

Ricerca di Sistema elettrico



Sperimentazione e Monitoraggio di Componenti e
Apparecchiature Per il Trasporto e la Distribuzione del Gas con
Miscele di Idrogeno e Metano Presso Campo Prova Rete Gas
(LA2.29)

P. Gislón, A. De Marco, C. Felici, V. Cigolotti, ENEA CR Casaccia

Sperimentazione e Monitoraggio di Componenti e Apparecchiature per il Trasporto e la Distribuzione del Gas con Miscele di Idrogeno e Metano Presso Campo Prova Rete Gas

LA 2.29 SPERIMENTAZIONE E MONITORAGGIO DI COMPONENTI E APPARECCHIATURE PER IL TRASPORTO E LA DISTRIBUZIONE DEL GAS CON MISCELE DI IDROGENO E METANO PRESSO CAMPO PROVA RETE GAS

P. Gislon, A. De Marco, C. Felici, V. Cigolotti, ENEA

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica -ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: 1.3 - Progetto Integrato Tecnologie dell'Idrogeno

Linea di attività: LA 2.29

Responsabile del Progetto: Luca TURCHETTI, ENEA

Responsabile del Work Package: *Luca TURCHETTI*

Responsabile Linea di Attività: Viviana, Cigolotti, ENEA

Mese inizio previsto: 1

Mese inizio effettivo: 1

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Indice

1	Risultati attesi	4
1.1	Adeguamento del Campo Prove all'esecuzione di test con miscele HENG.....	4
1.2	Studio sulla readiness della rete nazionale all'immissione di miscele HENG.....	5
2	Risultati ottenuti.....	6
2.1	Adeguamento del Campo Prove all'esecuzione di test con miscele HENG	6
2.1.1	Risultati dei test sui meter	7
2.1.2	Risultati dei test sugli effetti di stratificazione in condotte verticali in seguito a temporanea interruzione del flusso gas.....	8
2.1.3	Risultati dei test su effetto presenza idrogeno in miscela sulla rivelazione fughe di gas	8
2.2	Studio sulla readiness della rete nazionale all'immissione di miscele HENG.....	9
3	Prodotti attesi	11
4	Prodotti sviluppati	12
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	13
6	Sintesi delle attività svolte	14
6.1	Adeguamento del Campo Prove all'esecuzione di test con miscele HENG	14
6.2	Studio sulla readiness della rete nazionale all'immissione di miscele HENG.....	14
7	Dettaglio delle attività svolte.....	15
7.1	Adeguamento del Campo Prove all'esecuzione di test con miscele HENG	15
7.1.1	Test su meter.....	18
7.1.2	Test su effetti di stratificazione in condotte verticali in seguito a temporanea interruzione del flusso gas	19
7.1.3	Test su effetto presenza idrogeno in miscela sulla rivelazione fughe di gas	20
7.2	Studio sulla readiness della rete nazionale all'immissione di miscele HENG.....	21
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	23
9	Pubblicazioni scientifiche	24
10	Eventi di disseminazione	25

Indice delle figure

Figura 1 – Schema di insieme dell'infrastruttura costruita per prove con miscele HENG nel campo prove di Centria	14
Figura 2 – Alloggiamento dei meter sotto test.....	15
Figura 3 – Colonne montanti con stacchi a diverse quote	19
Figura 4 – – Tracciato condotta fugante e punti di rilevazione della fuga.....	20
Figura 5 – Sensori di misura delle fughe gas posti sul pianale dell'autovettura	21

Indice delle tabelle

Tabella 1 – Composizione del gas naturale prelevato dalla rete di distribuzione, che sarà miscelato con H ₂ in composizioni variabili per formare la miscela HENG.....	16
Tabella 2- Tipologia dei sensori utilizzati	21

Lista degli Acronimi

GC	Gas cromatografo
H ₂	Idrogeno
HENG	Miscela gas naturale arricchita di idrogeno
NG	Gas Naturale
P	Pressione
Q _{max}	Portata massima del range di misura del meter
Q _{min}	Portata minima del range di misura del meter
Q _t	Portata di transizione del range di misura del meter
T	Temperatura

1 Risultati attesi

I risultati attesi dalle attività della LA 2.29 erano in primo luogo l'allestimento di una facility dedicata allo studio dell'immissione di idrogeno nella rete di distribuzione del gas naturale (NG) in un campo prove in condizioni reali. A seguito di questo era prevista sia attività sperimentale che un'analisi compilativa, con uno studio relativo alla readiness della rete italiana NG all'immissione di miscele idrogeno/gas naturale ("Hydrogen Enriched Natural Gas", HENG). La sperimentazione prevedeva l'esecuzione di tre tipologie di test con miscele HENG: test sulla risposta dei contatori attualmente utilizzati nelle reti di distribuzione gas, test sulla eventualità che si verificano fenomeni di stratificazione nelle condotte verticali residenziali in caso di temporanea cessazione dell'erogazione di gas all'utenza e test sugli attuali sistemi di rivelazione di fughe di gas dalla rete.

Erano previsti due Deliverable sotto forma di Report Tecnici:

RT2.29_1 "Adeguamento di un Campo Prove per la conduzione di test sull'uso di miscele idrogeno/metano e primi risultati sperimentali"

RT2.29_2 "Stato di readiness dell'infrastruttura rete gas".

1.1 Adeguamento del Campo Prove all'esecuzione di test con miscele HENG

Per allestire attività sperimentali che avessero una valenza su larga scala e che fornissero risultati immediatamente utilizzabili dagli Operatori di Sistema Distribuzione (DSO) italiani, con ricadute su tutto il sistema energetico nazionale, si è scelto di adeguare alla sperimentazione con HENG il campo prove di Centria, gruppo Estra SpA, DSO operativo nella zona di Arezzo. Il campo prove di Centria fornisce l'ambiente idoneo all'allestimento di un sistema di test di componenti e strumenti di misura in dimensioni e condizioni operative reali e di fenomeni conseguenti all'immissione di idrogeno (H₂) in rete, e può essere facilmente predisposto per l'utilizzo di miscele HENG.

L'attività aveva come obiettivo:

- realizzare un sistema per test con HENG composto da: baia di carico con bombole di alimentazione, sistema di adduzione gas, test facility per meter, colonne montanti per test di stratificazione e collegamento alla condotta per test di rilevamento fughe gas; tutto con strumentazione di misura e controllo;
- rilevare e caratterizzare il comportamento di apparecchiature e dispositivi già disponibili sul mercato, di classe G4 per la gestione ed esercizio delle reti di distribuzione del gas naturale, qualora questi vengano utilizzati anche con miscele gas naturale-idrogeno fino al 10%vol. in H₂;
- evidenziare la presenza di fenomeni di stratificazione gas in tratti di condotta verticali e in assenza temporanea di flusso;
- studiare l'effetto della presenza di H₂ nelle condutture sulla rivelazione di fughe di gas.

1.2 Studio sulla readiness della rete nazionale all'immissione di miscele HENG

Obiettivo dello studio era analizzare quanto l'infrastruttura rete gas italiana sia, allo stato attuale, pronta a sostenere l'immissione di H₂, in particolare nella condizione di quantità limitata di H₂ immesso in termini di contenuto percentuale (10%vol.), ma ugualmente significativa in termini di volume totale di idrogeno. L'analisi aveva lo scopo di raccogliere quanto disponibile da dati di letteratura, da risultati di progetti simili su scala nazionale ed europea e dai risultati sperimentali ottenuti dai co-beneficiari nella presente e in altre linee di attività (LA).

Ci si proponeva di fornire una panoramica sui diversi aspetti della tematica, sia tecnologici, quali la compatibilità dei materiali delle pipeline, dei componenti e delle utenze allacciate alla rete stessa, sia normativi e di azioni decisionali da parte degli organi preposti alla regolamentazione della materia.

2 Risultati ottenuti

2.1 Adeguamento del Campo Prove all'esecuzione di test con miscele HENG

Il principale risultato ottenuto, in linea con gli obiettivi della LA, è stato l'adeguamento di un campo prove preesistente, quindi in condizioni operative reali tipiche di un impianto di distribuzione di NG, all'utilizzo di miscele HENG. Tale campo è stato utilizzato per le prime prove sulle tematiche ritenute più urgenti nell'ipotesi di immissione di H₂ nell'attuale rete gas: conformità dell'attuale strumentazione di misura del volume di gas erogato, possibili fenomeni di de-miscelazione dell'idrogeno, compatibilità degli attuali sistemi di rilevazione fughe gas. Il primo aspetto impatta sulla misura fiscale del potere calorifico erogato, il terzo sulla sicurezza della rete, il secondo su entrambi questi aspetti. I tempi di consegna degli elementi necessari all'adeguamento del campo prove hanno ridotto il tempo di sperimentazione agli ultimi mesi del progetto. Il campo prove è ora pronto per future sperimentazioni, della medesima tipologia, o, con opportuni aggiustamenti, di tipologia differente.

Sono stati realizzati, in conformità alla normativa vigente sulla sicurezza di impianti a pressione con miscele infiammabili (DPR 151/2011):

1. baia di carico per stoccaggio bombole con miscela HENG;
2. connessione con pipeline del pacco bombole alla rete del campo prove con gruppo valvole per la riduzione della pressione e feeder alla linea di misura;
3. installazione meter per contabilizzazione miscela costituito da misuratore di portata ad ultrasuoni "hydrogen ready";
4. stazione di test per contatori calibro G4 collegati in serie, con bypass e valvole;
5. due tratti di condotte verticali in linea che simulano le colonne montanti nelle reti di distribuzione domestica;
6. collegamento della linea di misura alla condotta fugante;
7. strumentazione della rete con punti di misura della temperatura, della pressione e della composizione del gas costituiti da:
 - sonde di temperatura
 - sonde di pressione
8. sistema di acquisizione dati con datalogger;
9. gascromatografo per la misura della concentrazione di idrogeno presente nella miscela.

Il sistema è stato, quindi, utilizzato per effettuare le tre campagne di misura previste con HENG al 2%vol. e 10%vol.:

- test su misuratori gas calibro G4;
- test di stratificazione della miscela in tratti di rete verticali conseguente ad interruzione di flusso;
- test su dispositivi di ricerca di dispersioni gas.

Nel seguito si descrivono i primi risultati delle tre campagne di misura, che saranno analizzati e discussi nei report della LA 2.31.

2.1.1 Risultati dei test sui meter

L'analisi degli errori di misura del volume di gas fluito attraverso il meter è stata condotta su quattro gas meter basati su differenti tecnologie di misura, a diaframma, a ultrasuoni e termo-massico.

L'obiettivo era quantificare la variazione dello scostamento medio delle misure in un arco temporale di lunga durata, 2 mesi, per verificare l'impatto delle miscele HENG sulla misura fiscale (2% e 10% vol.) e se l'errore di misura rientra nei limiti prescritti dagli standard relativi ad ogni tipologia di meter.

L'errore massimo registrato, con H2 in HENG al 10% vol., per i due dispositivi a ultrasuoni è stato di +0.49% e -0.74%, mentre per il gas meter a diaframma si è osservata una variazione massima di +1.13%. I risultati mostrano che i valori misurati dai gas meter a ultrasuoni e a diaframma, presentano un errore percentuale rispetto al valore misurato con solo NG compreso tra $\pm 1.5\%$, in linea con le prescrizioni contenute negli standard, a tutte le miscele testate.

Per entrambe le tipologie, diaframma e ultrasuoni, il massimo errore permissibile (Massimo Errore Permissibile, MPE) è $\pm 3.0\%$ per portate Q nel range tra la portata minima $Q_{\min}$ e la portata di transizione $Q_t = 0.1 Q_{\max}$, $\pm 1.5\%$ per $Q_t \leq Q < Q_{\max}$ (rispettivamente UNI EN 1359 e UNI EN 14236).

L'unica tipologia di meter che ha mostrato di non rimanere conforme allo standard in caso di sostituzione del NG con HENG è quella termo-massica. Il discostamento rispetto ai valori consentiti dallo standard UNI EN 17526 ($\pm 3.5\%$ per portate Q nel range tra la portata minima $Q_{\min}$ e la portata di transizione $Q_t = 0.1 Q_{\max}$, $\pm 2\%$ per $Q_t \leq Q < Q_{\max}$) cresce al crescere del contenuto di H2 in HENG, è sistematicamente negativo e arriva a -14.23% per la miscela con il 10% vol. di H2, indicando una forte sottostima del volume misurato.

Questi risultati evidenziano che meter di diversa tecnologia di misura risentono in modo differente della presenza di H2 nella miscela. Mentre gli strumenti a ultrasuoni e a diaframma, ampiamente utilizzati nelle reti di distribuzione, risultano già utilizzabili per miscele con contenuto di H2 in HENG $\leq 10\%$ vol., il gas meter termo-massico mostra un comportamento che comprometterebbe la corretta contabilizzazione del volume di gas distribuito all'utenza. L'analisi ha anche evidenziato variazioni significative negli errori di misura dei gas meter in funzione della portata di miscela al termine dei test di durata di 60 giorni:

- per misuratori ad ultrasuoni, gli errori superano i limiti concessi nel caso di portate del 10% e 40% della portata massima, $6 \text{ m}^3/\text{h}$ ($Q_{\max}$), mentre restano accettabili alle portate inferiori;
- per il meter a diaframma, gli errori, pur rimanendo nei limiti concessi, sono più elevati a basse portate fino al 40% di $Q_{\max}$, e il discostamento aumenta all'aumentare del contenuto di H2 in HENG. Probabilmente la causa è da ricondurre alla permeabilità all'idrogeno della membrana interna dei gas meter basati su questa tecnologia.

I risultati mostrano quindi che, indipendentemente dall'errore di lettura rilevato in campo durante le misure in flusso di HENG, la verifica sull'errore dello strumento effettuata in laboratorio dopo il periodo di esposizione al flusso HENG (due settimane ad ogni concentrazione), ha rivelato che gli errori di misura in tutti gli strumenti, anche se rimasti nei range ammissibili secondo i rispettivi standard, subiscono una deriva correlata al grado di contenuto di H2 nella miscela.

È necessario, pertanto, che le prove siano ripetute anche con tempi di test più lunghi, per monitorare se tale deriva in tempi lunghi possa portare l'errore fuori dai limiti indicati (MPE) o se i valori di errore si stabilizzano nella fascia permessa.

Una ulteriore risposta all'effetto dell'idrogeno sui meter si potrebbe ottenere testando, per lo stesso tempo e nelle medesime condizioni in cui sono testati i meter con HENG, anche un meter dello stesso modello con gas naturale, per verificare se il drift misurato sia prodotto dall'idrogeno o da un "normale degrado nel tempo iniziale di operatività".

2.1.2 Risultati dei test sugli effetti di stratificazione in condotte verticali in seguito a temporanea interruzione del flusso gas

L'analisi della stabilità della miscela HENG in condizioni stazionarie, a flusso nullo, è stata condotta utilizzando due colonne montanti con tre punti di prelievo ognuna. La parte di condotta con le colonne montanti veniva riempita ad una pressione nel range 30-50 mbar e lasciata in condizioni stazionarie chiudendo le valvole di ingresso e uscita.

La concentrazione di idrogeno nella miscela è stata monitorata e analizzata nel tempo con il gas-cromatografo (GC), effettuando un prelievo a cadenza oraria nel corso di una giornata a flusso nullo (prova giornaliera) e un prelievo a cadenza di 12 ore nel corso di una settimana di prova (prova settimanale).

Nel corso della prova giornaliera, è stata misurata una differenza massima di concentrazione tra il punto di prelievo superiore e il punto di prelievo inferiore, distanti tra loro 3.2m, inferiore allo 0.05%, inferiore all'errore di misura (0.18%) dello strumento, indicando, in queste condizioni, l'assenza di stratificazione della miscela.

La prova settimanale ha mostrato una variazione di concentrazione più elevata ma ugualmente molto contenuta, con differenze tra i punti di prelievo cresciute nel corso della settimana fino allo 0.48%. Fenomeni di de-mixing sono, quindi, prevedibili solo in minima quantità e su tempi di interruzione di flusso uguali o superiori alla settimana.

L'omogeneità della miscela è confermata dal fatto che la composizione della miscela non ha mostrato variazioni significative in funzione della temperatura anche nei momenti di maggiore escursione termica ambientale (circa 13-15°C).

La composizione della miscela idrogeno-gas naturale rimane sufficientemente costante in condizioni stazionarie fino ad una settimana, senza evidenti effetti di separazione gravitazionale, supportando la fattibilità del blending di H₂ in infrastrutture di distribuzione fino alle utenze finali.

2.1.3 Risultati dei test su effetto presenza idrogeno in miscela sulla rivelazione fughe di gas

Le prove di ricerca fughe sono state effettuate sulla condotta interrata con punti di fuga calibrati, facendo fluire miscele allo 2% e 10% vol. di H₂ in HENG, a diverse pressioni (sempre restando nei range delle pressioni di distribuzione, 30 P < 0mbar); le prove sono state eseguite nelle medesime condizioni con gas naturale puro per riferimento.

Sono stati utilizzati due strumenti cerca fughe: un sensore di metano montato sulla parte inferiore di un automezzo e uno portatile. I risultati mostrano che, con flusso di gas naturale la concentrazione massima di metano rilevata con il dispositivo portatile è stata di 30.000 ppm,

mentre quando la condotta era riempita con miscela contenente idrogeno al 10%vol. ha raggiunto i 50.000 ppm.

Ovviamente i valori di dispersione gas risentono sia della velocità del vento che delle turbolenze locali. Un'analisi della correlazione tra velocità del vento e concentrazione rilevata ha evidenziato una correlazione debole. Un confronto tra le misurazioni dei due strumenti ha evidenziato che il dispositivo su automezzo rileva concentrazioni di gas inferiori rispetto al portatile, indicando che la misura deve essere riferita separatamente ad ogni strumento, e il dato di concentrazione misurato è puramente relativo.

Questi risultati sembrano suggerire che, nonostante i valori assoluti non siano significativi, l'efficacia della rilevazione delle fughe non sia influenzata dalla composizione della miscela di gas e dalle condizioni ambientali.

2.2 Studio sulla readiness della rete nazionale all'immissione di miscele HENG

L'analisi ha evidenziato che il processo di adeguamento dell'attuale rete gas all'immissione di miscele HENG può essere riassunto nei seguenti punti:

- può definirsi completato per quello che attiene alla infrastruttura delle pipeline; l'infrastruttura delle reti di trasporto e distribuzione è già utilizzabile in larga parte, al 70% alle pressioni di esercizio attuali, al 99% con minima riduzione della pressione di trasporto sia per miscele HENG, sia per idrogeno al 100%;
- è in corso per ciò che attiene il comportamento di altri componenti della rete, quali stazioni di riduzione di pressione e valvole, sotto test in diversi progetti italiani ed europei;
- è in corso per quanto attiene la strumentazione di misura attualmente in uso, nell'ipotesi di contenuto di H₂ in HENG $\leq 10\%$ vol., sia a livello di sperimentazione pre-normativa che di revisione degli standard tecnici; sono sul mercato strumenti "hydrogen ready";
- è in corso per quanto attiene la normativa sulla sicurezza nel trasporto di gas in condotte in pressione; tavoli tecnici sono stati istituiti dal Ministero dell'Interno con la partecipazione di esperti da Enti di Ricerca, Comitati di Settore, Università, Comando dei Vigili del Fuoco;
- è in corso per quello che riguarda lo studio di alcuni fenomeni caratteristici delle miscele di gas a diversa densità, come la stratificazione;
- è ancora carente sulle norme che governano la qualità del gas, che, sulla base dei punti precedenti, potranno essere, in tempi brevi, riviste per arrivare a fissare al 10%vol. il contenuto di idrogeno in gas naturale consentito;
- è ancora carente sulla normativa che regola le ispezioni e la ricerca delle fughe di gas; alcuni strumenti leak detectors per la ricerca delle fughe di gas, gascromatografi per la determinazione della qualità del gas, devono essere adattati alla presenza di idrogeno; le tecnologie esistono, è necessario un investimento economico per l'adeguamento;
- è avviato il processo di diffusione delle conoscenze per il raggiungimento degli obiettivi di accettabilità sociale e di corretto inquadramento degli aspetti ambientali ed economici e la formazione scientifico-professionale;
- la strumentazione di misura della portata gas (meter) attualmente installata sulle reti è utilizzabile per miscele fino al 10%vol.

I fondi investiti sull'argomento sia a livello di progetti Europei che a livello nazionale attraverso bandi PNRR, IPCEI, Mission Innovation e ARERA permetteranno nel corso dei prossimi tre anni, 2026-2028 di focalizzare quali siano le tecnologie più mature nell'ambito del trasporto e distribuzione tramite pipeline, e quali siano gli eventuali gap ancora presenti.

3 Prodotti attesi

La LA 2.29 non prevedeva prodotti hardware e/o software.

4 Prodotti sviluppati

La LA 2.29 non prevedeva prodotti hardware e/o software.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

I risultati della LA 2.29 sono in linea con i risultati attesi: il campo prove è stato predisposto con le stazioni di test previsti per le tre campagne sperimentali.

L'unico discostamento, che ha influenzato il numero di prove rispetto a quanto ipotizzato, ma non la qualità dei risultati, riguarda il numero di miscele disponibili: erano previste tre livelli di contenuto in H₂ in HENG: 2%vol., 5%vol. e 10%vol. La sperimentazione è stata svolta con il livello minimo, 2%vol., e con il massimo, 10%vol. Il primo corrisponde al livello massimo accettato dalla normativa attualmente vigente in Italia (DM 3/6/2022), il secondo ad un livello tale con cui si ritiene che l'attuale rete gas possa essere adattata senza troppe modifiche, e quindi a costi contenuti, come da risultati del Report R 2.29_2.

Non è stato possibile effettuare le prove con miscela di gas e idrogeno al 5%vol. a causa di un errore da parte del fornitore dei pacchi bombole. Nello specifico, la miscela era stata stoccata in pacchi bombole da 20 bombole da 40L, volume superiore al massimo consentito dalle prescrizioni in ambito prevenzione incendi (Decreto del Presidente della Repubblica 151 del 2011). Il fornitore non è riuscito a consegnare subito nuovi pacchi bombole, adeguati alle prescrizioni, per cui le sperimentazioni sono continuate utilizzando unicamente miscele al 2% e al 10%vol., che sono state consegnate in pacchi bombola da 16 bombole, rientrando pertanto nei 750L previsti dalla normativa.

6 Sintesi delle attività svolte

6.1 Adeguamento del Campo Prove all'esecuzione di test con miscele HENG

Allestimento delle stazioni di test connesse al pacco bombole HENG.

La sperimentazione si è sviluppata secondo le tre linee:

- test su meter G4: verifica dell'accuratezza di misura dei volumi e della stabilità delle prestazioni con miscele HENG;
- test di stratificazione miscela in tratti di rete verticali: verifica della tendenza alla stratificazione dell'idrogeno miscelato con il gas naturale in una sezione di impianto di distribuzione domestico;
- test su dispositivi di ricerca di dispersioni gas: verifica della funzionalità degli strumenti di ricerca fughe gas di tipo commerciale, presenti sul mercato.

Ognuna di queste linee ha richiesto l'adeguamento di un settore dedicato del campo prove.

6.2 Studio sulla readiness della rete nazionale all'immissione di miscele HENG

Analisi interventi necessari per rendere la rete gas compatibile con miscele HENG: revisione standard tecnici, sia su tubature, componenti e strumentazione rete gas, sia su livello massimo di idrogeno permesso nel gas naturale nella rete nazionale. Normativa sulla sicurezza. Panoramica progetti in corso su trasporto e distribuzione HENG in Italia ed Europa.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Adeguamento del Campo Prove all'esecuzione di test con miscele HENG

Le stazioni di test collegate alla rete gas alimentata dalla baia di carico HENG hanno permesso di verificare realisticamente, simulando condizioni di campo, il comportamento dei meter attualmente in uso, il fenomeno della stratificazione dell'idrogeno e l'adeguatezza degli attuali sensori di rivelamento delle fughe di gas. La sperimentazione si è sviluppata secondo le tre linee:

- test su misuratori gas calibro G4 (portata nominale 4 m³/h, portata massima 6 m³/h, potenza termica 38kW): verifica dell'accuratezza di misura dei volumi e della stabilità delle prestazioni in termini di errore di misura al variare della concentrazione dell'idrogeno nel gas naturale e della portata; verifica dello scostamento delle loro prestazioni funzionali rispetto all'utilizzo con solo gas naturale;
- test di stratificazione della miscela in tratti di rete verticali per utenze domestiche: verifica della tendenza alla stratificazione dell'idrogeno miscelato con il gas naturale in una sezione di impianto di distribuzione domestico. Le prove sono state effettuate su una colonna montante allestita allo scopo, variando il tempo di permanenza del gas nella colonna e monitorando la concentrazione dell'idrogeno presente nella miscela nel tempo;
- test su dispositivi di ricerca di dispersioni gas: verifica della funzionalità degli strumenti di ricerca fughe gas naturale di tipo commerciale, presenti sul mercato, al variare della concentrazione dell'idrogeno nel gas naturale e della portata di gas della fuga.

In Figura 1 è mostrato lo schema di insieme degli interventi di adeguamento del campo prove di Centria per l'esecuzione delle tre tipologie di test.

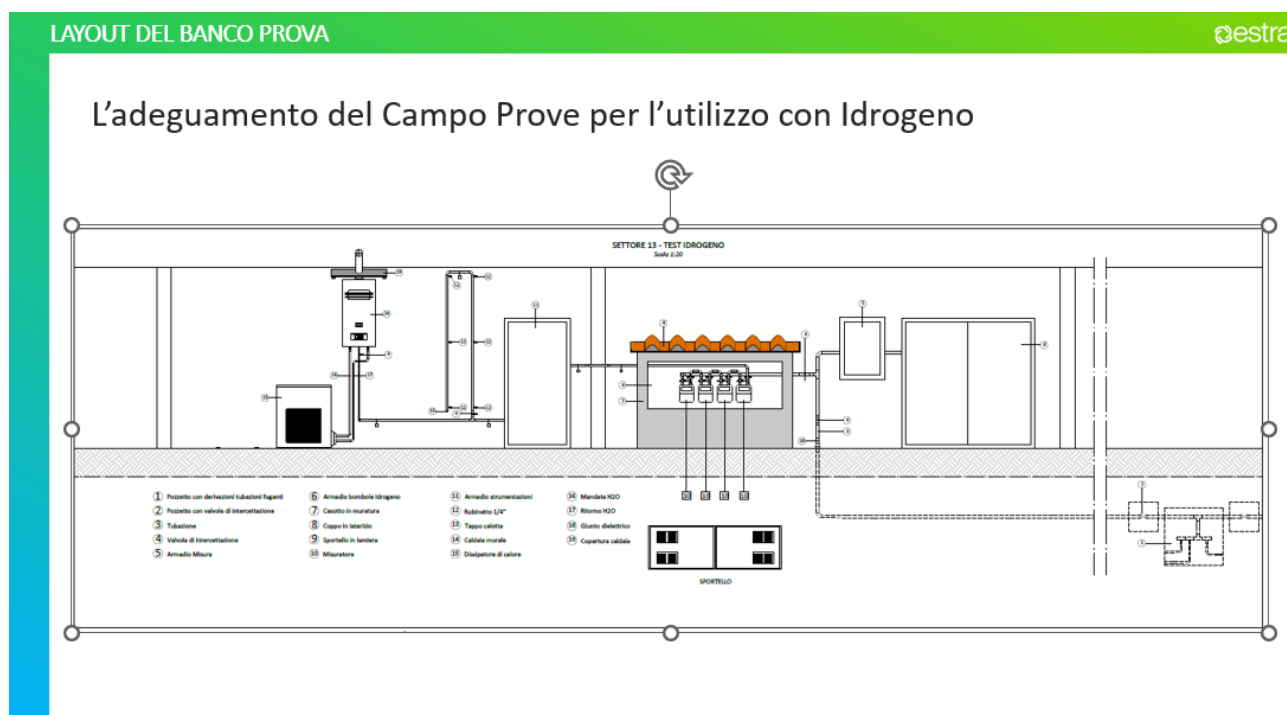


Figura 1 – Schema di insieme dell'infrastruttura costruita per prove con miscele HENG nel campo prove di Centria

Nel presente capitolo si riporta la descrizione delle facility progettate e realizzate all'interno del campo prova per ognuna delle campagne di misura elencate sopra. Verranno anche descritte le prove eseguite e le modalità di conduzione di ogni tipologia di prova.

I risultati degli esperimenti, brevemente riportati nel Capitolo 2, sono analizzati e discussi nei Report relativi alla LA 2.31.

Il setup del campo prove per l'esecuzione delle prove è costituito da:

- piazzola per stoccaggio bombole con miscela HENG (baia di carico);
- gruppo valvole per la riduzione della pressione e connessione del pacco bombole alla rete del campo prove;
- feeder dal pacco bombole alla linea di misura;
- linea di misura costituita da misuratore di portata ad ultrasuoni "hydrogen ready";
- punti di misura della temperatura e della pressione costituiti da:
 - sonda di temperatura + tasca termometrica
 - sonda di pressione + stacco dedicato
- quadro di acquisizione dati con datalogger;
- gascromatografo per la misura della concentrazione di idrogeno presente nella miscela;
- alloggiamento per quattro contatori calibro G4 collegati in serie, con bypass e valvole (Figura 2).



Figura 2 – Alloggiamento dei meter sotto test

- caldaia abilitata ad essere alimentata con HENG a valle dei meter
- sistema di dissipazione del calore (radiatore + ventola, dissipatore, ecc.)

Le bombole da 40L, fornite dalla SIAD, sono caricate a 110 bar con una miscela HENG.

Il gas naturale che compone la miscela è stato prelevato dalla rete di distribuzione; pertanto, è un gas odorizzato, che contiene tutti i composti tipici del gas distribuito. Successivamente è stato analizzato da SIAD. In Tabella 1 si riporta la sua composizione.

Tabella 1 – Composizione del gas naturale prelevato dalla rete di distribuzione, che sarà miscelato con H₂ in composizioni variabili per formare la miscela HENG

Componente	Formula chimica	Percentuale volumetrica
Elio	He	0,29%
Ossigeno	O ₂	0,005%
Azoto	N ₂	0,48%
Anidride carbonica	CO ₂	0,63%
Etano	C ₂ H ₆	3,66%
Propano	C ₃ H ₈	1,17%
Isobutano	C ₄ H ₁₀	0,18%
N-Butano	C ₄ H ₁₀	0,18%
Isopentano	C ₅ H ₁₂	0,04%
N-Pentano	C ₅ H ₁₂	0,03%
Esano	C ₆ H ₁₄	0,005%

Il misuratore di portata, usato come riferimento, è un misuratore di ultima generazione “hydrogen ready” di Pietro Fiorentini, G4 (NexMeter, in grado di compensare la lettura in temperatura, pressione e concentrazione di idrogeno).

La caldaia Baxi, da 12 kW, certificata per poter essere alimentata con miscele HENG con contenuto di idrogeno fino al 20%vol.. La dissipazione del calore generato dalla caldaia è effettuata tramite un dissipatore di calore.

Il gascromatografo utilizzato per l’analisi della miscela è un micro-GC Fusion Gas Analyzer.

I segnali provenienti dai contatori, i dati di pressione (P) e temperatura (T) sono stati acquisiti tramite un sistema di acquisizione centralizzato e datalogger/PLC.

Tutti i dispositivi di test sui quali sono state effettuate le prove sono separati dal deposito di bombole gas da un muro di calcestruzzo a circa 20 metri di distanza tra loro.

Il deposito di bombole gas ed i dispositivi di test sono collegati da una pipeline in acciaio DN40, da 1.5”, a pressione operativa di 30 mbar (7^a specie), in analogia con le condotte della rete di distribuzione.

Sono stati installati sette trasduttori di pressione e due trasduttori di temperatura nella tubazione che va dalle bombole contenenti la miscela fino alla caldaia.

Nello specifico i sensori sono stati così posizionati:

- 1 sensore P e 1 sensore T immediatamente a valle del gruppo di riduzione delle bombole di miscela;
- 1 sensore P e 1 sensore T all'ingresso della nicchia di alloggio dei contatori;
- 1 sensore P all'uscita della nicchia di alloggio dei contatori;
- 1 sensore di P nella parte bassa della doppia colonna montante;
- 1 sensore di P nella mezzeria della doppia colonna montante;
- 1 sensore di P nella parte alta della doppia colonna montante;
- 1 sensore di P all'ingresso tra la doppia colonna montante e l'ingresso del manufatto contenete la caldaia murale.

È stata installata una stazione meteo per raccogliere le misure di temperatura esterna, intensità e direzione del vento (complessivamente 7 sensori), utili per i test di stratificazione della miscela nella colonna montante e di fuga gas.

Il sistema di sperimentazione è stato infine collaudato prima dell'esercizio.

7.1.1 Test su meter

Le prove hanno esplorato la risposta metrologica (valore della portata di gas, errore di misura e sua stabilità nel tempo) dei meter alla miscela HENG con contenuto in volume di H₂ in HENG massimo del 10%vol.. Oggetto della sperimentazione è stata la verifica dell'accuratezza di misura del volume di gas e della stabilità delle prestazioni in termini di errore di misura su più tipologie di contatori di calibro G4, reperibili sul mercato e di comune utilizzo nell'ambito delle utenze domestiche.

Le prove hanno analizzato il comportamento dei misuratori dal punto di vista metrologico nel contesto operativo reale (installazione in campo, carico alimentato reale) in un arco temporale significativo, 60 giorni.

Sono stati testati due possibili livelli di miscelazione dell'idrogeno e quattro diverse portate di gas:

- 2%vol. in volume - valore individuato come limite attuale consentito dalla normativa di settore (DM 3/6/2022);
- 10%vol. in volume, livello a cui si ritiene che l'attuale rete gas possa essere adattata senza troppe modifiche, e, quindi, a costi contenuti;
- portata di gas (Q_{min} , 10% Q_{max} , 40% Q_{max} , Q_{max}).

Le prove sono state eseguite, per riferimento, anche con solo gas naturale (0% di idrogeno).

I contatori testati, tutti di classe G4 sono prodotti da diversi costruttori e realizzati con differenti tecnologie costruttive. Nello specifico, sono stati utilizzati quattro contatori, utenza classe G4, differenti, due ad ultrasuoni, uno a diaframma e uno termo-massico.

I 4 contatori sono alimentati e collegati da una tubazione DN 20 Acciaio da 1.5".

Preliminarmente ai test, i misuratori sono stati inviati ad un Laboratorio accreditato, TifernoGas a Città di Castello (PG), per le prove iniziali di verifica dell'errore di misura secondo la norma UNI 11003.

I massimi errori permessi (MPE) sono stabiliti dalla normativa e, in particolare, dalla UNI EN 1359 per i contatori a diaframma, e UNI EN 14236 per quelli ultrasonici: $\pm 3.0\%$ per portate Q nel range

tra la portata minima $Q_{\min}$ ed una portata $Q_t = 0.1 Q_{\max}$, detta portata di transizione, $\pm 1.5\%$ per $Q_t \leq Q < Q_{\max}$. Dalla UNI EN 17526 per i contatori termo- massici: $\pm 3.5\%$ per portate Q nel range tra la portata minima $Q_{\min}$ e la portata $Q_t = 0.1 Q_{\max}$, $\pm 2.0\%$ per $Q_t \leq Q < Q_{\max}$.

Al termine di ogni sessione di test ad un dato livello di concentrazione di H₂ in HENG (due settimane) i misuratori sono stati rimossi ed inviati nuovamente al Laboratorio TifernoGas per verificare e quantificare eventuali variazioni dell'errore alle diverse portate dopo una prolungata esposizione alla miscela.

Nel caso in cui alla fine dei test si sia rivelato un degrado delle caratteristiche tecniche di un misuratore, evidenziato dall'aumento dell'errore di misura a valori superiori a quelli consentiti dalla norma che regola quella tipologia di misuratore, il misuratore è stato rimpiazzato con un esemplare nuovo, dopo averlo a sua volta inviato al Laboratorio per la verifica dell'errore di misura in condizioni standard.

7.1.2 Test su effetti di stratificazione in condotte verticali in seguito a temporanea interruzione del flusso gas

I test sono stati effettuati nella sezione predisposta nel campo prove con due tratti collegato di condotte verticali che simulano le colonne montanti nelle reti di distribuzione domestica.

Il tubo che simula la colonna montante si sviluppa 4m in altezza e viene alimentato con la miscela HENG a percentuali variabili. Ogni colonna montante è dotata di 3 appositi stacchi (o prese), a diverse altezze (10%, 50% e 90% dell'altezza massima) rispetto al piano di adduzione gas, da cui sono stati prelevati i campioni di gas per l'analisi gascromatografica (Figura 3).



Figura 3 – Colonne montanti con stacchi a diverse quot

Oggetto della sperimentazione è stato verificare la tendenza alla stratificazione dell'idrogeno contenuto nella miscela HENG all'interno di un impianto di distribuzione del gas naturale di tipo

domestico, nelle condizioni di condotta verticale (condomini a più piani) e temporanee interruzioni di flusso gas. I risultati della sperimentazione saranno utili per individuare in quali condizioni operative all'utente finale potrebbe essere consegnato gas con tenore di idrogeno superiore ai valori di soglia previsti.

In particolare, è stata indagata la diffusione dell'idrogeno nella miscela HENG nelle cosiddette colonne montanti gas al variare del tempo.

Le prove sono state ripetute a due diversi livelli di miscela HENG (2% e 10% vol. di idrogeno in volume nella miscela) ed al variare del periodo di tempo in cui il gas staziona nella colonna montante (flusso nullo).

Per eseguire il test, la colonna montante viene riempita con la miscela HENG alla pressione di prova (30-50 mbar) e successivamente isolata (chiusura della valvola a monte e a valle del tratto di condotta), simulando l'assenza di consumo a valle, come ad esempio avviene durante la notte per una utenza residenziale. Il contenuto percentuale in idrogeno della miscela alle diverse quote è stato misurato con il gascromatografo, che dispone di un sistema di campionamento automatico, tramite prelievi di campioni di gas dalle apposite prese. I prelievi sono stati eseguiti ad intervalli regolari di tempo (ogni ora nei test giornalieri, ogni 12 ore nei test settimanali), in condizioni di flusso nullo; i valori di idrogeno misurati sono stati registrati e storicizzati ai fini della caratterizzazione della stratificazione nel tempo.

La prova è stata ripetuta variando il tempo di permanenza della miscela all'interno della colonna montante, simulando periodi variabili di mancanza di assorbimento da parte dell'utilizzatore.

Sono stati testati i due livelli di miscelazione dell'idrogeno:

- 2% in volume
- 10% in volume

7.1.3 Test su effetto presenza idrogeno in miscela sulla rivelazione fughe di gas

I test sui dispositivi di ricerca di dispersioni gas sono stati effettuati nel settore del campo prove che simula una sezione fugante di impianto di Distribuzione.

Il setup del campo prove per l'esecuzione delle prove con HENG è il seguente:

- 1) condotta fugante interrata, con grado di dispersione regolabile (Figura 4);

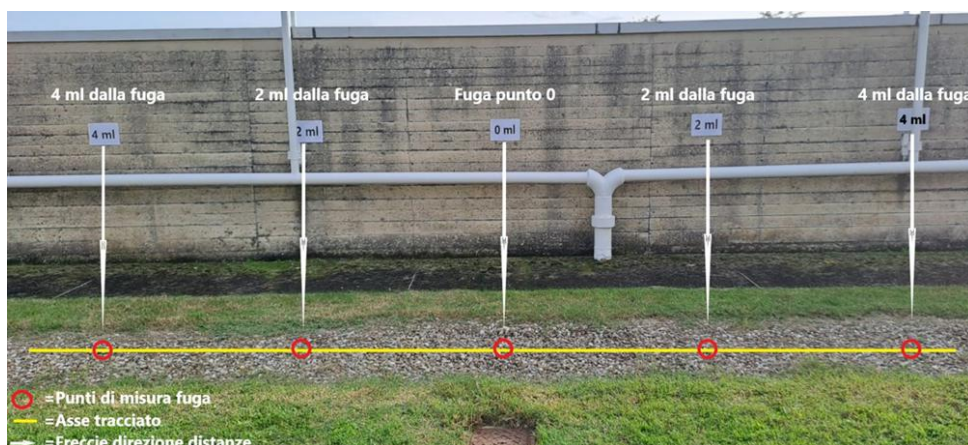


Figura 4 – Tracciato condotta fugante e punti di rilevazione della fuga

- 2) collegamento della condotta fugante alla linea di misura in modo da poterla alimentare con la miscela HENG a pressione variabile (30-40mbar);
- 3) sensori di rilevazione gas metano attualmente utilizzati per la ricerca di fughe. Tutti gli strumenti utilizzati sono muniti del certificato di taratura emesso da Laboratorio accreditato. Un sensore era montato sulla parte inferiore di una autovettura (Figura 5), un secondo sensore era di tipo portatile.



Figura 5 – Sensori di misura delle fughe gas posti sul pianale dell'autovettura

In Tabella 2 sono riportati la tecnologia e il modello degli strumenti utilizzati:

Tabella 2 – Tipologia dei sensori utilizzati

Sensore	Tecnologia	Modalità di utilizzo
Huberg Protheo	Ad infrarossi con diodo laser selettivo ad altissima sensibilità	Su automobile
Huberg Metrex4	Semiconduttore	Portatile

7.2 Studio sulla readiness della rete nazionale all'immissione di miscele HENG

Si ritiene di lasciare spazio al dettaglio sulle attività sperimentali della sezione 7.1. L'analisi sullo stato di readiness della rete nazionale rispetto all'immissione di idrogeno, i cui risultati sono elencati nel par. 2.2 e le attività descritte brevemente nel par. 6.2, è un documento lungo e di difficile condensazione, in quanto riporta i risultati delle prime sperimentazioni su infrastrutture e strumentazione, la normativa tecnica in fase di revisione, la normativa relativa alla sicurezza che è necessario aggiornare, le considerazioni a supporto della possibilità di revisionare la norma tecnica del 03/06/2022 sul limite di idrogeno ammesso nel gas naturale

nella rete italiana, e molti dei progetti in corso sul tema. Si rimanda pertanto al Report esteso (R2.29.2).

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

L'attività della LA 2.29 non ha usufruito di consulenze esterne ad ENEA.

9 Pubblicazioni scientifiche

L'attività della LA 2.29 non ha prodotto pubblicazioni scientifiche.

10 Eventi di disseminazione

I risultati dell'attività relativa alla LA 2.29 sono stati presentati ai WorkShop organizzati nel Progetto, quello tematico del 12 Dicembre 2024 e al WorkShop conclusivo del 19 Dicembre 2024.