

ANALISI DELLE MISURE ESEGUITE SUL SITO DELLA CENTRALE NUCLEARE GARIGLIANO



Riprendiamo il discorso relativo all'inchiesta sulla Centrale nucleare del Garigliano aperta dal procuratore della Repubblica Giuliana Giuliano, presso la Procura di Santa Maria Capua Vetere. Si tratta del Procedimento penale num. 9664/12 dovuto a rilievi in materia di sicurezza nucleare in conformità al Decreto legislativo 230/95 e ss.mm.ii, e che ricordo riguardavano, come avevano riportato alcuni organi di stampa, presunti scoli liquidi che dall'edificio del reattore si riversavano direttamente nel fiume; dati di monitoraggio di radioattività riportati a matita nei registri ed infine materiale radioattivo sotterrato ad una profondità non adeguata, tra i 20 e 50 cm dalla superficie, nell'area di impianto chiamata Trincee. Questi comportamenti non corretti sono stati i capi d'accusa che la procura di SMCV, dopo il lungo sopralluogo effettuato alla fine di novembre 2012 e durato alcuni giorni, ha rivolto ai responsabili della SOGIN, società pubblica del Tesoro incaricata dal governo italiano ad eseguire il Programma Nazionale di Decommissioning, e nel caso particolare a smantellare l'impianto Nucleare BWR del sito di Garigliano,

Sono passati quasi 3 mesi e finalmente alla fine di febbraio sono cominciate ad emergere le indiscrezioni sull'esito dei risultati delle analisi eseguite sui campioni prelevati dai militari del CISAM (Centro Interforze Studi Applicazioni Militari) di Pisa, di cui per ora non si conoscono esattamente le matrici, ma che molto probabilmente debbano trattarsi sia di campioni di matrici alimentari: pesci ortaggi ecc, che campioni di matrici ambientali, come per esempio: limo/sedimenti del fiume, campioni di suolo, acque di falda, acque potabili, particolato atmosferico e ecc. Su cui si saranno fatte misure di concentrazioni di radionuclidi oltre a misure di rateo di esposizione di dose per la valutazione della radioattività nei pressi della zona relativa alle trincee. Area quest'ultima, di cui si ricorda sono stati apposti i sigilli dalle autorità di Mondragone.

Da indiscrezioni di stampa, qualcuno citando anche fonti interne alla procura di SMCV, sembra emergere che dai risultati delle prime analisi fatte dal CISAM e consegnate al procuratore Giuliano, non vi sia pericolo diretto per le popolazioni circostanti l'impianto in quanto le acque della zona del fiume prelevate dai sommozzatori della Guardia di Finanza non presentano particolari livelli di contaminazione e quindi anche di livelli di radioattività superiori ai valori delle normative vigenti. Lo stesso invece non sembra risultare nell'unica vasca di decantazione che raccoglie i liquidi prodotti dalle attività all'interno del sito nucleare prima di essere, dopo opportuno filtraggio scaricati nel fiume. Infatti sembra sia certo che il livello di radioattività riscontrata in questa vasca di decantazione sia superiore ai valori della norma vigente. Anche se si parla impropriamente, senza fornire un dato quantificabile, di livelli di radioattività molto superiori ai valori della radioattività naturale, che detto così in pratica significa ben poco.

Ora per una persona poco esperta, è molto difficile comprendere e/o interpretare un dato di misurazione di radioattività, come per esempio il valore del rateo di esposizione gamma o la concentrazione di un radionuclide, senza inquadrarlo in un contesto generale, oltre a non avere alcuna utilità pratica. Invece, per avere un'idea dei valori in gioco, sarebbe opportuno poter confrontare i risultati delle misurazioni ottenute dai campioni prelevati dalle acque e da altre matrici del sito in questione, con i limiti della normativa di riferimento ed eventualmente anche con misure simili fatte in ambienti diversi da quelli della zona del sito nucleare di Garigliano.

L'Obiettivo del presente documento è proprio quello inquadrare i risultati delle analisi fatte, e che si sperino vengano poi rese pubbliche al più presto, in un contesto di riferimento normativo in modo da poterne valutare il peso.

Così, non sapendo le particolari matrici ambientali ed alimentari che sono state prese in considerazione per valutare la contaminazione radioattiva locale e né il tipo di radionuclidi analizzati, si elencano più avanti le matrici ed i radionuclidi che in questi casi vengono considerati rappresentativi della presunta contaminazione radioattiva della zona.

MATRICI AMBIENTALI ED ALIMENTARI DI INTERESSE

- **ACQUE DOLCI** (fiume Garigliano): generalmente si analizza il Cs^{137} . Questa matrice è scarsamente rappresentativa della situazione del fiume, perché le concentrazioni in acqua dei radionuclidi non sono di norma facilmente rilevabili per la grande diluizione del fiume.
- **DMO**: Detrito minerale organico sedimentale. È la matrice più rappresentativa dell'accumulo di contaminanti del comparto acque. Esso consiste nel particolato in sospensione nelle acque superficiali, campionate in prossimità del fondale, ed è rappresentativo sia delle acque che dei sedimenti. I radionuclidi che vengono rilevati sono il Cs^{137} , Cs^{134} , il Co^{60} e lo Sr^{90} .
- **SEDIMENTI** di fiume: per valutare eventuali fenomeni di accumulo. I radionuclidi che vengono rilevati sono il Cs^{137} , Cs^{134} , il Co^{60} .
- **ACQUE POTABILI**: L'analisi del controllo dei radionuclidi nelle acque potabili viene eseguito mediante spettrometria gamma su campioni di acqua potabile prelevati in continuo per un certo periodo di tempo. Generalmente i radionuclidi rilevati sono Cs^{137} , Cs^{134} , il Co^{60} e l'Iodio 131. Per le acque potabili vi sono anche altri controlli di radionuclidi, tramite scintillazione liquida. Vengono eseguite le misure che rivelano particelle che emettono particelle alfa e beta. Infatti si parla di misura alfa-totale e beta-totale che rivelano la concentrazione di radionuclidi che emettono radiazioni di tipo particellare. Quest'analisi consente di controllare eventuale contaminazione della falda profonda;
- **SUOLO**: campioni di suolo prelevati attorno alla zona di interesse, consentono di controllare la contaminazione conseguente al rilascio sia degli effluenti liquidi che aeriformi; generalmente il radionuclide rilevato è il Cs^{137} .
- **ARIA, Particolato atmosferico**: Aspirato nel luogo di controllo, fornisce indicazioni sul grado di contaminazione dell'aria e consente in tempi quasi reali di dare l'allarme in merito a rilasci in atmosfera conseguenti ad incidenti radiologici oppure il controllo di un'area, come per esempio, quella sovrastante la zona delle Trincee, generalmente il radionuclide rilevato è il Cs^{137} .
- **ARIA, Rateo di esposizione gamma**: viene misurata tutta la radiazione gamma proveniente dai radionuclidi gamma-emettitori presenti sia nell'aria che sul suolo limitrofo.
- **PESCE**: Anche in questo caso l'analisi dei radionuclidi viene eseguita mediante spettrometria gamma su campioni di pesce prelevati nel fiume. Generalmente i radionuclidi rilevati sono Cs^{137} , Cs^{134} , il Co^{60} .

Come abbiamo detto, per la maggior parte dei campioni di queste matrici viene eseguita la misura di spettrometria gamma per la determinazione sia qualitativa che quantitativa dei valori di concentrazione dei radionuclidi presenti nelle varie matrici considerate. Tale analisi permette subito una determinazione simultanea di un gran numero di radionuclidi, sia artificiali che naturali. Oltre a determinare la presenza dei soliti radioisotopi di interesse generale citati prima, come il Cs¹³⁴, del Cs¹³⁷ la cui origine è legata a fenomeni di fissione nucleare, del Co⁶⁰, la cui origine è legato a fenomeni di attivazione nucleare di materiali metallici ed infine lo I¹³¹ prodotto anche da utilizzo di materiali di medicina nucleare.

Altre matrici importanti, che forse non sono state considerate durante il sopralluogo fatto dalla guardia di finanza di Mondragone, sono quelle di Fall-out radioattivo, cioè quella che corrisponde alla deposizione continua al suolo di radionuclidi radioattivi (per tutti il Cs¹³⁷) generato dalle esplosioni dei test nucleari avvenute negli anni 60-70 e dagli incidenti nucleari di vasta portata come quelli di Chernobyl e di Fukushima, ed infine la matrice Acqua di mare (viene monitorato il Cs¹³⁷).

LIVELLI NORMATIVI, LIMITI DERIVATI E VALORI DI SOGLIA

Per quanto riguarda la protezione della popolazione all'esposizione delle radiazioni ionizzanti la normativa vigente **DL 230/95** ess.mm.ii, definisce un limite ben preciso per la valutazione del rischio dovuto alle esposizione alle radiazione della popolazione. Il limite è sul valore della dose efficace, che un individuo esposto possa assorbire in un determinato intervallo di tempo, generalmente 1 anno, esso è pari a **1mSv/anno**. Cioè un individuo continuamente esposto per un 1 anno ad un campo di radiazione esterno e contemporaneamente si trova, respirando, ad inalare una certa quantità di radiazione ed infine mangiando assorbe tramite gli alimenti un'altra quantità di radioattività, allora la somma di tutti questi contributi radiativi: quello esterno più quello dovuto all'inalazione unito a quello dovuto dell'ingestione deve essere tale che la dose totale assorbita si mantenga al di sotto di **1 mSv/anno**. Un altro valore limite importantissimo è il limite di **NON Rilevanza Radiologica** al di sotto del quale non sussiste alcun rischio dovuto alle radiazioni, cioè si può ritenere del tutto trascurabile l'impatto radiologico. Esso corrisponde a **10 µSv/anno**, cioè 1/100 del limite di 1mSv/anno.

Purtroppo questi limiti fissati dalla normativa non sono facilmente confrontabili con i risultati che si ottengono dalle misure fatte con la strumentazione usata per la misura della radioattività, dal momento che si trattano di grandezze fisiche di natura diversa. La strumentazione nucleare, infatti è tarata per fornire valori di concentrazione di radionuclidi e non valori di dose assorbita. Pertanto, al fine di disporre di uno strumento operativo immediato ed efficace, sono stati ricavati dei livelli di riferimento per le concentrazioni di radionuclidi nelle varie matrici considerate.

In particolare sono stati determinati:

VALORI DI SOGLIA, R: Si tratta del limite di concentrazione di un radionuclide, a cui se si è esposto comporta il raggiungimento del limite di dose efficace pari a 1 mSv/anno. Per esempio, avendo valutato che il valore di soglia di concentrazione per lo Sr⁹⁰ nell'acqua potabile è pari a **R=29 Bq/l**, consumando per un anno intero acqua con una concentrazione di Sr⁹⁰ di 29 Bq/l, un individuo della popolazione raggiunge il limite di dose stabilito in 1mSv/anno.

VALORI DI SOGLIA DI NON RILEVANZA RADIOLOGICA R*: di concentrazione per la non rilevanza radiologica, che comportano il raggiungimento del limite per la non rilevanza radiologica pari a 10 µSv per anno.

Similmente se individuo della popolazione consumasse acqua per un anno intero al cui interno vi sia un livello di concentrazione radioattiva di Sr⁹⁰ pari a **R*= 0,29 Bq/l**, raggiungerebbe il limite di dose stabilito pari a 10µSv (pari a 0,01 mSv) per anno, il valore limite della non rilevanza radiologica.

Si riportano i limiti derivati per alcune matrici per garantire rispettivamente:

- il non superamento del valore della dose efficace per la popolazione intera, **R= 1mSv/anno**
- il non superamento del valore di Non Rilevanza Radiologica della dose efficace per la popolazione intera, **R*= 10µSv/anno**

<i>LIMITI DERIVATI PER ALCUNE MATRICI</i>			
MATRICE	Valore di soglia R (Limite Fondamentale 1mSv/anno)	Valore di soglia R* Non rilevanza Radiologica. (10µSv/anno)	Unità di misura/Radionuclide di riferimento
Particolato Atmosferico	30	0.3	[Bq/m ³] Cs ¹³⁷
Suolo imperturbato	1000000	10000	[Bq/kg] Cs ¹³⁷
Suolo coltivato	55000	550	[Bq/kg] Cs ¹³⁷
latte	400	4	[Bq/L] Cs ¹³⁷
Grano/cereali	550	5.5	[Bq/kg] Cs ¹³⁷
Acque potabili	150	1.5	[Bq/L] Cs ¹³⁷
Acque superficiali (mare e fiumi)	2.6	0.026	[Bq/L] Cs ¹³⁷
Sedimenti marini	55000	550	[Bq/L] Cs ¹³⁷
Pesce/molluschi	5100	51	[Bq/kg] Cs ¹³⁷
sabbia	<500 F ^a	<5 F ^a	[Bq/kg] Cs ¹³⁷
Acqua fiume	2.6	0.026	[Bq/L] Cs ¹³⁷
Limo fluviale	55000	550	[Bq/kg] Cs ¹³⁷
DMOS (detriti minerali organici sedimentali)	2000.0 F ^a	20.0 F ^a	[Bq/kgsecco] Cs ¹³⁷

a- "F"= Valori di fondo ambientali (locale)

RATEO DI DOSE GAMMA IN ARIA

Oltre a misurare la concentrazione dei radionuclidi presenti nell'aria mediante il prelievo di particolato atmosferico, per valutare il livello di radiazione gamma presente in una certa zona, è possibile fare anche misure dirette di rateo di dose in continuo in quell'area. A causa della presenza della radiazione naturale di fondo, in qualsiasi luogo della Terra è presente già un livello di esposizione di dose gamma dovuta ai radionuclidi di origine terrestre ed anche extraterrestre. Il fondo di radioattività naturale fa sì che la media mondiale della dose equivalente sia di circa 2,4 milliSievert all'anno (2,4 mSv/a). Tuttavia il valore del fondo naturale di radioattività varia, anche in modo notevole, da luogo a luogo. In Italia ad esempio la dose equivalente media è di circa 3,4 mSv/anno, ma tale valore varia molto anche da regione a regione. Nel sito di Garigliano si hanno valori più bassi, cioè **1,4mS/a**. Quindi una centralina o uno strumento palmare in

condizioni normali misurerà un rateo di dose gamma in aria, per esempio sul sito di Garigliano con un valor medio di 1,4mSv/a oppure considerando i dati per ora, un rateo di dose gamma orario di **160 nSv/h**. Questo è il dato di esposizione gamma in aria presente sul sito di Garigliano che si ha in condizioni normali, ed è quello che si dovrebbe avere anche nell'area sovrastante la zona delle trincee. E' chiaro che un qualsiasi evento che produce un rilascio radiazione gamma questa si somma a quella già preesistente facendo alzare il valore di 160 nSv/h. La normativa italiana in questo caso prevede che chiunque operi nel settore nucleare non può esporre un individuo qualsiasi della popolazione ad un livello di dose efficace superiore a **1mSv/a** di quello che già esiste in quella zona. Cioè in termini orari non si può avere un incremento di rateo di dose gamma in aria maggiore di 114 nSv/h in più a quelli già presenti di 160 nSv/h sul sito di Garigliano, quindi alla fine non può superarsi il valore totale di 274nSv/h. Se ci si limita invece alla Non Rilevanza Radiologica, allora il livello di dose da considerare è **10µSv/a**, (10.000nSv/a) che corrisponde ad un incremento di 1,4 nSv/h, cioè alla fine si arriva a 161,14nSv/h sul sito.

REPORTING LEVEL

Altri valori importanti sono i cosiddetti livelli notificabili “**Reporting Level**” definiti dalla Raccomandazione della Commissione dell'8 giugno 2000 riguardante il controllo del grado di radioattività ambientale per la determinazione dell'esposizione dell'insieme della popolazione europea. In sostanza si può dire che questi livelli di concentrazione di radionuclidi relativi alle matrici più importanti corrispondono “grossolanamente” a livelli di dose pari a circa **1/1000** del valor limite fondamentale di 1mSv/anno.

Si riportano i “Reporting Level” definiti nella Raccomandazione CE 2000/473/EURATOM

Tipo di Campione	Radionuclide di riferimento	Livello Notificabile
Aria	Beta totale (sulla base di Sr ⁹⁰)	5 E-03 Bq/m ³
	Cs ¹³⁷	3 E-02 Bq/m ³
Acque di scorrimento	Beta residuo (sulla base di Sr ⁹⁰)	6 E-01 Bq/L
	Cs ¹³⁷	1 E+00 Bq/L
Acque potabili	H-3	1 E+02 Bq/L
	Sr ⁹⁰	6 E-02 Bq/L
	Cs ¹³⁷	1 E-01 Bq/L
Latte	Sr ⁹⁰	2 E-01 Bq/L
	Cs ¹³⁷	5 E-01 Bq/L
Dieta mista	Sr ⁹⁰	1 E-01 Bq/d.p
	Cs ¹³⁷	2 E-01 Bq/d.p

Bq/d.p - Becquerel/giorno/persona

MAR, MDA, MCR, ecc. Limiti strumentali

Per finire, vi è un altro parametro molto importante da tenere in considerazione quando si ha a che fare con la lettura di un dato di misura di concentrazione di radionuclidi o di rateo di dose di esposizione proveniente da un'apparecchiatura nucleare di misura. Ci si riferisce al valore minimo che lo strumento è in grado di rilevare

e misurare, in termini di concentrazione e/o rateo di dose. Vengono utilizzati vari termini per identificare tale parametro: **MAR** (minima attività rilevabile), **MDA** (minimum detectable activity), oppure **MCR** (minima concentrazione rilevabile). Questo parametro corrisponde al valore minimo di concentrazione di un radionuclide che quel particolare strumento può misurare in determinate condizioni. E' un valore variabile e dipende dal tipo di radiazione, dal livello di concentrazione del radionuclide ecc. C'è da dire subito che questi limiti strumentali corrispondono a livelli di concentrazione molto piccoli, tali da dare una dose efficace molto al di sotto del limite di NON rilevanza Radiologica:

$$\text{MAR} \ll \text{R}^* \text{ oppure } \text{MDA} \ll \text{R}^* \text{ oppure } \text{MCR} \ll \text{R}^*$$

Di conseguenza se si misura un valore di concentrazione di un radionuclide inferiore al valore del MAR (o MDA) allora si può affermare che è garantito sicuramente, come risultato, la Non Rilevanza Radiologica della radioattività del campione analizzato. Generalmente quando un valore di concentrazione risulta al di sotto del MAR, come risultato, si riporta, cautelativamente, il valore corrispondente di MAR dello strumento per quel tipo di misura e di radionuclide preceduto dal segno di minore (<). Anche nel caso in cui non si riveli contaminazione da parte di un certo radionuclide, viene comunque considerata cautelativamente la MAR come limite superiore per la concentrazione di quel radionuclide stesso.

ACQUE POTABILI

Per quanto riguarda la radioattività nelle acque potabili va citato il **DLgs 31/2001** che prevede la verifica del rispetto di 2 parametri: la concentrazione del trizio (H^3) fissata a 100 Bq/l ed il valore della dose totale indicativa DTI, con un valore massimo pari a 0,1 mSv/a (in questo valore non vanno riportati contributi derivanti dal H3, K40, radon e suoi prodotti di decadimento). Sotto si riportano le due condizioni citate.

Categoria di radionuclide	Valore di parametro
TRIZIO (H^3)	100 Bq/L
Dose totale indicativa (DTI)	0.1 mSv/anno

Anche il DTI non lo si misura direttamente, ma viene stimato anch'esso a partire dalle concentrazioni dei vari radionuclidi presenti nell'acqua analizzata, espresse in Bq/l, dai coefficienti di dose (mSv/Bq/) definiti per ciascun radionuclide e dal valore del consumo medio procapite annuale di acqua. Poiché è molto difficile stimare i singoli contributi dei vari radionuclidi allora la WHO, l'Organizzazione Mondiale della Sanità, suggerisce in questo caso un approccio pratico consistente in misure che forniscono il valore totale di radiazione di tutti i radionuclidi alfa-emettitore (misura Alfa-totale) e del valore totale della radiazione di tutti radionuclidi beta-emettitori (misura Beta-totale). In questo modo vengono definiti dei valori limiti di attenzione per le attività α e β totali, cioè gli "screening values" al di sotto del quale non sono necessarie maggiori analisi [WHO08, par. 9.4.1].

"Screening values"	
α Totale	0.5 Bq/L
β Totale	1.0 Bq/L

Se uno di questi valori viene superato occorre fare ulteriori analisi del campione per determinare il contenuto dei singoli radionuclidi che contribuiscono alla radioattività totale.

Matrici alimentari

Per quanto riguarda le matrici alimentari vanno citati i regolamenti CE n° 1661/1999 ed infine il regolamento CE n 616/2000 . Quest'ultimo si riferisce alle condizioni d'importazione di prodotti agricoli originari dei paesi terzi a seguito dell'incidente verificatosi nella centrale nucleare di Cernobyl. In particolare il regolamento fissa la radioattività totale dovuta ai radionuclidi $Cs^{134}+Cs^{137}$:

per i prodotti caseari	370 Bq/kg
per tutti gli altri prodotti	600 Bq/kg.

ANALISI DELLE MISURE ESEGUITE SUL SITO DELLA CENTRALE NUCLEARE GARIGLIANO

Tenendo presente tutte le osservazioni fatte precedentemente, è possibile costruire una tabella contenente **valori di riferimento** per i risultati delle misure effettuate sul sito di Garigliano dai sommozzatori della guardia di Finanza di Napoli. In questo modo sarà possibile valutare il peso dei risultati delle analisi fatte. Infatti se i risultati delle misure verranno presentati tramite il valore del limite strumentale preceduto dal segno meno (esempio, <MAR), allora esso riguarderà la seconda colonna della tabella ed il risultato sarà privo o quasi di contaminazione radioattiva. Se i risultati delle misure si avvicinano o sono confrontabili con quelli della terza colonna, cioè quelli dei “Livelli Notificabili, R**” allora le misure sono ancora del tutto accettabili e certamente sono privi di qualsiasi rilevanza radiologica. Nel caso in cui i risultati delle misure siano vicini a quelli della quarta colonna, R*, in questo caso siamo al limite della Non rilevanza radiologica, e quindi ancora accettabili. Se invece essi si avvicinano a quelli dell’ultima colonna, cioè i valori del limite assoluto, R, allora siamo in presenza di contaminazione certa che non può essere per niente trascurata.

Matrice/ Radionuclide/ Unità di misura	Limite Strumentale (Minima attività rilevabile)	Livelli Notificabili (Reporting Level) R**	Valori di soglia Non rilevanza Radiologica R*	Valori di soglia limite assoluto R
Aria (Particolato atmosferico) Cs ¹³⁷ [Bq/m ³]	<MAR	0.03	0.3	30
Suolo coltivato Cs ¹³⁷ [Bq/kg]	<MAR	/	550	55000
Rateo di dose gamma in Aria (Sito di Garigliano) Raggi gamma [nSv/h]	<MAR	/	161,14	274
Acque potabili Cs ¹³⁷ [Bq/L]	<MAR	0.1	1.5	150
Acque superficiali (Mare e fiumi) Cs ¹³⁷ [Bq/L]	<MAR	/	0.026	2.6
Sedimenti Marini Cs ¹³⁷ [Bq/kg]	<MAR	/	550	55000
Latte Cs ¹³⁷ [Bq/L]	<MAR	0.5	4	400
Pesce/Molluschi Cs ¹³⁷ [Bq/kg]	<MAR	/	51	5100
Limo fluviale Cs ¹³⁷ [Bq/kg]	<MAR	/	550	55000
DMOS Cs ¹³⁷ [Bq/kg secco]	<MAR	/	20*F	2000*F
Grano cereali Cs ¹³⁷ [Bq/kg]	<MAR	/	5.5	550

MAR=Minima attività rilevabile; F=Valori di fondo ambientali (locale)

li Sessa Aurunca

14/Marzo/ 2013

Ing. Arturo Matano