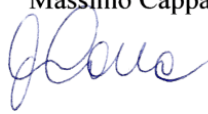


Convenzioni tra ISPRA e ARPA, APPA, l'ENEA-INMRI, CRI, ISS nell'ambito della Convenzione del 29.12.2006 MATTM-ISPRA avente per oggetto "Supporto tecnico alla DSA all'elaborazione di linee guida ed indirizzi metodologici", linea di attività "Prevenzione dai rischi dell'esposizione a radiazioni ionizzanti", tematica "Implementazione di un sistema nazionale di monitoraggio della radioattività ambientale"

vedi anche: <https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/residues/deep-geothermics/deep-geothermics.html>

Task 03.01.01

Censimento attività/siti con NORM e raccolta delle analisi di rischio

Rev. 0		
Soggetti partecipanti	Verifica Coordinatore task (data e firma)	Approvazione (ISPRA) (data e firma)
ARPA Sardegna	30 aprile 2014 (ARPA Sardegna) Massimo Cappai 	15 maggio 2014 (ISPRA) Giancarlo Torri 
ARPA Marche		
ARPA Puglia		
ARPA Emilia-Romagna		

Note

Revisioni

n.	data	Oggetto modifica

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), le Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA), le Agenzie Provinciali per la Protezione dell'Ambiente (APPA), e le persone che agiscono per loro conto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute nel presente documento.

Autori

Massimo Cappai (ARPA Sardegna)
Laura Gaidolfi (ARPA Emilia Romagna)
Luigi Vitucci (ARPA Puglia)
Corrado Pantalone (ARPA Marche)

Sommario

1	INTRODUZIONE	8
1.1	Nota generale	8
1.1.1	La Direttiva 2013/59/EURATOM del 5 dicembre 2013	9
1.2	Obiettivi della task e struttura del rapporto	9
2	ESTRAZIONE DELLE TERRE RARE DALLA MONAZITE	11
2.1	Riferimenti della letteratura scientifica considerati dalla Commissione Europea	13
2.2	Tipologie di lavorazioni	14
2.3	Censimento delle attività produttive in Italia	18
3	PRODUZIONE DI COMPOSTI DI TORIO E FABBRICAZIONE DI PRODOTTI CONTENENTI TORIO	20
3.1	Riferimenti della letteratura scientifica considerati dalla Commissione Europea	20
3.2	Tipologie di lavorazioni	21
3.3	Censimento delle attività produttive in Italia	22
4	LAVORAZIONE DELLA NIOBITE/TANTALITE	23
4.1	Riferimenti della letteratura scientifica considerati dalla Commissione Europea	23
4.2	Tipologie di lavorazioni	24
4.3	Censimento delle attività produttive in Italia	25
5	PRODUZIONE DEL PIGMENTO DI BLOSSIDO DI TITANIO (TiO ₂)	26
5.1	Riferimenti della letteratura scientifica considerati dalla Commissione Europea	27
5.2	Tipologie di lavorazioni	28
5.2.1	Produzione di biossido di titanio mediante il processo al solfato	30
5.2.2	Produzione di biossido di titanio mediante il processo al cloruro	31
5.3	Censimento delle attività produttive in Italia	33
6	LAVORAZIONE DEI MINERALI FOSFATICI	34
6.1	Tipologia di processi di lavorazione	34
6.1.1	I principali processi di produzione dell'industria dei materiali fosfatici (Ciclo lavorativo e criticità radiologiche)	36
6.1.2	Produzione di acido fosforico	37
6.1.3	Materiali e flussi di radionuclidi derivanti da trattamento con acido solforico	37
6.1.4	Depositi di fosfogesso	37
6.2	Produzione di fosforo con processo termico	38
6.2.1	Flussi di radionuclidi e contenuti nei residui del processo termico	39
6.3	Produzione di fertilizzanti fosfatici	40
6.4	Censimento delle attività IPPC	43
7	LAVORAZIONE DELLE SABBIE ZIRCONIFERE	47
7.1	Produzione di piastrelle Ciclo lavorativo e criticità radiologiche	47
7.2	Concentrazione di attività nei materiali	49
7.3	Censimento delle attività produttive in Italia	50
7.4	Produzione di materiali refrattari	57
7.4.1	Censimento degli impianti di produzione di refrattari	61
8	LAVORAZIONE DEI MINERALI DI FERRO IN ACCIAIERIE A CICLO INTEGRALE	63
8.1	Ciclo lavorativo	63
8.2	Criticità radiologiche	64
8.3	Censimento delle attività produttive in Italia	64
9	PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA - CENTRALI A CARBONE	70
9.1	Processo produttivo	70
9.2	Valutazione delle vie di esposizione	70
9.3	Censimento degli impianti in Italia	71
10	ESTRAZIONE DI PETROLIO E GAS NATURALE	73
10.1	Ciclo lavorativo e criticità radiologiche	73
10.1.1	Concentrazione di attività nei materiali	73
10.2	Dati di produzione	74
10.3	Censimento delle attività produttive in Italia	77

11	LAVORAZIONE DELLA BAUXITE.....	86
11.1	Descrizione del processo lavorativo.....	86
11.2	Criticità radiometriche.....	86
11.3	Censimento degli impianti in Italia	87
12	PRODUZIONE DI CEMENTO, MANUTENZIONE DI FORNI PER LA PRODUZIONE DI CLINKER	88
12.1	Tipologia di lavorazione.....	88
12.1.1	Estrazione materie prime.....	88
12.1.2	Frantumazione.....	88
12.1.3	Macinazione e dosaggio costituenti	90
12.1.4	Principali costituenti del cemento	90
12.1.5	Il tipo di cemento.....	91
12.2	Possibili vie di esposizione e criticità NORM	92
12.3	Impianti in Italia.....	94
12.3.1	Cementifici.....	94
12.3.2	Impianti IPPC.....	97
13	IMPIANTI PER LA FILTRAZIONE DELLE FALDE FREATICHE	102
13.1	Riferimenti della letteratura scientifica considerati dalla Commissione Europea.....	102
13.2	Tipologia di processi	103
13.3	Produzione di residui/rifiuti	107
13.4	La situazione in Italia	108
14	PRODUZIONE DI ENERGIA GEOTERMICA	113
14.1	Introduzione – principi generali	113
14.1.1	Sistema geotermico	113
14.1.2	I sistemi geotermici non convenzionali.....	115
14.2	Sorgenti di NORM negli impianti geotermici.....	119
14.3	Censimento degli impianti geotermici in Italia	121
15	BIBLIOGRAFIA.....	127

ACRONIMI

APAT – Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi tecnici (ora ISPRA)

APPA – Agenzie per la protezione dell’ambiente delle province autonome

ARPA, ARTA – Agenzie regionali per la protezione dell’ambiente

CE – Commissione Europea

CRI – Croce Rossa Italiana

DBRad – Data Base di radioattività ambientale

DSA – Direzione per la Salvaguardia Ambientale

EML – Environmental Measurements Laboratory

EN – Norme Europee

ENEA – Ente per le Nuove Tecnologie, l’Energia e l’Ambiente

EPA – Environmental Protection Agency

INMRI – Istituto di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti

IRSA – Istituto di Ricerca Sulle Acque

CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche

ISO – International Organization for Standardization

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

ISS – Istituto Superiore di Sanità

MATTM – Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

MIDRad – Modulo Interscambio Dati di Radioattività

NORM – Naturally Occurring Radioactive Materials

RADIA – Sistema di trasferimento e archiviazione dati di radioattività ambientale

REM DB– Radioactivity Environmental Monitoring Data Base della Commissione Europea presso il Joint Research Center di Ispra (VA)

RESORAD – REte nazionale di SORveglianza della RADioattività ambientale

SINA – Sistema Informativo Nazionale Ambientale

UNI – Ente Nazionale Italiano di Unificazione

SSNTD’s - Rivelatori a stato solido di tracce nucleari

PREMESSA

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare-Direzione Generale per le Valutazioni Ambientali (DVA) e l'ISPRA hanno stipulato una Convenzione avente per oggetto il supporto tecnico alla DSA (ora DVA) all'elaborazione di linee guida ed indirizzi metodologici.

La Convenzione include la linea di attività "Prevenzione dai rischi dell'esposizione a radiazioni ionizzanti", che a sua volta include la tematica "Implementazione di un sistema nazionale di monitoraggio della radioattività ambientale".

Nell'ambito della tematica sopra citata, attraverso una preventiva consultazione con tutte le Agenzie regionali e provinciali per la protezione ambientale e gli enti qualificati, quali l'Istituto Superiore di Sanità (ISS), l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile-Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (ENEA-INMRI) e la Croce Rossa Italiana (CRI), sono state individuate sedici specifiche attività prioritarie (task).

Per la realizzazione delle task sono state stipulate apposite convenzioni tra l'ISPRA e le ARPA, APPA, l'ENEA-INMRI e la CRI e un accordo con l'ISS. Nell'allegato tecnico alle convenzioni sono state individuate le compagini e i coordinatori delle task.

Il presente documento rappresenta il prodotto della task 03.01.01 "Censimento attività/siti con NORM e raccolta delle analisi di rischio". Alla realizzazione della task, coordinata dall'ARPA Sardegna hanno contribuito ARPA Puglia, ARPA Emilia Romagna, ARPA Marche.

L'attività della task si collega a quella della task 03.02.01 "Valutazione della dose per esposizione ai NORM"

1 INTRODUZIONE

Il presente documento è stato elaborato nel contesto delle attività previste nelle Convenzioni stipulate tra ISPRA e alcune ARPA (Sardegna con il ruolo di coordinamento, Puglia, Emilia Romagna, Marche) in riferimento alla task 03.01.01 “Censimento attività/siti con NORM e raccolta delle analisi di rischio” prevista nell’ambito della Convenzione avente per oggetto il supporto tecnico alla DSA (ora DVA) del MATTM all’elaborazione di linee guida ed indirizzi metodologici nel settore della radioattività ambientale. La Convenzione con ARPA Sardegna è in vigore dal 21/11/2012 e con scadenza il 31/01/2013 (poi prorogata prima al 31/01/2014 e poi al 30/04/2014).

L’attività della presente task è complementare a quella della task 03.02.01 “Valutazione della dose per esposizione ai NORM”, con la quale è stato definito il programma preliminare e concordato le linee generali di attività, soprattutto per quanto riguarda la valutazione delle attività NORM incluse nella Direttiva Comunitaria 2013/59/EURATOM del 5 dicembre 2013, la quale ha apportato modifiche al precedente elenco di attività potenzialmente a soggette a valutazione in merito alla potenziale esposizione a NORM.

Le attività oggetto della task sono da intendersi inoltre come un aggiornamento di attività svolte in passato nell’ambito dei CTN-AGF, dai cui prodotti verranno recuperati i dati essenziali e le relative valutazioni nello spirito di continuità con il lavoro già svolto.

Il presente documento trae quindi parte dei contenuti dai seguenti prodotti CTN:

- AGF-T-RAP-00-05 Raccolta preliminare dei dati sulle fonti di pressione ambientale relative ai NORM
- AGF-T-RAP-00-13 Attività lavorative con materiali ad elevato contenuto di radioattività naturale
- AGF-T-RAP-01-05 Attività lavorative con materiali ad elevato contenuto di radioattività naturale
- AGF-T-RAP-03-14 Integrazione del DB delle fonti di pressione per i NORM e valutazione del loro impatto ambientale
- AGF-T-LGU-04-02 Linee Guida per verifiche di compatibilità ambientale delle attività lavorative con NORM
- RTI-CTN_AGF 3/2004 Attività lavorative con materiali ad elevato contenuto di radioattività naturale

1.1 Nota generale

Con NORM, acronimo di Naturally Occurring Radioactive Materials, si indicano i materiali generalmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali in concentrazioni superiori alla media della crosta terrestre. I NORM costituiscono la materia prima, il prodotto o il residuo della lavorazione in numerose attività industriali, nelle quali il rischio radiologico è generalmente incidentale in relazione al processo e non elevato in confronto a quello derivante dall’esposizione ad agenti chimici. È perciò necessario identificare e porre sotto sorveglianza tali processi industriali.

Le fonti di pressione ambientale relative ai NORM sono dunque le attività lavorative che implicano l’impiego, lo stoccaggio oppure la produzione di materiali e/o di residui che possono provocare un aumento della esposizione della popolazione a causa del contenuto di radioattività naturale.

Tali attività sono state incluse nella normativa italiana di protezione dalle radiazioni ionizzanti (Decreto Legislativo n. 230/95 come modificato dal Decreto Legislativo n. 241/00), nel quale si prevede l’esecuzione di controlli dell’esposizione alle radiazioni ionizzanti per un certo set di attività lavorative che implicano l’impiego o la produzione di NORM.

Queste attività sono individuate nell’Allegato I-bis del D.L.vo 241/2000 (richiamato all’art.10 ter):

- industria che utilizza minerali fosfatici e depositi per il commercio all’ingrosso dei fertilizzanti;
- lavorazione di minerali nella estrazione di stagno, ferro-niobio da pirocloro e alluminio da bauxite;
- lavorazione di sabbie zirconifere e produzione di materiali refrattari;
- lavorazione di terre rare;

-
- lavorazione ed impiego di composti del torio (elettrodi per saldatura, produzione di lenti, reticelle per lampade a gas);
 - produzione di pigmento al biossido di titanio;
 - estrazione e raffinazione di petrolio e estrazione di gas.

1.1.1 La Direttiva 2013/59/EURATOM del 5 dicembre 2013

Il 5/12/2013 è stata approvata la Direttiva 2013/59/EURATOM che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom

In particolare, per quanto riguarda i NORM, nella SEZIONE 2 “Controllo regolamentare”, Art. 23 essa tratta dell'individuazione di pratiche che comportano l'impiego di materiali contenenti radionuclidi presenti in natura.

Si stabilisce che *“gli Stati membri garantiscono l'individuazione di classi o tipi di pratiche che comportano l'impiego di materiali contenenti radionuclidi presenti in natura e che determinano un livello di esposizione dei lavoratori o individui della popolazione non trascurabile dal punto di vista della radioprotezione. L'individuazione è effettuata con i mezzi appropriati, tenendo conto dei settori industriali elencati nell'allegato VI”*.

L'allegato VI “Elenco dei settori industriali che comportano l'impiego di materiali contenenti radionuclidi presenti in natura di cui all'articolo 23” riporta quanto segue:

“Nell'applicare l'articolo 23 si tiene conto del seguente elenco di settori industriali che comportano l'impiego di materiali contenenti radionuclidi presenti in natura, compresa la ricerca e i processi secondari pertinenti:

- *estrazione di terre rare da monazite;*
- *produzione di composti di torio e fabbricazione di prodotti contenenti torio;*
- *lavorazione del minerale niobite-tantalite;*
- *produzione di gas e petrolio;*
- *produzione di energia geotermica;*
- *produzione del pigmento TiO_2 ;*
- *produzione di fosforo con processo termico;*
- *industria dello zirconio e dello zirconio;*
- *produzione di fertilizzanti fosfatici;*
- *produzione di cemento, manutenzione di forni per la produzione di clinker;*
- *centrali elettriche a carbone, manutenzione di caldaie;*
- *produzione di acido fosforico;*
- *produzione primaria di ferro;*
- *fusione di stagno/piombo/rame;*
- *impianti per la filtrazione delle falde freatiche;*
- *estrazione di minerali diversi dal minerale di uranio.”*

1.2 Obiettivi della task e struttura del rapporto

L'obiettivo della presente task, unitamente alla task 03.02.01 è quello di effettuare un primo screening a livello nazionale per definire la potenziale consistenza numerica delle nuove attività, nonché, nel contesto delle attività della task 03.02.01, effettuare una stima preliminare della rilevanza del loro impatto radiologico sia sulla popolazione che sui lavoratori.

In un incontro preliminare dei partecipanti delle due task si era concordato che, visto l'interesse comune alle 2 task di revisionare il complesso delle attività a rischio NORM, nell'ottica di considerare ciascuna attività anche rispetto alla propria (pur se ipotetica) rilevanza radiologica, il lavoro delle due task procedesse affrontando in modo collegato sia il censimento che i relativi risvolti radiologici (valutazione della dose).

Si era concordato inoltre di esplorare il quadro di conoscenze in merito a problematiche emergenti, ad esempio quelle comprese nell'allegato V della bozza dei nuovi Basic Safety Standards dell'Unione Europea (ora Allegato VI della Direttiva 2013/59/Euratom), ad integrazione di quelle già presenti nell'allegato I bis.

Il presente rapporto si presenta quindi strutturato per capitoli che illustrano, in modo sommario e per quanto possibile esaustivo, per ciascuna tipologia di attività, le informazioni reperibili in letteratura che hanno condotto la Commissione Europea ad integrare l'elenco delle attività a rischio NORM.

Verranno presentati inoltre i risultati di una prima raccolta, di carattere preliminare e non esaustivo, relativa alla potenziale consistenza numerica e geografica degli impianti aventi potenziali impatti ambientali di carattere radiologico connessi alla problematica dei NORM per ciascuna delle tipologie di attività, che necessiteranno, in taluni casi di ulteriori approfondimenti oltre che di una definizione più aderente alla realtà nazionale al momento del recepimento della Direttiva nel contesto normativo nazionale.

Gli elenchi di impianti presentati nel presente rapporto pertanto non comportano necessariamente che le attività elencate siano realmente soggette agli adempimenti normativi previsti dalla normativa attualmente vigente, in particolare del Capo III-bis del DLgs 230/95 e ss.mm.ii.

2 ESTRAZIONE DELLE TERRE RARE DALLA MONAZITE

Le terre rare comprendono il gruppo chimicamente coerente di 15 elementi aventi numero atomico compreso tra 57 e 71, i cosiddetti lantanoidi (lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometeo, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, olmio, erbio, tulio, itterbio, lutezio), come pure l'ittrio e lo scandio che hanno proprietà chimiche simili (fig.2.1).

Fig. 2.1 – Tavola periodica degli elementi con indicate le posizioni dei lantanoidi e degli elementi scandio (Sc) ed Ittrio (Y)

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	Se	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

La

Ce

Pr

Nd

Pm

Sm

Eu

Gd

Tb

Dy

Ho

Er

Tm

Yb

Lu

Lanthanides

Ac

Th

Pa

U

Np

Pu

Am

Cm

Bk

Cf

Es

Fm

Md

No

Lr

Actinides

Poiché le terre rare hanno proprietà chimiche simili sono difficili da separare. I primi usi commerciali delle terre rare, che comprendevano pietrine per accendini, prodotti per lucidatura e additivi per vetri e ceramiche, erano basati su una miscela di parecchi elementi delle terre rare.

Le applicazioni attuali delle miscele contenenti terre rare comprendono:

- 1) componenti dei catalizzatori nel processo di cracking per la raffinazione del greggio;
- 2) componenti dei convertitori catalitici nelle automobili;
- 3) additivi metallurgici in varie leghe di metalli ferrosi e non ferrosi
- 4) produzione della lega metallica *mischmetal* composta dal 51-53% di cerio, dal 22-25% di lantanio, dal 15-17% di neodimio, dal 3-4% di praseodimio, dal 2-3% di samario, dal 3% di terbio, dal 3% di ittrio e dal 5% di Ferro, che viene utilizzata:
 - a) come componente delle batterie ricaricabili al nichel metallo idruro (Ni-MH);
 - b) nella produzione di ghisa grafite sferoidale ed in varie leghe, come legante cermet nei metalli duri e come riducente chimico nei processi metallurgici;
 - c) negli idruri reversibili per i sistemi di energia ad idrogeno
- 5) varie applicazioni nelle industrie della ceramica e dei vetri, compresi i componenti di lucidatura del vetro, i coloranti, gli agenti decoloranti, gli agenti che assorbono la radiazione UV, gli additivi per ceramica strutturale e additivi per vetri ottici e lenti.

Le terre rare singolarmente separate sono usate in relative piccole quantità, ma le applicazioni commerciali sono caratterizzate da un elevato grado di sofisticazione tecnologica.

Le seguenti applicazioni in alcuni casi fanno uso di miscele di terre rare, in altri casi fanno uso di terre rare singolarmente separate:

- 1) magneti permanenti al samario-cobalto che vengono utilizzati in applicazioni industriali, militari ed aerospaziali. I magneti al neodimio-ferro-boro, meno costosi, vengono utilizzati nei motorini di avviamento, nei motorini dei tergicristalli, nei motori industriali, nei drivers dei dischi dei computers. Alcuni magneti permanenti includono anche il cerio e il praseodimio;

-
- 2) applicazioni metallurgiche che includono la produzione di acciaio e ghisa sferoidale (Ce), leghe avanzate (La, Ce, Nd, Tb, Er, Y, Sc), riducenti chimici (La, Ce), e leganti cermet (Ce, Y);
 - 3) applicazioni nell'industria del vetro che comprendono componenti di lucidatura (La, Ce), coloranti (Ce, Pr, Nd, Ho, Er), agenti di decolorazione (Ce, Nd, Er), agenti di assorbimento della radiazione UV (Ce, Pr, Nd), additivi per occhiali e lenti ottiche (La, Ce, Nd, Gd, Y);
 - 4) applicazioni nei materiali luminescenti (comunemente noti come fosfori) che comprendono schermi della televisione a colori e di altri dispositivi elettronici (Ce, Eu, Tb, Lu, Y, Sc), apparecchiature a raggi X (La, Eu, Gd, Tb, Tm, Yb, Lu) e lampade fluorescenti (La, Ce, Eu, Gd, Tb, Dy, Y, Sc);
 - 5) applicazioni nel settore della ceramica che includono la ceramica per l'ingegneria (Ce, Y), la ceramica dentale (Ce, Y), la ceramica ferro-elettrica ed elettro-ottica (La), i condensatori ceramici (La, Ce, Pr, Nd), i catalizzatori di ossidi misti (La, Ce, Nd, Y), gli elettroliti solidi (Tb, Y), gli elementi riscaldanti (La), gli emettitori termoionici (La), i refrattari (Gd, Ho, Sc), gli abrasivi (La, Ce), gli smalti ceramici (La, Ce, Nd, Er) e i pigmenti ceramici (Pr);
 - 6) applicazioni del settore nucleare che comprendono gli assorbitori di neutroni (Sm, Dy, Eu, Gd, Dy, Ho), i veleni combustibili (Gd, Dy);
 - 7) altre applicazioni che includono i laser (La, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Y, Sc), le fibre ottiche (La, Nd, Ho, Er, Yb), i superconduttori (La, Do, Lu, Y), i componenti a microonde (La, Nd, Y), i pigmenti (La, Ce), le batterie La-Ni-H (La) e gli idruri reversibili per i sistemi di energia ad idrogeno (La, Ce, Pr, Nd).

Le terre rare si trovano in giacimenti primari associati ad intrusioni ignee e vene, dicchi e pegmatiti e in depositi secondari di spiagge, dune e pianure alluvionali. Mentre è noto che più di 200 minerali contengono terre rare a concentrazioni superiori allo 0,01%, i principali minerali da cui provengono le terre rare utilizzate commercialmente sono:

- a) la bastnasite, $(Ce, La, Y)(CO_3)F$, un fluorocarbonato che si trova nei carbonati e nelle relative rocce ignee, con una percentuale di terre rare del 58-75% di ossidi di terre rare;
- b) la monazite $(Ce, La, Nd, Y, Th)PO_4$, che si trova in depositi di sabbia di minerali pesanti, nei depositi di granito e di minerali a basso contenuto di stagno dell'Asia del sud-est, con una percentuale di terre rare del 35-78% di ossidi di terre rare;
- c) l'argilla lateritica, un tipo di minerale formato da erosione lateritica delle rocce ignee, con una percentuale di terre rare del 0,05-4% di ossidi di terre rare;
- d) lo xenotime, YPO_4 , che si trova con la monazite nelle sabbie minerali pesanti e nello stagno, con una percentuale di terre rare del 54-65%;
- e) la Loparite, $(Ce, Ca, Na)_2(Ti, Nb)_2O_6$, un titanato collegato alla perovskite (e quindi indicato anche come niobio perovskite) che si trova nelle rocce alcalino ignee, con una percentuale di terre rare del 28-37% di ossidi di terre rare.

I minerali utilizzati per gli usi commerciali delle terre rare contengono elevate concentrazioni di radionuclidi della serie naturale del torio e, in misura minore, della serie naturale dell'uranio. Nella monazite le concentrazioni di torio sono sufficientemente elevate da giustificare il suo uso come sorgente commerciale di torio.

Durante le operazioni di trattamento dei minerali, i radionuclidi possono mobilizzarsi e migrare nelle polveri, nelle incrostazioni e negli altri residui di processo, che portano alla possibilità di significative concentrazioni di attività di radionuclidi in questi materiali anche quando le concentrazioni nel minerale grezzo di partenza sono basse. Gli isotopi del radio in particolare si possono concentrare nelle incrostazioni.

Come riportato nel documento IAEA Safety Reports Series n. 68 [1], la monazite è la principale sorgente delle terre rare e mostra la massima concentrazione di attività fra tutti i materiali ottenuti tramite processi di estrazione e di arricchimento di sabbie contenenti minerali pesanti.

Ad un livello tipico di ThO_2 del 5-6% si può avere una concentrazione di attività di $Th-232$ dell'ordine di 200 Bq/g. La maggior parte dei livelli di concentrazione di attività riportati in letteratura rientrano nel range 140-250 Bq/g.

Concentrazioni di attività più elevate (230-400 Bq/g, corrispondenti a concentrazioni di ThO₂ pari a 6-11%) si possono trovare nella monazite proveniente dall'India, mentre concentrazioni di attività più basse (7-32 Bq/g, corrispondenti a concentrazioni di ThO₂ pari allo 0.2-0.9%) si trovano nella “monazite nera” proveniente da Taiwan. Le misure effettuate su monazite australiana presuppongono che la catena di decadimento del torio sia sostanzialmente in equilibrio.

Le concentrazioni di attività di U-238 ricadono generalmente nel range 6-40 Bq/g (corrispondenti a concentrazioni di U₃O₈ pari a 0.06-0.4%), con valori che per la monazite proveniente dall'India si trovano sul limite superiore di questo intervallo. Concentrazioni più basse (5-6 Bq/g, corrispondenti a concentrazioni di U₃O₈ pari a 0.05-0.06%) si sono trovate nella “monazite nera” proveniente da Taiwan [6].

2.1 Riferimenti della letteratura scientifica considerati dalla Commissione Europea

Come riportato nel lavoro di Wiklund et al., presentato al V Simposio Internazionale sui NORM tenutosi a Siviglia nel 2007, l'attuale Titolo VII della Direttiva 96/29/Euratom introduce un sistema graduale in cui gli Stati membri sono tenuti ad identificare le attività lavorative con sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti che possono destare preoccupazione, lasciando allo Stato membro la decisione su quali attività possano destare maggiore preoccupazione.

A chiarimento e come ulteriore passo verso l'armonizzazione del sistema regolatorio relativo alle sorgenti di radiazioni naturali, il Gruppo di Lavoro sulle Sorgenti Naturali istituito nel 2005, nell'ambito del Gruppo di Esperti stabilito ai sensi dell'art. 31 del Trattato Euratom, proponeva di includere nei Basic Safety Standards europei una specifica lista di attività lavorative di interesse. La lista è in gran parte simile alle attività lavorative elencate dall'IAEA nel documento Safety Report Series no. 49 [2].

La lista delle attività lavorative è una cosiddetta lista positiva, che specifica quali attività lavorative debbano essere regolamentate.

Tale lista allegata alla nota di accompagnamento sui NORM per la Rete Europea ALARA NORM (EAN_{NORM}) [3] datata 8 maggio 2008 e firmata da Åsa Wiklund dell'Ufficio di Radioprotezione della Commissione Europea contiene tra le attività lavorative con sorgenti di radiazioni naturali anche le attività lavorative che riguardano **l'estrazione di terre rare dalla monazite**.

Nel lavoro della Wiklund precedente citato, si fa riferimento al Rapporto finale del Progetto SMOPIE (Strategies and Methods for Optimisation of Protection against Internal Exposures of Workers from Industrial Natural Sources) commissionato dalla Commissione Europea, per quanto riguarda la lista delle attività lavorative con sorgenti di radiazioni naturali da considerare [4].

In tale Rapporto nel work package 1 viene riportata una rassegna del numero dei lavoratori esposti e dell'intensità dell'esposizione interna nelle industrie europee con sorgenti di radiazioni naturali.

In particolare, per quanto riguarda le attività lavorative relative all'estrazione di terre rare dalla monazite, si riporta quanto segue:

1. In Francia su 127 lavoratori monitorati, addetti all'estrazione delle terre rare in un impianto della Società RHODIA, i dati di dose efficace da inalazione hanno fornito valori in media pari a 1.5 mSv/anno ed in alcuni casi sono stati riscontrati anche valori maggiori di 20 mSv/anno;
2. Nel Regno Unito nell'industria degli additivi per vetri ottenuti da composti di terre rare e che interessa un numero di lavoratori inferiore a 100, il range di dose efficace totale è compreso tra 1 e 2 mSv/anno.

Nel documento Radiation Protection 107 della Commissione Europea, nei paragrafi riguardanti la produzione di terre rare si riporta che le più importanti sorgenti di terre rare sono la monazite e la bastnaesite. In particolare il concentrato minerale di monazite si ottiene da appropriate sabbie mediante una cernita gravimetrica ed elettromagnetica [5].

Usando degli acidi forti o soluzioni alcaline sul concentrato, i lantanidi precipitano.

Durante il processo di estrazione gli isotopi del radio coprecipitano con il solfato di bario per formare un sottoprodotto contenente radio (che ha una concentrazione di attività di circa 3000 Bq/g di Ra-228 e 450 Bq/g di Ra-226). Viene prodotto anche un secondo sottoprodotto con elevati livelli di radio, costituito principalmente da fosfato di calcio e da residui minerali. Questo sottoprodotto ha una concentrazione di attività di circa 20 Bq/g di Ra-228 e di 3 Bq/g di Ra-226.

In tale documento si riporta che i dati provenienti dal Regno Unito mostrano che le concentrazioni di attività tipiche della catena del torio nei vetri speciali, come quelli utilizzati nei tubi a raggi catodici per le televisioni, arrivano fino a 10000 Bq/kg ed a valori un po' meno elevati per la catena dell'U-238 (circa 1000 Bq/kg). I ratei di dose vicino ai sacchi o ai bidoni di concentrati di cerio usati per la fabbricazione di questi vetri possono arrivare fino a 5 mSv/h, ma diminuiscono rapidamente con la distanza. Le concentrazioni in aria di Th-232 possono arrivare fino a parecchie decine di mBq/m³.

2.2 Tipologie di lavorazioni

In passato, le terre rare venivano ottenute da concentrato di monazite mediante digestione con il 98% di acido solforico a 200-220 °C. Il minerale viene decomposto esotermicamente, formando una miscela pastosa di solfati e solfati acidi sospesi in acido fosforico e acido solforico.

Di solito, alla soluzione limpida viene aggiunto il solfato di sodio per causare la precipitazione selettiva di un doppio solfato di $\text{RE}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ di terre rare leggere. Il torio, alcune delle terre rare pesanti e altre impurità come ferro e uranio rimangono in soluzione. Tuttavia, una parte significativa del torio precipita con il doppio solfato delle terre rare, richiedendo un'intensa purificazione della frazione delle terre rare per soddisfare le esigenze di mercato.

Per questo motivo, il processo di digestione acida è stato in gran parte sostituito da digestione con idrossido di sodio. Il metodo con idrossido di sodio è attualmente il metodo preferito ed è usato in molte parti del mondo. Ha il vantaggio di recuperare fosfato nella monazite come fosfato trisodico, un sottoprodotto commerciabile, come pure quello di fornire il cloruro di terre rare, come prodotto intermedio, con un numero minimo di operazioni.

La soluzione di cloruro di terre rare purificata viene convertita in un prodotto intermedio che può essere ulteriormente trattato per separare e purificare le singole terre rare. Una possibilità per la soluzione di cloruro di terre rare è quella di essere posta in una batteria di vasche rivestite di vetro dove viene concentrata in varie fasi attraverso l'evaporazione, viene sfaldata ed imballata in fusti di acciaio per dare un prodotto conosciuto come "cloruro di terre rare mescolate". Questo prodotto contiene il 46% di Ossidi di Terre Rare (REO) e forma il materiale di partenza per la produzione di vari prodotti delle terre rare, come fluoruri di terre rare, carbonati e ossidi, ossido di cerio, e le frazioni intermedie e pesanti di terre rare.

Un'altra opzione è quella di sottoporre la soluzione di cloruro di terre rare ad ulteriore lavorazione, in cui le terre rare intermedie e pesanti sono separate dalle terre rare più leggere mediante estrazione con solvente o, meno comunemente, tramite scambio ionico.

Il residuo di idrossido proveniente dal processo di lisciviazione con acido cloridrico contiene la maggior parte del torio (99,3-99,99%) e uranio (95-99,7%) presente nella monazite di partenza, insieme con altri minerali come ferro, titanio e monazite che non ha subito reazione chimica.

Esso contiene anche il 30-40% circa del radio proveniente dalla materia prima.

Nella tabella 2.1 vengono riportate le concentrazioni di attività nei residui e nei sottoprodotti a seguito del trattamento di concentrato di monazite tramite idrossido di sodio, tratte dal documento IAEA Safety Reports Series n. 68

Tab. 2.1 – Concentrazioni di attività nei residui e nei sottoprodotti a seguito del trattamento di concentrato di monazite tramite idrossido di sodio

Residuo/Sottoprodotto	Ac Th-232 (Bq/g)	Ac Ra-228 (Bq/g)	Ac U-238 (Bq/g)	Ac Ra-226 (Bq/g)
Fosfato tricalcico	47	23	6	3
Residuo di idrossido	487-1000	-	55-90	-
Residuo di solfato di bario	43	1000-10000	9	450
Insolubile di monazite	-	400-2000	-	-

Nella tabella 2.2, tratta dal medesimo documento IAEA, vengono riportate le concentrazioni di attività di Ra-228 degli effluenti liquidi misurate in India a seguito del trattamento della monazite.

Tab. 2.2 – Concentrazioni di attività di Ra-228 degli effluenti liquidi a seguito di trattamento della monazite

Tipo di effluente liquido	Concentrazione di attività di Ra-228 (Bq/l)
Effluente alcalino – prima del trattamento	300-400
Effluente alcalino – deflusso dalla vasca di decantazione	0.4
Effluente alcalino - deflusso dalla vasca di decantazione dopo aver migliorato l'efficienza di decantazione	0.1
Effluente acido – prima del trattamento	150-200
Effluente acido – dopo la precipitazione del radio	0.0019
Effluente acido – dopo la precipitazione del radio con processo di disattivazione	0.0004
Effluente combinato – dopo la precipitazione	0.000044
Effluente combinato – dopo ulteriore trattamento con calce	< 0.000015

Le concentrazioni di attività dei rilasci gassosi dagli impianti di trattamento della monazite sono risultate non significative, con livelli inferiori a 3.7 Bq/m³.

Il trattamento chimico dei minerali concentrati dà luogo ad esposizione lavorativa attraverso la radiazione esterna e l'inalazione di polveri in sospensione contenenti i radionuclidi della progenie del toron.

Nella lavorazione della monazite, il residuo di solfato di bario derivante dalla disattivazione e dai processi di eliminazione del piombo può mostrare concentrazioni molto elevate di radio, portando a significative esposizioni di radiazione gamma.

La contaminazione dell'aria si verifica nella fase di macinazione della monazite che porta ad un rilascio di polveri e di radionuclidi discendenti del toron.

Anche alcune delle altre operazioni del processo, come la filtrazione e l'essiccamento dei concentrati di torio e l'evaporazione del cloruro di terre rare, danno luogo a contaminazione dell'aria.

Senza adeguata ventilazione e confinamento dei flussi di processo, significative concentrazioni della progenie del toron si possono rilevare nelle aree dello stabilimento coinvolte nella macinazione e nelle operazioni di rimozione del radio.

Può quindi essere necessario il monitoraggio di routine della progenie del toron.

La contaminazione superficiale si ha quando si verificano delle fuoriuscite di monazite, che si depositano sulle apparecchiature e sulle superfici dell'impianto.

La contaminazione può anche essere risospesa a seguito di una essiccazione e quindi si può presentare il rischio di inalazione.

I ratei di dose gamma nel trattamento chimico della monazite tratti dalla pubblicazione IAEA Safety Reports Series n. 68 sono riportati nella tabella 2.3.

Tab. 2.3 – Ratei di dose gamma nel trattamento chimico della monazite

Stoccaggio monazite	Rateo di dose assorbita ($\mu\text{Gy/h}$)
Locale monazite	180
Locale essiccazione monazite con fusti di concentrato di torio	180
Bidone di monazite in polvere	40
Area di stoccaggio monazite	> 150
Stoccaggio idrossido di sodio	
Locale soda caustica	Fondo
Locale soda caustica con fusti di concentrato di torio usati	4
Stoccaggio fosfato trisodico	
Locale stoccaggio fosfato trisodico	Fondo
Locale stoccaggio fosfato trisodico con gli scarti dei teli filtranti	1
Aree dell'impianto	
Macinazione della monazite, trattamento NaOH, produzione Na_3PO_4	2 (0,5-50)
Disattivazione ed eliminazione del piombo, produzione di cloruro di terre rare	5 (2-600)
Apparato di filtrazione	
Filtri Moore	50
Filtro presse	30
Disattivazione ed eliminazione del piombo	
Circuito di rimozione del radio	30-2000
Residuo di solfato di bario	500-1000 400-600
Produzione di cloruro di terre rare	
Evaporatori	25
Evaporatori senza carico	Fondo
Bidone del prodotto	50
Residuo di idrossido e concentrato di torio	
Locale essiccazione $\text{Th}(\text{OH})_4$, ~ 100 fusti di prodotto umido stoccato	80
Depositi di concentrato di torio	250-350
Residuo di torio-uranio, dopo crescita di Ra-228	300
Prodotti insolubili della monazite	
Sacco	60-100
A contatto del sacco	100-150
Prodotto di trattamento dell'effluente	< 2-3

Nella aree dell'impianto generalmente i ratei di dose assorbita sono inferiori a 10 $\mu\text{Gy/h}$. Ratei di dose più elevati, fino a 2000 $\mu\text{Gy/h}$, sono stati osservati vicino al circuito di rimozione del radio, dovuti alla concentrazione più elevata di radio nel residuo ed alla formazione di una incrostazione di radio nella unità di filtrazione.

Ratei di dose fino a 350 $\mu\text{Gy/h}$ sono stati trovati nelle aree di stoccaggio dei materiali di trattamento ad alta attività come i residui di idrossido.

I livelli di polvere negli impianti di trattamento della monazite sono generalmente modesti.

Negli impianti di trattamento della monazite in India le concentrazioni di polvere respirabile sono dell'ordine di 0.03-2.5 mg/m³, con un valor medio paria 0.3 mg/m³.

I dati delle concentrazioni di Th-232 nelle polveri, tratti sempre dalla pubblicazione IAEA sopra citata, sono riportati nella tabella 2.4.

Tab. 2.4 – *Livelli di concentrazione di attività di Th-232 nelle polveri in impianti di trattamento della monazite*

	Concentrazione di attività Th-232 (mBq/m³)
Aree del processo iniziale	64-74
Deposito di monazite, scorta da 20 t	480
Monazite, scorta da 100 t	200
Locale essicazione monazite	100
Macinazione con mulino a palle della monazite	20
Macinazione della monazite	0.2-4
Bidone di stoccaggio di polvere di monazite	300
Bilancia automatica per la monazite	1
Bilancia automatica per la monazite in condizioni sfavorevoli di vento	18600
Macinazione della monazite, trattamento NaOH, produzione di Na ₃ PO ₄	50 (2-220)
Area di estrazione	90
Filtro Moore	40
Area di disattivazione	100
Disattivazione, eliminazione del piombo, produzione di cloruro di terre rare ^a	60 (2-590)
Filtro della torta di solfato di bario	103
Area idrossido	81
Filtro pressa Th(OH) ₄	3500
Locale essicazione Th(OH) ₄	9210
Locale essicazione Th(OH) ₄ , condizione polverosa	25090
Evaporatori del cloruro di terre rare	35
Aree non di produzione	
Ufficio dell'impianto	15
Depositi generali	26
Laboratorio chimico	4
All'interno dell'impianto (periodo di 15 anni)	40 (1-2600)
Popolazione locale (per confronto)	0.1 (< 0.03-0.2)

^a comprende anche l'estrazione del torio e la produzione di ossalato di torio

Nella tab. 2.5 vengono riportati i dati delle concentrazioni di gas toron e della progenie del toron, misurati in impianti indiani di trattamento della monazite e tratti dal documento IAEA precedentemente citato.

Tab. 2.5 – Livelli di concentrazione di toron e della progenie del toron misurati in impianti indiani di trattamento della monazite

	Concentrazione di gas toron (Bq/m ³)	PAEC della progenie del toron (μJ/m ³)
Deposito di monazite, scorta da 20 t	7800	-
Monazite, scorta da 100 t	52500	-
Locale essiccazione monazite	4800	-
Macinazione con mulino a palle della monazite	5900	-
Bidone di stoccaggio di polvere di monazite	5900	-
Bilancia automatica per la monazite	40	-
Macinazione della monazite, trattamento NaOH, produzione di Na ₃ PO ₄	-	4 (0.1-6)
Filtro Moore	3000	
Disattivazione, eliminazione del piombo, produzione di cloruro di terre rare ^a	-	7 (0.5-37)
Filtro pressa Th(OH) ₄	11000	-
Locale essiccazione Th(OH) ₄	38100	-
Locale essiccazione Th(OH) ₄ , condizione polverosa	34400	-
Aree contaminate e aree di stoccaggio carico ad accesso controllato	-	20-60
Area generali dell'impianto	5000 (2000-50000)	0.4-6
Aree non di produzione		
Ufficio dell'impianto	400	
Depositi generali	70	
Laboratorio chimico	70	
All'esterno dell'impianto all'aria aperta (per confronto)	56.4-448	Pb-212: 2-20 Bi-212: 0.6-9

^a comprende anche l'estrazione del torio e la produzione di ossalato di torio

2.3 Censimento delle attività produttive in Italia

Da informazioni tratte dal sito web della Direzione Generale per le Risorse Minerarie ed Energetiche del Ministero dello Sviluppo Economico, risulta quanto segue:

- 1) non esistono attività estrattive per Terre Rare in Italia, quindi non vi è produzione nazionale di esse;
- 2) non risulta che siano state condotte attività di ricerca per cui sono state individuate eventuali potenzialità o riserve estrattive sul territorio nazionale;
- 3) non si è al corrente di imprese italiane che abbiano attività estrattive all'estero per Terre Rare
- 4) Da oltre venti anni l'ENEA ha incluso nelle sue linee di attività di ricerca le terre rare. Il monitoraggio e lo studio di questo particolare campo avviene nel centro di ricerche di Trisaia, in provincia di Matera. A livello sperimentale e di ricerca scientifica l'ENEA ha intrapreso una collaborazione con la Cina (conclusasi nel 2008) con la realizzazione di un impianto pilota innovativo per l'estrazione di terre rare da concentrato mercantile. Inoltre l'ENEA ha sviluppato,

nell'ambito di un'iniziativa del Ministero del Commercio Internazionale/ICE, un progetto di fattibilità per l'avvio di attività di estrazione di Terre Rare nella Repubblica del Mozambico per la loro produzione e commercializzazione, acquisendo così specifiche competenze operative.

Da quanto sopra riportato, si può dedurre che ad oggi in Italia non risultano esistere problematiche legate alle attività lavorative relative all'estrazione delle terre rare dalla monazite.

3 PRODUZIONE DI COMPOSTI DI TORIO E FABBRICAZIONE DI PRODOTTI CONTENENTI TORIO

Il concentrato di torio, contenente fino al 20 % di torio, è ottenuto dalla trasformazione chimica della monazite e di altri minerali ricchi di torio. Attraverso la digestione con acido nitrico, la concentrazione e la purificazione viene prodotto nitrato di torio che viene utilizzato per la fabbricazione delle reticelle al torio così come per la produzione di altri composti di torio, quali l'ossido di torio (utilizzato nella fabbricazione di vetro e dei catalizzatori) e il fluoruro di torio (usato come rivestimento delle lenti di rivestimento e nel vetro stesso).

Inoltre viene utilizzato per la produzione del torio metallico (impiegato in leghe di magnesio e in bacchette per saldatura e in altre forme di elettrodi di tungsteno). Piccole quantità di torio vengono utilizzate anche in molti altri prodotti, come per esempio starter per lampade, luci delle piste degli aeroporti, rivelatori di radiazioni e gli elementi delle celle a combustibile. I materiali coinvolti nei vari processi di produzione tendono a contenere alte concentrazioni di torio o Ra-228 e possono dar luogo a rischi di radiazioni che possono richiedere specifiche misure di radioprotezione, principalmente nei confronti dell'esposizione a radiazioni gamma e, in casi eccezionali, a radiazione beta e alla polvere.

Anche l'esposizione al toron può rappresentare un pericolo significativo, in particolare in ambienti confinati come serbatoi, silos, etc. L'esperienza ha mostrato che le dosi efficaci ricevute dai lavoratori nella produzione di composti di torio, dovute essenzialmente a radiazioni esterne e ad inalazione del toron, variano in genere da 6 a 15 mSv/anno, anche se in alcuni casi si possono superare i 20 mSv/anno.

Le dosi efficaci ricevute dai lavoratori nei processi produttivi che coinvolgono modeste quantità di materiali contenenti torio sono generalmente più basse, spesso inferiori a 1 mSv/anno, ma talvolta raggiungono i 10 mSv/anno o più.

3.1 Riferimenti della letteratura scientifica considerati dalla Commissione Europea

Nell'allegato A del documento della Commissione Europea Radiation Protection 107, nel paragrafo riguardante la produzione e l'uso di composti di torio nelle industrie europee vengono riportati alcuni dati radiologici [5].

In particolare i livelli di concentrazione di attività di Th-232 nelle reticelle per lampade a gas sono risultati compresi tra 400 e 895000 Bq/kg e negli elettrodi per saldatura TIG (Tungsten Inert Gas) tra 27000 e 124000 Bq/kg.

Citando uno studio olandese del 1993, la produzione di elettrodi al torio-tungsteno dà luogo a dosi da inalazione comprese nel range da 10 a 20 mSv/anno. La produzione di reticelle al torio per lampade a gas dà luogo a dosi da inalazione comprese verosimilmente tra 1 e 6 mSv/anno ed in maniera più conservativa a livelli maggiori di 20 mSv/anno.

Una contaminazione aerea si può avere durante la fusione e la colata di leghe ed anche durante il taglio e la macinazione. Le concentrazioni di attività mediate nel tempo possono giungere fino a 50 mBq/m³.

Nel rapporto del Progetto SMOPIE viene riportato che la percentuale in peso di ossido di torio nelle bacchette per saldatura è compresa tra 1 e 2 %, ma esistono anche alcune bacchette in cui la percentuale sale al 2-4 %.

Nel rapporto viene considerato ragionevole che il 10% dei saldatori TIG possano ricevere una dose significativa, ossia superiore a 1 mSv/anno.

In un documento dell'Autorità Francese per la Sicurezza Nucleare (ASN) [6], nel capitolo riguardante la produzione e l'uso di composti contenenti torio, considerando la situazione in Francia, si riporta che il Th-232 viene utilizzato come additivo in certi prodotti che comprendono gli elettrodi nell'industria dell'acciaio, nell'ottica e nelle leghe di magnesio/torio utilizzate nell'industria aeronautica. La caratteristica del torio è di aumentare la resistenza delle leghe al calore, nel caso soprattutto degli elettrodi utilizzati nell'industria nell'acciaio e delle leghe utilizzate nell'industria aeronautica.

3.2 Tipologie di lavorazioni

Dalle informazioni desunte dal documento dell'Autorità Francese per la Sicurezza Nucleare precedentemente citato, si evince quanto segue:

in una fonderia francese che usa elettrodi TIG, l'elettrodo viene utilizzato in una parte dell'apparecchiatura chiusa ermeticamente e la polvere legata all'uso dell'elettrodo viene recuperata in un filtro. Poiché l'apparecchiatura risulta chiusa ermeticamente i lavoratori sono esposti solamente quando maneggiano l'elettrodo da inserire nel montaggio di rettifica o di saldatura. La dose annuale ricevuta per esposizione esterna è stata valutata pari a 3.4 μSv .

In una ditta di manutenzione per carter aeronautici, il rischio di esposizione per il personale è legato alla presenza di carter nell'officina manutenzione ed alla loro rettifica. La concentrazione di attività alfa della polvere in aria è stata valutata pari a 3.19 Bq/m³ ed il rateo di dose fra due carter distanti un metro uno dall'altro è risultato pari a 3.5 $\mu\text{Sv/h}$. Considerando 500 ore di lavoro senza l'uso di dispositivi di protezione, la dose ricevuta sarebbe pari a 81.75 mSv/anno, di cui 1.75 mSv/anno dovuta ad esposizione esterna ed 80 mSv/anno dovuta ad esposizione interna.

La stima del rateo di dose vicino ad un sistema ottico da 650 cm², contenente 2470 Bq di Th-232, presente in un'industria di optoelettronica francese è risultata pari a 2.47 $\mu\text{Sv/h}$.

La produzione da parte di un'industria francese di idrossido di torio nel periodo 1970-1987, considerato come materiale recuperabile, era legata all'uso della monazite.

La produzione di ossido di torio era ottenuta utilizzando una soluzione di nitrato di sodio. Il nitrato veniva precipitato, filtrato e bruciato alla temperatura di 900°C prima di essere vagliato e messo in fusti di metallo. Gli effluenti derivanti dalla filtrazione erano trattati in un impianto di trattamento di effluenti radioattivi e producevano un residuo contenente radio.

Anche la produzione di un "mantello" di nitrato di torio viene effettuata usando una soluzione di nitrato di torio. I processi di riscaldamento, cristallizzazione, drenaggio, essiccazione sono effettuati in successione e permettono di ottenere un prodotto secco che viene contenuto in barili. Gli effluenti derivanti dal processo di drenaggio sono riciclati nel processo.

La valutazione delle dosi ricevute dai lavoratori più esposti è stata effettuata per 3 attività lavorative più significative: attività nel locale torio, attività nel locale trattamento effluenti radioattivi e attività di manutenzione.

Nel 2005 la dose massima nel locale torio è stata stimata pari a 63 mSv/anno per 1300 ore di lavoro ed era comprensiva sia dell'esposizione esterna che dell'esposizione interna (Rn-222). Nel 2007 è stata effettuata una nuova valutazione che ha fornito un valore pari a 42 mSv/anno. Questa valutazione di dose è stata effettuata tenendo conto dell'uso di dispositivi di protezione (in particolare di una cappa). Per il locale trattamento effluenti la dose stimata per 80 ore di lavoro all'anno è risultata pari a 0.34 mSv.

Quest'ultimo valore di dose è riferito solamente all'esposizione esterna, in quanto le misure di radon e di inalazione di polvere hanno dato risultati pari a zero. Per quanto riguarda l'attività di manutenzione, è stato preso come esempio il miglioramento del sito di stoccaggio di HBTh (hydroxydes brut de thorium). In totale 10 persone hanno ricevuto una dose compresa tra 1 e 6 mSv per tutta la durata dell'operazione di trattamento, pari a circa 1 anno.

3.3 Censimento delle attività produttive in Italia

In Italia non risultano impianti di produzione di composti di torio e fabbricazione di prodotti contenenti torio. Come riportato nella tabella 1 dell'Allegato 1 del documento della Commissione Europea "Radiation Protection n. 146", relativo ad una rassegna di prodotti di consumo contenenti sostanze radioattive presenti nell'Unione Europea, non risulta che in Italia vengano prodotte lenti al torio e bacchette di tungsteno al torio per saldatura [7].

4 LAVORAZIONE DELLA NIOBITE/TANTALITE

La niobite/tantalite o columbite/tantalite (abbreviata con il termine coltan) è una miscela complessa di niobite e tantalite, due minerali della classe degli ossidi che raramente si trovano in natura come termini puri. Dalla niobite si estrae il niobio. Questo elemento chimico fu scoperto nel 1801 da Charles Hatchett, un chimico inglese che analizzò un campione di un minerale sconosciuto dalla collezione del British Museum di Londra. Si trattava di minerale nero proveniente dalla collezione del primo governatore del Connecticut, John Winthrop. Il minerale, in seguito chiamato columbite, era stato trovato nei pressi di New London, nel Connecticut. Charles Hatchett chiamò questo elemento colombio in riferimento alla sua origine americana.

Il tantalio fu scoperto un anno dopo, nel 1802, dal chimico svedese Anders Gustaf Ekeberg.

Nel 1809, William Hyde Wollaston, un chimico britannico, dopo aver analizzato campioni minerali sia di columbite che di tantalite sostenne che il colombio ed il tantalio erano lo stesso elemento. Non ci fu nessuna contestazione in merito a tale conclusione fino a quando Heinrich Rose, nel 1844, fu in grado di distinguere questi due elementi dalle differenze del loro stato di ossidazione, con il colombio che mostrava avere gli stati +3 e +5 ed il tantalio solo lo stato +5.

Il colombio fu ribattezzato allora niobio da Niobe, figlia di Tantalo.

Le somiglianze chimiche degli ossidi di questi due elementi hanno reso molto difficile per i chimici di quel tempo separarli fino a quando nel 1866 Marignac sviluppò una procedura per ottenere la loro separazione attraverso l'uso di sali di fluoruro di potassio.

4.1 Riferimenti della letteratura scientifica considerati dalla Commissione Europea

Nell'allegato A del documento della Commissione Europea Radiation Protection 107 [5], nel paragrafo riguardante il niobio vengono fornite alcune informazioni circa i minerali, i processi a cui vengono sottoposti ed i prodotti ottenuti, nonché vengono riportati alcuni dati radiologici.

Viene riportato che il niobio si trova insieme con altri elementi come il titanio, lo zirconio, il tungsteno, il torio e l'uranio nei minerali come la tantalite, la columbite, la fergusonite, la samarskite, il pirocloro, la koppite e la loparite.

Il trattamento dei minerali comprende la fusione con idrossido di sodio o di potassio, la dissoluzione in acido cloridrico ed il trattamento con cloro a 750-800 °C.

Il niobio metallico in polvere così ottenuto viene purificato, riducendo il fluoroniobato di potassio con sodio metallico, riducendo il pentossido di niobio con cadmio metallico o per elettrolisi. Per ottenere un metallo puro, la polvere viene riscaldata a 2000 °C sotto vuoto.

Il niobio è ampiamente usato nell'industria del vuoto, nella produzione di anodi, griglie, condensatori elettrolitici, raddrizzatori. E' utilizzato in ingegneria chimica come materiale resistente alla corrosione, la lega Ferroniobio è utilizzata nelle apparecchiature termonucleari.

Il Niobio e le sue leghe refrattarie sono utilizzati nel campo della tecnologia per la fabbricazione di razzi, nell'industria degli aerei supersonici, nelle apparecchiature per il volo interplanetario e nei satelliti.

Nel documento vengono riportati anche alcuni dati radiologici relativi alla produzione di ferro-niobio dal pirocloro. In particolare, citando uno studio olandese del 1993, viene indicato che il pirocloro ha una concentrazione di attività di 17000 Bq/kg di U-238 che comporta una stima di dose da inalazione e da irradiazione esterna, durante la produzione, pari a 20 mSv/anno.

I ratei di dose in prossimità dei bidoni dei rifiuti non trattati e delle scorie sono dell'ordine di decine di mSv/h, ma diminuiscono rapidamente con la distanza. Il processo ad alta temperatura nella produzione di ferro-niobio può portare alla volatilizzazione del Pb-210 e del Po-210.

In un impianto sono stati rilevati livelli di concentrazione di attività compresi tra 100000 e 500000 Bq/kg.

4.2 Tipologie di lavorazioni

Dopo l'estrazione i minerali vengono lavorati per arricchire la quantità di niobio e tantalio. Una concentrazione iniziale viene normalmente effettuata presso il sito minerario o nelle vicinanze e richiede la frantumazione del minerale seguita poi dalla separazione della niobite e della tantalite dalla ganga, utilizzando una combinazione di metodi fisici e chimici. Sebbene il niobio ed il tantalio siano geochimicamente simili ciascuno di loro richiede un differente percorso di lavorazione. La niobite viene prima frantumata in frantoi a mascella, a cono o ad impatto e macinata in mulini a barre o a palle che operano in circuiti chiusi con vibrovagli e classificatori a vite per liberare le particelle minerali di niobio. L'impasto semiliquido contenente niobio e roccia da scarto è ulteriormente concentrata a circa il 54 % di ossido di niobio utilizzando un numero di metodi a più stadi: può essere utilizzata la separazione gravimetrica, la flottazione con schiuma, la separazione magnetica ed elettrostatica e la lisciviazione acida, a seconda delle caratteristiche fisiche e chimiche dei minerali.

In Canada la niobite viene vagliata e classificata, dopo di che l'impasto liquido risultante viene sottoposto ad un trattamento di rimozione delle particelle dell'ordine del micron. Il materiale carbonatico viene rimosso da due stadi di flottazione con schiuma, seguito da un ulteriore stadio di rimozione delle particelle dell'ordine del micron. La magnetite viene rimossa dall'impasto semiliquido da una separazione magnetica a bassa intensità e posta nei rifiuti. Il piroclore molto richiesto viene raccolto dall'impasto semiliquido per flottazione con schiuma utilizzando collettori a diammina. Per rimuovere i solfuri come la pirite viene utilizzata come fase finale la flottazione con schiuma.

Le impurità residue sono percolate mediante acido cloridrico, lasciando un concentrato finale che contiene circa il 54 % di ossido di niobio.

La tantalite è inizialmente trattata in maniera analoga alla niobite. E' frantumata, macinata e vagliata per liberare le particelle minerali di tantalio. L' impasto semiliquido contenente il tantalio ed il materiale di scarto viene concentrato fino a circa il 30 % di ossido di tantalio utilizzando prevalentemente la gravità e le tecniche di separazione magnetica, a seconda delle caratteristiche del minerale.

In Australia i minerali di stagno-tantalio vengono processati utilizzando un dispositivo di tavole vibranti, spirali e gighe. Il concentrato grezzo è disidratato ed essiccato in modo da produrre un concentrato di tantalio contenente dal 4 al 6 % circa di ossido di tantalio. La separazione magnetica ad alta intensità viene utilizzata per separare i granelli paramagnetici di tantalio dai granelli non magnetici di stagno-tantalio. La frazione paramagnetica è ulteriormente concentrata a circa il 30% di ossido di tantalio per arrostitimento. La frazione non magnetica viene ulteriormente processata utilizzando una combinazione di flottazione con schiuma ed arrostitimento per rimuovere i solfuri e la fusione per separare il tantalio dallo stagno.

Il tantalio ed il niobio metallico possono essere prodotti da tre composti diversi: i fluoruri, gli ossidi ed i cloruri. I composti di tantalio e niobio sono ridotti per formare metalli puri e polveri metalliche mediante due metodi principali [8]:

- 1) Il concentrato misto di niobio-tantalio viene digerito utilizzando una miscela di acido fluoridrico e solforico. La soluzione acida di niobio-tantalio viene quindi trattata usando metodi di separazione liquido-liquido, che coinvolgono l'estrazione con solventi o con scambio ionico, per separare il niobio dal tantalio. Il niobio ed il tantalio possono essere estratti dalla miscela di acido fluoridrico-solforico utilizzando solventi organici, come per esempio il cicloesano, il tributilfosfato (TBP) o il metilisobutilchetone (MIBK), pur lasciando delle impurità come il ferro, il manganese, lo stagno ed il titanio. Lo scambio ionico viene usato per produrre soluzioni ad elevata purezza di niobio e di tantalio e viene di solito effettuato utilizzando un estraente per ammine nel kerosene .
- 2) Il niobio ed il tantalio vengono precipitati come idrossidi miscelando la soluzione del solvente organico con l'aggiunta di ammoniaca (NH_3). Gli idrossidi risultanti vengono calcinati in un forno per formare ossidi di niobio e tantalio. Il processo di sinterizzazione dei prodotti ossidi, con il carbonio ad alta temperatura viene utilizzato per produrre carburi di niobio o di tantalio. L'ossido di niobio viene anche utilizzato come punto di partenza per la produzione di niobio metallico. L'aggiunta di fluoruro di potassio alla soluzione miscelata di solvente organico porta alla cristallizzazione del fluotantalato di potassio (K_2TaF_7), prerequisito per la produzione di tantalio metallico.

Due vie di produzione leggermente diverse sono disponibili per la produzione di niobio metallico: una è usata per la produzione di niobio metallico puro e l'altra è usata per produrre ferro-niobio.

Il niobio metallico di elevata purezza è prodotto per riduzione alluminotermica di ossido di niobio ad elevata purezza con alluminio, calce e fluorite. La fusione a fascio di elettroni viene comunemente utilizzata per aumentare la purezza del niobio.

Per produrre ferro-niobio, che contiene circa il 60 % di niobio, viene aggiunta alla miscela, prima della riduzione, della polvere di ossido di ferro in polvere.

La riduzione di fluotantalato di potassio per reazione con il sodio è il metodo più comune per produrre tantalio metallico. Il fluotantalato di potassio viene miscelato con sodio liquido e sali inerti per formare una pasta. La pasta viene poi arrostita in un forno per produrre polvere di tantalio metallico, fluoruro di potassio e fluoruro di sodio. Per garantire un elevato grado di purezza, come richiesto dall'industria elettronica, il processo di conversione viene effettuato utilizzando recipienti di tantalio in condizioni di bassa concentrazione di ossigeno. Una ulteriore purificazione viene ottenuta mediante un forno ad arco sottovuoto o mediante fusione a fascio di elettroni di polvere di tantalio.

4.3 Censimento delle attività produttive in Italia

In Italia non risultano attualmente esistenti impianti di trattamento della niobite/tantalite. Come riportato nel documento della Commissione Europea "Radiation Protection n. 135", [9] gli impianti di trattamento dei minerali contenenti niobio e tantalio sono ubicati fuori dell'Unione Europea.

5 PRODUZIONE DEL PIGMENTO DI BLOSSIDO DI TITANIO (TiO₂)

Il biossido di titanio (TiO₂) fu identificato dagli studi mineralogici più di 200 anni fa, ma fino agli inizi del 20° secolo non fu disponibile la tecnologia per la sua produzione e per l'uso come pigmento.

Il materiale ha avuto una rapida diffusione a partire dal 1940, permettendo la sostituzione di pigmenti tossici a base di piombo.

La sua elevata efficienza di dispersione della luce consente di avere un potere coprente estremamente elevato. Questa proprietà, combinata con la sua inerzia chimica, nonché con la sua durata, la sua dispersibilità e non-tossicità, lo rende un ingrediente fondamentale in prodotti come vernici, plastica e carta. Il consumo annuo mondiale di biossido di titanio pigmento è vicino a 6 milioni di tonnellate. Quantità molto più piccole di materie prime titanioferrose vengono utilizzate per la fabbricazione di altri prodotti, come i metalli al titanio e gli elettrodi per saldatura [10].

I minerali al titanio e le varie materie prime di processo da essi derivati contengono radionuclidi di origine naturale delle serie di decadimento del Th-232 e dell'U-238.

Le concentrazioni di attività dei radionuclidi sono moderatamente elevate, comunque al di sopra di quelle che normalmente si riscontrano nelle rocce e nel suolo.

Durante il trattamento, i radionuclidi possono essere mobilizzati e migrare verso le polveri, le incrostazioni e gli altri residui di processo. Ciò rende possibile avere concentrazioni di attività di radionuclidi superiori a quelli presenti nella materia prima.

Gli isotopi del radio, in particolare, si possono concentrare nelle incrostazioni. Invece il biossido di titanio e gli altri prodotti contenenti titanio sono sostanzialmente privi di radioattività.

Il titanio è il nono elemento più abbondante della crosta terrestre ed è il quarto metallo più abbondante per importanza industriale dopo l'alluminio, il ferro ed il magnesio.

La sua presenza in natura è di solito in combinazione chimica con ossigeno e ferro.

I minerali commerciali fondamentali contenenti titanio sono:

- 1) l'ilmenite, un ossido misto di titanio e ferro (FeTiO₃ o FeO·TiO₂ con un contenuto equivalente di TiO₂ del 34-69%;
- 2) il rutilo (con un contenuto di TiO₂ del 93-96,5%);
- 3) il leucoxene (Fe₂O₃·TiO₂ con contenuto di TiO₂ del 70-90%)

Quasi due terzi della produzione mondiale di minerali di titanio proviene solo da quattro paesi: Australia, Sud Africa, Canada e Cina. Più del 90% della produzione di titanio minerale è in forma di ilmenite. Circa tre quarti di questo è costituito da sabbia di ilmenite, mentre il resto è roccia di ilmenite che proviene dal Canada e dalla Norvegia.

Il leucoxene, prodotto in Australia, rappresenta solo l'1% della produzione mondiale di concentrato di titanio.

Il biossido di titanio ha un indice di rifrazione molto elevato pari a 2,4.

Ciò, unitamente alla sua elevata riflettività ed alle sue eccellenti proprietà opacizzanti, lo rende il pigmento bianco più largamente utilizzato per una varietà di applicazioni, che comprendono le vernici, i rivestimenti, la plastica, la carta, gli smalti ceramici, gli inchiostri per stampa, i prodotti alimentari ed i dentifrici.

È anche usato come pigmento e addensante nei cosmetici (inibitori della radiazione ultravioletta e prodotti per il trucco e per la cura della pelle) e come pigmento per i tatuaggi.

In applicazioni più specialistiche, il biossido di titanio, di solito in forma ultrafine, agisce da fotocatalizzatore quando esposto a radiazione UV (e, quando drogato con ioni di azoto, alla normale luce delle lampade), così che viene aggiunto alle vernici, ai cementi, alle finestre, alle tegole ed ad altri prodotti per le sue proprietà come sterilizzante, deodorante e antisporcizia.

Viene anche utilizzato per la detossificazione di acque reflue.

L'esposizione alle radiazioni UV lo fa anche diventare sempre più idrofilo, permettendoci il suo utilizzo per rivestimenti anti-appannamento e finestre autopulenti. L'elevato indice di rifrazione del biossido di titanio lo rende anche un eccellente rivestimento ottico per specchi dielettrici.

Nella tabella seguente, tratta dal documento IAEA Safety Reports Series n. 76 [10], sono riportati i livelli di concentrazione di attività delle serie radioattive del Th-232 e dell'U-238 nei minerali contenenti titanio. Le concentrazioni di torio ed uranio variano considerevolmente da un minerale all'altro, ma le catene dell'uranio e del torio risultano sempre in equilibrio radioattivo.

Tab 5.1: concentrazione di attività delle serie radioattive del Th-232 e dell'U-238 nei minerali contenenti titanio

Minerale	Contenuto di TiO ₂ (%)	Ac Th-232 (Bq/g)	Ac U-238 (Bq/g)
Sabbia di ilmenite	45-69	0.04-2	0.03-0.4
Roccia di ilmenite	34-45	0.001	0.001
Rutilo	93-96.5	0.06-0.4	<0.1-0.7
Leucoxene	70-90	0.3-3	0.2-0.8

5.1 Riferimenti della letteratura scientifica considerati dalla Commissione Europea

Come riportato nel capitolo riguardante le attività lavorative relative all'estrazione delle terre rare dalla monazite, ed in particolare nella lista allegata alla nota di accompagnamento sui NORM per la Rete Europea ALARA NORM datata 8 maggio 2008 e firmata da Asa Wiklund dell'Ufficio di Radioprotezione della Commissione Europea [3], tra le attività lavorative con sorgenti di radiazioni naturali sono indicate anche le attività lavorative che riguardano **la produzione di pigmento di biossido di titanio (TiO₂)**.

Nel work package 1 del Rapporto finale del Progetto SMOPIE (Strategies and Methods for Optimisation of Protection against Internal Exposures of Workers from Industrial Natural Sources) commissionato dalla Commissione Europea e pubblicato nel 2004 [4], viene riportata una rassegna del numero dei lavoratori esposti e dell'intensità dell'esposizione interna nelle industrie europee con sorgenti di radiazioni naturali. In particolare, per quanto riguarda le attività lavorative relative alla produzione di pigmento di biossido di titanio, si riporta quanto segue:

1. In Francia il numero di lavoratori coinvolti nelle industrie per la produzione di pigmenti di biossido di titanio viene stimato in 1000 lavoratori e di questi il personale professionalmente esposto alle radiazioni è solo una piccola frazione. Le dosi stimate da inalazione possono superare 1 mSv/anno;
2. Nel Regno Unito nel trattamento dell'ilmenite e del rutilo sono coinvolti circa 1000 lavoratori. I valori stimati di dose totale sono inferiori a 1 mSv/anno e solo meno di 10 lavoratori (ovvero meno dell'1%) possono potenzialmente ricevere dosi significative.

Nello stesso documento è stato anche stimato che in Europa, basandosi su 16 impianti di produzione di pigmento di TiO₂ in cui sono presenti trattamenti con acido solforico e cloruro e considerando 5 lavoratori esposti per ciascun impianto, si arriva ad un totale di 80 lavoratori esposti in attività lavorative con rifiuti solidi ed incrostazioni di radio.

Nel documento della Commissione Europea Radiation Protection 107, nei paragrafi riguardanti l'industria del pigmento di TiO₂, vengono riportato i seguenti processi per recuperare il titanio dal minerale: il Rutilo, e a volte anche il concentrato di ilmenite vengono frantumati e mescolati con carbone.

Il tetracloruro di titanio (TiCl₄) viene ottenuto mediante clorurazione in forni a pozzo per formare un gas che viene condensato e purificato. Il TiCl₄ è ridotto ad una spugna di titanio che viene fuso e rifuso in un forno ad arco sotto vuoto. Il Titanio ad elevata purezza può essere ottenuto mediante raffinazione elettrolitica.

In presenza di elevate concentrazioni di ioni solfato sia nel distillato che nell'effluente, il torio rimane in soluzione, mentre il radio, che forma un composto solfato insolubile, tende a coprecipitare e si trova nei residui solidi durante tutto il trattamento.

Concentrazioni molto elevate di attività, pari a $1.5 \cdot 10^6$ Bq/kg di Th-228 e a $4 \cdot 10^5$ Bq/kg di Ra-226 sono state misurate in un campione di incrostazioni che è stato raschiato da uno scambiatore di calore.

Nella tabella seguente vengono riportate le attività specifiche di parecchi campioni presi durante il processo di produzione del biossido di titanio in un impianto di produzione jugoslavo e misurati nel 1982.

Tab 5.2: concentrazione di attività in diversi comparti nella produzione di biossido di titanio

Campione	Attività specifica di Ra-228	Attività specifica di Th-228	Attività specifica di Ra-226
Ilmenite	180 Bq/kg	180 Bq/kg	150 Bq/kg
TiO ₂	31 Bq/kg	9 Bq/kg	32 Bq/kg
Filtro 1	180 Bq/m ²	88 Bq/m ²	94 Bq/m ²
Filtro 2	300 Bq/m ²	64 Bq/m ²	170 Bq/m ²
Rivestimento in gomma	345 Bq/m ²	200 Bq/m ²	160 Bq/m ²

I ratei di dose misurati sulla superficie di alcuni contenitori, tubi e filtri umidi variano dal fondo naturale fino a 50 µGy/h. E' stato stimato che il 10% dei ratei di dose in tutta l'area della fabbrica abbia superato di due volte il fondo naturale.

Concentrazioni di radon sono state misurate in 12 zone. La maggior parte delle misure di Rn-220 e Rn-222 erano inferiori ai rispettivi limiti di rilevabilità dello strumento di misura, ossia 20 Bq/m³ e 50 Bq/m³.

Tuttavia, concentrazioni di 320 Bq/m³ di Rn-222 e di 6000 Bq/m³ di Rn-220 sono state trovate in un contenitore chiuso.

5.2 Tipologie di lavorazioni

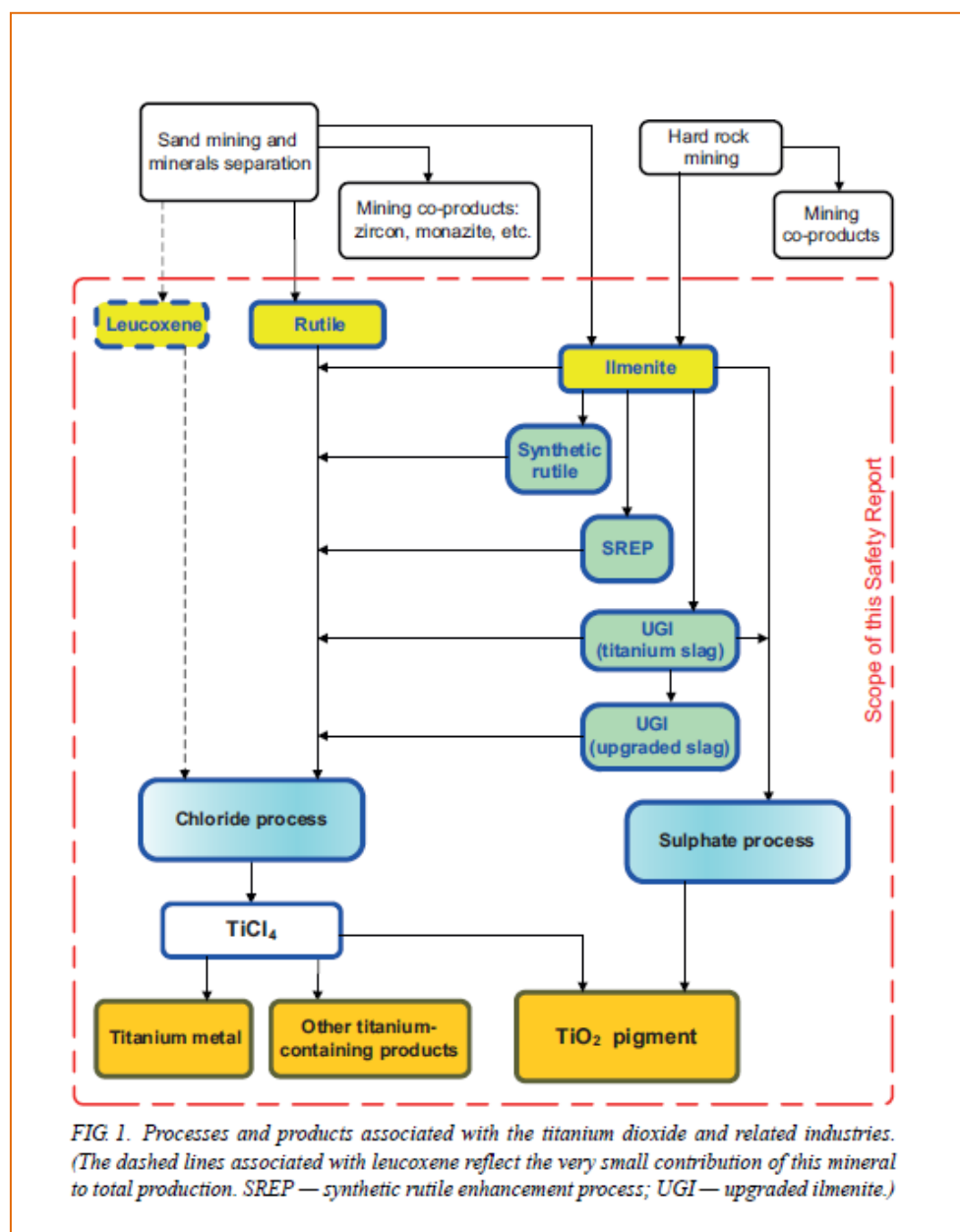
Tutti i minerali indicati in precedenza, ovvero l'ilmenite, il rutilo ed il leucoxene sono usati direttamente come materie prime per la produzione di pigmenti di biossido di titanio.

Inoltre, l'ilmenite, a causa del suo contenuto relativamente basso di biossido di titanio equivalente, è spesso trasformato in materie prime di qualità superiore, invece di essere utilizzato direttamente. Queste materie prime di qualità superiore comprendono il rutilo sintetico, lo SREP (acronimo di Synthetic Rutile Enhancement Process) e l'ilmenite di qualità superiore (in inglese UGI, acronimo di UpGraded Ilmenite).

Sia le materie prime che quelle di qualità superiore vengono trattate secondo uno dei seguenti processi: il processo al solfato e il processo al cloruro.

Una rappresentazione schematica e semplificata, dei vari metodi e prodotti legati al biossido di titanio è riportata nella figura seguente tratta dal Documento IAEA Safety Reports Series no. 76.

Fig 5.1: schema di processo nella produzione di biossido di titanio



Il processo al solfato riguarda circa il 45% della produzione di pigmento e prevede l'utilizzo di acido solforico per separare il biossido di titanio dagli altri componenti del minerale concentrato. Il processo al cloruro riguarda il restante 55% della produzione e prevede l'utilizzo di cloro gassoso per produrre $TiCl_4$, che viene poi convertito in biossido di titanio per ossidazione. La scelta del processo specifico dipende dalle condizioni locali, come per esempio la situazione del mercato, la situazione della gestione ambientale, in termini di implicazioni per lo smaltimento dei rifiuti, la situazione economica (per esempio i costi di energia e dei prodotti chimici) e la disponibilità della tecnologia.

Le modalità locali per lo smaltimento dei rifiuti è un importante fattore per la scelta del processo e delle materie prime da utilizzare. La disponibilità di sbocchi commerciali per i sottoprodotti derivati dai componenti delle materie prime, oltre che dal biossido di titanio, influenzano fortemente la scelta delle materie prime e la strategia di gestione ambientale in ogni sito produttivo. La qualità della materia prima viene determinata dal contenuto di equivalente di biossido di titanio.

La maggior parte degli impianti con il processo al cloruro richiedono materie prime di qualità relativamente alta, mentre gli impianti con il processo al solfato possono operare con materie prime di qualità inferiore.

La sabbia di ilmenite viene utilizzata direttamente come materia prima per produzione di pigmento sia attraverso il processo al solfato che attraverso il processo al cloruro.

Il Rutilo e il leucoxene sono utilizzati direttamente come materie prime per la fabbricazione di pigmenti di biossido di titanio tramite il processo al cloruro.

Fra le materie prime di qualità superiore, il rutilo sintetico, lo SREP e le scorie di qualità vengono utilizzate solo nel processo al cloruro. La scoria di titanio è utilizzata in entrambi i metodi e viene pertanto chiamata 'scoria solfato' o 'scoria cloruro', a seconda dei casi.

I principali sottoprodotti associati con il processo al solfato sono gesso, solfati di ferro, acido solforico, residui di digestione e ossido di ferro, mentre quelli associati con il processo al cloruro sono cloruro di ferro, acido cloridrico e ossidi di ferro neutralizzati, idrossidi o carbonati.

Come con qualsiasi tipo di operazione che comporti minerali con elevata concentrazione di attività, i lavoratori impegnati nella movimentazione, stoccaggio, gestione dei residui derivanti dai processi di miglioramento della qualità dei prodotti sono esposti a radiazioni gamma, quando si lavora vicino a grandi quantità di materiale. Tuttavia, i lavoratori normalmente trascorrono solo dei periodi limitati in tali postazioni. Anche minori quantità di materiale con elevate concentrazioni di attività, come nelle incrostazioni ricche di radio, possono dar luogo a esposizione a radiazioni gamma.

L'esposizione interna a radionuclidi naturali può derivare da inalazione di polveri di minerali presenti nell'aria. Ciò può verificarsi durante il lavoro nelle aree operative dell'impianto, durante la gestione dei residui, durante la gestione, la pulizia o la rimessa a nuovo di apparecchiature contaminate (comprese le apparecchiature contenenti incrostazioni ricche di radio).

Alcune piccole particelle possono essere generate durante il processo di trasformazione dell'ilmenite a rutilo sintetico e quando le scorie di titanio vengono frantumate. Ciò può avere implicazioni per l'esposizione professionale.

Nelle operazioni ad alta temperatura, come nella fusione dell' ilmenite, i lavoratori possono inalare i radionuclidi volatili come il Pb-210 ed il Po-210.

Talvolta in ambienti poco ventilati si deve considerare anche l'esposizione interna dovuta a radon.

5.2.1 Produzione di biossido di titanio mediante il processo al solfato

Le concentrazioni di attività dei radionuclidi nei materiali prodotti dalle materie prime con il processo al solfato non superano il livello di 1 Bq/g, mentre quelle misurate nel residuo del digestore, nelle incrostazioni e nei teli filtranti possono talvolta raggiungere livelli dell'ordine di 1000 Bq/g.

Le concentrazioni dei radionuclidi sono generalmente più elevate per la serie radioattiva del Th-232 che per quella dell'U-238.

I livelli dei contaminanti negli effluenti liquidi hanno un contenuto di radionuclidi basso, che vanno da livelli non rivelabili a valori massimi di 0.3 e 1.0 Bq/L, rispettivamente per la serie radioattiva del U-238 e del Th-232.

I livelli incrementali di rateo di dose gamma, che sono determinati sottraendo il valore del fondo naturale di radiazioni dai risultati delle misure eseguite nei posti di lavoro, sono modesti nelle operazioni di produzione del biossido di titanio mediante il processo al solfato.

Nella maggior parte delle aree di produzione i livelli sono inferiori a 1 µSv/h, ma possono risultare parecchie volte più elevati in determinate posizioni, fino a 12 µSv/h nell'area di cristallizzazione del solfato ferroso e fino a 50 µSv/h nell'area idrolisi.

Negli impianti che usano come materia prima scorie al titanio (una miscela al 90% di scorie e al 10% di ilmenite) i ratei di dose sono considerevolmente più bassi che negli impianti in cui viene utilizzata l'ilmenite, meno di 0.1 µSv/h in tutte le posizioni tranne che per l'area di stoccaggio del residuo del digestore (1.3 µSv/h) e per l'area idrolisi (<0.1-0.7 µSv/h).

I ratei di dose gamma incrementali nelle attività di manutenzione, che per loro natura, implicano vicinanza ai residui in cui la radioattività risulta concentrata, sono compresi tra 0.01 e 10 $\mu\text{Sv/h}$, ad una distanza di 1 metro dalla sorgente.

Le aree che potrebbero coinvolgere le esposizioni rilevanti dovute alle polveri in sospensione sono la zona di movimentazione delle materie prime (compresa l'area di stoccaggio), la zona di macinazione delle materie prime, l'area di essiccazione e stenditoio, sebbene l'elevata densità delle materie prime aiuti a minimizzare la sospensione della polvere.

I dati di settore indicano che le concentrazioni massime delle polveri aerodisperse sono 1 mg/m^3 nelle aree di movimentazione delle materie prime e $1,7 \text{ mg/m}^3$ nelle aree di macinazione delle materie prime e nelle aree di essiccazione.

In un impianto spagnolo che usa sabbia di ilmenite come materia prima, la concentrazione media delle polveri nell'aria è risultata essere pari $0,14 \text{ mg/m}^3$, un ordine di grandezza al di sotto dei valori massimi precedentemente citati. Utilizzando le concentrazioni medie di attività di radionuclidi misurati nella materia prima ed il valore di concentrazione di polvere sopra riportato si ottiene che le concentrazioni di attività in aria sono pari a 0,05 e a 0,01 mBq/m^3 , rispettivamente per il Th-232 e per l'U-238.

5.2.2 Produzione di biossido di titanio mediante il processo al cloruro

Nella produzione di biossido di titanio mediante il processo al cloruro ed utilizzando varie materie prime sono stati trovati livelli significativamente elevati di concentrazione di attività di radionuclidi, che sono riportati nella tabella 5.1 tratta dal documento IAEA Safety Reports Series n. 76:

Tab. 5.3 – Concentrazioni di attività dei radionuclidi nei materiali trattati con il processo al cloruro

Materiale di processo	Materia prima	Concentrazione di attività dei radionuclidi (Bq/g) ^{a,b} serie Th-232	Concentrazione di attività dei radionuclidi (Bq/g) ^{a,b} serie U-238
materiali refrattari e materiale del letto che non ha subito reazione rimosso periodicamente dal cloratore	Tutte le materie prime	13-24	<0.1-2.7
Rifiuti solidi dal cloratore	Rutilo, rutilo sintetico, scorie di fusione del titanio	<1-6	<0.1-2.5
Rifiuti solidi neutralizzati	Ilmenite, rutilo, rutilo sintetico, scorie di fusione del titanio	1.1-2.5	<1
	Rutilo, scorie di fusione del titanio	1.1-10.4	<1-1.4
	Rutilo sintetico	1.1-14.8	<1-1.9
Telo filtrante grossolano valore medio	-	40	23
Telo filtrante fine	-	588	297
Incrostazioni dell'impianto di neutralizzazione	Rutilo sintetico	1-103	<1-3.2
	Rutilo, rutilo sintetico, scorie di fusione di titanio	<1-8.5	<1-3
	Ilmenite, rutilo, rutilo sintetico	1.75-1530	<0.1-902

^a I valori dati sono quelli del radionuclide della serie con la più elevata concentrazione di attività

^b I dati riportati sono esempi e possono non essere rappresentativi delle attuali operazioni

Le misure effettuate su effluenti liquidi hanno mostrato una concentrazione massima di 0.35 Bq/l per i radionuclidi della serie del Th-231 e di 0.24 Bq/l per i radionuclidi della serie dell'U-238.

Le concentrazioni di attività dei radionuclidi nel percolato dei rifiuti solidi neutralizzati smaltiti in discarica sono inferiori a 0.1 Bq/g.

I ratei di dose gamma incrementali misurati, ad una distanza di 1 m salvo diversa indicazione, nelle normali operazioni condotte nell'impianto, nello smaltimento dei rifiuti e nella manutenzione dell'impianto sono riportati nella tabella 5.2 seguente.

Tab. 5.4 – Ratei di dose gamma incrementali (*)

	Rateo di dose ($\mu\text{Sv/h}$)
Operazioni nell'impianto	
Trasferimento aperto di movimentazione materia prima	≤ 0.10
area generale di movimentazione delle materie prime	0.10-0.15
Area di neutralizzazione, ≤ 0.1 m dall'apparecchiatura	0.10-2.7
Lavorazione dei sottoprodotti, area di trattamento aperta	0.30-0.35
smaltimento in discarica dei rifiuti solidi di cloruro di metallo	
Lavoratore dell'impianto	0.10-0.5
Autista del camion	0.10-0.5
Manutenzione dell'impianto	
All'interno del cloratore, lavori di ristrutturazione	1.0-2.5
manutenzione del filtro di neutralizzazione	0.10-10
all'interno del serbatoio di neutralizzazione, lavoro generale	5-35
all'interno del serbatoio di neutralizzazione, lavoro di decalcificazione	10-90
Stoccaggio delle incrostazioni prima dello smaltimento come rifiuto	0.10-10
Stoccaggio dei tubi foderati di gomma contaminati	0.10-15

(*) dopo la sottrazione del livello del fondo ambientale locale

5.3 Censimento delle attività produttive in Italia

In Italia l'unico stabilimento di produzione di biossido di titanio è lo stabilimento Tioxide Europe S.r.l. di Scarlino (GR). In attività dal 1970, nel periodo dal 1972 al 1978 fa uso, come materia prima del minerale ilmenite e, successivamente, la scoria titanifera.

Il processo di lavorazione prevede un attacco chimico del minerale titanifero con acido solforico (processo al solfato).

6 LAVORAZIONE DEI MINERALI FOSFATICI

I NORM costituiscono un residuo di lavorazione caratteristico di vari stadi del trattamento dei minerali fosfatici (fosforite) finalizzati alla produzione di acido fosforico o fosforo elementare, i quali vengono ulteriormente trasformati in fertilizzanti fosfatici, detersivi, mangimi, additivi alimentari, pesticidi e altri prodotti chimici del fosforo [11].

La Direttiva Comunitaria ha previsto nell'elenco dei settori industriali che comportano l'impiego di materiali contenenti radionuclidi naturali tre distinte categorie (produzione di acido fosforico, produzione di fertilizzanti fosfatici, produzione di fosforo con processo termico) che hanno origine da tali processi.

Considerata la natura comune agli stessi nel presente capitolo verranno delineati i principali processi che determinano l'accumulo dei NORM e verrà data sommaria descrizione dei singoli processi e la consistenza degli impianti nel territorio italiano.

6.1 Tipologia di processi di lavorazione

Il costituente principale della roccia fosfatica (o fosforite) è l'apatite minerale, dove la concentrazione caratteristica del fosfato (P_2O_5) presente nella fosforite è dell'ordine del 15-30 %.

Il minerale fosfatico in concentrazioni che ne giustificano l'estrazione è prodotto da processi naturali di sedimentazione, ignei, atmosferici e processi biologici (ad esempio dalla elevata presenza di guano).

L'uranio può essere incorporato in minerali di fosforite sedimentarie attraverso processi di sostituzione ionica nei cristalli di carbonato - fluorapatitico per adsorbimento.

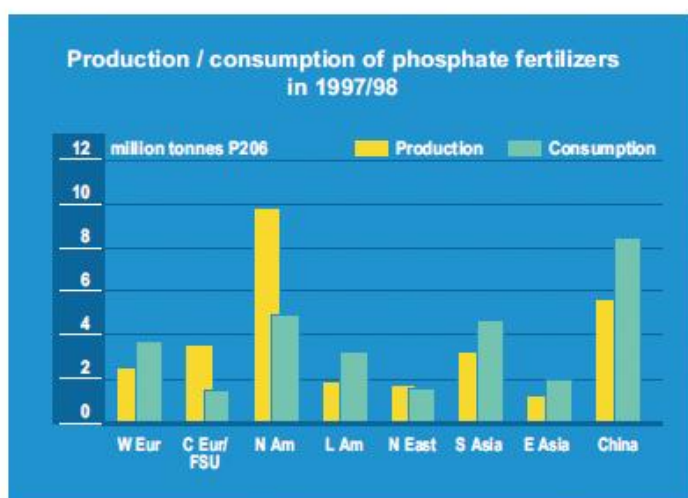
Solitamente a un elevato contenuto di fosfato corrispondono elevati valori di concentrazione di Uranio (50-300 ppm).

Nella fosforite ignea sono presenti concentrazioni inferiori di uranio, ma più elevate di torio.

Circa 30 paesi producono fosforite sia per il mercato interno che per le esportazioni. I principali paesi fornitori di fosforite sono paesi del Nord Africa, gli Stati Uniti, la Cina e l'ex Unione Sovietica.

Le rocce sedimentarie si trovano principalmente nell'Africa settentrionale ed occidentale, negli Stati Uniti, Cina e Australia (pari a circa il 90 % della produzione mondiale), mentre le rocce ignee sono estratte principalmente nella penisola di Kola, Sud Africa, Cina, Finlandia e Sud America (soprattutto in Brasile). Quasi tutte le rocce fosfatiche provengono da miniere a cielo aperto.

Fig. 6.1 produzione e consumo P_2O_5 per diverse regioni [12].



Tab. 6.1 riserve mondiali e produzione annua di fosfato di roccia

TABLE XXX. WORLDWIDE RESOURCE BASE AND ANNUAL PRODUCTION OF PHOSPHATE ROCK
(data from IFA 2000)

Country	Annual production (10 ³ t P ₂ O ₅)	Geological resource estimates (10 ⁶ t P ₂ O ₅)
Finland	277	42
Total Europe	277	69
FSU (70% from Kola)	4 405	3 197
Canada	125	64
USA	11 419	8 026
Total North America	11 544	8 090
Brazil	1 687	235
Columbia	12	156
Mexico	301	195
Peru	2	450
Venezuela	105	—
Total South America	2 107	1 036
Algeria	262	120
Morocco	6 902	15 750
Senegal	462	57
South Africa	1 051	1 080
Togo	493	36
Tunisia	2 491	480
Zimbabwe	42	—
Total Africa	11 703	17 649
Egypt	317	660
Iraq	90	891
Israel	1 305	260
Jordan	1 811	441
Saudi Arabia	0	1 576
Syrian Arab Republic	656	—
Turkey	0	42
Total Middle East	4 179	4 090
China	5 470	2 850
India	336	3 378
Korea, Rep. of	46	—
Sri Lanka	10	—
Vietnam	243	—
Total Asia	6 447	—

Tab. 6.2 concentrazioni di radionuclidi in minerali in diverse tipologie di rocce fosfatice

TABLE XXXI. CONCENTRATIONS OF MAJOR RADIONUCLIDES FOR DIFFERENT PHOSPHATE ROCKS

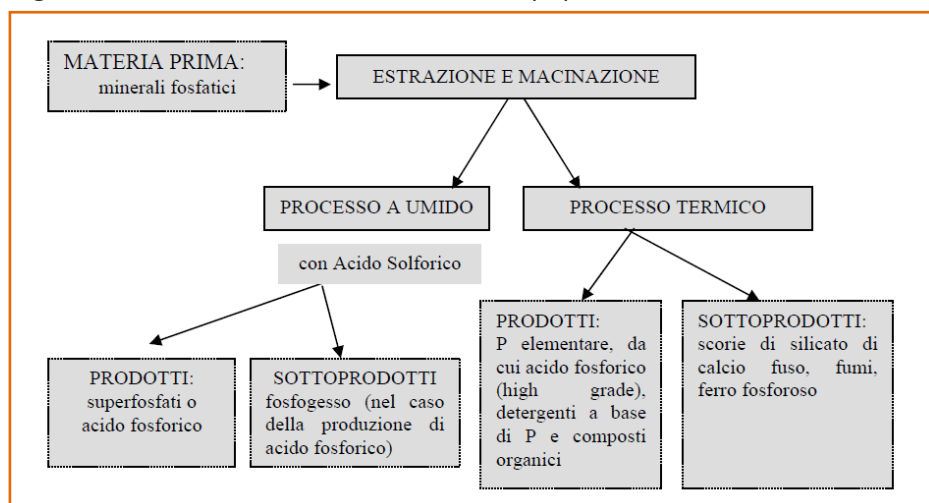
Country	Uranium		Thorium		^{226}Ra	^{228}Ra
	(Bq/kg)	(ppm)	(Bq/kg)	(ppm)	(Bq/kg)	(Bq/kg)
FSU	44-90	—	78-92	—	30-70	—
USA [176, 177]	259-3700	62-156	3.7-22.2	—	1540	—
Florida [178]	1500-1900	—	16-59	—	1800	—
South and central Florida [173]	847-1980	—	—	—	881-1980	—
North Florida [173]	241-981	—	—	—	229-884	—
Idaho [178]	1850	—	30	—	300	—
Wyoming [178]	2300	—	10	—	1200	—
Brazil	114-880	27-71	204-753	55-185	330-700	350-1550
Chile [178]	40	—	30	—	40	—
Algeria [178]	1295	—	56	—	1150	—
Morocco [178]	1500-1700	—	10-200	—	1500-1700	—
Senegal [178]	1332	—	67	—	1370	—
South Africa [178]	163-180	—	483-564	—	—	—
South Africa [179]	100-200	—	—	—	—	300-500
Tanzania [178]	5000	—	—	—	5000	—
Togo [178]	1360	—	110	—	1200	—
Tunisia [178]	590	—	92	—	520	—
Egypt [178]	1520	—	26	—	1370	—
Israel [178]	1500-1700	—	—	—	—	—
Jordan [178]	1300-1850	—	—	—	—	—
Australia [180]	15-900	—	5-47	—	28-900	—

6.1.1 I principali processi di produzione dell'industria dei materiali fosfatici (Ciclo lavorativo e criticità radiologiche)

Il procedimento di arricchimento del fosfato dalla fosforite varia dalla semplice vagliatura a processi più elaborati di lavaggio, separazione e flottazione, i quali danno luogo alla produzione di sterili fosfatici argillosi (melme argillose dalle fasi lavaggio) e sabbia sterili (dalle fasi di arricchimento per flottazione).

Uno schema della lavorazione dei minerali fosfatici è riportato nella figura seguente [13],

Fig. 6.3 - Schema della lavorazione dei minerali fosfatici



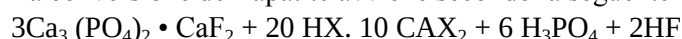
L'impatto radiologico dell'industria dei fertilizzanti è connesso con l'elevata concentrazione di ^{238}U presente nelle fosforiti (consueti minerali di partenza, costituiti da fosfati di calcio) e nei loro derivati [14]. Le lavorazioni più critiche, a causa della formazione di residui e sottoprodotti radioattivi come i fosfogessi, sono la produzione di acido fosforico per via umida, alcuni tipi di attacco nitrico delle fosforiti nonché la produzione di fosforo elementare per via termica.

6.1.2 Produzione di acido fosforico

Il trattamento dei minerali fosfatici per produrre prodotti intermedi può essere condotto mediante lisciviazione acida del minerale di base, dando luogo alla produzione di acido fosforico o, mediante processi termici, a fosforo elementare.

La produzione commerciale di acido fosforico e dei prodotti fosfatici a partire dal minerale fosfatico naturale (soprattutto, apatite, $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ e fosforite, $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$), può essere realizzata con un processo di lisciviazione con acidi forti (acido solforico, acido cloridrico e acido nitrico).

La conversione dell'apatite avviene secondo la seguente equazione generale (X = acido):



L'acido fosforico (H_3PO_4) ottenuto dal trattamento con l'acido (HX) viene quindi sottoposto a ulteriori trattamenti di purificazione mediante estrazione con solventi.

6.1.3 Materiali e flussi di radionuclidi derivanti da trattamento con acido solforico

L'attacco acido eseguito con acido solforico comporta la formazione di gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) che non viene solubilizzato. I cristalli di gesso possono essere facilmente separati dall'acido fosforico grezzo per filtrazione in una fase di lavaggio.

In generale la produzione di 1 t di fosfato (P_2O_5) può dare luogo alla produzione di 4-5 tonnellate di fosfogesso [15, 16, 17, 18].

In generale, il procedimento di trattamento con acido separa circa il 80% del Ra^{226} , il 30% del Th^{232} e il 14% del U^{238} che si accumulano nel fosfogesso.

Le concentrazioni di uranio e torio aumentano nei concimi di circa il 150% del loro valore originale (70% del bilancio totale U e Th) [15, 17, 19, 20]. Tuttavia, le concentrazioni dei vari radionuclidi nei gessi possono essere molto variabili.

6.1.4 Depositi di fosfogesso

In passato diversi impianti producevano acido fosforico attraverso il processo ad umido con la formazione di fosfogesso come sottoprodotto. Ad oggi la situazione dei depositi di fosfogesso esistenti e conosciuti è riassunta in Tabella n. 6.3, già descritta in precedenti rapporti del Sistema delle Agenzie e della quale non risultano variazioni di rilievo rispetto alla situazione pregressa. [21]

Gli impianti di Veneto e Sicilia operavano nel campo della produzione di fertilizzanti, quelli di Sardegna e Calabria nelle lavorazioni di detergenti. In alcune situazioni, prima della realizzazione della discarica, i fosfogessi erano direttamente sversati in mare.

Tab. n. 6.3: Informazioni sui siti di stoccaggio dei fosfogessi in Italia (referenti ex-Enichem locali). [21] [CTN]

Sito	Volume (m3)	Periodo di alimentazione	Collocazione	Bonifica	note
Veneto (Campalto-Venezia)	200.000-250.000	1965-80	Prospiciente la laguna	Conclusa	
Veneto (Pili-Venezia)	765.600	1965-80	Prospiciente la laguna	Programmata	
Calabria (Crotone)					Impianto operativo nel 1926-1986 (scarico in mare)
Sardegna (Porto Torres)	800.000	1972-82	Ex cava 1 km dal mare	Conclusa	
Sicilia (Gela)	6.000.000	1981-92	1 km dal mare	Avviata	

Altra tipologia di rifiuti radioattivi presenti nel processo di produzione dell'acido fosforico sono costituiti da depositi di calcare (incrostazioni) nelle tubazioni di processo e nella filtrazione e nei serbatoi, e da tele filtranti necessarie per filtrare il gesso solido dal liquido acido, con concentrazioni di Ra226 che possono superare 1000 Bq/g. [12]

Figura 6.4

Country (source)	²²⁶ Ra	²³⁸ U	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th
USA [183]					
South and central Florida	507-1358	41-366	577-1853	437-1765	11
North Florida	270-599	22-451	348-551	355-566	
Europe [191, 192, 178]	15-1700	500	1300	900	10
South Africa [193]					
Local rock	45-48	64-73	76-132		205-284
Togo rock		17			61
Australia [180]	280-350	10-24	320-440	150-360	4-7

6.2 Produzione di fosforo con processo termico

La produzione di fosforo elementare con processi termici prevede la fusione delle rocce fosfatiche in forno a temperature di circa 1400° C con sabbia, ossido di ferro e carbone.

Fosforo e monossido di carbonio, in forma gassosa, sono eliminati dal forno attraverso un camino e quindi, passando attraverso abbattitori di polveri e poi attraverso condensatori ad acqua, il fosforo viene condensato e intrappolato nell'acqua di abbattimento.

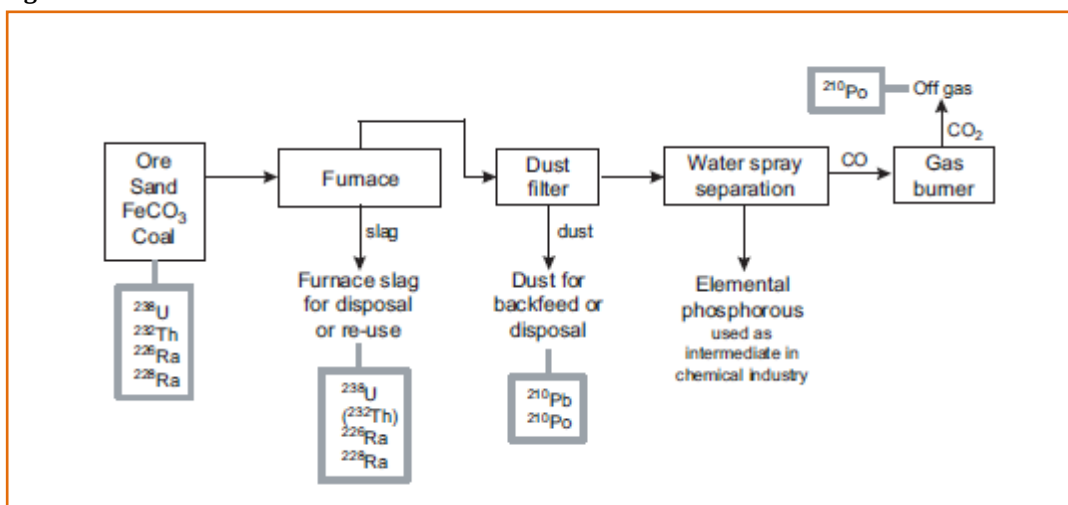
I residui solidi della forno contengono ferrofosfori e silicato di calcio (CaSiO₃), sono generalmente denominati scorie che, in qualità di sottoprodotto vengono utilizzati in mercati specializzati (acciai speciali, leghe di ghisa e produzione di pigmenti di vernice [22]).

Nella scoria sono accumulati l'uranio, il torio, il radio e alcuni degli isotopi di piombo, mentre parte degli isotopi di piombo e polonio vengono eliminati dal camino.

Gli abbattitori elettrostatici separano parte del contenuto di radionuclide dal flusso di gas in uscita da camino, mentre polonio generalmente fuoriesce con il resto del gas in uscita.

Uno schema di flusso del processo di forno è dato in fig. 6.5

Figura 6.5



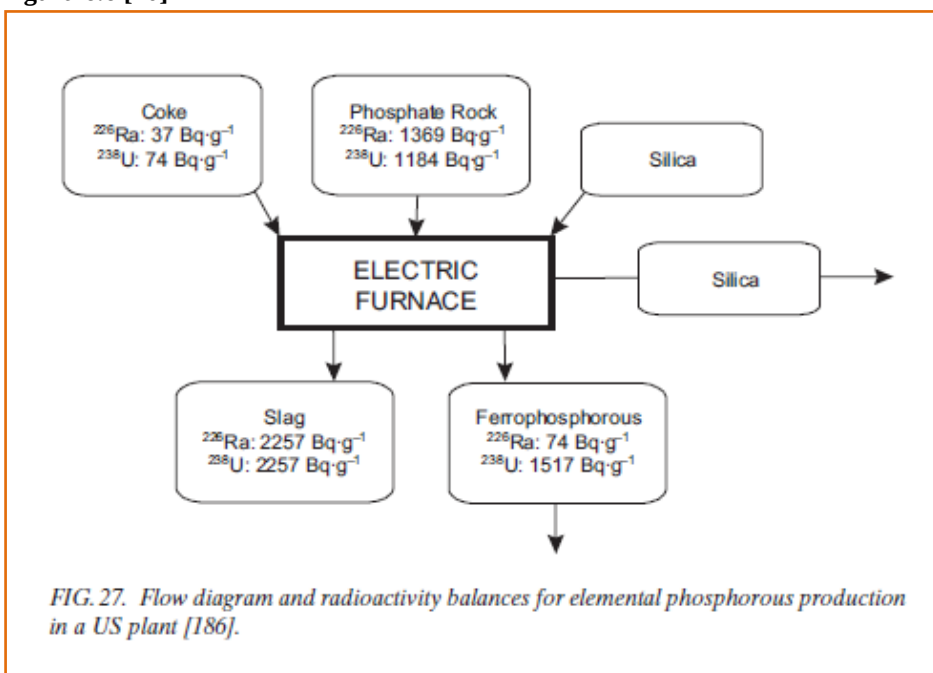
6.2.1 Flussi di radionuclidi e contenuti nei residui del processo termico

La quantità di scoria è pari al 85% del minerale di fosfato grezzo e contiene la frazione maggiore (93%) di ^{238}U e ^{226}Ra [15, 17, 19, 20]. Le scorie trovano impiego come sostituti delle materie prime di valore, ad esempio come parte del sottofondo per costruzioni stradali o nella fabbricazione del calcestruzzo.

La quantità di polvere prodotta con il trattamento termico è inferiore all'1% del minerale di fosfato grezzo e contiene livelli di Pb^{210} e Po^{210} dell'ordine di 1000 Bq / kg [23]. Piombo-210 e Po^{210} possono essere immobilizzati con cemento.

Secondo Baetslé [17], la concentrazione di ^{226}Ra nelle scorie è $1300\text{-}1500 \text{ Bq / kg}$ e la concentrazione ^{238}U è di 1100 Bq / kg . Concentrazioni più elevate sono stati trovati in scorie in un impianto statunitense. Un diagramma di flusso sui saldi radioattività nella pianta che è mostrato in fig. 6.4 presenta alcuni dati sulle concentrazioni di radionuclidi nei residui diversi dal processo del forno

Figura 6.6 [20]



6.3 Produzione di fertilizzanti fosfatici

Il processo produttivo di fertilizzante fosfatico più tradizionale, la cui produzione è progressivamente in fase di esaurimento, consiste nell'aggiungere H_2SO_4 o H_3PO_4 alla roccia fosfatica fino alla formazione di $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ che viene quindi usato come fertilizzante.

Questo tipo di fertilizzante contiene quantità variabili di U - Ra e Th a seconda del trattamento acido del minerale fosfatico. Per la produzione di perfosfato normale è richiesta un'elevata concentrazione di fosfato nel minerale (33 % di P_2O_5) per ottenere un prodotto contenente il 20 % di P_2O_5 dopo il trattamento con acido solforico.

Il triplo superfosfato (TSP), viene prodotto utilizzando come agente acidificante l'acido fosforico. Il contenuto di uranio del TSP rispetto a quella nella roccia fosfatica iniziale dipende dalla concentrazione di uranio nell'acido utilizzato per produrre il TSP.

Fosfato dicalcico e fosfato di ammonio sono prodotti neutralizzando l'acido fosforico con calce e ammoniaca.

Il contenuto di radioattività di concimi è molto variabile e dipende sia dalla concentrazione iniziale di radionuclidi nel minerale di base sia dal metodo di produzione.

La figura seguente mostra alcuni valori riportati da Baetslé, estratti da una serie di riferimenti bibliografici [12].

Figura 6.7

TABLE XXXVI. RADIOACTIVITY LEVELS (Bq/kg) IN PHOSPHATE PRODUCTS [178, 182]			
Product	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th
Phosphoric acid	1200–1500	300	—
Normal superphosphate	520–1100	110*–960	15–44
Triple superphosphate	800–2160	230*–800	44–48
Mono-ammonium phosphate	2000	20	63
Diammonium phosphate	2300	210	<15
Dicalcium phosphate	—	740	<37
PK fertilizers	410	370	<15
NP fertilizers	920	310	<30
NPK fertilizers	440–470	210–270	<15

* Low value for FSU countries.

Come è evidente alcune tipologie di fertilizzanti contengono concentrazioni elevate di U^{238} mentre i valori di concentrazione di Ra^{226} e Th^{232} sono molto inferiori.

Altro elemento da tenere in considerazione consiste nell'accumulo di radionuclidi nelle incrostazioni delle tubazioni degli impianti [12].

Figura 6.8

Country (source)	²²⁶ Ra	²³⁸ U	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th
South Africa [195]					918–
Local rock	70–4470	66–3510			11 000
Togo rock	129 000– 139 000	0.62			470–2730
USA [191]	333 000				
Europe [182]	370 000– 3700 000				
Australia [180]	3–3900		30–1300	5–112	
Brazil [194, 195]	52–889	52–132	45–186		24–189

Negli anni 2000 ARPAV ha condotto [21] una indagine in uno stabilimento di produzione di fertilizzanti composti con misure di attività (tramite spettrometria gamma) dei discendenti di ²³⁸U e ²³²Th e del ⁴⁰K in materie prime e prodotti finiti.

Dai risultati (Tabelle 6.4 e 6.5) si osserva che le concentrazioni elevate di ⁴⁰K sono associate alla presenza di sali di potassio e che l'alta presenza di ²³⁸U nei campioni di H₃PO₄ e di fosfato monoammonico (MAP) unitamente alla mancanza di ²²⁶Ra è dovuta al fatto che nella produzione di acido fosforico il radio coprecipita con il gesso, mentre l'uranio e il torio seguono il fosforo nell'acido.

I campioni di fertilizzanti complessi analizzati, invece, mostrano una concentrazione media di ²³⁸U di 289 Bq/kg e una variazione decrescente dell'equilibrio tra ²³⁸U e ²²⁶Ra in funzione dell'uso di materie prime fosfatice (l'equilibrio si verifica ove la materia prima fosfatica sia la fosforite o il superfosfato, mentre l'impoverimento in ²²⁶Ra è sintomo di utilizzo di acido fosforico o MAP, quale componente fosfatica).

Va osservato che le stime di ²²⁶Ra sono ottenute tramite determinazione del ²¹⁴Bi, così come quelle dell'²³⁸U discendono dall'attività del ²³⁴Th.

Sulla base dell'elaborazione dei dati riguardanti gli stessi campioni di fertilizzanti complessi dello stabilimento in esame, è possibile trovare una stretta correlazione tra il titolo di fosforo (la percentuale di concentrazione) e l'attività di ²³⁸U, ma nessuna correlazione con l'attività di ²²⁶Ra.

7

Tabella n. 6.4: Concentrazione di attività nelle materie prime dei fertilizzanti (Bq/kg).

Campione	⁴⁰ K	²³⁴ Th	²¹⁴ Bi
K ₂ SO ₄	13.000	< DL	< DL
KCl	15.000	< DL	< DL
Fosforite	31	1.000	1.200
H ₃ PO ₄	19	1.600	0.7
MAP	26	980	4.2

Tabella n. 6.5: Concentrazione di attività nei fertilizzanti complessi (Bq/kg).

Campione	⁴⁰ K	²³⁴ Th	²¹⁴ Bi
Fert. Complesso. 1	< DL	170	115
Fert. Complesso 2	2.380	190	100
Fert. Complesso 3	3.920	180	110
Fert. Complesso 4	2.750	310	200
Fert. Complesso 5	< DL	200	110
Fert. Complesso 6	2.790	230	130

Campione	40K	234Th	214Bi
Fert. Complesso 7	2.200	180	110
Fert. Complesso 8	4.810	360	150
Fert. Complesso 9	3.830	290	100
Fert. Complesso 10	4.400	515	62
Fert. Complesso 11	4.400	280	55
Fert. Complesso 12	4.100	560	58

I risultati di ulteriori indagini condotte successivamente da ARPAV su materiali fosfatici di due industrie di fertilizzanti (l'238U è valutato dai suoi prodotti di decadimento 234Th/234mPa; il 226Ra dai discendenti 214Pb/214Bi) [24] sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella n. 6.6 : Concentrazione di attività in fertilizzanti e loro materie prime (Bq/kg) prelevati presso la DITTA 1

Campioni DITTA 1	Mat I (comp. fosfatica)	238U	226Ra	232Th	40K	235U
Fosforite	-	1.000	1.070	-	42	-
Superfosfato_Fosforite	450	500	-	17	-	-
Fertilizzante_complesso_N6P12K15	Superfosfato	410	310	-	3350	-
MAP_Marocco	-	2.741	39	9	28	131
MAP_Russia	-	41	1	14	37	2
Superfosfato_triplo	-	1.506	352	7	92	69
Superfosfato_d'ossa	-	57	34	4	45	3

I dati di Tabella n. 6.6 sono in accordo con indagini precedenti; risulta evidente l'effetto di diluizione del contenuto di 238U passando da fosforiti a fertilizzanti complessi. Inoltre, la rottura della catena dell'uranio tra l'238U e il 226Ra è confermata dai campioni di MAP del Marocco e di Superfosfato Triplo. Il contenuto modesto di 238U nel campione di MAP della Russia può essere dovuto al fatto che non sono state usate fosforiti nella sua produzione.

Nel superfosfato d'ossa vengono usate materie prime organiche invece delle fosforiti e questo può spiegare il contenuto moderato di tutti i radionuclidi naturali riscontrato.

Tabella n. 6.7: Concentrazione di attività in fertilizzanti e loro materie prime (Bq/kg) prelevati presso la DITTA 2

Campioni DITTA 2	Mat I (comp fosfatica)	238U	226Ra	232Th	40K	235U
Acido fosforico	-	188	2,5	-	25	-
MAP	-	72	1,1	-	36	-
Fertilizzante complesso N12P12K36	MAP	29	<1,1	-	9.040	-
Fertilizzante complesso N27P15K14	MAP	24	<1,0	-	2.720	-

In Tabella n. 6.7 il MAP mostra basse concentrazioni sia di 238U che di 226Ra e così i fertilizzanti complessi da esso ottenuti (i fertilizzanti in questione sono idrosolubili).

Questa diversità può essere imputabile alla specifica origine dei minerali fosfatici ovvero alla purificazione svolta durante la lavorazione dell'acido fosforico, come richiesto per i prodotti fertilizzanti analizzati.

Quindi, in generale, il contenuto di uranio non può essere derivato esclusivamente dal titolo di fosforo dei fertilizzanti complessi e i rispettivi valori non sono necessariamente correlati fra loro

Tabella n. 6.8: Concentrazioni medie di attività dei nuclidi della catena dell'²³⁸U e del ⁴⁰K.

Fertilizzante	²³⁸ U (Bq/kg)	²²⁶ Ra (Bq/kg)	²¹⁰ Pb (Bq/kg)	⁴⁰ K (Bq/kg)	N. di campioni
Fosfatici semplici	667	295	295		3
Potassici semplici				14.000	2
Fosfatici complessi	262	107	157		15
Potassici complessi				3.379	15

2.2 Censimento delle attività produttive in Italia

Nel rapporto RTI CTN_AGF 3/2004 [13] è riportato il risultato di un primo censimento delle attività produttive italiane, rappresentate da Assofertilizzanti, la principale associazione di categoria con una rappresentatività di circa il 97% della produzione e della distribuzione dei fertilizzanti.

Secondo i dati forniti a suo tempo da Assofertilizzanti sui suoi associati, in Italia nei primi anni 2000 vi erano circa 50 aziende produttrici di fertilizzanti semplici fosfatici, semplici potassici e complessi, ma solo 17 di queste sono produttori principali.

Tra questi ultimi, 3 aziende producevano il superfosfato attraverso reazioni bilanciate tra fosforiti e acido solforico; non vi è più, invece, alcuna ditta che utilizza il processo termico, anche se diversi impianti del genere hanno operato in passato [13].

6.4 Censimento delle attività IPPC

L'industria dei fertilizzanti è contemplata dalla Direttiva 96/61/CE (IPPC, Integrated Pollution and Prevention Control), la quale prevede che vengano fatte misure per la riduzione dell'inquinamento di una lista di attività lavorative considerate prioritarie in base al loro impatto ambientale. La Direttiva 96/61/CE è stata recepita dalla Normativa Nazionale con il DLgs 59/05 successivamente abrogato dal DLgs 128/2010 che riporta l'Autorizzazione Integrata Ambientale nell'ambito del DLGS 152/06.

Dall'elenco degli impianti soggetti alle disposizioni del DLgs 156/06 in merito all'AIA le aziende chimiche produttrici di fertilizzanti sono classificate con il codice 4.3.

Un censimento delle aziende che nel 2013 hanno ottenuto l'AIA e che rappresentano le aziende con gli impatti potenzialmente più rilevanti riporta le seguenti attività [25]:

Tabella 6.9

RagioneSociale	NomeImpianto	SiglaProv	Comune	IndirizzoImpianto
ditta VALAGRO SpA	ditta VALAGRO SpA	CH	ATESSA	Piazzano di Atessa, Zona industriale
Fabbrica cooperativa perfosfati Cerea Soc. Coop.	Fabbrica cooperativa perfosfati Cerea Soc. Coop.	VR	SAN PIETRO DI MORUBIO	
FERTBEN SRL	FERTBEN SRL	MN	POGGIO RUSCO	VIA MARCONI 49
FERTILIZZANTI CERTALDO S.r.l. (ex FERTILIZZANTI S.p.A.)	FERTILIZZANTI CERTALDO S.r.l. (ex FERTILIZZANTI S.p.A.)	FI	CERTALDO	
IDEA VERDE S.r.l.	IDEA VERDE S.r.l.	PI	SANTA CROCE SULL'ARNO	VIA NUOVA FRANCESCA 17
ILSA spa	ILSA SPA	VI	ARZIGNANO	Quinta Strada 28
Lifa srl	Lifa srl	VE	VIGONOVO	VIA CRISTOFORO COLOMBO 7 - 7A
ORGANAZOTO Fertilizzanti S.p.A.	ORGANAZOTO Fertilizzanti S.p.A.	PI	SAN MINIATO	

RagioneSociale	NomeImpianto	SiglaProv	Comune	IndirizzoImpianto
Puccioni S.p.A.	Puccioni S.p.A.	CH	VASTO	Via Osca, 89
SCAM S.P.A.	SCAM .	MO	MODENA	BELLARIA 164
TIMAC ITALIA SPA	STABILIMENTO DI RIPALTA ARPINA	CR	RIPALTA ARPINA	STR PROVINCIALE MONTODINE-GOMBITO

3.1 Produzione di fertilizzanti (registro dei fabbricanti di fertilizzanti)

Ai sensi dell'art. 8 del D.Lgs. 75/2010 “Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti, a norma dell'art.13 della legge 07/07/09, n. 88” i “fabbricanti” di fertilizzanti sono soggetti ad iscrizione al Registro dei fabbricanti di fertilizzanti. Il D.Lgs. 75/2010 definisce (Art. 2 comma 2 punto *m*) quale “«fabbricante»: *la persona fisica o giuridica responsabile dell'immissione del fertilizzante sul mercato; in particolare, e' considerato fabbricante il produttore, l'importatore, il confezionatore che lavora per conto proprio, o ogni persona che modifichi le caratteristiche di un fertilizzante; tuttavia, non e' considerato fabbricante un distributore che non modifichi le caratteristiche del fertilizzante*”.

Il registro, istituito presso il Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali ai fini di garantire (Art. 8 comma 1) “la tracciabilità dei prodotti” contiene il “Registro dei fabbricanti di fertilizzanti”.

Dai dati aggiornati al mese di giugno 2013 è tratta la tabella seguente, che riassume la distribuzione per regioni, dei fabbricanti iscritti all’elenco nazionale [26].

Tabella 6.10

Regione	Concimi fosfatici	Concimi fosfatici fluidi	Concimi fosfatici solidi	Concimi NP	Concimi NP fluidi	Concimi NPK	Concimi NPK fluidi	Concimi organici NP	Concimi organo- minerali NP	Concimi organo- minerali NP fluidi in sospensione	Concimi organo- minerali NPK	Concimi organo- minerali NPK fluidi in sospensione	Concimi PK	Totale complessivo
Abruzzo	12	7	7	8	2	8	2	13	8	8	8	7	18	108
Alto Adige	1			1		3					1		1	7
Basilicata		1	1	1		1		1	1	1	1	1	2	11
Calabria		1				1		1	1	1	1			6
Campania	8	9	6	8	1	9	1	49	7	8	7	9	13	135
Emilia Romagna	45	31	24	41	6	44	6	64	31	28	32	34	67	453
Friuli	2	1	1	1		7		4	1	1	6	1	3	28
Lazio	7	6	3	5	3	6	3	9	5	5	6	6	10	74
Liguria	3	3	1	3		6		4	2	3	4	2	5	36
Lombardia	63	37	36	61	11	73	12	76	45	41	61	49	97	662
Marche	7	6	2	6	1	8	1	7	6	6	7	6	9	72
Molise	1	1	1	2		2		7	1	1	1	1	2	20
Piemonte	9	7	6	10	2	16	1	18	12	10	14	11	13	129
Puglia	24	20	10	25	1	28	2	20	14	14	22	14	36	230
Sardegna	6	2	3	4	1	4	1	3	3	2	3	2	8	42
Sicilia	22	21	14	30	5	33	5	28	13	14	19	18	38	260
Toscana	12	5	5	7	2	10	2	31	14	10	20	10	19	147
Umbria	4			2		3		3	2		2		4	20
Veneto	28	16	15	26	2	41	2	45	22	17	33	20	39	306
Totale complessivo	254	174	135	241	37	303	38	383	188	170	248	191	384	2746

Utilizzo di fertilizzanti

Nelle tabelle seguenti (dati ISTAT “Agricoltura e zootecnia”) sono riassunte le quantità di fertilizzanti utilizzate in Italia, suddivisi per macroregioni.

Tabella 6.11 - Fertilizzanti distribuiti, per tipo di produzione, stato, utilizzo consentito in agricoltura in quintali, prodotti in Italia . Dettaglio per ripartizione [27]

Ripartizioni geografiche	Concimi minerali						
	Semplici				Composti		
	Azotati	Fosfatici	Potassici	Totale	Binari	Ternari	Totale
Nord	5288639	459290	44193	5792116	1454635	2693760	4148395
Centro	1237275	159854	4292	1401413	258915	368912	627827
Mezzogiorno	1140010	126817	11387	1278216	217434	795075	1012509
ITALIA	7665924	745961	59872	8471745	1930984	3857747	5788731

Tabella 6.12 - Fertilizzanti distribuiti, per tipo di produzione, stato, utilizzo consentito in agricoltura in quintali, prodotti all'Estero . Dettaglio per ripartizione

Ripartizioni geografiche	Concimi minerali						
	Semplici				Composti		
	Azotati	Fosfatici	Potassici	Totale	Binari	Ternari	Totale
Nord	4553197	313830	627938	5494965	1367998	1211369	2579367
Centro	786367	81179	35145	902691	306159	251593	557752
Mezzogiorno	1161879	31503	61293	1254675	578615	410413	989028
ITALIA	6501443	426512	724376	7652331	2252772	1873375	4126147

Tabella 6.13 - Fertilizzanti distribuiti, per tipo di produzione, stato, utilizzo consentito in agricoltura in quintali, allo stato solido. Dettaglio per ripartizione

Ripartizioni geografiche	Concimi minerali						
	Semplici				Composti		
	Azotati	Fosfatici	Potassici	Totale	Binari	Ternari	Totale
Nord	9599318	717663	668505	10985479	2765821	3886982	6652803
Centro	1989344	237140	39095	2265571	560397	616257	1176654
Mezzogiorno	2278337	139085	70716	2199137	787586	1194730	1982316
ITALIA	13866999	1093888	778316	15739189	4113804	5697969	9811773

Tabella 6.14 - Fertilizzanti distribuiti, per tipo di produzione, stato, utilizzo consentito in agricoltura in quintali, allo stato fluido. Dettaglio per ripartizione

Ripartizioni geografiche	Concimi minerali						
	Semplici				Composti		
	Azotati	Fosfatici	Potassici	Totale	Binari	Ternari	Totale
Nord	242518	55457	3626	301601	56812	18147	74959
Centro	34298	3893	342	38533	4677	4248	8925
Mezzogiorno	23552	19235	1964	44751	8463	10758	19221
ITALIA	300368	78585	5932	384885	69952	33153	103105

7 LAVORAZIONE DELLE SABBIE ZIRCONIFERE

Le sabbie ad elevato contenuto di minerali di zirconio, dette sabbie zirconifere, vengono utilizzate nella produzione delle ceramiche e dei materiali refrattari come sostanza opacizzante e indurente.

Le sabbie zirconifere, prodotte dall'azione marina hanno una distribuzione granulometrica è generalmente compresa fra 100 e 200 μm .

Lo zirconio non si trova in natura allo stato elementare, ma principalmente sotto forma di

- a) silicato *Zircone o Zirconite*¹ (65% ZrSiO_4 , 33% silice combinata, ossidi di altri metalli)
- b) ossido *Baddeleyte*² (ZrO_2)

I depositi più consistenti di *Zirconite* sono le sabbie presenti in alcune spiagge situate in Australia, India, Ucraina, Malesia e Stati Uniti, mentre depositi di *Baddeleyte* sono presenti in Brasile, Svezia, India e Italia.

Le sabbie zirconifere contengono radioisotopi naturali (famiglie di ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th), come sostituenti isomorfi dello zirconio nella struttura cristallina, intrappolati durante il processo di formazione del cristallo dal raffreddamento di rocce fuse.

L'attività dei vari radioisotopi variano a seconda della provenienza geografica e vanno da 400 a 40.000 Bq/kg per il ^{232}Th e da 200 a 74.000 Bq/kg per l' ^{238}U [28].

Le dimensioni granulometriche delle sabbie importate permettono un loro diretto utilizzo nella produzione di materiali refrattari, mentre l'utilizzo nella produzione delle ceramiche presuppone un processo di macinazione fino a diametri dell'ordine anche del micron. Questo lavoro di macinazione viene svolto da aziende specializzate, che, a partire da sabbie ad elevato contenuto di zircone, producono silicati di zirconio sotto forma di polveri di diverse dimensioni.

Le industrie ceramiche, i colorifici, i piastrellifici, ecc. utilizzano poi queste polveri per la produzione di smalti, fritte e ceramiche particolari come il grès porcellanato

Le lavorazioni maggiormente critiche dal punto di vista della potenziale esposizione alle radiazioni ionizzanti sono

- la macinazione per la produzione di polvere di silicato di zirconio,
- la produzione di materiali refrattari, che possono usare sabbie zirconifere come materie prime,
- la manifattura di ceramiche e piastrelle, in cui la polvere di silicato di zirconio è usata negli smalti, o proprio nell'impasto nel caso del gres porcellanato bianco [21].

Le possibili vie di impatto ambientale sono:

- emissioni in atmosfera, in particolare di ^{210}Pb e ^{210}Po durante la fusione nella produzione di refrattari,
- scarico di acque e fanghi di depurazione
- uso dei prodotti finiti in edilizia.

L'Italia importa circa 170.000 t all'anno di sabbie zirconifere, il 70% delle quali è usato nell'industria della ceramica [21].

7.1 Produzione di piastrelle Ciclo lavorativo e criticità radiologiche

Eccettuati i materiali contenenti zirconio, le materie prime utilizzate nell'industria ceramica hanno attività specifiche piuttosto basse. I materiali zirconiferi principalmente utilizzati sono le polveri di silicati di zirconio, adoperate come materia prima per gli smalti e per l'impasto di alcuni prodotti particolari, come il grès porcellanato bianco.

Il processo di lavorazione ricalca, nelle sue linee principali, quello tipico dei prodotti ceramici. Le fasi produttive variano in funzione del tipo di prodotto che si vuole ottenere, ma, in prima approssimazione, si possono individuare tre cicli fondamentali:

- a) ciclo piastrelle non smaltate,
- b) ciclo piastrelle smaltate bicottura,
- c) ciclo piastrelle smaltate monocottura.

La tecnologia della bicottura prevede due distinti trattamenti termici, rispettivamente per consolidare il supporto e per stabilizzare gli smalti e i decori, i quali vengono applicati sul supporto cotto.

Nella monocottura gli smalti e i decori vengono applicati sul supporto solo essiccato, per cui è previsto, al termine, un unico trattamento termico (monocottura) nel corso del quale il consolidamento del supporto e la stabilizzazione degli smalti si verificano contemporaneamente.

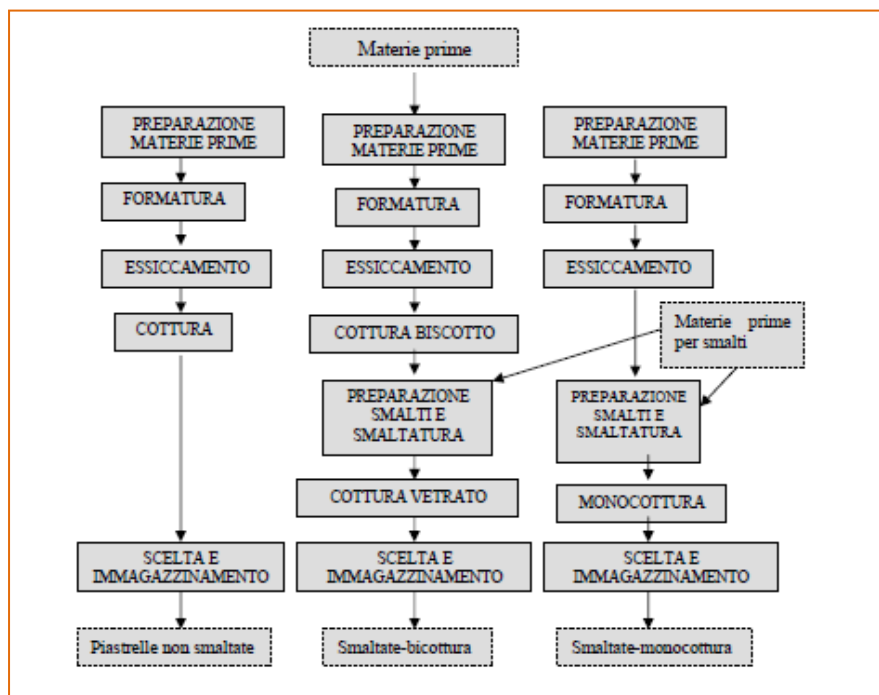
Per alcuni materiali possono essere previsti ulteriori trattamenti sul prodotto finito: operazioni di taglio e smussatura per ottenere particolari pezzi di raccordo, oppure levigatura, come nel caso del grès porcellanato.

Gli smalti sono miscele di fritte e coloranti che vengono applicate sulla superficie della piastrella e quindi portate a fusione, in modo da formare un rivestimento vetroso.

Le fritte sono composti vetrosi preparati per fusione e rapido raffreddamento in acqua.

I supporti non hanno di norma concentrazioni di radionuclidi superiori al fondo naturale, ad eccezione del supporto del grès porcellanato bianco, che contiene sabbie zirconifere e/o silicati di zirconio nell'impasto; gli smalti possono invece contenere ossidi di zirconio come opacizzanti ed avere quindi concentrazioni di attività significative.

Figura n. 7.1: Schema a blocchi del ciclo produttivo delle piastrelle [21]



In un precedente rapporto CTN-AGF [21] sono stati presentati i dati della raccolta di informazioni raccolte mediante un questionario conoscitivo semplificato inviato a 50 aziende selezionate, le cui dimensioni produttive totali rappresentano il 70% del mercato nazionale.

Scopo del questionario consisteva nel conoscere i quantitativi di sabbie zirconifere o silicati di zirconio usati nell'impasto delle piastrelle in generale, del gres porcellanato bianco e nella preparazione degli smalti.

I risultati delle risposte del 32% degli intervistati sono mostrati nella Tabella seguente.

Tabella n. 7.1: *Quantitativi di sabbie zirconifere, silicati di zirconio e smalti usati nel 2003 dalle aziende che hanno risposto al questionario (circa il 32% delle intervistate).*

Sabbie zirconifere quantitativo (t)	Silicati di zirconio quantitativo (t)	Smalti a base di sabbie/silicati zirconiferi preparati quantitativo (t)	Smalti a base di sabbie/silicati zirconiferi comprati quantitativo (t)
720	19.000	6.000-11.000	15.500

7.2 Concentrazione di attività nei materiali

In Emilia-Romagna è stata condotta nel tempo [13] un'importante indagine sul ciclo produttivo delle piastrelle, nell'ambito della quale sono state eseguite misure di attività (tramite spettrometria gamma) dei discendenti di ^{238}U , ^{232}Th e di ^{40}K su numerosi campioni di materie prime, prodotti finiti e residui [13].

Come appare dalla Tabella n. 7.2, la maggior parte dei prodotti finiti presenta moderati valori di concentrazione, a differenza del gres porcellanato bianco, che contiene polvere di zirconio nell'impasto.

Anche i valori di attività nei fanghi non appaiono in media trascurabili, e ciò suggerisce di tenere sotto controllo il ciclo di depurazione delle acque.

Nel rapporto si evidenziava inoltre che, nonostante l'uso in ambienti chiusi delle più comuni piastrelle ceramiche sembra non contribuire in modo significativo alla irradiazione gamma o all'immissione di gas radon, bisognerebbe valutare i casi particolari e l'eventualità di elevata irradiazione beta esterna (i radionuclidi provenienti dalle sabbie zirconifere sono distribuiti prevalentemente nel sottile rivestimento di smalto che ricopre le piastrelle) [13].

Tabella n. 7.2: *Concentrazioni di attività di ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K (Bq/kg) misurate su materie prime, prodotti finiti e residui della lavorazione delle piastrelle.*

Campioni	^{238}U	^{232}Th	^{40}K
Materie prime	26-58	38-73	422-1.286
Silicato di zirconio (<5 μm)	2.334	880	/
Silicato di zirconio(<45 μm)	2.084	858	/
Fanghi	68-354	30-119	266-427
Gres porcellanato bianco	118-247	40-89	528-1.000
Gres porcellanato rosso	42	42	625
Gres porcellanato nero	39	41	768
Altre piastrelle	27-88	42-69	544-977

7.3 Censimento delle attività produttive in Italia

Secondo il rapporto RTI CTN_AGF 3/2004, il settore produttivo delle piastrelle di ceramica contava nel 2003 circa 280 unità operative, 30.800 addetti e oltre 600 milioni di metri quadrati prodotti.

Le aziende si concentrano prevalentemente nel cosiddetto “Comprensorio della ceramica” nelle province di Modena e Reggio Emilia, con una quota produttiva sul totale dell’80%.

Assopiastrelle è l’Associazione Nazionale dei Produttori di Piastrelle di Ceramica e di Materiali Refrattari con una rappresentatività del 90% su tutto il territorio nazionale [13].

Ci sono circa dieci industrie che effettuano la macinazione, situate principalmente in Emilia-Romagna, Toscana e Liguria.

La Direttiva IPPC include la fabbricazione di prodotti ceramici, purché al di sopra di una certa soglia di produzione.

Impianti per la fabbricazione di prodotti ceramici mediante cottura, in particolare tegole, mattoni, mattoni refrattari, piastrelle, gres, porcellane, con una capacità di produzione di oltre 75 tonnellate al giorno e/o con una capacità di forno superiore a 4m³ e con una densità di colata per giorno superiore a 300 kg/m³.

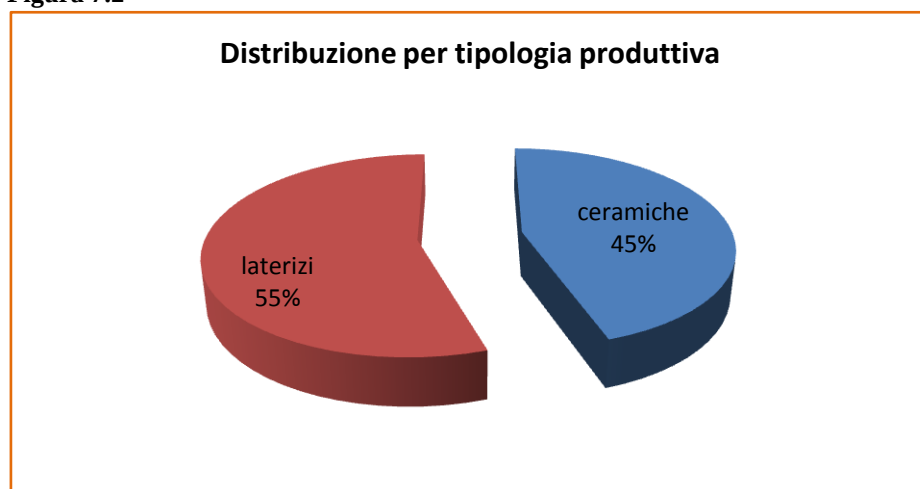
Il settore comprende pertanto complessivamente tutti gli impianti di maggior capacità produttiva. La distribuzione regionale degli impianti per la categoria IPPC 3.5 è riportata nella tabella seguente Tab 7.3 [25]

Tabella n. 7.3

Regione	Impianti IPPC cod. 3.5
Abruzzo	3
Basilicata	1
Emilia Romagna	93
Friuli	1
Liguria	3
Lombardia	20
Marche	5
Piemonte	26
Sardegna	8
Sicilia	1
Toscana	23
Trentino Alto Adige	1
Umbria	4
Veneto	31
Totale complessivo	220

Nella figura seguente è riportata la ripartizione percentuale fra gli impianti di produzione di laterizi e gli impianti di produzione di prodotti ceramici.

Figura 7.2



Nella tabella seguente è riportata la ripartizione territoriale degli impianti di ceramiche.

Tabella n. 7.4

Regione	Impianti produzione ceramiche - IPPC
Emilia Romagna	70
Friuli	1
Lombardia	3
Piemonte	1
Sardegna	1
Toscana	3
Umbria	2
Veneto	1
Totale complessivo	82

Più dell' 80% degli impianti produttivi si trova in Emilia Romagna mentre gli impianti di produzione di laterizi risultano maggiormente distribuiti nel territorio, con leggera prevalenza fra Piemonte (21 impianti) e Veneto (29 impianti).

Tabella n. 7.5

Regione	Impianti produzione laterizi - IPPC
Emilia Romagna	13
Liguria	3
Lombardia	16
Marche	5
Piemonte	21
Sardegna	7
Sicilia	1
Toscana	20

Regione	Impianti produzione laterizi - IPPC
Trentino Alto Adige	1
Umbria	2
Veneto	29
Totale complessivo	118

Nella tabella seguente sono elencati gli impianti di produzione di ceramiche.

Tabella n. 7.6

Ragione Sociale	Nome Impianto	Regione	Provincia	Comune	Istat Comune	Indirizzo Impianto
COOP. CERAMICA IMOLA S.r.l.	sito 3	Emilia Romagna	BO	BORGO TOSSIGNANO	037007	Via Ripalimosani, 1/3
LEONARDO 1052 CERAMICA S.p.a.	LEONARDO 1052 CERAMICA S.p.a.	Emilia Romagna	BO	CASALFIUMANESE	037012	Via G. di Vittorio, 24
CEDIR CERAMICHE DI ROMAGNA S.p.a.	CEDIR STABILIMENTO DI TOSCANELLA	Emilia Romagna	BO	DOZZA	037025	Via Emilia, 80 Località Toscanella di Dozza
COOP. CERAMICA IMOLA S.r.l.	sito 1	Emilia Romagna	BO	IMOLA	037032	Via Vittorio Veneto, 13
COOP. CERAMICA IMOLA S.r.l.	sito 2	Emilia Romagna	BO	IMOLA	037032	Via Correcchio, 32
GRUPPO CERAMICHE RICCHETTI S.P.A.	GRUPPO CERAMICHE RICCHETTI S.P.A.	Emilia Romagna	BO	MORDANO	037045	Via Fluno, 800
FLORIM CERAMICHE S.p.A.	Stabilimento di Mordano	Emilia Romagna	BO	MORDANO	037045	S.S. 610 Selice, 1
CERAMICHE CCV CASTELVETRO S.P.A.	STAB. CAMPOSANTO	Emilia Romagna	MO	CAMPOSANTO	036004	VIA PONTE BIANCO 26/A
OPERA S.R.L.	STABILIMENTO DI CAMPOSANTO	Emilia Romagna	MO	CAMPOSANTO	036004	PONTE BIANCO 20/22
ABK SIR PRODUCTION S.P.A.	ABK SIR PRODUCTION S.P.A.	Emilia Romagna	MO	CASTELVETRO DI MODENA	036008	VIA STATALE 569 PER VIGNOLA 226
CERAMICHE GAMBARELLI S.R.L.	CERAMICHE GAMBARELLI S.R.L.	Emilia Romagna	MO	CASTELVETRO DI MODENA	036008	
ELIOS CERAMICHE S.P.A.	ELIOS CERAMICHE S.P.A.	Emilia Romagna	MO	CASTELVETRO DI MODENA	036008	
FINCIBEC S.P.A.	STAB NAXOS	Emilia Romagna	MO	CASTELVETRO DI MODENA	036008	STR STATALE 569
CERAMICHE CCV CASTELVETRO S.P.A.	STAB. CASTELVETRO	Emilia Romagna	MO	CASTELVETRO DI MODENA	036008	STRADA STATALE 569

RagioneSociale	NomeImpianto	Regione	Provincia	Comune	IstatComune	IndirizzoImpianto
GRUPPO BETA S.P.A.	STAB. DI SOLIGNANO	Emilia Romagna	MO	CASTELVETRO DI MODENA	036008	569 234
EMILCERAMICA S.P.A.	STAB. DI SOLIGNANO	Emilia Romagna	MO	CASTELVETRO DI MODENA	036008	STATALE 569 171-A
DAYTONA S.P.A.	STAB. DI SOLIGNANO	Emilia Romagna	MO	CASTELVETRO DI MODENA	036008	
CERAMICHE ASCOT S.P.A.	STAB.2 "ASCOT GRES"	Emilia Romagna	MO	CASTELVETRO DI MODENA	036008	
PIEMME S.P.A	STAB.DI SOLIGNANO	Emilia Romagna	MO	CASTELVETRO DI MODENA	036008	S.S. 569 SOLIGNANO 222
CERAMICHE ASCOT S.P.A.	STABILIMENTO BICO	Emilia Romagna	MO	CASTELVETRO DI MODENA	036008	
LION S.P.A.	Stabilimento di Solignano di Castelvetro	Emilia Romagna	MO	CASTELVETRO DI MODENA	036008	Statale per Vignola 179
CERAMICHE ATLAS CONCORDE S.P.A.	Ceramiche Atlas Concorde S.p.a. - Stab. di Finale	Emilia Romagna	MO	FINALE EMILIA	036012	Panaria Bassa 24
CERAMICHE MOMA S.P.A.	CERAMICHE MOMA S.P.A.	Emilia Romagna	MO	FINALE EMILIA	036012	
MARAZZI GROUP S.P.A.	DI FINALE EMILIA	Emilia Romagna	MO	FINALE EMILIA	036012	Panaria Bassa 13/b
ABK GROUP INDUSTRIE CERAMICHE S.P.A.	STAB. DI FINALE EMILIA	Emilia Romagna	MO	FINALE EMILIA	036012	VIA SAN LORENZO 24/A
PANARIAGROUP INDUSTRIE CERAMICHE S.P.A.	STAB. n° 1	Emilia Romagna	MO	FINALE EMILIA	036012	VIA PANARIA BASSA 22/A
CERAMICA GARDENIA ORCHIDEA S.P.A.	CERAMICA GARDENIA ORCHIDEA S.P.A.	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	
CERAMICHE ATLAS CONCORDE S.P.A.	Ceramiche Atlas Concorde S.p.a.	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	Canaletto 141
CERAMICHE CAESAR S.P.A. (FAP S.P.A.)	CERAMICHE CAESAR S.P.A. (FAP S.P.A.)	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	
CERAMICHE CAESAR S.P.A. (FAP S.P.A.)	CERAMICHE CAESAR SPA DIVISIONE FAP	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	Ghiarola Nuova 44
CERAMICHE DAYTONA S.P.A.	DIVISIONE SILA	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	
ELLE CERAMICA S.P.A.	ELLE CERAMICA S.P.A.	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	

RagioneSociale	NomeImpianto	Regione	Provincia	Comune	IstatComune	IndirizzoImpianto
GRUPPO CERAMICHE SETTECENTO E VALTRESINARO S.P.A.	GRUPPO CERAMICHE SETTECENTO E VALTRESINARO S.P.A.	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	DEL CROCIALE 21
HI TECH SAICIS S.P.A.	HI TECH SAICIS S.P.A.	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	
SAVOIA ITALIA S.P.A.	SAVOIA ITALIA S.P.A.	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	
EMILCERAMICA S.P.A.	STAB. 1	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	GHIAROLA NUOVA 65-67
PANARIAGROUP INDUSTRIE CERAMICHE S.P.A.	STAB. 4	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	VIA PER CAMEAZZO 21
NUOVA RIWAL CERAMICHE S.R.L.	STAB. DI FIORANO	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	VIA GHIAROLA NUOVA
SICHENIA GRUPPO CERAMICHE S.P.A.	STAB. DI FIORANO	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	VIA GHIAROLA NUOVA 152
ABK GROUP INDUSTRIE CERAMICHE S.P.A.	STAB.DI FIORANO	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	VIA GHIAROLA NUOVA
IRIS CERAMICA S.P.A.	STABILIMENTO DI FIORANO	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	GHIAROLA NUOVA 121
COEM S.P.A.	STABILIMENTO DI FIORANO MODENESE	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	CAMEAZZO 25
MARAZZI GROUP S.P.A.	Stabilimento di Fiorano Modenese	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	FERRARI CARAZZOLI 120
MIX CERAMICHE S.P.A.	Stabilimento di Fiorano Modenese	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	Via Viazza I Tronco 37
GRUPPO BETA S.P.A.	STABILIMENTO EDIMAX	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	
FLORIM CERAMICHE S.p.A.	STABILIMENTO REX	Emilia Romagna	MO	FIORANO MODENESE	036013	CANALETTO 24
GRUPPO CERAMICHE GRESMALT S.P.A.	GRUPPO CERAMICHE GRESMALT S.P.A.	Emilia Romagna	MO	FRASSINORO	036016	VIA MATILDE DI CANOSSA 12
SIMA CERAMICHE S.R.L.	SIMA CERAMICHE S.R.L.	Emilia Romagna	MO	MARANELLO	036019	VIA PER VIGNOLA 37
GRUPPO CERAMICHE RICCHETTI S.P.A.	STAB. 3	Emilia Romagna	MO	MARANELLO	036019	VIA TREBBO 119

RagioneSociale	NomeImpianto	Regione	Provincia	Comune	IstatComune	IndirizzoImpianto
GRUPPO CERAMICHE RICCHETTI S.P.A.	STAB. 4	Emilia Romagna	MO	MARANELLO	036019	VIA TREBBO
GRUPPO CERAMICHE RICCHETTI S.P.A.	STAB. 7	Emilia Romagna	MO	MARANELLO	036019	VIA TREBBO 109
NUOVA RIWAL CERAMICHE S.R.L.	STAB. DI MARANELLO	Emilia Romagna	MO	MARANELLO	036019	Giardini 24
INDUSTRIE CERAMICHE PIEMME S.P.A.	STAB. DI NIRANO	Emilia Romagna	MO	MARANELLO	036019	NIRANO 3
CERAMICA FONDOVALLE S.P.A.	Ceramica Fondovalle S.p.A.	Emilia Romagna	MO	MARANO SUL PANARO	036020	Fondovalle 5049
EXPORTCERAM FIDEURO S.R.L.	EXPORTCERAM FIDEURO SRL	Emilia Romagna	MO	MONTEFIORINO	036025	LA PIANA 2
CERAMICA LORD S.P.A.	CERAMICA LORD SPA	Emilia Romagna	MO	NOVI DI MODENA	036028	Gazzoli 85
GOLD ART CERAMICA S.P.A.	GOLD ART CERAMICA S.P.A.	Emilia Romagna	MO	PAVULLO NEL FRIGNANO	036030	
CERAMICA ARTISTICA DUE S.P.A.	CERAMICA ARTISTICA DUE S.P.A.	Emilia Romagna	MO	PRIGNANO SULLA SECCHIA	036033	
GAMBINI GROUP INDUSTRIE CERAMICHE S.R.L.	GAMBINI GROUP INDUSTRIE CERAMICHE S.R.L.	Emilia Romagna	MO	PRIGNANO SULLA SECCHIA	036033	VIA VAL ROSSENNA 1
CERAMICHE MARCA CORONA S.P.A.	CERAMICHE MARCA CORONA S.P.A.	Emilia Romagna	MO	SASSUOLO	036040	VIA EMILIA ROMAGNA 7
GRUPPO C.B.S. S.P.A.	DIVISIONE LA GUGLIA	Emilia Romagna	MO	SASSUOLO	036040	
FERRO SPAIN S.A. ITALY BRANCH	FERRO SPAIN S.A. ITALY BRANCH	Emilia Romagna	MO	SASSUOLO	036040	
SICHENIA GRUPPO CERAMICHE S.P.A.	SICHENIA GRUPPO CERAMICHE S.P.A.	Emilia Romagna	MO	SASSUOLO	036040	VIA TOSCANA 16
FINCIBEC S.P.A.	STAB MONOCIBEC	Emilia Romagna	MO	SASSUOLO	036040	VALLE D'AOSTA 47
MARAZZI GROUP S.P.A.	STAB. DI CASIGLIE	Emilia Romagna	MO	SASSUOLO	036040	San Lorenzo 88
IRIS CERAMICA S.P.A.	STAB. DI SASSUOLO	Emilia Romagna	MO	SASSUOLO	036040	VALLE D'AOSTA 37
GRUPPO CERAMICHE RICCHETTI S.P.A.	STAB. DI SASSUOLO	Emilia Romagna	MO	SASSUOLO	036040	
PASTORELLI S.P.A.	PASTORELLI S.P.A.	Emilia Romagna	MO	SAVIGNANO SUL PANARO	036041	MAGAZZENO 1944

RagioneSociale	NomeImpianto	Regione	Provincia	Comune	IstatComune	IndirizzoImpianto
CERAMICHE PROGRES S.R.L.	CERAMICHE PROGRES S.R.L.	Emilia Romagna	MO	SERRAMAZZONI	036042	
CERAMICHE SERRA S.P.A.	CERAMICHE SERRA S.P.A.	Emilia Romagna	MO	SERRAMAZZONI	036042	
IDEAL STANDARD INDUSTRIALE SRL	Ideal Standard Industriale S.r.l.	Friuli	PN	ZOPPOLA	093051	VIA TREVISO 27
SOCIETA' DEL GRES SpA	SOCIETA' DEL GRES SpA	Lombardia	BG	SORISOLE	016202	
THERMAL CERAMICS ITALIANA Srl	Stabilimento di Casalpusterlengo	Lombardia	LO	CASALPUSTERLENGO	098010	delle rogge 6
POLIS MANIFATTURE CERAMICHE SpA	POLIS MANIFATTURE CERAMICHE S.P.A.	Lombardia	MN	GONZAGA	020027	PAVESA 24
ALTAECO S.P.A.	Altaeco S.p.a.	Piemonte	BI	CERRIONE	096018	Fraz. Vergnasco, S.S. 143, n. 100
Ceramica Mediterranea Srl	Ceramica Mediterranea Srl	Sardegna	VS	GUSPINI	106008	Localita' Corte E Semucu
INDUSTRIE BITOSSI SPA	INDUSTRIE BITOSSI SPA	Toscana	FI	MONTELUPO FIORENTINO	048028	VIA DEL LAVORO 65
INDUSTRIE BITOSSI SPA	INDUSTRIE BITOSSI SPA	Toscana	FI	VINCI	048050	PIETRAMARINA 53
CERAMICHE DI SIENA S.P.A. Gruppo Ceramiche Gambarelli -	CERAMICHE DI SIENA S.P.A. Gruppo Ceramiche Gambarelli -	Toscana	SI	BUONCONVENTO	052003	strada statale 2
Umbracer S.r.l. (Ex Cersad S.p.A.)	Umbracer S.r.l. (Ex Cersad S.p.A.)	Umbria	PG	CANNARA	054006	Via Assisi, 104
Tagina Ceramiche d'Arte S.p.A.	Tagina Ceramiche d'Arte S.p.A.	Umbria	PG	GUALDO TADINO	054023	Via Flaminia - zona industriale Nord
IDEAL STANDARD INDUSTRIALE SRL	IDEAL STANDARD INDUSTRIALE SRL	Veneto	BL	TRICHIANA	025061	VIA CAVASSICO INFERIORE 160

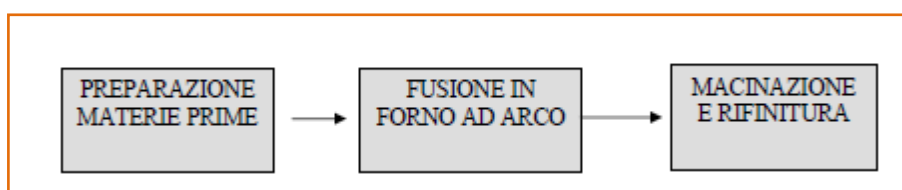
7.4 Produzione di materiali refrattari

Ciclo lavorativo e criticità radiologiche

Un importante utilizzo delle sabbie zirconifere è nella manifattura di componenti refrattari, impiegati in forni ad alta temperatura:

- a) mattoni e blocchi refrattari per forni per la lavorazione del vetro,
- b) stampi per fonderie,
- c) stampi da estrusione,
- d) vernici refrattarie per ricoprire la superficie degli stampi,
- e) rivestimento siviere (mestoli per trasportare e versare metalli fusi),
- f) superfici di protezione e superfici di raccolta del metallo fuso in altoforni.

Figura n. 7.3: Schema a blocchi del ciclo produttivo dei materiali refrattari [13]



I componenti più diffusi usati nella produzione di refrattari sono *allumina*, *zirconio* e *silice*.

Le materie prime vengono mescolate automaticamente coi prodotti che favoriscono il processo di fusione, e quindi fuse ad alte temperature in forni ad arco.

Le materie prime possono essere sabbie zirconifere, silicati di zirconio o semilavorati a base di silicati di zirconio (come ad esempio la *mullite zirconio* o *scarti e rottami* vari).

Durante la fusione la catena dell'uranio può rompersi, con conseguente arricchimento di ^{210}Pb e ^{210}Po nelle polveri emesse a causa della volatilizzazione degli stessi alle alte temperature di fusione.

Il prodotto fuso viene versato negli stampi e, dopo l'eliminazione delle materozze (colame, ovvero materiale che si è solidificato nel canale di colata e intorno agli stampi) e la demolizione degli stampi stessi, i blocchi, ancora incandescenti, vengono posti in cassoni metallici riempiti con farina fossile, dove vengono lasciati raffreddare.

Dopodiché, i blocchi vengono sabbiati con aria compressa e poi rifiniti mediante operazioni di molatura, fresatura, rettificazione ed eventualmente taglio.

Le materozze vengono frantumate (ad esempio con mulini a ganasce) per un successivo utilizzo.

Durante queste operazioni vengono prodotte polveri.

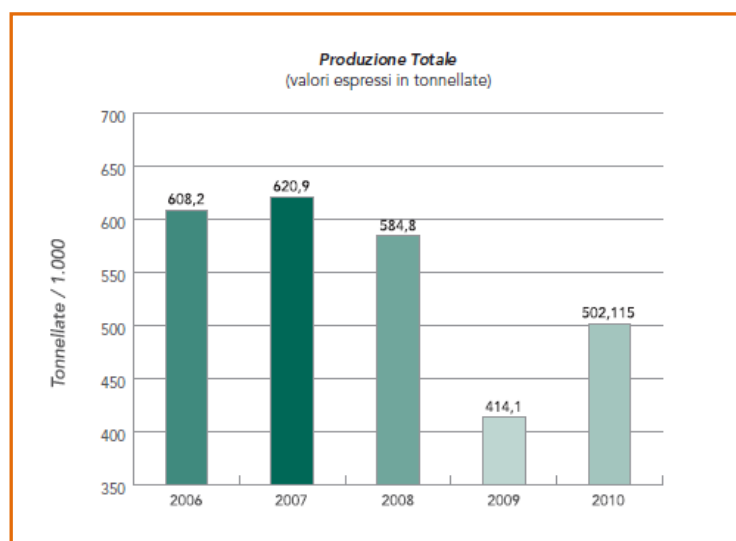
L'intero processo produce, inoltre, acque reflue e fanghi provenienti dai diversi reparti della fabbrica.

Polveri, fanghi e acque reflue vengono generalmente smaltiti ovvero riciclati nel processo produttivo.

Censimento delle attività produttive in Italia

Il quadro nazionale comprende 37 aziende, 13 delle quali affiliate alla principale associazione di categoria, Assopiastrelle, che ha prodotto un rapporto generale sull'attività nel settore aggiornato al 2010.[30]

Figura 7.4



Nel 2010 la produzione totale ammontava a 502.115 t; i principali settori utilizzatori sono nell'ordine: siderurgia, calce e cemento, ceramica, metalli non ferrosi, vetreria, energia e petrolchimico [30].

Figura 7.5

Forniture per settori di consumo – Anno 2010
Settori di consumo (quote %)

	Euro	Tonnellate
Siderurgico	66,14%	75,06%
Fonderie ferrose	0,50%	0,52%
Fonderie metalli non ferrosi	0,77%	0,55%
Calce e cementi	1,21%	1,07%
Vetrario	9,87%	2,28%
Petrolifero e chimico	6,84%	5,38%
Ceramica e laterizio	8,32%	4,54%
Energia e Inceneritori	0,71%	0,74%
Altri	5,64%	9,86%
Totale	100,00%	100,00%

Fonte: Confindustria Ceramica

Nel citato rapporto CTN-AGF [13] sono stati presentati i dati delle informazioni raccolte mediante un questionario conoscitivo inviati alle principali industria dei materiali refrattari.

Sulla base della ricognizione svolta sul territorio nazionale risulta che 10 aziende usano sabbie zirconifere o semilavorati a base di silicati di zirconio nel processo produttivo, ma che solo 2 di queste sono interessate dall'uso di quantità significative di sabbie zirconifere (migliaia di tonnellate).

Inoltre da un'elaborazione preliminare dei dati a suo tempo raccolti, il consumo di sabbie/silicati zirconifere o di semilavorati a base di silicati di zirconio come materie prime è stato di circa 45.000 t nel 2003 [13].

3.2.3 Concentrazione di attività nei materiali

Nel corso del biennio 2002-2003 ARPA Veneto ha svolto un'indagine dettagliata in un'azienda produttrice di refrattari, i cui risultati saranno presentati di seguito [13] .

I campioni di materie prime, prodotti finiti e residui, prelevati presso l'azienda, sono stati analizzati da tre laboratori e con due metodiche diverse: ARPA Veneto ha eseguito analisi di spettrometria gamma, l'Università di Urbino e APAT hanno condotto analisi di radiochimica (con determinazione dell'²³⁸U e del ²¹⁰Po attraverso spettrometria alfa e del ²¹⁰Pb attraverso conteggio beta).

Tabella n. 7.7: Concentrazioni di attività (Bq/kg) in materie prime, prodotti finiti e residui per un'azienda produttrice di refrattari

CAMPIONI	238U***	226Ra*	210Pb**	210Po**	235U*	232Th*	40K*
Sabbie zirconifere	3.613 (10,2)	3.219 (6)	2.707 (7,4)	2.748,0 (23,3)	137 (7)	517 (6)	0 (36)
Polveri di abbattimento forno di fusione	358,5 (17,6)	147 (6)	21.050 (18,8)	35.000 (5,7)	20 (10)	27 (6)	10 (17)
Filtro forno di fusione	-	-	n.d.	28.000 (25)	-	-	-
Polveri di abbattimento macinazione scarti	1.191 (21,7)	1.046 (6)	1.033,5 (4,0)	1.293,5 (12,3)	59 (9)	178 (6)	255 (6)
Filtro macinazione scarti	-	-	n.d.	6.100 (25)	-	-	-
Prodotto 1	1.701,5 (2,9)	1.400 (6)	951,5 (7,3)	1.088,5 (7,7)	82 (9)	310 (6)	9 (18)
Prodotto 2	1.751 (13,9)	1.638 (6)	752,5 (8,7)	684,5 (2,4)	91 (8)	262 (6)	0 (38)
Prodotto 3	1.714,5 (7,2)	1.481 (6)	1.343,5 (10,8)	1.352,5 (24,9)	82 (9)	250 (6)	23 (13)
Prodotto 4	19,5 (35,9)	8 (6)	31,3 (43,8)	46,0 (2,0)	1 (31)	2 (7)	81 (6)
Fanghi di depurazione	1.635 (3,3)	1.496 (6)	1.166,5 (14,3)	1.176,5 (2,7)	88 (7)	238 (6)	27 (11)
Acque reflue	-	< 0,38	n.d.	0,0044 (25)	< 0,50	< 0,15	< 1,89

* Analisi di spettrometria gamma svolte da ARPA Veneto (tra parentesi l'incertezza percentuale al 68% del livello di confidenza).

** I valori rappresentano la media dei risultati delle analisi di radiochimica svolte dall'Università di Urbino e da APAT (tra parentesi la deviazione percentuale dalla media dei due valori).

*** I valori rappresentano la media dei risultati delle analisi di spettrometria gamma svolte da ARPA Veneto e di radiochimica svolte da APAT (tra parentesi la deviazione percentuale dalla media dei due valori).

Nei casi di singole analisi sui campioni il valore tra parentesi indica l'incertezze di misura al l.c. del 68%, mentre nel caso di diverse analisi sugli stessi campioni, vengono indicate le deviazioni percentuali tra i due valori.

Il contenuto di 238U nel campione di sabbie zirconifere conferma i dati di letteratura.

Nelle polveri di abbattimento del forno di fusione sono state trovate concentrazioni elevate di 210Pb e 210Po (a causa dell'arricchimento dovuto alla volatilizzazione dei nuclidi alle alte temperature di fusione), confermate dalla concentrazione elevata di 210Po nei gas in uscita, registrata dal filtro del forno di fusione, mentre il contenuto degli altri radionuclidi è abbastanza modesto.

Le polveri generate dalla macinazione degli scarti, invece, mostrano concentrazioni di attività elevate per tutti i radionuclidi naturali.

La maggioranza dei prodotti finiti presenta significativi valori di ^{238}U , con depauperamento in ^{210}Pb e ^{210}Po , a causa della loro volatilizzazione alle alte temperature raggiunte durante il processo di fusione.

Il prodotto 4, invece, mostra moderate concentrazioni di attività di tutti i radionuclidi naturali a causa dell'assenza di silicati di zirconio nel prodotto, che è composto da una miscela di allumina e silice.

I valori di attività nei fanghi provenienti dal processo di depurazione delle acque sono elevati, mentre nelle acque reflue, dopo il processo di depurazione, sono trascurabili.

In generale le concentrazioni dei radionuclidi della catena del ^{232}Th mostrano valori più elevati dei livelli ambientali, ma più bassi di quelli della serie dell' ^{238}U .

Tali dati sono confrontabili con i risultati di misure (Tabella n. 7.8 condotte da ARPAV Veneto nel 2002 su materie prime (che in questo caso sono semilavorati a base di silicati di zirconio), residui e prodotti finiti in un'altra azienda produttrice di materiale refrattario [13].

Tabella n. 7.8: Concentrazioni di attività (Bq/kg) misurate in materie prime, prodotti finiti e residui per un'industria produttrice di refrattari.

Campioni	$^{226}\text{Ra}^*$	^{232}Th	40K
Mullite-zirconio (materia prima)	1.500	240	18
Rulli con mullite-zirconio (prodotto finito)	300	70	40
Rulli senza mullite-zirconio (prodotto finito)	25	21	130
Fanghi (dal taglio rulli)	160	37	31
Polveri (dal sistema di aspirazione generale)	1.000	170	36

*Approssimativamente in equilibrio con ^{238}U

7.4.1 Censimento degli impianti di produzione di refrattari

Fonte Confindustria/Assopiastrelle [30]

Tabella 7.9

Ragione sociale	Comune	Provincia
CALDERYS	Fiorano Modenese	MO
CAST WELL	Terranova Passerini	LO
DELTA PHOENIX	Macclodio	BS
DOLOMITE FRANCHI	Marone	BS
KERATECH	Romans D'isonzo	GO
LINCO BAXO	Bondeno	FE
LOZZOLO	Lozzolo	VC
MISANO	Misano Gera D'adda (Bg)	BG
MOTTA	Lozzolo (Vc)	VC
NOVAREF	Colognola Ai Colli (Vr)	VR
REFEL	S. Vito Al Tagliamento (Pn)	PN
SANAC	Gattinara (Vc)	VC
VESUVIUS ITALIA	Assemini (Ca)	CA

8 LAVORAZIONE DEI MINERALI DI FERRO IN ACCIAIERIE A CICLO INTEGRALE

8.1 Ciclo lavorativo

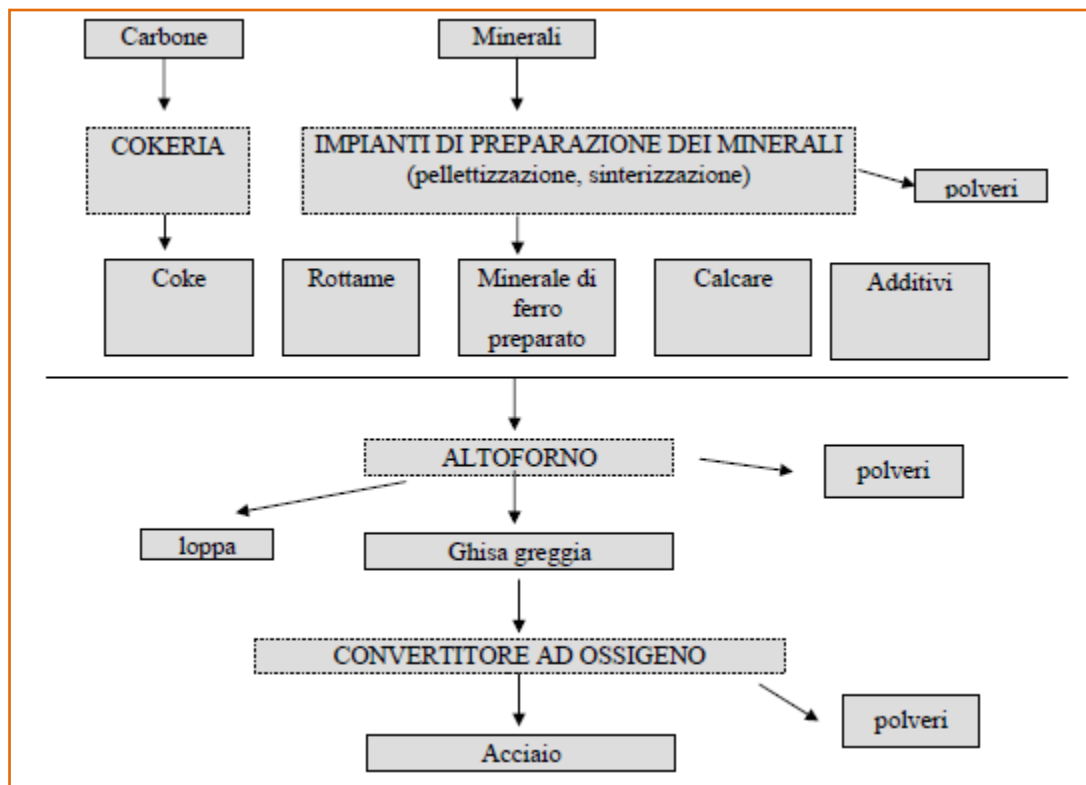
L'acciaio può essere prodotto a partire dal minerale di ferro nelle cosiddette acciaierie a ciclo integrale ovvero da rottami ferrosi nelle acciaierie elettriche.

Nelle acciaierie a ciclo integrale il processo produttivo parte dalle materie prime, costituite principalmente da minerali di ferro e carbon fossile, e arriva ai prodotti finiti attraverso una successione di processi, che possono essere suddivisi in produzione della ghisa, produzione dell'acciaio e produzione di prodotti finiti.

La ghisa viene prodotta nell'altoforno con una carica costituita da minerale di ferro in forma di agglomerato, coke e fondente. Generalmente i minerali provenienti dalla miniera (grezzo) prima di essere inviati all'altoforno subiscono delle lavorazioni - pellettizzazione, sinterizzazione, macinazione, vagliatura, etc. - per ottenere una pezzatura ottimale (Figura n. 8.1).

All'interno degli stabilimenti italiani possono dunque sussistere fasi di lavorazione preparatoria dei minerali (importati dall'estero), laddove risulta essere sempre presente una cokeria.

Figura 8.1: Acciaieria a ciclo integrale, schema del ciclo lavorativo [13]



La trasformazione della ghisa in acciaio avviene nei convertitori ad ossigeno in cui viene ridotta la quantità di carbonio (decarburazione) e rimosse (ossidate) parte delle impurità (silicio, fosforo, manganese e zolfo).

L'acciaio viene, poi, colato e avviato all'interno dei relativi stabilimenti al processo di lavorazione (laminazione a caldo o a freddo) per la produzione di sbozzati (slebi, blumi, billette) e poi di semilavorati (nastri o lamiere, tondi o profilati vari).

Nelle acciaierie elettriche non a ciclo integrale vengono, invece, utilizzati forni elettrici rivestiti di materiale refrattario di tipo magnesiaco, caricati con rottami di ferro selezionati, freddi, mescolati talora con una certa quantità di ghisa solida.

8.2 Criticità radologiche

Il minerale di ferro ha un contenuto moderato di radionuclidi naturali; tuttavia, in seguito a trattamenti ad alta temperatura, i radionuclidi (^{210}Pb e ^{210}Po in particolare) si concentrano nelle emissioni [13].

Da questo punto di vista i processi critici sono l'agglomerazione minerale e la fusione in altoforno. La maggior parte delle polveri prodotte è trattenuta dai filtri e quindi smaltita in discarica, il resto è rilasciato in atmosfera.

Analoghi problemi possono presentarsi nella produzione del coke, ove è documentata una certa contaminazione da ^{210}Pb e ^{210}Po del catrame di condensa del distillato [13].

Concentrazione di attività nei materiali

Non sono tuttora disponibili dati sulle concentrazioni di attività registrate nei materiali in ingresso e in uscita da acciaierie a ciclo integrale italiane.

Dati di letteratura [13] mostrano dei valori di riferimento in acciaierie a ciclo integrale inglesi (Tabella n. 8.1).

Tabella n. 8.1: Concentrazioni di attività in materiali da acciaieria integrale Attività medie (Bq/kg)

Minerali di ferro	^{238}U : 15
Carbone	^{238}U , ^{232}Th : 20
Coke	^{238}U , ^{232}Th : 20
Polveri sinterizzazione	^{210}Pb : 15.000, ^{210}Po : 70.000
Polveri altoforno	^{210}Pb : 8.000, ^{210}Po : 2.800

Pur avendo come obiettivo quello di analizzare campioni provenienti da acciaierie a ciclo integrale, i tentativi fatti finora non sono andati a buon fine e i dati di riferimento sono quelli forniti dalla letteratura scientifica internazionale.

Allo scopo di confermare il contenuto modesto di ^{210}Pb e ^{210}Po che ci si aspetta in campioni provenienti da acciaierie elettriche e per avere comunque un utile confronto, sono stati prelevati alcuni campioni di polveri prodotte nei processi termici di un'acciaieria elettrica non a ciclo integrale.

Su questi campioni sono state condotte nel 2004 analisi di radiochimica da parte di due laboratori: l'Università di Urbino e l'APAT.

In Tabella n. 8.2 sono mostrati i risultati: il modesto arricchimento di ^{210}Pb e ^{210}Po registrato potrebbe essere imputabile all'uso di materiali refrattari durante il processo termico.

Tabella n. 8.2: Concentrazioni di attività (Bq/kg) in campioni provenienti da un'acciaieria elettrica; i valori rappresentano una media delle analisi di due laboratori (Università di Urbino e APAT); tra parentesi viene indicata la deviazione percentuale dalla media delle due misure.

Campioni	^{210}Po	^{210}Pb
Polveri elettrofiltro convertitore	422,0 (5,2)	360 (18,9)
Polveri altoforno	58,7 (4,7)	50,2 (13,5)

8.3 Censimento delle attività produttive in Italia

L'Italia (dati Federacciaio 2012) è l'undicesimo produttore mondiale di acciaio e il secondo in Europa.

Tabella 8.3: *produzione annua di acciaio (t x1000) [31]*

	2008	2009	2010	2011	2012
Austria	7.594	5.662	7.206	7.474	7.421
Belgio	10.673	5.635	7.973	8.026	7.301
Finlandia	4.417	3.066	4.029	3.989	3.759
Francia	17.879	12.840	15.414	15.780	15.609
Germania	45.833	32.670	43.830	44.284	42.661
Grecia	2.477	2.000	1.821	1.934	1.247
Italia	30.590	19.842	25.750	28.735	27.257
Lussemburgo	2.582	2.141	2.548	2.521	2.208
Paesi Bassi	6.853	5.194	6.651	6.937	6.879
Portogallo	1.630	1.557	1.504	1.871	1.908
Spagna	18.640	14.358	16.343	15.504	13.639
Svezia	5.164	2.804	4.846	4.867	4.326
Regno Unito	13.521	10.079	9.709	9.478	9.579
Bulgaria	1.330	726	737	835	632
Rep. Ceca	6.387	4.594	5.180	5.583	5.072
Ungheria	2.097	1.403	1.678	1.746	1.542
Lettonia	635	692	655	568	804
Polonia	9.728	7.128	7.993	8.801	8.366
Romania	5.035	2.761	3.721	3.835	3.780
Slovacchia	4.489	3.747	4.583	4.236	4.403
Slovenia	642	430	606	648	632
Unione Europea	198.196	139.329	172.777	177.652	169.025
Altri Europa	31.710	29.077	33.736	39.166	39.924
C.I.S.	114.345	97.645	108.200	112.663	110.955
Nord America	124.493	82.578	111.562	118.826	121.608
Sud America	47.356	37.776	43.893	48.365	46.379
Africa	16.997	15.400	16.625	15.696	15.621
Medio Oriente	16.647	17.656	20.000	23.030	25.071
Asia	783.040	810.346	916.722	993.579	1.012.939
Oceania	8.424	6.014	8.149	7.248	5.805
Mondo	1.341.208	1.235.821	1.431.664	1.536.225	1.547.327

Nella tabella seguente è riportato il dettaglio della produzione annuale in Italia, in relazione al numero di impianti attivi.

Tabella 8.4

Anno	quantità	u.m.	N° siti
1990	25,5	M.t.	68
1995	27,8	M.t.	54
2010	25,8	M.t.	42
2012	27,3	M.t.	42

Come è mostrato nella figura seguente la struttura produttiva dell'acciaio in Italia comprende 45 impianti di cui

Tabella 8.5

Tipologia	N° di siti
Altiforni	3 siti
Convertitori all'ossigeno	2 siti
Forni elettrici	40 siti

Figura 8.2

ACCIAIO: SITI DI PRODUZIONE
Steel: Production sites



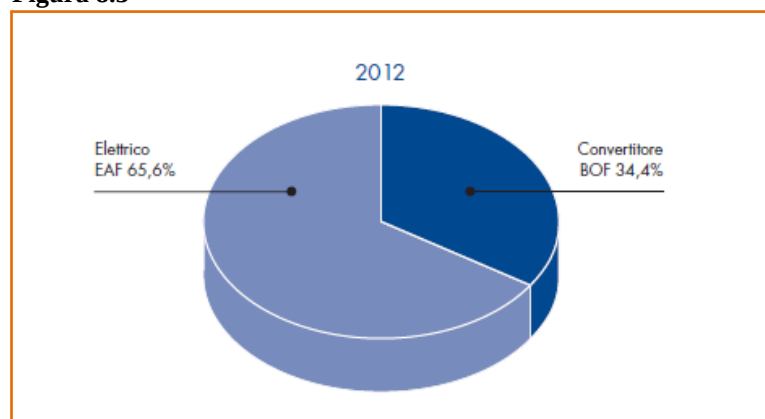
- **ALTOFORNI**
Piombino, Taranto, Trieste
- **CONVERTITORI ALL'OSSIGENO**
Piombino, Taranto
- **FORNI ELETTRICI**
Aosta, Bergamo, Bolzano,
Brescia, Catania, Cremona,
Cuneo, Modena, Padova,
Potenza, Torino, Terni,
Trento, Udine, Varese,
Verona, Vicenza

Le acciaierie a ciclo integrale, ubicate in Toscana e Puglia, possiedono sia le cokerie che gli impianti di agglomerazione minerale).

Da un punto di vista ambientale la siderurgia è un'industria ad alta intensità di materie prime e di energia; circa il 43% del materiale in ingresso si traduce in emissioni e sottoprodotti o residui.

Nel 2012, il 35% della produzione totale di acciaio è stata realizzata nelle 2 acciaierie a ciclo integrale, il resto nelle 40 acciaierie elettriche.[31].

Figura 8.3



Le materie prime provengono essenzialmente dalle importazioni, come riportato nella tabella seguente [31]

Tabella 8.6

Materie prime - Importazioni	2010	2011	2012
Minerale di ferro	11.316	14.675	12.847
Minerale di manganese	55	82	105
Rottame di acciaio e spugna di ferro	4.594	5.747	5.179
Rottame di ghisa	75	68	84
Ferroleghie	878	984	941
Lingotti e semilavorati	3.582	3.646	3.163

Tabella 8.7

Materie prime - Esportazioni	2010	2011	2012
Minerale di ferro	1	1	0
Minerale di manganese	0	0	0
Rottame di acciaio e spugna di ferro	423	318	321
Rottame di ghisa	5	4	4
Ferroleghie	26	29	40
Lingotti e semilavorati	908	909	798

Anche le acciaierie a ciclo integrale ricadono nel campo di applicazione della Direttiva IPPC. Nella tabella seguente sono riportati gli impianti che ricadono tra le AIA di interesse nazionale

Tabella 8.8 [25]

Impianto	Ragione sociale	Categoria attività	Ultima procedura	Prov. Num. atto	Data atto
Stabilimento di Piombino	LUCCHINI S.p.A.	Acciaierie	Prima AIA per impianto esistente	LI DEC-MIN-0000127-GAB	18/04/2013
Stabilimento di Taranto	ILVA S.p.A.	Acciaierie	Prima AIA per impianto esistente	TA DVA-DEC-2011-0000450	04/08/2011
Stabilimento di Taranto	ILVA S.p.A.	Acciaierie	Riesame AIA	TA DVA-DEC-2012-0000547	26/10/2012

La tabella seguente riporta gli impianti di interesse “regionale” che ricadono nella categoria IPPC 2.2 e che, potenzialmente, costituiscono, dopo le aziende di interesse nazionale, le fonti di impatto ambientale più rilevanti per il settore industriale specifico.

Tabella 8.9

Ragione Sociale	Nome Impianto	Regione	Sigla Prov	Comune	Indirizzo Impianto
Acciaieria Arvedi SpA -	ACCIAIERIA ARVEDI SPA	Emilia Romagna	CR	CREMONA	ACQUAVIVA 18
Acciaierie Bertoli Safau S.p.a.	ACCIAIERIE BERTOLI SAFAU S.p.A.	Friuli	UD	POZZUOLO DEL FRIULI	BUTTRIO 28
Ferriere Nord SPA	FERRIERE NORD STABILIMENTO DI OSOPPO	Friuli	UD	OSOPPO	RIVOLI DI OSOPPO
Nunki Steel S.p.A. (ex P.M.T. S.p.a.)	Nunki Steel S.p.A. (ex P.M.T. S.p.a.)	Friuli	UD	SAN GIORGIO DI NOGARO	via cinconvallazione 62
LUCCHINI S.p.A.	LUCCHINI S.p.A. - Stabilimento di Trieste	Friuli	TS	TRIESTE	di Servola 1
OLIFER ACP SpA	Acciaieria di Civate al Piano	Lombardia	BG	CIVIDATE AL PIANO	Località Motta Alta 14
ACCIAIERIE di CALVISANO SpA	ACCIAIERIE DI CALVISANO SPA	Lombardia	BS	CALVISANO	KENNEDY 101/A
ACCIAIERIE VENETE SPA	Acciaierie Venete S.p.A. stabilimento di Sarezzo	Lombardia	BS	SAREZZO	Antonini 82
ALFA ACCIAI S.p.A.	ALFA ACCIAI SPA	Lombardia	BS	BRESCIA	SAN POLO 152
ASO Siderurgica s. r. l.	ASO Siderurgica s. r. l.	Lombardia	BS	OSPITALETTO	VIA SERIOLA 122
BREDINA	BREDINA	Lombardia	BS	ODOLO	LOC CAMPAGNOLA
FERALPI SIDERURGICA S.p.A.	FERALPI SIDERURGICA S.p.A.	Lombardia	BS	LONATO	Carlo Nicola Pasini 11
FERRIERA VALSABBIA	FERRIERA VALSABBIA	Lombardia	BS	ODOLO	VIA MARCONI 13
FORONI S.P.A.	FORONI SPA	Lombardia	VA	GORLA MINORE	A. COLOMBO
INDUSTRIE RIUNITE ODOLESI S.p.A.	INDUSTRIE RIUNITE ODOLESI S.p.A.	Lombardia	BS	ODOLO	VIA BRESCIA 12
ITALFOND SpA	ITALFOND SPA	Lombardia	BS	BAGNOLO MELLA	INDUSTRIALE 1
METALCAM SpA	METALCAM SpA	Lombardia	BS	BRENO	
O.R.I. MARTIN S.P.A.	O.R.I. MARTIN S.P.A.	Lombardia	BS	BRESCIA	VIA CANOVETTI

RagioneSociale	NomeImpianto	Regione	SiglaProv	Comune	IndirizzoImpianto
					COSIMO 13
PROFILATINAVE SpA	PROFILATINAVE S.P.A.	Lombardia	BS	MONTIRONE	BELLEGUARDO
SAN ZENO ACCIAI DUFERCO SPA	SAN ZENO ACCIAI DUFERCO SPA	Lombardia	BS	SAN ZENO NAVIGLIO	ARMANDO DIAZ 248
LUCCHINI S.p.A.	Sidermeccanica Lovere	Lombardia	BG	LOVERE	VIA GIORGIO PAGLIA 45
Tenaris DALMINE S.p.A.	stab. Dalmine	Lombardia	BG	DALMINE	Caduti 6 Luglio 1944 1
RIVA ACCIAIO SpA	Stabilimento di Caronno Pertusella	Lombardia	VA	CARONNO PERTUSELLA	Bergamo 1484
STEFANA S.p.A.	STEFANA S.P.A. STABILIMENTO DI OSPITALETTO	Lombardia	BS	OSPITALETTO	MARTIRI DELLA LIBERTA' S.N.
AFV ACCIAIERIE BELTRAME SPA	AFV - Acciaierie Beltrame S.p.A.	Piemonte	TO	SAN DIDERO	PRAMOLLE 1
RIVA ACCIAIO SpA	Stabilimento di Lesegno (CN)	Piemonte	CN	LESEGNO	Via Statale 28 Nord
FONDERIA S.MARTINO Srl	FONDERIA S.MARTINO Srl	Toscana	FI	BARBERINO VAL D'ELSA	
ACCIAIERIA VALSUGANA SPA	ACCIAIERIA VALSUGANA	Trentino Alto Adige	TN	BORGO VALSUGANA	VIA PUISLE 4
ACCIAIERIE VALBRUNA S.p.A.	ACCIAIERIE VALBRUNA stabilimento di Bolzano	Trentino Alto Adige	BZ	BOLZANO	Via Volta 4
Thyssenkrupp Acciai Speciali Terni S.p.A.	Thyssenkrupp Acciai Speciali Terni S.p.A.	Umbria	TR	TERNI	Viale Brin 218
Cogne Acciai Speciali S.p.A.	Cogne Acciai Speciali S.p.A.	Val d'Aosta	AO	AOSTA	Via Paravera, 16
ACCIAIERIE VALBRUNA SPA	ACCIAIERIE VALBRUNA SPA	Veneto	VI	VICENZA	Via della Scienza, 25
ACCIAIERIE VENETE SPA	Acciaierie Venete S.p.A. stabilimento di Riviera Francia	Veneto	PD	PADOVA	VIA RIVIERA FRANCIA 9
AFV ACCIAIERIE BELTRAME SPA	AFV ACCIAIERIE BELTRAME SPA	Veneto	VI	VICENZA	Via della Scienza, 81
FONDERIA DALLI CANI SPA	FONDERIA DALLI CANI SPA	Veneto	VI	ALTAVILLA VICENTINA	Strada Statale n. 11/via Tavernelle 14
FONDERIE CORTIANA CAV. BORTOLO SPA	FONDERIE CORTIANA CAV. BORTOLO SPA	Veneto	VI	SAN VITO DI LEGUZZANO	Zona Industriale, 15
RIVA ACCIAIO SpA	Riva Acciaio S.p.A. Stabilimento di Verona	Veneto	VR	VERONA	LUNGADIGE GALTAROSSA 21/C 21/C
Verona Steel Spa (ex Acciaierie Grigoli Spa)	Verona Steel Spa (ex Acciaierie Grigoli Spa)	Veneto	VR	OPPEANO	
Tecnoalluminio S.r.l.	Tecnoalluminio S.r.l.	Veneto	VR	CAZZANO DI TRAMIGNA	

9 PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA - CENTRALI A CARBONE

9.1 Processo produttivo

Il processo di produzione di una centrale termoelettrica a combustibile fossile e ciclo termodinamico a vapore si basa sulla trasformazione del calore, prodotto dalla combustione dei combustibili, in energia meccanica e quindi in energia elettrica. Queste trasformazioni avvengono mediante un “ciclo” termodinamico in cui il fluido (acqua) subisce un ciclico cambiamento di stato, da liquido a vapore e quindi di nuovo a liquido, permettendo la trasformazione del calore in energia meccanica quando il vapore espande nella turbina. L’energia meccanica generata in turbina si trasforma in energia elettrica tramite l’alternatore trascinato dalla stessa turbina. Per la chiusura del ciclo termodinamico è necessario disporre di una sorgente fredda cui cedere il calore per condensare il vapore al termine dell’espansione in turbina.

9.2 Valutazione delle vie di esposizione

La combustione di materiali estratti dal sottosuolo per la produzione di energia elettrica è un’attività di interesse dal punto di vista dei NORM, perché può causare processi di concentrazione dei radionuclidi naturali nei residui della combustione e nelle emissioni.

Il processo di formazione di un giacimento di carbone è caratterizzato dal fenomeno dell’inglobamento, da parte delle sostanze vegetali in trasformazione, di materiali inorganici ivi presenti come le rocce lapidee o i terreni sciolti di diversa natura. Poiché tutti i materiali della crosta terrestre contengono elementi radioattivi naturali, è ben comprensibile che la radioattività sia poi riscontrata nei carboni che da essi derivano. Il carbone contiene pertanto tutti i radionuclidi primordiali ed i loro prodotti di decadimento. I radionuclidi più significativi sono il K-40 e le serie di decadimento che fanno capo all’uranio e al torio.

Le centrali termoelettriche a combustibile fossile (centrali a carbone), che sfruttano come principale combustibile proprio il carbone, possono produrre un aumento della dose alla popolazione per più vie di esposizione:

- rilascio in atmosfera (tramite ciminiera) di radon e polveri arricchite in radionuclidi;
- stoccaggio e smaltimento di ceneri arricchite in radionuclidi;
- vendita di ceneri arricchite in radionuclidi, soprattutto come materiale per l’edilizia.

Nel processo di combustione, all’interno della caldaia, le sostanze inorganiche restano sotto forma di ceneri, mentre il calore viene prodotto da reazioni esotermiche di carbonio e idrogeno con ossigeno. Le sostanze che alle temperature di esercizio, che vanno fino a 1700 °C, evaporano sono dette ‘materie volatili’ e sono costituite principalmente dalle sostanze volatili organiche e dall’umidità.

Una parte delle ceneri di combustione, dal 20 al 50% a seconda del tipo di fornace, resta sul fondo (ceneri pesanti), mentre il resto segue il flusso di gas e attraversa diversi depuratori prima di uscire dalla ciminiera (ceneri leggere).

Nel processo di combustione i radionuclidi presenti nel carbone di tipo non gassoso tendono a concentrarsi nelle ceneri, mentre quelli gassosi (come ad esempio il 210 Pb, il 210 Po e il 222 Rn) possono sfuggire ai filtri e vengono rilasciati, seguendo il flusso degli altri gas lungo la ciminiera.

Le ceneri leggere vengono dunque disperse in atmosfera, mentre quelle pesanti vengono raccolte in depositi (dove spesso possono contaminare le falde acquifere) e in parte miscelate in materiali per l’edilizia.

Per quanto concerne la produzione di rifiuti, il funzionamento dell'impianto (ivi incluse le attività tecnicamente connesse) dà luogo alla generazione di rifiuti quali i sottoprodotti generati dal processo di combustione dei combustibili fossili utilizzati nell'impianto e dal trattamento di depurazione dei fumi di combustione, costituiti dalle ceneri di combustione del carbone e dai gessi di desolforazione fumi. Significativa quantità è anche rappresentata dai fanghi di trattamento delle acque reflue e di questi, in primis, quelli del trattamento spurghi di desolforazione. L'insieme di queste tipologie di rifiuto rappresentano più del 95% della produzione annua di rifiuti dell'intero impianto.

Ad essi si aggiungono diverse tipologie di rifiuti (pericolosi e non), alcune sempre originate dai processi di impianto altre da attività di servizio (prevalentemente dalle manutenzioni).

Nella centrale di Brindisi, ad esempio, sono presenti 24 aree di stoccaggio. I principali rifiuti prodotti e stoccati in attesa di essere smaltiti/recuperati sono:

- *Ceneri pesanti da carbone*
- *Ceneri leggere*
- *Gesso da desolforazione fumi*
- *Fanghi trattamento acque*

Per alcune tipologie di rifiuto (ceneri e gessi) si cerca di privilegiare il recupero. Ad esempio, il gesso chimico, prodotto della reazione fra calcare e zolfo presente nei fumi nell'impianto di desolforazione, è uno scarto e viene poi venduto ai cementifici.

9.3 Censimento degli impianti in Italia

Nella tabella seguente sono riportati gli impianti in attività nel 2010, con le relative caratteristiche salienti [25].

Tabella 9.1

Impianto	Proprietà	Tipologia di materiale	Potenza
Centrale di Brindisi Nord (BR)	EDIPOWER SpA.	carbone (solo Carbone ADARO con bassissimo contenuto di Zolfo e di Ceneri)	2 unità da 320 MW.
Centrale di Fiumesanto (SS)	E.ON ITALIA SpA,	carbone	2 unità da 320 MW.
Centrale di Monfalcone,	A2A SpA,	carbone	2 unità da 165 e 171 MW.
Centrale di Civitavecchia (Torrevaldaliga Nord)	ENEL SpA,	carbone	3 unità da 660 MW. La centrale è stata riconvertita da vecchi gruppi alimentati in precedenza ad Olio Combustibile ed è operativa nella nuova modernissima versione dal 2009.
Centrale di Vado Ligure	TIRRENO POWER SpA,	carbone	2 unità da 330 MW. E' già stato autorizzato un progetto per la costruzione di una nuova unità a carbone da 460 MW.
Centrale di Brescia	A2A SpA,	carbone	1 unità da 70 MW.
Centrale di Brindisi Sud	ENEL SpA,	carbone	ed è composta da 4 unità da

Impianto	Proprietà	Tipologia di materiale	Potenza
(Cerano)			660 MW.
Centrale di Genova	ENEL SpA,	carbone	2 unità da 295 MW
Centrale del Sulcis	ENEL SpA,	carbone	1 unità da 340 MW (tecnologia innovativa, a letto fluido).
Centrale di Fusina	ENEL SpA,	carbone	4 unità: 2 unità da 320 MW 2 unità da 160 MW.
Centrale di Marghera	ENEL SpA,	carbone	2 unità da 70 MW.
Centrale di La Spezia	ENEL SpA,	carbone	1 unità da 600 MW.
Centrale di Bastardo	ENEL SpA,	carbone	2 unità da 75 MW.

In aggiunta a quanto sopra, sono poi in itinere i processi autorizzativi per nuovi impianti alimentati a carbone, alcuni dei quali hanno già ottenuto il V.I.A. del MATTM, come segue:

Tabella 9.2

Impianto	Proprietà	Tipologia di materiale	Potenza
Riconversione della Centrale di Porto Tolle (RO)	ENEL SpA , precedentemente alimentata ad Olio Combustibile	Carbone.	3 unità da 660 MW
Riconversione di 2 vecchie unità ora alimentate ad Olio Combustibile della Centrale di Fiumesanto (SS)	E.ON ITALIA SpA ,	Carbone.	1 unità da 410 MW ,
Costruzione di presso la Centrale di Vado Ligure (SV)	TIRRENO POWER SpA ,	Carbone in sostituzione di altro gruppo già smantellato.	1 unità da 460 MW
Costruzione di una nuova Centrale a Saline Joniche (RC)	REPOWER-SEI SpA ,	Carbone.	2 unità da 660 MW
Progetto Integrato Sulcis, che prevede la costruzione di una nuova Centrale a Gonnese (Carbonia)	Operatore da definir)	Carbone Sulcis, equipaggiata anche con sistema CCS, con tecnica CBM-ECBM	1 unità da 450 MW ,

10 ESTRAZIONE DI PETROLIO E GAS NATURALE

10.1 Ciclo lavorativo e criticità radiologiche

Negli impianti di estrazione, trattamento e trasporto degli idrocarburi si possono avere accumuli significativi di sostanze radioattive naturali, provenienti dai giacimenti e trasferite in superficie dai fluidi estratti. I livelli di contaminazione degli impianti e le concentrazioni di radionuclidi nei rifiuti tecnologici possono talvolta assumere valori rilevanti in relazione alla protezione dei lavoratori e della popolazione da radiazioni ionizzanti.

I meccanismi di accumulo di NORM sono sostanzialmente differenti per gli impianti di estrazione e trattamento del petrolio e per quelli di trattamento e trasporto del gas.

Nei giacimenti il petrolio si trova a contatto con rocce e acqua ('acque di strato o formazione'). Il greggio che fuoriesce dal giacimento viene convogliato in serbatoi metallici (separatori di fase), dove, a pressioni decrescenti, si separano gas, sedimenti e la maggior parte dell'acqua. La dissalazione del greggio viene effettuata sottoponendolo ad un trattamento con acqua e alcali, oppure con acqua e acidi, a seconda della natura acida o basica delle impurezze. Il processo di separazione continua attraverso una colonna di decantazione dove il petrolio si stratifica in alto, mentre la soluzione acquosa contenente i sali asportati si deposita sul fondo.

Il petrolio non presenta di norma concentrazioni significative di radionuclidi [32]; il vettore preferenziale per il trasporto dei radionuclidi, in particolare del radio, sono le acque di strato. Durante il processo si formano incrostazioni su tutte le superfici a diretto contatto con le acque di formazione, sia negli impianti di estrazione che in quelli di trattamento: giunti dei pozzi, teste di pozzo, separatori di fase, serbatoi di stoccaggio... Le incrostazioni possono contenere concentrazioni anche abbastanza elevate di radio e dei suoi discendenti. I radionuclidi veicolati dalle acque di strato possono accumularsi, oltre che nelle incrostazioni, anche in morchie e fanghi in più punti dell'impianto (separatori, serbatoi, skimmer).

Gli idrocarburi gassosi possono trovarsi nei giacimenti associati al greggio, ma anche in giacimenti a sé stanti. Il gas fuoriesce dal terreno sotto forte pressione, in media 130-150 atm, con temperature di 20-25 °C; viene quindi espanso a 25-30 atm con conseguente riduzione di temperatura. La componente che in queste condizioni di pressione e temperatura si trova in fase liquida (ovvero gli idrocarburi più pesanti – pentani e superiori-) costituisce i cosiddetti 'condensati', i quali vengono separati dalla componente gassosa ed inviati alle raffinerie. I gas costituiti da solo metano vengono direttamente utilizzati come tali, dopo desolforazione ed eventuale decarbonatazione. Il gas estratto può contenere una quantità significativa di radon (soprattutto ^{222}Rn). I prodotti del decadimento del radon presente nei gas estratti possono formare nuclei di condensazione, che successivamente si accumulano in condensati e morchie o si depositano sulle pareti dei componenti dando origine alla formazione di film sottili contenenti ^{210}Pb , ^{210}Po e ^{210}Bi [12].

I principali problemi di radioprotezione, quindi, riguardano la gestione di questo rifiuto tecnologico, la dispersione accidentale di materiale contenente NORM, l'eventuale rilascio nell'ambiente di acqua connata a valle della separazione. Va sottolineato che il livello di attenzione alla gestione dei NORM da parte dell'industria estrattiva è solitamente elevato.

10.1.1 Concentrazione di attività nei materiali

Nel 1992 è stata svolta una massiccia indagine su impianti ENI, con misure di intensità di dose gamma e di concentrazioni di attività di ^{238}U , ^{232}Th e ^{226}Ra nelle incrostazioni e nelle acque di formazione [13]: centinaia di pozzi, decine di centrali e di campi a terra e a mare, sia di petrolio che di gas, sono stati monitorati in Italia e in Africa. La Tabella 6.1 sintetizza i dati di concentrazione in campioni provenienti da due impianti italiani, fra cui si notano due valori elevati di ^{226}Ra in incrostazioni di pozzi di petrolio (migliaia di Bq/kg) e un valore elevato di ^{226}Ra nell'acqua di

formazione di un pozzo “misto” (20 Bq/kg; l’intervallo di riferimento per il contenuto di ²²⁶Ra nelle acque potabili italiane è $2 \times 10^{-4} \div 1,2$ Bq/kg [13]).

Tabella n. 10.1: Concentrazioni di attività di ²³⁸U, ²³²Th e ²²⁶Ra in incrostazioni e acque di formazione di impianti italiani (Bq/kg).

Tipo Camp.	Sito	Impianto	Idrocarburo	U238	Th232	Ra226
Incrostazioni	Pianura Padana	Centro Olio	Liquido	< 0.9	< 0.8	2890 578
Incrostazioni	Pianura Padana	Centro Olio	Liquido	< 0.9	< 0.8	1126 225
Incrostazioni	Pianura Padana	Estrazione	Misto	< 0.9	< 0.8	120 24
Incrostazioni	Pianura Padana	Centrale gas	Gas	23.8 4.3	18.9 3.8	120 24
Incrostazioni	Pianura Padana	Centrale gas	Gas	23.8 10.8	< 0.8	< 2.7
Incrostazioni	Italia Meridionale	Centro Olio	Liquido	11.3 2.3	< 0.8	110 22
Acque di formazione	Pianura Padana	Estrazione	Misto	< 4.5 x 10 ⁻³	< 4.0 x 10 ⁻³	20 4
Acque di formazione	Pianura Padana	Centro Olio	Liquido	1.5 x 10 ⁻² 3.0x10 ⁻³	< 4.0 x 10 ⁻³	2.3x10 ⁻¹ 4.6x10 ⁻²
Acque di formazione	Adriatico	Piattaforma offshore	Gas	7.3x10 ⁻³ 1.5x10 ⁻³	< 4.0x10 ⁻³	6.0x10 ⁻² 1.2x10 ⁻²

Tabella n. 10.2: Livelli di radioattività dei principali rifiuti degli impianti ENI italiani di estrazione di gas e petrolio.

Rifiuti/materiali stoccati	Quantità all'anno	Valori tipici	Valori di picco	Note
Acque di produzione	1.380.000 m3 (1999)	²²⁶ Ra ≤ 0,8 Bq/l	²²⁶ Ra 6 ÷ 7 Bq/l	90% reiniettata nel giacimento
Fanghi	≤ 2.000 t (1999)	²²⁶ Ra 20÷80 Bq/kg	²²⁶ Ra 600÷1.600 Bq/kg	In separatori e serbatoi
Fanghi	≤ 2.000 t (1999)	²¹⁰ Pb 10÷30 Bq/kg	²¹⁰ Pb 500 Bq/kg	In separatori e serbatoi
Tubini	15 – 20 (all'interno presenza di NORM)	≥ doppio della radiazione di fondo	1 µGy/h	Contaminazione consistente nelle incrostazioni delle condutture

In Tabella 10.2 vengono presentati dei dati a livello nazionale aggiornati sui livelli di radioattività riscontrati in rifiuti e materiali stoccati in impianti di estrazione di gas naturale e petrolio di ENI div. Exploration & Production. È necessario precisare che i valori di picco si registrano piuttosto raramente a differenza dei valori tipici [13].

10.2 Dati di produzione

Nell’anno 2012 [33] la produzione di idrocarburi in Italia ha subito un leggero incremento rispetto all’anno precedente, attestandosi su +2% per il gas e +2% per l’olio (vedi Tabella 10.3). Come evidenziato nei Grafici 9 e 10, l’ultimo decennio è stato caratterizzato da una prima fase di costante calo della produzione, con i valori minimi nell’anno 2009, e da una più recente fase di crescita iniziata nel 2010 per l’olio e nel 2011 per il gas. L’anno 2012 conferma questa tendenza alla ripresa della produzione di idrocarburi. Per l’olio, l’aumento è principalmente dovuto alla ripresa della produzione dei campi ubicati in terraferma, che riesce a compensare il fisiologico calo della produzione dei giacimenti in mare

Tabella n. 10.3

Anno	GAS (Sm ³ x 10 ⁶)			OLIO (t x 10 ⁶)			GASOLINA (t x 10 ³)		
	Terra	Mare	Totale	Terra	Mare	Totale	Terra	Mare	Totale
1992	4,71	13,44	18,15	2,64	1,84	4,48	16,00	6,00	22,00
1993	4,82	14,65	19,47	3,11	1,51	4,62	13,00	7,00	20,00
1994	4,58	16,06	20,64	3,61	1,26	4,87	12,00	6,00	18,00
1995	4,29	16,09	20,38	4,09	1,12	5,21	22,00	6,00	28,00
1996	4,09	16,13	20,22	4,39	1,04	5,43	17,00	5,00	22,00
1997	3,92	15,54	19,46	4,87	1,07	5,94	17,00	5,00	22,00
1998	3,64	15,53	19,17	4,08	1,52	5,60	18,00	4,00	22,00
1999	3,33	14,29	17,62	3,40	1,59	4,99	17,00	5,00	22,00
2000	3,66	13,11	16,77	3,20	1,36	4,56	25,00	6,00	31,00
2001	2,94	12,61	15,55	3,11	0,96	4,07	23,00	8,00	31,00
2002	2,79	12,15	14,94	4,47	1,03	5,50	22,00	11,00	33,00
2003	2,68	11,32	14,00	4,54	1,00	5,54	24,74	5,58	30,33
2004	2,38	10,54	12,92	4,46	0,95	5,41	23,00	6,00	29,00
2005	2,41	9,55	11,96	5,32	0,77	6,09	22,55	4,02	26,58
2006	2,33	8,51	10,84	5,06	0,70	5,76	20,87	3,03	23,90
2007	2,35	7,28	9,63	5,08	0,76	5,84	20,20	1,40	21,48
2008	2,26	6,81	9,07	4,69	0,53	5,22	22,31	0,67	22,99
2009	2,00	5,90	7,90	4,00	0,50	4,50	22,00	0,30	22,30
2010	2,10	5,80	7,90	4,40	0,70	5,10	25,00	0,20	25,20
2011	2,30	6,00	8,30	4,60	0,64	5,24	22,90	0,14	23,04
2012	2,47	6,07	8,54	4,90	0,47	5,37	19,54	0,13	19,67

Figura 10.1

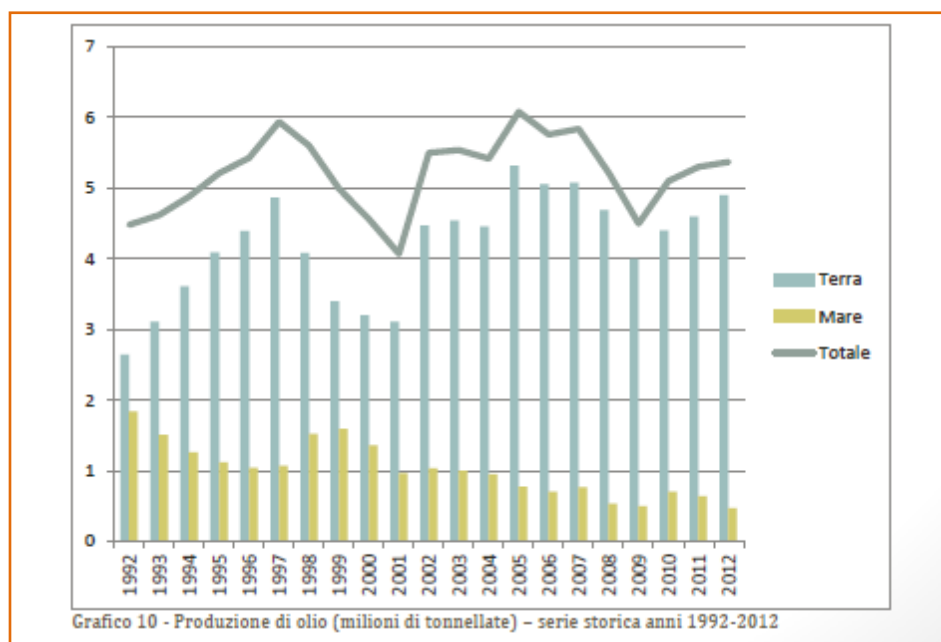


Figura 10.2

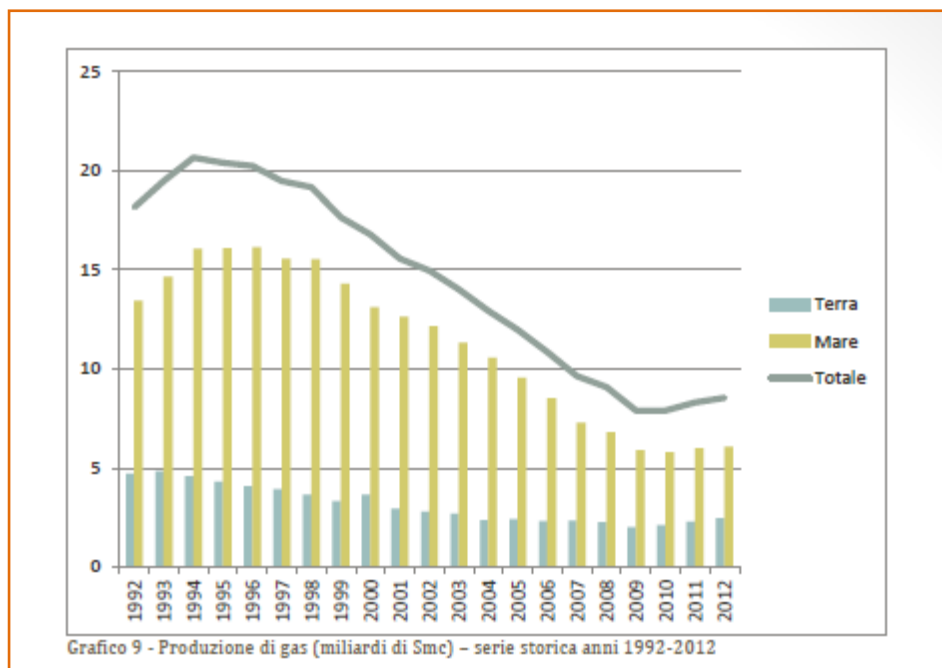


Tabella 10.4

Regione/Zona	2012	2011	Variazione % 2012/2011	% totale nazionale
Abruzzo	40,33	24,11	+67%	0%
Basilicata	1.292,11	1.171,33	+10%	15%
Calabria	9,87	11,12	-11%	0%
Emilia Romagna	291,19	203,00	+43%	3%
Lombardia	20,79	17,14	+21%	0%
Marche	99,65	183,97	-46%	1%
Molise	62,42	72,22	-14%	1%
Piemonte	25,04	39,66	-37%	0%
Puglia	297,46	282,39	+5%	3%
Sicilia	324,28	333,03	-3%	4%
Toscana	1,20	1,09	+10%	0%
Veneto	2,10	2,27	-7%	0%
TOTALE TERRA	2.466,44	2.341,33	+5%	29%
Zona A	4.086,18	4.054,55	+1%	48%
Zona B	1.153,42	1.088,87	+6%	14%
Zona C	4,00	4,93	-19%	0%
Zona D	829,86	849,05	-2%	10%
Zona F	0,30	-	+100%	0%
TOTALE MARE	6.073,76	5.997,40	+1%	71%
TOTALE	8.540,20	8.338,73	+2%	100%

Tabella 10 - Produzione di gas dell'anno 2012 distinta per regione/zona marina [MSm³]

Tabella 10.5

Regione/Zona	2012	2011	Variazione % 2012/2011	% totale nazionale
Basilicata	4.033,42	3.731,45	+8%	+75%
Emilia Romagna	30,99	29,66	+4%	+1%
Lazio	0,28	0,20	+40%	+0%
Molise	5,56	6,64	-16%	+0%
Piemonte	148,57	248,32	-40%	+3%
Sicilia	679,70	629,71	+8%	+13%
TOTALE TERRA	4.898,52	4.645,98	+5%	+91%
Zona B	181,82	309,53	-41%	+3%
Zona C	286,89	330,53	-13%	+5%
Zona F	2,48	-	+100%	+0%
TOTALE MARE	471,19	640,06	-26%	+9%
TOTALE	5.369,71	5.286,04	+2%	+100%

Tabella 11 - Produzione di olio dell'anno 2012 distinta per regione/zona marina [Ktonn]

10.3 Censimento delle attività produttive in Italia

In Italia risultano esistenti 1642 pozzi complessivamente dedicati alle attività estrattive di petrolio e gas naturali.

Nella tabella seguente è riportata [34] la distribuzione dei pozzi per provincia con l'indicazione del tipo di utilizzo (i dati sono aggiornati al febbraio 2014). Nella tabella sono indicati anche i pozzi realizzati “*offshore*” nelle relative Zone a mare A, B, C, D, F, G

Tabella 10.6

Provincia	Altro utilizzo	Potenzialmente produttivo	Produttivo	Potenzialmente utilizzabile stoccaggio	per Reiniezione	Totale complessivo
AN	1	1	6			8
AP		7	10		2	19
BO	1	4	125			130
BS		3	1			4
CB	2	17	26		1	46
CH	1	9	1			11
CL		18	72		2	92
CR	2	9	2			13
CS		1				1
CT			24			24
EN		4	23		1	28
FE		10				10
FG	3	79	45		3	130
FI			43			43
FM		1	1			2
FR			14			14

Provincia	Altro utilizzo	Potenzialmente produttivo	Produttivo	Potenzialmente utilizzabile stoccaggio	per Reiniezione	Totale complessivo
KR		2	8			10
LO		3	6		1	10
MC	2		5			7
MI		5			1	6
MO	1	13	42		2	58
MT	4	39	14	6	1	64
NO		5	4		7	16
PC	1	2	3			6
PI		2				2
PR		11	25			36
PV			3			3
PZ		18	25		1	44
RA		28	13		1	42
RG		16	12		2	30
RN			1			1
SR		1				1
TE		2	2		1	5
TP			2			2
TV		1	1			2
ZONA A	1	257	224		9	491
ZONA B		103	46		1	150
ZONA C		16	28		1	45
ZONA D		1	28			29
ZONA F		1	2			3
ZONA G		4				4
Totale complessivo	19	693	887	6	37	1642

Nella tabella seguente è evidenziata la distribuzione regionale degli 877 pozzi produttivi, suddivisa per tipologia di prodotto [34].

I pozzi delle aree a mare sono stati attribuiti alle relative regioni costiere.

Tabella 10.7

Regione	Gas	Olio	Olio/Gas	Totale complessivo pozzi adibiti a produzione
ABRUZZO	35			35
BASILICATA	12	27		39
CALABRIA	36			36
EMILIA ROMAGNA	333	4		337
LAZIO		14		14
LOMBARDIA	12			12
MARCHE	152	3		155

Regione	Gas	Olio	Olio/Gas	Totale complessivo pozzi adibiti a produzione
MOLISE	19		7	26
PIEMONTE		3		3
PUGLIA	44			44
SICILIA	50	97		147
TOSCANA	27			27
VENETO	2			2
Totale complessivo	722	148	7	877

Nella tabella seguente è evidenziata la distribuzione regionale dei 77 centrali di raccolta e trattamento, suddivisa per tipologia di prodotto [34].

Tabella 10.8

Regione	Gas	Olio	Olio/Gas	Totale complessivo centrali
ABRUZZO	5			5
BASILICATA	5	2		7
CALABRIA	2			2
EMILIA ROMAGNA	21	1		22
LAZIO		1		1
LOMBARDIA	5			5
MARCHE	14	1		15
MOLISE	2		2	4
PIEMONTE		1		1
PUGLIA	3			3
SICILIA	4	5		9
TOSCANA	1			1
VENETO	2			2
Totale complessivo	64	11	2	77

La tabella seguente mostra la suddivisione delle aziende concessionarie delle 77 centrali di trattamento e la relativa suddivisione regionale [34].

Tabella 10.9

Azienda	ABRUZZO	BASILICATA	CALABRIA	EMILIA ROMAGNA	LAZIO	LOMBARDIA	MARCHE	MOLISE	PIEMONTE	PUGLIA	SICILIA	TOSCANA	VENETO	Totale complessivo centrali
ADRIATICA IDROCARBURI	1						4	1						6
AZIENDA DEMANIALE DI SALSOMAGGIORE				3										3
CH4 LIZZANO				1										1

Azienda	ABRUZZO	BASILICATA	CALABRIA	EMILIA ROMAGNA	LAZIO	LOMBARDIA	MARCHE	MOLISE	PIEMONTE	PUGLIA	SICILIA	TOSCANA	VENETO	Totale complessivo centrali
EDISON	1	1					4	1			1			8
EDISON STOCCAGGIO	1												1	2
ENI		3		3		2	2		1	2				13
ENI MEDITERRANEA IDROCARBURI											7			7
GAS PLUS ITALIANA	2	2		4		1	5	1		1				16
IDROELETTRICA ALTOMODENESE SIAM				2										2
IONICA GAS			2											2
IRMINIO											1			1
LAZZI GAS				1										1
MEDOILGAS ITALIA		1						1					1	3
NORTHSUN ITALIA				1		1								2
PADANA ENERGIA				4		1								5
PENTEX ITALIA					1									1
SIM				1								1		2
SOCOPLUS				1										1
SOMIFA				1										1
Totale complessivo	5	7	2	22	1	5	15	4	1	3	9	1	2	77

La tabella seguente mostra la suddivisione degli 877 pozzi di estrazione (produttivi) e la relativa suddivisione regionale. [34]

Tabella 10.10

Azienda	ABRUZZO	BASILICATA	CALABRIA	EMILIA ROMAGNA	LAZIO	LOMBARDIA	MARCHE	MOLISE	PIEMONTE	PUGLIA	SICILIA	TOSCANA	VENETO	Totale complessivo pozzi produttivi
ADRIATICA IDROCARBURI	20						9	6						35
AZIENDA DEMANIALE DI SALSOMAGGIORE				13										13
CH4 LIZZANO				27										27
EDISON	1	1					10	18			1			31
EDISON STOCCAGGIO	12												1	13
ENI		31		129		7	127		3	38				335
ENI MEDITERRANEA IDROCARBURI											145			145

Azienda	ABRUZZO	BASILICATA	CALABRIA	EMILIA ROMAGNA	LAZIO	LOMBARDIA	MARCHE	MOLISE	PIEMONTE	PUGLIA	SICILIA	TOSCANA	VENETO	Totale complessivo pozzi produttivi
GAS PLUS ITALIANA	2	6		10		3	9	1		6				37
IDROELETTRICA ALTOMODENESE SIAM				19										19
IONICA GAS			36											36
IRMINIO											1			1
LAZZI GAS				93										93
MEDOILGAS ITALIA		1						1					1	3
NORTHSUN ITALIA				2		1								3
PADANA ENERGIA				19		1								20
PENTEX ITALIA					14									14
SIM				16								27		43
SOCOPLUS				5										5
SOMIFA				4										4
Totale complessivo	35	39	36	337	14	12	155	26	3	44	147	27	2	877

La tabella seguente mostra la produzione cumulativa nel periodo 2004-2014 per le diverse aziende titolari di concessione. [34]

Tabella 10.11

Azienda	Gas Sm	Gasolina m3	Olio m3	Totale complessivo m3
ADRIATICA IDROCARBURI	5,74E+09	1,59E+07	1,98E+08	5,95E+09
APENNINE ENERGY	3,14E+06			3,14E+06
CANOEL ITALIA	7,28E+07	3,61E+06		7,64E+07
CH4 LIZZANO	1,01E+07			1,01E+07
EDISON	1,08E+09	4,08E+05	4,68E+09	5,75E+09
EDISON STOCCAGGIO	2,15E+08			2,15E+08
ENI	7,24E+10	2,79E+07	4,20E+10	1,14E+11
ENI MEDITERRANEA IDROCARBURI	3,34E+09	1,71E+08	7,69E+09	1,12E+10
GAS NATURAL VENDITA ITALIA	2,54E+05			2,54E+05
GAS PLUS ITALIANA	1,61E+09	1,24E+07		1,62E+09
IONICA GAS	1,06E+10	3,17E+04		1,06E+10
IRMINIO	1,12E+07		1,61E+08	1,73E+08
LAZZI GAS	1,78E+07			1,78E+07
MEDOILGAS ITALIA	2,36E+07			2,36E+07
METANO PUGLIA	1,15E+06			1,15E+06
NORTHSUN ITALIA	1,10E+08			1,10E+08
PADANA ENERGIA	9,19E+08	4,82E+06	3,44E+08	1,27E+09
PENTEX ITALIA			2,31E+06	2,31E+06

Azienda	Gas Sm	Gasolina m3	Olio m3	Totale complessivo m3
SIM	1,32E+07			1,32E+07
SOCIETÀ IDROELETTRICA ALTO MODENESE - S.I.A.M.	9,86E+06			9,86E+06
SOCIETÀ MINERARIA FANANESE - SO.MI.FA.	1,32E+06			1,32E+06
SOCOPLUS	1,04E+06			1,04E+06
STOCCAGGI GAS ITALIA (STOGIT)	1,04E+08			1,04E+08
TERME DI SALSOMAGGIORE E DI TABIANO	6,53E+06			6,53E+06
TOTAL E&P ITALIA	5,12E+05		9,22E+06	9,73E+06
Totale complessivo	9,63E+10	2,36E+08	5,50E+10	1,52E+11

La tabella seguente mostra l'andamento annuale della produzione nel periodo precedente il 1980 fino al febbraio 2014, cumulativa per tutte le aziende titolari di concessione. [34]

Tabella 10.12

Anno di produzione	Gas x1000 Sm	Olio mc	Totale complessivo mc
<1980	2,54E+08	3,56E+07	2,54E+11
1,98E+03	1,25E+07	1,80E+06	1,25E+10
1,98E+03	1,40E+07	1,46E+06	1,40E+10
1,98E+03	1,46E+07	1,73E+06	1,46E+10
1,98E+03	1,31E+07	2,21E+06	1,31E+10
1,98E+03	1,38E+07	2,24E+06	1,38E+10
1,99E+03	1,42E+07	2,35E+06	1,42E+10
1,99E+03	1,60E+07	2,53E+06	1,60E+10
1,99E+03	1,63E+07	3,91E+06	1,63E+10
1,99E+03	1,66E+07	4,81E+06	1,66E+10
1,99E+03	1,70E+07	4,58E+06	1,70E+10
1,99E+03	1,73E+07	4,64E+06	1,73E+10
1,99E+03	1,74E+07	4,31E+06	1,74E+10
1,99E+03	1,81E+07	4,48E+06	1,82E+10
1,99E+03	1,95E+07	4,62E+06	1,95E+10
1,99E+03	2,06E+07	4,88E+06	2,06E+10
2,00E+03	2,04E+07	5,21E+06	2,04E+10
2,00E+03	2,02E+07	5,43E+06	2,02E+10
2,00E+03	1,95E+07	5,94E+06	1,95E+10
2,00E+03	1,92E+07	5,60E+06	1,92E+10
2,00E+03	1,76E+07	4,99E+06	1,76E+10
2,00E+03	1,68E+07	4,55E+06	1,68E+10
2,00E+03	1,55E+07	4,19E+06	1,55E+10
2,00E+03	1,51E+07	5,43E+06	1,51E+10
2,00E+03	1,40E+07	5,54E+06	1,40E+10
2,00E+03	1,29E+07	1,08E+07	1,29E+10

Anno di produzione	Gas x1000 Sm	Olio mc	Totale complessivo mc
2,01E+03	1,20E+07	6,08E+06	1,20E+10
2,01E+03	1,08E+07	5,76E+06	1,08E+10
2,01E+03	9,63E+06	5,84E+06	9,64E+09
2,01E+03	9,07E+06	5,22E+06	9,08E+09
2,01E+03	7,91E+06	4,55E+06	7,91E+09
2,01E+03	8,26E+06	5,08E+06	8,27E+09
2,01E+03	8,34E+06	5,29E+06	8,34E+09
2,01E+03	8,51E+06	5,38E+06	8,52E+09
2,01E+03	7,71E+06	5,48E+06	7,71E+09
2,01E+03	1,19E+06	9,52E+05	1,19E+09
Totale complessivo	7,50E+08	1,93E+08	7,50E+11

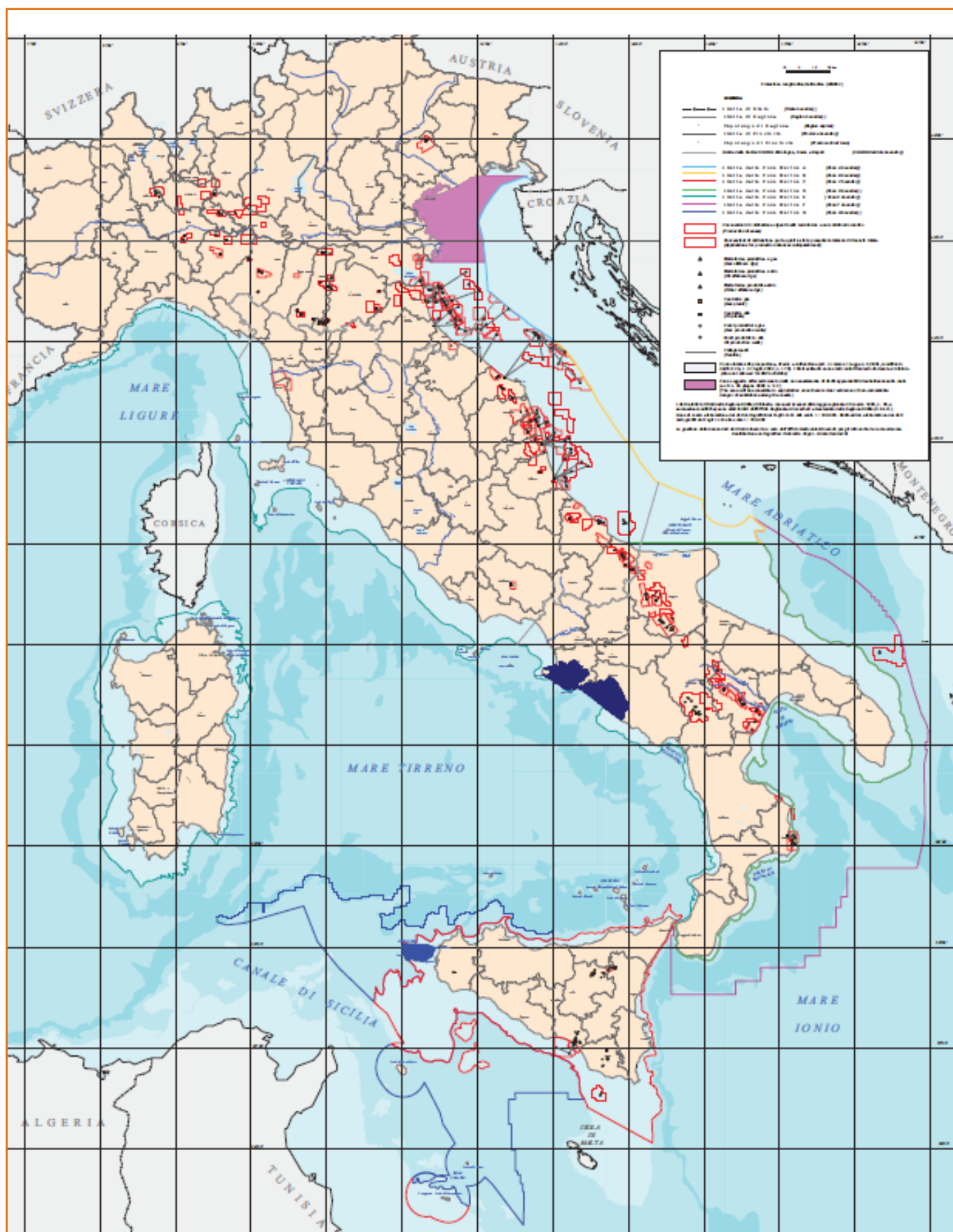
La tabella seguente mostra la produzione regionale dal periodo precedente il 1980 fino al febbraio 2014, cumulativa per tutte le aziende titolari di concessione. [34]

Tabella 10.13

Regione	Gas x1000 Sm	Olio mc	Totale complessivo mc
Abruzzo	2,27E+07	9,87E+04	2,27E+10
Basilicata	2,85E+07	5,47E+07	2,86E+10
Calabria	8,54E+05		8,54E+08
Campania	8,16E+05	1,87E+05	8,16E+08
Emilia Romagna	1,28E+08	4,00E+06	1,28E+11
Lazio		3,89E+04	3,89E+04
Lombardia	4,45E+07	3,50E+06	4,45E+10
Marche	6,81E+06	8,64E+05	6,81E+09
Molise	7,55E+06	1,53E+06	7,55E+09
Piemonte	2,83E+06	2,90E+07	2,86E+09
Puglia	3,44E+07	1,09E+05	3,44E+10
Sicilia	2,03E+07	5,39E+07	2,03E+10
Toscana	7,06E+04		7,06E+07
Veneto	2,00E+06		2,00E+09
Zona A	3,27E+08		3,27E+11
Zona B	5,95E+07	2,16E+07	5,95E+10
Zona C	5,75E+05	2,02E+07	5,95E+08
Zona D	6,16E+07		6,16E+10
Zona F	1,73E+06	3,78E+06	1,73E+09
(vuoto)	4,21E+03		4,21E+06
Totale complessivo	7,50E+08	1,93E+08	7,50E+11

Nella figura seguente è mostrata l'ubicazione dei pozzi e delle concessioni minerarie sul territorio italiano [34]

Figura 10.3 pozzi e delle concessioni minerarie sul territorio italiano



11 LAVORAZIONE DELLA BAUXITE

11.1 Descrizione del processo lavorativo

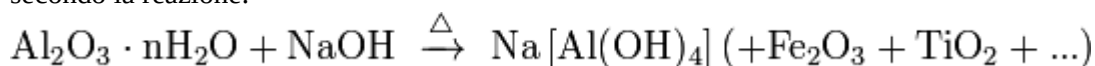
La bauxite è una roccia sedimentaria che costituisce la principale fonte per la produzione dell'alluminio.

La bauxite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) contiene generalmente il 30-54% di allumina, Al_2O_3 , mentre la restante parte è formata principalmente da silice (ovvero biossido di silicio, SiO_2), ossidi di ferro e diossido di titanio.

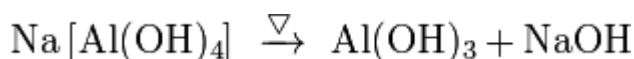
L'allumina, dunque, necessita di un processo di purificazione prima di poter essere trasformata in alluminio metallico.

Il processo industriale di produzione dell'alluminio (Processo Bayer) prevede come primo passo la separazione delle impurità dai sali di alluminio, mediante reazione con soluzioni concentrate di idrossido di sodio; gli idrossidi di alluminio diventano alluminato sodico solubile in acqua, mentre le impurità non passano in soluzione e possono essere separate. L'alluminio dell'alluminato sodico viene poi fatto precipitare, per diluizione della soluzione, in idrossido di alluminio, che viene poi avviato alle successive fasi di purificazione.

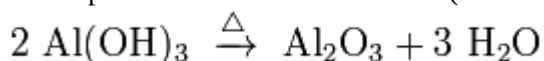
Nel processo Bayer la bauxite viene lavata con una soluzione di idrossido di sodio, NaOH , a 175 °C (fase generalmente chiamata digestione). Questa operazione converte l'allumina in $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, secondo la reazione:



Gli altri componenti della bauxite non possono essere dissolti nel bagno idrossilico; vengono perciò filtrati e scartati quali impurità solide. La miscela di tali impurità solide viene generalmente chiamata "fango rosso". Successivamente il bagno idrossilico viene raffreddato, consentendo all'idrossido di alluminio di precipitare sotto forma di solido bianco e vaporoso; tale fase è detta, per l'appunto, precipitazione.



Infine, l'idrossido di alluminio viene scaldato fino a 1050 °C, temperatura alla quale inizia la decomposizione chimica in allumina (fase di calcinazione), con rilascio di vapor d'acqua:



Gran parte dell'allumina prodotto mediante processo Bayer viene successivamente fusa per la produzione di alluminio.

L'alluminio può essere prodotto, oltre che a partire dalla lavorazione della bauxite, direttamente dal rottame.

11.2 Criticità radiometriche

Nel 2004 ARPAV ha condotto alcune misure di spettrometria gamma in materie prime e residui di lavorazione dell'unica azienda italiana d'estrazione dell'allumina dalla bauxite [24].

Tabella n. 11.1: Concentrazioni di attività (Bq/kg) in materie prime e residui del processo di produzione dell'alluminio (tra parentesi è indicata l'incertezza percentuale al 68% del livello di confidenza).

Campioni	238U	226Ra	235U	232Th	40K
Bauxite	97 (18)	91 (6)	7 (22)	129 (6)	2 (11)
Fanghi rossi	104 (16)	90 (6)	6 (14)	118 (6)	15 (7)
Polveri elettrofiltro	9 (25)	0,1 (13)	< 0,41	0,5 (13)	3 (8)
Polveri altri filtri	< 10	< 0,2	< 0,3	0,5 (11)	< 1,4

11.3 Censimento degli impianti in Italia

Esistono 50 raffinerie di allumina nel mondo con una produzione di 55 Mt/anno, tra queste 6 si trovano in Europa con una produzione di 6,4 Mt/anno.

In Italia l'estrazione dell'allumina dalla bauxite viene fatto da una sola azienda (Eurallumina S.p.A. di Portoscuso (CI)), attiva fino al 2009, con una capacità produttiva di 1.050.000 t/anno e una produzione giornaliera di circa 3200 t/giorno di allumina con un consumo di circa 6000 t/giorno di bauxite proveniente dall'Australia.

Come detto i componenti non estratti rappresentano i residui di processo (*fanghi rossi*), che vengono stoccati in depositi nelle vicinanze dell'azienda.

La gestione del bacino dei fanghi rossi costituisce attività di smaltimento dei residui del processo Bayer i quali sono classificati come rifiuti speciali non pericolosi (CER 010309). La produzione media di fanghi si attesta su circa 950.000 t/anno e il materiale depositato dal 1977 al 2007 ammonta a circa 15 milioni di m³.

L'attività dello stabilimento risulta sospesa in attesa di riprendere la produzione a seguito di nuovi accordi commerciali.

12 PRODUZIONE DI CEMENTO, MANUTENZIONE DI FORNI PER LA PRODUZIONE DI CLINKER

12.1 Tipologia di lavorazione

Il cemento viene prodotto a partire da una miscela costituita fondamentalmente da calcari, marne ed argille dosati in opportuni rapporti, e sottoposta ad una cottura ad elevatissime temperature, che porta alla formazione del semilavorato chiamato "clinker da cemento", minerale artificiale, principale costituente del cemento.

Nell'industria del cemento, scienza e tecnologia hanno avuto un peso determinante nella scelta delle direttrici di sviluppo: la realizzazione del ciclo tecnologico avviene infatti attraverso l'utilizzo di impianti complessi, dotati di tutte le necessarie apparecchiature e degli edifici per contenerle. Gli schemi dei cicli di lavorazione sono stati più volte rielaborati, le apparecchiature riprogettate per introdurre modifiche radicali e sempre più avanzate tecnologicamente. L'industria del cemento è stata tra le prime a rendere automatico il controllo della produzione. Sono stati sviluppati modelli matematici relativi al proporzionamento e alla omogeneizzazione della miscela di materie prime, alla operatività del forno, e alla macinazione. Gli impianti sono completamente automatizzati, centralizzati e telecontrollati.

La prima cementeria italiana a sala centralizzata è del 1962, mentre la prima completamente controllata con calcolatore elettronico è del 1968. Innovazione tecnologica, modellistica e automazione sono risultate dunque fondamentali per migliorare il processo di fabbricazione in termini di qualità e di uniformità del prodotto, di bilancio energetico e di contenimento dei costi. Tutto ciò ha permesso di dare risposte adeguate alle richieste di un mercato in continua espansione, di allineare la produzione alle esigenze dell'ingegneria strutturale e dell'ambiente e di garantire un'elevata qualità nella produzione del cemento.

12.1.1 Estrazione materie prime

Le materie prime impiegate sono generalmente di due tipi: il primo è costituito prevalentemente da carbonato di calcio, materiale molto diffuso nelle zone montuose; il secondo tipo, anch'esso molto diffuso, è costituito da argille o calcari marnosi che contengono, oltre al carbonato di calcio, anche notevoli percentuali di silicato di alluminio e ferro.[35, 36]

La materia prima viene generalmente estratta da cave a cielo aperto. Le rocce generalmente utilizzate sono di due tipi: quelle costituite prevalentemente da carbonato di calcio, materiale molto diffuso nelle nostre zone montuose; e quelle costituite da argille o calcari marnosi che contengono, oltre al carbonato di calcio, anche notevoli percentuali di silicato di alluminio e ferro. Questi materiali, a seconda della loro durezza, giacitura, vengono estratti dalla cava con sistemi diversi. La tecnica di coltivazione di una cava più in uso, è quella "a gradoni" con la quale il materiale viene scavato a stadi (gradoni) sovrapposti l'uno all'altro, rispettando determinate altezze, larghezze, e pendenze dei fronti in funzione sia della natura, giacitura e stabilità del suolo, sia della tecnica estrattiva.

12.1.2 Frantumazione

I materiali ottenuti in cava non sono adatti ad essere adoperati nello stato in cui vengono estratti: devono essere infatti frantumati accuratamente per ottenere un prodotto omogeneo, di pezzatura a dimensioni massime generalmente non superiori a 100 - 150mm, costituito da una corretta miscela dei diversi costituenti, da avviare agli ulteriori trattamenti. La fase della frantumazione può essere realizzata presso la cava con l'ausilio di frantoi mobili, o presso la cementeria, in genere situata nei pressi della cava o ad essa collegata con moderni sistemi di trasporto, in frantoi con diverse caratteristiche tecniche.

Preparazione della miscela cruda

Il materiale così frantumato, viene sottoposto in cementeria ad una serie di operazioni necessarie per ottenere una "farina cruda" di composizione sufficientemente costante nel tempo per essere sottoposta al trattamento termico di cottura. Tali operazioni possono a loro volta essere precedute da una pre-omogeneizzazione in appositi impianti per garantire una perfetta mescolanza attraverso la miscelazione preliminare del materiale estratto in cava, e consistono in:

- essiccamento e macinazione : le materie prime da cemento contengono molta umidità, tanto che, nel processo di fabbricazione a secco, si rende necessaria una loro essiccazione precedentemente o congiuntamente alla macinazione. Ciò avviene in idonee apparecchiature quali molini a sfere, a pista, in cui le materie prime vengono opportunamente dosate e controllate chimicamente. In fase di macinazione i materiali vengono dunque essiccati tramite aria calda prodotta da appositi fornelli o recuperata in altre fasi del processo;
- omogeneizzazione del materiale in sili ove subisce un'agitazione pneumatica e/o meccanica che, rimescolando grandi quantitativi di miscela, ne assicura l'omogeneità. Così si ottiene una farina con una composizione compatibile con quella prefissata e pronta per essere avviata agli impianti di cottura. Prima della cottura vengono effettuati i controlli delle caratteristiche della farina cruda.

Controllo caratteristiche di qualità della farina

Il controllo di qualità del materiale ottenuto con i procedimenti descritti, detto "farina cruda", si esegue su campioni prelevati con elevata frequenza all'uscita del mulino. I parametri che vengono tenuti sotto controllo sono:

- le caratteristiche chimiche;
- le caratteristiche di finezza.

Cottura della miscela e produzione del clinker Portland

La farina cruda, così macinata e preparata, depositata e omogeneizzata in sili, viene avviata alla cottura nel forno dove viene sottoposta a trattamento termico ad alta temperatura. Essa viene portata progressivamente fino a circa 1400° - 1500° C.

Nella produzione del cemento la fase di cottura della farina cruda, che porta alla produzione di clinker Portland, è il "cuore" del ciclo tecnologico del cemento e la grande importanza che riveste è dovuta a tre aspetti fondamentali:

- le reazioni chimiche che si realizzano in questa fase portano alla formazione dei composti idraulici essenziali del cemento;
- le caratteristiche qualitative e prestazionali del prodotto risultano in forte misura già fissate durante la cottura;
- il costo globale di esercizio è fortemente influenzato dalla tecnologia e dai provvedimenti adottati nella fase di cottura, considerando che il consumo energetico complessivo è determinato in buona parte dalla cottura.

Nel procedimento di cottura è possibile distinguere le seguenti fasi:

- il materiale entra dapprima nel preriscaldatore dove raggiunge la temperatura di circa 850° C; in questa fase avviene la disidratazione, con l'eliminazione dell'acqua libera e

combinata, la decomposizione dei prodotti argillosi ed inizia la fase di decarbonatazione del calcare;

- si passa quindi nella parte rotante del forno, un lungo cilindro inclinato in cui il materiale in cottura avanza fino a trovarsi esposto direttamente all'irraggiamento della fiamma del bruciatore principale. In questa zona avviene la cottura: si completa la decarbonatazione e, raggiunta la temperatura di 1450° C, la sinterizzazione, a cui partecipano gli ossidi di calcio, silicio, alluminio e ferro presenti nei materiali costituenti la farina per formare le fasi caratteristiche del clinker da cemento;
- il clinker così prodotto, di forma granulare e colore scuro, entra nella zona di raffreddamento dove passa rapidamente da 1200° C a 100 – 150° C grazie all'immissione di aria fredda esterna che si riscalda a sua volta fino a 800-900° C e viene riutilizzata come aria secondaria di combustione per il processo di cottura. E' necessario sottoporre il clinker ad un raffreddamento così rapido per "fermare" la composizione ottenuta ad alta temperatura e la mantenga stabile anche a temperatura ordinaria.

12.1.3 Macinazione e dosaggio costituenti

Il clinker uscente dal raffreddatore viene inviato a uno o più depositi chiusi, mantenuti in leggera depressione rispetto all'ambiente esterno da impianti di abbattimento che prevengono la dispersione delle polveri. Lo stadio finale della produzione di cemento dal punto di vista tecnologico culmina con la macinazione in polvere fine del clinker Portland con altri componenti (quali pozzolana naturale, cenere volante, loppa basica d'altoforno, calcare) per l'ottenimento dei vari tipi di cemento tra quelli contemplati dalla normativa vigente. La macinazione finale del cemento è un'operazione molto importante perché contribuisce in modo determinante allo sviluppo delle sue prestazioni meccaniche (resistenza) e reologiche (lavorabilità). La miscela del clinker e degli altri costituenti viene eseguita in proporzioni accuratamente prestabilite ed è resa omogenea durante il processo di macinazione che riduce il materiale allo stato di polvere finissima.

12.1.4 Principali costituenti del cemento

Il cemento, pur essendo una polvere omogenea nella sua composizione, contiene generalmente più costituenti, tra cui il clinker di cemento Portland, che è il fondamentale.

Ad essi possono essere associati altri materiali inorganici, naturali o artificiali, che conferiscono ai cementi caratteristiche peculiari.

Clinker di cemento Portland

Il clinker di cemento Portland si ottiene per cottura ad alte temperature di una opportuna miscela di rocce silico-calcaree che porta alla formazione di quattro composti mineralogici principali: silicato tricalcico o alite, silicato bicalcico o belite, alluminato tricalcico e allumino ferrico tetracalcico detti anche celite. I primi due composti mineralogici costituiscono il 75% - 85% della massa del clinker e sono quelli che conferiscono le caratteristiche di resistenza meccanica al cemento indurito. Gli altri due composti mineralogici danno un modestissimo contributo all'indurimento, ma partecipano ai fenomeni della presa.

Materiali pozzolanici

I materiali pozzolanici sono sostanze naturali o industriali silicee o silico-alluminose che non induriscono se mescolati con acqua ma, se macinati finemente, in presenza di acqua, reagiscono a temperatura normale con l'idrossido di calcio dando origine a composti (silicato ed alluminato di calcio) che sviluppano resistenza meccanica e che hanno caratteristiche simili a quelle che si formano nell'indurimento dei materiali idraulici. Le pozzolane naturali sono generalmente materiali d'origine vulcanica, mentre le pozzolane naturali calcinate sono sostanze (naturali) attivate mediante trattamento termico.

Ceneri volanti

La cenere volante è ottenuta dalla precipitazione elettrostatica o meccanica delle polveri provenienti dai gas di scarico dei forni alimentati a polverino di carbone e può essere silicea o calcica; la prima ha proprietà pozzolaniche mentre la seconda può avere anche proprietà idrauliche. La cenere volante silicea è una polvere fine, composta essenzialmente da biossido di silicio reattivo e da ossido di alluminio. La cenere volante calcica è una polvere fine con proprietà idrauliche e/o pozzolaniche, è costituita principalmente da ossido di calcio reattivo, biossido di silicio reattivo e ossido di alluminio.

Scisto calcinato

Lo scisto calcinato, è prodotto in forno cocendo delle rocce ad una temperatura di circa 800 °C, contiene silicato bicalcico e alluminato monocalcico e oltre a piccole quantità di ossido di calcio libero e di solfato di calcio, proporzioni rilevanti di ossido di silicio reattivo.

Loppa granulata d'altoforno

La loppa granulata d'altoforno è ottenuta per brusco raffreddamento di una scoria fusa proveniente dalla fusione in altoforno dei minerali di ferro, è costituita per almeno due terzi in massa da loppa vetrosa e quando è attivata ha proprietà idrauliche.

Calcare

Il calcare è una roccia naturale di origine sedimentaria costituita essenzialmente da carbonato di calcio (CaCO_3). L'aggiunta di calcare, finemente macinato, al cemento, serve a migliorare alcune proprietà chimico-fisiche del cemento Portland, poiché tende ad accelerare l'idratazione e l'indurimento iniziale del cemento, migliora la reologia delle paste cementizie e, a parità di resistenza meccanica, riduce il ritiro.

Argilla

L'argilla è costituita da una miscela di minerali argillosi, tra cui prevalgono in genere quelli di tipo montmorillonitico e illitico (silicati idrati di alluminio, magnesio, ferro e altri elementi), accompagnati da componenti minori (spesso quarzo e calcare).

Il solfato di calcio (gesso)

Il solfato di calcio viene impiegato nei cementi sottoforma di gesso, semidrato, o anidro o una miscela di questi. Il solfato di calcio influenza diverse proprietà dei cementi (resistenza meccanica, ritiro, sviluppo del calore di idratazione, durabilità etc.), ma la sua azione fondamentale riguarda la regolazione della presa. L'azione regolatrice si esplica sull'alluminato tricalcico che, in assenza del gesso, reagirebbe rapidamente con l'acqua provocando la presa rapida del cemento. Tuttavia se piccole quantità di gesso sono essenziali per regolare la presa, un eccesso può provocare espansione e fessurazione della pasta di cemento. Per questo motivo il contenuto tollerabile di solfati è strettamente limitato dalle norme.

Additivi

Gli additivi sono aggiunti per migliorare la produzione o le proprietà del cemento e la loro quantità totale non supera l'1,0% in massa del cemento

12.1.5 Il tipo di cemento

Il termine "tipo" definisce la composizione dei cementi. La composizione o proporzione tra i costituenti conferisce al prodotto idratato, oltre alle proprietà meccaniche, anche particolari caratteristiche di resistenza agli attacchi chimici o chimico-fisici.[36]

Il tipo di cemento influisce sulla capacità di mantenere nel tempo le caratteristiche di resistenza del conglomerato ottenuto (malta o calcestruzzo). I prodotti della famiglia dei cementi comuni coperti dalla normativa EN/197-1 sono raggruppati in cinque principali tipi:

- a) CEM I Cemento Portland
- b) CEM II Cemento Portland composito
- c) CEM III Cemento d'altoforno
- d) CEM IV Cemento pozzolanico
- e) CEM V Cemento composito

Cementi Tipo I (CEM I)

I cementi Tipo I (CEM I) "Cementi Portland" sono costituiti almeno per il 95% da clinker e in misura variabile da 0 a 5% da costituenti minori. Sono generalmente utilizzati nella prefabbricazione di calcestruzzi armati semplici e precompressi.

Cementi Tipo II (CEM II)

I cementi Tipo II (CEM II) "Cementi Portland Compositi", hanno come costituenti principali oltre al clinker, presente in percentuale variabile dal 65 al 94%, le loppe granulate d'altoforno, la silica fume, le pozzolane, le ceneri volanti, scisti calcinati e calcare. Hanno proprietà molto simili a quelle dei CEM I che li rendono idonei ai più comuni impieghi nella realizzazione di calcestruzzi armati normali e precompressi, di elementi prefabbricati.

Cementi Tipo III (CEM III)

I cementi Tipo III (CEM III) "Cementi d'altoforno", sono costituiti da clinker fino al 64%, e loppa granulata basica d'alto forno. Questo tipo è articolato in tre sottotipi con contenuti di loppa variabile dal 36% al 95%. Rispetto al cemento Portland, i CEM III sono principalmente indicati nelle situazioni in cui il calcestruzzo è soggetto ad ambienti chimicamente aggressivi e per la realizzazione di opere di grosse dimensioni.

Cementi tipo IV (CEM IV)

I cementi Tipo IV (CEM IV) "Cementi pozzolanici", sono costituiti da clinker tra il 45 e 89%, e materiale pozzolanico naturale o artificiale. In base alla percentuale di materiale pozzolanico, variabile dal 11% al 55%, sono articolati in due sottotipi. Il termine "pozzolana" deriva dal nome da Pozzuoli, località della Campania dove si estraeva il materiale, destinato, fin dall'antichità, alla produzione malte idrauliche. Presentano una elevata resistenza all'attacco chimico.

Cementi Tipo V (CEM V)

I cementi Tipo V (CEM V) "Cementi Compositi" sono costituiti da una miscela di clinker, loppa d'altoforno e pozzolana e sono adatti a realizzare calcestruzzi esposti ad ambienti mediamente aggressivi quali acqua di mare, acque acide, terreni solfatici, etc.

12.2 Possibili vie di esposizione e criticità NORM

La bibliografia [9, 28] attribuisce alle industrie di produzione del cemento essenzialmente la potenzia e fonte di emissioni in atmosfera di Pb210 e Po210, oltre a un valore medio di dose gamma in aria derivante dai cumuli di materiale grezzo destinato alla lavorazione.

Tabella 12.1 [28]

Table 28
Release of radionuclides from typical installations of mineral processing industries
 [L18]

Industry	Ore throughput (kt a ⁻¹)	Releases to atmosphere (GBq a ⁻¹)						
		²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	²²² Rn	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	⁴⁰ K
Elementary phosphorus	570				563	66	490	
– Transport		0.06	0.001	0.06	0.03	0.06	0.06	0.004
Phosphoric acid	700	0.07	0.002	0.09	820	0.08	0.14	0.008
Fertilizer plant	375				221	0.044	0.034	
– Transport		0.02	0.0001	0.02	0.02	0.02	0.02	0.001
Iron and steel production	7 500				180	55	90	
– Transport		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Coal tar treatment	120				– 0	– 0	– 0	
Coal-fired power plant (600 MW e)	1 350	0.16	0.08	0.11	34	0.4	0.8	0.27
– Transport		0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.012
Cokes production	885	0.013	0.009	0.013	13	0.012	0.07	0.032
– Transport		0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.004
Cement industry	2 000	0.2	0.05	0.2	157	0.2	78	0.4
Ceramics	3 200	0.03		0.03	0.03	0.09	0.3	0.14
Mineral sands handling	183 ^a	0.97	0.12	0.73	0.73	0.73	0.73	
Titanium-pigment	50	0.001	0.001	0.001	6.2	0.001	0.001	
Gas-fired power plant (400 MW e)	600 ^b				230			
Oil extraction	3 500				540			
Gas extraction	72 000 ^b				500			

^a Zirconium.

^b 10⁶ m³ a⁻¹.

Tabella 12.2

Table 29
Maximum effective doses from natural radionuclides released from typical installations or operations of the mineral processing industry
 [L18]

Industry	Maximum effective dose rate (μSv a ⁻¹)		
	External irradiation	Air dispersion pathways	Water dispersion pathways
Elementary phosphorus production	130	2	<0.4
Phosphoric acid production	8	– 2 000 ^b	2
Fertilizer production	20	<0.4	15
Primary iron and steel production	8	<0.4	3
Coal tar processing	4	<0.4	
Cokes production	4	<0.4	
Coal-fired power plant	12	<0.4	4
Gas-fired power plant	<0.4	<0.4	–
Oil and gas extraction	2 ^a	<0.4 ^b	
Cement production	5	<0.4	
Ceramic industry plant	<0.4	<0.4	
Mineral sands handling	60	<0.4	320
Titanium pigment production	<0.4	<0.4	1

^a Inhalation dose (radon) due to land fill with harbour sludge below a residential area.

^b Rather uncertain value.

Attività recenti in alcuni cementifici italiani, di cui i dettagli sono riportati nel report definitivo della task 03.02.01 danno conto di alcuni valori tipici misurati in diverse sezioni degli impianti.

Da questi risulta [comunicazioni personali] che un primo accumulo di NORM nel processo di fabbricazione del cemento si ha nella fase a caldo della preparazione del clinker.

Le parti dell'impianto interessate sono essenzialmente

- Il gruppo di cicloni in cui la farina cruda subisce la prima reazione a caldo (800°C)

- il forno in cui vi è un passaggio da farina a liquido fino alla formazione del clinker
- camino

Un'ulteriore via di esposizione è dovuta alla formazione di incrostazioni a maggior contenuto di ^{210}Pb e ^{210}Po all'interno del forno.

Il materiale che costituisce le incrostazioni interne al forno rotante viene inoltre reintrodotta nel ciclo produttivo come anche le polveri di abbattimento degli impianti di filtrazione.

Le emissioni da camino, anche se potenzialmente possono contenere radionuclidi volatili, sono inferiori a 2 mg/m³ normalizzati.

12.3 Impianti in Italia

12.3.1 Cementifici

Tabella 12.3 [35]

Tipologia	Azienda	Regione	Provincia	Comune
Ciclo completo	Buzzi Unicem	Friuli	PN	Travesio
Ciclo completo	Cementizillo	Friuli	PN	Fanna
Ciclo completo	Italcementi	Friuli	TS	Trieste
Ciclo completo	Colacem	Lombardia	VA	Caravate
Ciclo completo	Holcim Italia	Lombardia	VA	Ternate
Ciclo completo	Holcim Italia	Lombardia	CO	Merone
Ciclo completo	Italcementi	Lombardia	BS	Rezzato
Ciclo completo	Italcementi	Lombardia	PV	Calusco d'Adda
Ciclo completo	Sacci	Lombardia	BG	Tavernola Bergamasca
Macinazione	Buzzi Unicem	Piemonte	VC	Trino
Ciclo completo	Buzzi Unicem	Piemonte	CN	Robilante
Ciclo completo	Cementir Italia	Piemonte	AL	Arquata Scrivia
Macinazione	Italcementi	Piemonte	CN	Novi Ligure
Ciclo completo	Buzzi Unicem	Trentino	TN	Riva del Garda
Ciclo completo	Italcementi	Trentino	TN	Sarche di Calavino
Ciclo completo	Buzzi Unicem	Veneto	BL	Ponte nelle Alpi-Cadola
Ciclo completo	Buzzi Unicem	Veneto	PD	Monselice
Ciclo completo	Cementerie di Monselice – Gruppo Zillo	Veneto	PD	Monselice
Ciclo completo	Cementizillo	Veneto	PD	Este
Ciclo completo	Industria cementi G. Rossi	Veneto	VR	Fumane
Ciclo completo	Industria cementi G. Rossi	Veneto	TV	Pederobba
Ciclo completo	Italcementi	Veneto	PD	Monselice
Ciclo completo	Buzzi Unicem	Emilia Romagna	PC	Vernasca
Ciclo completo	Industria cementi G. Rossi	Emilia Romagna	PC	Piacenza
Macinazione	Barbetti	Emilia Romagna	RA	Ravenna
Macinazione	Buzzi Unicem	Emilia Romagna	PR	Sorbolo
Macinazione	Italcementi	Emilia Romagna	RA	Ravenna
Ciclo completo	Colacem	Toscana	AR	Castel Focognano-Rassina
Ciclo completo	Italcementi	Toscana	FI	Pontassieve

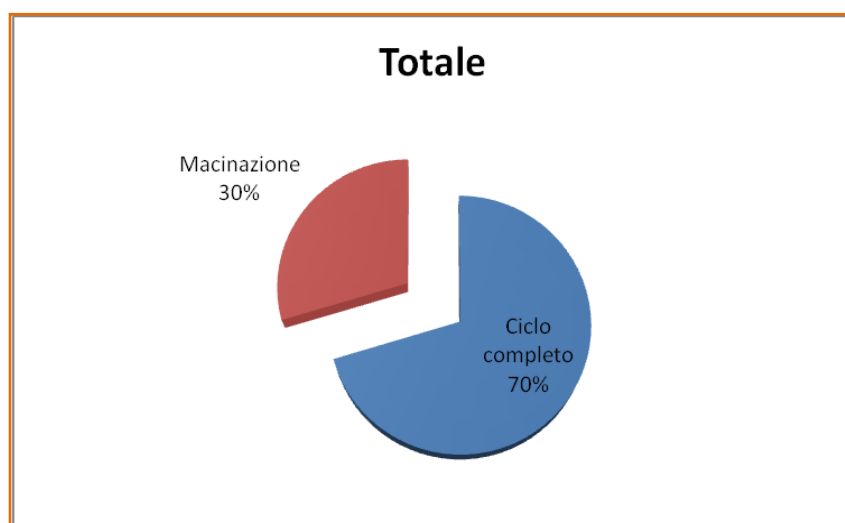
Tipologia	Azienda	Regione	Provincia	Comune
Ciclo completo	Sacci	Toscana	FI	Greve-Testi
Macinazione	Buzzi Unicem	Toscana	FI	Settimello-Calenzano
Macinazione	Calme	Toscana	PI	Orciano Pisano
Macinazione	Sacci	Toscana	LI	Livorno
Ciclo completo	Sacci	Marche	MC	Castelraimondo
Ciclo completo	Barbetti	Umbria	PG	Gubbio
Ciclo completo	Cementir Italia	Umbria	PG	Spoletto
Ciclo completo	Colacem	Umbria	PG	Gubbio-Ghigiano
Ciclo completo	Buzzi Unicem	Lazio	RM	Guidonia-Montecelio
Ciclo completo	Italcementi	Lazio	RM	Colleferro
Macinazione	Italcementi	Lazio	VT	Montalto di Castro
Ciclo completo	Italcementi	Abruzzo	PE	Scafa
Ciclo completo	Sacci	Abruzzo	PE	Pescara
Ciclo completo	Sacci	Abruzzo	AQ	Cagnano Amiterno
Ciclo completo	Colacem	Molise	IS	Sesto Campano
Ciclo completo	Italcementi	Molise	CB	Guardiaregia
Ciclo completo	Cementi Moccia	Campania	CS	Caserta- San Clemente
Ciclo completo	Cementir Italia	Campania	CE	Maddaloni
Ciclo completo	Italcementi	Campania	SA	Salerno
Ciclo completo	Buzzi Unicem	Puglia	BA	Barletta
Ciclo completo	Cementir Italia	Puglia	TA	Taranto
Ciclo completo	Colacem	Puglia	LE	Galatina
Macinazione	Buzzi Unicem	Puglia	FG	Manfredonia
Macinazione	Calme	Puglia	TA	Taranto
Ciclo completo	Cementi della Lucania	Basilicata	PT	Potenza
Ciclo completo	Italcementi	Basilicata	MT	Matera
Ciclo completo	Calme	Calabria	CZ	Marcellinara
Ciclo completo	Italcementi	Calabria	CS	Castrovillari
Ciclo completo	Italcementi	Calabria	VB	Vibo Valentia
Ciclo completo	Buzzi Unicem	Sicilia	SR	Augusta Megara Giannalena
Ciclo completo	Colacem	Sicilia	RG	Modica
Ciclo completo	Colacem	Sicilia	RG	Ragusa
Ciclo completo	Italcementi	Sicilia	PA	Isola delle Femmine
Ciclo completo	Italcementi	Sicilia	AG	Porto Empedocle
Ciclo completo	Buzzi Unicem	Sardegna	NU	Siniscola
Ciclo completo	Italcementi	Sardegna	CA	Samatzai
Macinazione	Baunit Italia	Friuli	PN	San Vito al Tagliamento
Macinazione	Betoncem	Liguria	SV	Cairo Monte Notte
Macinazione	Beton Candeo	Veneto	VE	Marghera
Macinazione	Cacem srl	Campania	CE	Sessa Aurunca
Ciclo completo	Cementeria Costantinopoli		PZ	Barile
Ciclo completo	Cementi Ariano	Campania	AV	Ariano Irpino

Tipologia	Azienda	Regione	Provincia	Comune
Macinazione	Cementi Centro Italia	Lazio	VT	Canino
Macinazione	Cementi Centro Sud	Sardegna	OR	Oristano
Macinazione	Cementi Lauriano	Piemonte	TO	Lauriano
Ciclo completo	Cementi Victoria	Piemonte	VC	Trino
Macinazione	Diano	Calabria	RC	Saline Joniche
Macinazione	Micron Mineral	Emilia Romagna	RA	Ravenna
Macinazione	Sicical	Sicilia	SR	Villasmundo Melilli
Macinazione	Superbeton	Veneto	VE	Marghera
Macinazione	Superbeton	Veneto	TV	Ponte della Priula
Macinazione	Tassullo	Trentino	TN	Tassullo

Tabella 12.4 [35]

Regione	Impianti a Ciclo completo	Impianti di Macinazione	Totale complessivo
Abruzzo	3		3
Basilicata	3		3
Calabria	3	1	4
Campania	4	1	5
Emilia Romagna	2	4	6
Friuli	3	1	4
Lazio	2	2	4
Liguria		1	1
Lombardia	6		6
Marche	1		1
Molise	2		2
Piemonte	3	3	6
Puglia	3	2	5
Sardegna	2	1	3
Sicilia	5	1	6
Toscana	3	3	6
Trentino	2	1	3
Umbria	3		3
Veneto	7	3	10
Totale complessivo	57	24	81

Figura 12.1 [35]



12.3.2 Impianti IPPC

Cat. 3.1 IPPC: Impianti destinati alla produzione di clinker (cemento) in forni rotativi la cui capacità di produzione supera 500 tonnellate al giorno oppure di calce viva in forni rotativi la cui capacità di produzione supera 50 tonnellate al giorno, o in altri tipi di forni aventi una capacità di produzione di oltre 50 tonnellate al giorno [25]

Tabella 12.5

RagioneSociale	NomeImpianto	SiglaProv	Comune	IndirizzoImpianto	CodAttIppc1
BARATTONI	BARATTONI	VI	SCHIO	Via Alleghe 45	3.1
Buzzi Unicem S.p.A.	Buzzi Unicem S.p.A.	NU	SINISCOLA	Localita' Zona Industriale	3.1
BUZZI UNICEM SPA	Cementeria di Cadola	BL	PONTE NELLE ALPI	Cadola 10	3.1
BUZZI UNICEM SPA	Cementeria di Travesio	PN	TRAVESIO	Val Cosa 2	3.1
Cal.Me. S.p.A.	Produzione di cementi e calce	CZ	CATANZARO	Via Caduti del Lavoro n°9	3.1
CALCE DOLOMIA S.p.A.	CALCE DOLOMIA	GE	GENOVA	VIA CHIARAVAGNA 144	3.1
CALCE DOLOMIA S.p.A.	CALCE DOLOMIA S.p.A.	LI	CAMPIGLIA MARITTIMA	VIA SAN VINCENZO 21	3.1
CALCE DOLOMIA S.p.A.	CALCE DOLOMIA S.p.A.	CN	BERNEZZO	Via Aldo Bruno 27	3.1
CALCE DOLOMIA S.p.A.	CALCE DOLOMIA S.p.A.	CN	BERNEZZO	Via Aldo Bruno 27	3.1
Calce Piasco Spa	Calce Piasco Spa	CN	PIASCO	Via Venasca 38	3.1
Calce Piasco Spa	Calce Piasco Spa	CN	PIASCO	Via Venasca 38	3.1
CALCE S. PELLEGRINO S.P.A	Calce S. Pellegrino S.p.A.,	TR	NARNI	Loc. S.Pellegrino – Strada Amerina,	3.1
Calcidrata S.p.A	Calcidrata S.p.A	CA	CAGLIARI	Via Valsugana, 6	3.1

RagioneSociale	NomeImpianto	SiglaProv	Comune	IndirizzoImpianto	CodAttIppc1
Cedir	Cedir	RA	CASTEL BOLOGNESE		3.1
CEMENTERIA COLACEM S.p.A.	CEMENTERIA COLACEM S.p.A.	AR	CASTEL FOCOgnANO	VIA DI BEGLIANO 60	3.1
CEMENTERIA COLACEM S.p.A.	CEMENTERIA COLACEM SpA	VA	CARAVATE	VIA I° MAGGIO 13	3.1
Cementeria Costantinopoli srl	Impiano per la produzione di clinker	PZ	BARILE	S.S. 93 Km. 76	3.1
CEMENTERIA DI MONSELICE SPA	CEMENTERIA DI MONSELICE SPA	PD	MONSELICE	VIA SOLANA, 8	3.1
CEMENTIR	CEMENTIR	AL	ARQUATA SCRIVIA	Serravalle 49	3.1
Cementizillo S.p.A.	Cementizillo S.p.A.	PN	FANNA	Via Pradis 2	3.1
CEMENTIZILLO SPA	CEMENTERIA DI ESTE	PD	ESTE	VIA CALDEVIGO, 14	3.1
CEMENTIZILLO SPA	Cementeria di Fanna	PN	FANNA	PRADIS 2	3.1
Cemin srl	Cemin srl	CI	PORTOSCUSO	località Portovesme	3.1
Ceramiche Girardi S.p.a.	Ceramiche Girardi S.p.a.	UD	PALAZZOLO DELLO STELLA		3.1
Cerdomus	Cerdomus	RA	CASTEL BOLOGNESE		3.1
Ditta ITALCEMENTI S.p.A.	Ditta ITALCEMENTI S.p.A.	PE	SCAFA	S.S. Tiburtina Valeria Km202+037	3.1
Ditta Lafarge Cementi srl	Ditta Lafarge Cementi srl	PE	PESCARA	Via Sanremo n. 9	3.1
Ditta SACCI COMMISSIONARIA S.p.A.	Ditta SACCI COMMISSIONARIA S.p.A.	AQ	CAGNANO AMITERNO	Via Roma – Loc. S. Giovanni	3.1
DOLOMITE FRANCHI SpA	DOLOMITE FRANCHI SpA	BS	MARONE		3.1
FASSA S.p.A.	Unità Produttiva Fassa di Spresiano	TV	SPRESIANO	Via Fornaci, 8	3.1
FORNACI CALCE GRIGOLIN S.p.A.	STABILIMENTO DI SUSEGANA	TV	SUSEGANA	Via Bombardieri, 11 loc. Ponte della Priula	3.1
Fornaci di Manzano S.p.a.	Fornaci di Manzano S.p.A.	UD	MANZANO	Udine 40	3.1
FORNACI FRATELLI ZULIAN SNC	FORNACI FRATELLI ZULIAN SNC	PD	FONTANIVA	VIA A. VELO, 3	3.1
Fornaci Giuliane S.p.a.	FORNACI GIULIANE S.P.A.	GO	SAGRADO	FORNACI 1	3.1
Fornaci Giuliane S.p.a.	FORNACI GIULIANE SPA	GO	CORMONS	ISONZO 145	3.1
FOSCHETTI PAOLO	FOSCHETTI PAOLO	BS	BRESCIA		3.1
Gattelli spa	Fornace Laterizi	RA	RUSSI	via Torre 2	3.1
GIGAcEr spa	GIGAcEr spa	RA	FAENZA		3.1
Gral spa	Gral spa	RA	ALFONSINE		3.1
HOLCIM SpA	HOLCIM SpA	CO	MERONE	VOLTA 1	3.1
HOLCIM SpA	HOLCIM SpA	VA	TERNATE	LOC S. MARTA	3.1

RagioneSociale	NomeImpianto	SiglaProv	Comune	IndirizzoImpianto	CodAttIppc1
IBL spa	IBL spa - Fornace di Cotignola	RA	COTIGNOLA	Ponte Pietra 11	3.1
ICF	stabilimenti A,B,C	RA	FAENZA	PANA 10	3.1
ICF	stabilimenti M e N	RA	FAENZA	BISAURA 20	3.1
INDUSTRIA CEMENTI GIOVANNI ROSSI S.p.A.	PEDEROBBA	TV	PEDEROBBA	Via San Giacomo, 18	3.1
ITALCEMENTI SPA	Cementeria di Borgo San Dalmazzo	CN	BORGIO SAN DALMAZZO	Reg. Italcementi 5-6-7	3.1
ITALCEMENTI SPA	Cementeria di Broni	PV	BRONI	Circonvallazione 23	3.1
ITALCEMENTI SPA	Cementeria di Calusco d'Adda	BG	CALUSCO D'ADDA	Vittorio Emanuele 419	3.1
ITALCEMENTI SPA	Cementeria di Monselice	PD	MONSELICE	VIA DELLA CEMENTERIA, 13	3.1
ITALCEMENTI SPA	Cementeria di Rezzato	BS	REZZATO	Gardesana 84	3.1
ITALCEMENTI SPA	Cementeria di Salerno	SA	SALERNO	Via S. Leonardo, traversa Migliaro	3.1
ITALCEMENTI SPA	Cementeria di Trieste	TS	TRIESTE	Caboto Giovanni e Sebastiano 17	3.1
ITALCEMENTI SPA	Impianto per la produzione di leganti idraulici	MT	MATERA	Località Trasanello	3.1
ITALCEMENTI SPA	ITALCEMENTI	TN	CALAVINO	LOCALITA' SARCHE-PONTE OLIVETI VIA DELLE PARTESELE 1	3.1
Italcementi SpA	Italcementi SpA	CA	SAMATZAI	Str.prov. Cinquepuntoventisette, SNC	3.1
Lafarge Adriasebina Tavernola Bergamasca	Lafarge Adriasebina Tavernola Bergamasca	BG	TAVERNOLA BERGAMASCA		3.1
Laternova srl	Laternova srl	RA	MASSA LOMBARDA		3.1
Neubor Glass S.p.a.	NEUBOR GLASS S.P.A.	PN	SAN VITO AL TAGLIAMENTO	MURANO 2	3.1
Nuova IN.GE S.r.l.	Nuova IN.GE S.r.l.	UD	OVARO		3.1
O-I MANUFACTURING ITALY SPA	O-I Manufacturing Italy S.p.A. Stabilimento di Villotta di Chions	PN	CHIONS	Via Vittorio Veneto 86	3.1
Refel S.p.a.	Refel S.p.a.	PN	SAN VITO AL TAGLIAMENTO		3.1
SACCI Società per Azioni Centrale Cementerie Italiane	SACCI Società per Azioni Centrale Cementerie Italiane	FI	GREVE IN CHIANTI	LOC TESTI	3.1
Serenissima CIR	Serenissima CIR	RA	ALFONSINE		3.1
Società Sarda Di Bentonite S.R.L.	Società Sarda Di Bentonite S.R.L.	CI	PISCINAS	Strada St. 293,Km. 063	3.1
Società Sarda di Bentonite srl	Società Sarda di Bentonite srl	OR	SANTA GIUSTA	zona Industriale Cirras	3.1
TASSULLO MATERIALI SRL	TASSULLO MATERIALI	TN	TAIO	LOCALITA' MOLLARO VIA ALLA MINIERA 1	3.1
TASSULLO MATERIALI SRL	TASSULLO MATERIALI	TN	TASSULLO	VIA NAZIONALE 157	3.1
UNICALCE SpA	UNICALCE SpA	PN	SAN GIORGIO DELLA RICHINVELDA	VIA MANIAGO 54	3.1

RagioneSociale	NomeImpianto	SiglaProv	Comune	IndirizzoImpianto	CodAttIppc1
UNICALCE SpA	UNICALCE SPA - Stabilimento di BREMBILLA	BG	BREMBILLA	PONTI 18	3.1
UNICALCE SpA	UNICALCE SPA - Stabilimento di LECCO	LC	LECCO	Maggianico	3.1
UNICALCE SpA	UNICALCE SPA - Stabilimento di LISSO	BG	SEDRINA	Via Cacosio	3.1
UNICALCE SpA	UNICALCE SPA - Stabilimento di LISSO	BG	SEDRINA	Via Lisso	3.1
Vela spa	Vela spa	RA	ALFONSINE		3.1
VILLAGA CALCE SPA	STABILIMENTO DI VILLAGA (VI)	VI	VILLAGA	Via Fornace 18-20	3.1

Tabella 12.6

Regione	Numero impianti produzione clinker – Cat. IPPC 3.1
Abruzzo	3
Basilicata	2
Calabria	1
Campania	1
Emilia Romagna	11
Friuli	12
Liguria	1
Lombardia	12
Piemonte	6
Sardegna	6
Toscana	3
Trentino	4
Veneto	11
Totale complessivo	73



13 IMPIANTI PER LA FILTRAZIONE DELLE FALDE FREATICHE

13.1 Riferimenti della letteratura scientifica considerati dalla Commissione Europea

I sistemi di approvvigionamento pubblico di acque potabili sono alimentati da acque provenienti da corpi idrici superficiali (fiumi, torrenti e bacini) o da sorgenti sotterranee tramite reti di pozzi.

La frazione di acqua potabile proveniente da acque sotterranee in Germania, Francia, Spagna e Regno Unito è stata del 65, 60, 20 e 25 %, rispettivamente, nel 1995 [37]. Nel seguito sono riportate informazioni più recenti relative all'Italia.

In Germania nel 1995 sono stati erogati 5800 Mm³ di acqua per 80 milioni di abitanti, di cui circa il 78 % necessitava di trattamento, volto generalmente a rimuovere diverse tipologie di contaminanti (ad esempio metalli e pesticidi e, talvolta, radioisotopi) al fine di renderle compatibili con le norme finalizzate alla tutela della salute pubblica [12].

Le dimensioni e, spesso, la tipologia degli impianti di trattamento dipendono essenzialmente dalla qualità delle acque da trattare e dalla popolazione servita.

La qualità delle acque sotterranee, sia dal punto di vista chimico che per quanto riguarda la concentrazione di radioisotopi naturali, può variare notevolmente a seconda delle caratteristiche litologiche dell'acquifero di provenienza. Concentrazioni più elevate di radioattività si possono trovare nelle acque sotterranee provenienti dai graniti o da altre rocce a contenuto di Uranio più elevato e i vari radioisotopi che si ritrovano in soluzione sono generalmente quelli appartenenti alle catene di decadimento dell'Uranio e del Torio [12].

Le concentrazioni di ²²⁶Ra nelle acque degli USA vanno da 4×10^{-4} a 4×10^{-2} Bq/l nelle acque di superficie e da 0,02 a 0,93 Bq/l nelle acque sotterranee [12], ma sono stati riportati valori fino a 7,4 Bq/l, anche se nella maggior parte dei casi le concentrazioni raramente superano 1,85 Bq/l [12].

Il rapporto fra le concentrazioni di ²²⁸Ra di ²²⁶Ra può variare da 0,2:1 a 5:1, anche se il valore più rappresentativo della media delle acque è pari a 1,2:1 [12].

Concentrazioni più elevate di ²²⁸Ra dipendono essenzialmente da rapporti di attività fra ²³²Th e ²³⁸U (pari a circa 1,2:1 a 1,5:1) ma processi naturali di arricchimento o di depauperamento possono alterare questo rapporto, che può variare se intervengono processi geochimici che determinano il reciproco arricchimento o depauperamento.

I valori di concentrazione di ²²⁸Ra nelle acque pertanto non possono essere dedotti automaticamente dai valori di concentrazione di ²²⁶Ra e viceversa [12].

Anche se il Radio tende ad essere più solubile in acqua, sono state rilevate elevate concentrazioni di Uranio e di ²³²Th con i relativi prodotti di decadimento, con livelli di attività di Uranio fino a 24,1 Bq/l sia in acque superficiali che sotterranee [12]. In campioni di acque sotterranee dal bacino di Newark nel New Jersey sono state determinate concentrazioni di Uranio totale (²³⁸U + ²³⁴U) fino a 1,48 Bq/l [12].

Le concentrazioni medie di Uranio nelle acque superficiali e sotterranee degli Stati Uniti sono pari, rispettivamente a circa 0,037 e 0,11 Bq/l [12]. Il rapporto isotopico di ²³⁴U /²³⁸U è solitamente variabile e sebbene sia stato determinato un rapporto pari a 28, l'intervallo è solitamente compreso fra 1 e 3 [12].

Le concentrazioni più elevate di ²³⁴U sono dovute al processo di rinculo alfa, che aumenta la mobilitazione e la solubilità del prodotto di decadimento ²³⁴U rispetto al progenitore ²³⁸U.

Gli isotopi ²³⁰Th e ²³⁴Th di solito non sono rilevabili nei campioni di acque sotterranee e una stima delle relative concentrazioni indica valori medi compresi fra 0,001 e 4×10^{-4} Bq/l rispettivamente [12]. Allo stesso modo, la concentrazione di ²³²Th nelle acque sotterranee è circa 4×10^{-4} Bq/l, e raramente supera 0,04 Bq/l [12].

Anche le concentrazioni dei prodotti di decadimento del ²²²Rn, ²¹⁰Pb e ²¹⁰Po, sono generalmente molto basse nelle acque sotterranee, da 7×10^{-4} a $4,4 \times 10^{-3}$ Bq/l [12].

La concentrazione di radon nelle acque sotterranee è notoriamente molto variabile. Negli Stati Uniti ancora una volta, per 2457 campioni di acque sotterranee analizzate per la determinazione

della concentrazione di ^{222}Rn , i valori di concentrazioni per ciascuno Stato variano da circa 30 Bq/l del Mississippi fino a oltre 500 Bq/l del New Hampshire e nel New Jersey [12].

Sebbene anche le acque superficiali contengano radionuclidi, nelle acque sotterranee, a causa della differente composizione chimica, i valori di concentrazione sono spesso più elevati.

I taluni casi alcune acque possono richiedere un trattamento specifico per ridurre le concentrazioni di radioisotopi a livelli compatibili con le normative e i residui (radioisotopi) del trattamento tendono a concentrarsi nei filtri o nei fanghi e possono determinare la contaminazione delle apparecchiature di filtraggio, necessitando peraltro di adeguate procedure di smaltimento.

Anche nei casi in cui le concentrazioni dei radionuclidi nelle acque grezze sono significativi ma non superiori ai valori standard, i consueti processi di trattamento, per esempio per l'abbattimento della durezza, possono causare l'accumulo di NORM in residui di processo.

Negli USA sono stati fissati valori limite per le concentrazioni di radio, uranio, alfa, beta nelle acque potabili e anche la normativa UE nonché la normativa italiana prevedono dei valori di riferimento per quanto riguarda le concentrazioni di radioattività.

13.2 Tipologia di processi

I processi di trattamento delle acque grezze al fine di renderle adatte al consumo umano sono numerosi e dipendono generalmente dal tipo di contaminanti da rimuovere. Alcuni tipi di processo, progettati per rimuovere altri contaminanti, spesso determinano anche la rimozione dei NORM, mentre in alcuni casi è necessario adottare processi specifici che consentano di ridurre le concentrazioni di NORM (ad esempio ^{226}Ra) se queste sono particolarmente elevate nell'acqua grezza.

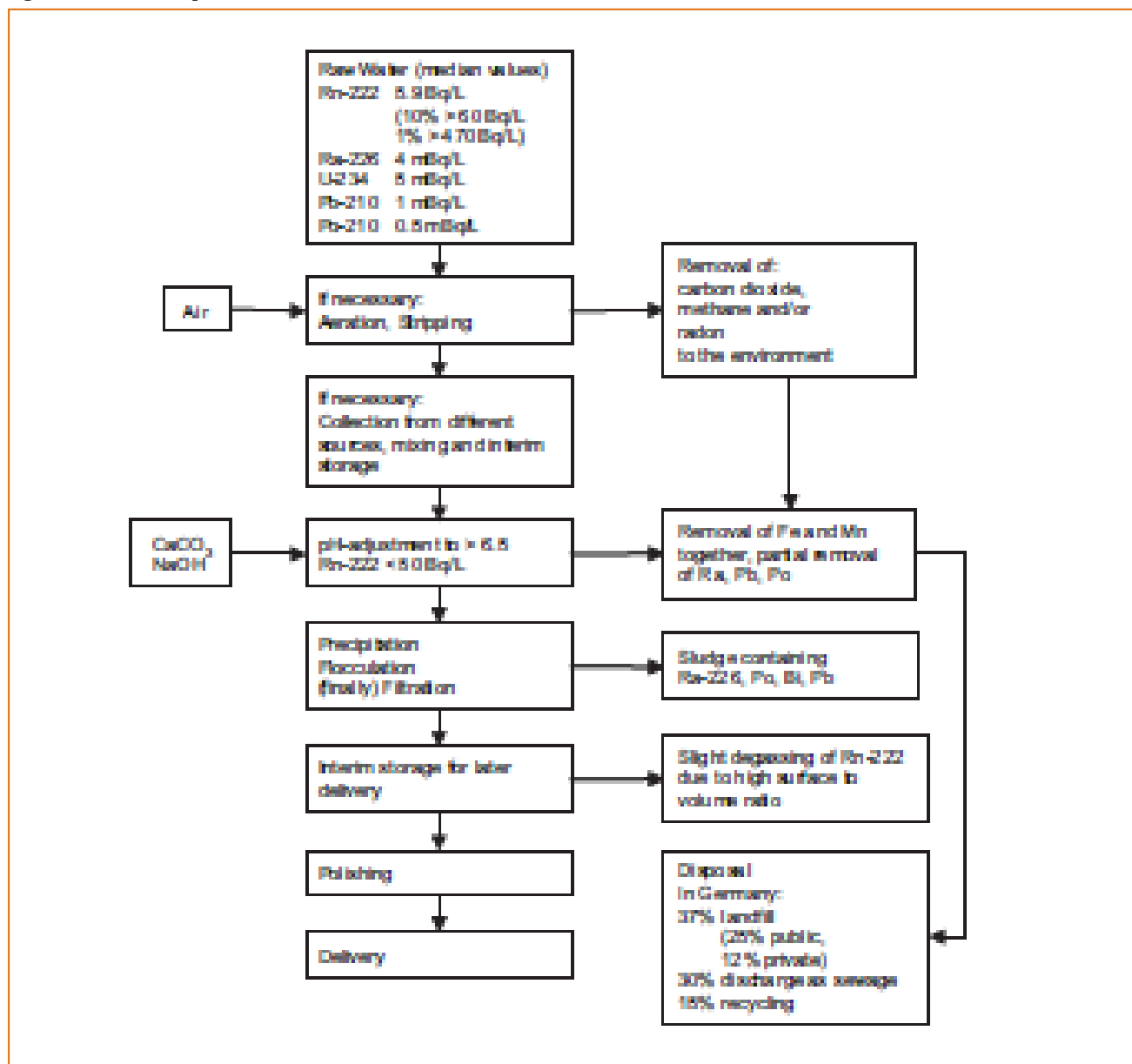
In generale, i processi che determinano la rimozione dei NORM comportano la produzione di residui con elevate concentrazioni di attività di NORM [12].

La figura (Fig. 13.1) riporta lo schema di trattamento di acque potabili che non è specificamente rivolto a rimuovere NORM per un impianto in Germania, tratto da un rapporto elaborato per la Commissione Europea [97].

Il processo comprende quattro fasi: aerazione, la rimozione di ferro e manganese, regolazione del pH e filtrazione.

Nello schema sono riportati i radionuclidi/NORM che possono subire processi di accumulo per ciascuna fase del processo, compreso lo smaltimento finale dei residui.

Fig. 13.1 Schema di processo



Un rapporto predisposto per gli Stati Uniti dall'Environmental Protection Agency (US EPA) [38] descrive vari processi utilizzati per rimuovere i radionuclidi dall'acqua potabile.

Il rapporto descrive quindi i principali residui sia solidi (resine esauste, materiale di filtrazione, membrane e altro) che liquidi (comprehensive delle acque di lavaggio, acque reflue, residui concentrati, residui dei vapori di condensazione etc.).

Dallo schema riportato nella Fig. 13.2 [38] si evidenzia ad esempio che il trattamento con resine a scambio ionico (IX-Ionic eXchange) determina la produzione di resine esauste, acque di controlavaggio, salamoie e acque di risciacquo, mentre la coprecipitazione con solfato di bario determina la produzione di resine esauste, fanghi e acque di controlavaggio.

Fig. 13.2 Schema di produzione dei residui

Treatment	Types of Residuals							
	Solid			Liquid				
	Spent Resins/ Media	Spent Membranes	Sludge	Brine	Backwash Water	Rinse Water	Acid Neutralization Water	Concentrate
IX	✓			✓	✓	✓		
RO		✓						✓
Lime Softening	✓		✓		✓			
Green Sand Filtration	✓		✓		✓			
Co-precipitation with Barium Sulfate	✓		✓		✓			
Electrodialysis/ Electrodialysis Reversal		✓						✓
Pre-formed Hydrous Manganese Oxide Filtration	✓		✓		✓			
AA	✓			✓	✓	✓	✓	
Coagulation/Filtration	✓		✓		✓			

La scelta della tipologia di trattamento è condizionata dalla disponibilità e dai costi dei relativi sistemi di smaltimento.

Nella guida sono riassunte le principali BAT (Best Achievable Technologies) e SSTC (Small System Compliance Technologies).

Nella figura successiva (Fig. 13.3) è riportato lo schema delineato nel rapporto [38].

Figura 13.3 – BAT U.S.-EPA per la scelta delle tipologie di impianto

Treatment Technology	Designation	Customers Served (SSCTs only)	Treatment Capabilities				Source Water Considerations	Operator Skill Required
	BAT and/or SSCT?		Radium (Ra)	Uranium (U)	Gross Alpha (G)	Beta/p baton (B)		
IX	BAT & SSCT	25-10,000	✓	✓		✓	All ground waters	Intermediate
Point of Use (POU) IX	SSCT	25-10,000	✓	✓		✓	All ground waters	Basic
Reverse Osmosis (RO)	BAT & SSCT	25-10,000 (Ra, G, B) 501-10,000 (U)	✓	✓	✓	✓	Surface waters usually requiring pre-filtration	Advanced
POU RO	SSCT	25-10,000	✓	✓	✓	✓	Surface waters usually requiring pre-filtration	Basic
Lime Softening	BAT & SSCT	25-10,000 (Ra) 501-10,000 (U)	✓	✓			All waters	Advanced
Green Sand Filtration	SSCT	25-10,000	✓				Typically ground waters	Basic
Co-precipitation with Barium Sulfate	SSCT	25-10,000	✓				Ground waters with suitable water quality	Intermediate to Advanced
Electrodialysis/ Electrodialysis Reversal	SSCT	25-10,000	✓				All ground waters	Basic to Intermediate
Pre-formed Hydrous Manganese Oxide Filtration	SSCT	25-10,000	✓				All ground waters	Intermediate
AA	SSCT	25-10,000		✓			All ground waters	Advanced
Coagulation/ Filtration	BAT & SSCT	25-10,000		✓			Wide range of water qualities	Advanced

Lo stesso U.S.EPA ha sviluppato un modello (SPARRC Spreadsheet Program to Ascertain Residuals Concentration) che individua le potenziali concentrazioni critiche di radioisotopi nei residui e nei filtri. La versione attuale consente inoltre di determinare le concentrazioni residue di altri contaminanti, come è riportato nella Fig. 13.4

Figura 13.4 - Schema modello SPARRC (U.S. EPA) [38]

Technology	Radionuclides	Co-Contaminant
Coagulation Filtration	Uranium	Arsenic
Lime Softening	Radium and Uranium	None
IX	Radium, Barium, and Uranium	None
RO	Radium and Uranium	None
AA	Uranium	Arsenic
Green Sand Filtration	Radium and Barium	None

13.3 Produzione di residui/rifiuti

Esempi di residui radioattivi da impianti municipali di trattamento delle acque potabili sono, come già detto, rifiuti solidi e fanghi compresi i fanghi di filtrazione, resine a scambio ionico esauste, carbone attivo granulare esausto così come le acque di lavaggio dei filtri.

Le resine a scambio ionico producono rifiuti con concentrazioni di attività molto superiori a quelle che si trovano nei fanghi, ma in genere i volumi sono molto inferiori e quindi l'attività totale dei residui può essere inferiore. In generale, maggiore è l'efficienza di estrazione cationica delle resine e maggiore risulta l'attività specifica dei residui.

Le concentrazioni delle acque grezze possono variare notevolmente a causa delle differenti caratteristiche geologiche degli acquiferi nelle varie regioni di un paese.

Date le quantità di acqua che vengono trattate in un tipico impianto di trattamento delle acque, le quantità dei residui possono essere notevoli.

Sulla base di indagini condotte dalla American Water Works Association (AWWA) sui maggiori servizi idrici degli Stati Uniti [12], l'EPA ha stimato che, con qualche incertezza, vengono prodotte 260 000 t/anno di residui contenenti NORM.

La figura 13.5 fornisce alcuni esempi degli importi e dei contenuti di radionuclidi di rifiuti NORM da diversi processi utilizzati negli USA [12].

Figura 13.5 – Produzione di residui radioattivi liquidi da un impianto di trattamento

TABLE XVII. CHARACTERISTICS OF SELECTED WATER TREATMENT WASTES (COMPUTED LEVELS) [86]

(waste amounts based on an average throughput of 1 million gallons (≈380 000 L) of water per day)

Treatment method	NORM concentration in water (Bq/L)		Waste volume (kg/d)	Approximate radioactivity (Bq/L)
	Raw	Finished		
Coagulation/filtration (U)	1.85	0.37	10 ^a	148
Lime softening (Ra)	0.93	0.46	22 ^a	20.6
Ion exchange (Ra) ^b	0.93	0.19	97 ^c	7.7
Reverse osmosis (U)	1.85	0.56	130 ^c	11.8

^a Sludges.

^b Does not include ion exchange resins, which have much higher radioactivity levels.

^c Waste.

Dalla figura precedente risulta evidente il processo di accumulo ma i valori di concentrazione sui residui liquidi non paiono particolarmente elevati (max circa 150 Bq/l di Uranio per impianti a filtrazione con un fattore d'accumulo pari a circa 100).

Valori tipici (stimati) di concentrazioni di radionuclidi per impianti di trattamento delle acque in Germania sono forniti nella seguente Fig. 13.5 [12].

Fig. 13.5 - Valori tipici (stimati) di concentrazioni di radionuclidi per impianti di trattamento delle acque (Germania)

TABLE XVIII. TYPICAL DATA FOR SLUDGE CONTAINING NATURAL RADIONUCLIDES PRODUCED BY A LARGE WATER-WORKS IN GERMANY [97]

Weekly throughput of water	420 000 m ³
Total activity of this water assuming very conservative estimate of concentration	3 654 000 000 Bq
Total activity taking maximum measured radionuclide content in Germany	588 000 000 Bq
Total activity using median value for tap water in Germany	8 400 000 Bq
Produced sludge per week	15 t
Dry solids in sludge	6 t
Specific activity of dried sludge for different water concentrations:	
— High conservative concentration	600 000 Bq/kg
— Maximum measured concentration	100 000 Bq/kg
— Median concentration for tap water	1 400 Bq/kg

Dalla tabella precedente risulta quindi che, per un impianto che tratta circa 20 Mm³/anno con un'attività totale media di circa 20 Bq/m³ possono essere prodotti rifiuti (fanghi) con una concentrazione pari a 1400 Bq/kg sul peso secco e circa 500 Bq/kg sul tal quale, i quali corrispondono alla produzione di rifiuti solidi con un'attività totale di circa 440 MBq/anno.

13.4 La situazione in Italia

Il volume e la numerosità dei prelievi di acqua per uso potabile sul territorio dipendono da diversi fattori, tra cui la popolazione da servire e, soprattutto, le caratteristiche idrogeologiche locali, visto che la risorsa non è uniformemente distribuita nel Paese. Spesso i punti di prelievo sono distanti dai luoghi di consumo finale, soprattutto nel Centro-Sud, e tale situazione può determinare aree di maggiore criticità idrica. Ciò richiede la presenza di sistemi infrastrutturali complessi e il trasporto di ingenti volumi di acqua per lunghe distanze, in diversi casi anche tra regioni confinanti. Insieme, le regioni del Nord-ovest e del Sud contribuiscono a più della metà dei prelievi complessivi di acqua per uso potabile.

La Lombardia è la regione dove si preleva il maggior volume di acqua per uso potabile, il 16% del totale. Volumi consistenti si rilevano anche nel Lazio (12,5%) e in Campania (10,1%). Valle d'Aosta e Sicilia sono le regioni in cui si registra, rispetto al 2008, il maggior incremento percentuale nei prelievi, con una crescita, rispettivamente, del 32,7% e del 14,1%. Di contro, Puglia

e Marche segnano la maggiore contrazione, rispettivamente del 14,7% e del 13,2%. La variazione nei volumi prelevati dall'ambiente, oltre a derivare da un diverso sfruttamento della risorsa (dovuto generalmente a un aumento della diffusione del servizio), risente anche di situazioni locali specifiche. In alcuni casi di criticità, ad esempio dove ci sono molte dispersioni di rete, per garantire un livello di erogazione costante è necessario prelevare volumi maggiori e immettere più acqua nella rete di distribuzione [39]

Prima di essere distribuita, l'acqua grezza può subire - se necessario - dei trattamenti di potabilizzazione più o meno complessi. Questi servono a eliminare gli eventuali inquinanti e a garantirne la qualità nelle reti fino al rubinetto dei consumatori. Una parte dell'acqua viene utilizzata nel processo di potabilizzazione, per cui il volume in uscita dall'impianto è minore di quello in entrata.

La tabella seguente (Tab 13.5) riporta per l'anno 2012 i volumi di acqua prelevata ad uso potabile, acqua potabilizzata, e la percentuale di acqua potabilizzata sul totale di acqua prelevata per ripartizione geografica e regione [39]

Tabella 13.5 - Volumi di acqua prelevata ad uso potabile, acqua potabilizzata, percentuale di acqua potabilizzata sul totale di acqua prelevata per ripartizione geografica e regione - Anno 2012 (milioni di metri cubi, valori percentuali)

REGIONI RIPARTIZIONI GEOGRAFICHE	Acqua prelevata	Acqua potabilizzata	Percentuale di acqua potabilizzata
Piemonte	654	248	37,9
Valle d'Aosta/Vallée d'Aoste	53	2	3,1
Liguria	244	92	37,7
Lombardia	1.513	673	44,5
Trentino-Alto Adige	201	27	13,6
Bolzano - Bozen	76	8	10,1
Trento	125	20	15,7
Veneto	715	108	15,1
Friuli-Venezia Giulia	234	85	36,1
Emilia-Romagna	507	282	55,6
Toscana	462	267	57,8
Umbria	115	17	14,9
Marche	176	40	22,9
Lazio	1.186	59	5,0
Abruzzo	303	20	6,5
Molise	171	11	6,7
Campania	953	100	10,5
Puglia	179	91	50,6
Basilicata	327	273	83,6
Calabria	422	91	21,5
Sicilia	714	161	22,6
Sardegna	330	248	75,1
ITALIA	9.459	2.895	30,6
Nord-ovest	2.465	1.015	41,2
Nord-est	1.657	502	30,3
Centro	1.938	384	19,8
Sud	2.355	585	24,9
Isole	1.044	409	39,2

Tali volumi sono il risultato della fruibilità idrica propria del territorio, degli scambi interregionali e degli usi non civili

Sempre secondo l'ISTAT nel 2012 la produzione giornaliera di acqua per uso potabile in uscita dai trattamenti di potabilizzazione è pari a circa otto milioni di metri cubi, che corrispondono a un totale annuo di 2,9 miliardi di metri cubi, pari al 30,6% dell'acqua prelevata. Tale quota si è leggermente ridotta rispetto al 2008.

Si deve precisare che il solo processo di disinfezione (clorazione o altra metodologia) non costituisce trattamento di potabilizzazione e pertanto nella tabella precedente sono compresi gli impianti che prevedono un trattamento più elaborato delle acque grezze.

La quota di acqua potabilizzata risente delle caratteristiche idrogeologiche del corpo idrico da cui sono captate le acque. Le acque sotterranee, essendo di migliore qualità, non richiedono di norma processi di potabilizzazione, ad eccezione dei casi in cui siano stati riscontrati fenomeni di inquinamento di origine antropica o naturale. Al contrario, le acque superficiali devono essere trattate nella quasi totalità dei casi. Maggiori volumi di acqua potabilizzata si riscontrano, pertanto, in quelle regioni dove maggiore è il prelievo da acque superficiali.

Come evidente dalla tabella precedente, le regioni con la maggior quota di acqua sottoposta a trattamenti di potabilizzazione sono Basilicata (83,6%) e Sardegna (75,1%). In tali regioni, a causa dell'elevato utilizzo di acqua di fiumi e bacini artificiali, oltre i tre quarti del volume prelevato vengono trattati. Le quote del potabilizzato sono considerevoli anche in Toscana (57,8%), Emilia-Romagna (55,6%) e Puglia (50,6). La Valle d'Aosta si distingue per il minor impiego di trattamenti di potabilizzazione (3,1%).

Nella tabella seguente è riportata l'origine complessiva delle acque ad uso potabile in Italia negli anni 2002-2005 [40].

Tabella 13.6: *Prelievi d'acqua per uso potabile*

Anno	Acque Superficiali	Acque Sotterranee	Altro	TOTALE		
	m ³ /anno					
2002	1.067.621.682	4.712.865.934	21.465.173	5.801.952.789	18%	81%
2003	1.112.678.799	4.917.210.636	24.822.316	6.054.711.751	18%	81%
2004	1.178.712.965	4.990.241.089	20.537.960	6.189.492.014	19%	81%
2005	1.311.457.893	5.130.956.044	22.745.524	6.465.159.461	20%	79%

La tabella seguente riporta i prelievi suddivisi per regioni (I dati con * sono stimati in relazione al rapporto 2002 – 2005)

Tabella 13.7: *Prelievo d'acqua per uso potabile, dettaglio regionale (2005)*

Regione/Provincia autonoma	Acque sotterranee	Acque superficiali	Altro	TOTALE	
	m ³ /anno				%
Valle d'Aosta *	13.500.000	0		13.500.000	0,2
Piemonte	398.132.419	29.966.956		428.099.375	6,6
Lombardia *	947.878.816	22.583.079		970.461.895	15,0
Liguria	141.283.105	156.371.840		297.654.945	4,6
Emilia Romagna	268.725.775	106.828.565	38.092	375.592.432	5,8
Veneto	416.147.764	63.614.945	2.168.691	481.931.400	7,5
Friuli Venezia Giulia	142.592.725	9.981.290	781	152.574.796	2,4
Trento	28.422.550	0		28.422.550	0,4
Bolzano	21.000.000	0		21.000.000	0,3
Toscana *	185.464.231	21.547.146		207.011.377	3,2
Marche	5.358.067	542.888		5.900.955	0,1
Abruzzo	139.875.665	12.410.000		152.285.665	2,4
Umbria	59.529.675	0		59.529.675	0,9
Lazio	944.805.172	19.281.738		964.086.910	14,9
Campania *	538.144.000	94.608.000		632.752.000	9,8
Basilicata *	35.517.000	30.850.000		66.367.000	1,0

Regione/Provincia autonoma	Acque sotterranee	Acque superficiali	Altro	TOTALE	
	m ³ /anno				%
Molise	43.858.611	5.671.159		49.529.770	0,8
Puglia	163.016.797	380.372.525		543.389.322	8,4
Calabria *	176.000.000	26.000.000		202.000.000	3,1
Sicilia *	403.567.259	124.707.754	20.537.960	548.812.973	8,5
Sardegna *	58.136.413	206.120.008		264.256.421	4,1
TOTALE	5.130.956.044	1.311.457.893	22.745.524	6.465.159.461	100,0

Fonte: Elaborazione ISPRA su dati del Ministero della salute - Dipartimento prevenzione e comunicazione

Dall'incrocio delle informazioni precedenti risulta che in diverse regioni, a fronte di un approvvigionamento prevalente da parte di acque sotterranee, le acque, per vari motivi, devono essere sottoposte quindi a un trattamento che non consiste nella sola clorazione ai fini della disinfezione. (milioni di metri cubi, valori percentuali)

Nella tabella seguente sono riportate le stime delle quote di acque sotterranee sottoposte a trattamento prima dell'erogazione. La tabella deriva dal confronto fra i dati 2012 e i dati 2005, pertanto presenta diversi disallineamenti dovuti sia alle variazioni temporali che, evidentemente, al fatto che in alcune regioni, probabilmente, alcune acque superficiali vengono erogate senza preventiva potabilizzazione in impianto.

Tabella 13.8

REGIONI	Acqua prelevata	Acqua potabilizzata	Percentuale di acqua potabilizzata	superficiale	sotterranea	residuo sotterranee sottoposte a trattamento
Piemonte	654	248	37,9	7%	93%	31%
Valle d'Aosta/Vallée d'Aoste	53	2	3,1	0%	100%	3%
Liguria	244	92	37,7	53%	47%	-15%
Lombardia	1.513	673	44,5	2%	98%	42%
Bolzano - Bozen	76	8	10,1	0%	100%	10%
Trento	125	20	15,7	0%	100%	16%
Veneto	715	108	15,1	13%	86%	2%
Friuli-Venezia Giulia	234	85	36,1	7%	93%	30%
Emilia-Romagna	507	282	55,6	28%	72%	27%
Toscana	462	267	57,8	10%	90%	47%
Umbria	115	17	14,9	0%	100%	15%
Marche	176	40	22,9	9%	91%	14%
Lazio	1.186	59	5,0	2%	98%	3%
Abruzzo	303	20	6,5	8%	92%	-2%
Molise	171	11	6,7	11%	89%	-5%
Campania	953	100	10,5	15%	85%	-4%
Puglia	179	91	50,6	70%	30%	-19%
Basilicata	327	273	83,6	46%	54%	37%
Calabria	422	91	21,5	13%	87%	9%
Sicilia	714	161	22,6	23%	74%	0%
Sardegna	330	248	75,1	78%	22%	-3%
ITALIA	9.459	2.895	30,6	21%	78%	9%

Attualmente sono in corso (vedasi i prodotti della Task 03.02.01 della presente Convenzione ISPRA/MATTM/ARPA) alcune valutazioni sulla rilevanza sia in termini di attività complessiva

dei residui prodotti da alcuni impianti di trattamento di acque sotterranee ai fini idropotabili, sia in termini di rilevanza dal punto di vista dell'esposizione della popolazione e del personale.

14 PRODUZIONE DI ENERGIA GEOTERMICA

14.1 Introduzione – principi generali

L'energia geotermica è l'energia immagazzinata sotto forma di calore al disotto della superficie terrestre. Questa energia deriva dal flusso di calore che si propaga dalle parti più interne del nostro pianeta (nucleo e mantello) verso la superficie, attraverso la crosta terrestre. L'origine del calore terrestre è legato alla formazione del pianeta (parte del calore originario e ancora contenuto nel nucleo e nel mantello) ed al calore radiogenico che si produce continuamente per decadimento degli isotopi di alcuni elementi, come K, U e Th, contenuti nelle rocce.

Le nuove tecnologie di sfruttamento disponibili, la rinnovata e forte attenzione mondiale alle energie rinnovabili e la concreta possibilità di sinergia con le altre fonti rinnovabili rendono la geotermia di grande interesse economico ed ambientale per l'uomo.

La localizzazione delle risorse geotermiche più importanti è controllata dalla geodinamica globale del nostro pianeta. Le zone dove il flusso di calore e la temperatura sono più elevate, e quindi dove le risorse geotermiche sono più superficiali, coincidono con le dorsali medio-oceaniche, con i punti caldi, e con le zone orogeniche ed in particolare, ma non solo, con zone di vulcanismo attivo e recente oppure con aree interessate da magmatismo.

La localizzazione delle anomalie geotermiche coincide inoltre con le zone sismiche attive del pianeta. Terremoti, vulcani e geotermia sono quindi intimamente legati.

Nelle regioni stabili continentali, il flusso termico è strettamente dipendente dalla locale concentrazione di isotopi radioattivi in particolare Uranio, Torio e Potassio. E' inoltre presente una forte correlazione tra il flusso di calore osservato e l'età delle rocce nelle aree in esame; flussi di calore inferiori sono associati ad aree stabili, molto antiche, flussi maggiori ad aree più giovani.

Da molte misurazioni effettuate è emerso che il gradiente termico cambia da località a località, sebbene valori tipici si trovino in un range compreso tra 2-3,5°C ogni 100m. Di conseguenza se la temperatura nei primi 10-15 m sotto la superficie corrisponde in prima battuta alla temperatura media annua dell'aria esterna (in genere 14-15°C), si può prevedere che la temperatura sia 65-75 °C a 2.000 m di profondità, 90-105 °C a 3.000 m e via di seguito per alcune migliaia di metri.

Vi sono comunque vaste regioni nelle quali il valore del gradiente geotermico si discosta sensibilmente da quello medio, in aree in cui il basamento rigido sprofonda e si forma un bacino che si riempie di sedimenti geologicamente molto giovani, il gradiente geotermico può essere anche inferiore a 1°C ogni 100 m.

Viceversa in certe aree geotermiche il gradiente può raggiungere valori superiori a dieci volte quello normale e si parla di “sistemi geotermici” o anche di “anomalie geologiche”. La differenza di temperatura tra le zone profonde più calde e quelle superficiali più fredde, dà origine ad un flusso di calore dall'interno verso l'esterno della Terra, tendente a stabilire condizioni di uniformità che difficilmente saranno mai raggiunte.

il settore minerario in Italia, è il **Regio Decreto n° 1443 del 29/07/1927 “Norme di carattere legislativo per disciplinare la ricerca e la coltivazione delle miniere nel regno”**, modificato ed integrato ripetutamente nel corso degli anni.

14.1.1 Sistema geotermico

Un sistema geotermico può essere definito come “un sistema acqueo convettivo, che, in uno spazio confinato della parte superiore della crosta terrestre, trasporta il calore da una sorgente termica al luogo, generalmente la superficie, dove il calore stesso è assorbito (disperso o utilizzato)”.

In genere è formato da tre elementi:

- la **sorgente** può essere un'intrusione magmatica a $T > 600^{\circ}\text{C}$, posta a profondità relativamente piccole comprese tra 5-10km, oppure come in alcuni sistemi a bassa temperatura, il normale calore della terra;
- il **serbatoio (reservoir)** è un complesso di rocce permeabili o fratturate artificialmente, nel quale i fluidi possono circolare, assorbendo il calore; il serbatoio generalmente è ricoperto da rocce impermeabili e connesso a zone di ricarica superficiali dalle quali le acque meteoriche possono infiltrarsi e reintegrare, totalmente o parzialmente, i fluidi perduti attraverso vie naturali (per esempio sorgenti) o che sono estratti mediante pozzi.
- il **fluido geotermico** è quasi sempre acqua meteorica in fase liquida o vapore, in dipendenza dalla sua pressione e temperatura; spesso l'acqua trascina con sé sostanze chimiche e gas come CO_2 , H_2 , S ed altri; in alcuni casi l'acqua può anche essere immessa artificialmente.

Inizialmente si consideravano solo le risorse idrotermali munite di un serbatoio in cui il calore si propaga per convezione a seguito dei moti convettivi dei fluidi contenuti e che possono essere ad acqua dominante (con contenuto energetico inferiore) o a vapore dominante (con contenuto energetico molto elevato).

Successivamente è iniziata l'esplorazione e lo sfruttamento di sistemi geotermici formati in regioni con gradiente geotermico normale o poco più alto e, soprattutto, nelle regioni prossime ai margini delle zolle crostali, dove il valore del gradiente geotermico può essere anche notevolmente superiore a quello medio. Nel primo caso questi sistemi hanno temperature basse, di solito non più di 100°C a profondità economicamente utili, mentre nel secondo caso si può avere una vasta gamma di temperature, da basse sino ad oltre 400°C .

I sistemi idrotermali sono finora gli unici ad essere sfruttati a livello industriale per la produzione di energia elettrica.

Esistono poi altri tre tipi di sistemi ancora in fase di studio o di sperimentazione più o meno avanzata:

- i sistemi geopressurizzati, nei quali non si ha alcuna comunicazione con la superficie e in cui il calore si propaga per conduzione;
- i sistemi geotermici non convenzionali, che non contengono in origine neanche il fluido, ma che possono essere artificialmente fratturate dando luogo ad un serbatoio geotermico artificiale;
- i sistemi magmatici dove si sfrutta l'idea di estrarre energia da magmi a profondità accessibile ai mezzi di perforazione.

Il più comune criterio di **classificazione delle risorse geotermiche** si basa sull'entalpia dei fluidi, che trasferiscono il calore dalle rocce calde profonde alla superficie. L'entalpia, che può essere considerata più o meno proporzionale alla temperatura, è usata per esprimere il contenuto termico (energia termica) dei fluidi, e da un'idea approssimativa del loro "valore".

Le risorse sono divise in risorse a bassa, media ed alta entalpia (o temperatura), anche se non esiste ancora una terminologia standard adottata in campo internazionale.

La Tabella 14.1 riporta le classificazioni più diffusamente usate nel settore delle risorse geotermiche. Quando si parla di fluidi geotermici è bene, comunque, indicare la loro temperatura, o almeno un intervallo di temperatura, perché i termini bassa, media o alta possono avere significati diversi e creare errori di interpretazione.

Tabella 14.1: *Classificazione delle risorse geotermiche in base al D.Lgs 22/2010 sul riassetto della normativa sulle risorse geotermiche.*

Classificazione nazionale delle risorse geotermiche	T (°C)
Risorse a bassa entalpia	< 90
Risorse a media entalpia	90-150
Risorse ad alta entalpia	>150

Frequentemente viene fatta una suddivisione tra sistemi geotermici ad acqua dominante e sistemi geotermici a vapore dominante (o a vapore secco).

Nei sistemi ad acqua dominante, l'acqua liquida è la fase continua, che controlla la pressione mentre il vapore può essere presente in forma di bolle. Questi sistemi geotermici, la cui temperatura può andare da circa 125° a valori superiori a 225°C, sono i più diffusi nel mondo. Essi possono produrre, in funzione dalla loro temperatura e pressione, acqua calda, una miscela di acqua e vapore, vapore umido e, in alcuni casi, vapore secco.

Nei sistemi a vapore dominante normalmente coesistono nel serbatoio acqua liquida e vapore, che è la fase continua e controlla la pressione. Questi sono sistemi ad alta temperatura e normalmente producono vapore secco o surriscaldato. I sistemi geotermici di questo tipo sono piuttosto rari; i più conosciuti sono Larderello in Italia e The Geysers in California.

Altra suddivisione dei sistemi geotermici è basata sullo stato di equilibrio del serbatoio, che tiene conto della circolazione dei fluidi e dello scambio termico nel serbatoio. Nei sistemi dinamici l'acqua ricarica in continuazione il serbatoio, si riscalda ed è poi scaricata alla superficie o nel sottosuolo stesso nelle formazioni rocciose permeabili all'intorno. Il calore è acquisito dal sistema per conduzione e per effetto della circolazione dei fluidi. Questa categoria comprende sistemi ad alta temperatura (>150°C) e a bassa temperatura (<150°C). Nei sistemi statici la ricarica del serbatoio è molto ridotta o nulla e lo scambio termico avviene soltanto per conduzione. Questa categoria comprende sistemi a bassa temperatura e i sistemi geopressurizzati.

I sistemi geopressurizzati possono formarsi nei grandi bacini sedimentari (es: il Golfo del Messico) a profondità di 3–7 km. I serbatoi geopressurizzati sono formati da rocce sedimentarie permeabili, inglobate entro strati impermeabili a bassa conduttività, contenenti acqua calda pressurizzata, che è rimasta intrappolata al momento della deposizione dei sedimenti. La pressione dell'acqua calda è vicina alla pressione litostatica, superando largamente la pressione idrostatica. I serbatoi geopressurizzati possono contenere anche quantità significative di metano. I sistemi geopressurizzati potrebbero produrre energia termica e idraulica (acqua calda in pressione) e gas metano.

Il termine campo geotermico è una definizione geografica, che generalmente indica una zona della superficie terrestre con attività geotermica. In assenza di manifestazioni geotermiche superficiali, questo termine è usato per indicare un'area corrispondente ad un serbatoio geotermico profondo.

14.1.2I sistemi geotermici non convenzionali

La sorgente di calore è l'unico dei tre elementi di un sistema geotermico che deve essere naturale, gli altri due elementi possono essere artificiali.

Per la maggior parte di questi sistemi non ci sono impianti produttivi attivi, se non a carattere sperimentale.

Il campo dei sistemi geotermici **non Convenzionali** [41], comprende i seguenti sistemi:

- sistema a rocce calde secche (HDR)

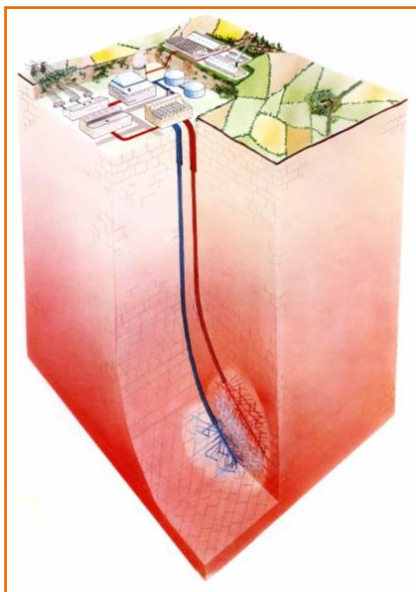
- sistema a rocce calde fratturate (HFR)
- i sistemi geotermici stimolati (EGS)

I sistemi EGS avanzati con scambio termico e circuito chiuso in profondità comprendono: a) i sistemi geopressurizzati; b) i sistemi magmatici; c) i sistemi a fluidi supercritici; d) i sistemi a salamoia calda.

Con il termine **Hot Dry Rock (HDR)**, ovvero **Rocce Calde Secche** si intende la coltivazione del calore immagazzinato in rocce profonde ad alta temperatura, generato in complessi geologici profondi a temperatura ≥ 200 °C, caratterizzati da permeabilità nulla o molto bassa, privi perciò di circolazione naturale, e quindi “secchi”. L’ipotesi era quella di utilizzare il calore delle rocce per scaldare acqua introdotta in complessi magmatici con pozzi di iniezione, ed estrarla con pozzi di produzione, far vaporizzare con essa il fluido di lavoro di un impianto a ciclo binario, ed azionare così un turbogeneratore capace di produrre energia elettrica a scala commerciale.

Elemento caratterizzante del sistema HDR era il fatto che dovesse trattarsi di complessi idrogeologicamente sterili, a temperature sufficientemente alte da poter riscaldare acqua superficiale, iniettata in una rete di fratture create artificialmente mediante fratturazione idraulica (hydrafrac), **Hot Fractured Rock (HFR)**, ovvero **Rocce Calde Fratturate** e/o con altre tecniche quali: uso di esplosivi a dosaggio controllato, stress termico (thermal shock), e lisciviazione chimica (chemical leaching).

Figura 14.1: Rappresentazione schematica di un sistema geotermico artificiale (Progetto Rocce calde secche)



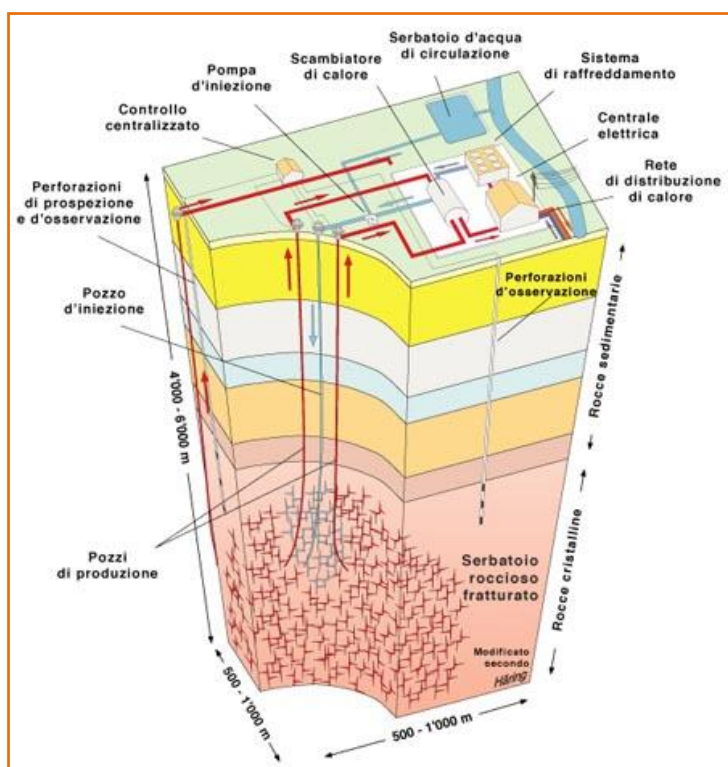
Le fratture così create potevano essere mantenute beanti in vari modi: o con la circolazione forzata dell’acqua stessa iniettata dall’esterno (che doveva funzionare anche da fluido vettore del calore sottratto alle rocce calde secche), e/o per mezzo di proppanti (sferule di materiale molto duro e resistente allo schiacciamento) iniettati in pressione nelle fratture artificialmente create, e/o mediante lisciviazione con agenti chimici delle facce delle fratture, fino a giungere a creare veri e propri **sistemi geotermici artificiali** nei quali solo il calore delle rocce costituiva la componente naturale, mentre tutto il resto (creazione del serbatoio, mantenimento di fratture beanti, iniezione di acqua in pressione, collegamento idraulico tra pozzi di iniezione e di emungimento, e circolazione forzata di acqua a loop chiuso) poteva essere creato con operazioni di ingegneria geologica.

I fluidi scaricati da una centrale geotermoelettrica, dopo che ne è stata sfruttata l'energia termica, possono essere immessi di nuovo nel serbatoio da cui erano stati estratti, attraverso appositi pozzi di reiniezione. In questo modo l'alimentazione meteorica naturale del serbatoio è integrata dalla ricarica artificiale. Inoltre, la reiniezione dei fluidi sfruttati può essere adottata per ridurre drasticamente l'impatto ambientale degli impianti geotermici.

Successivamente il concetto delle **Hot Dry Rock (HDR)**, venne superato e si cominciò a parlare di **Enhanced Geothermal Systems (EGS)**, ovvero di **Sistemi Geotermici Stimolati, Assistiti o Avanzati** definito "Un sistema geotermico Stimolato/assistito è un serbatoio sotterraneo che può essere creato o migliorato artificialmente" [42].

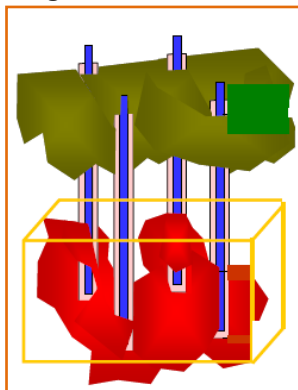
Il serbatoio viene creato in tutto o in parte artificialmente con operazioni di *hydrafrac* e/o con altri mezzi. Il calore contenuto nelle rocce e nei fluidi che permeano i pori e le fratture (naturali o neo-formate) delle rocce del serbatoio viene parzialmente asportato e trasferito in superficie mediante circolazione di acqua a loop chiuso, introdotta dall'esterno con pozzi di iniezione ed estratta con pozzi di produzione.

Figura 14.2: Principio di funzionamento di un sistema geotermico stimolato nelle rocce profonde dello zoccolo cristallino [43]



Recentemente è stata prospettata, grazie al lavoro di ricercatori che fanno riferimento all'Associazione Italiana Sistemi Geotermici Avanzati (AISGA), in particolare del Politecnico di Milano, dell'Istituto di Geoscienze e Georisorse del Consiglio Nazionale della Ricerche e del Politecnico di Torino, una **"Geotermia di Terza Generazione"** [44]

Figura 14.3



Si tratta in estrema sintesi di “posizionare” in profondità “scambiatori di calore a circuito chiuso” che possano consentire di fare transitare il fluido - l’acqua - che dovrà scaldarsi a sufficienza vicino la roccia calda, per giungere alle turbine o agli scambiatori posti in superficie.

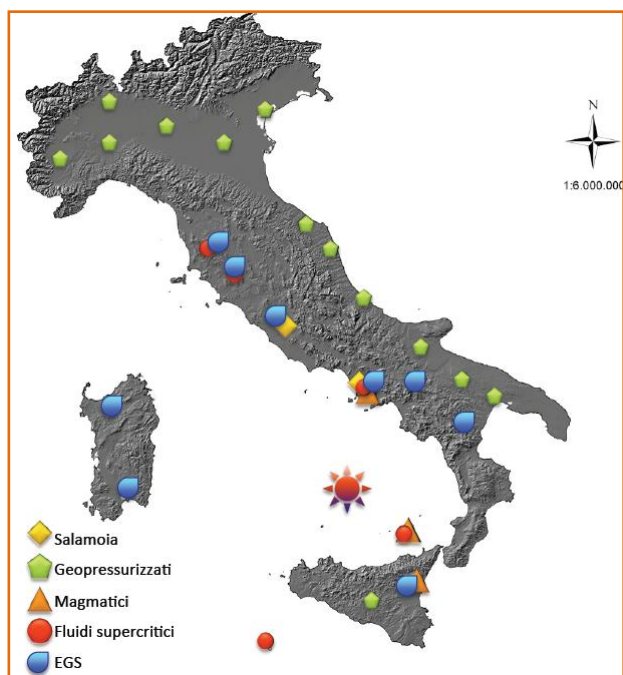
L’illustrazione a lato schematizza un sistema di questo tipo dove lo scambio termico con il sottosuolo è ottenuto in fori verticali (Sistema EGS-A-CL).

A differenza del sistema HDR, e dei sistemi EGS, con EGS-A-CL non vi è la necessità di ricorrere alla fratturazione idraulica e sono così superate le problematiche che questa pone per il controllo del processo. L’acqua viene immessa in fori dotati, ad esempio, di un doppio rivestimento

coassiale, ancorato alla roccia circostante. Questa fluisce verso il basso, nell’intercapedine, e risale nel tubo interno. Sono di fatto state studiate più configurazioni geometriche del sistema: a tubi coassiali, a tubi paralleli, di diametro uguale o differente, ecc. Si attua così un sistema a circuito chiuso (Closed Loop, CL) che ha il vantaggio di non interferire con il mezzo circostante (acqua, sali minerali, gas, eventualmente presenti) ed essere rispettoso dell’ambiente.

La roccia circostante ha tuttavia una ridotta conduttività termica, per cui si pone l’esigenza di dotare il sistema di una grande superficie di scambio in modo da poter estrarre una significativa quantità di energia. Ciò impone il ricorso a fori di diametro ben più grande di quelli che si adottano nell’industria petrolifera, con la conseguenza che per rendere competitivo il sistema occorre ridurre in particolare i costi di perforazione (si valuta che questa incida per il 50% sul costo globale di un impianto geotermico) e sviluppare, tra l’altro, materiali speciali per le tubazioni di rivestimento del pozzo, in presenza di alte pressioni e temperature, o mettere a punto nuove tecnologie di cementazione per ancorare il rivestimento stesso alla roccia. Tali attività attualmente sono solamente a livello di studio e non si è a conoscenza di interventi operativi che seguano questo modello.

Figura 14.4: *Atlante delle Risorse Geotermiche Non Convenzionali:[45]: I “sistemi geotermici non convenzionali”: definizioni, stato attuale delle tecnologie e frontiere di ricerca [42]*



14.2 Sorgenti di NORM negli impianti geotermici

I radioisotopi associati all'energia geotermica sono principalmente radon e radio, anche se i dati disponibili sono tuttora piuttosto limitati.

I processi che determinano la produzione di rifiuti potenzialmente contenenti NORM si possono suddividere sostanzialmente in [12]:

- processi di scavo e di realizzazione delle infrastrutture
- processi di gestione degli impianti

Nel corso delle attività di scavo i rifiuti prodotti sono essenzialmente i residui solidi generati dalla attività di perforazione e i rifiuti che possono derivare dall'uso di “fanghi di perforazione”.

Nel caso in cui le attività di perforazione dei pozzi di produzione e di iniezione richiedano l'uso di fanghi di perforazione speciale, i rifiuti di perforazione risultano infatti mescolati con il fango di perforazione.

Durante il processo di estrazione i fluidi geotermici contenenti costituenti la roccia disciolta e i sospesi sono portati in superficie. I residui solidi della roccia madre vengono separati dai fanghi di perforazione con vibrovagli, trappole a sabbia, centrifughe e questi ultimi, sottoposti a pulizia, vengono nuovamente utilizzati per le operazioni di foratura mentre i solidi rimossi vengono accumulati per lo essere poi avviati allo smaltimento. Al termine delle attività di perforazione anche i fanghi di perforazione vengono quindi avviati allo smaltimento [12].

In definitiva comunque, anche se il volume di rifiuti solidi generati durante la fase di perforazione può essere significativo, le potenziali fonti di produzione di NORM risiedono nei processi di precipitazione e sedimentazione dovuti all'interazione dei fluidi geotermici con i materiali di risulta o con i processi di gestione degli impianti stessi.

Tali processi si possono schematizzare come segue [12]:

- formazione di incrostazioni (scales) causate da processi di precipitazione all'interno nelle apparecchiature utilizzate per l'estrazione e la distribuzione di sistemi di alimentazione
- formazione di fanghi da processi di precipitazione e sedimentazione durante il processo di raffreddamento .
- emissioni di gas radon, che può verificarsi in qualsiasi fase del processo.

E possibile ritrovare tali incrostazioni sulle superfici interne delle apparecchiature di perforazione e produzione (ad esempio turbine a vapore, scambiatori di calore, linee di processo , valvole , turbine e attrezzature per la movimentazione di fluidi) usati per estrarre il calore geotermico. Tali residui contengono bario , Sali di calcio e di stronzio (carbonati, solfati e silicati) e silice, che, in modo del tutto simile al caso degli impianti di produzione di petrolio e gas, tendono a concentrare il radio e i suoi prodotti di decadimento.

Altra importante sorgente di NORM sono i filtri posti a monte degli impianti di reiniezione dei fluidi geotermici [12].

Contributi principali per la formazione di rifiuti solidi durante l'estrazione di energia.

Una stima della produzione di rifiuti annua per l'impianto di Imperial Valley, California è di circa 45 500 t, basato su dati 1991 [12]. Il totale può essere suddiviso in cinque flussi di rifiuti , tra cui :

Tabella 14.2

tipologia di rifiuto	Quantità prodotte
panello	18.318 t
zolfo	16.240 t
materiale di perforazione	9.571 t
incrostazioni	946 t
varie	113 t

La produzione di rifiuti è stata stimata in circa 87 t per MW (filtri) e 0.58 t per MW (incrostazioni), per un totale di circa 19.200 t totali all'anno che, sulla base della densità media di $1,3 \text{ g cm}^{-3}$, corrisponde ad un volume di circa 14.800 m^3 . [12]

Le stesse fonti bibliografiche sostengono che, per quanto uranio, torio e i loro prodotti di decadimento radioattivo siano presenti nelle formazioni litologiche da cui vengono estratti i fluidi geotermici, i fluidi geotermici non ne contengono concentrazioni significative [12].

I radionuclidi principali presenti nei fluidi geotermici sono ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{212}Pb e ^{222}Rn dal ^{238}U e le catene di decadimento ^{232}Th [12], mentre ^{40}K è spesso l'unico radionuclide rilevabile nell'acqua prodotta da formazioni californiane sfruttate sia per l'energia geotermica che per l'estrazione di petrolio e gas [12], per cui sono state formulate ipotesi per cui il ^{40}K possa costituire un contributo significativo ai NORM di origine geotermica.

Le informazioni disponibili sulle concentrazioni di NORM nei rifiuti solidi degli impianti geotermici sono ancora molto carenti.

Nelle attività della task 03.02.01 sono state avviate attività informative preliminari finalizzate a recuperare le informazioni disponibili dal gestore dei maggiori impianti italiani

Nella tabella seguente sono riportati [12] alcuni valori di concentrazione di radionuclidi misurate nei residui di impianti di produzione di energia geotermica.

Tabella 14.3

Radionuclide	Concentrazione di attività (Bq/kg)
^{228}Th	930
^{228}Ra	3440
^{226}Ra	4880
^{210}Po	3550
^{210}Pb	3550

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle analisi dei filtri e sui campioni degli impianti di chiarificazione dei fluidi geotermici di centrali geotermiche situate nella Imperial Valley della California [12]

Tabella 14.4

Nuclide	Residue concentration range (Bq/kg)
^{228}Th	Below detection level to 1628
^{228}Ra	Below detection level to 6771
^{226}Ra	370–9398
^{212}Po	Below detection level to 999
^{212}Pb	Below detection level to 1554
^{214}Pb	0.037–7622
^{214}Bi	0.037–6401

I dati di emissione di ^{222}Rn indicano un rateo di emissione di 1 mBq d^{-1} per MW di potenza presso il campo di geyser [12] nel nord della California.

I valori di concentrazioni di radon nel vapore secco o nei gas di espulsione sono ampiamente variabili, con valori che, a partire da $0,74 \text{ nBq/l}$ arrivano a circa $0,37 \text{ Bq/L}$.

I valori di concentrazioni medie di radon per diversi sistemi geotermici sono riportati nella tabella seguente [12]. I risultati indicano che le concentrazioni sono significativamente più elevate nei

campi a vapore secco, anche se sono state notate ampie variazioni, anche all'interno dei singoli campi geotermici .

Tabella 14.5

Tipologia di sistema geotermico	Località	Concentrazione media di Radon (10^{-9} Bq/l)*
Dry steam	Larderello, Italy	1.28
Dry steam	The Geysers, USA	0.62
Flashing brine	Salton Sea KGRA, USA	0.11
Hot water	East Mesa, USA	0.01

* I valori di concentrazione sono riferiti ai fluidi geotermici condensati. Nei campi a vapore la concentrazione è inversamente proporzionale al volume del vapore stesso alla temperatura e pressione della testa del pozzo.

14.3 Censimento degli impianti geotermici in Italia

Nel mondo sono almeno 25 i Paesi che producono elettricità sfruttando il calore dei fluidi geotermici, con una capacità installata che complessivamente ammonta a circa 11.000 MW.

L'Italia è il primo produttore in Europa e uno dei maggiori al mondo per una potenza efficiente netta di oltre 800 MW [47]. La produzione è concentrata in Toscana, dove la geotermia soddisfa il 25 % dell'intera domanda elettrica regionale.

Nella tabella seguente è riportata la potenza elettrica installata e la sua evoluzione negli ultimi 20 anni [47].

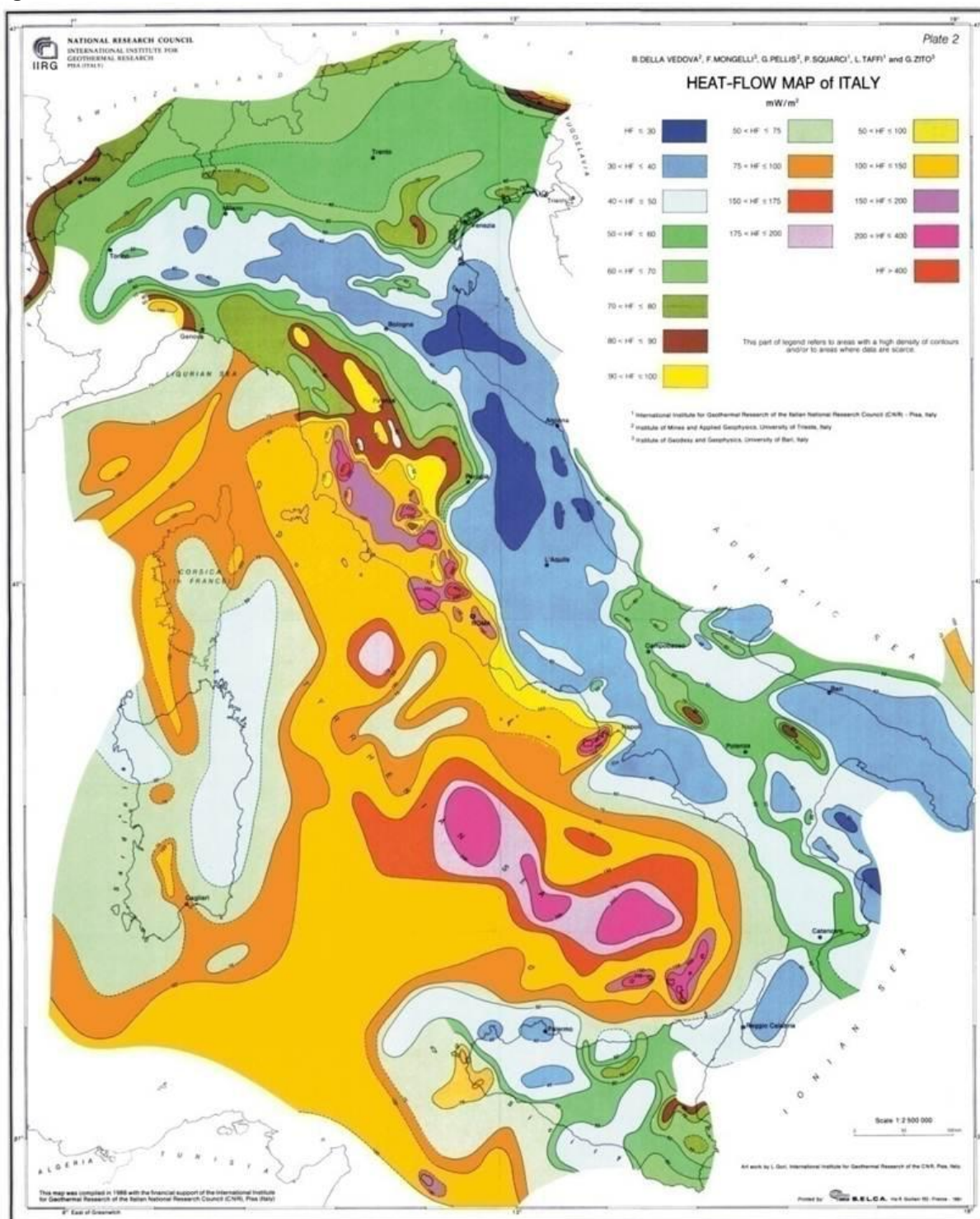
Tabella 14.6

Potenza installata						
Nazione	1990	1995	2000	2005	2010	
	Mwe	Mwe	Mwe	Mwe	Mwe	%
USA	2774,6	2816	2228	2544	3093	28,9
Filippine	891	1227	1909	1931	1904	17,8
Indonesia	144,8	309,8	589,5	797	1197	11,2
Messico	700	753	755	953	958	8,9
Italia	545	631,7	785	790	843	7,9
Nuova Zelanda	283,2	286	437	435	628	5,9
Islanda	44,6	50	170	322	575	5,4
Giappone	214,6	413,7	546,9	535	536	5,0
El Salvador	95	105	161	151	204	1,9
Kenia	45	45	45	127	167	1,6
Costa Rica	0	55	142,5	163	166	1,5
Nicaragua	35	70	70	77	88	0,8
Russia (Kamchaka)	11	11	23	79	82	0,8
Turchia	20,6	20,4	20,4	20,4	82	0,8
Papua Nuova Guinea	0	0	0	39	56	0,5
Guatemala	0	33,4	33,4	33	52	0,5
Portogallo (Azzorre)	3	5	16	16	29	0,3
Cina	19,2	28,8	29,2	28	24	0,2
Francia (Guadalupa)	4,2	4,2	4,2	15	16	0,1

Potenza installata						
Nazione	1990	1995	2000	2005	2010	
	Mwe	Mwe	Mwe	Mwe	Mwe	%
Etiopia	0	0	8,5	7	7,3	0,1
Germania	0	0	0	0,2	6,6	0,1
Austria	0	0	0	1	1,4	0,0
Australia	0	0,2	0,2	0,2	1,1	0,0
Tailandia	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0
Argentina	0,7	0,6	0	0	0	0,0
Totale	5831,8	6866,1	7974,1	9064,1	10716,7	100

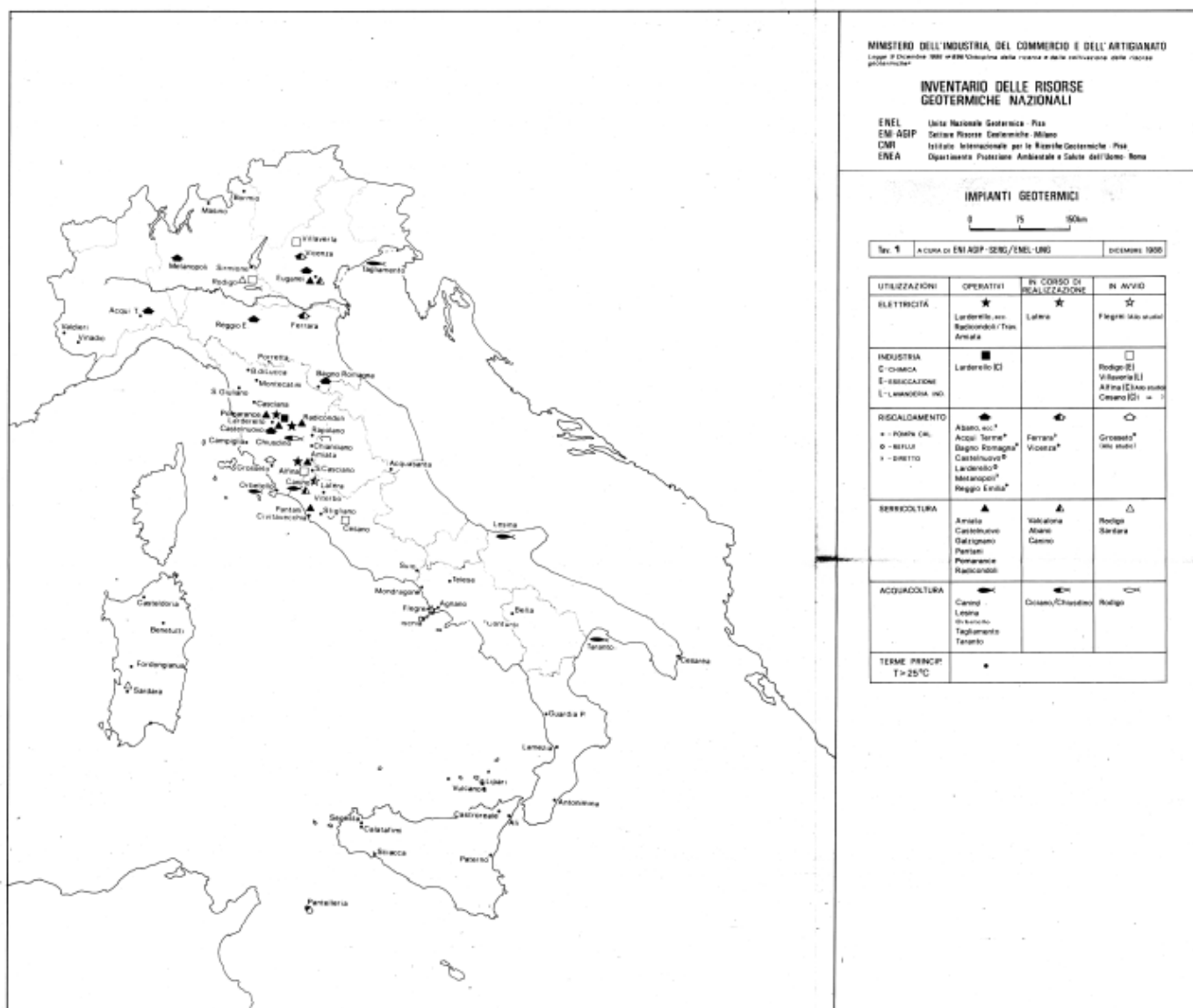
Nella figura seguente è riportato il potenziale geotermico (flusso di calore ad elevata profondità) in Italia [47].

Figura 14.5



La figura seguente rappresenta l'inventario nazionale delle risorse geotermiche, comprendendo tutte le tipologie di risorse, dalle termali a quelle utilizzate per lo sfruttamento commerciale dell'energia elettrica o termica prodotta. [47]

Figura 14.6



Nella tabella seguente sono riportati gli impianti geotermici attivi in Italia (Toscana) al 2010, con le relative potenze [47]

Tabella 14.7

Area	Prov	Comune	Centrale	Indirizzo	Gruppi	Pot. MW	Stato
AMIATA	GR	SANTAFIORA	Bagnore3	Localita'FontedelSaragio	1	20	InEsercizio
AMIATA	SI	PIANCASTAGNAIO	Bellavista	LocalitàBellavista	1	20	FuoriServizio
AMIATA	SI	PIANCASTAGNAIO	Piancastagnaio2	VialeRoma743/E	1	8	InEsercizio
AMIATA	SI	PIANCASTAGNAIO	Piancastagnaio3	Localita'Asca	1	20	InEsercizio
AMIATA	SI	PIANCASTAGNAIO	Piancastagnaio4	Localita'IPaicci	1	20	InEsercizio

Area	Prov	Comune	Centrale	Indirizzo	Gruppi	Pot. MW	Stato
AMIATA	SI	PIANCASTAGNAIO	Piancastagnaio5	Localita'IPaicci	1	20	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	GR	MONTEROTONDOMARITTIMO	Carboli1	Localita'Carboli	1	20	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	GR	MONTEROTONDOMARITTIMO	Carboli2	Localita'Carboli	1	20	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	GR	MONTEROTONDOMARITTIMO	NuovaLago	Localita'Lago	1	10	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	GR	MONTEROTONDOMARITTIMO	NuovaMonterotondo	ViaiLagoni	1	10	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	GR	MONTEROTONDOMARITTIMO	NuovaSanMartino	Localita'PoderidiS.Martino	1	40	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	PI	CASTELNUOVODIVALDICECINA	Cornia2	StradaprivataENELLago- LagoniRossi	1	20	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	PI	CASTELNUOVODIVALDICECINA	LaLeccia	Localita'podereCamorsi	1	8	FuoriServizio
LAGO- VALDICORNIA	PI	CASTELNUOVODIVALDICECINA	LePrata	Localita'lePrata	1	20	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	PI	CASTELNUOVODIVALDICECINA	NuovaSasso	Stradavicinale della Lumiera	1	20	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	PI	CASTELNUOVODIVALDICECINA	Selva1	Stradavicinale di Lungaiano	1	20	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	PI	MONTEVERDIMARITTIMO	Monteverdi1	Localita'PodereGrandiolo	1	20	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	PI	MONTEVERDIMARITTIMO	Monteverdi2	Localita'PodereS.Luciano	1	20	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	PI	POMARANCA	LagoniRossi3	Localita'LagoniRossi	1	8	InEsercizio
LAGO- VALDICORNIA	PI	POMARANCA	NuovaSerrazzano	ViadeiLagoni	1	60	InEsercizio
LARDERELLO	PI	CASTELNUOVODIVALDICECINA	NuovaCastelnuovo	ViaLagoni	1	14,5	InEsercizio
LARDERELLO	PI	CASTELNUOVODIVALDICECINA	NuovaMolinetto	Localita'Sant'Andrea	1	20	InEsercizio
LARDERELLO	PI	POMARANCA	Farinello	Localita'PodereFarinello	1	60	InEsercizio
LARDERELLO	PI	POMARANCA	NuovaGabbro	Localita'Gabbro	1	20	InEsercizio
LARDERELLO	PI	POMARANCA	NuovaLarderello3	ViadeiLagoni	1	60	InEsercizio
LARDERELLO	PI	POMARANCA	VallesecoloGruppo1	Localita'ValleSecolo	1	60	InEsercizio
LARDERELLO	PI	POMARANCA	VallesecoloGruppo2	Localita'ValleSecolo	2	60	InEsercizio
LARDERELLO	SI	RADICONDOI	Sesta1	Localita'Sesta	1	20	InEsercizio
RADICONDOI- TRAVALE	GR	MONTIERI	Travale3	Localita'ilPiano	1	20	InEsercizio
RADICONDOI- TRAVALE	GR	MONTIERI	Travale4	Localita'ilPiano	1	40	InEsercizio
RADICONDOI- TRAVALE	SI	RADICONDOI	NuovaRadicondoi	Localita'Canonica	1	40	InEsercizio
RADICONDOI- TRAVALE	SI	RADICONDOI	Pianacce	Localita'Pianacce	1	18	InEsercizio
RADICONDOI- TRAVALE	SI	RADICONDOI	Rancia1	Stradavicinale della Rancia	1	18	InEsercizio
RADICONDOI- TRAVALE	SI	RADICONDOI	Rancia2	Stradavicinale della Rancia	1	18	InEsercizio

E' da segnalare inoltre la presenza di un'importante centrale geotermica a Cassana, vicino a Ferrara, la quale sfrutta un giacimento geotermico [48] da cui estrae acqua ad una temperatura di circa 100 °C. Questo giacimento di acqua calda, a media entalpia, dovuta ad una anomalia geotermica positiva, dovuta alla presenza di un serbatoio di acqua calda sfruttabile alla profondità di circa 2000 metri.

A seguito di questa scoperta, sulla spinta della crisi energetica degli anni '70, fu costruito l'impianto per l'utilizzo dell'energia geotermica per la produzione di calore, impianto che è il principale in Italia, e rappresenta un modello di utilizzo di questa fonte rinnovabile a livello europeo.

Nell'impianto di Cassana l'acqua calda viene prelevata da una profondità di circa 2.000 m attraverso due pozzi, e, una volta ceduta l'energia termica alla rete del teleriscaldamento attraverso uno scambiatore di calore, viene iniettata nel giacimento sotterraneo tramite un pozzo di immissione, garantendo la stabilità geotecnica delle rocce interessate dal prelievo di fluidi ed un circuito chiuso dei fluidi senza dispersioni degli stessi, in un circolo continuo e privo di emissioni inquinanti [48]. Attualmente l'impianto di Cassana può erogare una portata di 400 m³/h di acqua geotermica alla temperatura di 100°/105°C, è in grado di sviluppare una potenza termica di 14 MW e di produrre ogni anno circa 75.000 MWh di energia termica [48].

15 BIBLIOGRAFIA

- 1 - International Atomic Energy Agency (IAEA), 2011, Radiation Protection and NORM Residue Management in the Production of Rare Earths from Thorium Containing Minerals, Safety Reports Series No. 68;
- 2 - International Atomic Energy Agency (IAEA), 2006, Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials, Safety Reports Series No. 49;
- 3 - Å. Wiklund, J.L. Godet, A. Janssens, 2007, Revision of the Euratom Basic Safety Standards with regard to natural radiation sources, pp. 419-428, Proceedings of the fifth international symposium on Naturally Occurring Radioactive Material (NORM V), 19-22 March 2007, Seville, Spain;
- 4 - NRG, NRPB, CEPN, 2004, Strategies and Methods for Optimisation of Protection against Internal Exposures of Workers from Industrial Natural Sources (SMOPIE);
- 5 - Radiation Protection 107, 1999, Establishment of reference levels for regulatory control of workplaces where materials are processed which contain enhanced levels of naturally-occurring radionuclides, European Commission: Directorate-General Environmental, Nuclear Safety and Civil Protection;
- 6 - Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), 2009, *Assessment of ionizing radiation exposures in industries and professional activities implementing raw materials containing naturally-occurring radionuclides not used because of their radioactive properties.*
- 7 - Radiation Protection 146, 2007, *A Review of Consumer Products Containing Radioactive Substances in the European Union*, European Commission: Directorate-General for Energy and Transport Directorate H- Nuclear Energy Unit H.4 – Radiation Protection
- 8 - MineralsUK-Centre for sustainable mineral development (British Geological Survey), 2011, *Niobium-tantalum*, scaricabile da: <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/mineralProfiles.html>
- 9 - Radiation Protection 135, 2003, *Effluent and dose control from European Union NORM industries Assessment of current situation and proposal for a harmonised Community*, Volume I: Main Report, European Commission: Directorate-General for Energy and Transport, Directorate H – Nuclear Safety and Safeguards, Unit H.4 – Radiation Protection.
- 10 - International Atomic Energy Agency (IAEA), 2012, Radiation Protection and NORM Residue Management in the Titanium Dioxide and Related Industries, Safety Reports Series No. 76;
- 11 - TENNESSEE VALLEY AUTHORITY, “Fertilizer trends”, Bull. TVA/OACD-86/12,TVA, Knoxville, TN (1986)
- 12 – IAEA TECHNICAL REPORTS SERIES No. 419 EXTENT OF ENVIRONMENTAL CONTAMINATION BY NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIAL (NORM) AND TECHNOLOGICAL OPTIONS FOR MITIGATION - VIENNA, 2003
- 13 - RTI CTN_AGF 3/2004
- 14 - UNSCEAR, 1982, Sources and Effects of Ionising Radiation, United Nations, New York
- 15- VANDENHOVE, H., et al., Investigation of a Possible Basis for a Common Approach with Regard to the Restoration of Areas Affected by Lasting Radiation Exposure as a Result of Past or Old Practice or Work Activity — CARE, Final Report to the European Commission, Contract 96-ET-006, Radiation Protection 115 (2000) 242 pp.
- 16 - US DEPARTMENT OF ENERGY, Estimates of domestic diffuse NORM waste generation, material density, total inventory, and radioactive concentration, Office of Environmental Management, Washington, DC, <http://www.em.doe.gov/idb97/tab713.html>.
- 17 - BAETSLÉ, L.H., Study of Radionuclides Contained in Waste Produced by the Phosphate Industry and their Impacts of the Environment, Rep. EUR 13262, Commission of the European Communities, Luxembourg (1991).
- 18 - FLORIDA INSTITUTE OF PHOSPHATE RESEARCH, Phosphogypsum Fact-Finding Forum (Proc. Forum Tallahassee, 1995), Publ. No. 01-132-117, FIPR, Bartow, FL (1996).

-
- 19- [183] FLORIDA INSTITUTE OF PHOSPHATE RESEARCH, Microbiology and Radiochemistry of Phosphogypsum, Publ. No. 05-035-115, FIPR, Bartow, FL (1995).
 - 20 - [186] HULL, C.D., BURNETT, W.C., Radiochemistry of Florida phosphogypsum, J. Environ. Radioact. 32 3 (1969) 213–238.
 - 21 - AGF-T-RAP-01-05
 - 22 [199] US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Characterization and Control of Radionuclide Emissions From Elemental Phosphorus Production, Rep. EPA-450/3-88-015, USEPA, Washington, DC (1989).
 - 23 - [200] ERKENS, W.H.H., “Electrothermal phosphorus production, radioactivity in the environment and workplace”, paper presented at Int. Symp. on Radiological Problems with Natural Radioactivity in the Non-Nuclear Industry, Amsterdam, 1997
 - 24 [6]. Trotti F. et al., The inventory and radiological impact of Naturally Occurring Radionuclides in some Italian non-nuclear industries, NORM IV Conference – Szczyrk (Poland) 2004, May 16th - 21th.
 - 25 – Ministero dell’Ambiente
<http://aia.minambiente.it/impiantiperterritorio.aspx?t=1&id=20&c=>
 - 26 – Ministero delle Politiche Agricole e Forestali – Registro fabbricanti, Registro fertilizzanti, registro, fabbricanti, fertilizzanti - opendata agricoltura -
<http://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/7045>
 - 27 - ISTAT “Agricoltura e zootecnia”
 - 28 - UNSCEAR, 2000, Sources and Effects of Ionising Radiation, United Nations, New York
 - 29 - AGF-T-RAP-00-05
 - 30 – Confindustria ceramica – Indagini statistiche sull’industria italiana – studi e ricerche Anno 2010
 - 31 – Federacciai – Rapporto assemblea annuale 2013 “La siderurgia italiana in cifre” – 2013
 - 32 - [23] WHITE, G.J., Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Oil and Gas Industry Equipment and Wastes — A Literature Review, Rep. DOE/ID/01570-T158, prepared by Idaho National Engineering Laboratory for US Department of Energy, Bartlesville, OK (1992).
 - 33 - Ministero dello sviluppo economico - Dipartimento per l’energia - Direzione generale per le risorse minerarie ed energetiche - DGRME -Rapporto annuale 2013
 - 34 - Ministero dello sviluppo economico - Dipartimento per l’energia - Direzione generale per le risorse minerarie ed energetiche -
<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/pozzi/pozzi.asp>
 - 35 – AITEC Associazione Italiana Tecnico Economica Cemento -
<http://www.aitecweb.com/aitec.aspx>
 - 36 – Buzzi Unicem SpA - <http://www.buzziunicem.it/online/it/Home/Prodotti.html>
 - 37 - [84] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Classification of Radioactive Waste, Safety Series No. 111-G-1.1, IAEA, Vienna (1994).
 - 38 - EPA 816-R-05-004 “A Regulators’ Guide to the Management of Radioactive Residuals from Drinking Water Treatment Technologies” - July 2005 - www.epa.gov/safewater
 - 39 - Istat, Censimento delle acque per uso civile, Anno 2012
 - 40 - Rapporto stato ambiente ISPRA 2008
 - 41 - A. Manzella (CNR/Istituto di Geoscienze e Georisorse, Pisa): I “sistemi geotermici non convenzionali”: definizioni, stato attuale delle tecnologie e frontiere di ricerca. in Convegno "Il possibile contributo della geotermia di alta temperatura per la produzione di energia elettrica in Italia fino al 2050 con l’uso di tecnologie innovative" Roma 8/6/2012.
<http://www.unionegeotermica.it/pdfiles/presentazioni-08-06-2012>
 - 42 - EGENC- European Geothermal Energy Council: definizione EGS: “An Enhanced Geothermal System is an underground reservoir that has been created or improved artificially”.
 - 43 - M. Häring, Geothermal Explorers Ltd
 - 44 - G. Barla : “Sviluppi e potenzialità della geotermia di nuova generazione”. Politecnico di Torino - Inaugurazione Anno Accademico 2008 / 2009.
 - 45 - Da: A. Manzella (CNR/Istituto di Geoscienze e Georisorse, Pisa)
-

-
- 46 – Regione Toscana - PROPOSTA di PIANO AMBIENTALE ED ENERGETICO REGIONALE - ottobre 2012
 - 47 - Ministero dello sviluppo economico - Dipartimento per l'energia - Direzione generale per le risorse minerarie ed energetiche
<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/geotermia/titoli/titoli.asp>
 - 48 – Regione Emilia Romagna - PIANO ENERGETICO REGIONALE – Piano attuativo 2011-2013 “Risorse geotermiche” <http://energia.regione.emilia-romagna.it/> - Agosto 2012