienza media di ritenzione dei filtri per il particolato atmosferico è valutata cautelativamente pari a 85% [29], mentre il rapporto tra ^{131}I gassoso e ^{131}I particolato, l'unico radionuclide ritenuto volatile tra quelli presi in considerazione, è assunto pari a 1.99 [30].

7.3 Risultati

Per ogni punto di prelievo sono stati valutati i valori di concentrazione in attività giornaliera di alfa totale e beta/gamma totale per ogni filtro, da cui sono stati estratti i valori mensili minimi, medi e massimi delle concentrazioni. Tali valori sono riportati nelle Tabelle seguenti (da Tabella 20 a Tabella 25) e sono illustrati (solo i valori medi) nei grafici in Figura 14, Figura 15 e Figura 16. Il confronto tra i valori medi valutati nelle tre stazioni di campionamento è riportato in Figura 17 per i conteggi alfa totale ed in Figura 18 per i conteggi beta/gamma totale. Si precisa che i valori medi riportati nelle Tabelle e Figure seguenti per ogni mese e per ogni stazione di prelievo sono stati valutati considerando esclusivamente le misure le cui concentrazioni sono risultate superiori ai corrispondenti valori di MDC.

Infine in Tabella 26 e Tabella 27 sono riportati i valori delle misure di spettrometria gamma e spettrometria alfa, rispettivamente, effettuate sui campioni compositi predisposti come descritto in precedenza.

Tabella 20 - Valori di concentrazione in termini di Bq/m³ di alfa totale nel particolato atmosferico, campionato nel punto di prelievo n° 15 (Località Osteria Nuova).

Periodo	Valore Minimo	Valore Medio	Valore Massimo
	α_{tot} (Bq/m ³)	α_{tot} (Bq/m ³)	α_{tot} (Bq/m ³)
gennaio	< 5.7E-05	1.5E-04 (19%)	3.4E-04 (15%)
febbraio	< 4.6E-05	9.6E-05 (18%)	1.5E-04 (18%)
marzo	< 4.5E-05	1.1E-04 (18%)	2.6E-04 (15%)
aprile	< 5.2E-05	1.8E-04 (18%)	5.1E-04 (13%)
maggio	< 5.4E-05	1.8E-04 (18%)	3.8E-04 (14%)
giugno	5.2E-05 (34%)	1.2E-04 (18%)	2.8E-04 (15%)
luglio	7.1E-05 (26%)	1.8E-04 (17%)	3.0E-04 (14%)
agosto	1.1E-04 (20%)	2.5E-04 (18%)	5.2E-04 (13%)
settembre	1.2E-04 (20%)	2.3E-04 (18%)	5.5E-04 (13%)
ottobre	5.8E-05 (25%)	1.6E-04 (18%)	3.6E-04 (19%)
novembre	4.7E-05 (32%)	2.1E-04 (18%)	6.2E-04 (13%)
dicembre	6.3E-05 (32%)	1.6E-04 (18%)	4.5E-04 (16%)

Tabella 21 - Valori di concentrazione in termini di Bq/m³ di beta/gamma totale nel particolato atmosferico, campionato nel punto di prelievo n° 15 (Località Osteria Nuova).

Periodo	Valore Minimo	Valore Medio	Valore Massimo
	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/m ³)	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/m ³)	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/m ³)
gennaio	3.6E-04 (14%)	1.0E-03 (19%)	2.0E-03 (12%)
febbraio	2.6E-04 (16%)	9.6E-04 (19%)	2.1E-03 (12%)
marzo	2.7E-04 (15%)	6.5E-04 (19%)	1.3E-03 (12%)
aprile	3.4E-04 (14%)	1.2E-03 (19%)	2.4E-03 (12%)
maggio	3.0E-04 (15%)	1.2E-03 (19%)	2.1E-03 (12%)
giugno	6.1E-04 (13%)	1.1E-03 (18%)	1.9E-03 (12%)
luglio	8.8E-04 (12%)	1.7E-03 (18%)	2.7E-03 (12%)
agosto	5.5E-04 (13%)	1.8E-03 (18%)	3.0E-03 (12%)
settembre	8.6E-04 (12%)	2.0E-03 (18%)	3.3E-03 (12%)
ottobre	4.8E-04 (13%)	1.6E-03 (18%)	4.2E-03 (12%)
novembre	5.1E-04 (13%)	1.2E-03 (19%)	2.3E-03 (12%)
dicembre	4.7E-04 (13%)	1.1E-03 (19%)	2.2E-03 (12%)

Tabella 22 - Valori di concentrazione in termini di Bq/m³ di alfa totale nel particolato atmosferico, campionato nel punto di prelievo n° 31 (Area Capanna).

Periodo	Valore Minimo	Valore Medio	Valore Massimo
	α_{tot} (Bq/m ³)	α_{tot} (Bq/m ³)	α_{tot} (Bq/m ³)
gennaio	< 5.7E-05	1.4E-04 (19%)	3.5E-04 (15%)
febbraio	< 4.4E-05	8.6E-05 (18%)	1.6E-04 (20%)
marzo	< 4.7E-05	1.1E-04 (18%)	2.6E-04 (15%)
aprile	< 5.2E-05	1.9E-04 (19%)	4.9E-04 (14%)
maggio	< 4.8E-05	1.9E-04 (18%)	4.5E-04 (14%)
giugno	< 5.4E-05	1.3E-04 (18%)	3.0E-04 (15%)
luglio	6.4E-05 (30%)	1.9E-04 (18%)	4.0E-04 (14%)
agosto	7.5E-05 (24%)	2.6E-04 (18%)	6.1E-04 (13%)
settembre	7.5E-05 (24%)	2.6E-04 (18%)	6.7E-04 (13%)
ottobre	3.5E-05 (35%)	1.7E-04 (18%)	7.7E-04 (13%)
novembre	5.2E-05 (31%)	2.2E-04 (19%)	8.3E-04 (12%)
dicembre	6.3E-05 (29%)	1.7E-04 (18%)	3.6E-04 (14%)

Tabella 23 - Valori di concentrazione in termini di Bq/m³ di beta/gamma totale nel particolato atmosferico, campionato nel punto di prelievo n° 31 (Area Capanna).

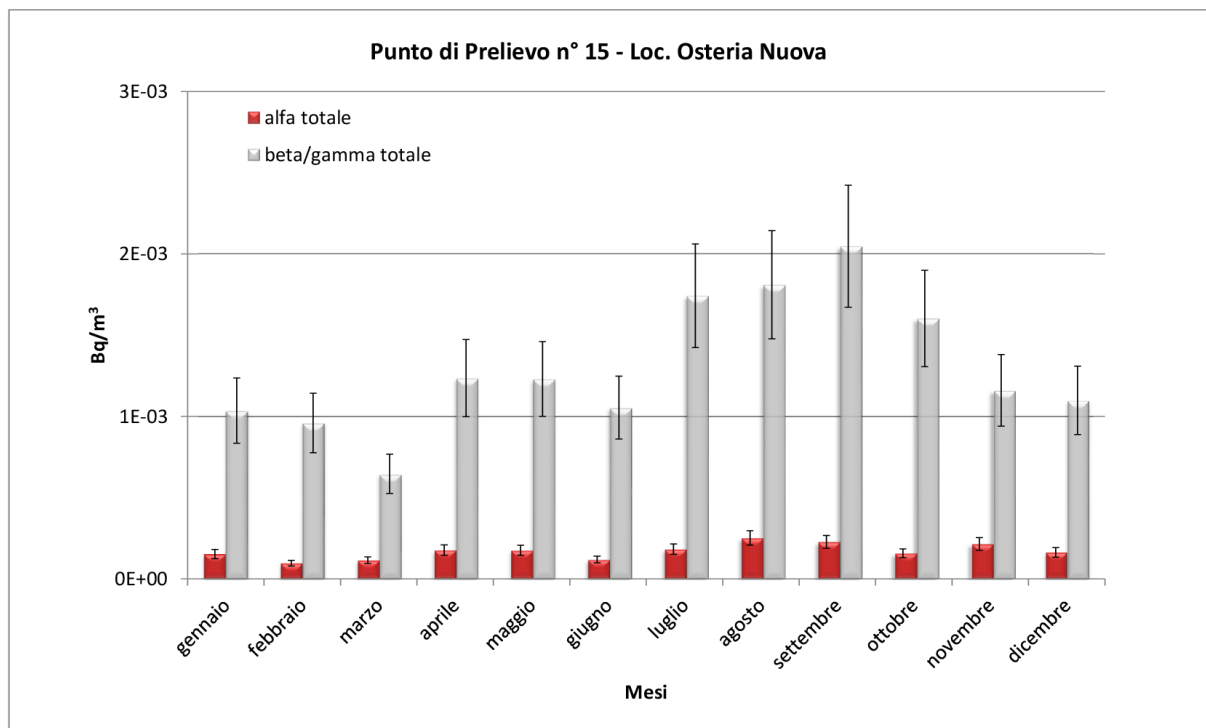
Periodo	Valore Minimo	Valore Medio	Valore Massimo
	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/m ³)	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/m ³)	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/m ³)
gennaio	3.2E-04 (14%)	9.4E-04 (20%)	1.8E-03 (12%)
febbraio	2.0E-04 (18%)	8.8E-04 (19%)	1.8E-03 (12%)
marzo	2.2E-04 (16%)	6.0E-04 (19%)	1.3E-03 (12%)
aprile	2.9E-04 (15%)	1.2E-03 (19%)	2.5E-03 (12%)
maggio	2.0E-04 (16%)	1.4E-03 (18%)	2.4E-03 (12%)
giugno	6.7E-04 (13%)	1.3E-03 (19%)	2.5E-03 (12%)
luglio	1.1E-03 (12%)	2.1E-03 (19%)	3.2E-03 (12%)
agosto	6.2E-04 (13%)	2.2E-03 (19%)	3.5E-03 (12%)
settembre	7.7E-04 (13%)	2.4E-03 (19%)	3.9E-03 (12%)
ottobre	4.7E-04 (13%)	1.9E-03 (19%)	3.9E-03 (12%)
novembre	4.2E-04 (14%)	1.2E-03 (19%)	2.4E-03 (12%)
dicembre	4.9E-04 (13%)	1.2E-03 (19%)	2.3E-03 (12%)

Tabella 24 - Valori di concentrazione in termini di Bq/m³ di alfa totale nel particolato atmosferico, campionato nel punto di prelievo n° 32 (Area Nucleco).

Periodo	Valore Minimo	Valore Medio	Valore Massimo
	α_{tot} (Bq/m ³)	α_{tot} (Bq/m ³)	α_{tot} (Bq/m ³)
gennaio	< 6.0E-05	1.4E-04 (19%)	3.5E-04 (15%)
febbraio	< 4.7E-05	9.2E-05 (18%)	1.7E-04 (18%)
marzo	< 4.4E-05	1.2E-04 (18%)	2.5E-04 (15%)
aprile	< 5.2E-05	1.9E-04 (18%)	5.5E-04 (13%)
maggio	< 5.5E-05	1.7E-04 (18%)	4.3E-04 (14%)
giugno	< 5.8E-05	1.3E-04 (19%)	3.1E-04 (15%)
luglio	< 5.2E-05	1.8E-04 (18%)	3.3E-04 (15%)
agosto	7.5E-05 (25%)	2.4E-04 (18%)	5.7E-04 (13%)
settembre	1.1E-04 (22%)	2.5E-04 (18%)	6.2E-04 (13%)
ottobre	< 5.0E-05	1.6E-04 (18%)	3.3E-04 (14%)
novembre	5.5E-05 (27%)	1.5E-04 (18%)	4.0E-04 (13%)
dicembre	< 5.2E-05	2.0E-04 (18%)	3.6E-04 (14%)

Tabella 25 - Valori di concentrazione in termini di Bq/m³ di beta/gamma totale nel particolato atmosferico, campionato nel punto di prelievo n° 32 (Area Nucleco).

Periodo	Valore Minimo	Valore Medio	Valore Massimo
	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/m ³)	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/m ³)	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/m ³)
gennaio	3.9E-04 (14%)	9.7E-04 (20%)	1.8E-03 (12%)
febbraio	1.9E-04 (18%)	8.8E-04 (19%)	1.8E-03 (12%)
marzo	2.2E-04 (16%)	6.3E-04 (19%)	1.3E-03 (12%)
aprile	3.5E-04 (14%)	1.2E-03 (19%)	2.5E-03 (12%)
maggio	3.1E-04 (15%)	1.3E-03 (19%)	2.3E-03 (12%)
giugno	5.7E-04 (13%)	1.2E-03 (19%)	1.8E-03 (12%)
luglio	1.0E-03 (12%)	1.9E-03 (19%)	2.9E-03 (12%)
agosto	5.6E-04 (13%)	2.0E-03 (19%)	3.0E-03 (12%)
settembre	8.5E-04 (13%)	2.3E-03 (19%)	3.6E-03 (12%)
ottobre	4.6E-04 (13%)	1.8E-03 (19%)	3.8E-03 (12%)
novembre	4.8E-04 (13%)	1.1E-03 (19%)	2.4E-03 (12%)
dicembre	4.5E-04 (14%)	1.2E-03 (19%)	2.2E-03 (12%)

Figura 14 - Valori medi mensili di concentrazione in termini di Bq/m³ di alfa totale e beta/gamma totale nel particolato atmosferico, campionato nel punto di prelievo n° 15 (Località Osteria Nuova).

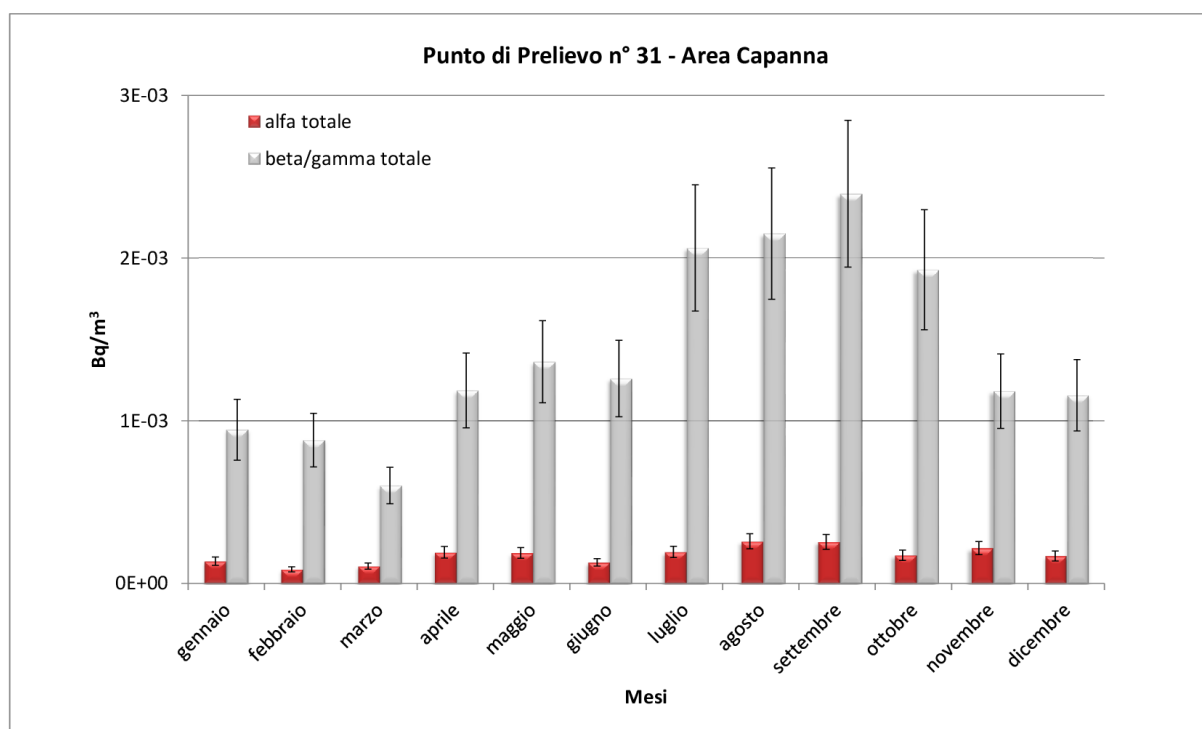


Figura 15 - Valori medi mensili di concentrazione in termini di Bq/m³ di alfa totale e beta/gamma totale nel particolato atmosferico, campionato nel punto di prelievo n° 31 (Area Capanna).

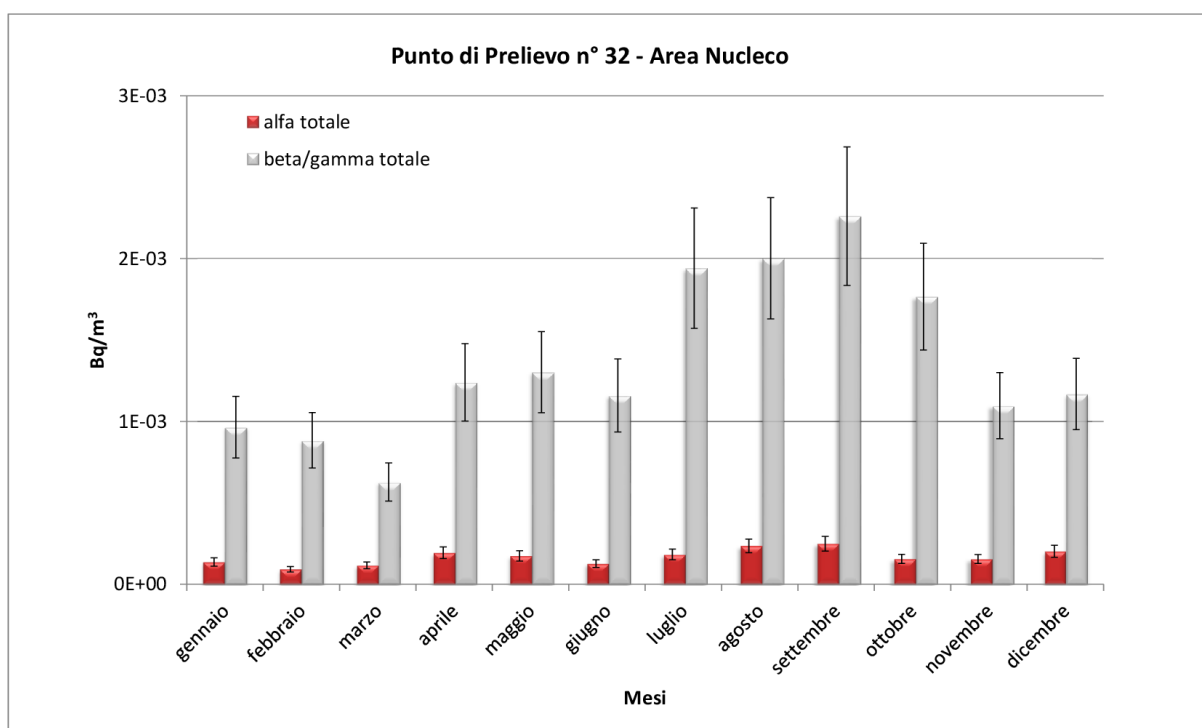


Figura 16 - Valori medi mensili di concentrazione in termini di Bq/m³ di alfa totale e beta/gamma totale nel particolato atmosferico, campionato nel punto di prelievo n° 32 (Area Nucleo).

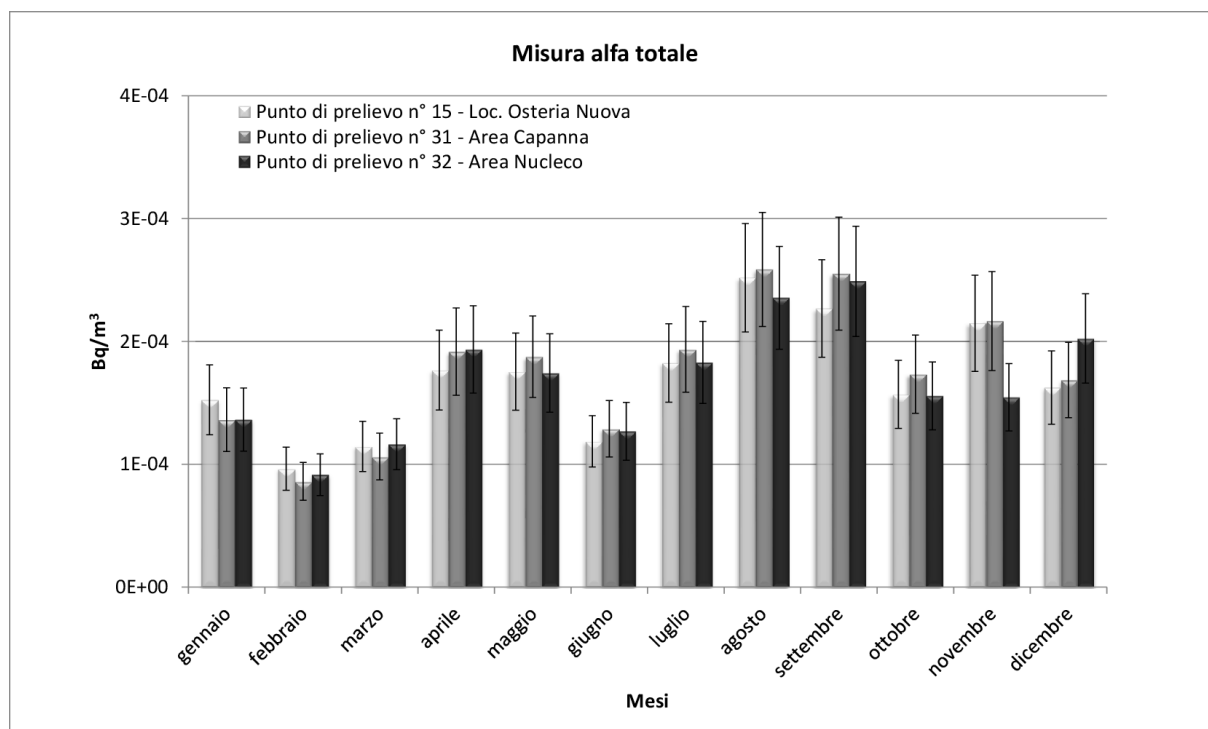


Figura 17 - Confronto tra i valori medi mensili di concentrazione (Bq/m^3) di alfa totale nel particolato atmosferico, campionato nei tre punti di prelievo.

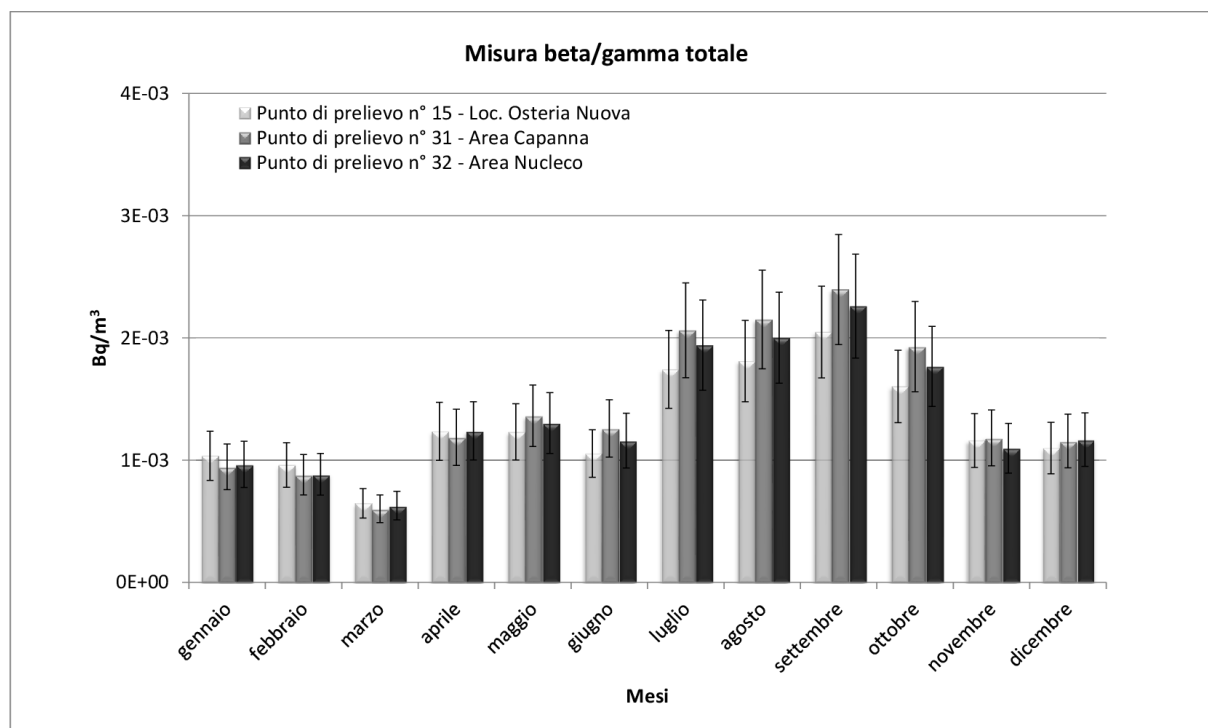


Figura 18 - Confronto tra i valori medi mensili di concentrazione (Bq/m^3) di beta/gamma totale nel particolato atmosferico, campionato nei tre punti di prelievo.

Tabella 26 - Valori di concentrazione in termini di Bq/m³ dei radionuclidi ⁷Be, ⁶⁰Co, ¹³¹I e ¹³⁷Cs nei campioni compositi mensili delle tre stazioni di prelievo n° 15, n° 31 e n° 32.

Periodo	⁷ Be (Bq/m ³)	⁶⁰ Co (Bq/m ³)	¹³¹ I (Bq/m ³)	¹³⁷ Cs (Bq/m ³)
gennaio	4.3E-03 (6%)	< 3.8E-06	< 2.4E-04	< 3.6E-06
febbraio	4.5E-03 (6%)	< 3.6E-06	< 2.0E-04	< 3.6E-06
marzo	4.6E-03 (6%)	< 3.1E-06	< 1.7E-04	< 3.0E-06
aprile	6.7E-03 (7%)	< 3.6E-06	< 2.8E-04	< 3.5E-06
maggio	5.4E-03 (6%)	< 3.3E-06	< 4.0E-04	< 3.1E-06
giugno	6.8E-03 (6%)	< 3.4E-06	< 3.8E-04	< 3.2E-06
luglio	1.0E-02 (6%)	< 3.2E-06	< 4.9E-04	< 3.1E-06
agosto	8.8E-03 (6%)	< 3.1E-06	< 3.9E-04	< 3.1E-06
settembre	7.8E-03 (6%)	< 3.3E-06	< 1.9E-04	< 3.2E-06
ottobre	6.2E-03 (6%)	< 3.2E-06	< 1.5E-04	< 3.1E-06
novembre	4.7E-03 (6%)	< 3.5E-06	< 2.4E-04	< 3.3E-06
dicembre	4.5E-03 (6%)	< 3.4E-06	< 3.2E-04	< 3.3E-06

Tabella 27 - Valori di concentrazione in termini di Bq/m³ di Pu nei campioni compositi trimestrali delle tre stazioni di prelievo n° 15, n° 31 e n° 32.

Periodo	²³⁸ Pu (Bq/m ³)	²³⁹⁻²⁴⁰ Pu (Bq/m ³)
I° trimestre	< 3.5E-09	< 3.5E-09
II° trimestre	< 1.6E-09	3.1E-09 (27%)
III° trimestre	< 2.0E-09	9.5E-09 (18%)
IV° trimestre	< 2.1E-09	< 2.1E-09

8 MISURA DI DOSE

Le misure di equivalente di dose ambientale sono effettuate mediante una rete di 25 stazioni, di cui 2 sono mostrate in Figura 19, poste a 1.5 m dal suolo e distribuite in tutto il territorio comprendente il Sito della Casaccia. In particolare 15 di queste sono situate all'interno del Centro, mentre le restanti 10 sono situate all'esterno del Centro, così come indicato nella già citata Tabella 15.



Figura 19 - Stazioni poste ad 1.5 m dal suolo utilizzate per l'ubicazione delle due coppie dei dosimetri a termoluminescenza. A sinistra è mostrata la stazione presente nel punto n° 17 della rete, esterna al Centro, mentre a destra è mostrata la stazione presente nel punto n° 1 della rete, interno al Centro.

Ciascuna stazione contiene due coppie di dosimetri a termoluminescenza per la misura delle grandezze dosimetriche operative per il monitoraggio ambientale [31], ed in particolare di:

- equivalente di dose ambientale $H^*(10)$ per il controllo della dose efficace;
- equivalente di dose direzionale $H'(0.07, \Omega)$ per il controllo della dose alla cute, mani, piedi e al cristallino.

Le esposizioni e le letture per la determinazione delle grandezze $H^*(10)$ ed $H'(0.07, \Omega)$ vengono effettuate rispettivamente con periodicità di 45 e 90 giorni dal Laboratorio IRP-DOS dell'Istituto di Radioprotezione presso il Centro ENEA di Bologna. Il criterio per la valutazione delle dosi è così individuato:

- 1) l'equivalente di dose ambientale è dato dal dato del dosimetro x- γ espresso in $H^*(10)$ ($H_{\text{ambiente}} = H^*(10)$);
- 2) la dose equivalente all'estremità coincide normalmente con il valore registrato dal dosimetro per le estremità stesse ($H_{\text{estremità}} = H'(0.07)$).

I valori della componente misurata con il dosimetro di controllo in via del tutto cautelativa non sono sottratti. Laddove non è presente il risultato dosimetrico relativo ad uno specifico periodo, si è assegnato alla dose il valore massimo registrato dal dosimetro analogo nell'arco del 2018.

Nella Tabella 28 sono riportati i valori annuali delle grandezze $H^*(10)$ ed $H'(0.07, \Omega)$ per i 25 punti di controllo espressi in mSv/anno ottenuti sommando le letture dosimetriche periodiche. Come riportato nella Tabella 28, e mostrato in Figura 20 e Figura 21, nel corso dell'anno 2018 i valori di $H^*(10)$ variano tra un minimo di 1.23 mSv/anno e un massimo di 2.73 mSv/anno, mentre le misure di $H'(0.07, \Omega)$ variano tra un minimo di 0.80 mSv/anno e un massimo di 2.75 mSv/anno. I valori massimi sono stati riscontrati per $H^*(10)$ nel punto di controllo n° 1 e per $H'(0.07, \Omega)$ nel punto di controllo n° 24, entrambi riconducibili all'Area Nucleco, specificatamente alle strutture di deposito temporaneo dei rifiuti radioattivi.

Tabella 28 - Valori annuali dell'equivalente di dose ambientale e direzionale, con le relative incertezze espresse in percentuale.

n°	Punto di Controllo	$H^*(10)$ (mSv/anno)	Incetezza (%)	$H'(0.07)$ (mSv/anno)	Incetezza (%)
1	Area NUCLECO – Edificio C-21	2.73	8	2.20	12
2	Impianto Plutonio – Edificio C-19	1.25	10	0.85	15
3	Area Casaccia – Edificio C-59 (C-24)	1.30	9	0.88	15
4	Area Casaccia – Edificio C-28 (C-43)	1.53	9	0.98	14
5	Area Casaccia – Edificio F-41	1.48	9	1.05	14
6	Area Capanna	1.35	9	0.80	15
7	Impianto reattore TRIGA – Edificio C-2	1.50	9	0.95	14
8	Area Casaccia – Edificio F-65	1.28	10	1.00	14
9	Area Casaccia – Edificio F-15	1.45	8	0.98	14
10	Area Casaccia – Edificio T-1	1.43	9	0.93	14
11	Via G. Lanfredini Amadori	1.68	9	1.05	14
12	Via della Casaccia	1.68	9	1.18	14
13	Via C. Voghera	1.75	9	1.25	14
14	Via Braccianense n° 881	1.23	10	0.93	14
15	Via Brugine	1.65	9	0.95	14
16	Via S. Maria di Galeria	1.93	9	1.35	14
17	Via Monti del Nibbio	2.10	9	1.35	13
18	Via della Stazione di Cesano	1.43	9	0.95	15
19	Via Sovramonte	2.10	9	1.48	13
20	Via Anguillarese	2.10	8	1.58	13
21	Impianto reattore TAPIRO – Edificio C-37	1.53	9	0.93	15
22	Impianto Celle Calde – Edificio C-13	1.80	9	1.08	14
23	Area NUCLECO – Ingresso	1.58	9	0.98	15
24	Area NUCLECO – Edificio M-1	2.65	9	2.75	14
25	Area NUCLECO – Capannoni Sud	1.45	10	0.90	14
	Dosimetro di controllo	0.90	11	0.50	24

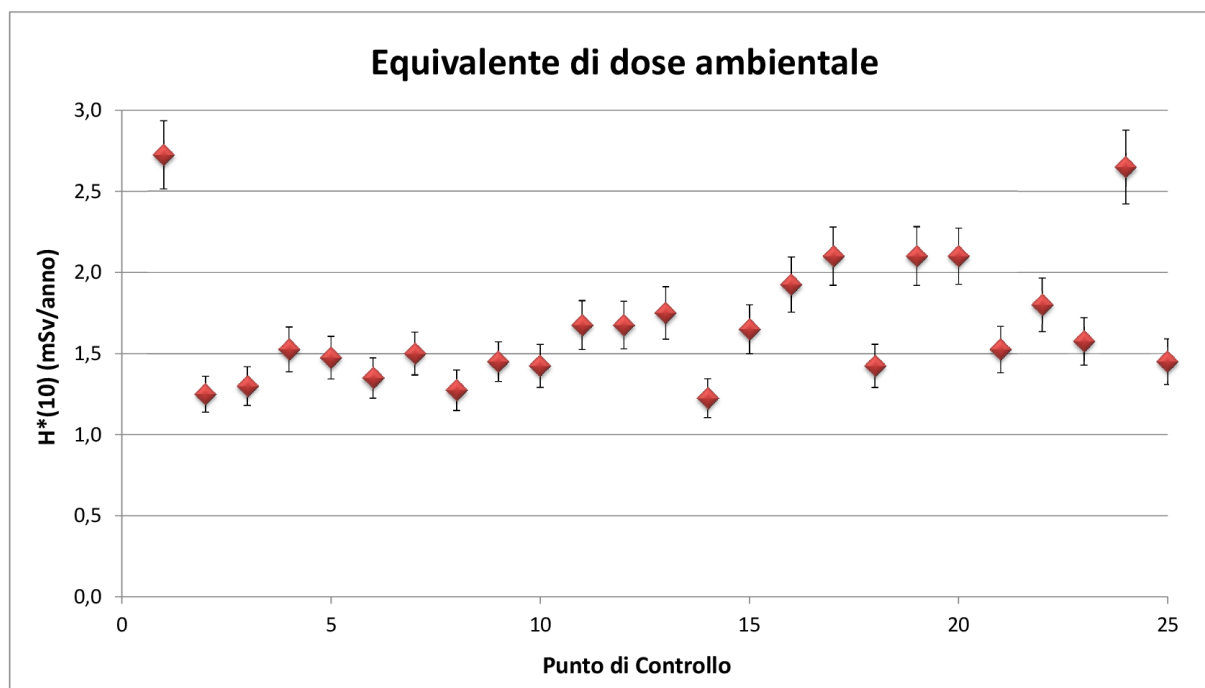


Figura 20 - Valori annuali di equivalente di dose ambientale riscontrati nell'anno 2018, nei punti di controllo della Rete di Sorveglianza Ambientale.

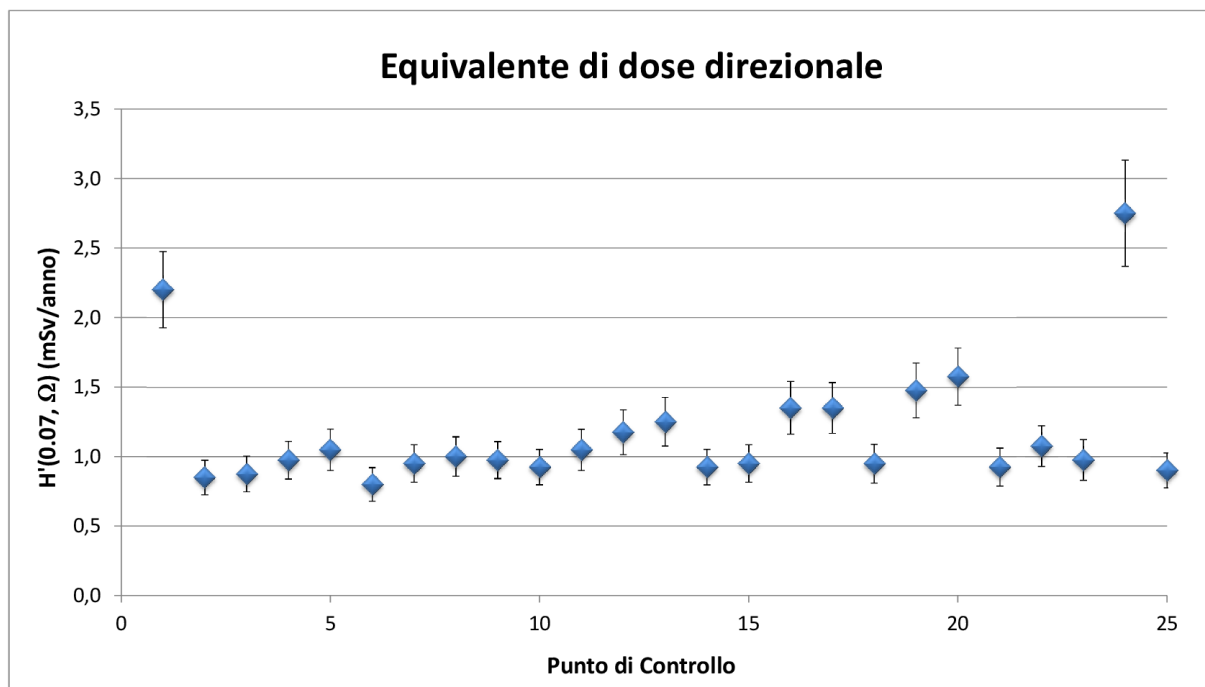


Figura 21 - Valori annuali di equivalente di dose direzionale riscontrati nell'anno 2018, nei punti di controllo della Rete di Sorveglianza Ambientale.

9 MATRICE ACQUA

9.1 Modalità di prelievo

In conformità alla Rete di Sorveglianza Ambientale [24] del Centro Casaccia si distinguono le seguenti tipologie di campioni:

- acqua di falda campionata presso la Sorgente Rosciolo (n° 29) e la Sorgente Posta Forano (n° 14);
- acqua potabile campionata presso il Centro Casaccia (n° 35);
- acqua di superficie (torrente) campionata presso il Fossetto della Casaccia Nord (n° 34) e il Fossetto della Casaccia Sud (n° 28) mostrato in Figura 22.
- acqua reflua campionata giornalmente nel punto di raccolta finale della rete fognaria del Centro (punto di controllo n° 36), prima dell'immissione nella rete esterna di raccolta delle acque di scarico.



Figura 22 - Punto di prelievo n° 28, presso il Fossetto della Casaccia Sud.

9.2 Modalità di misura

La determinazione della concentrazione in attività di alfa totale e beta/gamma totale nella matrice è effettuata previ processo di essiccazione e conseguente deposito su piattello.

La spettrometria gamma è effettuata sul campione tal quale. Al fine di una migliore valutazione dei radionuclidi ^{60}Co e ^{137}Cs (e del ^{40}K) è effettuata - per i campioni di acqua potabile e di falda, per i campioni del punto di prelievo n° 34 e per i campioni compositi mensili e semestrali del punto di prelievo n° 28 - una seconda spettrometria gamma previa evaporazione.

La spettrometria alfa è effettuata con frequenza semestrale soltanto sul campione composito di acqua superficiale campionata nel punto di prelievo n° 28, previe essiccazione, separazione chimica e conseguente elettrodeposizione su piattello.

9.3 Risultati

Si riportano i risultati dei controlli radiometrici effettuati per l'acqua potabile e di falda (Tabella 29 e Tabella 30), per l'acqua superficiale (Tabella 31, Tabella 32 e Tabella 33) e per l'acqua reflua (Tabella 34). Si precisa che i valori per il punto di prelievo n° 28 relativi allo ^{131}I riportati in Tabella 32 sono valori medi mensili ottenuti dalle misure settimanali.

Tabella 29 - Valori di concentrazione in termini di Bq/l di alfa totale e beta/gamma totale nei campioni di acqua potabile e di falda.

Punto di prelievo	Periodo	α_{tot} (Bq/l)	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/l)
14	febbraio	< 4.2E-02	7.0E-01 (8%)
29	marzo	< 5.1E-02	7.4E-01 (8%)
	settembre	< 3.4E-02	8.0E-01 (8%)
35	aprile	< 4.5E-02	6.7E-01 (8%)
	novembre	< 3.6E-02	7.6E-01 (8%)

Tabella 30 - Valori di concentrazione in termini di Bq/l dei radionuclidi ^{40}K , ^{60}Co , ^{131}I e ^{137}Cs nei campioni di acqua potabile e di falda.

Punto di prelievo	Periodo	^{40}K (Bq/l)	^{60}Co (Bq/l)	^{131}I (Bq/l)	^{137}Cs (Bq/l)
14	febbraio	7.7E-01 (11%)	< 1.1E-02	< 1.1E-01	< 9.9E-03
29	marzo	1.1E+00 (10%)	< 6.4E-03	< 6.6E-02	< 5.6E-03
	settembre	1.2E+00 (9%)	< 7.9E-03	< 9.4E-02	< 7.5E-03
35	aprile	6.4E-01 (13%)	< 9.4E-03	< 4.9E-02	< 9.3E-03
	novembre	6.6E-01 (13%)	< 1.0E-02	< 7.1E-02	< 9.5E-03

Tabella 31 - Valori di concentrazione in termini di Bq/l di alfa totale e beta/gamma totale nei campioni di acqua superficiale del Fossetto Casaccia.

Punto di prelievo	Periodo	α_{tot} (Bq/l)	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/l)
28	gennaio	5.0E-02 (21%)	8.8E-01 (8%)
	febbraio	< 2.2E-02	2.8E-01 (8%)
	marzo	< 3.1E-02	2.9E-01 (8%)
	aprile	< 1.5E-02	2.8E-01 (8%)
	maggio	< 4.5E-02	7.3E-01 (8%)
	giugno	< 3.9E-02	8.2E-01 (8%)
	luglio	< 3.2E-02	9.5E-01 (8%)
	agosto	3.9E-02 (22%)	5.0E-01 (8%)
	settembre	< 2.8E-02	5.4E-01 (8%)
	ottobre	7.2E-02 (15%)	8.0E-01 (8%)
	novembre	4.6E-02 (23%)	7.9E-01 (8%)
	dicembre	5.7E-02 (20%)	6.8E-01 (8%)
34	gennaio	< 5.6E-02	4.8E-01 (8%)
	aprile	< 1.3E-02	2.0E-01 (8%)
	agosto	4.5E-02 (18%)	6.0E-01 (8%)
	dicembre	7.8E-02 (15%)	8.3E-01 (8%)

Tabella 32 - Valori di concentrazione in termini di Bq/l dei radionuclidi ^{40}K , ^{60}Co , ^{131}I e ^{137}Cs nei campioni di acqua superficiale del Fossetto della Casaccia.

Punto di prelievo	Periodo	^{40}K (Bq/l)	^{60}Co (Bq/l)	^{131}I (Bq/l)	^{137}Cs (Bq/l)
28	gennaio	6.8E-01 (10%)	< 7.0E-03	< 1.3E-01	< 6.5E-03
	febbraio	5.0E-01 (14%)	< 4.7E-03	< 1.0E-01	< 4.3E-03
	marzo	2.1E-01 (21%)	< 5.8E-03	< 1.3E-01	< 5.8E-03
	aprile	4.6E-01 (10%)	< 4.0E-03	< 1.2E-01	< 3.4E-03
	maggio	7.0E-01 (10%)	< 4.3E-03	< 1.2E-01	< 3.7E-03
	giugno	5.9E-01 (11%)	< 6.0E-03	< 9.4E-02	< 5.9E-03
	luglio	6.1E-01 (11%)	< 6.9E-03	< 9.4E-02	< 6.3E-03
	agosto	7.4E-01 (9%)	< 4.8E-03	< 1.1E-01	< 4.6E-03
	settembre	6.9E-01 (9%)	< 4.7E-03	< 1.2E-01	< 4.5E-03
	ottobre	5.7E-01 (11%)	< 6.4E-03	< 9.7E-02	< 6.0E-03
	novembre	6.0E-01 (9%)	< 6.9E-03	< 1.0E-01	< 6.4E-03
	dicembre	7.7E-01 (10%)	< 6.9E-03	< 1.3E-01	< 6.5E-03
	I° semestre	5.8E-01 (9%)	< 1.3E-03	-	< 1.1E-03
	II° semestre	7.1E-01 (9%)	< 1.3E-03	-	< 1.2E-03
34	gennaio	4.5E-01 (15%)	< 7.2E-03	< 5.6E-02	< 7.2E-03
	aprile	< 1.3E-01	< 9.3E-03	< 7.5E-02	< 9.1E-03
	agosto	7.3E-01 (10%)	< 6.8E-03	< 8.3E-02	< 6.1E-03
	dicembre	1.2E+00 (9%)	< 7.0E-03	< 7.5E-02	< 6.5E-03

Tabella 33 - Valori di concentrazione in termini di Bq/l di Pu nei campioni di acqua superficiale prelevata nel punto n° 28 (Fossetto della Casaccia Sud).

Periodo	²³⁸ Pu (Bq/l)	²³⁹⁻²⁴⁰ Pu (Bq/l)
I° semestre	< 1.2E-06	< 1.2E-06
II° semestre	< 1.5E-06	< 1.9E-06

Tabella 34 - Valori di concentrazione in termini di Bq/l dei radionuclidi ^{40}K , ^{60}Co , ^{131}I e ^{137}Cs nei campioni di acqua reflua nel punto di prelievo n° 36.

Periodo	^{40}K (Bq/l)	^{60}Co (Bq/l)	^{131}I (Bq/l)	^{137}Cs (Bq/l)
1° settimana	< 1.6E+00	< 1.1E-01	< 5.5E-01	< 1.1E-01
2° settimana	< 2.0E+00	< 1.3E-01	< 1.8E-01	< 1.4E-01
3° settimana	1.2E+00 (30%)	< 8.5E-02	< 1.5E-01	< 8.6E-02
4° settimana	< 1.4E+00	< 1.2E-01	< 2.1E-01	< 1.3E-01
5° settimana	< 1.4E+00	< 1.3E-01	< 2.1E-01	< 1.3E-01
6° settimana	< 1.4E+00	< 1.3E-01	< 2.0E-01	< 1.3E-01
7° settimana	< 1.8E+00	< 1.3E-01	< 2.5E-01	< 1.4E-01
8° settimana	< 1.5E+00	< 1.1E-01	< 2.1E-01	< 1.1E-01
9° settimana	< 1.0E+00	< 8.6E-02	< 1.4E-01	< 8.4E-02
10° settimana	< 1.5E+00	< 1.1E-01	< 2.1E-01	< 1.1E-01
11° settimana	< 1.8E+00	< 1.3E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
12° settimana	< 1.8E+00	< 1.3E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
13° settimana	< 1.8E+00	< 1.3E-01	< 2.5E-01	< 1.4E-01
14° settimana	< 1.8E+00	< 1.4E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
15° settimana	< 1.5E+00	< 1.2E-01	< 2.0E-01	< 1.3E-01
16° settimana	< 1.0E+00	< 8.7E-02	< 1.5E-01	< 8.4E-02
17° settimana	< 1.8E+00	< 1.3E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
18° settimana	1.2E+00 (29%)	< 8.7E-02	< 1.5E-01	< 8.1E-02
19° settimana	< 2.0E+00	< 1.3E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
20° settimana	< 2.0E+00	< 1.3E-01	< 2.5E-01	< 1.4E-01
21° settimana	< 8.8E-01	< 7.4E-02	< 9.9E-02	< 6.7E-02
22° settimana	< 1.8E+00	< 1.3E-01	< 2.3E-01	< 1.4E-01
23° settimana	< 1.8E+00	< 1.3E-01	< 2.5E-01	< 1.4E-01
24° settimana	< 2.0E+00	< 1.4E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
25° settimana	< 1.8E+00	< 1.3E-01	< 2.1E-01	< 1.2E-01
26° settimana	< 2.0E+00	< 1.3E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
27° settimana	< 1.0E+00	< 8.7E-02	< 1.5E-01	< 8.5E-02
28° settimana	< 2.0E+00	< 1.3E-01	< 2.5E-01	< 1.4E-01
29° settimana	< 2.0E+00	< 1.3E-01	< 2.5E-01	< 1.4E-01
30° settimana	< 1.8E+00	< 1.3E-01	< 1.2E-01	< 1.2E-01
31° settimana	1.0E+00 (27%)	< 7.7E-02	< 1.2E-01	< 6.6E-02
32° settimana	-	-	-	-
33° settimana	-	-	-	-
34° settimana	< 2.0E+00	< 1.4E-01	< 2.4E-01	< 1.4E-01
35° settimana	< 2.0E+00	< 1.4E-01	< 2.7E-01	< 1.4E-01
36° settimana	< 2.0E+00	< 1.3E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
37° settimana	< 1.5E+00	< 1.3E-01	< 2.1E-01	< 1.3E-01
38° settimana	< 1.6E+00	< 1.3E-01	< 2.1E-01	< 1.3E-01
39° settimana	< 2.6E+00	< 1.4E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
40° settimana	< 1.9E+00	< 1.3E-01	< 1.4E-01	< 1.4E-01
41° settimana	< 1.8E+00	< 1.4E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
42° settimana	< 2.0E+00	< 1.3E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
43° settimana	1.1E+00 (28%)	< 7.6E-02	< 1.2E-01	< 7.0E-02
44° settimana	< 9.0E-01	< 7.8E-02	< 1.4E-01	< 6.9E-02
45° settimana	< 9.7E-01	< 7.6E-02	< 1.3E-01	< 7.0E-02
46° settimana	< 1.8E+00	< 1.3E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
47° settimana	< 2.0E+00	< 1.4E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
48° settimana	< 2.0E+00	< 1.3E-01	< 2.8E-01	< 1.4E-01
49° settimana	< 2.0E+00	< 1.4E-01	< 2.7E-01	< 1.4E-01
50° settimana	< 1.9E+00	< 1.4E-01	< 2.6E-01	< 1.4E-01
51° settimana	-	-	-	-
52° settimana	-	-	-	-

10 MATRICE TERRENO E SEDIMENTO

10.1 Modalità di prelievo

Il terreno è campionato annualmente in ciascuno degli 8 settori nei quali è stato ripartito il sito Casaccia (si vedano le già citate Figura 2 e Figura 11), per un totale di 8 prelievi annui. Ogni campionamento viene effettuato ad una distanza compresa tra 500 m e 1500 m dal C.R. Casaccia, sullo strato superficiale per mezzo di una dima di area pari a $25 \times 20 \text{ cm}^2$ e spessore 10 cm, mostrata in Figura 23.



Figura 23 - Campionamento di terreno effettuato per mezzo di una dima di area $25 \times 20 \text{ cm}^2$ e spessore 10 cm.

I sedimenti, invece, sono campionati mensilmente a valle degli scarichi del C.R. Casaccia (punto di prelievo n° 28, Fossetto della Casaccia Sud) ovvero in prossimità degli scarichi degli effluenti liquidi. Inoltre con frequenza trimestrale sono effettuati prelievi di sedimenti a monte del C.R. Casaccia (punto di prelievo n° 34, Fossetto della Casaccia Nord) mentre con frequenza semestrale presso la Foce Arrone (punto di prelievo FA).

10.2 Modalità di misura

Prima di qualsiasi determinazione, dalla matrice considerata vengono rimosse le parti grossolane indesiderate.

La determinazione della concentrazione in attività di alfa totale e beta/gamma totale nella matrice è effettuata previ processo di essiccazione e setacciamento e successivo deposito su piattelli inox in strati non superiori a 1 mg/cm² e 10 mg/cm² rispettivamente.

La spettrometria gamma è effettuata previa essiccazione (eccetto per il sedimento la cui misura è eseguita tal quale).

La spettrometria alfa è effettuata sul campione composito di massa generalmente pari a 10 g, previa essiccazione, separazione chimica e conseguente elettrodeposizione su piattello. Per i terreni ogni campione è composto da 2 prelievi, per un totale di 4 campioni compositi; per i sedimenti del Fossetto Sud (punto di prelievo n° 28) ogni campione è composto da 6 prelievi per un totale di 2 campioni compositi (uno per ogni semestre); per i sedimenti del Fossetto Nord (punto di prelievo n° 34) e della Foce Arrone (punto di prelievo FA) il campione è composto da tutti i prelievi effettuati.

10.3 Risultati

I risultati delle misure sono riportati in Tabella 35, Tabella 36 e Tabella 37 per i campioni di terreno e in Tabella 38, Tabella 39 e Tabella 40 per i campioni di sedimento.

I valori di concentrazione riportati in tutte le tabelle, eccetto per la Tabella 39, sono normalizzati alla massa del campione dopo l'operazione di essiccazione; tale operazione è necessaria per garantire la conservazione del campione per periodi lunghi di tempo e per assicurare la possibilità di ripetere misure o analisi qualora fosse necessario. Il rapporto risultante tra la massa del campione tal quale e quella dopo il processo di essiccazione ($\text{kg}_{\text{fresco}}/\text{kg}_{\text{secco}}$) è riportato in Tabella 35 per i campioni di terreno e in Tabella 38 per i campioni di sedimento.

Tabella 35 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di alfa totale e beta/gamma totale nel terreno campionato negli otto settori del Sito Casaccia.

Punto di prelievo	Periodo	kg _{fresco} /kg _{secco}	α_{tot} (Bq/kg _{secco})	β/γ_{tot} (Bq/kg _{secco})
1° settore	aprile	1.27	3.8E+02 (21%)	1.4E+03 (8%)
2° settore	aprile	1.13	5.8E+02 (20%)	2.3E+03 (8%)
3° settore	maggio	1.23	< 1.5E+02	1.3E+03 (8%)
4° settore	maggio	1.27	3.1E+02 (22%)	1.6E+03 (8%)
5° settore	ottobre	2.91	9.1E+02 (19%)	1.5E+03 (8%)
6° settore	ottobre	1.19	1.2E+03 (19%)	2.0E+03 (8%)
7° settore	novembre	1.22	3.4E+02 (21%)	1.7E+03 (8%)
8° settore	novembre	1.28	7.4E+02 (19%)	2.3E+03 (8%)

Tabella 36 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di ⁴⁰K, ⁶⁰Co e ¹³⁷Cs nel terreno campionato negli otto settori del Sito Casaccia.

Punto di prelievo	Periodo	⁴⁰ K (Bq/kg _{secco})	⁶⁰ Co (Bq/kg _{secco})	¹³⁷ Cs (Bq/kg _{secco})
1° settore	aprile	6.7E+02 (8%)	< 3.6E-01	8.5E-01 (8%)
2° settore	aprile	1.4E+03 (12%)	< 2.6E-01	4.0E+00 (6%)
3° settore	maggio	6.1E+02 (8%)	< 3.3E-01	9.8E-01 (8%)
4° settore	maggio	5.7E+02 (12%)	< 2.7E-01	6.0E+00 (6%)
5° settore	ottobre	4.0E+02 (7%)	< 3.2E-01	2.3E+00 (5%)
6° settore	ottobre	4.5E+02 (7%)	< 2.8E-01	< 3.1E-01
7° settore	novembre	8.0E+02 (7%)	< 3.5E-01	1.0E+00 (7%)
8° settore	novembre	1.5E+03 (7%)	< 3.2E-01	2.3E+00 (6%)

Tabella 37 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di Pu nei campioni compositi di terreno prelevato negli otto settori del Sito Casaccia.

Punto di Prelievo	²³⁸ Pu (Bq/kg _{secco})	²³⁹⁻²⁴⁰ Pu (Bq/kg _{secco})
1°e 2° settore (composito)	< 1.2E-02	2.3E-02 (26%)
3°e 4° settore (composito)	< 2.4E-02	3.8E-02 (24%)
5°e 6° settore (composito)	< 1.8E-02	9.7E-02 (18%)
7°e 8° settore (composito)	< 1.8E-02	5.9E-02 (22%)

Tabella 38 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di alfa totale e beta/gamma totale nel sedimento campionato.

Punto di prelievo	Periodo	kg _{fresco} /kg _{secco}	α_{tot} (Bq/kg _{secco})	β/γ_{tot} (Bq/kg _{secco})
28	gennaio	1.38	2.3E+02 (23%)	1.3E+03 (8%)
	febbraio	1.41	< 1.5E+02	1.3E+03 (8%)
	marzo	1.33	< 1.6E+02	1.2E+03 (8%)
	aprile	1.26	< 1.2E+02	8.9E+02 (8%)
	maggio	1.35	< 1.4E+02	1.1E+03 (8%)
	giugno	1.39	1.7E+02 (26%)	8.2E+02 (8%)
	luglio	1.51	1.7E+02 (26%)	8.7E+02 (8%)
	agosto	1.31	< 1.5E+02	9.2E+02 (8%)
	settembre	1.37	< 1.4E+02	1.0E+03 (8%)
	ottobre	1.39	9.2E+02 (19%)	2.0E+03 (8%)
	novembre	1.36	< 1.4E+02	1.8E+03 (8%)
	dicembre	2.78	2.1E+02 (25%)	9.0E+02 (8%)
34	gennaio	1.31	< 1.4E+02	1.2E+03 (8%)
	aprile	1.17	2.2E+02 (24%)	1.4E+03 (8%)
	agosto	1.31	< 1.3E+02	1.3E+03 (8%)
	dicembre	1.12	2.9E+02 (22%)	1.3E+03 (8%)
FA	giugno	1.34	4.4E+02 (20%)	5.6E+02 (8%)
	dicembre	1.67	< 1.2E+02	5.3E+02 (8%)

Tabella 39 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg di ⁶⁰Co, ¹³¹I e ¹³⁷Cs nel sedimento (campione tale quale).

Punto di prelievo	Periodo	⁶⁰ Co (Bq/kg)	¹³¹ I (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)
28	gennaio	< 1.4E-01	< 1.4E-01	1.4E+00 (7%)
	febbraio	< 1.4E-01	< 1.4E-01	1.0E+00 (7%)
	marzo	< 1.5E-01	< 1.2E-01	1.9E+00 (6%)
	aprile	< 1.6E-01	< 1.8E-01	2.0E+00 (6%)
	maggio	< 1.5E-01	< 1.2E-01	3.1E+00 (6%)
	giugno	< 1.5E-01	3.7E+00 (10%)	2.0E+00 (6%)
	luglio	< 1.5E-01	2.2E+00 (6%)	1.8E+00 (6%)
	agosto	< 1.6E-01	1.6E-01 (23%)	1.4E+00 (6%)
	settembre	< 2.0E-01	< 2.1E-01	2.2E+00 (6%)
	ottobre	< 1.6E-01	< 1.7E-01	2.9E+00 (6%)
	novembre	< 2.2E-01	< 2.3E-01	2.2E+00 (6%)
	dicembre	< 1.5E-01	< 1.4E-01	5.9E-01 (6%)
34	gennaio	< 2.4E-01	< 2.3E-01	6.8E-01 (7%)
	aprile	< 1.5E-01	< 1.2E-01	4.7E-01 (7%)
	agosto	< 1.9E-01	< 1.9E-01	4.6E-01 (8%)
	dicembre	< 1.9E-01	< 2.0E-01	4.1E-01 (7%)
FA	giugno	< 8.0E-02	< 5.7E-02	2.2E-01 (8%)
	dicembre	< 9.5E-02	< 9.8E-02	4.9E-01 (6%)

Tabella 40 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di Pu nel sedimento campionato.

Punto di Prelievo	²³⁸ Pu (Bq/kg _{secco})	²³⁹⁻²⁴⁰ Pu (Bq/kg _{secco})
28 (composito I° semestre)	< 1.3E-02	2.7E-02 (25%)
28 (composito II° semestre)	< 1.3E-02	3.7E-02 (22%)
34 (composito annuale)	< 1.2E-02	< 1.2E-02
FA (composito annuale)	< 1.4E-02	6.5E-02 (19%)

10.4 Approfondimento

La già citata Tabella 39 indica, per il punto di prelievo n. 28 (Fossetto della Casaccia Sud), per il mese di giugno un valore di concentrazione di ¹³¹I nel sedimento campionato pari a 3.7 Bq/kg. Nello specifico tale valore è stato riscontrato in data 26 giugno.

In assenza di ulteriori riscontri di altri radionuclidi nelle matrici campionate, tale presenza di ¹³¹I nel sedimento è da imputare allo scarico derivante da persone sottoposte ad indagini di tipo clinico e/o terapeutico. Ben consapevoli di ciò, sono comunque stati effettuati ulteriori prelievi con cadenza settimanale del sedimento presso il punto di prelievo n. 28 per osservare sia l'ordine di grandezza sia l'andamento degli eventuali valori riscontrati di ¹³¹I. I risultati di tali prelievi sono riportati nella Tabella 41.

Tabella 41 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg di ¹³¹I nel sedimento campionato settimanalmente in seguito alla contaminazione di ¹³¹I pari a 3.7 Bq/kg riscontrata in data 26 giugno nel sedimento del punto di prelievo n.28.

Punto di prelievo	Data	¹³¹ I (Bq/kg)
28	26 giugno	3.7E+00 (10%)
	4 luglio	2.2E+00 (6%)
	12 luglio	1.1E+00 (7%)
	20 luglio	4.8E-01 (10%)
	27 luglio	1.0E-01 (24%)
	2 agosto	1.6E-01 (23%)

I risultati delle misure riportati in Tabella 41 mostrano che il valore di picco risulta essere proprio il valore riscontrato in data 26 giugno (3.7 Bq/kg), mentre gli altri cinque valori settimanali (quelli in data 4 luglio e in data 2 agosto sono stati già mostrati nella già citata Tabella 39) decadono seguendo la legge esponenziale del decadimento del ¹³¹I.

11 MATRICE FORAGGIO, ORTAGGI E CEREALI

11.1 Modalità di prelievo

Il campionamento di erba e foraggio, analogamente a quello del terreno, è eseguito annualmente in ciascuno degli otto settori nei quali è stato ripartito il sito Casaccia (si vedano le già citate Figura 2 e Figura 11) per un totale di otto prelievi annui. Ogni campionamento è effettuato ad una distanza compresa tra 500 m e 1500 m dal C.R. Casaccia; per tale matrice la superficie di campionamento può variare (da 0.25 m² fino a 1.0 m²) in base alla quantità di vegetale presente ed è funzione degli andamenti stagionali di crescita.

Diversamente, i campioni di ortaggi e cereali sono prelevati nelle varie fattorie nelle aree di produzione limitrofe al C.R. Casaccia, avendo cura di rispettare la massima rappresentatività del sito.

Per un confronto diretto, presso l'Azienda Agricola La Muccheria (Via del Fosso dell'Olgiate, Roma) sono stati eseguiti due prelievi di ortaggi con cadenza semestrale. Essendo tale azienda localizzata ad una distanza superiore ai 5 km dal C.R. Casaccia, e pertanto al di fuori della Rete di Sorveglianza Ambientale, tale campione è considerato come bianco (punto zero).

11.2 Modalità di misura

Prima di qualsiasi determinazione, i campioni vengono mondati (per gli ortaggi si esegue anche la rimozione delle parti non commestibili), tritati ed essiccati.

La determinazione della concentrazione in attività di alfa totale e beta/gamma totale nella matrice è effettuata previo deposito su piattelli inox in strati non superiori a 1 mg/cm² e 10 mg/cm² rispettivamente.

La spettrometria gamma è effettuata sul campione dopo il processo di essiccazione.

La spettrometria alfa è effettuata sulla matrice di massa generalmente pari a 0.5 kg per il foraggio e gli ortaggi e 0.25 kg per i cereali, previa separazione chimica e conseguente elettrodeposizione su piattello.

Lo ⁹⁰Sr viene determinato per via indiretta misurando il decadimento del radionuclide figlio ⁹⁰Y, tramite conteggio beta totale. La misura, e quindi la determinazione del radionuclide, è effettuata previa eluizione dalle resine, due precipitazioni del ⁹⁰Y effettuate a distanza di almeno venti giorni l'una dall'altra e deposito del risultato della seconda precipitazione su piattello inox.

11.3 Risultati

I risultati delle misure sono riportati in Tabella 42, Tabella 43, Tabella 44 e Tabella 45 per i campioni di erba e foraggio, in Tabella 46, Tabella 47, Tabella 48 e Tabella 49 per i vari ortaggi analizzati e in Tabella 50, Tabella 51, Tabella 52 e Tabella 53 per i campioni di cereali.

I valori di concentrazione riportati in tutte le tabelle sono normalizzati alla massa del campione dopo l'operazione di essiccazione; tale operazione è necessaria per garantire la conservazione del campione per periodi lunghi di tempo e per assicurare la possibilità di ripetere alcune misure o analisi qualora fosse necessario. Il rapporto risultante tra la massa del campione tal quale e quella dopo il processo di essiccazione ($\text{kg}_{\text{fresco}}/\text{kg}_{\text{secco}}$) è riportato in Tabella 42 per i campioni di erba e foraggio, in Tabella 46 per i vari ortaggi e in Tabella 50 per i campioni di cereali.

Tabella 42 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di alfa totale e beta/gamma totale nei campioni di Erba e Foraggio.

Punto di prelievo	Periodo	$\text{kg}_{\text{fresco}}/\text{kg}_{\text{secco}}$	α_{tot} (Bq/kg _{secco})	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/kg _{secco})
1° settore	aprile	5.13	< 2.2E+01	1.1E+03 (8%)
2° settore	aprile	4.45	< 1.9E+01	1.1E+03 (8%)
3° settore	maggio	3.81	< 1.1E+01	5.2E+02 (8%)
4° settore	maggio	3.09	1.7E+01 (25%)	5.7E+02 (8%)
5° settore	ottobre	4.66	4.6E+01 (22%)	1.4E+03 (8%)
6° settore	ottobre	4.71	1.8E+01 (23%)	7.1E+02 (8%)
7° settore	novembre	7.12	5.6E+01 (21%)	1.4E+03 (8%)
8° settore	novembre	6.78	< 1.0E+01	8.1E+02 (8%)

Tabella 43 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di ^{40}K , ^{60}Co e ^{137}Cs nei campioni di Erba e Foraggio.

Punto di prelievo	Periodo	^{40}K (Bq/kg _{secco})	^{60}Co (Bq/kg _{secco})	^{137}Cs (Bq/kg _{secco})
1° settore	aprile	8.9E+02 (8%)	< 8.4E-01	< 7.4E-01
2° settore	aprile	6.8E+02 (8%)	< 5.8E-01	< 4.5E-01
3° settore	maggio	6.4E+02 (8%)	< 7.4E-01	< 6.9E-01
4° settore	maggio	3.6E+02 (8%)	< 6.8E-01	8.2E-01 (20%)
5° settore	ottobre	1.4E+03 (7%)	< 9.4E-01	< 8.0E-01
6° settore	ottobre	1.0E+03 (7%)	< 8.6E-01	1.9E+00 (11%)
7° settore	novembre	9.8E+02 (7%)	< 6.7E-01	< 6.3E-01
8° settore	novembre	1.2E+03 (7%)	< 7.4E-01	< 6.5E-01

Tabella 44 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di ⁹⁰Sr nei campioni di Erba e Foraggio.

Periodo	Punto di prelievo	⁹⁰ Sr (Bq/kg _{secco})
1° settore	aprile	9.9E-01 (14%)
2° settore	aprile	< 1.9E-01
3° settore	maggio	< 1.3E-01
4° settore	maggio	< 1.5E-01
5° settore	ottobre	4.1E-01 (15%)
6° settore	ottobre	8.9E-01 (19%)
7° settore	novembre	1.7E+00 (11%)
8° settore	novembre	9.2E-01 (13%)

Tabella 45 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di Pu nei campioni di Erba e Foraggio.

Punto di Prelievo	Prelievo	²³⁸ Pu (Bq/kg _{secco})	²³⁹⁻²⁴⁰ Pu (Bq/kg _{secco})
1° settore	aprile	< 4.9E-04	1.1E-03 (27%)
2° settore	aprile	< 1.2E-03	< 1.2E-03
3° settore	maggio	< 2.8E-03	< 2.8E-03
4° settore	maggio	< 3.1E-04	5.8E-04 (30%)
5° settore	ottobre	< 2.1E-03	< 1.9E-03
6° settore	ottobre	< 8.3E-04	< 8.3E-04
7° settore	novembre	< 9.0E-04	2.4E-03 (25%)
8° settore	novembre	< 1.0E-03	1.6E-03 (31%)

Tabella 46 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di alfa totale e beta/gamma totale negli Ortaggi.

Periodo	Specie	kg _{fresco} /kg _{secco}	α _{tot} (Bq/kg _{secco})	β/γ _{tot} (Bq/kg _{secco})
giugno	zucchine	26.4	< 1.9E+01	1.5E+03 (8%)
giugno	zucchine	23.4	< 1.9E+01	1.3E+03 (8%)
luglio	zucchine	19.2	< 2.1E+01	1.7E+03 (8%)
novembre	bieta	13.6	< 2.2E+01	1.1E+03 (8%)
novembre	broccoletti	8.43	3.6E+01 (23%)	1.4E+03 (8%)
dicembre	broccoli	10.6	< 1.1E+01	1.1E+03 (8%)
luglio	melanzane (punto zero)	10.6	< 1.5E+01	1.2E+03 (8%)
dicembre	cavolo nero (punto zero)	13.0	1.1E+01 (29%)	1.1E+03 (8%)

Tabella 47 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di ⁴⁰K, ⁶⁰Co e ¹³⁷Cs negli Ortaggi.

Periodo	Specie	⁴⁰ K (Bq/kg _{secco})	⁶⁰ Co (Bq/kg _{secco})	¹³⁷ Cs (Bq/kg _{secco})
giugno	zucchine	2.0E+03 (8%)	< 5.1E-01	< 3.5E-01
giugno	zucchine	1.9E+03 (8%)	< 4.5E-01	< 3.0E-01
luglio	zucchine	2.4E+03 (7%)	< 5.0E-01	< 3.5E-01
novembre	bieta	1.5E+03 (7%)	< 7.4E-01	< 5.9E-01
novembre	broccoletti	1.3E+03 (7%)	< 4.6E-01	< 3.7E-01
dicembre	broccoli	1.3E+03 (7%)	< 3.8E-01	< 3.0E-01
luglio	melanzane (punto zero)	1.2E+03 (8%)	< 7.1E-01	< 6.2E-01
dicembre	cavolo nero (punto zero)	1.5E+03 (8%)	< 8.4E-01	< 6.7E-01

Tabella 48 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di ⁹⁰Sr negli Ortaggi.

Periodo	Specie	⁹⁰ Sr (Bq/kg _{secco})
giugno	zucchine	< 8.5E-01
giugno	zucchine	< 1.1E+00
luglio	zucchine	< 1.1E+00
novembre	bieta	5.7E-01 (20%)
novembre	broccoletti	9.2E-01 (14%)
dicembre	broccoli	2.5E+00 (14%)
luglio	melanzane (punto zero)	< 4.6E-01
dicembre	cavolo nero (punto zero)	< 6.6E-01

Tabella 49 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di Pu negli Ortaggi.

Periodo	Specie	²³⁸ Pu (Bq/kg _{secco})	²³⁹⁻²⁴⁰ Pu (Bq/kg _{secco})
giugno	zucchine	< 2.5E-03	< 2.5E-03
giugno	zucchine	< 2.3E-03	< 2.3E-03
luglio	zucchine	< 2.9E-03	< 2.9E-03
novembre	bieta	< 2.6E-03	< 2.6E-03
novembre	broccoletti	< 2.7E-03	3.3E-03 (34%)
dicembre	broccoli	< 1.3E-03	< 1.3E-03
luglio	melanzane (punto zero)	< 1.3E-03	< 1.3E-03
dicembre	cavolo nero (punto zero)	< 1.7E-03	< 1.7E-03

Tabella 50 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di alfa totale e beta/gamma totale nei campioni di Cereali.

Punto di prelievo	Periodo	Specie	kg _{fresco} /kg _{secco}	α_{tot} (Bq/kg _{secco})	$\beta/\gamma_{\text{tot}}$ (Bq/kg _{secco})
1° settore	settembre	mais	3.00	2.9E+00 (24%)	2.5E+02 (8%)
2° settore	giugno	grano	1.04	< 1.2E+01	1.9E+02 (8%)
5° settore	luglio	grano	1.05	< 9.9E+00	4.3E+02 (8%)
7° settore	giugno	grano	1.03	< 1.1E+01	3.6E+02 (8%)
8° settore	giugno	grano	1.07	< 9.3E+00	1.9E+02 (8%)
p.p. 33	settembre	mais	2.13	< 2.4E+00	1.7E+02 (8%)

Tabella 51 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di ⁴⁰K, ⁶⁰Co e ¹³⁷Cs nei campioni di Cereali.

Punto di Prelievo	Periodo	Specie	⁴⁰ K (Bq/kg _{secco})	⁶⁰ Co (Bq/kg _{secco})	¹³⁷ Cs (Bq/kg _{secco})
1° settore	settembre	mais	3.1E+02 (8%)	< 3.6E-01	< 3.0E-01
2° settore	giugno	grano	1.3E+02 (8%)	< 1.2E-01	< 1.1E-01
5° settore	luglio	grano	1.6E+02 (8%)	< 1.3E-01	< 7.5E-02
7° settore	giugno	grano	1.7E+02 (7%)	< 1.1E-01	2.2E-01 (11%)
8° settore	giugno	grano	1.5E+02 (12%)	< 1.0E-01	3.0E-01 (8%)
p.p. 33	settembre	mais	2.0E+02 (7%)	< 1.3E-01	< 1.2E-01

Tabella 52 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di ⁹⁰Sr nei campioni di Cereali.

Punto di prelievo	Periodo	Specie	⁹⁰ Sr (Bq/kg _{secco})
1° settore	settembre	mais	< 2.7E-01
2° settore	giugno	grano	< 1.0E-01
5° settore	luglio	grano	< 1.5E-01
7° settore	giugno	grano	< 1.4E-01
8° settore	giugno	grano	< 1.4E-01
p.p. 33	settembre	mais	< 3.2E-01

Tabella 53 - Valori di concentrazione in termini di Bq/kg_{secco} di Pu nei campioni di Cereali.

Punto di prelievo	Periodo	Specie	²³⁸ Pu (Bq/kg _{secco})	²³⁹⁻²⁴⁰ Pu (Bq/kg _{secco})
1° settore	settembre	mais	< 1.1E-03	< 1.1E-03
2° settore	giugno	grano	< 3.1E-04	< 3.1E-04
5° settore	luglio	grano	< 3.4E-04	< 3.4E-04
7° settore	giugno	grano	< 6.0E-04	< 6.0E-04
8° settore	giugno	grano	< 3.4E-04	< 3.4E-04
p.p. 33	settembre	mais	< 4.7E-04	< 4.7E-04

12 MATRICE LATTE

12.1 Modalità di prelievo

I campioni di latte vengono prelevati con frequenza mensile a rotazione nelle fattorie produttrici distribuite intorno al Centro, identificate con i punti n° 14, n° 30, n° 33 (il nominativo e la localizzazione delle fattorie sono riportati nella già citata Tabella 15). Pertanto i prelievi nelle singole fattorie sono effettuati con frequenza trimestrale.

Per un confronto diretto, presso la Fattoria La Torre (strada di Stracciacappe) identificata con il punto di prelievo n° 26, si eseguono due prelievi con cadenza semestrale. Essendo tale fattoria localizzata ad una distanza superiore ai 5 km dal C.R. Casaccia, e pertanto al di fuori della Rete di Sorveglianza Ambientale, tale campione è considerato come bianco (punto zero).

12.2 Modalità di misura

La spettrometria gamma è effettuata sul campione tal quale. Per una migliore valutazione del ^{137}Cs (e del ^{40}K) è effettuata una seconda spettrometria gamma previo trattamento con resina a scambio ionico.

Lo ^{90}Sr viene determinato per via indiretta misurando il decadimento del radionuclide figlio ^{90}Y , tramite conteggio beta totale. La misura, e quindi la determinazione del radionuclide, è effettuata previ trattamento con resina a scambio ionico, eluizione dalle resine, due precipitazioni del ^{90}Y effettuate a distanza di almeno venti giorni l'una dall'altra e deposito del risultato della seconda precipitazione su piattello inox.

12.3 Risultati

I risultati sono riportati in Tabella 54 e Tabella 55.

Tabella 54 - Valori di concentrazione in termini di Bq/l di ^{40}K , ^{131}I e ^{137}Cs nel Latte.

Punto di prelievo	Periodo	^{40}K (Bq/l)	^{131}I (Bq/l)	^{137}Cs (Bq/l)
30	gennaio	5.0E+01 (9%)	< 1.0E-01	7.5E-02 (10%)
14	febbraio	5.1E+01 (9%)	< 7.7E-02	1.4E-02 (24%)
33	marzo	4.8E+01 (13%)	< 1.0E-01	< 2.1E-02
30	aprile	4.9E+01 (9%)	< 1.0E-01	< 2.1E-02
14	maggio	5.1E+01 (9%)	< 1.1E-01	< 2.1E-02
33	giugno	4.4E+01 (9%)	< 4.9E-02	< 2.0E-02
30	luglio	4.7E+01 (9%)	< 4.9E-02	3.7E-02 (11%)
14	agosto	5.0E+01 (9%)	< 1.0E-01	1.1E-01 (9%)
33	settembre	5.1E+01 (9%)	< 1.0E-01	< 1.3E-02
30	ottobre	4.6E+01 (9%)	< 1.0E-01	4.2E-02 (13%)
14	novembre	5.3E+01 (9%)	< 7.2E-02	1.7E-02 (30%)
33	dicembre	5.1E+01 (9%)	< 6.8E-02	1.1E-02 (28%)
26	marzo	4.8E+01 (9%)	< 5.0E-02	< 1.1E-02
	settembre	5.9E+01 (9%)	< 6.8E-02	< 1.3E-02

Tabella 55 - Valori di concentrazione in termini di Bq/l di ^{90}Sr nel Latte.

Punto di Prelievo	Periodo	^{90}Sr (Bq/l)
30	gennaio	8.2E-03 (15%)
14	febbraio	9.9E-03 (15%)
33	marzo	5.5E-03 (17%)
30	aprile	9.2E-03 (14%)
14	maggio	7.8E-03 (14%)
33	giugno	6.1E-03 (16%)
30	luglio	6.6E-03 (15%)
14	agosto	< 5.3E-03
33	settembre	6.7E-03 (17%)
30	ottobre	6.2E-03 (16%)
14	novembre	4.8E-03 (16%)
33	dicembre	< 3.1E-03
26	marzo	1.8E-02 (14%)
	settembre	< 5.9E-03

13 CONCLUSIONI

Nel corso dell'anno 2018, in ottemperanza a quanto previsto dall'art. 54 del D. Lgs. 230/95 e ss.mm.ii., è stata effettuata la Sorveglianza Ambientale intorno al C.R. Casaccia, mediante un complesso di misure, il cui numero e la cui tipologia sono indicati nella già citata Tabella 17.

I valori riscontrati di concentrazione della radioattività naturale (^7Be , ^{40}K) sono confrontabili con i normali valori di concentrazione di attività riscontrabili in Italia.

I valori delle misure eseguite nel corso dell'anno 2018 per la ricerca di radionuclidi antropogenici risultano coerenti con i valori riscontrati nell'ultimo decennio intorno al C.R. Casaccia. A supporto di ciò sono riportati per l'ultimo decennio (2009 – 2018):

- in Figura 24 le concentrazioni medie annuali in termini di Bq/m^3 di beta/gamma totale nell'aria campionata nei tre punti di prelievo del sito del C.R. Casaccia;
- in Figura 25 i valori annuali di equivalente di dose ambientale $H^*(10)$ in termini di mSv/anno nei punti n° 1, interno al Centro, e n° 14, esterno al Centro; entrambi i punti sono rappresentativi dell'andamento di equivalente di dose ambientale presso il C.R. Casaccia in quanto dislocati a Sud del camino di espulsione dell'impianto TRIGA RC-1 (prevalenza di venti provenienti da Nord come mostrato nelle già citate Figura 5 e Figura 7);
- in Figura 26 le concentrazioni annuali in termini di $\text{Bq/kg}_{\text{secco}}$ di ^{137}Cs nei terreni degli 8 settori del sito del C.R. Casaccia;
- in Figura 27 le concentrazioni medie annuali in termini di Bq/kg di ^{137}Cs nei sedimenti del Fossetto della Casaccia;
- in Figura 28 le concentrazioni annuali in termini di $\text{Bq/kg}_{\text{secco}}$ di ^{137}Cs e di ^{90}Sr nella bieta. I valori relativi all'anno 2010 e all'anno 2012 si riferiscono al radicchio e agli spinaci, rispettivamente;
- in Figura 29 e Figura 30 le concentrazioni medie annuali in termini di Bq/l di ^{137}Cs e di ^{90}Sr nel latte, rispettivamente, confrontate con il campione bianco prelevato all'esterno della Rete (punto zero).

I valori delle incertezze riportati nei grafici da Figura 24 a Figura 30, quando riferiti a concentrazioni medie annuali, sono stati valutati tramite la deviazione standard delle singole concentrazioni e di conseguenza non includono le incertezze associate alle singole misure.

I valori misurati di concentrazione di ^{90}Sr , ^{137}Cs e $^{239-240}\text{Pu}$ in aria (il rateo di inalazione per un adulto è pari a $0.93 \text{ m}^3/\text{h}$ [32]) e in alcuni ortaggi e cereali, ipotizzando che siano ad uso alimentare nelle quantità indicate in Tabella 56 [33], soddisfano globalmente i criteri di non rilevanza radiologica.

I valori misurati di concentrazione di alfa totale e beta/gamma totale nelle matrici analizzate sono imputabili principalmente alla radioattività ambientale, mentre i valori misurati di concentrazione di radionuclidi artificiali (^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239-240}\text{Pu}$) sono imputabili all'evento Chernobyl del maggio 1986, alla contaminazione residua dei test nucleari ad esso precedenti, nonché in alcuni casi agli scarichi liquidi effettuati da NUCLECO in questi anni e da ENEA in passato, avvenuti comunque nel rispetto di quanto previsto dagli organi di vigilanza nella formula di scarico [15] [34].

I valori di concentrazione di ^{131}I misurati nel sedimento campionato presso il Fossetto della Casaccia Sud sono dovuti, come già asserito, allo scarico derivante da persone sottoposte ad indagini di tipo clinico e/o terapeutico.

Inoltre i valori delle misure eseguite presso il Laboratorio IRP-SFA sono stati confrontati con i livelli notificabili sulle matrici aria, acqua e latte definiti sulla base del loro significato dal punto di vista dell'esposizione - indicati nell'Allegato III della raccomandazione Euratom 2000/473, riportati in Tabella 57 [35], e nell'Allegato III del D. Lgs. 28/2016, riportati in Tabella 58 [36] - risultando tutti inferiori o al massimo confrontabili. Nello specifico:

- per quanto riguarda il particolato atmosferico raccolto nel corso dell'intero anno solare, il valore massimo di concentrazione riscontrato di beta/gamma totale di radioattività artificiale è risultato essere pari a $4.2\text{E-}03 \text{ Bq/m}^3$ (livello notificabile $5\text{E-}03 \text{ Bq/m}^3$), valore registrato nel mese di ottobre nel punto di prelievo n° 15. Per quanto riguarda il ^{137}Cs , non si sono rilevati valori di concentrazione superiori all'MDC pari a $3.6\text{E-}06 \text{ Bq/m}^3$ (livello notificabile $3\text{E-}02 \text{ Bq/m}^3$).
- Per quanto riguarda l'acqua superficiale, il valore massimo di concentrazione riscontrato di beta/gamma residuo (ovvero attività beta totale scorporata del contributo del ^{40}K) è risultato essere pari a $4.1\text{E-}01 \text{ Bq/l}$ (livello notificabile per acque di scorrimento $6\text{E-}01 \text{ Bq/l}$), valore registrato nel mese di luglio nel punto di prelievo n° 28, mentre non si sono rilevati valori di concentrazione di ^{137}Cs superiori all'MDC pari a $9.1\text{E-}03 \text{ Bq/l}$ (livello notificabile per acque di scorrimento $1\text{E+}00 \text{ Bq/l}$).
- Per quanto riguarda l'acqua potabile e di falda, i valori di concentrazione di beta/gamma totale (valore massimo pari a $8.0\text{E-}01 \text{ Bq/l}$) risultano confrontabili o leggermente superiori al livello notificabile indicato nel D. Lgs. 28/2016 ($5.0\text{E-}01 \text{ Bq/l}$) [36]. Tale livello notificabile risulta più stringente di quello indicato nella Direttiva 2013/51/Euratom ($1.0\text{E+}00 \text{ Bq/l}$) [37] recepita dallo Stato Italiano con il citato D. Lgs.. Tuttavia, secondo l'indicazione riportata nella Figura 9.2 delle Linee Guida WHO per la qualità dell'acqua potabile [38], non è stata intrapresa alcuna azione a riguardo in quanto i valori riscontrati risultano riconducibili quasi esclusivamente al

contributo del ^{40}K , come evidenziato nella relativa misura di spettrometria gamma (si veda la già citata Tabella 30). Inoltre non si sono rilevati valori di concentrazione di alfa totale superiori all'MDC pari a $5.1\text{E-}02$ (livello notificabile $1\text{E-}01$ Bq/l), e di ^{137}Cs superiori all'MDC pari a $9.9\text{E-}03$ Bq/l (livello notificabile $1\text{E-}01$ Bq/l).

- Per quanto riguarda il latte, il valore massimo di concentrazione riscontrato di ^{137}Cs è risultato essere pari a $1.1\text{E-}01$ Bq/l (livello notificabile $5\text{E-}01$ Bq/l), valore registrato nel mese di agosto nel punto di prelievo n° 14, mentre il valore massimo di concentrazione riscontrato di ^{90}Sr è risultato essere pari a $1.8\text{E-}02$ Bq/l (livello notificabile $2\text{E-}01$ Bq/l), valore registrato nel mese di marzo nel punto di prelievo n° 26 (punto zero).

Pertanto, globalmente, i dati di sorveglianza ambientale illustrati nei capitoli precedenti indicano che le attività svolte durante il corso dell'anno 2018 all'interno del C.R. Casaccia non hanno determinato un incremento di dose alla popolazione limitrofa.

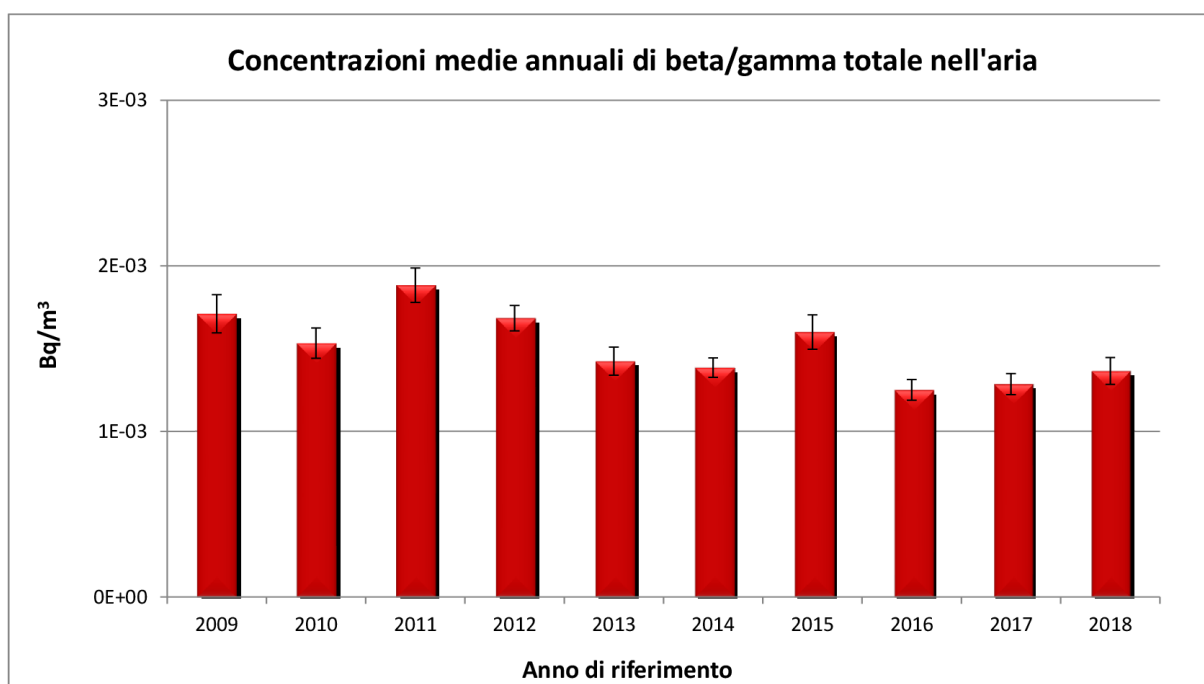


Figura 24 - Concentrazioni medie annuali in termini di Bq/m³ di beta/gamma totale nell'aria campionata nei tre punti di prelievo del sito del C.R. Casaccia nell'ultimo decennio (anni 2009 - 2018).

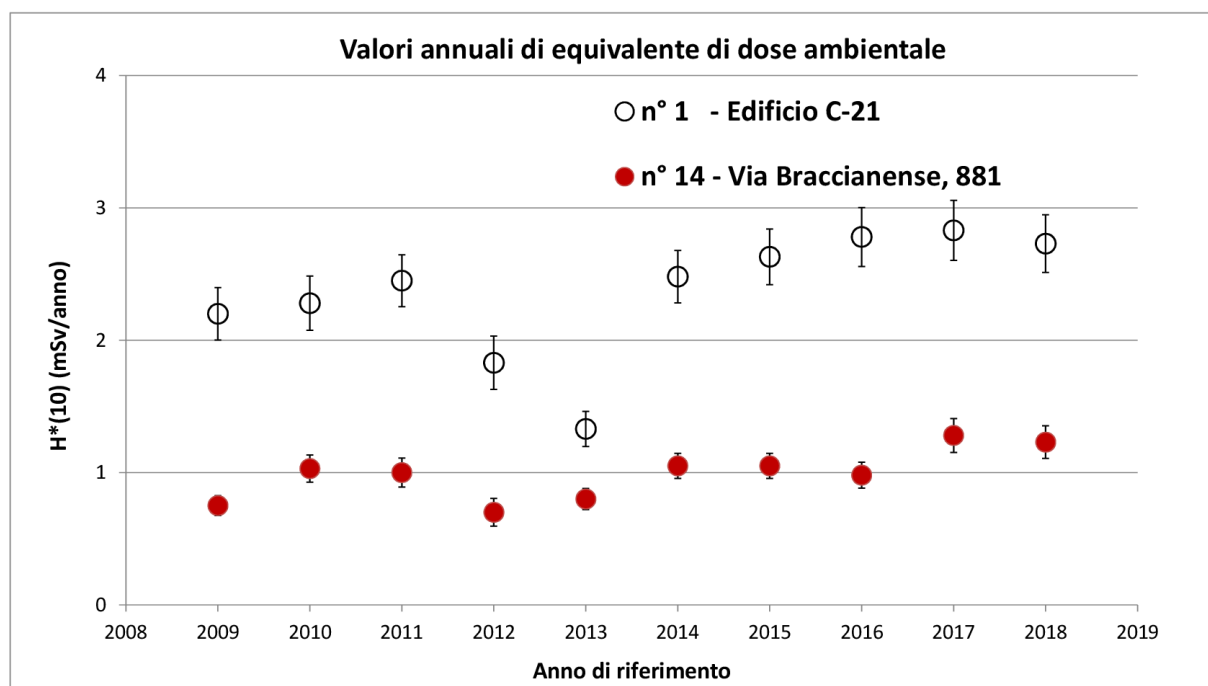


Figura 25 - Valori annuali di equivalente di dose ambientale $H^*(10)$ in termini di mSv/anno nel punto n° 1 della rete, interno al Centro, e nel punto n° 14 della rete, esterno al Centro, nell'ultimo decennio (anni 2009 - 2018).

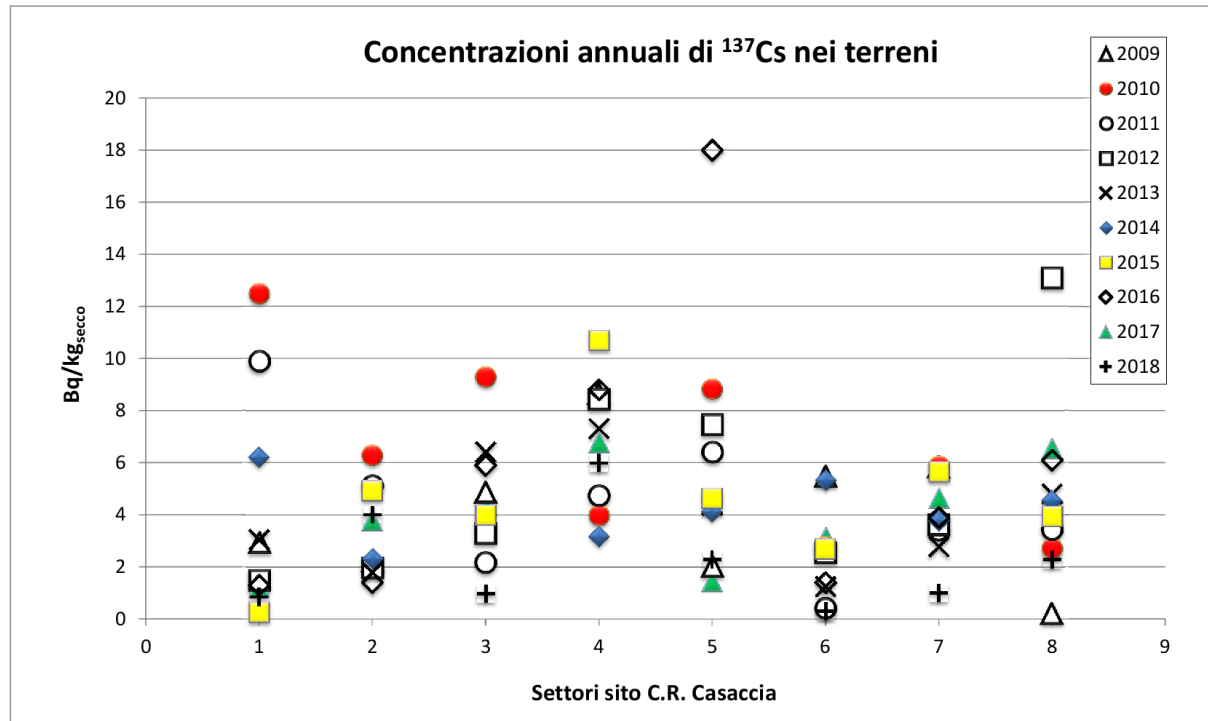


Figura 26 - Concentrazioni in termini di Bq/kg_{secco} di ^{137}Cs nel terreno campionato negli otto settori del sito del C.R. Casaccia nell'ultimo decennio (anni 2009 - 2018).

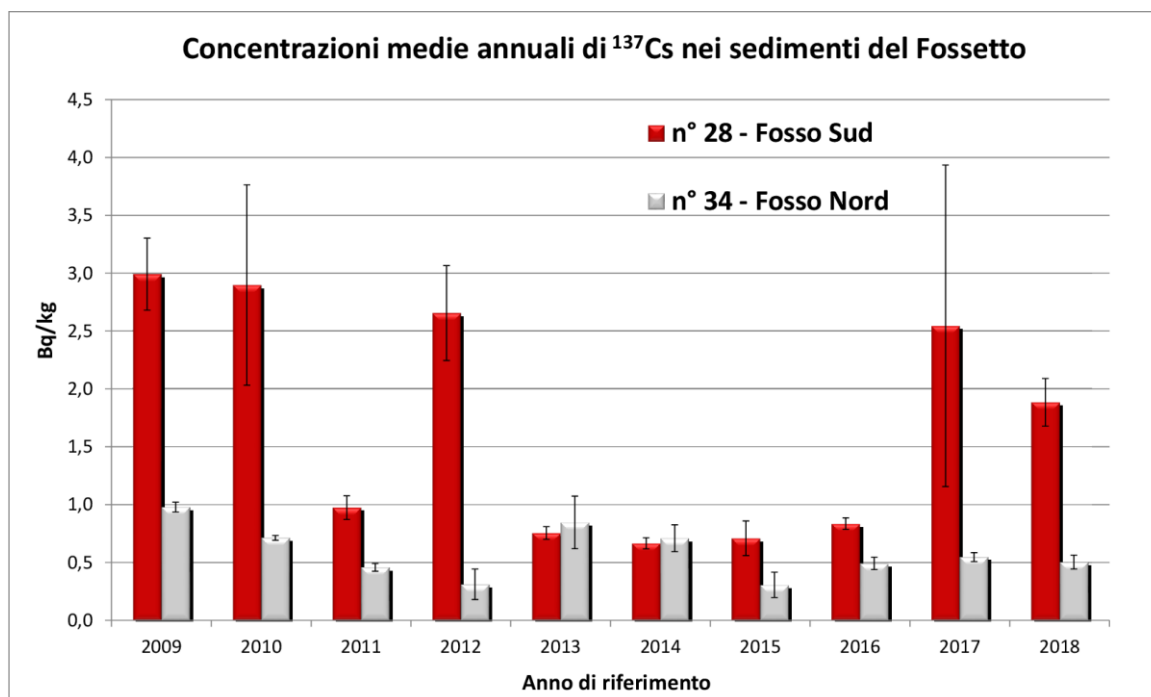


Figura 27 - Concentrazioni medie annuali in termini di Bq/kg di ^{137}Cs nei sedimenti del Fossetto del C.R. Casaccia nell'ultimo decennio (anni 2009 - 2018).

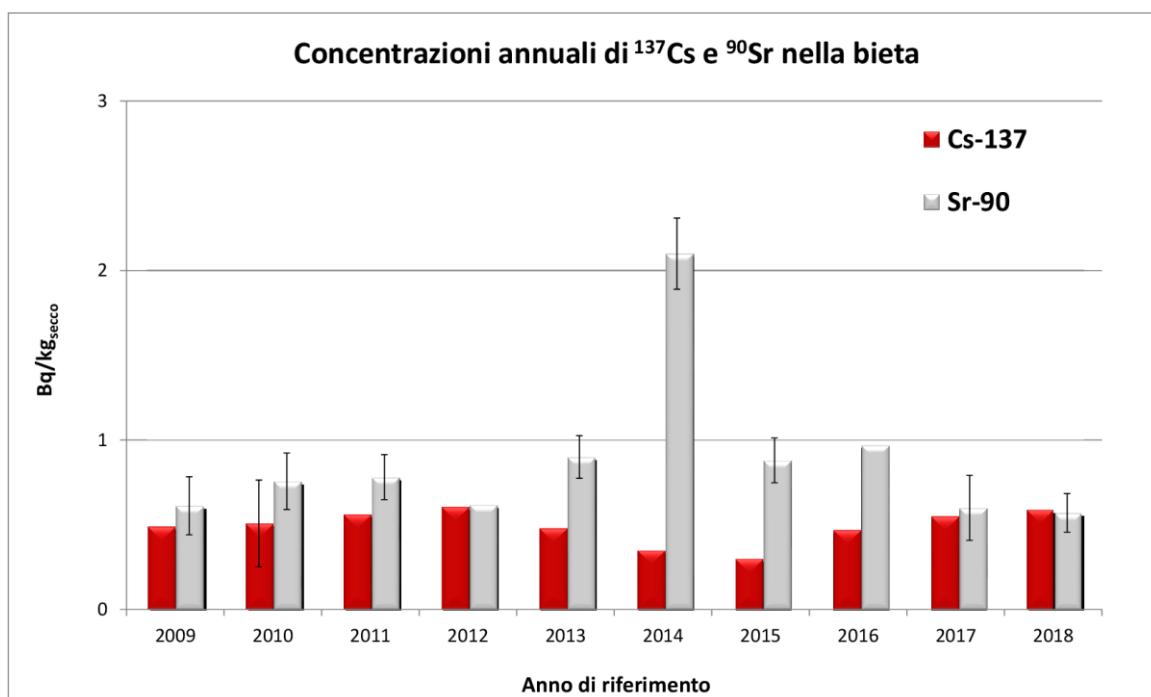


Figura 28 - Concentrazioni annuali in termini di Bq/kg_{secco} di ^{137}Cs e ^{90}Sr nella bieta, prelevata nel sito del C.R. Casaccia, nell'ultimo decennio (anni 2009 - 2018). Negli anni in cui si è riscontrata l'assenza del radionuclide nell'ortaggio, si è considerato come valore annuale di concentrazione il valore dell'MDC (assenza di barre degli errori in Figura). Il rapporto kg_{fresco}/kg_{secco} della bieta è compreso tra 9 e 19, con una media pari a 13. I valori relativi all'anno 2010 e all'anno 2012 si riferiscono al radicchio (rapporto kg_{fresco}/kg_{secco} pari a 20) e agli spinaci (rapporto kg_{fresco}/kg_{secco} pari a 18), rispettivamente, in quanto in questi due anni non è stato effettuato il campionamento della bieta.

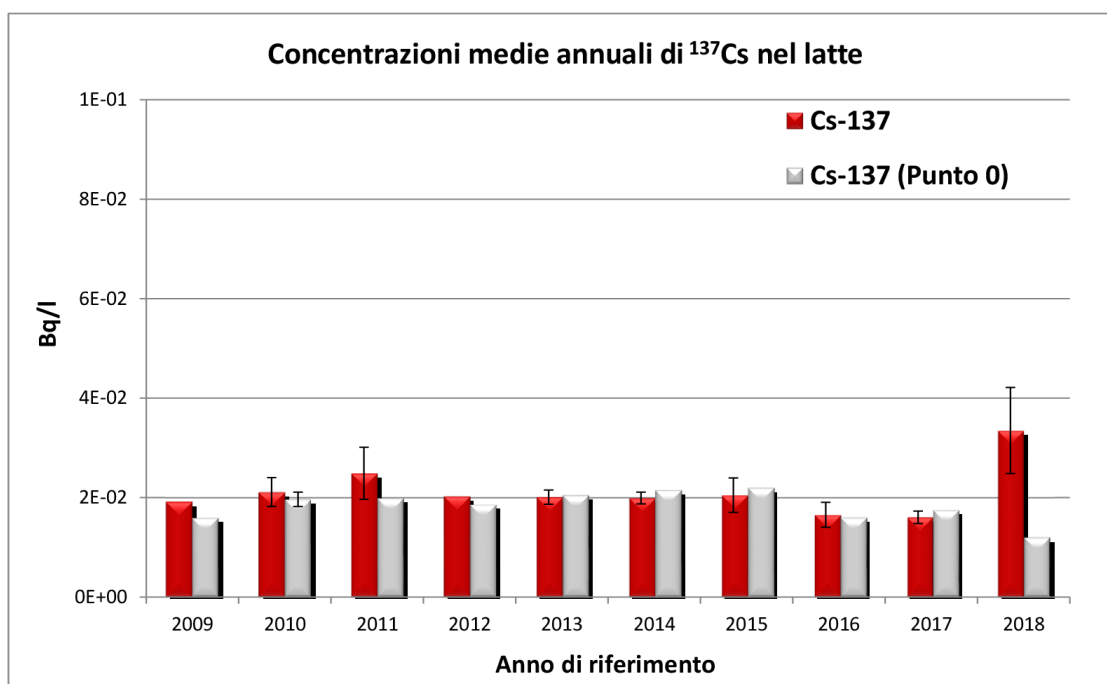


Figura 29 - Concentrazioni medie annuali in termini di Bq/l di ^{137}Cs nel latte prelevato nel territorio del C.R. Casaccia nell'ultimo decennio (2009 - 2018) confrontate con quelle presenti nel campione bianco prelevato nel punto zero. Negli anni in cui si è riscontrata la totale assenza del radionuclide nel latte, si è considerato come valore annuale di concentrazione la media dei valori dell'MDC (assenza di barre degli errori in Figura).

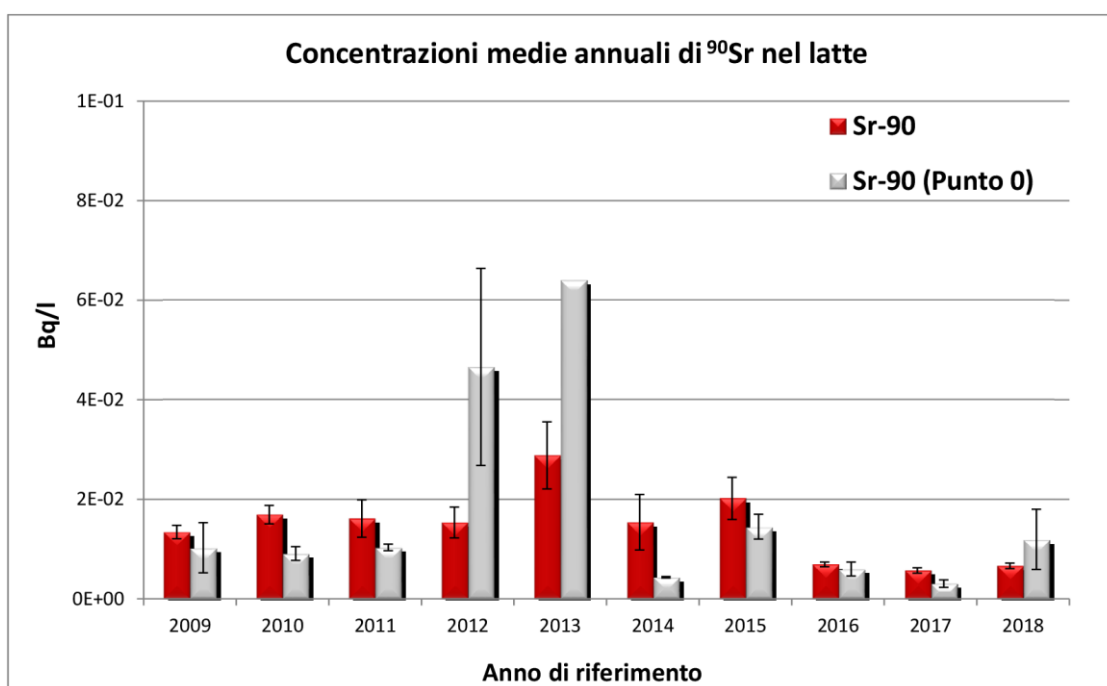


Figura 30 - Concentrazioni medie annuali in termini di Bq/l di ^{90}Sr nel latte prelevato nel territorio del C.R. Casaccia nell'ultimo decennio (2009 - 2018) confrontate con quelle presenti nel campione bianco prelevato nel punto zero. Negli anni in cui si è riscontrata la totale assenza del radionuclide nel latte, si è considerato come valore annuale di concentrazione la media dei valori dell'MDC (assenza di barre degli errori in Figura).

Tabella 56 - Consumi medi dei principali alimenti della dieta italiana [33].

Alimento	Lattanti		Bambini		Adulti	
	g/giorno	kg/anno	g/giorno	kg/anno	g/giorno	kg/anno
Cereali	50	18	240	88	300	110
Carni bovine	20	7	55	20	65	24
Carni suine	-	-	30	11	60	22
Carni ovine	-	-	2	1	3	1
Pollame	20	7	30	11	35	13
Pesce	20	7	25	9	30	11
Latte**	700	256	250	91	220	80
Derivati del Latte	10	4	30	11	40	15
Uova	15	5	25	9	30	11
Vegetali a Foglia	25	9	100	37	150	55
Altri vegetali	25	9	250	91	340	124
Frutta	50	18	200	73	260	95
Olio**	10	4	40	15	50	18
Vino**	-	-	-	-	250	91
Acqua Potabile**	700	256	1000	365	1500	548

Tabella 57 - Livelli notificabili (Allegato III Euratom 2000/473) [35].

Tipo di campione	Categoria di radionuclidi	Livello notificabile
Aria	Beta totale (sulla base dello Sr-90)	5E-03 Bq/m ³
	Cs-137	3E-02 Bq/m ³
Acque di Scorrimento	Beta residuo (sulla base dello Sr-90)	6E-01 Bq/l
	Cs-137	1E+00 Bq/l
Acque Potabili	H-3	1E+02 Bq/l
	Sr-90	6E-02 Bq/l
	Cs-137	1E-01 Bq/l
Latte	Sr-90	2E-01 Bq/l
	Cs-137	5E-01 Bq/l
Dieta Mista	Sr-90	1E-01 Bq/d.p. ^{††}
	Cs-137	2E-01 Bq/d.p.

Tabella 58 - Livelli notificabili di alfa totale e beta totale relativi all'acqua potabile (Allegato III del D. Lgs. 28/2016) [36].

Tipo di campione	Categoria di radionuclidi	Livello notificabile
Acqua potabile	Alfa totale	1E-01 Bq/l
	Beta totale	5E-01 Bq/l

** ml/giorno, l/anno

†† Bq/d.p. = Becquerel per persona per giorno

14 BIBLIOGRAFIA

- [1] De Rita D., Funiciello R., Corda L., Sposato A. e Rossi U. – Sabatini Volcanic Complex, Quaderni de “La Ricerca Scientifica”, progetto finalizzato “Geodinamica” monografie finali vol. 11 (1993), “VolcanicUnits”, pagg. 33-79.
- [2] Lombardi L. e Giannotti G. P. – Idrogeologia della zona a Sud-Est del Lago di Bracciano, Roma Società Geologica Italiana, 8vo stralcio con copertina posticcia muta (1969), pagg. 107-121.
- [3] Istat – Censimento Agricoltura 2010; <http://dati-censimentoagricoltura.istat.it/Index.aspx>.
- [4] Dati meteo CR Casaccia anno 2018 (Prot. ENEA/2019/25661/ISER-CAS del 08/05/2019).
- [5] Istat – 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni dell'anno 2011 – Variabili Censuarie – Censimento della popolazione e delle abitazioni (formato xls), <http://www.istat.it/it/archivio/104317>.
- [6] Roma – Popolazione iscritta in anagrafe – Archivio 2011 – Suddivisioni Territoriali Toponomastiche, <https://www.comune.roma.it/web/it/roma-statistica-popolazione.page>.
- [7] Nucleco – Società per l'ecoingegneria nucleare; <https://www.nucleco.it/it/Pagine/home.aspx>.
- [8] Comunicazione dati relativi all'impianto Calliope per l'anno 2018 – Prot. ENEA/2018/69885/FSN del 17/12/2018.
- [9] APAT/ENEA.CASACCIA.C-43/07-1 (All.lettera prot. 023470 del 20/07/2007).
- [10] Nulla Osta di Cat. B per la detenzione e l'impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti presso l'Edificio T-11 – Prot. n. 39611/2013 del 22/02/2013 della Prefettura di Roma.
- [11] Nulla Osta di Cat. B per la detenzione e l'impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti presso l'Edificio T-17 – Prot. n. 39657/2013 del 22/02/2013 della Prefettura di Roma.
- [12] Nulla Osta di Cat. B per la detenzione e l'impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti presso l'Edificio T-05 – Prot. n. 39663/2013 del 22/02/2013 della Prefettura di Roma.
- [13] Informazioni relative a materie fissili e speciali e materie prime Fonti, e sorgenti radioattive detenute per l'anno 2018 – ENEA/2019/8088/ISER-CAS del 11/02/2019.
- [14] Allegato 2, Prescrizioni per l'esercizio del complesso delle installazioni per il trattamento, condizionamento, deposito, smaltimento di rifiuti radioattivi sito nel C.R. ENEA Casaccia – Centro NUCLECO, Doc. ISPRA-ENEA/NUCLECO/PT/09 del 30/10/2009 (prescrizioni ISPRA al rilascio del Nulla Osta di Cat. A all'impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti - Prot. n. 0005058 del 21/04/2010 del Ministero dello Sviluppo Economico).
- [15] Dati relativi agli scarichi di effluenti liquidi nell'anno 2018 – Nucleco Prot. 5028 del 08/05/2019.
- [16] Prescrizioni Tecniche per l'esercizio dell'impianto Plutonio – Doc. ANPA/NUC/(00)6, ottobre 2000.
- [17] Norme di sorveglianza dell'impianto Plutonio – Doc. SOGIN PU ES 00003 rev. 03, luglio 2008.

- [18] Dati su effluenti aeriformi impianto TRIGA – Prot. ENEA/2019/19200/FSN-FISS-RNR del 01/04/2019.
- [19] Dati di scarico effluenti aeriformi impianto RSV TAPIRO per l'anno 2018 – Prot. ENEA/2019/15376/FSN-FISS-RNR del 14/03/2019.
- [20] Impianto Opec e impianto Plutonio – Scarichi effluenti radioattivi aeriformi (particolati), anno 2018 – Prot. SOGIN n° 30807 del 06/06/2019.
- [21] Tabella 3, Ricettività ambientale, pag. 161 – Rapporto Annuale 1985 sulla radioattività ambientale in Italia, Vol. II, Reti Locali, DISP-ARA/1/89.
- [22] Elenco rifiuti solidi e liquidi prodotti dal C.R. Casaccia e trasferiti a Nucleco nell'anno 2018 – Prot. ENEA/2019/16488/FSN-FISS-CRGR del 20/03/2019.
- [23] Tabella 5.1, Scarichi radioattivi aeriformi, e Tabella 6, Stima di dose alla popolazione, pag. 162 – Rapporto Annuale 1985 sulla radioattività ambientale in Italia, Vol. II, Reti Locali, DISP-ARA/1/89.
- [24] Rete di Sorveglianza Ambientale del C.R. Casaccia a partire dal 01/01/1985 – Prot. ENEA/1984/02427 del 02/11/1984 da Direzione Centrale Servizi e Affari Generali Istituto della Casaccia a DISP-ARA-SCA.
- [25] NIST Technical Note 1297 – Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, 1994.
- [26] Genie™ 2000, 3.3 Customization Tools Manual – Spectroscopy Software, pag. 370.
- [27] Genie™ 2000, 3.3 Customization Tools Manual – Spectroscopy Software, pag. 381.
- [28] ISO, Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation. Fundamentals and application, Doc. ISO 11929:2010.
- [29] Lockhart L. B., Patterson R. L. e Anderson W. L. – Characteristics of air filter media used for monitoring airborne radioactivity – NRL Report 6054 (1964).
- [30] Melandri C., Castellani C.M., Calamosca M., Tarroni G., Formignani M. e De Zaiacomì T. – Misure di contaminazione interna mediante whole body counter e di contaminazione atmosferica eseguite fino al 31.12.1986 dall'ENEA-PAS di Bologna in seguito all'incidente di Chernobyl – RT/PAS/87/7 (1987), pag. 77.
- [31] ICRP Publication 103 – The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (2007).
- [32] Tabella 5.9, Volume di aria inalato per classi di età, pag. 24 – ISPRA, CEVaD, Emergenze Nucleari e Radiologiche, 57/2010.
- [33] Tabella 5.10, Consumi medi dei principali alimenti della dieta italiana, pag. 24 – ISPRA, CEVaD, Emergenze Nucleari e Radiologiche, 57/2010.
- [34] Paragrafo 5.1, Effluenti liquidi, pag. 17 – Rapporto Annuale sulla radioattività ambientale del Centro Ricerche ENEA Casaccia, Anno 2009, ENEA RTI IRP 2010 (2).

- [35] Commission Recommendation of 8 June 2000 on the application of Article 36 of the Euratom Treaty concerning the monitoring of the levels of radioactivity in the environment for the purpose of assessing the exposure of the population as a whole (2000/473/Euratom).
- [36] D. Lgs. 28/2016, Attuazione della direttiva 2013/51/EURATOM del Consiglio, del 22 ottobre 2013, che stabilisce requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano.
- [37] Council Directive of 22 October 2013 laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption (2013/51/Euratom).
- [38] World Health Organization, Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition, 2011.