

## DESCRIZIONE TECNICA

Il monitoraggio delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera è stato riconosciuto da tutti i Paesi firmatari del documento finale della Conferenza di Parigi 2015 (COP21) come il caposaldo per un effettivo controllo dei cambiamenti climatici, su scala planetaria, e delle catastrofi ambientali associate ad un eccesso di CO<sub>2</sub> in atmosfera. Anche il mercato delle quote di CO<sub>2</sub>, che è stato predisposto per calmierare le emissioni, richiede una valutazione quantitativa precisa delle emissioni. E' possibile distinguere le emissioni di anidride carbonica da processi di combustione di combustibili fossili (petrolio, metano, carbone) da quelle derivanti da sostanze biologiche (legna, biomasse, ecc.) unicamente misurando l'anidride carbonica con <sup>14</sup>C, <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, che è un isotopo radioattivo del normale carbonio. Il <sup>14</sup>C ha una vita media di circa 5700 anni, per cui non è presente nei combustibili fossili di origine molto antica. E' stato ormai confermato che l'utilizzo massivo di combustibili fossili sta causando il riscaldamento globale, mentre l'utilizzo di fonti bio non altera in modo significativo l'equilibrio globale, essendo "fisiologico" e non essendoci la disponibilità di enormi quantità come per i combustibili fossili accumulati per decine di milioni di anni nel sottosuolo.

Tra le tecnologie di misurazione più comune si segnalano: i rilevatori termici (utili soprattutto per determinare perdite di CO<sub>2</sub> da serbatoi o giacimenti di confinamento), i monitor a emissione continua (CEM) per la valutazione dell'efficienza di cattura e i spettrometri laser a diodi per le misure atmosferiche.

Recentemente in Italia, nei laboratori CNR, è stata messa a punto una tecnologia basata sulla spettroscopia laser di altissima precisione che consente dall'analisi di campioni gassosi di misurare le minime quantità di <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> presenti in natura (1 molecola di <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> ogni mille miliardi di molecole di anidride carbonica ordinaria). La tecnologia è già stata scientificamente validata, ha a tutt'oggi una sensibilità almeno 1000 volte maggiore delle migliori tecnologie alternative esistenti al mondo e potrà consentire la portabilità di strumenti di misura di altissima precisione in tutto il mondo. Il CNR ha già approvato la creazione di una società spin-off per l'ulteriore sviluppo di questa tecnologia di frontiera e per una sua rapida commercializzazione. La prima fase di ingegnerizzazione è già stata effettuata, rendendo la strumentazione sufficientemente miniaturizzata per essere trasportabile.

## STATO DI AVANZAMENTO

### Internazionale

Le principali tecnologie di monitoraggio di CO<sub>2</sub> si basano sull'utilizzo di opportuni sensori che sfruttano la Radiazione Infrarossa IR o acceleratori per spettrometria di massa AMS (Accelerator Mass Spectrometry). La tecnologia sviluppata dal CNR presenta potenzialità di rilevamento uniche e al momento non eguagliate.

### Nazionale

La tecnologia sviluppata dal CNR presenta potenzialità di rilevamento uniche e al momento non eguagliate.

## TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)

Esistono tecnologie di monitoraggio ormai ben consolidate. La tecnologia di sviluppo proprietaria CNR è stata validata in laboratorio (TRL 4).

## RELAZIONE CON LE FONTI ENERGETICHE

La tecnica proposta consente la misura ad altissima precisione delle emissioni di anidride carbonica imputabili ai processi di combustione relative a tutte le fonti energetiche e agli impianti che prevedano utilizzo di combustibili, consentendo la discriminazione tra combustione di sostanze di origine biologica e fossile, tra cui:

- Centrali a carbone/olio combustibile/metano
- Impianti industriali che fanno uso di combustori
- Inceneritori
- Autoveicoli a motore.

## ■ VERSATILITÀ (CAPACITÀ DI IMPATTARE SU PIÙ SETTORI)

Oltre al settore Ambientale, la tecnologia proposta può trovare applicazione nei settori:

- Biomedicale, per la sperimentazione del metabolismo di farmaci marcati con  $^{14}\text{C}$
- Sicurezza, per la estrema sensibilità a sostanze gassose anche diverse dall'anidride carbonica e a processi di trasmutazione atomica che alterano i rapporti isotopici naturali
- Patrimonio Culturale, per l'assoluta novità di un sistema laser compatto e trasportabile per la radiodatazione di reperti.

## ■ POTENZIALE DI DIFFUSIONE IN AMBITO NAZIONALE

Il territorio nazionale non ha influenza sulla tecnologia.

## ■ IMPATTO E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Parametro non applicabile.

### Emissioni $\text{CO}_2/\text{MWh}$

Non si applica a questa tecnologia che è di monitoraggio.

### Emissioni $\text{CO}_2/\text{MWh}$ evitate

Non si applica a questa tecnologia che è di monitoraggio

## ■ EFFICIENZA, TEMPO DI VITA E RENDIMENTO PREVISTI

Non si applica a questa tecnologia che è di monitoraggio.

## ■ PAYBACK TECNOLOGICO, DI INVESTIMENTO E DI OPERATION AND MAINTENANCE PREVISTO

Le tecnologie di controllo emissioni attuali disponibili hanno un costo di installazione e di mantenimento a seconda dell'applicazione prevista. Nel caso della tecnologia brevettata CNR, i costi di ulteriore sviluppo della tecnologia sono quantificabili in circa 5 milioni di Euro. Quando completamente sviluppata, richiederà solo l'intervento saltuario di un operatore per la gestione. Il costo di ciascuno spettrometro è stimabile in circa 0.5 milioni di Euro e il rientro dagli investimenti è previsto nell'arco di 3-5 anni.

## ■ PRINCIPALI OSTACOLI ALLO SVILUPPO

Non valido per le tecnologie tradizionali. Le principali difficoltà nella tecnologia CNR sono riconducibili all'attuale carenza, su scala europea ma anche internazionale, di produttori di componenti ottici con le caratteristiche richieste (soprattutto specchi ad alta riflettività e basse perdite per radiazione infrarossa).

## ■ POTENZIALITÀ DI SVILUPPO TECNOLOGICO IN AMBITO NAZIONALE E IMPATTO SUL PIL

Ci sono importanti prospettive di impiego in ambito nazionale per la tecnologia CNR, trattandosi di una tecnologia portatile e molto trasversale dal punto di vista tematico. Si tratta di una tecnologia al momento unica sullo scenario internazionale e, come tale, adatta per l'impiego soprattutto di personale ad alta qualificazione.

Si riporta una stima del mercato globale su cui si inserirebbe la tecnologia in oggetto.

Stima del mercato annuale globale esistente per le analisi di 14C (\*):

- 110 strutture AMS (al 2012)
- 3500 analisi di 14C per ogni struttura AMS
- 600 \$ prezzo medio per analisi,  $110 \times 3500 \times 600 \$ = 210$  milioni \$ di ricavi

Esempio di budget di spesa per le analisi di 14C:

- National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA): ~5 milioni \$ nel 2014

Stima dell'espansione nei prossimi anni del mercato annuale globale per le analisi di 14C (\*):

- radiodatazione: ~ 1.5 miliardi \$
- monitoraggio ambientale: ~ 1.5 miliardi \$
- petrolio e gas: ~ 1.2 miliardi \$
- monitoraggio di impianti/scorie nucleari: ~ 1.0 miliardi \$
- scienze della vita / biomedicale: ~ 1.0 miliardi \$
- difesa: ~ 1.0 miliardi \$
- alimentare: ~ 0.1 miliardi \$
- cattura e sequestro del carbonio: ~ 10.0 miliardi \$

TOTALE: ~ 17.3 miliardi \$ / anno

(\*) Stima effettuata per conto CNR da un'azienda americana interessata alla commercializzazione della tecnologia SCAR.

## POTENZIALITÀ DI ESPORTAZIONE DELLA TECNOLOGIA

In aggiunta a quanto riportato per il mercato nazionale, si fa presente che è possibile la realizzazione di filiere produttive, su scala italiana e internazionale, che potranno implicare la realizzazione dei singoli componenti, dell'intero sistema, dell'ingegnerizzazione e dell'ulteriore sviluppo scientifico e tecnologico del prototipo attuale, nonché di aziende operanti nei vari settori citati che potranno incorporare questa tecnologia. I prodotti, in termini di strumenti completi o di servizi, sono sicuramente di interesse di tutti i paesi, specialmente di quelli firmatari degli accordi sull'Ambiente alla Conferenza di Parigi del 2015.

## POSSIBILI RICADUTE PER IL SISTEMA INDUSTRIALE, DEI TRASPORTI, RESIDENZIALE E NEL TERZIARIO

La misura di concentrazione di radiocarbonio è fondamentale per vari tipi di applicazioni. Questa viene fatta da opportuni centri di analisi dotati di macchinari AMS (acceleratori per spettrometria di massa) oppure direttamente dagli utenti finali che si sono dotati di uno strumento capace di soddisfare le loro esigenze (AMS o scintillatori liquidi-LSC). La possibilità di effettuare questo tipo di misura ha fatto sì che l'uso del radiocarbonio sia sempre più diffuso a livello globale, aumentando in maniera esponenziale la richiesta di misure di concentrazione di 14C da parte degli utenti finali.

Il tipo di utente finale è quindi divisibile in due categorie, uno che desidera dotarsi di uno strumento di rivelazione di radiocarbonio per poter fare le misure autonomamente, l'altro che non ha i mezzi per dotarsi di uno strumento e deve usufruire di centri di analisi. La prima categoria necessita di uno strumento che abbia, oltre a caratteristiche di analisi adeguate alla loro esigenza, costi di esercizio bassi, un ingombro relativamente piccolo e facilità di impiego. La seconda categoria ha necessità di risposte in tempi brevi, con costi bassi e possibilmente con vicinanza geografica, per rendere più agevole l'utilizzo dei campioni e la discussione dei risultati.

La stima del bacino potenziale degli utenti finali dello strumento commerciale è di oltre 9000 clienti. Tale stima è stata fatta da un'azienda americana interessata alla commercializzazione della tecnologia SCAR. Le caratteristiche di 14C-SCAR rendono lo strumento ideale per coprire le esigenze dei potenziali utenti finali di svariate tipologie, come ad esempio medie/grosse imprese private, laboratori di ricerca e università.

I potenziali clienti della tecnologia ppqSense sono aziende di grosse dimensioni, come ad esempio le compagnie petrolifere che producono biocarburanti o le aziende leader nel settore della strumentazione scientifica e analitica, interessate alla produzione industriale di questa nuova classe di spettrometri e al nuovo bacino potenziale di applicazioni.

Potenziali utenti finali a livello nazionale di questa tecnologia sono gli attuali utilizzatori dei servizi di misura di concentrazione di radiocarbonio (tipicamente per la datazione di reperti) perché più competitiva rispetto ai centri di analisi ad oggi esistenti basati su grandi installazioni (AMS) con costi elevati e tempi lunghi di misura.

## MAGGIORI ATTORI ITALIANI COINVOLTI

### Utilizzo della tecnologia

- Industrie petrolifere interessate alla produzione e conseguente certificazione di biocarburanti o alle tecniche di segregazione dell'anidride carbonica
- Soggetti pubblici o privati interessati alla verifica delle emissioni in impianti di incenerimento dei rifiuti; al controllo delle emissioni in ambito urbano o industriale
- Aziende interessate allo sviluppo di sistemi di rivelazione di sostanze gassose ad altissima sensibilità
- Aziende legate al settore della Sicurezza
- Soggetti, operanti nel settore Patrimonio Culturale, interessati a sistemi portatili per la datazione di reperti.

### Sviluppo della tecnologia

I settori potenzialmente coinvolti nella futura filiera di produzione sono:

- Lavorazioni meccaniche e sistemi per il vuoto
- Aziende per lo sviluppo di apparecchiature elettroniche
- Aziende che sviluppano sistemi laser compatti
- Aziende operanti nel campo dell'ottica, con particolare riguardo alla regione spettrale infrarossa.

## ECCELLENZE IN TERRITORIO NAZIONALE

Diversi sono gli attori impegnati in tecniche di rilevamento di anidride carbonica. Il CNR rappresenta in questo settore una sicura eccellenza sia per la sua capacità di sviluppare metodologie di analisi sia per le tante attività compiute all'interno dei suoi istituti nel campo della fisica e chimica dell'atmosfera.

## BEST PRACTICES

La tecnologia brevettata CNR è un esempio di best practice internazionale su queste tematiche.

### BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1] Molecular gas sensing below parts per trillion: radiocarbon-dioxide optical detection", Phys. Rev. Lett. 107, 270802 (2011)
- [2] The  $\nu_3$  band of  $^{14}\text{C}^{16}\text{O}_2$  molecule measured by optical-frequency-comb-assisted cavity ring-down spectroscopy [Invited article]", Mol. Phys. 109, 2267 (2011)
- [3] All-optical radiocarbon dating", Opt. Photon. News 23, 52 (2012)
- [4] Optical detection of radiocarbon dioxide: first results and AMS intercomparison", Radiocarbon 55, 213 (2013)
- [5] Theory of saturated-absorption cavity ring-down: radiocarbon dioxide detection, a case study", J. Opt. Soc. Am. B 32, 2223 (2015)