

CLEAN CLINKER by calcium  
looping for low-CO<sub>2</sub> cement

CLEAN KER



# Il progetto CLEANKER: risultati e potenzialità future

M. Spinelli<sup>a</sup>, M. Fantini<sup>b</sup>, M. Romano<sup>c</sup>, M. Gatti<sup>c</sup>, S. Consonni<sup>c</sup>,

E. De Lena<sup>a</sup>, R. Cremona<sup>c,a</sup>, F. Magli<sup>d</sup>

<sup>a</sup>LEAP (Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza), <sup>b</sup>Eucore, <sup>c</sup>Politecnico di Milano, <sup>d</sup>Buzzi Unicem

Roma, Palazzo Baldassini  
08/02/2023

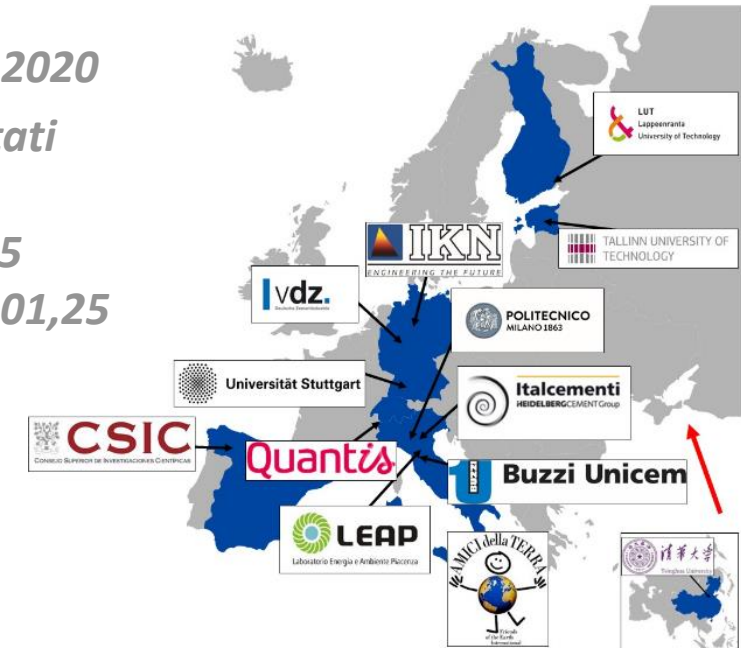


CLEANKER è un progetto europeo (Horizon 2020) nato per sviluppare la tecnologia “Calcium looping-integrata” per la cattura della CO<sub>2</sub> nell’industria del cemento. L’obiettivo viene raggiunto dimostrando:

- il funzionamento del processo CaL-integrato a TRL-7, tramite un impianto pilota integrato al cementificio BUZZI Unicem di Vernasca (PC, 1.300.000 ton/y).
- la fattibilità tecnico-economica del processo “in piena scala” attraverso modelli numerici e di business
- l'utilizzo/stoccaggio della CO<sub>2</sub> catturata dall’impianto pilota, attraverso un processo di mineralizzazione.

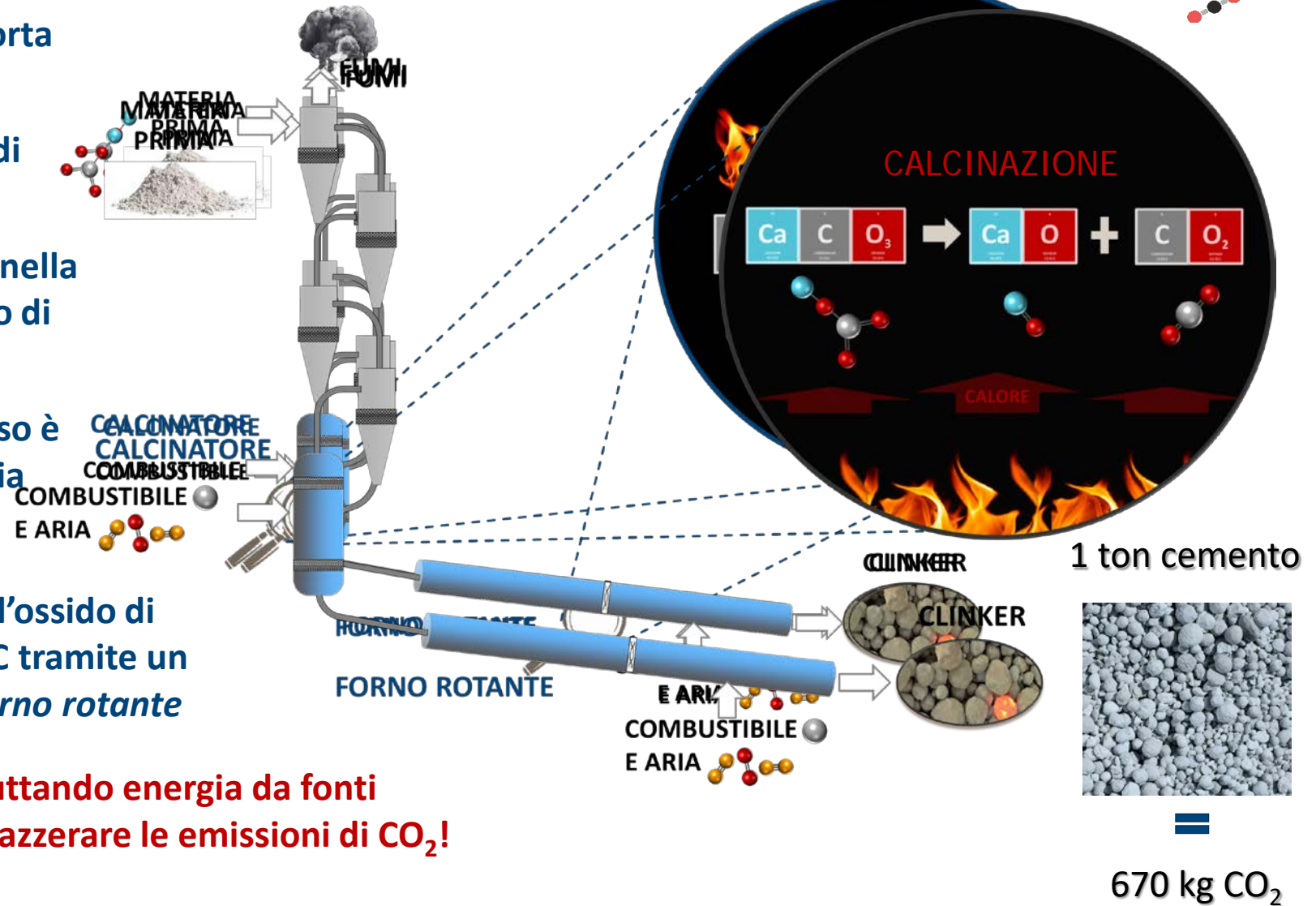


*Programma quadro Horizon 2020*  
*Consorzio: 13 partner da 5 stati membri EU + Svizzera e Cina*  
*Budget totale: € 9.237.851,25*  
*Finanziamento UE: € 8.972.201,25*  
*Partenza: Ottobre 2017*  
*Chiusura: Marzo 2023*



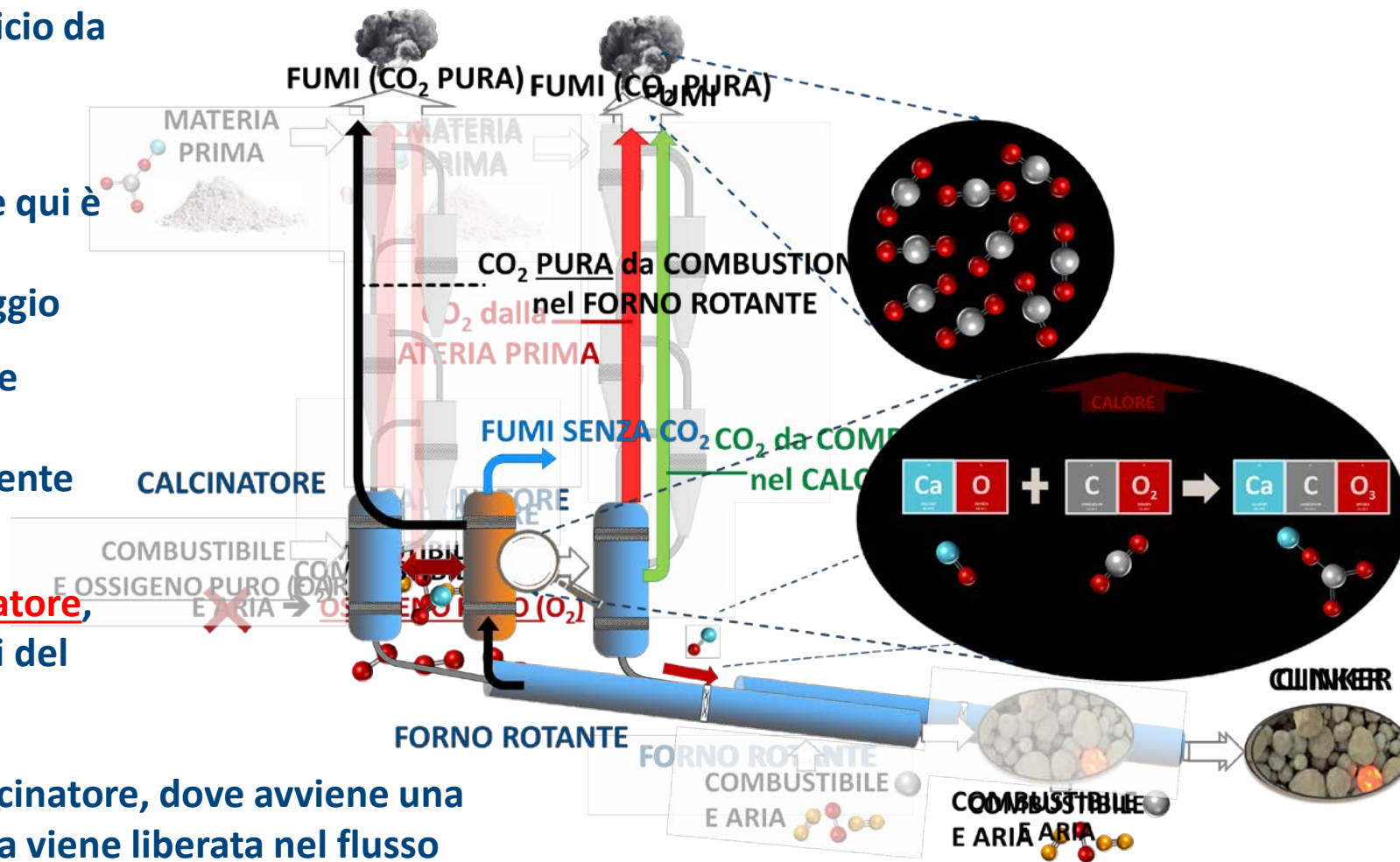
# Emissioni di CO<sub>2</sub> nella produzione del cemento

- Produrre 1 tonnellata di cemento comporta un'emissione di 670 kg di CO<sub>2</sub>
- Gran parte di essa è dovuta al processo di calcinazione (nel *calcinatore*)
- il carbonato di calcio (CaCO<sub>3</sub>) contenuto nella materia prima viene scomposto in ossido di calcio (CaO) e anidride carbonica (CO<sub>2</sub>)
- Per sostenere energeticamente il processo è necessaria una grande quantità di energia (da combustione)
- Per ottenere il prodotto finale (clinker), l'ossido di calcio deve essere scaldato fino a 1450°C tramite un secondo processo di combustione nel *forno rotante*
- **Eliminare i processi di combustione (sfruttando energia da fonti rinnovabili) non sarebbe sufficiente per azzerare le emissioni di CO<sub>2</sub>!**



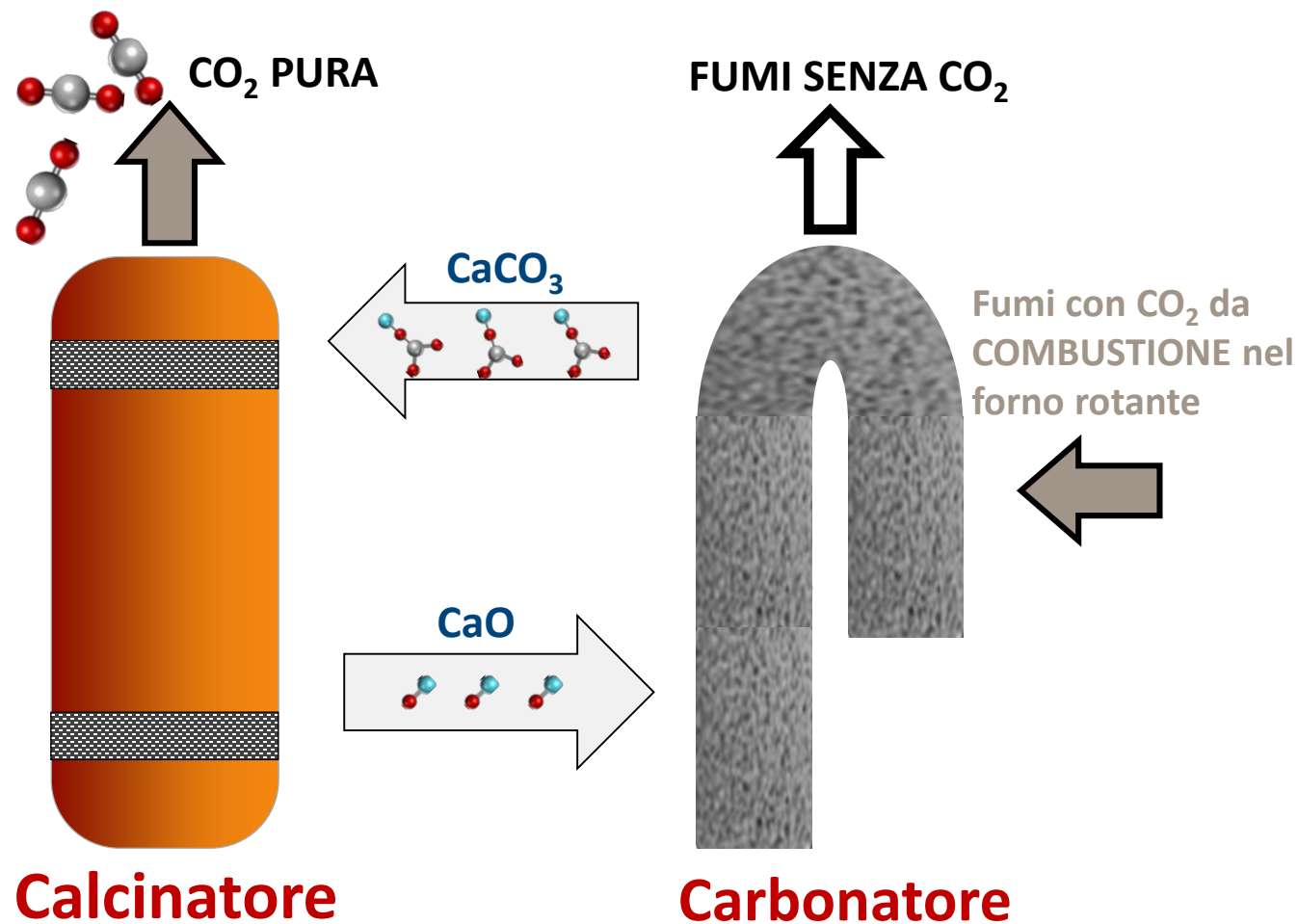
# Processo Calcium-looping integrato

- Il primo passo del CaL integrato è convertire il **calcinatore** del cementificio da una combustione ad aria in una combustione con **ossigeno puro**
- In questo modo la **CO<sub>2</sub>** che si produce qui è altamente **concentrata**, pronta per la purificazione, il trasporto e lo stoccaggio
- Il secondo passo è utilizzare una parte dell'ossido di calcio prodotto nel calcinatore per **assorbire la CO<sub>2</sub>** presente nei gas dal forno rotante
- Questo processo avviene nel **carbonatore**, dove il CaO «cattura» la CO<sub>2</sub> dai fumi del forno ri-formando CaCO<sub>3</sub>
- Quest'ultimo viene ricircolato nel calcinatore, dove avviene una seconda calcinazione: la CO<sub>2</sub> catturata viene liberata nel flusso di CO<sub>2</sub> pura (il flusso «catturato»), e il sorbente fresco (CaO) è pronto per un successivo ciclo di cattura (Calcium – Looping)



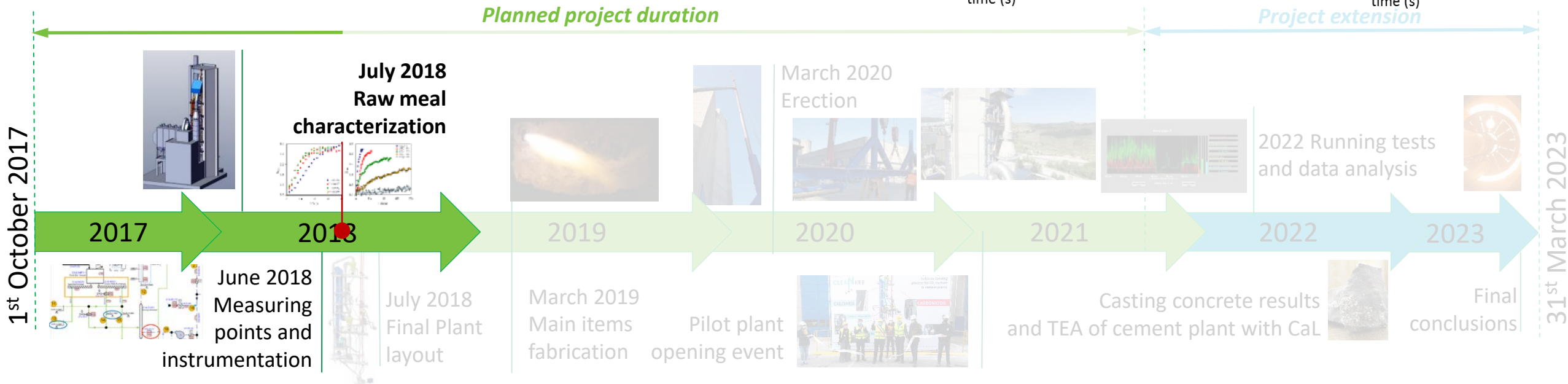
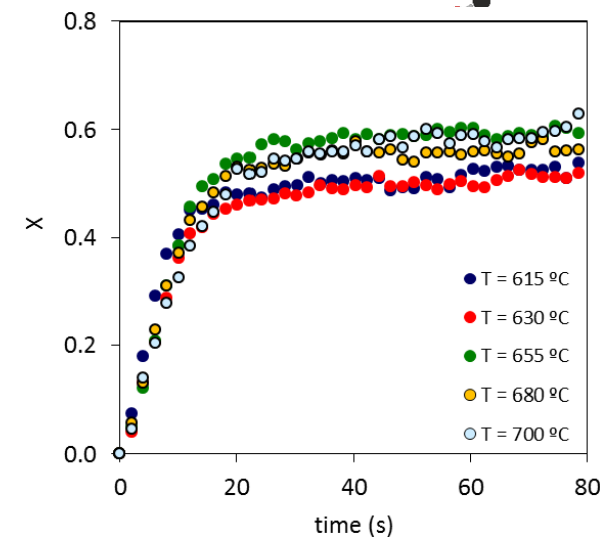
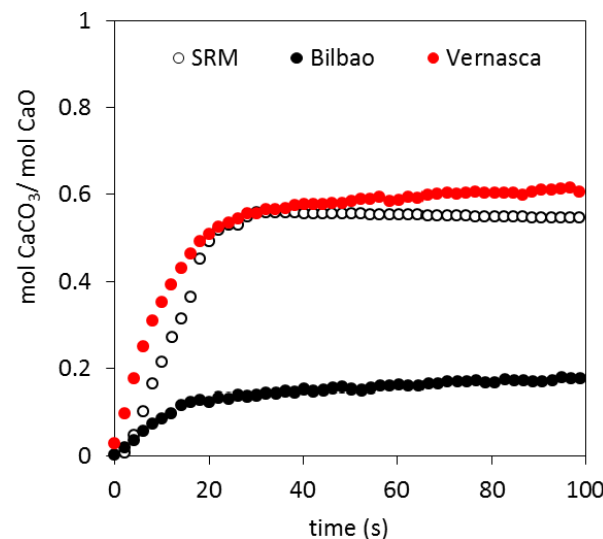
In pratica, il calcio cattura e trasferisce la CO<sub>2</sub> da una corrente di gas diluita (scarico del forno rotante), ad un flusso gassoso ricco in CO<sub>2</sub> (calcinatore ad ossigeno)

Questo passaggio avviene sfruttando l'affinità chimica fra la materia prima utilizzata per produrre il cemento e la CO<sub>2</sub> stessa



# CLEANKER – Sequenza temporale ed estensione del progetto

- Il primo risultato importante è stato caratterizzare le proprietà chimiche della materia prima di Vernasca
- Nei laboratori di CSIC e USTUTT (Oviedo, Stoccarda), il materiale ha dimostrato di avere buone proprietà come sorbente per la cattura di CO<sub>2</sub>
- Il materiale calcinato presenta buona affinità chimica e capacità di trasporto della CO<sub>2</sub>

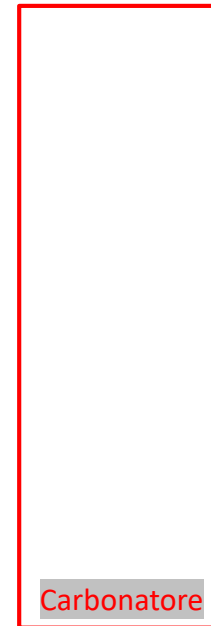
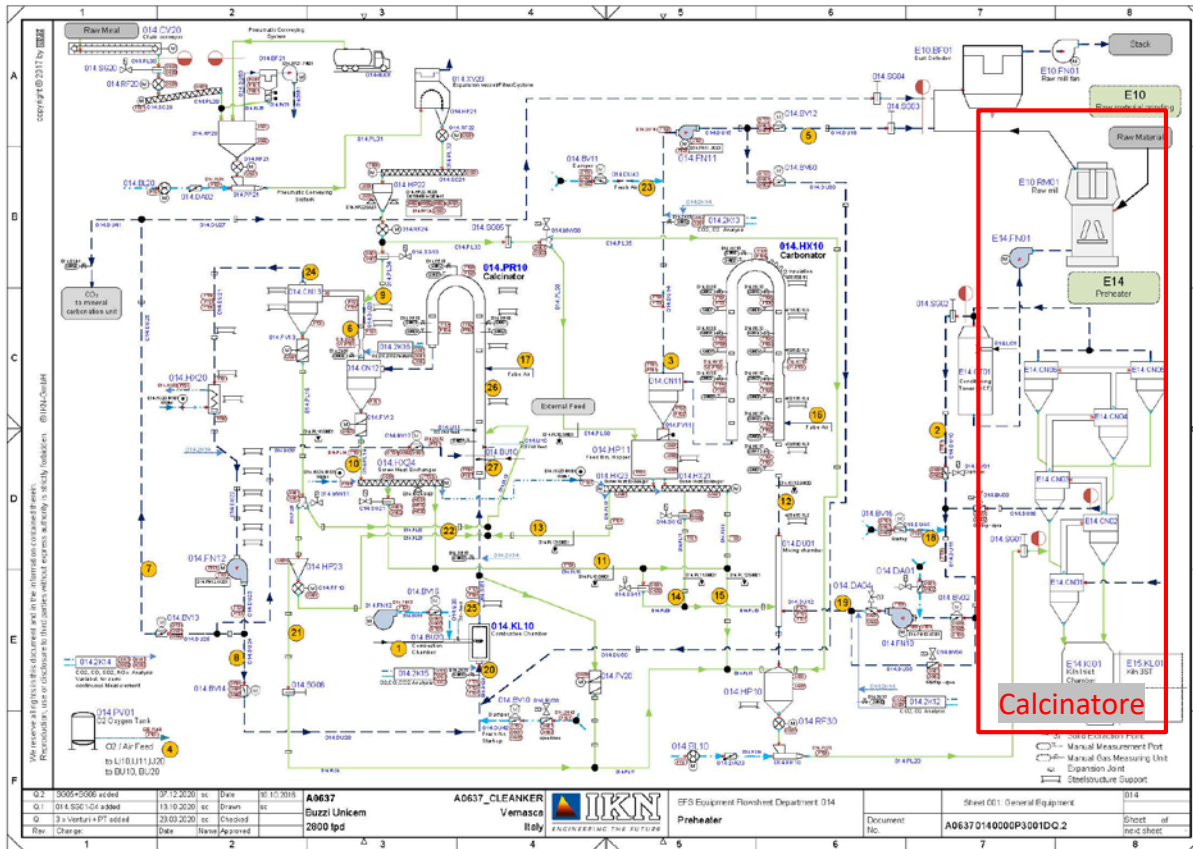


# CLEANKER – Sequenza temporale ed estensione del progetto

- Il design del dimostratore si è svolto nel primo anno e mezzo di vita del progetto; è stato completato a fine luglio 2018, includendo punti di misura e la strumentazione necessaria
- Esso ha riguardato la stesura di 693 disegni tecnici e uno schema di processo revisionato fino al livello “O”
- La costruzione dei vari componenti ha avuto inizio in Marzo 2019



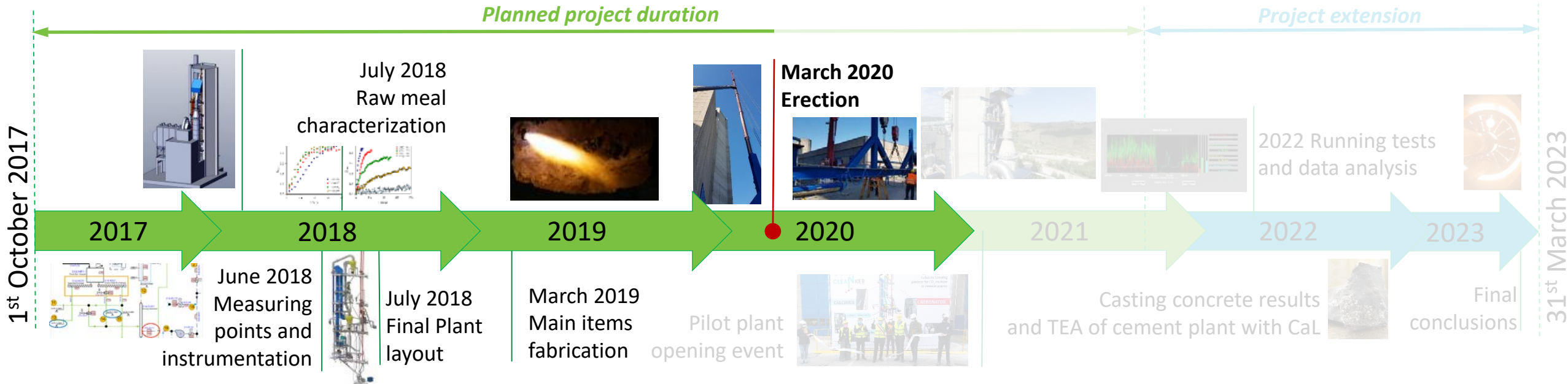
# CLEANER – Schema di processo





# CLEANKER – Sequenza temporale ed estensione del progetto

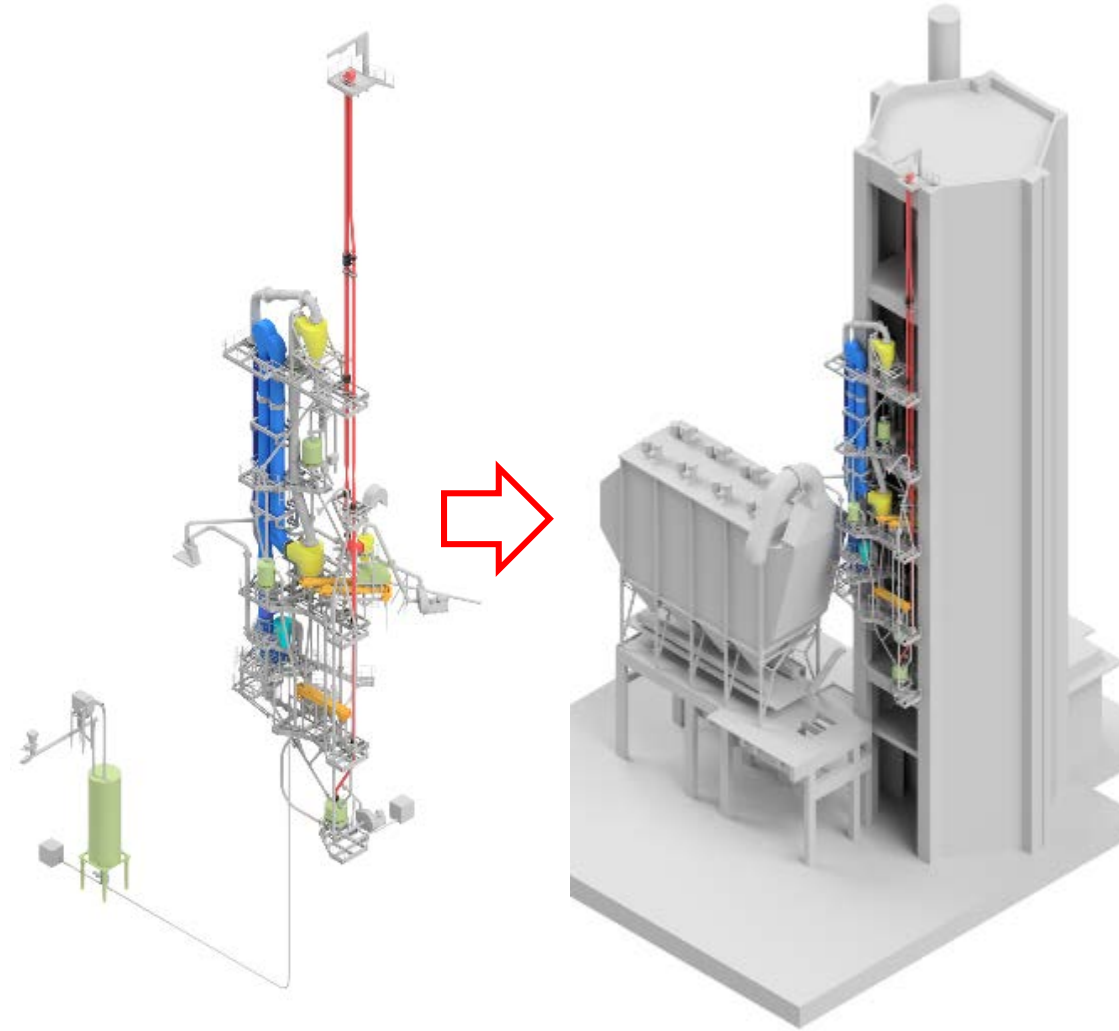
- La costruzione dell'impianto pilota CLEANER è stata completata nel 2020
- Durante la costruzione sono state installate 110 tonnellate fra macchinari e componenti (più 40 tonnellate di materiale refrattario), 38 grandi condutture, 78 giunti di espansione e 189 apparecchiature strumentali



## Impianto Buzzi Unicem di Vernasca



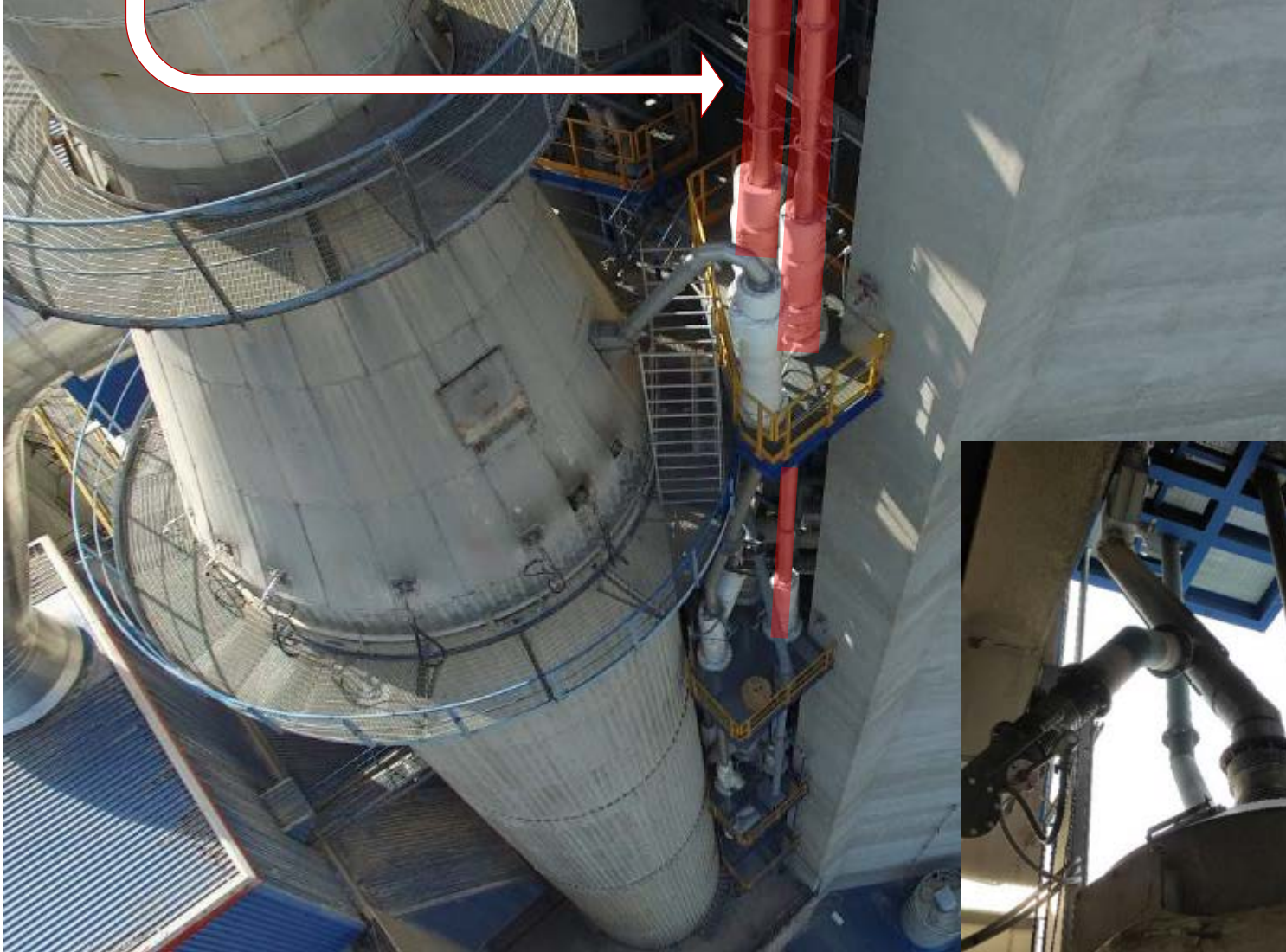
Torre di preriscaldamento del cementificio





- Due bruciatori (olio combustibile, ossicombustione)
- Iniezioni multiple di ossigeno per controllo temperatura
- Coclea per controllare la portata di solidi alimentata
- Stadio di pre-riscaldamento del materiale
- Ciclone per separare il material calcinato dalla  $\text{CO}_2$



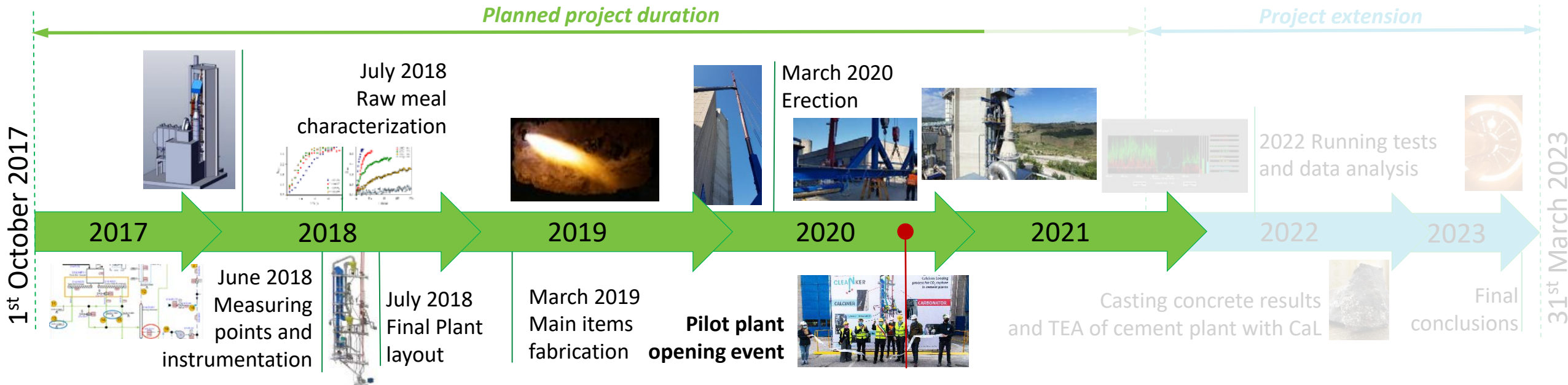


- Lunghezza totale di circa 105 m; diametro delle 2 sezioni: 250 – 350 mm
- acciaio inossidabile, forma a collo di cigno;
- Un ciclone separa il materiale ricarbonatato dai gas “puliti” dalla CO<sub>2</sub>



# CLEANKER – Sequenza temporale ed estensione del progetto

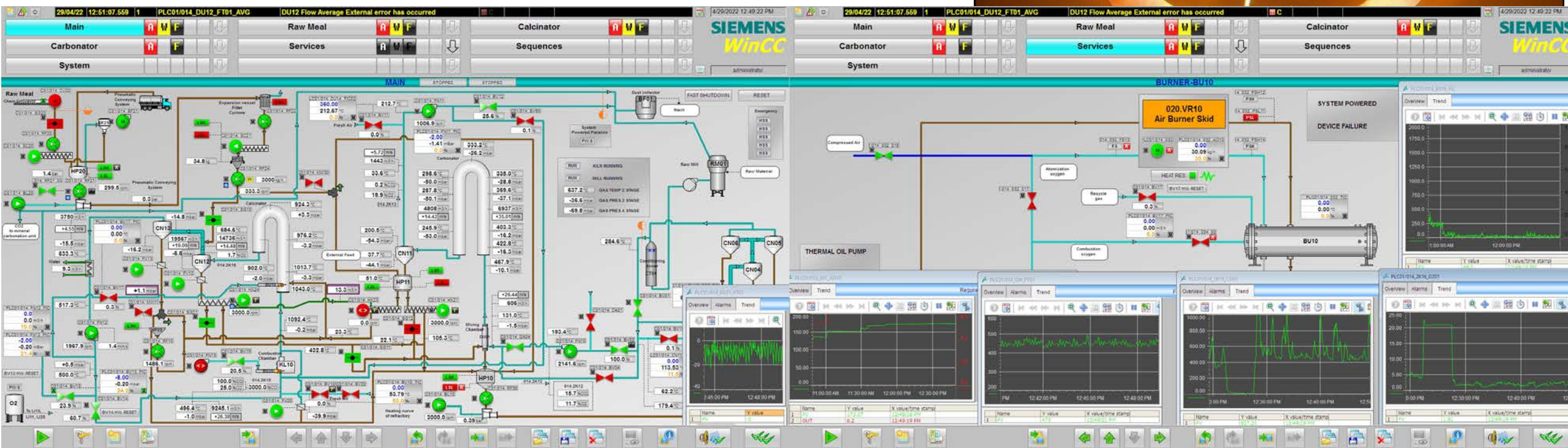
- Evento di inaugurazione organizzato il 9 ottobre 2020 presso l'impianto di Vernasca: «La cattura della CO<sub>2</sub> nell' industria del cemento – Il progetto CLEANKER»
- 8 presentazioni orali e visita all'impianto
- CLEANKER stakeholders and policy makers sono stati coinvolti
- All'evento di inaugurazione è seguita, in ottobre 2020, la messa in esercizio dell'impianto





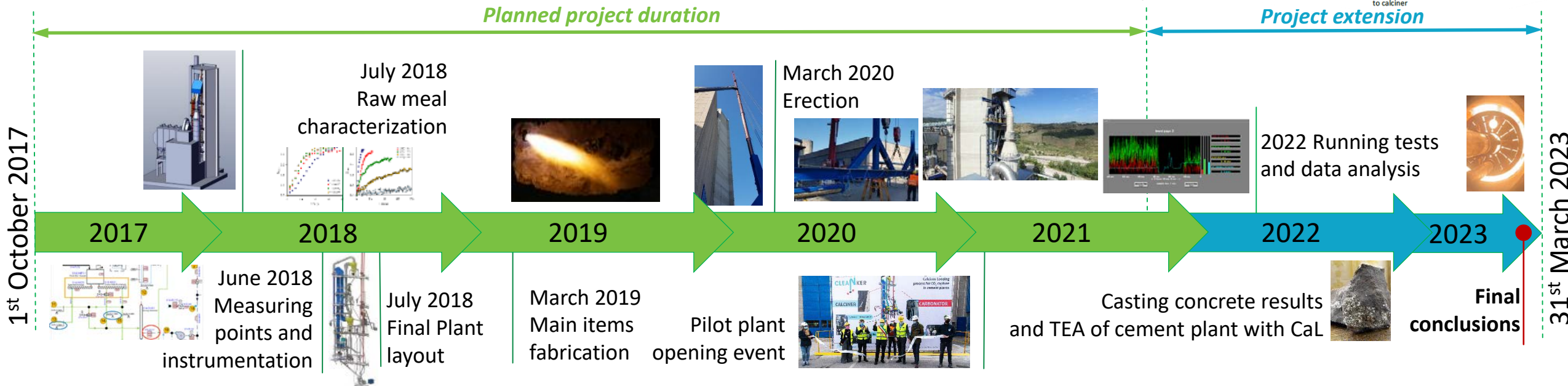
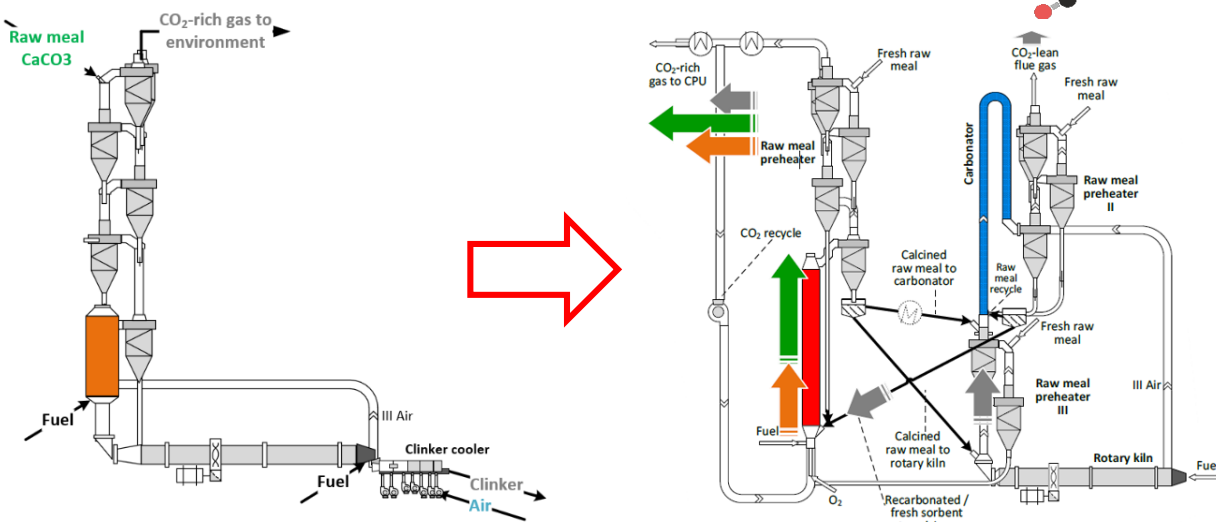
# CLEANKER – Sequenza temporale ed estensione del progetto

- Le campagne sperimentali sono state condotte da BUZZI con la supervisione dei ricercatori del LEAP e Politecnico di Milano
- Sono state previste 9 campagne in totale, 5 short tests di tre giorni l'uno e 4 long tests di una settimana ciascuno (il 3° è attualmente in svolgimento)
- Ad oggi, l'impianto ha operato per circa 450 ore, di cui 70 in completa configurazione sperimentale (CaL integrato)



# CLEANKER – Sequenza temporale ed estensione del progetto

- **Valorizzazione:** il consorzio del CLEANKER valuta tutti gli aspetti tecnici per una potenziale integrazione dei sistemi CCS nell'industria del cemento
- **Studi di scale up** per applicazioni di *retrofit* o *greenfield*
- **Business plan e analisi economica** per lo struttamento commerciale della tecnologia CLEANKER in impianti BUZZI e ITC (Heidelberg)





# CLEANKER – Strategia di comunicazione - SUPERQUARK



26 Agosto 2020, RAI1, SuperQuark, Piero Angela - <https://www.youtube.com/watch?v=oQcrWfRbFjg>

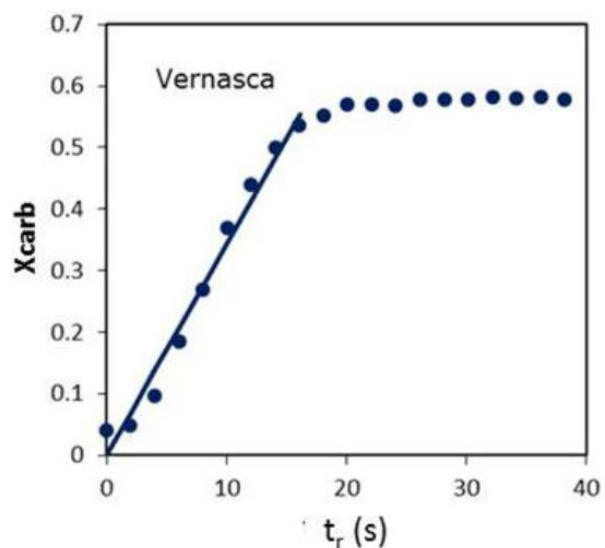


# Test sperimentali CLEANKER – Risultati

**Un impianto di cattura rappresentativo, esposto alle condizioni effettive di un cementificio è in grado di funzionare come previsto? La materia prima utilizzata per fare cemento può catturare la  $\text{CO}_2$ ?**

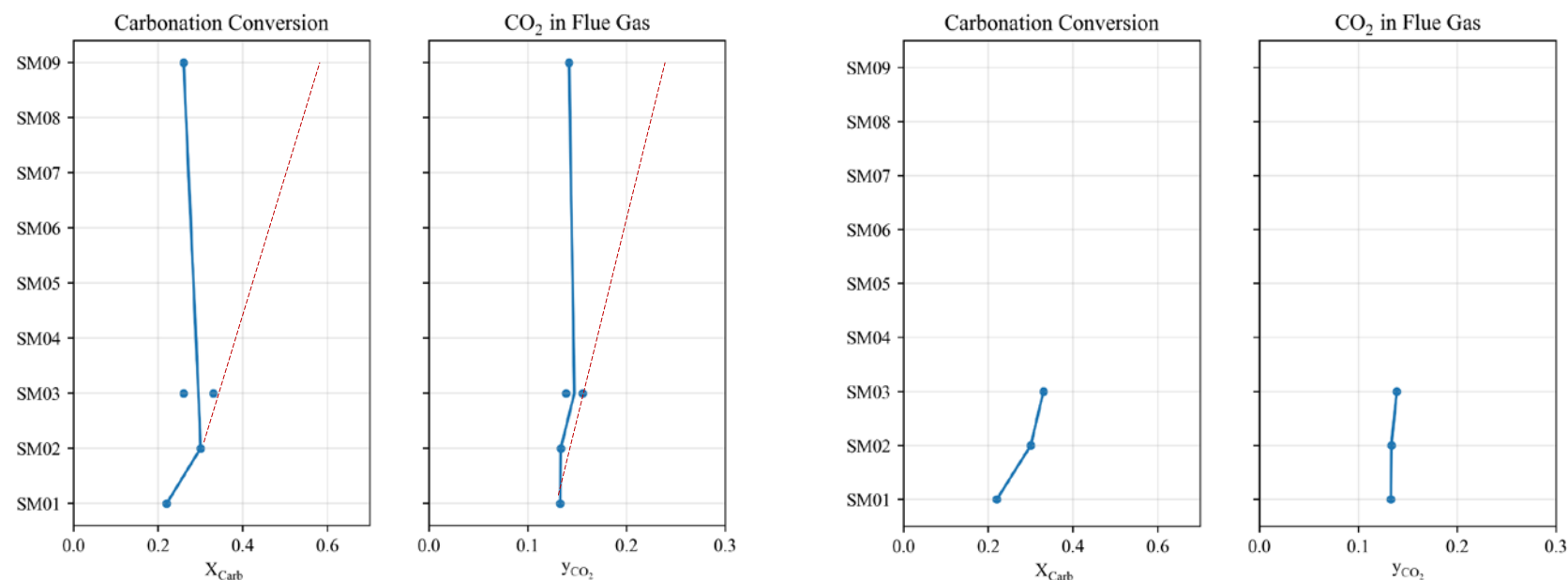
- Il progetto CLEANKER ha evidenziato, dopo una fase iniziale di test in laboratorio, che la materia prima utilizzata nei cementifici è soggetta a ricarbonatazione anche in condizioni di processo “reali” e può essere utilizzata come sorbente per la cattura della  $\text{CO}_2$
- Le incertezze tecniche legate alle proprietà del materiale o alla formazione di specie indesiderate sono state superate. Incertezza ancora vigente su accuratezza risultati per difficoltà nel mantenimento di condizioni stazionarie.

Test di laboratorio



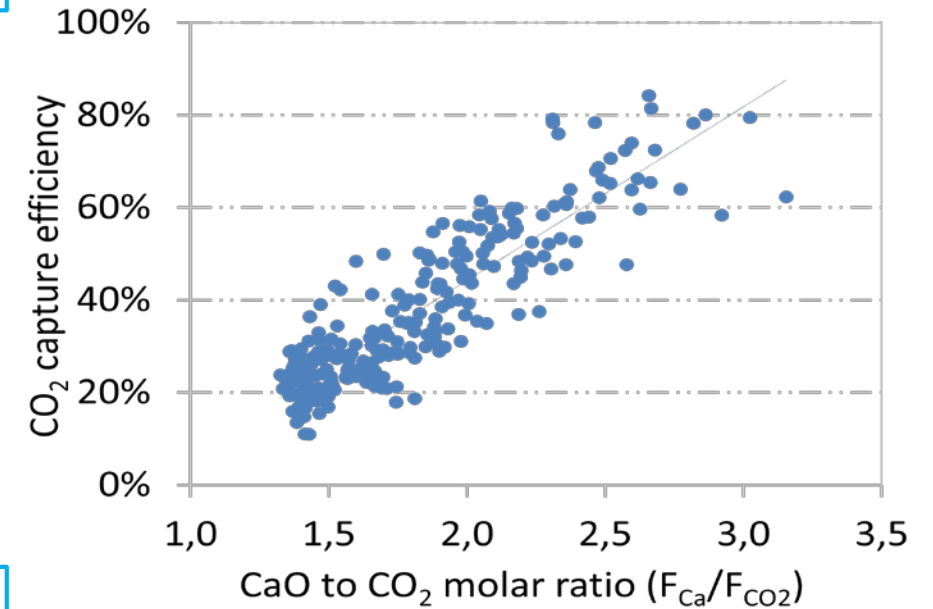
Campionamenti su impianto pilota

----- Desired trend



## Risultati operativi

- Le analisi sui gas e sui solidi prelevati indicano buone prestazioni in un range di temperature nel carbonatore fra 500 e 700°C
- Aumentare la quantità di CaO inviato carbonatore comporta un aumento dell'efficienza di cattura della CO<sub>2</sub>
- Il funzionamento del calcinatore in ossicombustione si è rivelato stabile ed affidabile
- La purezza della CO<sub>2</sub> prodotta nel calcinatore ha superato il 70%

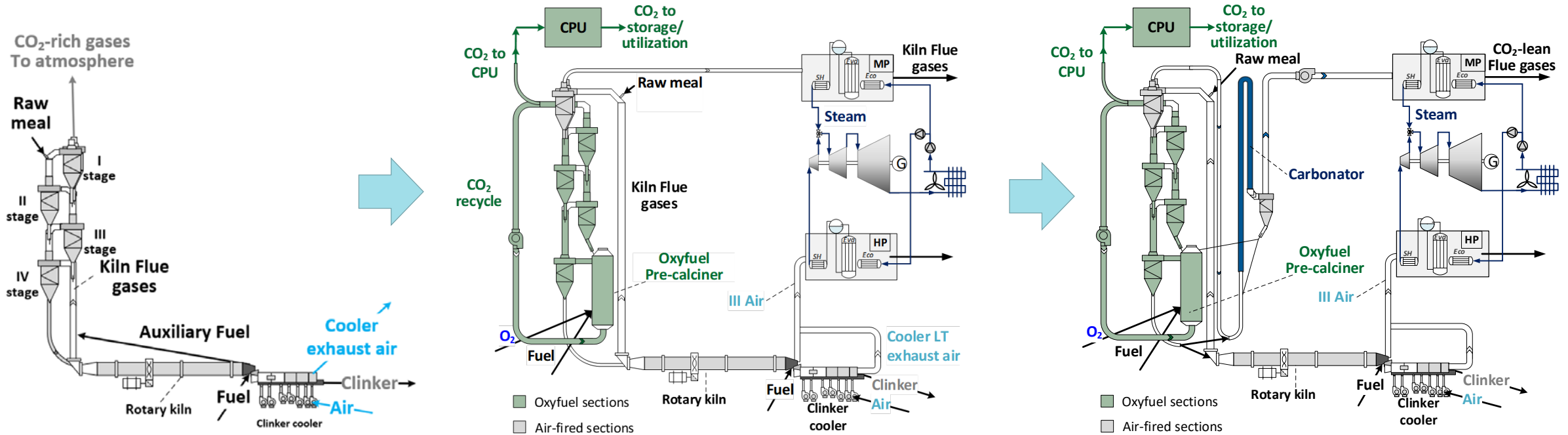


## Lezioni apprese e miglioramenti

- A partire dal primo test, affidabilità e operabilità dell'impianto pilota sono costantemente migliorate
- Nelle ultime campagne sperimentali svolte il processo ha funzionato in modo stabile per molte ore consecutive, sebbene in condizioni non ancora pienamente rappresentative
- Le ulteriori prove sperimentali, attualmente in corso, puntano al raggiungimento di punti operativi stabili e rilevanti, funzionali all'elaborazione finale dei dati raccolti durante tutte le campagne

# What's next? Considerazioni finali & potenzialità future (1/2)

- Riteniamo ci siano le condizioni necessarie per attuare un progetto su più larga scala (anni 2024-2028): la tecnologia è pronta per passare dall'attuale TRL-7 (progetto CLEANKER) a TRL-8 (circa 10% impianto reale)
  - ➔ Questo può aprire la strada allo sviluppo su scala industriale -> impianto «full scale» attorno al 2030

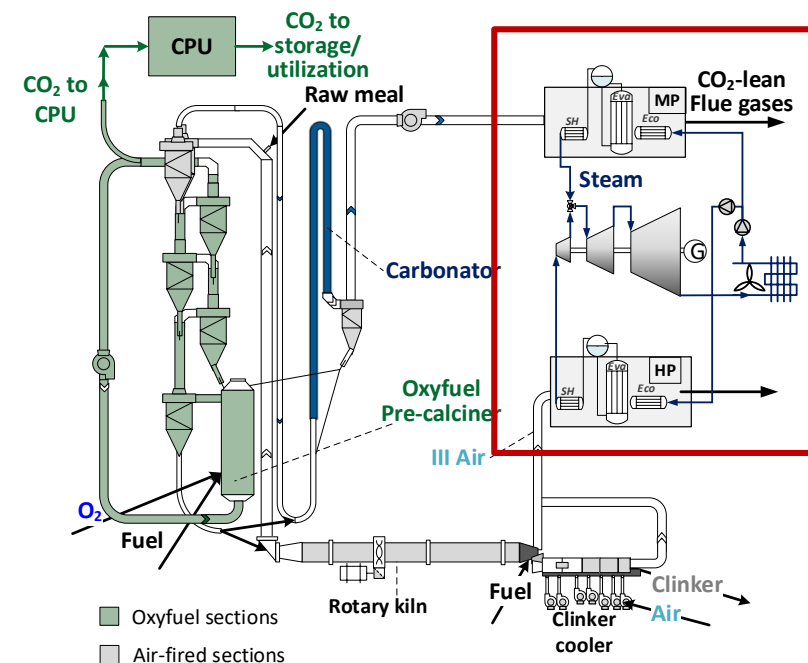


- Soluzioni alternative per la cattura della CO<sub>2</sub> sono in fase di sviluppo più avanzata (es. assorbimento chimico con solventi a TRL-9) ➔ la competizione tecnologica è elevata, non è semplice entrare nel mercato

# What's next? Considerazioni finali & potenzialità future (2/2)

La tecnologia Calcium Looping integrata può beneficiare però di alcuni importanti **vantaggi**:

- I materiali ed i componenti del processo sono gli stessi impiegati nel settore del cemento:
  - Il processo di cattura non richiede l'utilizzo di solventi o altri prodotti chimici
  - Il processo non è efficiente/promettente per via di una macchina/componente particolarmente innovativo o costoso, ma semplicemente per come sono «riposizionati» i flussi di gas e solidi
  - Nessun impatto su componenti critici del cementificio (-> forno rotante, raffreddatore del clinker)
- Il processo può convertire l'energia utilizzata per catturare la CO<sub>2</sub> in energia elettrica:
  - Se il cementificio sfrutta combustibili residuali con quote biogeniche (es. rifiuti, biomasse) le emissioni di CO<sub>2</sub> divengono «negative»



# Grazie per l'attenzione!

Per qualsiasi domanda:

Maurizio Spinelli – [maurizio.spinelli@polimi.it](mailto:maurizio.spinelli@polimi.it)

Stefano Consonni – [stefano.consonni@polimi.it](mailto:stefano.consonni@polimi.it)

Matteo Romano – [matteo.romano@polimi.it](mailto:matteo.romano@polimi.it)

Manuele Gatti – [manuele.gatti@polimi.it](mailto:manuele.gatti@polimi.it)

CLEANKER – [cleanker-leap@polimi.it](mailto:cleanker-leap@polimi.it)

[www.cleanker.eu](http://www.cleanker.eu)

[Twitter: @CLEANKER\\_H2020](https://twitter.com/CLEANKER_H2020)

[LinkedIn: www.linkedin.com/company/14834346](https://www.linkedin.com/company/14834346)



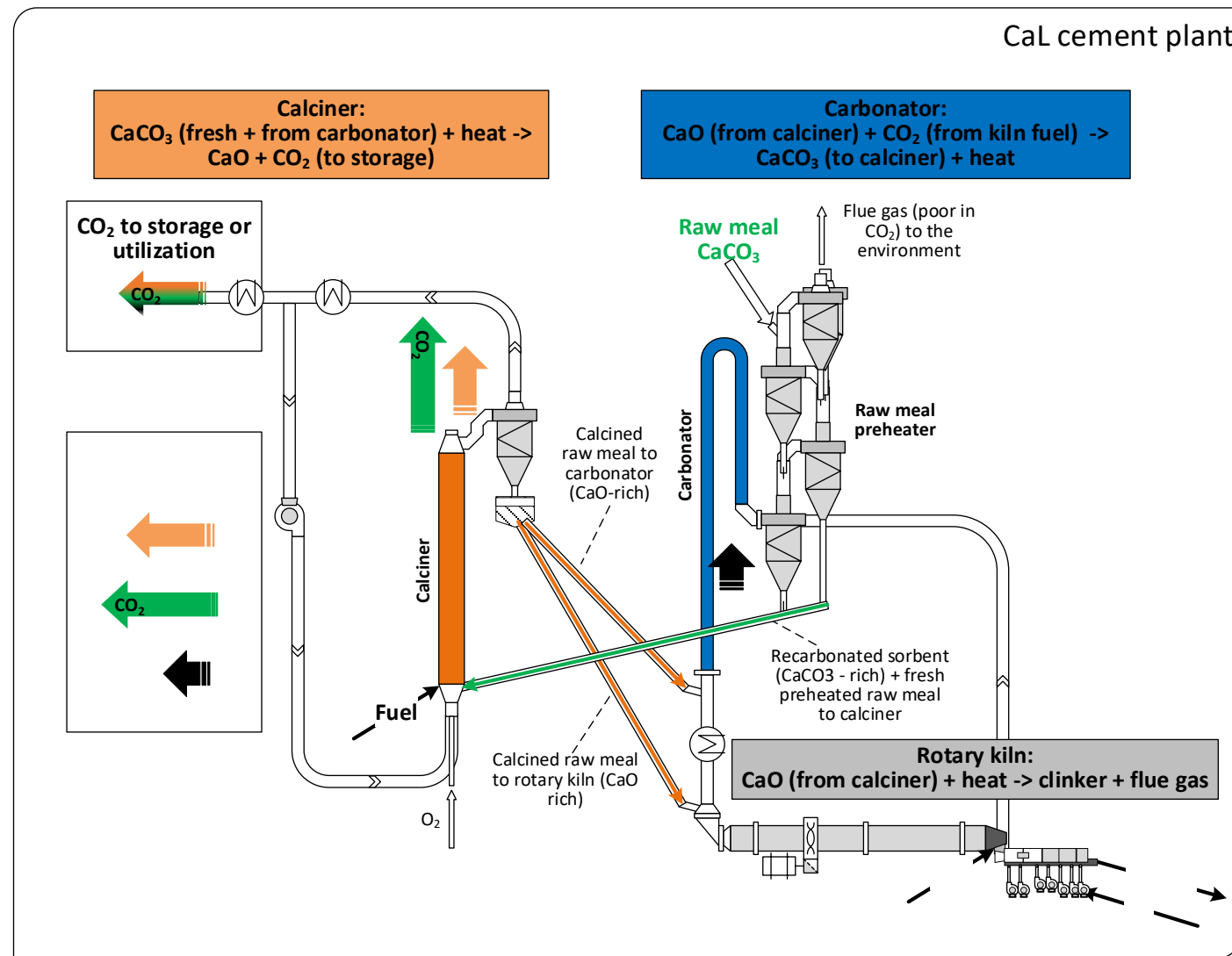
This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement n. 764816

This work is supported by the China Government (National Natural Science Foundation of China) under contract No.91434124 and No.51376105

*Disclaimer: The European Commission support for the production of this publication does not constitute endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein*



- ✓ Livello di catturata elevato senza modifiche sostanziali all'impianto
- ✓ Buona efficienza energetica e consumi più moderati rispetto ad altre applicazioni CCS alternative (e.g. cattura in post-combustione)
- ✗ I regimi fluido-dinamici e il design dei nuovi reattori devono essere validati, come anche le performance del sorbente
- ✓ I costi per la CO<sub>2</sub> evitata sono competitivi



# Progetto CLEANKER: il consorzio dei partner

Data di partenza: 1<sup>st</sup> Ottobre 2017

Partner: 13 partner da 5 stati membri EU + Svizzera e Cina

Durata: 4 anni + estensione (Covid)

Budget totale: € 9.237.851,25

Finanziamento UE: € 8.972.201,25

Finanziamento Cina: 265.650 €

