



LEAP

Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza



mater

materia & energia da rifiuti
materials & energy from refuse

23.07.2021

Trattamento e Recupero delle ceneri pesanti da incenerimento

Responsabili scientifici: Proff. S. Cernuschi, M. Grosso

*Con i contributi di:
Ingg. L. Biganzoli, G. Dolci, S. Marini, L. Rigamonti, C. Santella*

1. GESTIONE DELLE CENERI PESANTI IN EUROPA
 - 1.1 Produzione di ceneri pesanti in Italia ed Europa
 - 1.2 Estrazione delle ceneri pesanti
 - 1.3 Trattamento delle ceneri pesanti
 - 1.4 Recupero di materia dalle ceneri pesanti
2. CLASSIFICAZIONE DELLE CENERI PESANTI
 - 2.1 Attribuzione della caratteristica di pericolo HP14
 - 2.2 Strategie adottate da alcuni stati membri per la classificazione delle ceneri pesanti da incenerimento
3. VALUTAZIONE DELLE ANALISI EFFETTUATE DAI GESTORI DEGLI IMPIANTI DI TERMOVALORIZZAZIONE SULLE CENERI PESANTI
 - 3.1 Valutazione della pericolosità
 - 3.2 Valutazione dell'ammissibilità in discarica
4. IMPIANTI DI TRATTAMENTO DELLE CENERI PESANTI ESAMINATI
5. ANALISI DEL CICLO DI VITA DEL TRATTAMENTO E DEL RECUPERO DELLE CENERI PESANTI PRODOTTE DALLA TERMOVALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI URBANI

OBIETTIVI

➤ **Fare il punto su:**

- **tecnologie**
- **sostenibilità ambientale dei processi di recupero**
- **prospettive del trattamento e del recupero delle ceneri pesanti da incenerimento di rifiuti**

➤ **Fornire agli operatori del settore e al mondo tecnico-scientifico nuovi elementi conoscitivi che consentano di elaborare strategie industriali di medio-lungo periodo**

IL CONTESTO

Incenerimento dei rifiuti in Italia

2017 → 5.266.779 t

2018 → 5.447.640 t

2019 → 5.521.650 t

Si tratta di materiale granulare costituito principalmente da una frazione minerale ($\approx 90\%$) e da metalli ferrosi (7-15%) e non ferrosi (1-2%).

Ceneri pesanti

residuo incombusto pesante dell'incenerimento dei rifiuti solidi. Rappresentano circa il **15%-25%** in peso del rifiuto termovalorizzato



Frazione minerale



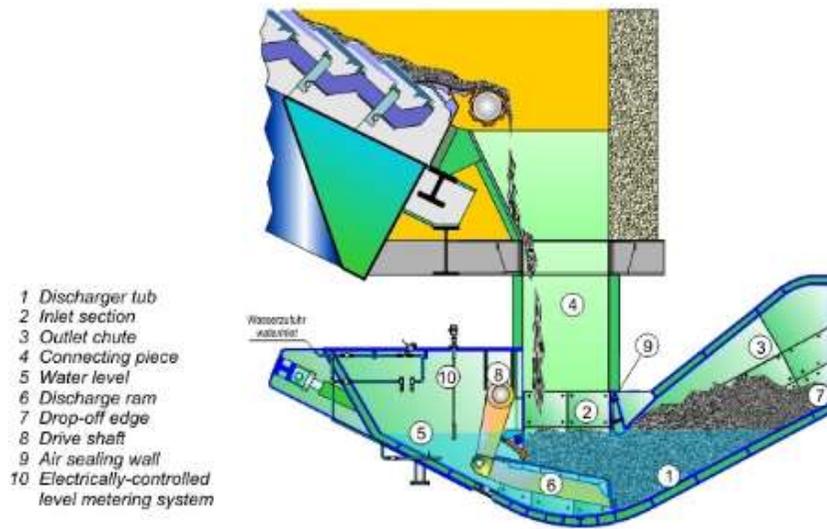
Metalli non ferrosi



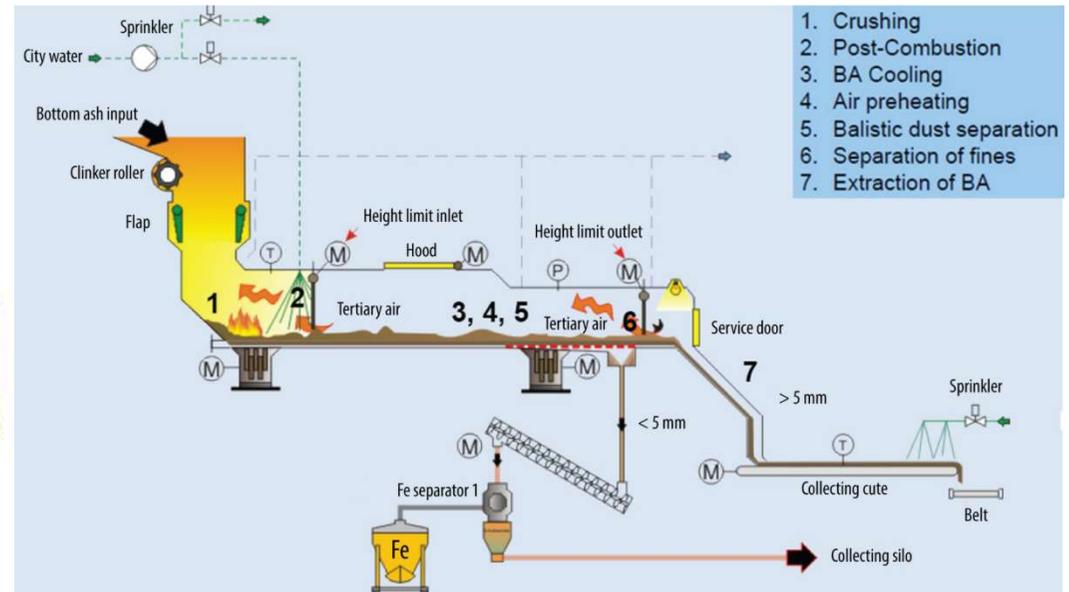
Metalli ferrosi

1. Estrazione a **umido** → trattamento a **secco**
 - Opzione più consolidata
 - Necessità di maturazione (*ageing*) → utilizzo nel settore delle costruzioni, incremento del recupero dei metalli
 - Scarsa efficienza di recupero metalli < 2 mm
2. Estrazione a **umido** → trattamento a **umido**
 - Miglioramento della qualità, possibile utilizzo nel settore delle costruzioni
 - Buona efficienza di recupero metalli < 2 mm
 - Consumo di acqua, costi elevati, produzione di fanghi
3. Estrazione a **secco** → trattamento a **secco**
 - Elevata efficienza di recupero dei metalli dalle frazioni più fini (< 0,2 mm)
 - Mancato consumo di acqua
 - Elevata generazione di polveri

Estrazione a umido



Estrazione a secco



Estrazione a secco



Impianto centralizzato a servizio di tutti i WTE del Cantone di Zurigo con estrazione a secco

Potenzialità di trattamento: 200.000 t/a; costo 40M CHF

Separazione in 5 frazioni, fino a <0,2 mm; >80 mm va a separazione manuale, poi frantumazione e riciclo in testa all'impianto

Tutte le apparecchiature e i nastri sono al chiuso per contenere la polverosità all'interno dell'impianto

ECS ad alta frequenza e successiva separazione dei non ferrosi (alluminio vs. frazione pesante) con tavole vibranti

Separatore acciaio inox con sensori ottici e successivo soffiaggio

Separatore del vetro (8-30 mm), con sensore ottico e soffiaggio

Frazione minerale ormai priva di metalli, ma contenente ancora sali. Impossibile il riutilizzo in Svizzera (→ discarica)

Impianto Heros Sluiskil a Terneuzen (Paesi Bassi)

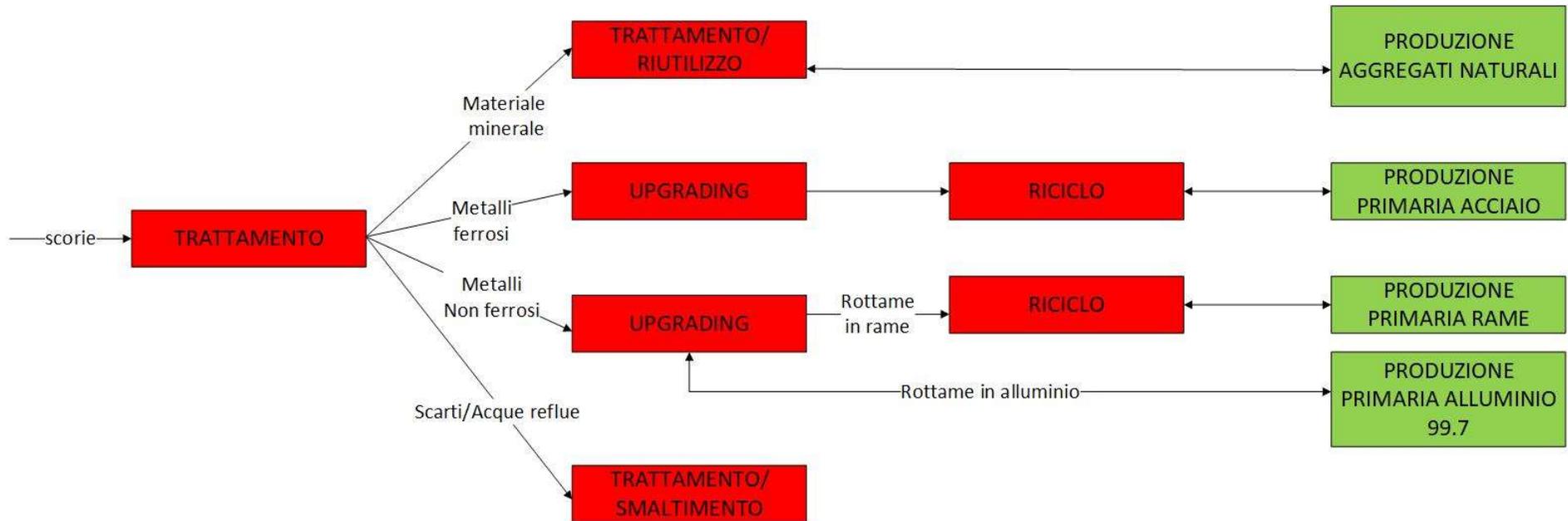


LCA del trattamento e recupero delle ceneri pesanti

Obiettivo e campo di applicazione

- **Valutazione degli impatti ambientali associati al trattamento e al recupero delle ceneri pesanti prodotte dalla termovalorizzazione dei rifiuti urbani, includendo il recupero dei rottami metallici separati e quello della frazione minerale risultante**
- **Ceneri estratte ad umido e trattate con processi a secco**
- **Rottami metallici ferrosi e non ferrosi avviati a riciclo**
- **Cinque diverse applicazioni della frazione minerale:**
 - **CEMENTO**
 - **CALCESTRUZZO**
 - **CONGLOMERATO BITUMINOSO**
 - **STRADA A (strato di fondazione)**
 - **STRADA B (sottofondo stradale)**

Principali attività incluse all'interno dei confini del sistema studiato



In **rosso** le fasi che determinano impatti aggiuntivi sull'ambiente

In **verde** le fasi che determinano impatti evitati

- **Unità funzionale: 1 t di ceneri pesanti avviate a trattamento in un impianto "medio" italiano**

- **Categorie di impatto considerate:**
 - **Cambiamento climatico**
 - **Riduzione dello strato d'ozono**
 - **Formazione fotochimica di ozono**
 - **Assunzione di materiale particolato**
 - **Acidificazione**

- **Indicatore di *Consumo delle risorse minerali naturali* costruito ad hoc da inventario *SimaPro***

- **Indicatore *Cumulative Energy Demand (CED)* calcolato per valutare le prestazioni energetiche delle attività esaminate (*Hischier et al., 2010*)**

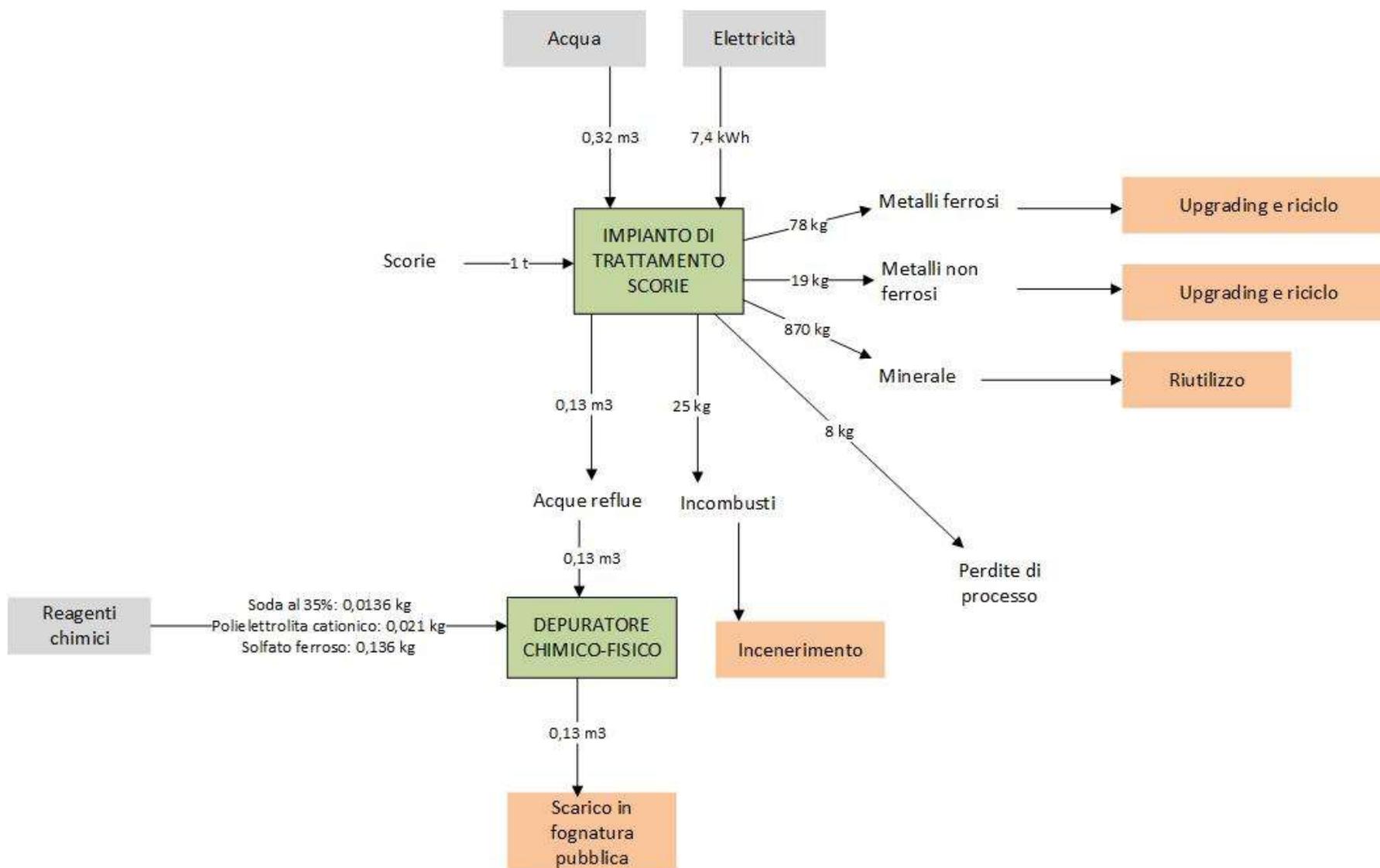
Inventario

➤ **Flussi di materiali, di energia e delle emissioni nell'ambiente**

➤ **3 macro-processi:**

- **Trattamento delle ceneri pesanti, incluso lo smaltimento dei residui e il trattamento delle acque reflue generate dal processo (lavaggio dei piazzali, contenimento polveri, lavaggio della frazione minerale – se previsto)**
- **Recupero dei metalli ferrosi e non ferrosi (alluminio e rame)**
- **Riutilizzo del materiale minerale**

Principali attività incluse all'interno dei confini del sistema studiato



Recupero dei rottami metallici

| Materiali | Punto di sostituzione | Efficienza del processo di riciclo | Prodotto secondario | Prodotto primario evitato | Rapporto di sostituzione |
|-----------|---|------------------------------------|--|--|--------------------------|
| Acciaio | In uscita dal forno ad arco elettrico per l'acciaio secondario e all'uscita del convertitore ad ossigeno per l'acciaio primario | 88,1% | Acciaio liquido (forno ad arco elettrico) | Acciaio liquido (da altoforno + acciaieria a ossigeno) | 1 : 0,746 in massa |
| Alluminio | All'ingresso del forno fusorio per l'alluminio secondario e all'ingresso della fase di alligazione per l'alluminio primario | - | Rottame in alluminio misto vecchio | Lingotto di alluminio Al 99.7 | 1 : 0,35 in massa |
| Rame | In uscita dalla raffinazione elettrolitica sia per il rame secondario che per il rame primario | 68% | Rame (blister copper prodotto da rifiuti elettronici seguito da raffinazione elettrolitica) | Rame (da fusione e conversione, raffinazione chimica e raffinazione elettrolitica) | 1 : 1 in massa |

Recupero dei rottami metallici

Quantitativi di rottame, prodotto secondario ottenuto e corrispondente prodotto primario evitato ottenuti dal trattamento di 1 tonnellata di ceneri pesanti

| Rottame separato dalle ceneri pesanti | Rottame dopo upgrading | Prodotto secondario ottenuto | Prodotto primario evitato |
|---------------------------------------|---|----------------------------------|------------------------------|
| Rottame ferroso: 78 kg | Rottame ferroso: 39 kg | Acciaio secondario: 34,4 kg | Acciaio primario: 25,6 kg |
| Rottame non ferroso: 19 kg | Rottame in alluminio: 12,4 kg | Rottame in alluminio: 12,4 kg | Lingotto Al 99.7: 4,3 kg |
| | Rottame metalli non ferrosi pesanti: 6,1 kg di cui rame: 2,75 kg | Rame secondario: 1,9 kg | Rame primario: 1,9 kg |

Recupero della frazione minerale

Utilizzo della frazione minerale delle ceneri pesanti e corrispondenti prodotti evitati

| Scenario | Prodotto primario evitato | Additivo/prodotto di cui è richiesta l'aggiunta | Rapporto di sostituzione |
|-------------------------|--|---|-------------------------------|
| Cemento | marna | calcare | 1 : 3,2 in massa ^a |
| Calcestruzzo | ghiaia | - | 1 : 1 in massa |
| Conglomerato bituminoso | sabbia | - | 1 : 1 in massa |
| Strada | caso A (fondazione): ghiaia caso B (sottofondo): mistone naturale | cemento | 1: 1 in massa ^b |

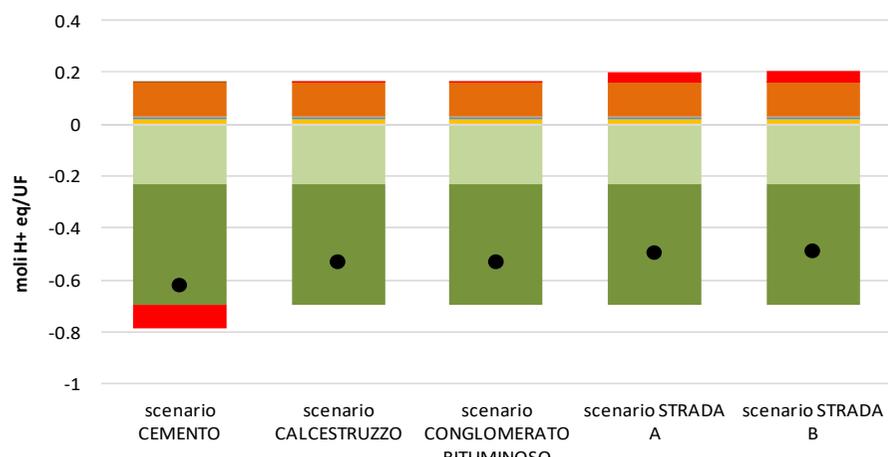
^a Il valore fa riferimento alla massa di marna sostituita. Tuttavia si richiede l'aggiunta di calcare con un rapporto di 2,2 kg di calcare per kg di ceneri pesanti utilizzate (Grosso et al., 2010)

^b il valore si riferisce alla massa del misto cementato

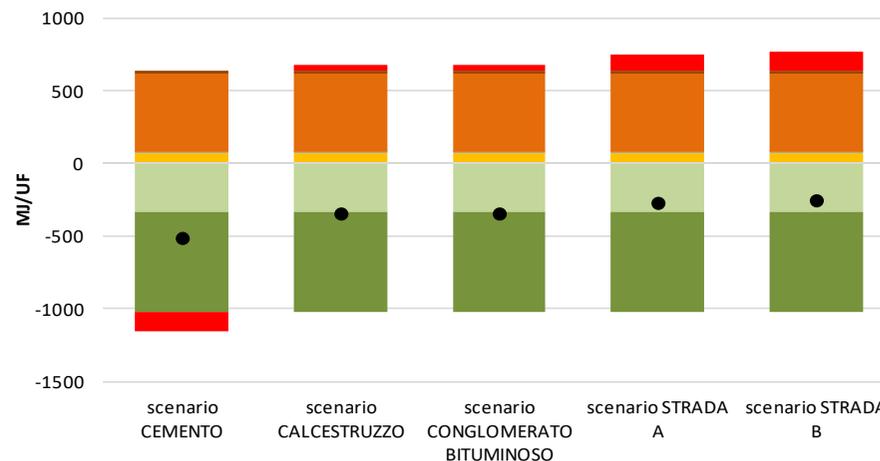
NB: si è ipotizzato che per ogni scenario tutta la frazione minerale sia utilizzata per una sola tipologia di applicazione, così da poter avere un confronto diretto tra le varie opzioni di riutilizzo. Nella realtà, la frazione minerale è vagliata e opportunamente triturrata in modo da ricavare diversi prodotti per differenti applicazioni

Indicatori di impatto ambientale e di consumo delle risorse minerali naturali associati al trattamento di 1 tonnellata di ceneri pesanti e al recupero dei metalli in esse contenuti e della frazione minerale risultante

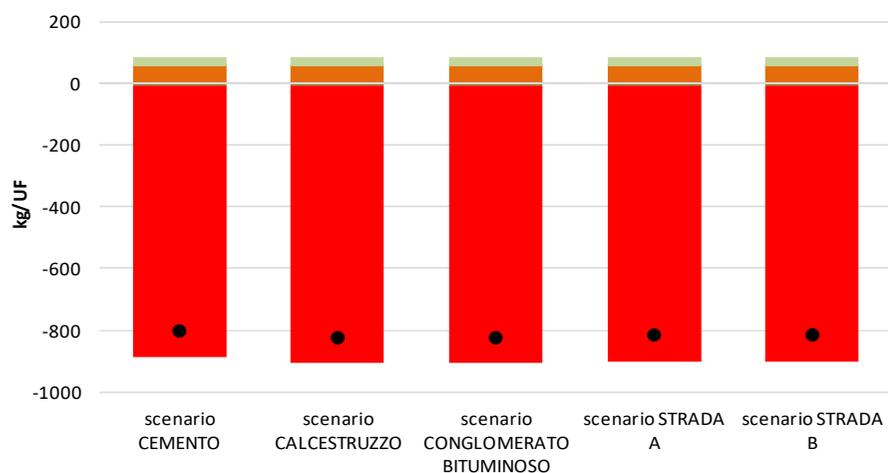
Acidificazione



CED



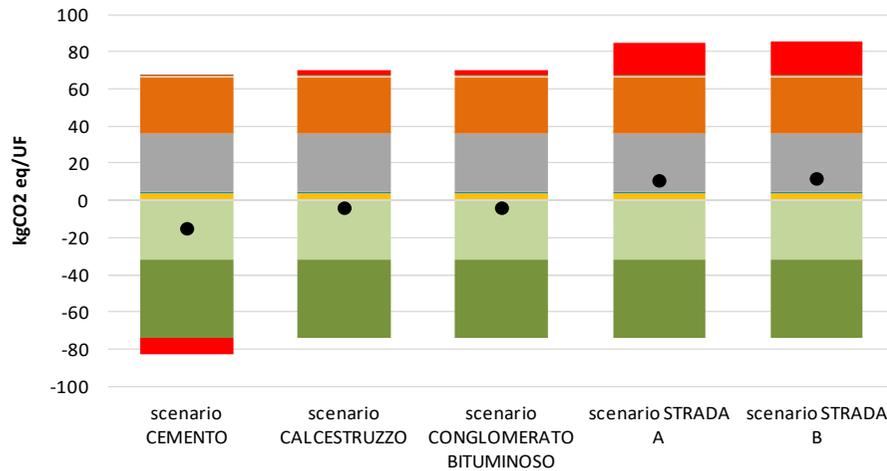
Consumo di risorse minerali naturali



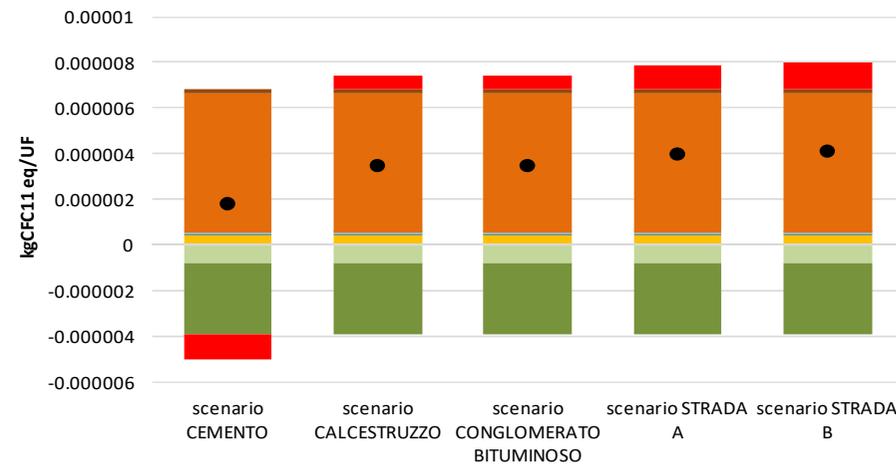
- consumo elettrico impianto trattamento
- trattamento acque reflue
- incenerimento incombusti
- consumo di acqua dell'impianto di trattamento scorie
- trasporto reagenti
- trasporto scorie da impianto di incenerimento a impianto di trattamento
- trasporto incombusti a incenerimento
- trasporto metalli a upgrading
- upgrading e recupero metalli ferrosi
- upgrading e recupero metalli non ferrosi
- riutilizzo frazione minerale
- totale

Indicatori di impatto ambientale e di consumo delle risorse minerali naturali associati al trattamento di 1 tonnellata di ceneri pesanti e al recupero dei metalli in esse contenuti e della frazione minerale risultante

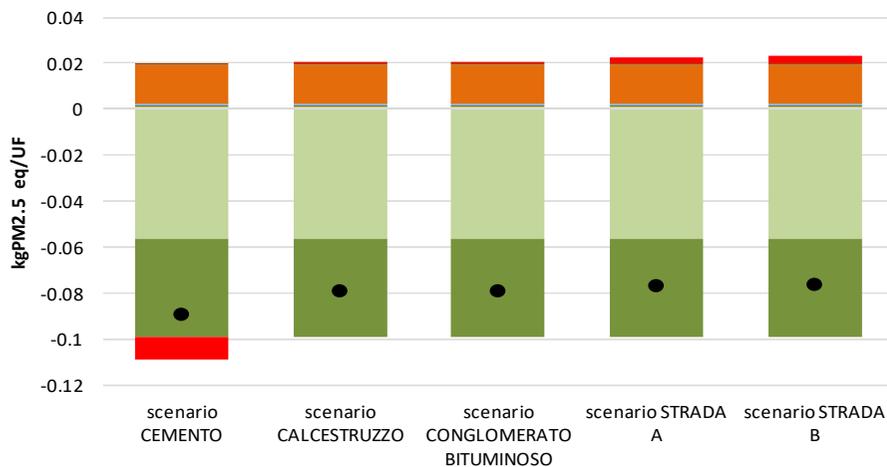
Cambiamento climatico



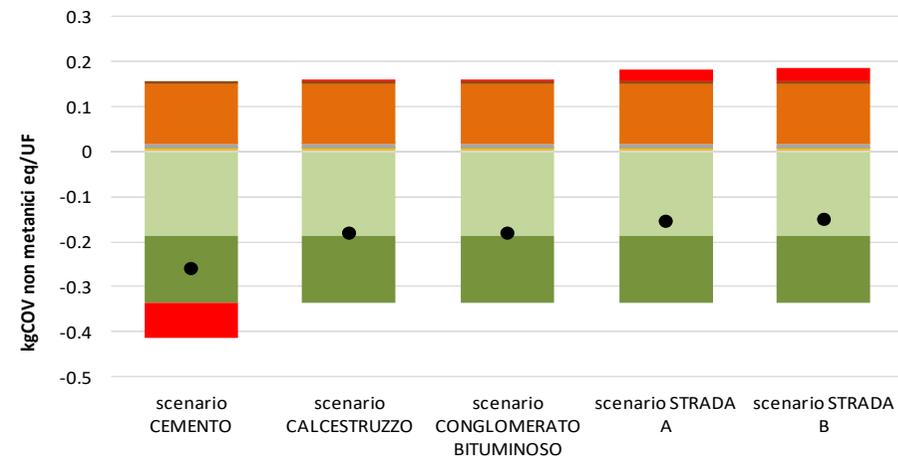
Riduzione dello strato di ozono



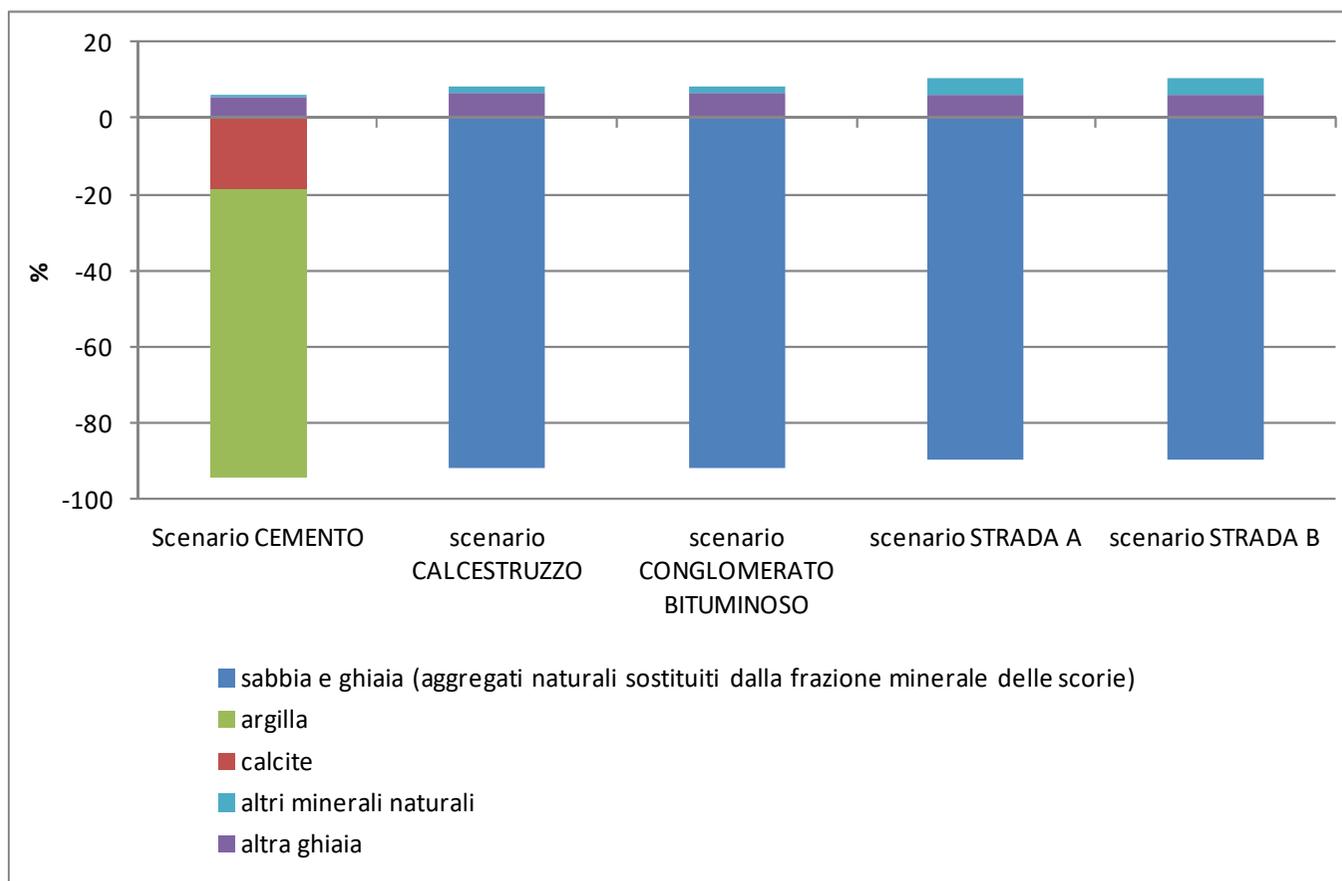
Assunzione di materiale particolato



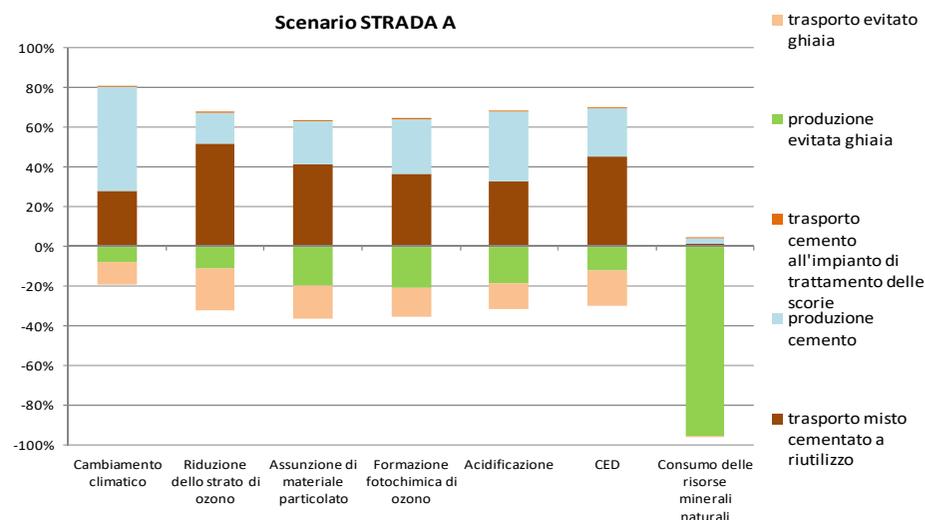
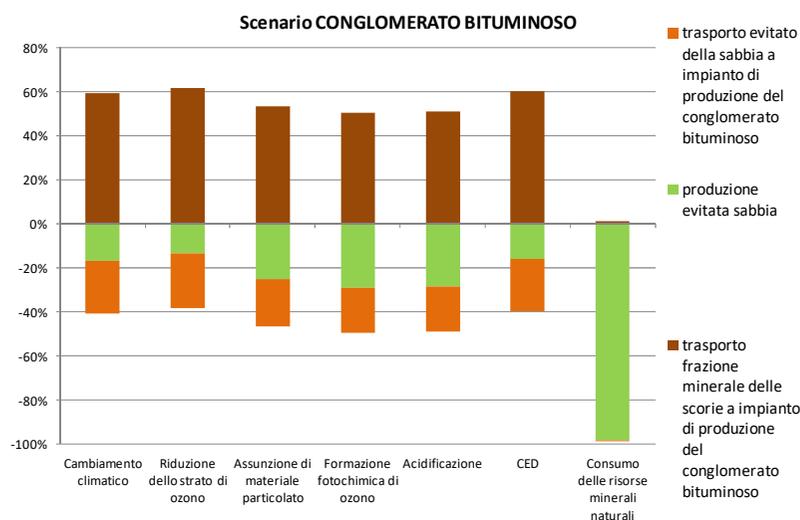
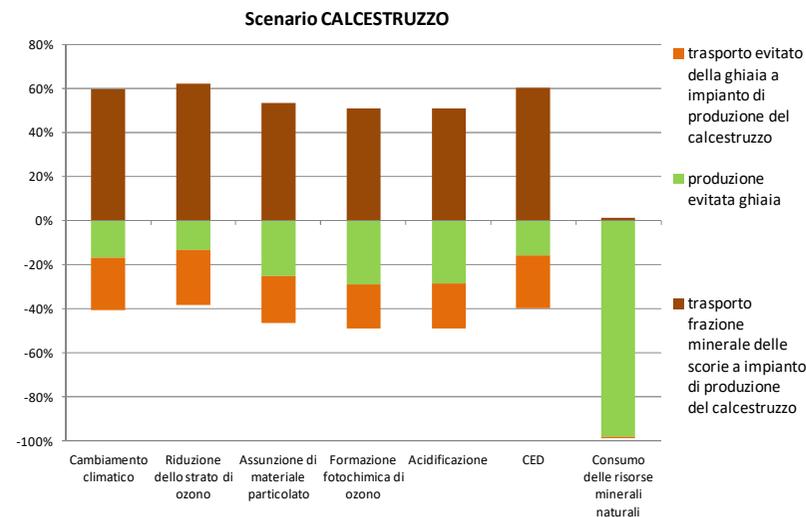
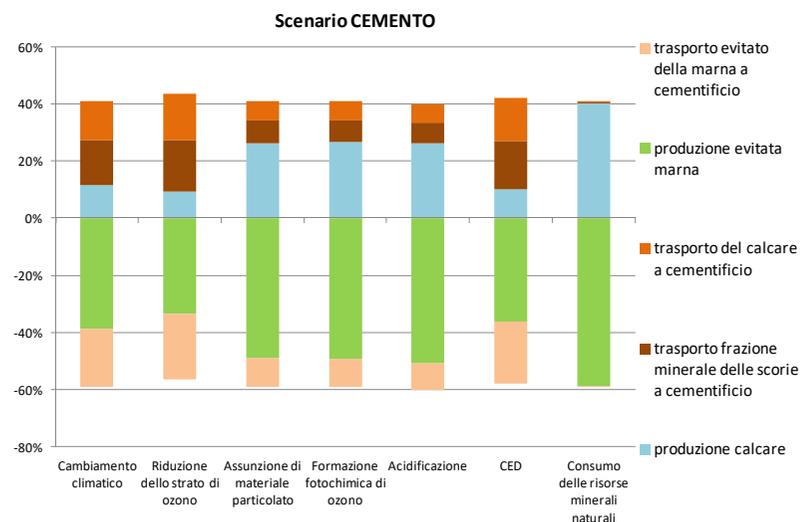
Formazione fotochimica di ozono



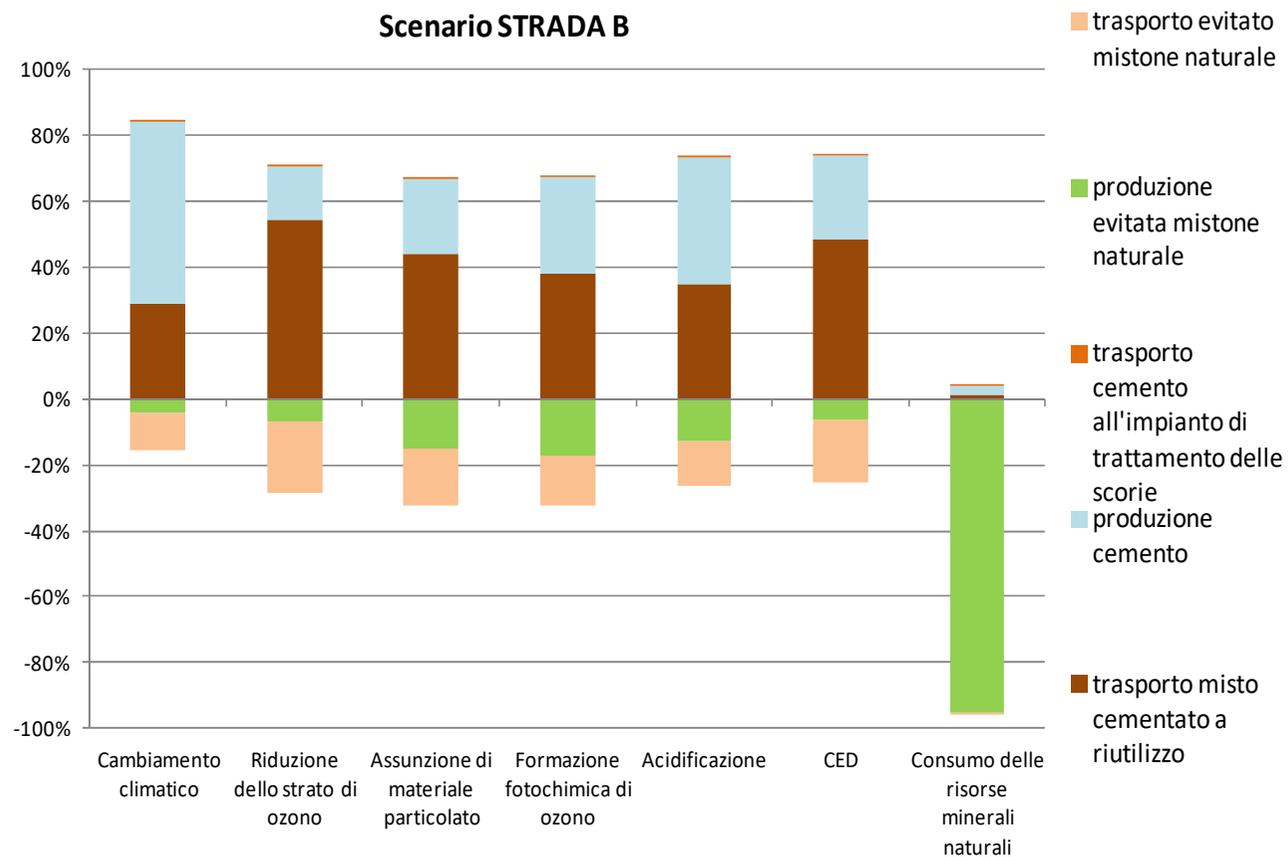
Consumo delle risorse minerali naturali calcolato per 1 tonnellata di ceneri pesanti avviata a trattamento



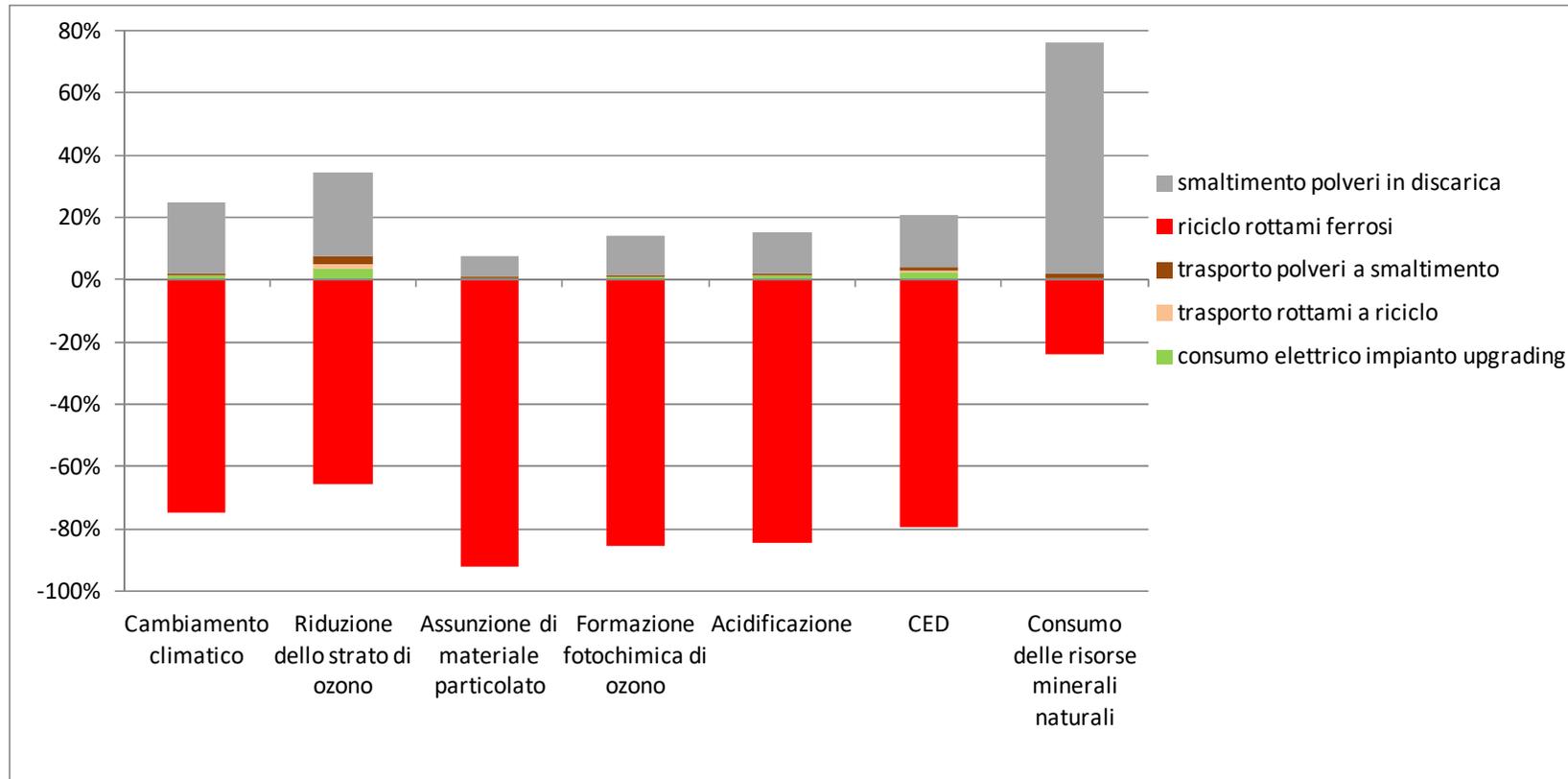
Analisi dei contributi relativa all'utilizzo nei diversi scenari esaminati di 1 kg di frazione minerale recuperata dalle ceneri pesanti



Analisi dei contributi relativa all'utilizzo nei diversi scenari esaminati di 1 kg di frazione minerale recuperata dalle ceneri pesanti

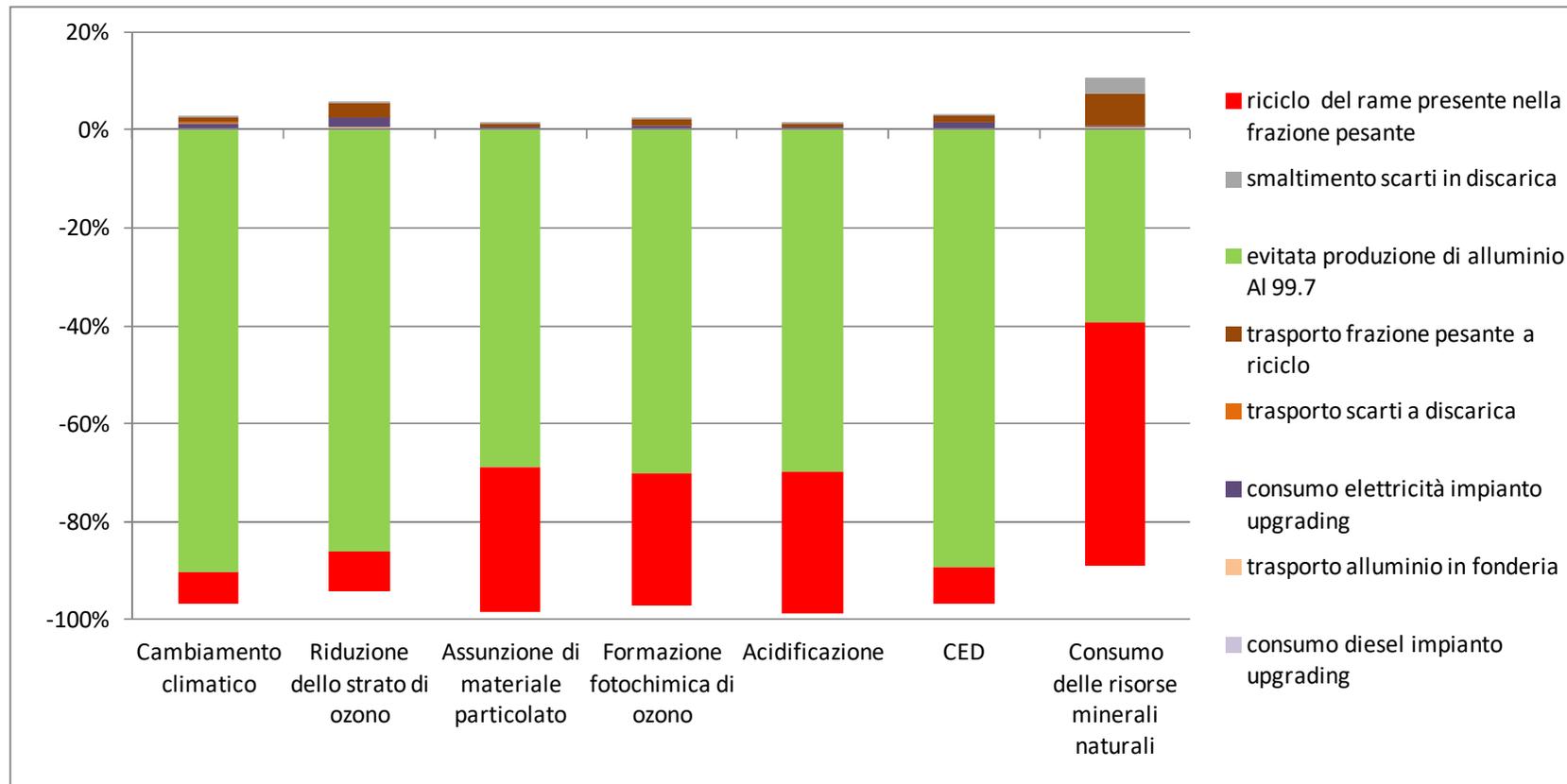


Upgrading e riciclo dei rottami ferrosi



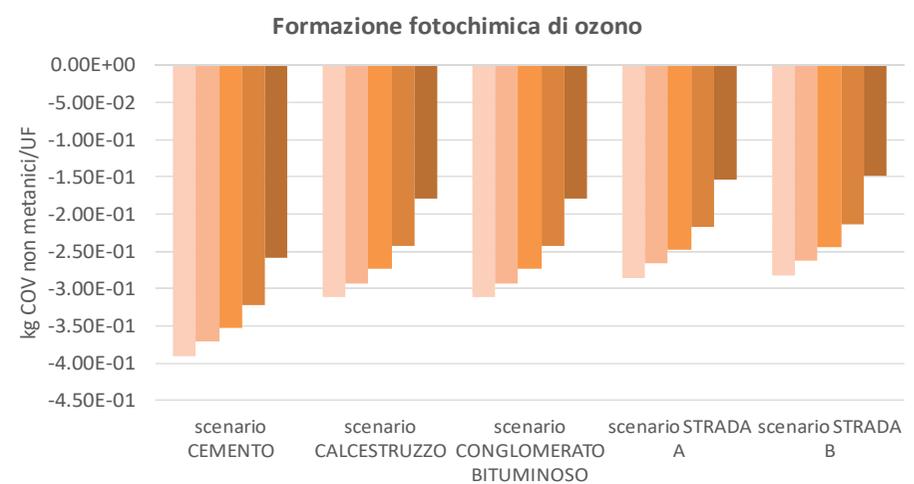
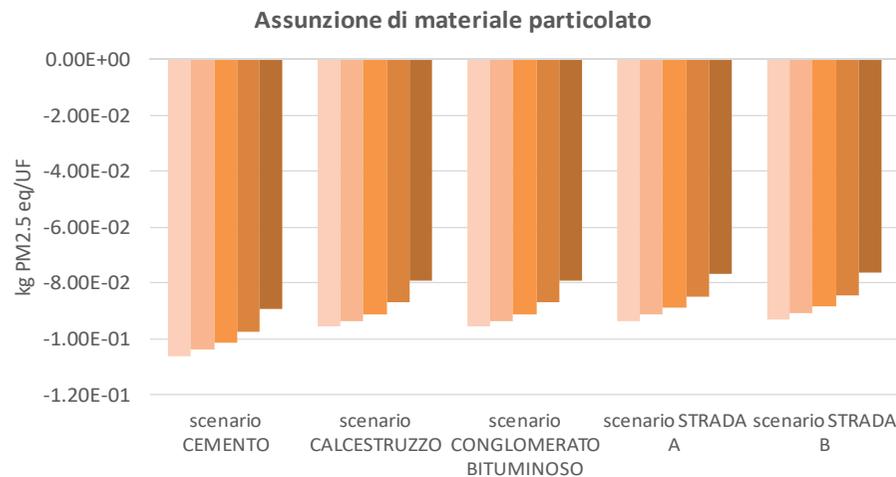
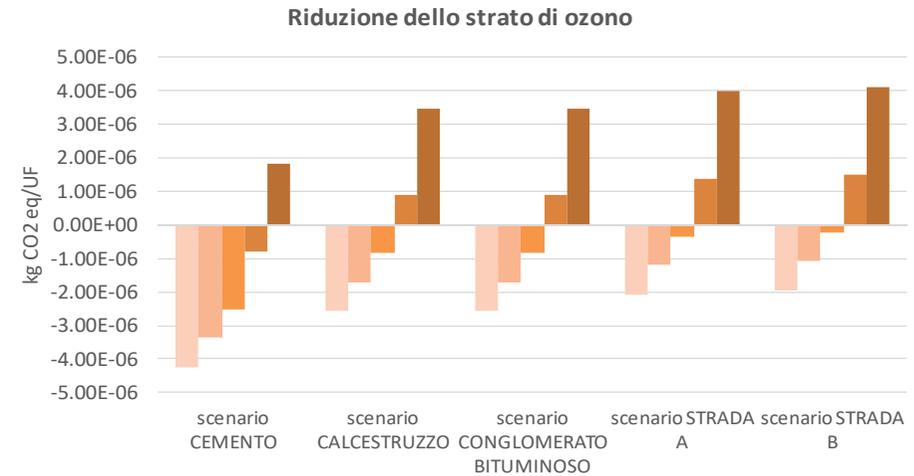
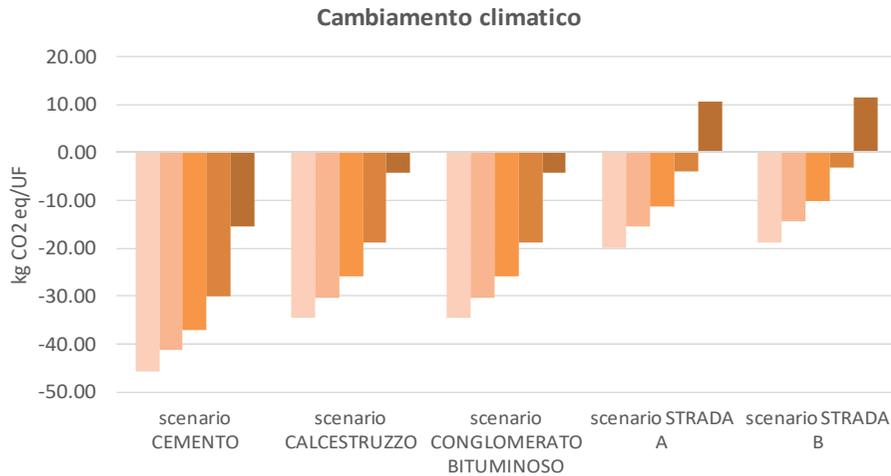
Il processo "riciclo rottami ferrosi" include sia il processo di riciclo del rottame sia l'evitata produzione di acciaio primario

Upgrading e recupero dei rottami non ferrosi

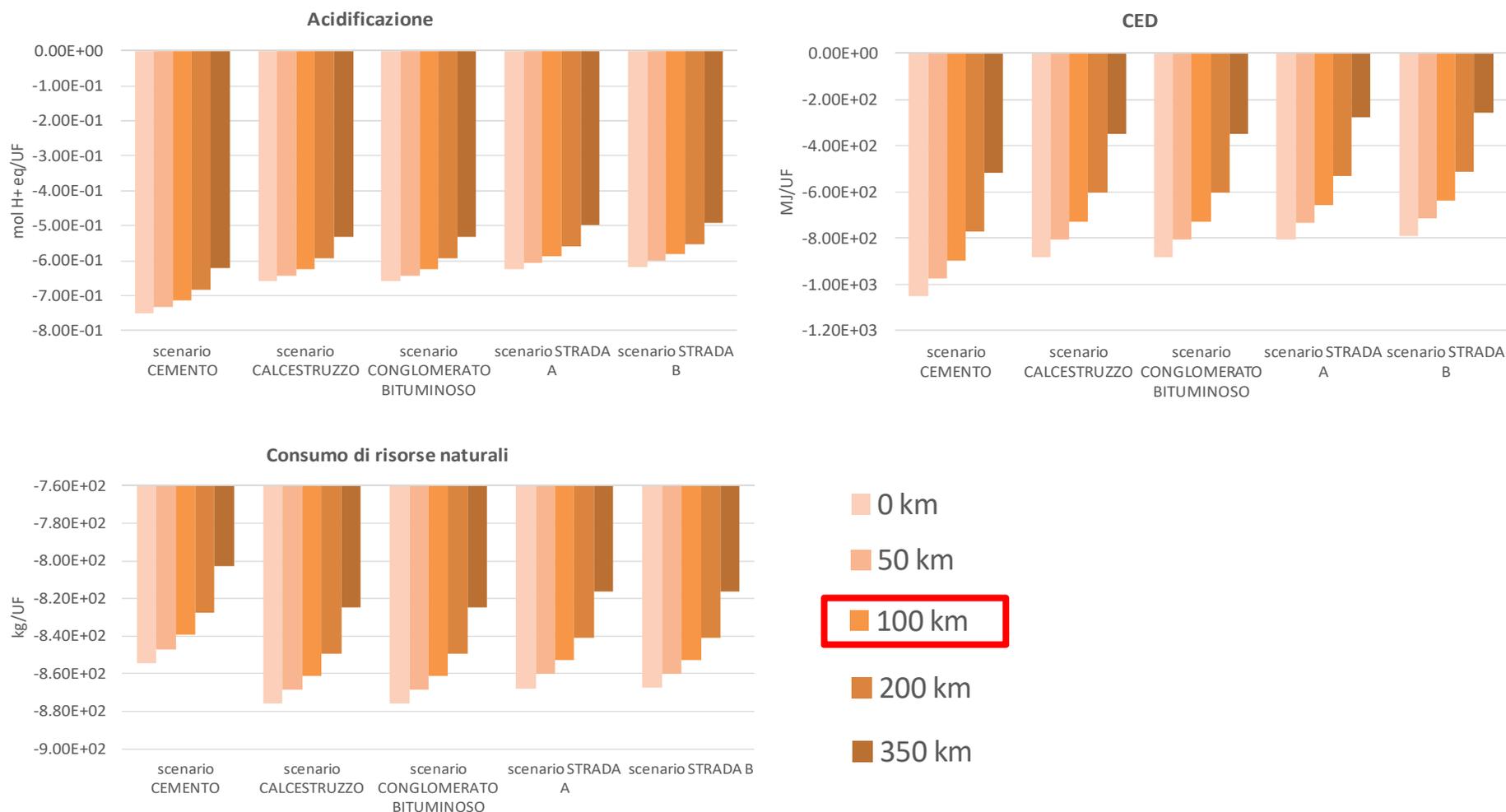


Il processo "riciclo del rame presente nella frazione pesante" include sia il processo di riciclo del rottame sia l'evitata produzione di rame primario

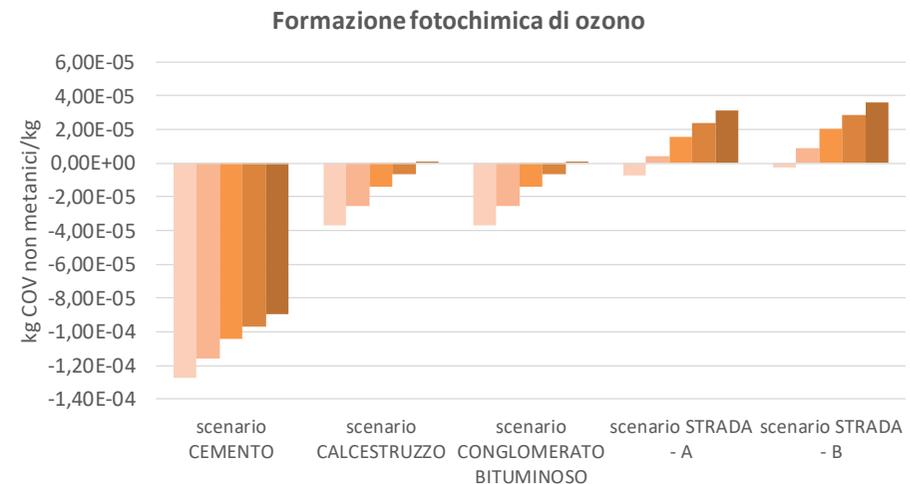
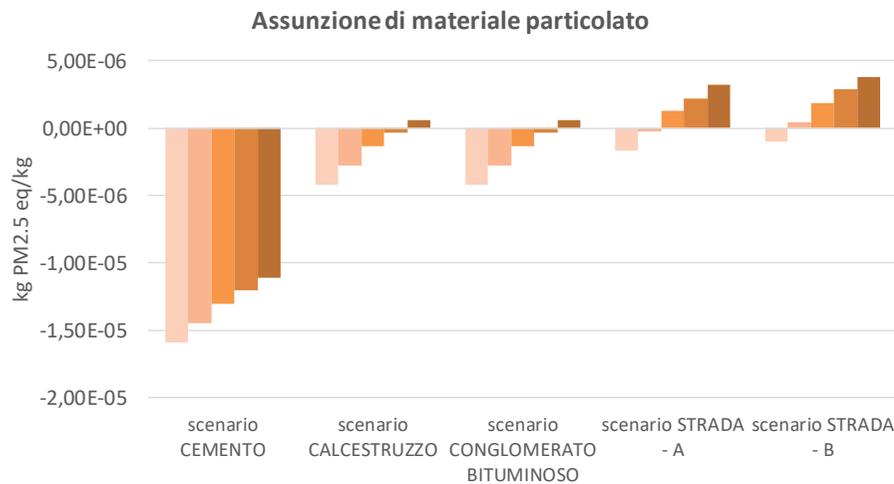
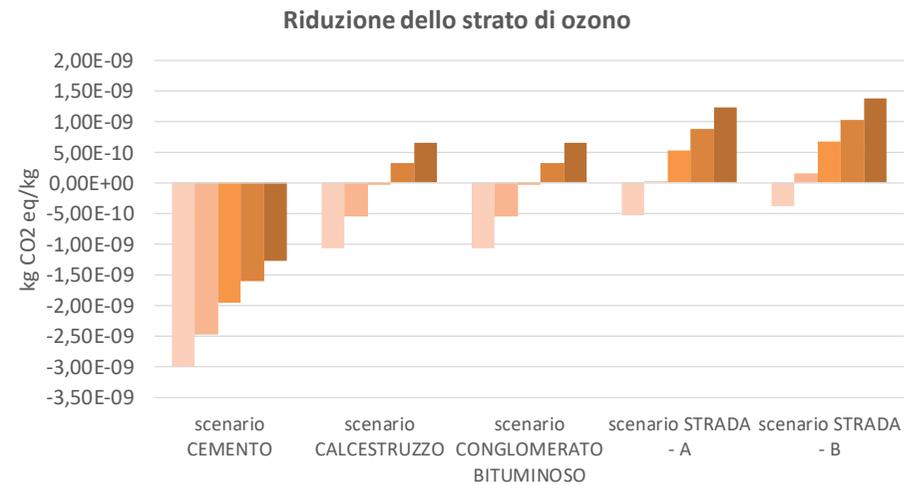
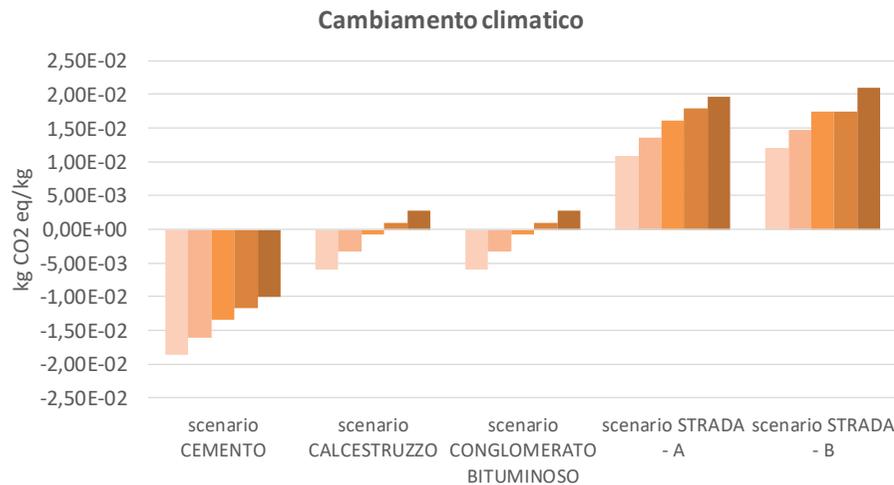
Trattamento e recupero di 1 tonnellata di ceneri pesanti al variare della distanza tra impianto di incenerimento e impianto di trattamento



Trattamento e recupero di 1 tonnellata di ceneri pesanti al variare della distanza tra impianto di incenerimento e impianto di trattamento

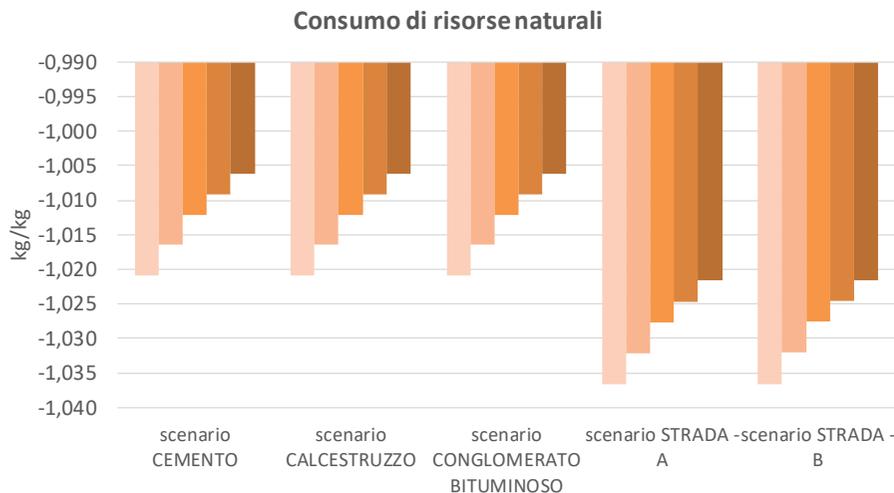
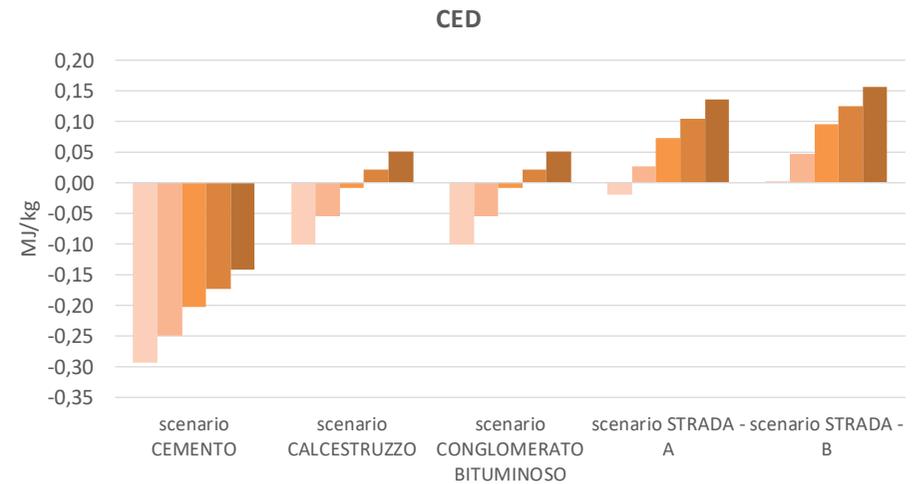
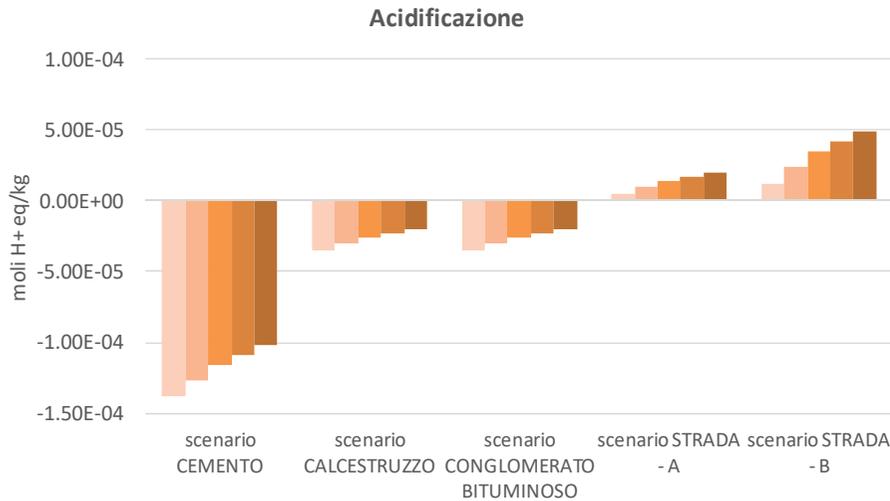


Indicatori di impatto ambientale calcolati per 1 kg di frazione minerale delle ceneri pesanti avviata a riutilizzo al variare della distanza tra l'impianto di trattamento delle ceneri pesanti e il luogo di riutilizzo della frazione minerale



0 km 50 km **100 km** 200 km 350 km

Indicatori di impatto ambientale calcolati per 1 kg di frazione minerale delle ceneri pesanti avviata a riutilizzo al variare della distanza tra l'impianto di trattamento delle ceneri pesanti e il luogo di riutilizzo della frazione minerale



- **Il trattamento e recupero delle ceneri pesanti porta complessivamente a dei benefici ambientali per le categorie di impatto *assunzione di materiale particolato, formazione fotochimica di ozono, acidificazione e CED*, indipendentemente dal destino della frazione minerale**
- **I principali impatti ambientali sono associati al trasporto delle ceneri pesanti dagli impianti di incenerimento all'impianto di trattamento**
- **I principali benefici risultano associati al recupero dei rottami metallici, sia ferrosi che non ferrosi**
- **Il recupero della frazione minerale ha un ruolo secondario. L'unico scenario di utilizzo che apporta benefici ambientali è quello in cui questa è utilizzata nella produzione di cemento in sostituzione della marna**
- **Il trattamento e il recupero delle ceneri pesanti portano mediamente a risparmiare più di 800 kg di minerali naturali per tonnellata di ceneri pesanti avviate a trattamento**
- **Distanze orientative di *break-even* sono circa 100 km (da inceneritore a impianto trattamento ceneri pesanti) e 60 km (da impianto trattamento a utilizzo frazione minerale)**