



**SARDEGNA
RICERCHE**

Sardegna FESR 2014/2020 - ASSE PRIORITARIO I

“RICERCA SCIENTIFICA, SVILUPPO TECNOLOGICO E INNOVAZIONE”

**Azione 1.1.4 Sostegno alle attività collaborative di R&S per lo sviluppo di nuove tecnologie
sostenibili, di nuovi prodotti e servizi**

Deliverable CAR-R 0. 2- Rapporto sulla caratterizzazione delle proprietà mineralogiche e chimiche delle scorie industriali



UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA





**SARDEGNA
RICERCHE**

TESTARE

CAR-R1.2- Rapporto sulla caratterizzazione delle proprietà mineralogiche e chimiche delle scorie industriali

CUP PROGETTO: F21B17000790005

PROGRAMMA "AZIONI CLUSTER TOP-DOWN" - POR FESR SARDEGNA 2014-2020

Ed: 1.0 Data: 30/07/2019



UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA





**SARDEGNA
RICERCHE**

STATO DEL DOCUMENTO

PROGETTO: TESTARE			
TITOLO DEL DOCUMENTO: Rapporto sulla caratterizzazione delle proprietà mineralogiche e chimiche delle scorie industriali			
CUP PROGETTO: F21B17000790005			
ENTE FINANZIATORE: SARDEGNA RICERCHE			
PROGRAMMA " AZIONI CLUSTER TOP-DOWN " - POR FESR SARDEGNA 2014-2020			
IDENTIFICATIVO DELIVERABLE: CAR-R.0.2-			
EDIZ.	REV.	DATA	AGGIORNAMENTO
1	0	30/07/2019	Prima emissione
2	0	30/03/2021	Seconda emissione

STATO DI AGGIORNAMENTO			
PAR	EDIZ.	REVISIONE	MOTIVO DELL'AGGIORNAMENTO

NUMERO TOTALE PAGINE:	14
-----------------------	----

AUTORE: Giovanni De Giudici



**SARDEGNA
RICERCHE**

SOMMARIO

DESCRIZIONE DEL PROGETTO TESTARE	5
INFORMAZIONI GENERALI E SCOPO DEL DOCUMENTO	8
CARATTERIZZAZIONE MINERALOGICA E CHIMICA DELLE FLY ASH	8
Introduzione	8
Carotaggio	9
Campionamento delle carote	11
Analisi XRD	12
Analisi Chimica	14
Discussione e conclusioni	14



UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA





**SARDEGNA
RICERCHE**

DESCRIZIONE DEL PROGETTO TESTARE

Con la piattaforma **H2020**, l'Europa dei 27 ha stabilito degli **ambiziosi obiettivi di sviluppo tecnologico** finalizzati al **miglioramento dell'utilizzo delle risorse**, alla **minimizzazione della produzione dei rifiuti ed al loro reimpiego**, alla ricerca di soluzioni di sistema **nell'ottica di una economia circolare**. Una delle condizioni da soddisfare al fine di cogliere gli obiettivi di H2020 è lo sviluppo di tecnologie che permettano di affrontare queste sfide sia puntualmente che a scala di sistema combinando lo sviluppo con la sostenibilità ambientale.

Le grandi sfide poste dall'Europa in tema di prevenzione dell'inquinamento e di risanamento sono molteplici. Si stima che **solo in Europa il numero totale dei siti inquinati sia circa 300.000**, mentre il numero potenziale potrebbe superare 1.500.000 (<http://www.eea.europa.eu/publications/92-9157-202-0/page306.html>). Secondo Johnson et al. (2006), il degrado del suolo europeo a causa di cattiva gestione agricola (550 milioni di ettari) è circa il 30% del totale del suolo degradato. Eurostat 2011 evidenzia che oltre lo **0,3% della superficie del suolo in Europa è contaminata** da attività minerarie (tra cui miniere abbandonate) o attività connesse. Il Sulcis Iglesiente è un esempio di questa situazione: si trovano in esso concentrati 113 siti minerari dismessi (169 in tutta la Sardegna), oltre 65 Mt di residui minerari (71 a livello regionale), siti industriali con (co)contaminazione da metalli pesanti ed idrocarburi, e presenza di **5 grandi insediamenti industriali nel comparto energetico e metallurgico**. Nel complesso, la Sardegna è tra le regioni italiane con la maggiore superficie inquinata.

Il miglioramento delle **tecniche per la caratterizzazione, il monitoraggio, la bonifica di suoli contaminati e il recupero dei suoli degradati** è da un lato un'opportunità economica per le aziende e la PA (si può stimare grossolanamente in svariate centinaia di milioni di euro la spesa per il ripristino di aree industriali contaminate in Sardegna) e dall'altro è di primaria importanza per ripristinare i sistemi naturali compromessi dalle attività antropiche, recuperare aree del territorio per scopi produttivi e turistico-culturali, ed è pertanto di **strategica importanza per la Sardegna**.

Il progetto si prefigge di **mettere a sistema soluzioni allo stato dell'arte fondendo competenze per la caratterizzazione e il monitoraggio delle matrici ambientali ed industriali**, di tecnologie per il **riuso e la valorizzazione di residui industriali**, di **Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione (ICT)** per favorire la **progettazione** e la **messa in opera di interventi** di risanamento ambientale e soluzioni a **basso impatto ambientale per le aziende del Cluster**. Il ICT sarà il collante delle tecnologie di indagine e sfrutterà infrastrutture a micro-servizi, i nuovi paradigmi del "Internet of Things (IoT)", esponendo sul CLOUD sistemi evoluti di analisi ad alto valore aggiunto. I metodi tradizionali di monitoraggio e caratterizzazione (ad esempio basati su carotaggi, analisi in laboratorio, sistemi a sonde multiparametriche, ecc.) sono costosi e spesso inefficaci a trattare i problemi e le dinamiche ambientali che si incontrano. **TESTARE** affronta il complesso problema di come **combinare lo sfruttamento delle risorse e la protezione dell'ambiente**. Esso si prefigge di applicare **strumenti innovativi dal punto di vista del processo, servizio e prodotto**, e che offrano la **miglior sostenibilità** sotto il profilo **ambientale ed economico**.

Partendo dai buoni risultati della ricerca, acquisiti durante progetti di ricerca europei e nazionali, l'Università di Cagliari (**UNICA**), Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche (**DSCG**), Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale ed Architettura (**DICAAR**), ed il Centro di Ricerca e Sviluppo, Studi Superiori in Sardegna (**CRS4**) e **SOTACARBO** intendono promuovere una suite di prodotti operativi per la gestione e il miglioramento delle performance ambientali ed economiche. Il progetto propone quindi l'utilizzo di strumenti innovativi e a basso costo per la caratterizzazione delle matrici ambientali e materiali industriali, la pianificazione degli interventi di risanamento e recupero e il monitoraggio.

Il progetto, **di durata pari a 30 mesi**, è articolato in un sistema di azioni raggruppate in WPs:

WP1. Sistema di **caratterizzazione, di monitoraggio e di miglioramento** delle funzionalità di matrici ambientali ed industriali. In particolare, il focus sarà sull'uso di metodi e strumenti i) non invasivi di geofisica per la caratterizzazione delle matrici ambientali acqua e suolo ii) per la caratterizzazione di bioindicatori e di matrici ambientali, iii) per la caratterizzazione delle proprietà di carbonatazione (intrappolamento della CO₂) delle scorie di combustione (, iv) per la caratterizzazione delle proprietà utili a definire i possibili usi alternativi delle scorie industriali (ad esempio come materiali da costruzione). Inizialmente, le risposte alle esigenze manifestate dalle aziende verranno date sulla base di



SARDEGNA RICERCHE

risultati ottenuti in progetti di ricerca precedenti, e successivamente si arricchiranno dei nuovi risultati ottenuti con la fase di sperimentazione ed implementazione del progetto TESTARE.

WP2. Sistema di **sperimentazione di bonifica e/o riutilizzo di materiali industriali** e formulazione di prospettiva di sostenibilità ambientale. In questa fase avverrà la sperimentazione in fase di laboratorio e, in alcuni casi, pilota. Il focus degli esperimenti sarà su prove di valorizzazione degli scarti industriali per a) usi di **carbonatazione**, b) come materiali alternativi per **pavimentazioni stradali**; c) applicazione di protocolli di **bio-rimedio** a problemi di **contaminazione da metalli pesanti ed idrocarburi** in siti industriali.

WP3. Messa in opera di una **infrastruttura per l'acquisizione, l'archiviazione e l'interpretazione dei dati ambientali**. L'obiettivo è di favorire una razionale organizzazione dei dati, la messa in opera di strumenti di analisi e servizi web per la fruizione dell'informazione e l'interpretazione delle dinamiche ambientali. In sintesi, verrà messo in opera una infrastruttura web innovativa che esporrà una serie di servizi ad alto valore aggiunto per le aziende con la finalità di: 1) **archiviare, ed esporre dati eterogenei** provenienti dalla caratterizzazione e dal monitoraggio 2) esporre una serie di **applicazioni per analizzare le dinamiche ambientali nel spazio e nel tempo**; 3) permettere l'analisi di scenari attraverso l'uso di due modelli numerici ad approccio fisico per lo studio delle matrici suolo e acque (**SWAT e Modflow**).

WP4. **Diffusione** dei risultati ottenuti dal cluster presso altre aziende, stakeholder ed altri **attori della sostenibilità ambientale ed economica**.

Il cluster di imprese è costituito da società leader nel settore che hanno interessi nel campo delle tecnologie ambientali e della sostenibilità **ambientale**: **SARTEC, CARBOSULCIS, IGEA, ECOSERDIANA e RISANASARDA**. Importante contributo al progetto sarà anche fornito dagli studi di ingegneria che portano in dote le esperienze di chi fa i piani di caratterizzazione e i progetti di bonifica. A queste si affiancano alcune società che hanno un interesse primario nelle attività di **ICT: CONSULMEDIA; KARAL IS GROUP, DIGITABILE**. Completano la compagine del cluster due società che hanno un interesse primario nello **sviluppo di materiali** ad alta sostenibilità ambientale, **NTC COSTRUZIONI GENERALI e CONGLOMERATI BITUMINOSI**. Con lo sviluppo dei vari WP del progetto, queste imprese trovano in **TESTARE** risposte a vari tipi di esigenze tecnologiche interconnessi e funzionali a sviluppare la loro capacità di innovazione e di partecipazione al miglioramento della sostenibilità ambientale di filiere produttive di rilievo sia a scala locale che non.

Il soggetto proponente, una **ATI** (costituenda) (come precedentemente detto **UNICA- responsabile CRS4 e SOTACARBO**) ha accumulato importanti esperienze e competenze nei campi specifici per i quali le aziende hanno manifestato delle loro esigenze di innovazione e sviluppo. **TESTARE** ha le sue basi anche sulla capacità di lavorare in stretta connessione tra i partner dell'ATI. Le esperienze precedenti più significative sono i progetti top-down **SMERI, SMART ed INNO (2014-2015)**, che hanno dato luogo a vari follow-up, i più significativi sono i progetti **LIFE (RESOL)** e progetti **H2020 (MSCA- ITN – PLUS)** in corso di valutazione, ed un progetto **FP7- ERANETMED2 – 72094** risultato vincitore ed attualmente in fase di negoziazione per il suo avvio. Queste esperienze precedenti hanno avuto un valore sia scientifico che tecnico ed erano finalizzate alla **capacity building delle aziende** nel campo della **sostenibilità ambientale** con sviluppo di un **toolkit di tecnologie ambientali ed ICT**. La composizione delle compagini di ricerca interne ai Dipartimenti (DSCG e DICAAR) dell'Università di Cagliari sono anche esse frutto di progetti di ricerca precedenti svolti a partire dal 2010 (**BioPhyto- Legge 7 Contenimento CO2**, etc.)

Gli **obiettivi** delle attività del cluster sono, in sintesi, i) **aumentare le capacità tecnologiche delle aziende** trasferendo il **know-how** di TESTARE, al fine di **migliorarne i processi, i prodotti ed i servizi**; ii) stimolare la creazione di una **rete trasversale delle competenze** delle aziende nel campo della **sostenibilità ambientale**; iii) **ridurre i costi di gestione, monitoraggio ed intervento delle aziende nel campo ambientale**; iv) stimolare e coadiuvare le aziende a sviluppare servizi, prodotti e processi che aumentino la **competitività delle aziende nel mercato locale e non**; v) avere un **impatto a scala di filiera** tramite la realizzazione del paradigma dell'economia circolare e della chiusura del ciclo dei rifiuti.

Le imprese coinvolte nella composizione iniziale del cluster hanno manifestato dei precisi interessi verso le tematiche attorno ai quali sono stati costruiti i WP. Il WP di coordinamento dei risultati e loro diffusione, oltre a gestire il corretto raggiungimento degli obiettivi previsti e la realizzazione dei prodotti del progetto, è preposto a garantire gli standard di qualità e a coordinare l'interazione con le imprese coinvolte. Un attento piano di trasferimento tecnologico e di diffusione dei risultati è calato sulle esigenze delle imprese favorendo momenti pratici di utilizzo degli strumenti di



**SARDEGNA
RICERCHE**

TESTARE. Diverse azioni sono state previste per aumentare l'impatto della diffusione ben oltre il CLUSTER delle aziende partecipanti, che ha visto già in fase di scrittura e ideazione del progetto il coinvolgimento delle istituzioni e diversi attori operanti nel settore come **ARPAS, RAS, ORDINE DEGLI INGEGNERI e ORDINE DEI GEOLOGI. L'Ufficio stampa di UNICA, l'ufficio di Valorizzazione del CRS4, con la collaborazione importante di SARDEGNA RICERCHE** saranno uno degli strumenti del piano di diffusione dei risultati e di coinvolgimento di altre imprese delle filiere coinvolte dal cluster iniziale.



UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



POR FESR
SARDEGNA 2014-2020



**SARDEGNA
RICERCHE**

INFORMAZIONI GENERALI E SCOPO DEL DOCUMENTO

Le tecnologie TESTARE di biomonitoraggio sviluppate e messe a sistema nel progetto TESTARE affrontano il problema di come analizzare gli impatti dell'attività industriale dell'uomo sull'ambiente, imparare i meccanismi dei processi resilienza ambientale, e riprodurli in processi di biorimediazione e disinquinamento. Il processo seguito nello sviluppo e nell'ideazione dei prodotti si prefigge di applicare strumenti innovativi dal punto di vista del processo, del servizio e del prodotto, che offrano la miglior sostenibilità sotto il profilo ambientale ed economico.

Attraverso la collaborazione tra il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Cagliari, il CRS4 e la SOTACARBO e diverse aziende operanti in diversi settori del dominio ambientale si è messo a sistema la buona ricerca e la necessità di avere prodotti usabili e affidabili. Le soluzioni proposte sono quindi espressione e sintesi degli indirizzi forniti dalle imprese partecipanti al cluster sui seguenti aspetti:

- competenze per la caratterizzazione e il monitoraggio delle matrici ambientali ed industriali, è stato affrontato il caso dei residui di combustione del carbone (fly ash) stoccati presso la discarica della Carbosulcis.

- tecnologie per il riuso e la valorizzazione di residui industriali. In particolare verrà affrontato il problema delle ceneri volanti (fly ash)

- tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) per favorire la progettazione e la messa in opera di interventi di risanamento ambientale e soluzioni a basso impatto ambientale.

Il documento descrive l'applicazione di tecniche di caratterizzazione mineralogica e chimica di fly ash messe a dimora nel sito "Carbosulcis" ed invecchiate in loco.

CARATTERIZZAZIONE MINERALOGICA E CHIMICA DELLE FLY ASH

Introduzione

Il materiale oggetto di studio è stato campionato attraverso carotaggi presso la discarica di Nuraxi Figus in data 23/07/18 dai ricercatori partecipanti al progetto TESTARE (De Giudici, Fancello, Cappai, Vacca, Rombi).

La discarica (Fig. 1) ospita le Fly Ash (ceneri volanti) prodotte dalla combustione del carbone presso la centrale termoelettrica di Portovesme, unite a solfati di calcio che sono il risultato del processo di desolforazione. In anni passati la desolforazione avveniva tramite l'aggiunta di CaCO_3 direttamente nella camera di combustione, mentre più di recente la desolforazione viene ottenuta con l'aggiunta di CaCO_3 al termine della combustione.

Ci sono perciò due tipi di ceneri distinte, quelle prodotte nei reattori di tipo A, più vecchie, e quelle prodotte nei reattori di tipo B, più recenti. Inoltre, in alcune parti della discarica, sono presenti entrambi i tipi mescolati tra loro.

Dopo il conferimento in discarica, le ceneri vengono bagnate e compresse tramite rulli compressori al fine di abbattere le polveri e di ridurre il volume.



**SARDEGNA
RICERCHE**

Carotaggio

Le carote sono state prelevate tramite carotatore portatile a percussione (Fig. 2). La lunghezza di ogni segmento di carota è di circa un metro, corrispondente alla lunghezza dell'asta cava del carotatore. Segmenti, sempre di un metro, ma più profondi sono stati prelevati con l'aggiunta di prolunghe metalliche. Prima di iniziare il carotaggio, un apposito sacchetto di plastica dell'esatto diametro del carotatore viene infilato all'interno del corpo cavo in modo che la carota venga "insaccata" durante l'infissione della testa e resti integra nel momento in cui viene rimossa dal carotatore.

Le ceneri rullate sono troppo compatte per il campionamento col carotatore a percussione perciò i punti di campionamento sono stati posizionati in prossimità dei bordi dei vari abbancamenti, dove il rullo non arriva e le ceneri sono meno compatte.

Sono state prelevate tre carote, talvolta divise in più segmenti per esigenze di campionamento.

La posizione dei carotaggi è riportata in Fig. 1.

Carota A: prelevata nella porzione nord della discarica, nell'abbancamento più recente di ceneri, stoccate nel corso del 2018 e prodotte da reattori di tipo B. La carota è divisa in due segmenti, il primo di un metro scarso, il secondo più corto, per una lunghezza totale di circa 1.6 m.

Carota B: prelevata nella porzione sud della discarica, in un abbancamento realizzato nell'arco degli ultimi anni (3-4) e costituito da ceneri miste. La carota è costituita da un solo segmento di circa 1 m.

Carota C: prelevata una decina di metri più a sud della precedente, in un canale nel quale confluiscono le acque piovane. Essendo circa 1.5 m più in basso rispetto al piano della carota B, può essere considerata la sua ideale prosecuzione verso il basso. Questo punto rappresenta le ceneri più vecchie, prodotte in prevalenza da reattori di tipo A. È da considerare inoltre che la carota è stata prelevata in corrispondenza di una frattura aperta quindi ulteriormente esposta all'infiltrazione di acqua e al contatto con l'aria. La carota è costituita da tre segmenti di circa un metro ognuno.



UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTONOMA DE SARDEGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA





**SARDEGNA
RICERCHE**

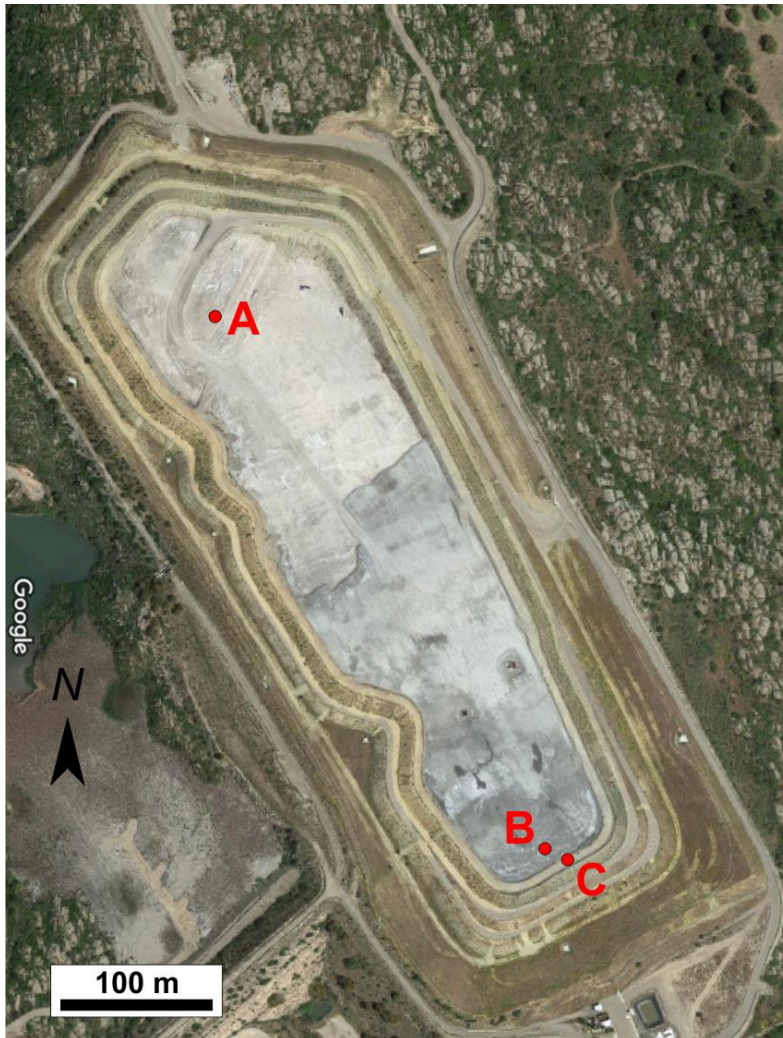


Fig. 1: Vista aerea della discarica di ceneri con la posizione dei tre punti di campionamento A, B e C.



Fondo europeo di sviluppo regionale



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA





Fig. 2: Estrazione di un segmento di carota dal punto C. In basso a destra il carotatore a percussione

Campionamento delle carote

Si definisce testa della carota la sua parte più superficiale e fondo la sua parte più profonda.

Le carote sono contrassegnate da una lettera che ne indica la posizione e da un numero che ne indica la profondità; da 0 = superficie fino a 3 = max. profondità (Es. A2 = carota A, fondo del secondo segmento).

Su ogni segmento di carota sono state praticate piccole incisioni dalle quali sono stati prelevati circa 2.5 grammi di materiale per le analisi XRD e per le analisi chimiche.

Dai segmenti di carota superficiali sono stati campionati 3 punti, uno alla superficie (testa: A0, B0, C0), uno intermedio (A0.5, B0.5, C0.5) e uno profondo (Fondo: A1, B1, C1). Dai segmenti più profondi sono stati campionati solo due punti, uno intermedio (A1.5, C1.5) e uno nel fondo (A2, C2); la testa è stata esclusa in quanto grossomodo corrispondente al fondo del segmento soprastante e in quanto potenzialmente contaminata da porzioni di ceneri più superficiali che potrebbero essere entrate nel carotatore durante la sua re-infissione.

Lo schema dei punti di campionamento è mostrato in Fig. 3.

Analisi XRD

Metodo

Le analisi sono state condotte subito dopo il prelievo del materiale dalle carote e su polveri ancora umide per evitare l'eventuale carbonatazione delle fasi presenti quando messe a contatto con l'atmosfera. È stato utilizzato il diffrattometro PanAnalytical X'PERT-PRO con geometria di acquisizione Theta-Theta e flat stage. I parametri di acquisizione sono i seguenti: Generatore 40 mA, 40 kV; $\text{CuK}\alpha$ 1.54060; Range angolare 5-70°; Step Size 0.0170 °2 θ ; Scan Step Time 20.3149 s. Un esempio di diffrattogramma ottenuto nel corso degli esperimenti di caratterizzazione è riportato in Figura 4.

Risultati

Nella Fig. 3, che schematizza i campionamenti effettuati sulle carote, è riportato un quadro sinottico con le associazioni mineralogiche riscontrate in ogni punto di campionamento.

- Carota A: i cinque campioni prelevati sono piuttosto omogenei, essendo tutti costituiti prevalentemente da quarzo, calcite, ettringite e katoite. Le uniche differenze si riscontrano nella testa della carota (A0) che è l'unica a contenere anche bayerite e nei campioni più profondi quali A1.5 che contiene anche gesso e A2 che contiene halite e forse margarite ed è l'unico privo di katoite.
- Carota B: i tre campioni prelevati da questa carota sono costituiti da quarzo, calcite ed ettringite, il campione più profondo (B1) ha anche la katoite.
- Carota C: è la più complessa, sia per la lunghezza e il conseguente maggior numero di campioni (7), sia per la varietà delle fasi riscontrate. Quarzo e calcite sono ubiquitari così come l'ettringite, che è assente solo nella testa della carota (A0). Il gesso ha una distribuzione disomogenea; è presente nei primi 4 campioni da C0 a C1.5 (anche se in C0.5 è appena rilevabile), è assente nei due campioni sottostanti (C2 e C2.5) e lo si ritrova nel fondo del carotaggio (C3). Appena al di sotto della superficie, nel campione C0.5 è presente la katoite, Una fase rilevata solo nella carota C è la thaumasite, presente a partire da C1 fino al fondo della carota (C3) ad eccezione del punto C1.5 che è anche l'unico ad avere portlandite, seppure in piccole quantità.



**SARDEGNA
RICERCHE**

CAROTA A
(abbancamento recente)

- A 0=Qtz+Calc+Kat+ Bay+Ettr
- A 0.5=Qtz+Calc+Ettr+ Kat
- A 1=Qtz+Calc+Ettr+ Kat-like
- A 1.5=Qtz+Calc+Ettr+ Kat+Gyp
- A 2=Qtz+Calc+Ettr+ Hal + Mrg? 2 residue peaks

CAROTA B
(abbancamento meno recente)

- B 0=Qtz+Calc+Ettr
- B 0.5=Qtz+Calc+Ettr
- B 1=Qtz+Calc+ Ettr+Kat

CAROTA C
(abbancamento più vecchio con drenaggio acqua piovana e fratturazione profonda)

- C 0=Qtz+Calc+Gyp
- C 0.5=Qtz+Calc+Kat+Ettr+Gyp
- C 1=Qtz+Calc+Ettr+ Gyp+Thau
- C 1.5=Qtz+Calc+Ettr+Gyp+ Port+4 residue peaks
- C 2=Qtz+Calc+Ettr+Thau
- C 2.5=Qtz+Calc+Ettr+Thau
- C 3=Qtz+Calc+Ettr+ Thau+Gyp

Qtz = Quartz SiO_2
Calc = Calcite CaCO_3
Gyp = Gypsum $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Bay = Bayerite $\text{Al}(\text{OH})_3$
Port = Portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$
Ettr = Ettringite $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$
Thau = Thaumasite $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6[\text{CO}_3][\text{SO}_4] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Kat = Katoite $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{OH})_8$
Hal = Halite $\text{K}_{0.2}\text{Na}_{0.8}\text{Cl}$
Mrg = Margarite $\text{CaAl}_2(\text{Si}_2\text{Al}_2)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

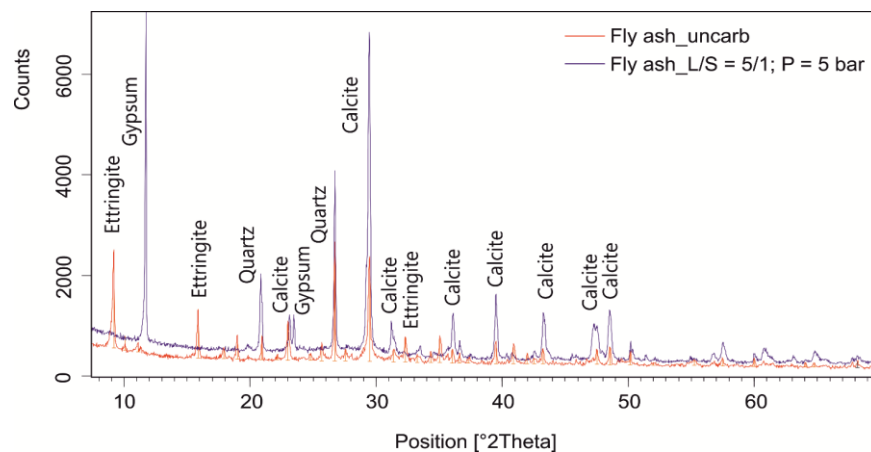


Figura 4, esempio di utilizzo della diffrazione raggi x per determinare le proprietà mineralogiche delle ceneri prima e dopo gli esperimenti.

Analisi Chimica

Sui materiali campionati dalla carota C è stata successivamente eseguita una caratterizzazione chimica al fine di verificare se la presenza o meno di alcune fasi sia condizionata dalla chimica e/o dalle condizioni ambientali e se esista una reale differenza di composizioni tra i due tipi di ceneri conferite in discarica. La determinazione degli elementi maggiori è stata effettuata mediante fusione alcalina con litio metaborato (Tab. 1).

Tabella 1 . Analisi degli elementi maggiori

g/kg	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	Si
C0	55,84	199	26,06	5,94	13,90	4,20	131
C0.5	57,86	164	25,30	6,67	14,29	3,55	149
C1	28,45	257	29,47	1,86	13,69	1,14	69,55
C1.5	27,28	286	27,35	1,97	19,78	1,02	68,14
C2	35,47	215	29,66	5,63	17,52	1,50	95,24
C2,5	27,86	255	27,87	1,37	20,25	0,97	70,98
C3	29,34	250	29,96	1,04	18,59	0,98	78,84

Discussione e conclusioni

Quarzo, calcite ed ettringite sono presenti, con poche eccezioni, in quasi tutti i campioni analizzati. Altre fasi spesso rilevate sono il gesso (6 campioni su 15) e la katoite (6 su 15) mentre solo in rari casi sono state osservate la bayerite (1 su 15) portlandite (1), l'halite (1) e la thaumasite (4).

È interessante notare che quasi in nessun caso esiste una relazione tra una data fase e la sua posizione (spaziale e/o temporale) nella carota. Fasi come il gesso o la katoite possono essere osservate in livelli superficiali o profondi così come in abbancamenti recenti o più vecchi. Ne consegue che non è possibile individuare un punto migliore di altri in cui campionare le grosse quantità necessarie per le prove fisico-meccaniche sul materiale da utilizzare negli asfalti. Unica eccezione a questa distribuzione casuale è la thaumasite concentrata unicamente nella carota C (abbancamento più vecchio e formato da ceneri miste) e solo sotto il metro di profondità. Bisognerebbe capire se questo minerale si sia formato unicamente in questa zona a causa della differente composizione delle ceneri conferite in discarica, oppure se sia dovuto al maggiore "invecchiamento" delle ceneri, oppure ancora se sia dovuto al fatto che questa carota è stata soggetta ad una maggiore interazione con l'acqua (zona di drenaggio) e con l'aria (fratturazione profonda).

Steps successivi:

- verificare il potenziale di carbonatazione delle varie fasi soprattutto ettringite, katoite e thaumasite;
- comparazione dei risultati ottenuti con i dati eventualmente presenti in letteratura.