






## Relazione tecnica

### Risultati delle misurazioni della concentrazione di attività su materiali presenti nel ciclo produttivo e sui residui derivanti dall'attività produttiva

(effettuati ai sensi del comma 1 art. 22 D. Lgs. 101/2020 e ss.mm.ii.)

n. report	Redazione	Supervisione	data emissione
01/2024  Rev. 00	Dott. Francesco Bonacci  Dott.ssa Angelica Rania 	Dott. Francesco Bonacci 	31/12/2024

Sommario

1.0    **PREMESSA.....2**

2.0    **DECRIZIONE DELL’ATTIVITA’ LAVORATIVA.....3**

      2.1    Ciclo tecnologico .....3

      2.2    Materie prime .....7

      2.3    Area produzione Clinker .....9

      2.4    Alimentazione combustibili alternativi .....11

      2.5    Area produzione calce .....15

3.0    **CARATTERIZZAZIONE RADIOMETRICA DI MATERIALI E RESIDUI .....18**

      3.1    Verifiche radiometriche dell’impianto con misure di radioattività gamma in aria .....20

      3.2    Materiali presenti nel ciclo produttivo.....21

      3.3    Residui derivanti dall’attività lavorativa .....22

4.0    **CONCLUSIONI.....23**

## 1.0 PREMESSA

La **CALME S.p.a.** rientra tra i settori industriali elencati nella prima colonna della tabella II-1 dell'Allegato II al nuovo D. Lgs. 101/20 e ss.mm.ii. e, pertanto, è soggetta al CAPO II del citato decreto, le cui disposizioni si applicano *“alle pratiche nelle quali la presenza di sorgenti di radiazioni ionizzanti di origine naturale determina un livello di esposizione dei lavoratori e degli individui della popolazione che non può essere trascurato sia dal punto di vista della radioprotezione sia dal punto di vista dell'ambiente”*.

Ai sensi dell'art. 22 del D. Lgs. 101/20 e ss.mm.ii. gli esercenti delle pratiche che si svolgono nell'ambito di tali settori devono provvedere alla misurazione della concentrazione di attività sui materiali presenti nel ciclo produttivo e sui residui derivanti dall'attività lavorativa stessa ai sensi del comma 6.

Tali risultati devono essere confrontati con i livelli di esenzione (L.E.) espressi in termini di concentrazione di attività di cui all'allegato II.

Tabella II-2	Radionuclidi naturali serie U-238	1 kBq kg <sup>-1</sup>
	Radionuclidi naturali serie Th-232	1 kBq kg <sup>-1</sup>
	K-40	10 kBq kg <sup>-1</sup>
	Po-210 o Pb-210	5 kBq kg <sup>-1</sup>
Fanghi petroliferi	Radionuclidi naturali serie U-238	5 kBq kg <sup>-1</sup>
	Radionuclidi naturali serie Th-232	5 kBq kg <sup>-1</sup>
	U-nat, Th-230, Th-232, Po-210 o Pb-210	100 kBq kg <sup>-1</sup>
	Ra-228	10 kBq kg <sup>-1</sup>

**Tabella 1:** livelli di esenzione in termini di concentrazione di attività – sezione II allegato II D. Lgs. 101/2020 e ss.mm.ii.

Nel caso in cui i risultati delle misurazioni siano:

- **inferiori ai L.E.** l'esercente provvede alla ripetizione delle misure con cadenza triennale e comunque nel caso di significative variazioni del ciclo produttivo o delle caratteristiche radiologiche delle materie in ingresso. Il rispetto di tali livelli di esenzione in termini di concentrazione di attività, infatti, assicura, senza ulteriori valutazioni, il rispetto dei livelli di esenzione per i lavoratori e per l'individuo

rappresentativo (punto 7, paragrafo 2 sezione II allegato II D. Lgs. 101/2020 e ss.mm.ii.).

- **superiori ai L.E.** l'esercente, entro sei mesi dal rilascio della relazione tecnica di cui al comma 6, provvede alla valutazione delle dosi efficaci ai lavoratori e all'individuo rappresentativo derivanti dalla pratica. Nel caso in cui da tali valutazioni non risultino superati i L.E. di cui all'allegato II per i lavoratori e per l'individuo rappresentativo, l'esercente provvede a ripetere le misure, della concentrazione di attività sui materiali presenti nel ciclo produttivo e sui residui, con cadenza triennale e ogni qualvolta si verificano significative variazioni del ciclo produttivo o delle caratteristiche radiologiche delle materie in ingresso. L'esercente trasmette le relazione tecnica con i risultati delle valutazioni di dose efficace all'ISIN, nonché alle ARPA/APPA, agli organi del SSN e alla sede dell'INL territorialmente competente e conserva la relativa documentazione per un periodo di 6 anni.

I risultati delle misurazioni e la presente relazione costituiscono parte integrante del documento di valutazione del rischio di cui all'art. 17, del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81.

## **2.0 DESCRIZIONE DELL'ATTIVITA' LAVORATIVA**

### **2.1 Ciclo tecnologico**

L'attività lavorativa svolta dalla **CALME S.p.a.** si può considerare divisa in n°3 settori principali, ognuna delle quali presenta una sua specificità:

- - *Area produzione clinker;*
- - *Area produzione cemento;*
- - *Area produzione calce.*

Per quanto riguarda l'attività relativa alla produzione del clinker possiamo individuare le seguenti fasi:

1. *Macinazione crudo (farina)*
2. *Macinazione carbone*
3. *Forno-cottura clinker*

#### 4. Reparto Forno (combustibili alternativi CSS E biomasse)

Per quanto riguarda invece le attività destinate alla produzione della calce e del cemento Portland si individuano i seguenti settori principali:

1. Materie Prime
2. Forno CIM
3. Reparto idratazione
4. Macinazione cotto 3 (Calce)
5. Reparto Macinazione cotto (cemento)
6. Insaccamento e carico cemento sfuso
7. Reparto Manutenzione (meccanica ed elettrica)

#### Flow-Chart di processo

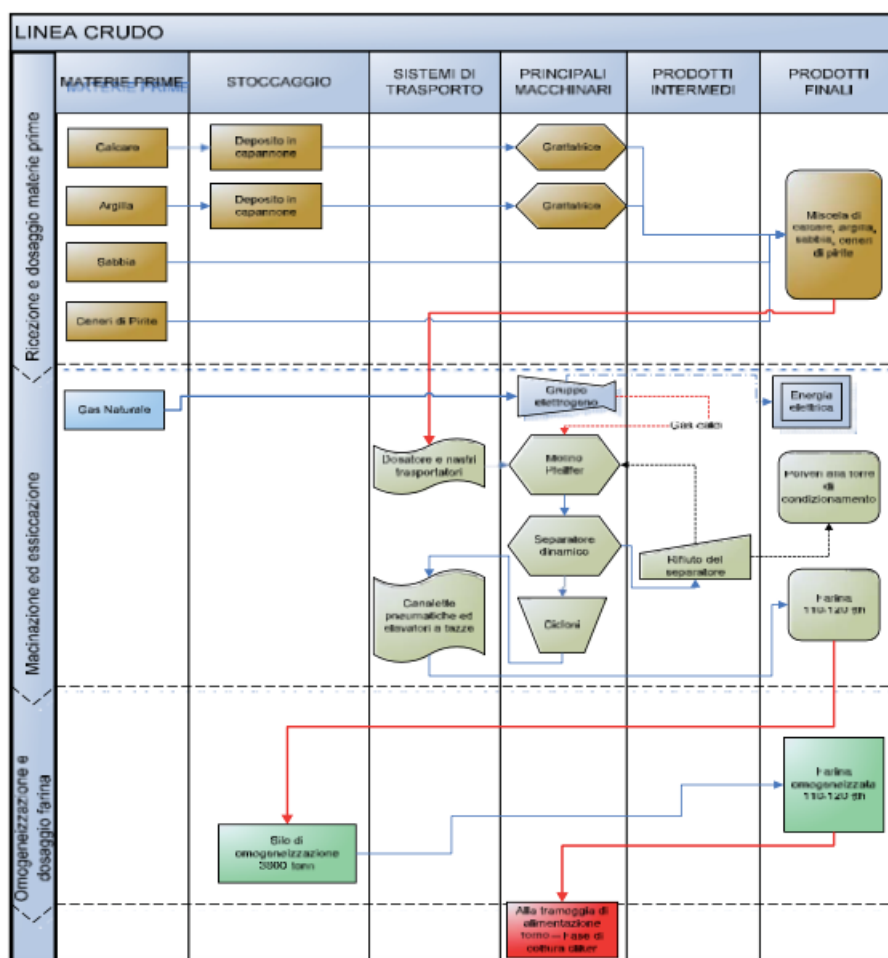


Fig. 1

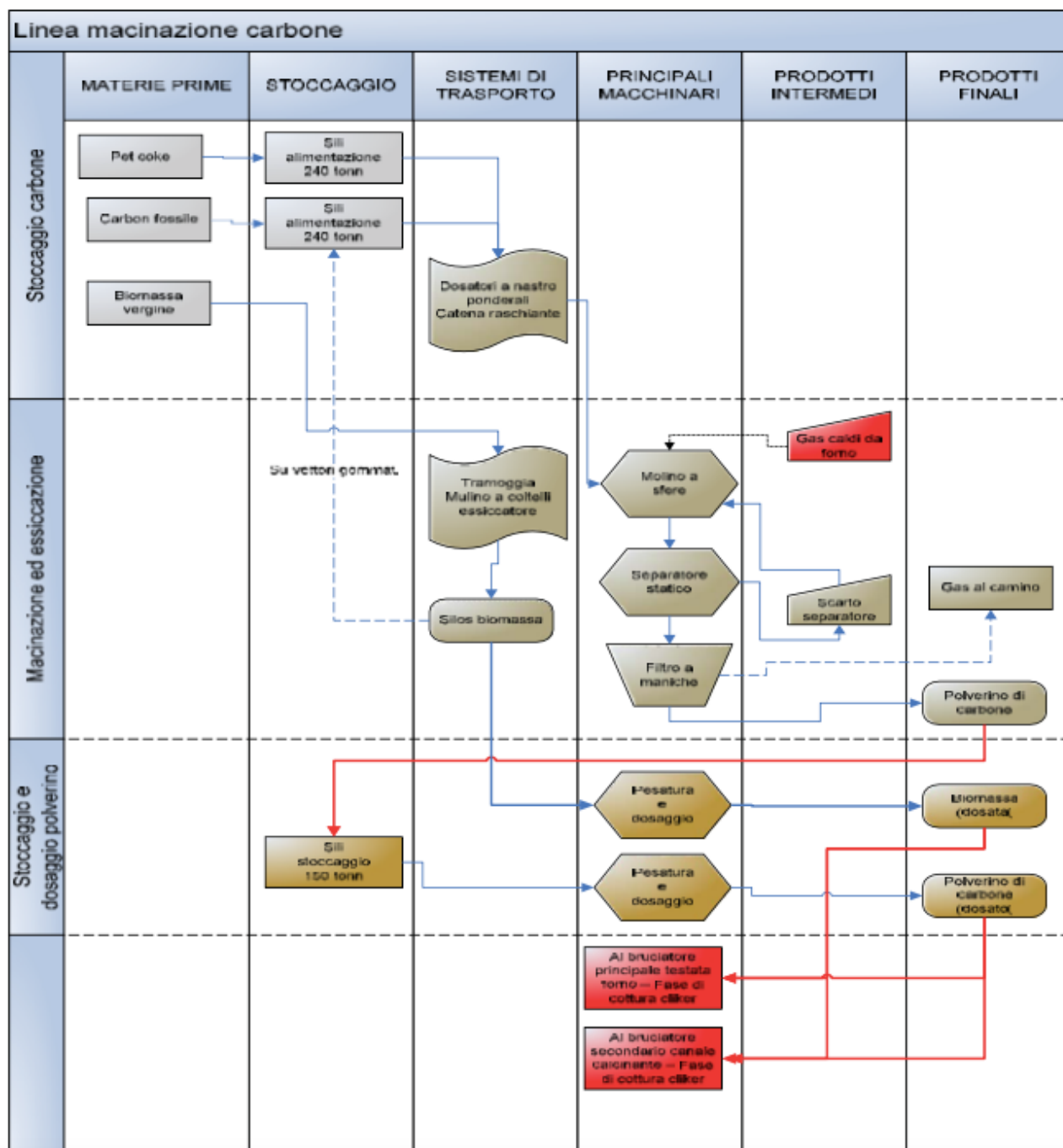


Fig. 2

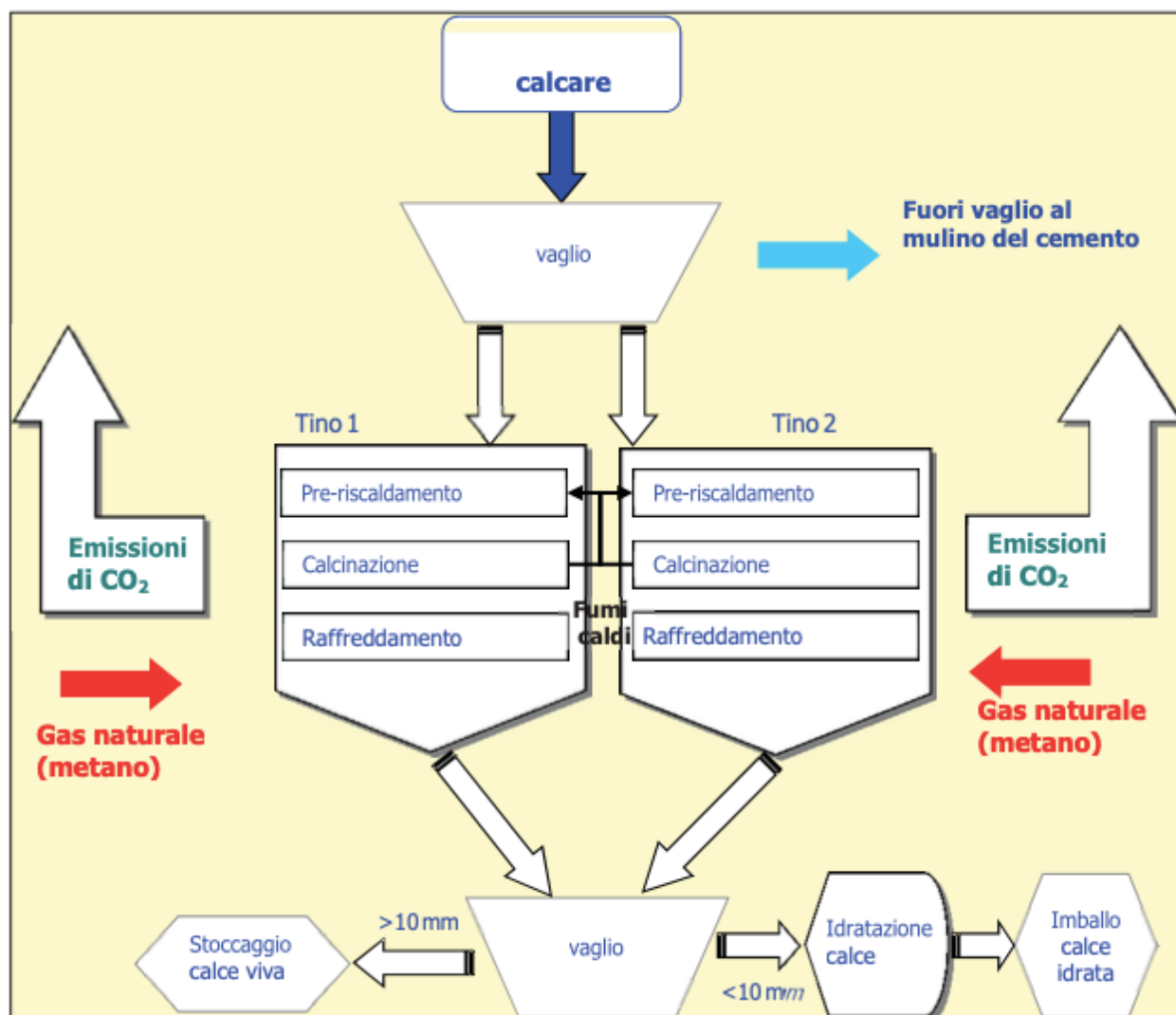


Fig. 3

## 2.2 Materie prime

### **TRASPORTO, STOCCAGGIO, MACINAZIONE, OMOGENEIZZAZIONE DEL MATERIALE CRUDO**

L'area di ricezione delle materie prime (calcare, argilla, sabbia, bassofondente), interessa un impianto costituito da quattro tramogge in cemento della capacità di 80 mc cadauna.

Tutte le tramogge che accolgono le materie prime impiegate nello stabilimento sono protette da apposite barriere fisiche costituite da New Jersey in cemento armato e da un sistema di allarme acustico (sirena) e visivo (lampeggiante) in caso di superamento del limite imposto dalle suddette barriere. Lo scopo principale è evitare la caduta di mezzi e di persone all'interno delle tramogge la cui profondità supera i 4 m.

La linea argilla nella tramoggia ha un rompizolle che garantisce una pezzatura omogenea della stessa.

Il calcare e l'argilla vengono estratti dalle rispettive tramogge ed inviati per mezzo di nastri trasportatori in gomma nei capannoni di deposito.

Il deposito dell'argilla comprende n° 2 vasche separate, a turno una va in riempimento mentre dall'altra si preleva con apposita grattatrice e si invia alla tramoggia di dosaggio, il deposito del calcare avviene in unica grande vasca divisa idealmente per la presenza di due cumuli di materiale uno lato Catanzaro e l'altro lato Lamezia. Attraverso la grattatrice BEDESCHI S.p.A. si preleva il materiale calcare e si invia alla tramoggia di dosaggio.

Le quattro materie prime: calcare ed argilla (dalle tramogge di dosaggio), sabbia e ceneri di pirite (dalle tramogge di ricezione e dosaggio), vengono estratte da bilance dosatrici, secondo miscele prestabilite, ed inviate tramite nastri trasportatori in gomma alla tramoggia di alimentazione del molino del crudo.

La miscela dei materiali viene prima accolta nella tramoggia del crudo, attraverso delle botole di ispezione, gli addetti possono verificare l'interno della stessa.

La miscela va dalla tramoggia del crudo al molino, tramite un dosatore metallico e nastro in gomma.

Durante il percorso della miscela, sono stati predisposti n° 2 Elettromagneti in grado di asportare eventuali materiali ferrosi, n° 1 Metaldetector per l'individuazione di altri tipi di metalli, in questo caso la presenza di un metallo provoca il blocco automatico del nastro trasportatore, il personale provvede a rimuoverlo manualmente.

Tali dispositivi sono impiegati al fine di evitare danni alle macine del mulino.



La macinazione avviene contemporaneamente all'essiccazione, all'interno del molino (Pfeiffer ventilato a piste e rulli) grazie al riutilizzo dei gas caldi provenienti dal forno. Il materiale macinato, trasportato dagli stessi gas utilizzati per l'essiccazione, passa attraverso il separatore dinamico; il materiale finito, recuperato nei cicloni, viene inviato tramite canalette pneumatiche ed elevatore a tazze nel silo di stoccaggio della farina. Il rifiuto del separatore ricade nel mulino (riciclo interno) per essere ulteriormente macinato, mentre i gas vanno alla torre di condizionamento.

L'alimentazione al molino (produzione) è regolata automaticamente, mediante il controllo della pressione differenziale del molino.

La Farina macinata viene stoccata in un silo di omogeneizzazione da 5000 Ton di capacità, costituito da un cilindro in cemento armato di 14 m di diametro e 41 m di altezza.

L'omogeneizzazione avviene secondo il sistema Claudius Peters, che consiste nel rimescolare la farina all'interno del silo con aria compressa a 0.5 bar e procedendo, contemporaneamente, all'estrazione.

Il dosaggio avviene estraendo la farina dalla tramoggia di alimentazione forno (riempita in precedenza ed in continuo) tramite una canaletta ed una serranda ad elmo servo comandata dalla variazione di assorbimento del piatto di alimentazione.

## **STOCCAGGIO E MACINAZIONE DEL CARBONE**

### **Stoccaggio carbone**

Di norma nella fase di cottura viene utilizzato combustibile solido costituito da una miscela di coke di petrolio e carbon fossile.

Il carbone in pezzatura (0-60 mm) viene stoccato sia all'aperto che nei sili di alimentazione molino; quello all'aperto viene riportato all'occorrenza con pale meccaniche e camion alla tramoggia di ricevimento e da questa ai sili di alimentazione molino della capacità di 240 tonn cadauno.

### **Macinazione ed essiccazione**

Dai sili di alimentazione il petcoke ed il fossile, secondo una miscela prestabilita, vengono estratti da dosatori a nastro ponderali ed inviati per mezzo di una catena raschiante (redler) al molino a sfere, che è attraversato dai gas caldi provenienti dall'esastore forno.

Questo provvede alla macinazione/essiccazione del carbone. Il polverino di carbone, trasportato dai gas caldi, esce dal molino e viene convogliato in un separatore statico dove le parti grossolane ritornano nel molino per essere macinate, mentre il fino trascinato dalla corrente gassosa viene convogliato in un filtro a maniche che provvede alla separazione del gas dal polverino.

### **Stoccaggio e dosaggio polverino**

Il polverino, recuperato nel filtro a maniche, viene inviato al silo di stoccaggio della capacità di 150 tonn, tramite una pompa pneumatica.

Il polverino, mediante due rotocelle viene inviato ai sistemi di pesatura e dosaggio.

Il polverino dosato, tramite trasporto pneumatico, viene inviato al bruciatore principale in testata forno ed al bruciatore secondario del canale calcinante

## **2.3    *Area produzione Clinker***

### **COTTURA CLINKER**

La farina, dopo il dosaggio, viene inviata all'air lift e da questo allo scambiatore termico a cicloni. Questo è costituito da cinque stadi di cicloni disposti in cascata, e dal canale calcinante. Lo scambiatore termico a cicloni è percorso, dal basso verso l'alto, dai gas caldi provenienti dal forno, e, dall'alto verso il basso, dalla farina.

La farina, introdotta nel canale uscente dal secondo stadio, si disperde nei gas caldi in uscita dallo stesso, si riscalda, e, contemporaneamente viene trascinata ai cicloni del primo stadio. Dai cicloni del primo stadio viene recuperata e scaricata nel condotto uscente dal terzo stadio e così via fino ad arrivare al quinto stadio ad una temperatura di 830 °C ed un grado di decarbonatazione pari al 94%. Tale livello di preparazione della farina viene raggiunto anche per la presenza di un bruciatore secondario nel canale calcinante, dove avviene la combustione del 50% del polverino.

Il materiale del quinto stadio è scaricato nel forno rotante (lunghezza totale circa 48 m - diametro interno 3,45 m), quindi, procedendo in controcorrente con i gas caldi della combustione primaria, viene ulteriormente.

Riscaldato fino alla temperatura di sinterizzazione (1.450°C), alla quale avvengono le reazioni per la formazione del clinker.

I gas della combustione, (temperatura di fiamma 1.800°C) attraversano il forno rotante ed arrivano

all'ingresso ad una temperatura di 1.000°C. Tali gas, con l'aria terziaria e con i gas della combustione secondaria, investono la farina proveniente dai vari stadi e, scambiando calore, escono ad una temperatura di circa 300°C.

I gas in uscita dallo scambiatore, insieme all'esubero griglia, sono inviati una parte al mulino del crudo per l'essiccazione delle materie prime, al molino carbone per l'essiccazione del carbone e l'altra alla torre scaricato dalla condizionamento dei fumi.

La portata di farina alimentata in torre di precalcinazione a regime è pari a 85-95 t/h, mentre la produzione del forno a regime è pari a 1.400 t/giorno (rapporto teorico in peso tra farina cruda alimentata/clinker prodotto = 1,62).

## **RAFFREDDAMENTO CLINKER**

Allo scarico del forno il clinker viene raffreddato rapidamente in un raffreddatore a griglia (la temperatura del clinker si riduce da 1.450 °C ad 80-100 °C). L'aria di raffreddamento viene insufflata tramite appositi ventilatori situati sotto la griglia mentre il clinker man mano che si raffredda viene dalla griglia nel frantoio a rulli per essere frantumato ad una pezzatura di 0-60 mm. Una parte dell'aria di raffreddamento del clinker a circa 900-950 °C viene impiegata come aria comburente:

- ✓ Aria secondaria per la combustione principale
- ✓ Aria terziaria per la combustione secondaria nella torre a cicloni

L'aria residua (aria esubero griglia) dopo essere stata depolverata dai cicloni (il residuo è immesso nel silo clinker) viene inviata a valle dell'esaustore del forno per ricongiungersi con i gas provenienti dallo scambiatore a cicloni ed inviata alla torre di condizionamento ed alle sezioni di trattamento fumi (filtri a maniche).

### Stoccaggio Clinker

Il clinker dalla griglia di raffreddamento viene stoccato nel silo tramite nastri trasportatori metallici a piastre ed un elevatore.

Dal silo viene estratto mediante un nastro metallico a piastre e con un elevatore viene inviato, a seconda delle esigenze, sia alla tramoggia del clinker sfuso che in quella di alimentazione del mulino cotto 4.

### Filtrazione gas esausti

I gas esausti provenienti dalla cottura clinker, dalla essiccazione e macinazione farina e dall'esubero griglia sono inviati alla torre di condizionamento dove vengono raffreddati ed umidificati mediante nebulizzazione di acqua per essere poi trattati in una batteria di maniche filtranti in fibra ceramica che separa i gas dalle particelle di polvere.

I gas così trattati sono emessi in atmosfera, mentre le polveri recuperate vengono inviate al silo di omo o direttamente alla tramoggia farina forno.

### **Torre di condizionamento**

È un cilindro verticale in cui i gas esausti provenienti dall'esaustore del forno e dalla griglia entrano dall'alto e vengono umidificati e raffreddati mediante nebulizzazione di acqua per poi essere inviati alla batteria di maniche filtranti. Tale trattamento permette una più efficace separazione delle polveri nel filtro.

### **Filtri a maniche e sistema SNCR**

Il sistema di trattamento fumi al camino è descritto nel paragrafo 3.2.4 *Sistemi di trattamento fumi al camino* e comprende il sistema della batteria di maniche filtration e del sistema SNCR.

## **2.4     *Alimentazione combustibili alternativi***

### **ALIMENTAZIONE CSS**

Oltre al combustibile fossile convenzionale, l'impianto è predisposto per utilizzare combustibili alternativi a quelli fossili convenzionali (biomassa vergine e CSS/CSS combustibile); il sistema consente di alimentare il forno clinker con segatura tal quale e/o cippato tal quale e/o CSS/CSS combustibile ad integrazione della miscela di pet coke e di carbon fossile (polverino). Nei transitori e durante le fasi di riscaldamento, si preferisce utilizzare il gas naturale per la sua versatilità. Sono previsti n. 2 punti di alimentazione dei combustibili alternativi:

1.    n. 1 punto fuoco al bruciatore in testata forno
2.    n. 1 punto fuoco al precalcinatore

I bruciatori del punto n. 1 e n. 2 funzionano in modo ibrido, vale a dire sono alimentati sia con i combustibili convenzionali (gas naturale, petcoke e carbon fossile) sia con i combustibili

alternativi.

Si attua così una delle possibili migliori tecniche disponibili ai fini di:

- a) Riduzione del consumo di combustibili fossili convenzionali;
- b) Riduzione delle emissioni di inquinanti in atmosfera.

Per quanto concerne il bruciatore in testata esso è alimentabile con i combustibili alternativi tramite un trasporto pneumatico, purché la granulometria sia idonea (0-25 mm). Una soffiante, previa pesatura del combustibile alternativo con bilancia gravimetrica, garantisce la quantità di aria nella tubazione necessaria al trasporto fino all'uscita del main burner, in cui si registra una temperatura adiabatica di fiamma prossima a 200 °C (zona di sinterizzazione della farina cruda). Il secondo punto di immissione del combustibile alternativo è nel precalcinatore (scambiatore termico a cicloni), in cui confluiscono altri due combustibili: la miscela fine di petcoke/carbon fossile (polverino) ed il gas metano. Così come il polverino di carbone, anche il combustibile alternativo verrà iniettato liberamente nel canale ascendente del calcinatore (pyroclon), dove il combustibile incontrerà una corrente ascensionale ad una temperatura di circa 850°C (per via dei gas prodotti tramite il bruciatore principale posto in testata ed eventualmente degli altri bruciatori posti nel calcinatore), sufficiente a garantire l'autoaccensione e la completa combustione del materiale iniettato. Nel precalcinatore le temperature variano da 1.000°C (temperatura di fiamma) a 850°C (temperatura dei materiali) ed i tempi di residenza dei gas sono di circa 3-4 secondi a circa 850°C rispettando così le condizioni minime di esercizio previste dal comma 4 dell'art. 273- octies del Dlgs 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i. che per gli impianti di coincenerimento impone le seguenti condizioni di esercizio: *“gli impianti di coincenerimento devono essere progettati, costruiti, equipaggiati e gestiti in modo tale che i gas prodotti dal coincenerimento dei rifiuti siano portati, in modo controllato ed omogeneo, anche nelle condizioni più sfavorevoli previste, ad una temperatura di almeno 850°C per almeno due secondi”*.

Prima del passaggio nel forno, la farina cruda viene inviata allo scambiatore termico a cicloni, costituito da cinque stadi di cicloni disposti in cascata, e dal canale calcinante, tutti percorsi, in controcorrente, dai gas caldi provenienti dal forno. Al quinto stadio del ciclone, la farina raggiunge una temperatura di 830 °C ed un grado di decarbonatazione pari al 94%, per poi essere scaricata nel forno rotante dove viene ulteriormente riscaldato fino alla temperatura di sinterizzazione (1.450 °C), alla quale avvengono le reazioni per la formazione del clinker.

Il CSS può essere alimentato sia in testata che al precalcinatore: nel primo caso, il combustibile contenuto all'interno di un contenitore chiuso (solitamente pianale mobile o *walking-floor* da 90

mc) viene scaricato tramite una centralina idraulica in un nastro a ginocchio a doppia inclinazione. Esso raggiunge una tramoggia dotata di aspi rompizolle alla base della quale è montata una bilancia gravimetrica, la quale eroga il combustibile su un nastro trasportatore e su una rotocella a flusso passante collegata con una tubazione attraversata da aria generata da una soffiante (trasporto penumatico). Il combustibile raggiunge il bruciatore principale attraverso un *anulus* centrale da quale raggiunge la zona di sinterizzazione e contribuisce alla cottura del clinker.

Nel secondo caso, il combustibile contenuto all'interno di un contenitore chiuso (solitamente pianale mobile o *walking-floor* da 90 mc) viene scaricato tramite una centralina idraulica in un nastro a ginocchio a doppia inclinazione. Da esso il combustibile raggiunge il canale calcinante attraverso un nastro trasportatore ed un elevatore a tazze, il quale alimenta una tramoggia dotata di aspi rompizolle alla base della quale è montata una bilancia gravimetrica. Quest'ultima scarica il combustibile nel canale calcinante attraverso una valvola a doppia clapet. La valvola serve per evitare che ci siano riflussi di gas caldi all'interno del sistema dei combustibili alternativi e garantisce una perfetta tenuta all'interfaccia tra l'alimentazione al precalcinatore ed i gas caldi ascensionali presenti nello stesso.

## **ALIMENTAZIONE COMBUSTIBILI ALTERNATIVI (BIOMASSE)**

Il ciclo tecnologico per l'impiego delle biomasse prevede le seguenti fasi:

- movimentazione e trasporto a mezzo pala gommata fino all'impianto di ricezione/dosaggio
- dosaggio e invio al punto di immissione.

Mediante pala meccanica viene alimentata direttamente una tramoggia o cassone di ricezione recante alla base un estraattore metallico; il materiale contenuto nel cassone viene inviato all'essiccatore rotante attraversando le seguenti macchine: nastro trasportatore, coclea, vaglio, deferrizzatore, mulino a coltelli, ciclone di separazione. Il materiale così selezionato, macinato ed essiccato viene inviato attraverso una redler nel silo di stoccaggio dotato di agitatore alla base dello stesso.

Dal silo viene estratto verso un sistema di pesatura che alimenta una rotocella che scarica in una tubazione nella quale fluisce l'aria generata da una soffiante. Pertanto, l'alimentazione in testata forno avviene grazie ad un trasporto pneumatico.

L'alimentazione della biomassa al precalcinatore avviene nel modo seguente: la biomassa -

prelevata dal reparto su descritto o tal quale - viene caricata in una tramoggia e per mezzo di nastro trasportatore ed elevatore a tazze raggiunge la quota corrispondente al punto di immissione nel calcinatore; l'elevatore scaricherà sulla bilancia gravimetrica collegata al canale calcinante per mezzo di una valvola a doppia clapet. La valvola serve per evitare che ci siano riflussi di gas caldi all'interno del sistema dei combustibili alternativi e garantisce una perfetta tenuta all'interfaccia tra l'alimentazione al precalcinatore ed i gas caldi ascensionali presenti nello stesso.

Il punto di sbocco del combustibile nel calcinatore avviene in una zona in depressione, per cui non è richiesta depolverazione lungo il tragitto o allo scarico.

Tutto il sistema è gestito da PLC il quale consente l'automazione sia delle operazioni ordinarie di dosaggio che le eventuali anomalie e/o allarmi che la sensoristica rivela durante la marcia dell'impianto. Gli allarmi sono gestiti dal sistema di automazione con procedure di sicurezza che consentono l'interruzione dell'alimentazione e la immediata fermata delle macchine interessate dall'anomalia.

Entrambe le bilance gravimetriche sono dotate di sistemi elettronici di controllo dello scarto tra la portata di set-point e quella effettiva con sistema di autoregolazione e taratura dello strumento di dosaggio.

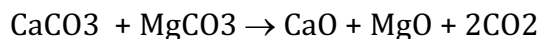
## **INSACCAMENTO, PALLETTIZZAZIONE, PRELEVAMENTO E CONSEGNA DEL CEMENTO PRODOTTO**

Dai silos di stoccaggio il cemento è inviato al reparto insaccamento, mediante canalette fluidificate ed elevatore a tazze, dove viene insaccato in sacchi con capacità di 25 kg, oppure può essere avviato al consumo allo stato sfuso. Successivamente il prodotto viene stoccato e predisposto in apposite aree. Il prodotto viene prelevato mediante mezzi d'opera e predisposto su autotreni che provvederanno alla relativa consegna.

## 2.5 *Area produzione calce*

### **AREA PRODUZIONE CALCE – REPARTO FORNO**

Il processo di produzione della calce consiste nella cottura del carbonato di calcio (materia prima è il calcare calcico) o carbonato di calcio e di magnesio (materia prima è il calcare dolomitico) a temperature di circa 900°C, in modo da liberare anidride carbonica e ottenere l'ossido derivato secondo la seguente reazione:



Gli ossidi in uscita dai forni vengono separati (vagliatura) prima di essere trasferiti ai silos di stoccaggio, per ottenere le seguenti frazioni granulometriche:

- frazione 0÷20 mm (materiale fino)
- frazione 20÷60 mm (materiale in zolle)

La prima frazione è utilizzata per la produzione di ossido di calcio micronizzato e calce idrata, la seconda frazione è venduta tal quale o inviata al reparto di produzione ossido di calcio micronizzato e di idratazione.

Il processo di produzione della calce prevede un funzionamento discontinuo di due tini che funzionano alternandosi.

Il processo di produzione è composto dai seguenti sottoprocessi:

- trattamenti fisici preliminari del calcare
- calcinazione del calcare
- trattamento della calce viva
- idratazione e spegnimento della calce viva
- stoccaggio, movimentazione e trasporto

Il calcare per la produzione della calce proviene da cave qualificate esterne all'impianto, già ridotto in pezzature idonee (30÷70 mm). Esso è preventivamente vagliato in modo da scartare il materiale più fino e da introdurre nel ciclo solo quello selezionato, in quanto è necessario garantire un prestabilito grado di vuoto all'interno dei tini rigenerativi, in modo da agevolare il passaggio dei gas caldi attraverso il letto di calcare. Quando ciò non avviene, si formano dei blocchi fusi di materiale, a causa di punti caldi stagnanti e localizzati. L'alimentazione del calcare avviene in modo che la massa di calcare subisca un preriscaldamento prima della cottura vera e propria.

La cottura avviene in due forni rigenerativi a flusso parallelo, riprodotto schematicamente nelle figure seguenti. La caratteristica dei forni è quella di essere composti ciascuno da due tini cilindrici



tra loro interconnessi. Il calcare viene caricato in ogni tino e scende lungo la zona di preriscaldamento/rigenerativa, nella quale ha luogo lo scambio di calore, supera le lance che immettono il combustibile e arriva nella zona di calcinazione. Da qui raggiunge la zona di raffreddamento. Il funzionamento di ciascun forno prevede la combustione alternata in ogni tino con un ciclo che dura da 8 a 15 minuti, in base alla produzione desiderata. Lo scambio di calore che si verifica nel processo di cottura della calce può quindi suddividersi in tre fasi:

Zona di preriscaldamento. Il calcare caricato su uno dei due tini viene portato ad oltre 800°C grazie al contatto diretto con i gas caldi che lasciano la zona di calcinazione dell'altro tino;

Zona di calcinazione. Il combustibile brucia tra i fumi della combustione del metano; alla temperatura di oltre 900°C si ottiene la dissociazione del calcare in calce viva e anidride carbonica (processo di calcinazione). Nel caso di calcare dolomitico la dissociazione avviene a temperature più basse, in quanto il carbonato di magnesio si decompone a partire da 350°C fino a 900°C.

Zona di raffreddamento. La calce viva che esce dalla zona di calcinazione si raffredda al contatto diretto con l'aria di raffreddamento.

Il sistema del forno a doppio tino consente di recuperare il calore dei fumi di combustione, raffreddandoli gradualmente fino a circa 100°C all'uscita dal forno.

Poiché il forno è destinato a funzionare con un elevato livello di eccesso d'aria, il livello di CO<sub>2</sub> presente nei gas esausti è basso, rendendo tale tipologia di forno particolarmente attuale rispetto alle necessità di riduzione delle emissioni di anidride carbonica previste dal Protocollo di Kyoto. Presso l'impianto di Marcellinara sono installati due forni a doppio tino, marca CIM REVERSEY.

## **LAVORAZIONI SECONDARIE DELLA CALCE VIVA**

Il prodotto che esce dal forno viene selezionato con un vaglio per ottenere frazioni utili e selezionare diversi prodotti come già sopra descritto. Di seguito sono descritti i cicli tecnologici del reparto di macinazione per la produzione di ossido di calcio micronizzato e dell'idratazione per la produzione di calce spenta.

## **PRODUZIONE DI OSSIDO DI CALCIO MICRONIZZATO**

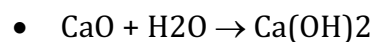
La calce viva prodotta nei forni a tino, dopo la vagliatura è stoccata nei due silos dedicati al materiale fino ed in zolle (grosso). Dai suddetti silos è possibile prelevare la calce viva per convogliarla al silo in testa al mulino, utilizzando nastri gommati ed un elevatore a tazze. Alla base del silo in testa al mulino è posizionata una bilancia gravimetrica, che ha il compito di dosare il

materiale all'ingresso del mulino a sfere. Il peso è registrato da apposito PLC, i cui dati creano un report giornaliero di produzione del prodotto finito e di consumi di materie prime. Il mulino è a circuito chiuso, corredato da separatore dinamico per la classificazione delle particelle in ingresso allo stesso e da filtro di processo. Il materiale grossolano scaricato dal separatore (rifiuto del separatore) è inviato nuovamente nel mulino a sfere assieme alla alimentazione fresca fino al raggiungimento della granulometria desiderata. Il prodotto finito in uscita dal separatore dinamico e dal filtro di processo è inviato al silo di stoccaggio tramite una coclea ed un elevatore a tazze. Il prodotto finito ha un residuo su setaccio da  $200\ \mu\text{m} < 1\%$ .

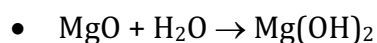
## **PRODUZIONE DI CALCE IDRATA**

Il materiale da utilizzare nel reparto di idratazione è estratto tramite una coclea dal silo della calce viva fina e grossa. Esso è macinato da un mulino a martelli e stoccato nel silo dedicato tramite un elevatore a tazze. Una coclea dosatrice alimenta l'idratatore a 3 stadi, in cui avviene lo spegnimento della calce viva.

L'idratazione della calce richiede l'aggiunta di acqua in un idratatore come secondo reagente, in conformità alla seguente reazione chimica esotermica:



Quando si utilizza il calcare dolomitico, la calce viva è composta anche da ossido di magnesio ( $\text{MgO} > 35\%$ ), il quale nella fase di spegnimento e nelle condizioni operative dello stesso (pressione e temperatura) ha una resa bassa di idratazione (35% circa). La reazione di idratazione dell'ossido di magnesio nel corrispondente idrossido è la seguente:



Alla fine dello spegnimento la calce idrata è classificata da un separatore dinamico: la parte grossa è rimandata in un mulino a palle per un'ulteriore macinazione e classificazione fino al raggiungimento della granulometria desiderata, la parte fina è inviata nei silos di stoccaggio tramite coclee ed un elevatore a tazze. Il mulino a palle è corredato da filtro di processo.

La calce idrata ottenuta può essere stoccata nel silo dello sfuso o nel silo dell'insaccamento.

La linea di insacco prevede una macchina statica a 3 becchi, corredata da pallettizzatore, mentre l'incappucciamento avviene in modo manuale ponendo su ogni pedana un film termoretraibile da scaldare con un erogatore collegato ad una bombola di gas propano/butano.

## **AREA PRODUZIONE CALCE - REPARTO IDRATAZIONE**

L'ossido di calcio ottenuto dal processo di calcinazione e cottura nel forno può essere successivamente sottoposto ad un'ulteriore lavorazione al fine di ottenere calce idrata.

All'interno di questo reparto è infatti presente un idratatore all'interno del quale l'acqua giunge a contatto con la calce in zolle e viene interamente assorbita da essa.

Precedentemente, al fine di facilitare il processo di assorbimento, la calce viene macinata in un piccolo mulino a palle presente nel reparto e totalmente isolato, fino ad essere ridotta ad una granulometria massima di 6 mm.

La calce idrata ottenuta dal processo di idratazione viene successivamente insilata per essere insaccata o venduta sfusa.

## **3.0 CARATTERIZZAZIONE RADIOMETRICA DI MATERIALI E RESIDUI**

In generale la caratterizzazione radiometrica di matrici consiste nel determinare le concentrazioni di attività dei radionuclidi delle serie naturali di  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  e del  $^{40}\text{K}$ . In prima battuta si può trascurare la serie dell' $^{235}\text{U}$ , dato il minor peso relativo di abbondanza isotopica.

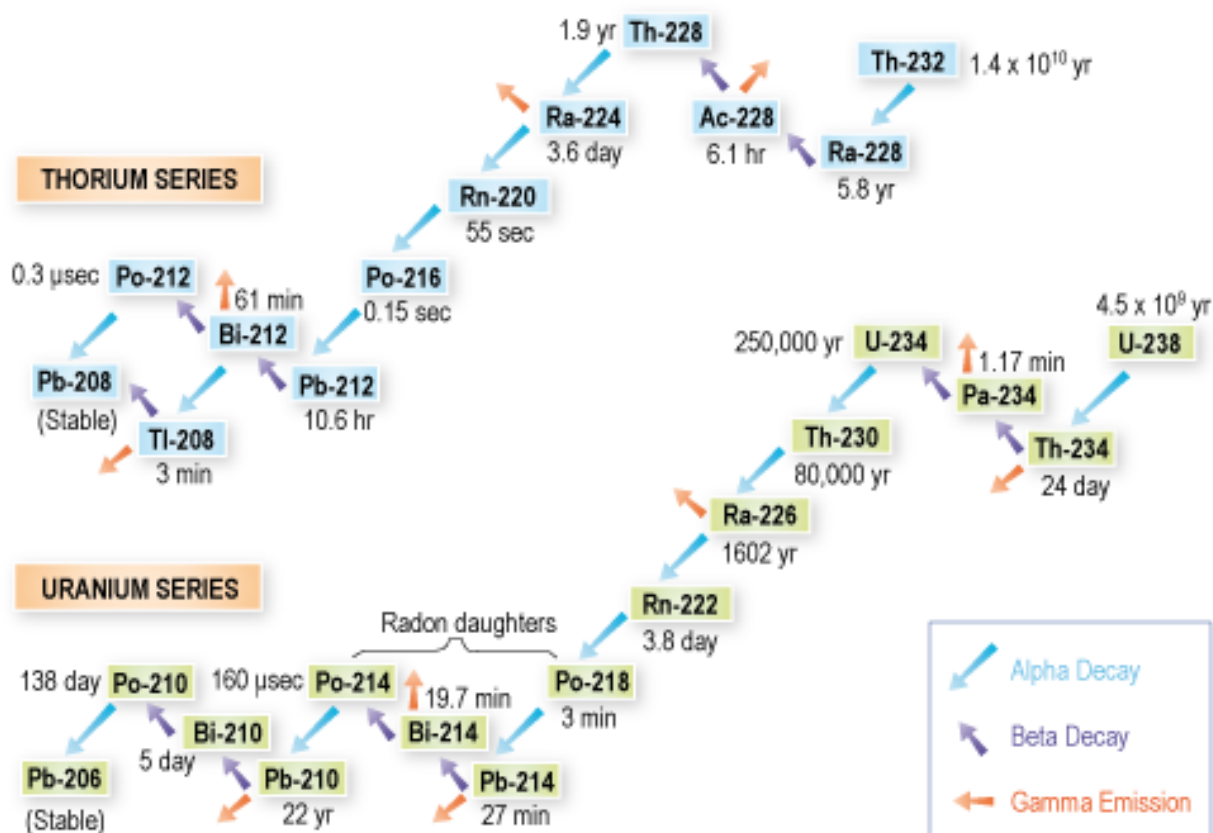
I radionuclidi delle serie naturali di  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  possono trovarsi in equilibrio secolare con il proprio capostipite (e questa è la condizione ricorrente quando si esaminano le materie prime) oppure no: in questi casi è comodo trattare le due serie in termini di tronchi di catena, ovvero di segmenti di catene costituite da un progenitore di tempo di dimezzamento non breve e discendenti di emivita breve in equilibrio secolare con lo stesso. Da un punto di vista analitico è allora sufficiente misurare la concentrazione di attività di almeno un radionuclide per ciascun tronco di catena per avere il controllo su tutta la serie.

Segmento catena	Nuclidi considerati in equilibrio secolare
U-238+	U-238, Th-234, Pa-234m
U-234	U-234
Th-230	Th-230
Ra-226+	Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214
Pb-210+	Pb-210, Bi-210
Po-210	Po-210
Th-232	Th-232
Ra-228+	Ra-228, Ac-228
Th-228+	Th-228, Ra-224, Po-216, Pb-212, Bi-212, Po-212 (diramazione), Tl-208 (diramazione)
Catena intera	Segmenti di catena in equilibrio secolare
U-238sec	U-238+, U-234, Th-230, Ra-226+, Pb-210+, Po-210
Th-232sec	Th-232, Ra-228+, Th-228+

Nota: per la serie dell'U-235 sono identificabili tre segmenti, con equilibrio secolare interno a ciascuno di essi: U-235+ (U-235, Th-231), Pa-231, Ac-227+ (Ac-227, Th-227, Fr-223, Ra-223, Rn-219, Po-215, Pb-211, Bi-211, Po-211, Tl-207)

**Tabella 2** – Segmenti di catena delle catene naturali di  $U^{238}$  e  $Th^{232}$

In giallo sono evidenziate i segmenti di catena determinabili tramite spettrometria gamma e nella figura sotto sono rappresentate le serie naturali citate, con indicato il tipo di decadimento e l'emivita di ogni nuclide.



**Fig. 4** – Catene naturali di decadimento radioattivo del  $^{232}\text{Th}$  e dell'  $^{238}\text{U}$ .

La conoscenza sull'equilibrio secolare o meno della catena nel suo complesso discende dunque dall'attività sperimentale (esiti delle determinazioni sulle diverse semiserie in accordo l'una con l'altra) e/o da informazioni sul processo lavorativo.

L' $^{238}\text{U}$  può essere trattato nel rapporto isotopico naturale con l' $^{238}\text{U}$  (se non sussistono processi chimici che agiscono selettivamente sulla massa del radionuclide); l'analisi radiochimica è opportuna o necessaria per  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{210}\text{Po}$  (anche per  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  ove specificamente significativi e non desumibili da assunzioni sull'equilibrio complessivo della catena).

Per la determinazione del contenuto di elementi radioattivi è necessario ricorrere ad analisi di laboratorio. I campioni devono essere prelevati in modo da garantire la rappresentatività della matrice.

Di seguito sono riportati i materiali presenti nel ciclo produttivo e i residui derivanti dall'attività lavorativa che sono stati caratterizzati.

### ***3.1 Verifiche radiometriche dell'impianto con misure di radioattività gamma in aria***

In tutta l'area dell'impianto sono stati eseguiti monitoraggi del fondo gamma ambientale. Le misure effettuate hanno rilevato ratei di poco superiori al fondo naturale f.n. (determinato al momento delle misure col medesimo strumento) e comunque mai superiori al doppio.

Punto misura	Metodo di misura	Ratei misurati
Fondo ambientale Area esterna impianto	Misure puntuali con sonda a 1m dal suolo	$45 \pm 5$ nSv/h
Aree impianto	Misure puntuali con sonda a 1m dal suolo	50 nSv/h
Big bags contenenti ceneri leggere	Misure puntuali con sonda a circa 20 cm dalla superficie	60 nSv/h
Big bags contenenti ceneri pesanti	Misure puntuali con sonda a circa 20 cm dalla superficie	70 nSv/h

**Tabella 3: radioattività gamma in aria**

### 3.2 Materiali presenti nel ciclo produttivo

Tra i materiali presenti nel ciclo produttivo sono stati sottoposti ad analisi di spettrometria gamma ad alta risoluzione, presso laboratorio accreditato, i seguenti campioni:

	Denominazione	Rapporto di prova	Data emissione
1	Catalizzatori Sonatach FCCU	01C	17/12/2024
2	Ceneri Leggere Sper	02C	17/12/2024
3	Argilla	03C	17/12/2024
4	Sabbia	04C	17/12/2024
5	Larox (correttivo ferro forno)	05C	17/12/2024
6	Gesso Gipsos	06C	17/12/2024
7	Gesso Bonacia	07C	17/12/2024
8	CSS La Carpia	08C	17/12/2024
9	Fanghi UoP	09C	17/12/2024
10	Fanghi Italbicolor	10C	17/12/2024
11	Ceneri Pesanti Sper	11C	17/12/2024
12	Scorie non trattate Acciaierie di Sicilia	12C	17/12/2024
13	Ceneri Tampieri S3 20/09/24 H265	13C	17/12/2024
14	Silica Fume	14C	17/12/2024
15	Calcare Coccimiglio	15C	17/12/2024
16	Calcare Lucia	16C	17/12/2024
17	Calcare Cannataro	17C	17/12/2024
18	Calcare Corso	18C	17/12/2024
19	Calcare Mazzei Cotto 4	19C	17/12/2024
20	H293 Pietra Forno Cim	20C	17/12/2024
21	Gesso	21C	17/12/2024
22	Pozzolana	22C	17/12/2024
23	Loppa granulare, amorfa, raffreddata repentinamente con acqua di mare	68/21	28/06/2021
24	Loppa granulare, amorfa, raffreddata repentinamente con acqua di mare	69/21	28/06/2021
25	Loppa granulare, amorfa, raffreddata repentinamente con acqua di mare	70/21	28/06/2021
26	Loppa granulare, amorfa, raffreddata repentinamente con acqua di mare	71/21	28/06/2021
27	Loppa granulare, amorfa, raffreddata repentinamente con acqua di mare	72/21	28/06/2021

28	Ceneri leggere provenienti dalla combustione della biomassa	73/21	28/06/2021
29	Loppa granulare, amorfa, raffreddata repentinamente con acqua di mare	74/21	28/06/2021
30	Loppa granulare, amorfa, raffreddata repentinamente con acqua di mare	75/21	28/06/2021
31	Ceneri leggere provenienti dalla combustione della biomassa	76/21	28/06/2021
32	Ceneri leggere provenienti dalla combustione della biomassa	77/21	28/06/2021
33	Loppa granulare, amorfa, raffreddata repentinamente con acqua di mare	78/21	28/06/2021

**Tabella 4: Materiali presenti nel ciclo produttivo sottoposti ad analisi di spettrometria gamma ad alta risoluzione**

Dai rapporti di prova (allegato 1) si evince che:

- non sono stati riscontrati radionuclidi artificiali in concentrazioni misurabili ad eccezione (nei campioni di Silica fume, Ceneri Leggere Sper, Argilla) di Cs-137, probabilmente addebitabili all'ubiquitarità ambientale e a successivi fenomeni naturali di accumulo, escluse, ai sensi del punto 9.1, allegato I, dalle disposizioni stabilite dal D. Lgs. 101/2020 e ss.mm. ii. e in ogni caso sotto la soglia di rilevanza radiologica.
- le concentrazioni di attività dei radionuclidi naturali indagati sono risultate contenute nei livelli per i residui esenti di cui all'allegato II, Sez. II punto 2 del citato D. Lgs. n.101/20 e ss.mm.ii..
- sono state, inoltre, rilevate concentrazioni di attività di Be-7, radionuclide prodotto dalla spallazione dell'ossigeno atmosferico, prive di rilevanza radiologica per quanto stabilito al paragrafo 2., Sezione 1, Allegato 1 al D.Lgs. 101/2020 e ss.mm.ii., anche in considerazione della sua emivita relativamente breve.

### **3.3 Residui derivanti dall'attività lavorativa**

L'attività descritta non produce residui di lavorazione.

Gli unici rifiuti prodotti sono generati dall'attività di manutenzione del forno. Durante l'intervento di manutenzione del 2023 è stato sottoposto a spettrometria gamma ad alta risoluzione e basso fondo eseguita il rifiuto denominato "RIFIUTI MISTI DELL'ATTIVITÀ DI COSTUZIONE E

DEMOLIZIONE - G107". Dall'esame del rapporto di prova n. 22256/E0111, emesso in data 13/05/2023 (allegato 2), si evince che non sono stati riscontrati radionuclidi artificiali in concentrazioni misurabili e le concentrazioni di attività dei radionuclidi naturali indagati sono risultate tutte contenute nei livelli di allontanamento di cui all'allegato II, sezione II, paragrafo 4., del D. Lgs. 101/2020 e ss.mm.ii..

#### **4.0 CONCLUSIONI**

**In tutte le matrici esaminate, i risultati delle misurazioni non hanno mai evidenziato concentrazioni di attività superiori ai livelli di esenzione in termini di concentrazione di attività di cui all'allegato II D. Lgs. 101/20 e ss.mm.ii..**

Pertanto, ai sensi del comma 2 dell'art. 22, D. Lgs. 101/20 e ss.mm.ii., l'esercente dovrà provvedere alla ripetizione delle misure con cadenza triennale o nel caso di significative variazioni del ciclo produttivo o delle caratteristiche radiologiche delle materie in ingresso e conservare tali risultati per un periodo di sei anni.

La pratica non è soggetta alla notifica di cui all'art. 24 del menzionato decreto e lo smaltimento dei residui non necessita di autorizzazione ai sensi degli artt. 23 e 26 del D. Lgs. 101/20 e ss.mm.ii..

IL PRESENTE DOCUMENTO È PARTE INTEGRANTE DEL DOCUMENTO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI CUI ALL'ARTICOLO 17, DEL DECRETO LEGISLATIVO 9 APRILE 2008, N. 81

dott. Francesco BONACCI  
Specialista in Fisica Sanitaria  
Esperto di Radioprotezione  
*Francesco Bonacci*

