

D 4.4

Linee guida e buone pratiche per i primi soccorritori



The project is supported by the Clean Hydrogen Partnership and its members.

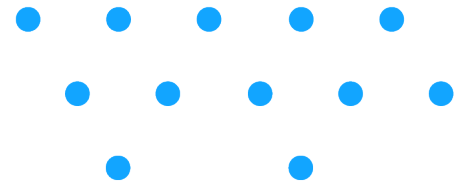
Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the Clean Hydrogen Partnership. Neither the European Union nor the Clean Hydrogen Partnership can be held responsible for them.



www.hypop-project.eu
info@hypop-project.eu

#HYPOPPROJECT





D 4.4	Linee guida e buone pratiche per i primi soccorritori
TIPO DI RISULTATO	Relazione
MESE E DATA DEL RISULTATO	Mese 28, 30/09/2025
PACCHETTO DI LAVORO	WP 4
RESPONSABILE	ENVI
DIFFUSIONE LIVELLO	Pubblico
AUTORI	Mattia Miglietta
PROGRAMMA	HORIZON EUROPE
ACCORDO DI SOVVENZIONE	101111933
INIZIO	Giugno 2023
DURATA	28 mesi





Collaboratori

NOME	ORGANIZZAZIONE
Mattia Miglietta	ENVI
NOME	ORGANIZZAZIONE 2
NOME	ORGANIZZAZIONE 3

Revisori

NOME	ORGANIZZAZIONE
Ilaria Schiavi	ENVI
María Panadero	CNH2

Cronologia delle revisioni

VERSIONE	ORGANIZZAZIONE	REVISORE	MODIFICHE
1	ENVI	Ilaria Schiavi	Prima versione per la revisione del consorzio
2	ENVI	Mattia Miglietta	Seconda versione dopo i commenti del CNH2
3	ENVI	Ilaria Schiavi	Versione definitiva per il caricamento

Le informazioni e le opinioni contenute nella presente relazione sono quelle dell'autore/degli autori e non riflettono necessariamente l'opinione ufficiale dell'Unione europea, né delle istituzioni e degli organi dell'Unione europea, né di alcuna persona che agisca per loro conto.



Indice

1	Informazioni sul progetto HYPOP	8
2	Linee guida HYPOP	8
3	Come utilizzare le linee guida sulla sicurezza di HYPOP	9
4	Principi fondamentali sulla sicurezza dell'idrogeno e delle tecnologie dell'idrogeno	11
4.1	Sicurezza dell'idrogeno: proprietà e confronti con i combustibili convenzionali	12
4.1.1	Vantaggi in termini di sicurezza.....	14
4.1.2	Svantaggi in termini di sicurezza	15
4.2	Sicurezza dell'installazione: principi di base dell'analisi dei rischi e atmosfere potenzialmente esplosive - ATEX.....	18
4.3	Pianificazione: selezione e caratterizzazione del sito.....	21
4.4	Approcci di sicurezza per i progetti sull'idrogeno: misure di prevenzione e mitigazione	21
4.4.1	Produzione di idrogeno rinnovabile tramite elettrolisi per applicazioni industriali.....	21
4.4.2	Stoccaggio di idrogeno compresso per i settori industriale e della mobilità	27
4.4.3	Stazioni di rifornimento di idrogeno.....	28
4.4.4	Celle a combustibile per i settori energetico e residenziale	31
5	Metodologie di valutazione del rischio	36
6	Raccomandazioni e azioni HYPOP per accelerare le procedure di accettazione e sicurezza	38
7	Metodologia.....	45
8	Conclusioni	52
9	Appendice A	54
i.	Linee guida dell'UE.....	54
ii.	Prove dell'esistenza di normative per la sicurezza dei progetti H2 nell'UE.....	56
iii.	Riferimenti di base dell' e per regolamenti, codici e norme (RCS)	63
iv.	Workshop tecnici HYPOP	66
	Workshop tecnico: Spagna	66
	Workshop tecnico: Italia	67
	Workshop tecnico: Belgio.....	69
	Workshop tecnico: Bulgaria	69
	Workshop tecnico: Polonia.....	70
v.	Analisi tecnica dei requisiti di sicurezza e delle barriere: integrazione da HYPOP D2.171 CROAZIA.....	71
	CIPRO	73



REPUBBLICA CECA.....	74
LITUANIA.....	79
MALTA.....	81
SLOVACCHIA.....	81

Indice delle tabelle

Tabella 1 Guida al contenuto delle Linee guida di sicurezza HYPOP.....	9
Tabella 2 Principali proprietà dell'idrogeno (alcuni materiali didattici aggiuntivi).....	12
Tabella 3 Forme tipiche dell'idrogeno, condizioni operative e applicazioni.....	13
Tabella 4 Parametri utili per lo sviluppo e la gestione sicura dei progetti (materiale didattico aggiuntivo).....	13
Tabella 5 Intervalli di infiammabilità dei combustibili rispetto all'H ₂	16
Tabella 6 Guasti, rischi e misure di prevenzione/mitigazione per lo stack di elettrolisi.....	23
Tabella 7 Rischi associati alla produzione di idrogeno Componenti BoP che influiscono sulla sicurezza e misure di prevenzione e mitigazione applicabili.....	24
Tabella 8 Rischi e misure di prevenzione/mitigazione per lo stoccaggio di idrogeno compresso per l'industria e la mobilità.....	28
Tabella 9 Potenziali guasti, rilevamento e misure di sicurezza per i componenti HRS.....	29
Tabella 10 Tipi e applicazioni delle celle a combustibile (materiale didattico aggiuntivo).....	32
Tabella 11 Rischi e misure di prevenzione/mitigazione per i sistemi a celle a combustibile utilizzati in applicazioni energetiche e residenziali.....	33
Tabella 12 PERCHÉ, COSA e QUANDO l'analisi dei rischi è importante per i progetti 2.....	36
Tabella 13 Analisi qualitative e quantitative dei rischi identificate dalle migliori pratiche HYPOP.....	36
Tabella 14 Azioni/raccomandazioni pratiche HYPOP e benefici attesi.....	38
Tabella 15 Punti di forza e limiti degli approcci prescrittivi e basati sulle prestazioni.....	41
Tabella 16 Benefici derivanti dalla presentazione anticipata del progetto alle autorità pubbliche.....	41
Tabella 17 Attività svolte nei pacchetti di lavoro 2 e 4 per ottenere informazioni sugli approcci di sicurezza per i progetti 2.....	45
Tabella 18 Collaboratori di HYPOP: progetti UE, autorità pubbliche ed enti privati.....	46
Tabella 19 Parametri di sicurezza e autorizzazione utilizzati per eseguire un'analisi dei punti di forza e di debolezza.....	50
Tabella 20 Linee guida UE in materia di sicurezza identificate in HYPOP.....	54
Tabella 21 Normative di sicurezza UE esistenti per i progetti 2.....	57
Tabella 22 Riferimenti di base per regolamenti, codici e norme.....	63
Tabella 23 Quantità limite di sostanze pericolose dal regolamento sulla prevenzione degli incidenti rilevanti che coinvolgono sostanze pericolose.....	71
Tabella 24 Distanze di sicurezza dalla norma NFPA-2/2020 (dalla Croazia).....	72
Tabella 25 Distanze di sicurezza richieste nella Repubblica Ceca.....	76

Indice delle figure

Figura 1 Linee guida di sicurezza HYPOP.....	39
Figura 2 Copertura geografica della ricerca sui temi della sicurezza, delle autorizzazioni e delle certificazioni.....	50



Figura 3 Mappa dei punti di forza e di debolezza in base ai parametri di sicurezza (a sinistra) e ai parametri di autorizzazione (a destra) dal WP2..... 51

Nomi abbreviati dei partner

ENVI	Parco Scientifico Tecnologico Per L'ambiente Environment Park Torino Spa
IMI	Istituto per l'innovazione dei metodi
IME	Fondazione IMDEA Energia
APRE	Agenzia per la Promozione della Ricerca Europea
CNH2	Centro Nazionale dell'Idrogeno
RIGP	Camera di Commercio Regionale della Pomerania
CLUSTER TWEED	Cluster Tweed
BH2C	Cluster balcanico dell'idrogeno

Abbreviazioni

ATEX	<i>Atmosfere esplosive</i> – Direttive UE relative alle attrezzature e ai luoghi di lavoro in atmosfere potenzialmente esplosive
BoP	Balance of Plant
EES	Sistemi di arresto di emergenza
HAZID	Identificazione dei pericoli
HAZOP	Studio dei rischi e dell'operatività
IEC	Commissione Elettrotecnica Internazionale
ISO	Organizzazione internazionale per la normazione
LEL	Limite inferiore di esplosività
LOI	Indice limite di ossigeno
GPL	Gas di petrolio liquefatto
PPE	Dispositivi di protezione individuale
PSV	Valvola di sicurezza a pressione
WFMPT	Prova con particelle magnetiche fluorescenti a umido



Sintesi

HYPOP è stato creato con un obiettivo semplice ma ambizioso: aiutare i cittadini, le autorità pubbliche, i produttori e i primi utilizzatori ad avere fiducia nelle tecnologie a idrogeno, in particolare nei settori emergenti come la mobilità e l'edilizia residenziale, dove la transizione è più complessa. In particolare, l'attenzione è rivolta alla sicurezza, alle autorizzazioni e alla certificazione delle tecnologie a idrogeno, con l'obiettivo di capire se sia possibile un approccio comune in tutta Europa. Tuttavia, ascoltando le parti interessate e analizzando i casi in diversi paesi, emerge un quadro disomogeneo per quanto riguarda le autorizzazioni di sicurezza: le norme vengono interpretate in modo diverso nelle varie regioni; vi sono livelli diversi di familiarità tecnica con le proprietà dell' H_2 e sembrano esserci fluttuazioni tra normative prescrittive e approcci basati sul rischio e sulle "prestazioni". Ciò si traduce in processi di autorizzazione lunghi e imprevedibili, margini di sicurezza incoerenti (a volte eccessivi, a volte forse insufficienti), costi indiretti più elevati e, non di rado, sfiducia da parte del pubblico.

Le linee guida di sicurezza HYPOP sostengono un approccio comune e si basano su due pilastri: **azioni tecniche e trasferimento di conoscenze per la sensibilizzazione del pubblico.**

Dal punto di vista tecnico, il documento fornisce la terminologia e i concetti di base per affrontare la sicurezza dell'idrogeno e le sue tecnologie abilitanti, partendo dai principi generali (proprietà di base del gas, valutazione dei rischi, selezione del sito) fino ai punti specifici di attenzione per le singole tecnologie dell'idrogeno. Poiché **l'infiammabilità e l'esplosività** dell'idrogeno costituiscono un pericolo determinante, facciamo esplicito riferimento al **quadro ATEX** (apparecchiature/operazioni in atmosfere potenzialmente esplosive) e riassumiamo i **metodi di analisi dei rischi più comuni** identificati durante il coinvolgimento delle parti interessate di HYPOP (dagli strumenti qualitativi HazID/HAZOP a quelli quantitativi). Partendo da questi elementi fondamentali, delineiamo i **rischi principali, le misure preventive e di mitigazione e, ove pertinente, i vantaggi pratici** che ne derivano per gli stakeholder.

Il secondo pilastro affronta la **dimensione sociale e dell'accettazione**, offrendo raccomandazioni e azioni pratiche per affrontare: (i) lacune normative o interpretazioni divergenti (anche tra regioni/uffici locali); (ii) l'esperienza pratica limitata delle autorità in materia di norme tecniche, di metodi di valutazione dei rischi e delle specifiche dell'idrogeno; (iii) il ricorso difensivo a norme scritte per altri combustibili (gas naturale/GPL) e l'applicazione parziale di altre norme non adatte ai progetti sull'idrogeno; (iv) procedure iterative e lente a causa di richieste di dati ad hoc; e (vi) la sfiducia del pubblico.

Queste raccomandazioni sono consolidate in una proposta di **percorso di sicurezza standardizzato e graduale** - dal coinvolgimento precoce delle autorità alla valutazione proporzionata dei rischi, alla zonizzazione ATEX, alla selezione delle barriere e alla pianificazione delle emergenze - progettato per **accelerare l'approvazione** garantendo al contempo un **caso di sicurezza documentato e solido** per i progetti relativi all'idrogeno.



1 Informazioni sul progetto HYPOP

HYPOP – Hydrogen Public Opinion and Acceptance (Opinione pubblica e accettazione dell'idrogeno) è un progetto finanziato dal Clean Hydrogen Partnership nell'ambito del programma europeo Horizon Europe (GA nr.101111933). Il suo obiettivo generale è quello di sensibilizzare l'opinione pubblica e aumentare la fiducia nei confronti delle tecnologie a idrogeno e dei loro vantaggi sistemici, concentrandosi sulla mobilità e sulle applicazioni residenziali.

I risultati presentati in questo documento si riferiscono a uno dei principali risultati previsti del progetto HYPOP: la produzione di linee guida e buone pratiche che contribuiranno a definire in modo più efficace come i cittadini, i consumatori/utenti finali e le parti interessate possono essere coinvolti nell'implementazione delle tecnologie a idrogeno.

Il documento è stato elaborato attraverso l'analisi delle pratiche attuali e l'interazione con molte parti interessate. I gruppi target delle attività di coinvolgimento erano i produttori di tecnologia, i primi utilizzatori di tali tecnologie e le autorità pubbliche (ad esempio, primi soccorritori, comuni, ecc.) coinvolte nelle procedure di sicurezza, autorizzazione e certificazione nei diversi paesi dell'UE.

2 Linee guida HYPOP

Il presente documento fa parte di una serie di linee guida incentrate ciascuna su uno dei seguenti aspetti:

- Sicurezza (il presente documento),
- Autorizzazioni (Deliverable D4.3) e
- Certificazione (Deliverable D4.5).

La sicurezza è uno dei pilastri del quadro normativo in materia di autorizzazioni, trattato nel presente documento D4.3, ma richiede un'attenzione specifica in quanto comprende sia aspetti sociali che tecnici. Le procedure di sicurezza fanno spesso riferimento ad aspetti e/o norme di certificazione, trattati nel documento D4.5. A causa di questi collegamenti esistenti, ove possibile, sono stati inseriti dei riferimenti incrociati all'interno delle tre linee guida per aiutare gli utenti.

3 Come utilizzare le linee guida sulla sicurezza di HYPOP

Gli utenti delle presenti Linee guida devono fare riferimento alla tabella sottostante per una descrizione del contenuto del presente documento. Sebbene si raccomandi di leggere integralmente almeno una volta le sezioni 3 e 4, è possibile fare riferimento solo alle applicazioni specifiche di interesse descritte nella sezione 3.3. La sezione 5 fornisce un approccio globale che potrebbe favorire l'interazione tra i diversi soggetti interessati.

Tabella 1 Guida al contenuto delle Linee guida di sicurezza HYPOP

Sezione	Contenuto
4 - Principi di base sulla sicurezza dell'idrogeno e delle tecnologie dell'idrogeno	Descrive le caratteristiche dell'idrogeno come sostanza, evidenziandone l'impatto sulla sicurezza . La conoscenza di queste proprietà è essenziale per comprendere le misure di prevenzione e mitigazione di base. Descrive ciò che un soggetto interessato deve considerare quando valuta un progetto che coinvolge singole tecnologie dell'idrogeno (la combinazione di più tecnologie dell'idrogeno rientra generalmente nelle applicazioni industriali, nella mobilità, ecc. descritte nella sottosezione 4.3). Inoltre, viene menzionata la valutazione dei rischi e viene posto un accento specifico sulla direttiva ATEX , che deve essere presa in considerazione da tutte le tecnologie utilizzate in ambienti in cui viene impiegato l'idrogeno, in quanto riguarda l'infiammabilità e quindi i fenomeni esplosivi che potrebbero coinvolgere le persone presenti in un impianto industriale con produzione e/o stoccaggio di idrogeno, in una stazione di rifornimento, fissa o mobile, e in applicazioni residenziali.
4.4 - Approcci per la sicurezza dei progetti sull'idrogeno: misure di prevenzione e mitigazione	Questa sottosezione raccoglie tutte le informazioni relative alla sicurezza, a partire dalle proprietà di base dell'idrogeno, dal funzionamento e dalla sicurezza delle singole tecnologie, dalle analisi ATEX e dai metodi di analisi dei rischi. Queste conoscenze convergono quando più tecnologie a idrogeno devono essere canalizzate in un contesto applicativo specifico. I capitoli di questa sottosezione forniscono quindi un approccio generale alla sicurezza per diversi contesti, come la produzione di idrogeno mediante elettrolisi per applicazioni industriali e di altro tipo, per stazioni di rifornimento fisse e mobili e per sistemi a celle a combustibile installati in contesti residenziali.
5 - Metodologie di valutazione del rischio	Questo capitolo descrive cosa sono le analisi di rischio, perché vengono utilizzate e quando . Fornisce quindi informazioni generali sugli approcci metodologici che dovrebbero sempre accompagnare un progetto sull'idrogeno, indipendentemente dalla sua applicazione.
6 - Raccomandazioni e azioni da HYPOP per favorire	Indica le principali criticità, le azioni pratiche e le raccomandazioni, nonché i vantaggi di affrontarle. HYPOP propone una procedura standard ("Linee guida di sicurezza HYPOP") progettata per facilitare l'interazione tra le autorità pubbliche e i progettisti . Questi ultimi saranno così in grado di presentare progetti relativi all'idrogeno



Sezione	Contenuto
<i>accettazione e accelerare le procedure di sicurezza</i>	seguendo una filosofia di sicurezza condivisa, comprensibile e accettata dalle autorità pubbliche (ad esempio, i primi soccorritori, ecc.) e dai cittadini nel più breve tempo possibile.
<i>7 - Metodologia</i>	Descrive l'approccio metodologico seguito per raccogliere i dati necessari alla produzione delle linee guida. Fornisce quindi una panoramica delle parti interessate che hanno contribuito, il tipo di attività di ricerca svolte e una sintesi grafica dei risultati ottenuti dalla ricerca tecnica sui requisiti di sicurezza e sulle barriere identificate nel Deliverable 2.1.
<i>8 - Conclusioni</i>	Fornisce una sintesi della ricerca di HYPOP intrapresa per sviluppare le linee guida di sicurezza



4 Principi fondamentali sulla sicurezza dell'idrogeno e delle tecnologie dell'idrogeno

La sicurezza è un concetto intangibile, aperto all'interpretazione e che presenta quindi dei limiti sia per la comprensione scientifica che per l'attuazione pratica. Nell'ingegneria della sicurezza vengono proposte varie definizioni di sicurezza. Di seguito sono riportate alcune definizioni comunemente citate:

- *"Assenza di rischi inaccettabili per l'esterno da parte delle unità funzionali e fisiche considerate"* – dal Vocabolario elettrotecnico online¹ ;
- *"Assenza di rischi non tollerabili"* - dalla Guida ISO/IEC 51:2014² , dove il rischio è definito come la *"combinazione della probabilità che si verifichi un danno e della gravità di tale danno"*;
- *"Assenza di rischi inaccettabili"* - da ISO 11014:2009³ .

La sicurezza di qualsiasi impianto è strettamente legata al concetto di rischio che, come definito sopra, deriva dalla combinazione di:

- **La probabilità** che si verifichi un evento pericoloso (evento accidentale) e
- **La gravità** delle sue conseguenze (quanto grave potrebbe essere il danno potenziale).

Questa probabilità non è solo una probabilità teorica, ma tiene conto anche di:

- La frequenza con cui si è esposti alla situazione pericolosa,
- Se l'evento dannoso si verifica effettivamente e
- Se è possibile evitare o limitare il danno (ad esempio, attraverso sistemi di allarme, distanze di sicurezza o formazione del personale).

L'uso dell'idrogeno comporta alcuni rischi, legati alle caratteristiche della sostanza stessa, come descritto in dettaglio di seguito. Tuttavia, con adeguati protocolli di sicurezza e misure di mitigazione dei rischi, **l'idrogeno e le tecnologie basate sull'idrogeno non sono intrinsecamente più pericolosi dei combustibili convenzionali o di altre soluzioni sostenibili alternative ai combustibili fossili**. Inoltre, questi rischi non dipendono dal Paese. In altre parole, **la sicurezza dell'idrogeno può e deve essere garantita allo stesso modo in tutti i paesi dell'UE**. Ciò offre l'opportunità di adottare **soluzioni replicabili** oltre i confini nazionali, con conseguente semplificazione delle procedure burocratiche e riduzione dei costi dei progetti.

Le seguenti sottosezioni mirano a fornire le basi fondamentali per comprendere come trattare in generale l'idrogeno e le specifiche tecnologie a idrogeno.

¹ <https://www.electropedia.org/>

² <https://www.iso.org/standard/53940.html>

³ <https://www.iso.org/standard/44690.html>



4.1 Sicurezza dell'idrogeno: proprietà e confronti con i combustibili convenzionali

L'idrogeno è l'elemento più leggero e più piccolo ed è un gas in condizioni atmosferiche (**condizioni standard di temperatura e pressione, 25 °C e 1 atm**). L'idrogeno è una sostanza incolore, inodore, insapore, non tossica e non velenosa. È anche non corrosivo, ma può infragilire alcuni metalli. Le proprietà fisico-chimiche tipiche dell'idrogeno sono riportate nella tabella seguente.

Tabella2 Principali proprietà dell'idrogeno (alcuni materiali didattici aggiuntivi⁴)

Proprietà	Valore	Unità (SI)
Temperatura di autoaccensione	500	°C
Punto di ebollizione (1 atm)	-252,9	°C
Densità (NTP)	0,08375	kg m ⁻³
Coefficiente di diffusione nell'aria (NTP)	0,610	cm ² s ⁻¹
Entalpia (NTP)	3858,1	kJ kg ⁻¹
Entropia (NTP)	53,14	J g ⁻¹ K ⁻¹
Temperatura della fiamma nell'aria	2045	°C
Intervallo di infiammabilità nell'aria	4,0 - 75,0	% vol
Energia di accensione nell'aria	2 × 10 ⁻⁵	J
Energia interna (NTP)	2648,3	kJ kg ⁻¹
Peso molecolare	2,02	g mol ⁻¹
Peso specifico (aria = 1) (NTP)	0,0696	—
Volume specifico (NTP)	11,94	m ³ kg ⁻¹
Calore specifico, C_p (NTP)	14,29	J g ⁻¹ K ⁻¹
Calore specifico, C_v (NTP)	10,16	J g ⁻¹ K ⁻¹
Conducibilità termica (NTP)	0,1825	W m ⁻¹ K ⁻¹
Viscosità (NTP)	8,813 × 10 ⁻⁵	g cm ⁻¹ s ⁻¹

**NTP = 1 atm, 20 °C (condizioni normali di temperatura e pressione).*

L'idrogeno può anche esistere in forma liquida quando sono soddisfatte specifiche condizioni di temperatura e pressione (il suo punto di ebollizione è a -253 °C a 1 atm). Il termine *idrogeno criogenico* è spesso usato in modo più generale per riferirsi all'idrogeno a temperature estremamente basse (l'idrogeno liquido, quindi, è una forma criogenica).

⁴ <https://www.h2euro.org/hyfacts/2014/06/26/training-material/>



A seconda dell'applicazione specifica, l'idrogeno viene prodotto e utilizzato in condizioni diverse e nelle sue varie forme fisiche.

Tabella3 Forme tipiche dell'idrogeno, condizioni operative e applicazioni

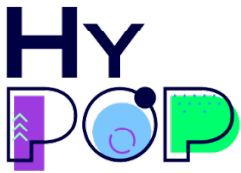
Stato	Intervallo di temperatura	Intervallo di pressione	Applicazioni tipiche
Gassoso (compresso)	Ambiente (20-25 °C)	Fino a 700 bar	Celle a combustibile per veicoli; usi industriali
Liquido (criogenico)	Sotto - 252,87 °C	1 atm	Propulsione spaziale; stoccaggio ad alta densità
Criocompresso	Da -240 a -253 °C	Da 200 a 350 bar	Trasporto e distribuzione

La tabella sottostante include ulteriori proprietà utili per lo sviluppo e la gestione sicura dei progetti, tra cui, ad esempio, la suddivisione in zone ATEX dei siti di installazione, le distanze di sicurezza, i rilevatori di gas e perdite e i sistemi di protezione.

Tabella4 Parametri utili per lo sviluppo e la gestione sicura dei progetti (materiale didattico aggiuntivo⁵)

Parametro	Deflagrazione	Detonazione	Unità
Limite inferiore di infiammabilità	4,1	18,3	% vol
	3,6	16,1	g m ⁻³ di aria
Limite superiore di infiammabilità	74,0	59,0	vol %
	67	51,8	g m ⁻³ di aria
Valore di detonazione stechiometrica nell'aria	—	29,53	vol %
Temperatura di autoaccensione	574	574	°C
Energia minima di accensione	0,02	≥ 10 ⁷	mJ
Temperatura massima della fiamma	2318	2318	K
Energia di esplosione	—	2,02	kg TNT m ⁻³ (gas a NTP)
Velocità di combustione nell'aria (dipendente dalla concentrazione)	102 - 325	—	cm s ⁻¹

⁵ <https://hyresponder.eu/e-platform/training-materials/educational-training/lecture-2-properties-of-hydrogen-relevant-to-safety/>



Parametro	Deflagrazione	Detonazione	Unità
Velocità di detonazione nell'aria	—	1,48 - 2,15	km s ⁻¹

Le principali proprietà dell'idrogeno che incidono sulla sicurezza includono:

- Densità relativa del vapore
- Emissività e temperatura di combustione
- Intervallo di infiammabilità
- Diffusività
- Punto di ebollizione

Le proprietà dell'H₂ saranno classificate di seguito in base al loro impatto sulla sicurezza:

- Se una proprietà intrinseca dell'idrogeno garantisce una maggiore sicurezza per l'ambiente e le persone, la definiamo un **vantaggio in termini di sicurezza**.
- Se una proprietà intrinseca dell'idrogeno richiede **misure di mitigazione** per raggiungere lo stesso livello di sicurezza dei combustibili tradizionali, la definiamo **svantaggio o inconveniente in termini di sicurezza**.

4.1.1 Vantaggi in termini di sicurezza

Densità relativa del vapore

Si riferisce alla densità di un gas o vapore rispetto all'aria.

- Se il valore è **maggiore di 1**, il gas è **più pesante dell'aria** → tende ad accumularsi nelle zone basse (come scantinati o trincee).
- Se il valore è **inferiore a 1**, il gas è **più leggero dell'aria** → tende a salire e a disperdersi verso l'alto.
- Se il valore è **uguale a 1**, si comporta come l'aria e tende a diffondersi senza una direzione preferenziale.

IMPATTO SULLA SICUREZZA:

Nel contesto della sicurezza dei combustibili, la comprensione della densità relativa del vapore è fondamentale per:

- Progettare sistemi di ventilazione adeguati;
- Valutare il rischio di accumulo in spazi confinati;
- Determinare la posizione dei rilevatori di fughe di gas (ad esempio, in alto per i gas

L'idrogeno è una molecola molto più leggera dell'aria e di altri combustibili convenzionali. Infatti, l'idrogeno è:



- 14 volte più leggero dell'aria,
- 6 volte più leggero del gas naturale e
- 57 volte più leggero del vapore di benzina⁶.

Nelle applicazioni all'aperto (come i veicoli a idrogeno e le stazioni di rifornimento), l'idrogeno tende a disperdersi verso l'alto molto rapidamente, riducendo la probabilità di contatto o interazione con una scintilla. Negli spazi chiusi, l'idrogeno tende ad accumularsi immediatamente vicino al soffitto. In confronto, in caso di perdite, i combustibili fossili, solitamente più pesanti, tendono ad accumularsi e a formare ampie nubi combustibili, aumentando così il rischio di incendio o esplosione.

Emissività e temperatura della fiamma

Il calore radiante emesso dalle fiamme di idrogeno è basso rispetto ad altri combustibili fossili convenzionali. **Un carico termico inferiore riduce la probabilità di incendi a catena o danni strutturali ad altri componenti che possono essere presenti sul luogo.**

Tuttavia, la bassa emissività rende le fiamme quasi invisibili ad occhio nudo e questo, insieme al fatto che la temperatura della fiamma può raggiungere i 2400 °C, rappresenta un rischio. Nonostante ciò, negli attuali impianti di produzione, stoccaggio e utilizzo dell'idrogeno è improbabile che si verifichi un'esposizione senza l'attivazione dei dispositivi di emergenza. Le normali misure di mitigazione includono l'applicazione di distanze minime di sicurezza.

4.1.2 Svantaggi in termini di sicurezza

Intervallo di infiammabilità ed energia minima di accensione

L'idrogeno ha una peculiarità che lo rende degno di attenzione da parte delle autorità pubbliche responsabili di garantire la sicurezza e la salute dei cittadini e dei promotori di progetti responsabili di garantire il funzionamento delle attività economiche vicine o direttamente correlate: la sua infiammabilità.

È importante considerare anche l'indice limite di ossigeno (LOI), la concentrazione minima di ossigeno che favorisce la propagazione della fiamma in una miscela di combustibile, aria e azoto. Nessuna miscela di idrogeno, aria e azoto in condizioni NTP propagherà la fiamma se la miscela contiene meno del 5% in volume di ossigeno: $LOI_{H_2} = 5$

L'intervallo di infiammabilità si riferisce all'intervallo di concentrazioni di gas compreso tra il **limite inferiore di infiammabilità (LFL)** e il **limite superiore di infiammabilità (UFL)**.

- Il **LFL** è la **concentrazione minima** di una sostanza combustibile in un ossidante gassoso (tipicamente aria) in grado di sostenere la propagazione della fiamma.
- L'**UFL** è la **concentrazione massima** alla quale può ancora verificarsi la combustione.

L'idrogeno (e qualsiasi gas) può incendiarsi quando la sua concentrazione nell'aria è compresa tra **LFL e UFL, a condizione che sia presente una fonte di accensione.**

⁶ <https://h2tools.org/bestpractices/gaseous-gh2-and-liquid-h2-fueling-stations/hydrogen-compared-to-other-fuels>

IMPORTANTE PER LA SICUREZZA:

Nel contesto della sicurezza dei combustibili, è importante monitorare le diverse fonti di accensione che possono causare fiamme di idrogeno:

- Fonti elettriche: motori, interruttori, relè o telefoni cellulari
- Elettricità statica
- Carica elettrica derivante dal funzionamento delle apparecchiature: da tubazioni con messa a terra inadeguata o non conduttive
- Fonti meccaniche e impatti: scintille da impatti
- Fenomeni di attrito (superfici che sfregano)
- Fonti termiche: superfici calde, ecc.
- Altre fonti di fiamme libere: fiamme libere e scintille provenienti da saldature, combustioni o molature
- Superfici calde (ad es. un collettore di scarico)
- Scarico dei veicoli
- Fonti chimiche

Date tali fonti di accensione, una proprietà dell'idrogeno associata alla infiammabilità è l'energia minima di accensione (MIE). È definita come l'energia elettrica minima necessaria per accendere una miscela di sostanze infiammabili e può variare in base alla temperatura e alla pressione: MIE=0,017 mJ. Si tratta di un valore inferiore a un decimo di quello di altri combustibili comuni come il metano, il GPL o la benzina.

Quando la concentrazione di idrogeno nell'aria raggiunge il 4% - 75% (i limiti di esplosività), può deflagrare in presenza di fiamme libere, elettricità statica o temperature elevate (≥ 500 °C). **Questo intervallo di infiammabilità è molto più ampio rispetto ad altri combustibili convenzionali (ad esempio, la benzina ha un intervallo di infiammabilità compreso tra l'1% e il 7,6%, quello del propano è compreso tra il 2,2% e il 9,6% e quello del metano è compreso tra il 5,3% e il 15%).**

Tabella5 Intervalli di infiammabilità dei combustibili rispetto all'H₂⁷

Combustibile	Punto di infiammabilità (°C)	Intervallo di infiammabilità nell'aria (vol %)
Idrogeno	-231	4 - 75
Metano	-188	5,3 - 15
Propano	-104	2,2 - 9,6
Benzina	-45	1 - 7,6
Metanolo	11	6 - 36,5
Etanolo (70 %)	17	3,3 - 19
Cherosene	36	0,7 - 5

⁷ <https://hyresponder.eu/e-platform/training-materials/educational-training/lecture-2-properties-of-hydrogen-relevant-to-safety/>



Combustibile	Punto di infiammabilità (°C)	Intervallo di infiammabilità nell'aria (vol %)
Carburante per aerei	60	0,7 - 5
Diesel	62	0,6 - 5,5
Biodiesel	130	0,6 - 6

Temperatura di infiammabilità: la temperatura minima alla quale un combustibile produce vapori sufficienti sulla sua superficie da formare una miscela infiammabile con l'aria (in questo caso è comunque necessaria una fonte di accensione).

Diffusività

Quantifica la velocità con cui le molecole di gas si spostano da una regione ad alta concentrazione a una regione a bassa concentrazione, seguendo un gradiente di concentrazione. Sebbene questa proprietà sia legata alla bassa densità relativa del vapore dell'idrogeno, che riduce la durata di persistenza di un'atmosfera esplosiva, non può essere considerata un vantaggio complessivo in termini di sicurezza.

IMPATTO SULLA SICUREZZA:

Nel contesto della sicurezza dei combustibili, l'idrogeno può permeare molti materiali, rendendo più probabile la formazione di miscele esplosive anche in spazi molto ristretti. Allo stesso modo, una volta che tale miscela si incendia, il fronte di fiamma si propaga molto più rapidamente proprio a causa dell'elevata diffusività dell'idrogeno.

Punto di ebollizione

Il punto di ebollizione è una proprietà fondamentale che influisce direttamente sulla sicurezza e sui potenziali rischi per la salute in caso di contatto diretto con l'idrogeno liquido o i vapori di idrogeno. Il **punto di ebollizione normale (NBP)** dell'idrogeno è di circa **20,3 K (-252,9 °C)**.

IMPATTO SULLA SICUREZZA:

Gli effetti negativi, derivanti dai rapidi cambiamenti dallo stato liquido ad altre forme dell'idrogeno come il gas, possono essere:

- Il **contatto diretto della pelle** con l'idrogeno liquido può causare **ustioni criogeniche**. Allo stesso modo, l'**inalazione di vapori di idrogeno** può causare **problemi respiratori come l'asfissia**, a causa dello spostamento dell'ossigeno in ambienti confinati o scarsamente ventilati.
- Significative espansioni dell'idrogeno, che portano a un forte aumento della pressione e alla possibile **propagazione orizzontale** dell'idrogeno rilasciato.

Misure di mitigazione: Una ventilazione adeguata, sistemi di monitoraggio dell'ossigeno e isolamento termico sono misure di mitigazione essenziali per garantire la manipolazione sicura dell'idrogeno liquido/criogenico. Inoltre, utilizzare contenitori criogenici speciali, come recipienti a doppia parete e isolati sottovuoto, e selezionare materiali in grado di resistere a stress termici estremi senza diventare fragili.



4.2 Sicurezza dell'installazione: principi di base dell'analisi dei rischi e atmosfere potenzialmente esplosive - ATEX

Per qualsiasi installazione, la valutazione di sicurezza del progetto deve includere informazioni sulle analisi dei rischi condotte per:

- il corretto funzionamento delle tecnologie (a idrogeno) stesse;
- potenziali guasti ed effetti a cascata su altre apparecchiature;
- apparecchiature situate all'interno dell'area di installazione;
- fenomeni di invecchiamento che potrebbero compromettere il corretto funzionamento delle apparecchiature;
- errori umani dovuti a un uso e una manutenzione impropri dei vari sistemi.

È importante effettuare valutazioni qualitative del rischio (QRA) per i casi che rientrano nelle normative nazionali/locali applicabili, oltre a QRA mirate per situazioni più complesse in termini di tecnologia utilizzata, caratteristiche del sito o aspetti non coperti dalle norme di sicurezza esistenti (ove presenti). Per ulteriori informazioni sulle metodologie comuni di valutazione del rischio identificate nel progetto HYPOP, consultare la Sezione 5.

L'analisi dei rischi deve essere integrata con la classificazione delle aree ATEX, che comporta:

- mappatura delle zone 1/2 intorno ai punti di rilascio probabili/occasionali;
- definizione del volume effettivo in base ai parametri di ventilazione;
- separazione delle apparecchiature non Ex;
- ottimizzazione della disposizione per ridurre al minimo la sovrapposizione tra zone pericolose e vie di fuga.

La direttiva 2014/34/UE (ATEX) è la normativa più comunemente applicata per prevenire e proteggere un sito da esplosioni accidentali⁸. Ciò è particolarmente rilevante per qualsiasi impianto che utilizza gas, comprese le tecnologie a idrogeno. In combinazione con le analisi dei rischi descritte nella sezione 5, la documentazione ATEX si concentra sulla classificazione delle aree a rischio di esplosione. Si tratta di un prerequisito per la progettazione e l'installazione di impianti elettrici e, più in generale, è essenziale per qualsiasi valutazione complessiva della sicurezza. Per questo motivo, e date le caratteristiche sopra descritte, la classificazione ATEX compare nelle varie relazioni di sicurezza che gli ingegneri antincendio presentano alle autorità competenti.

⁸ https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/mechanical-engineering/equipment-potentially-explosive-atmospheres-atex_en

Qual è lo scopo della classificazione delle aree pericolose?

- Supportare la valutazione del rischio di "atmosfera esplosiva".
- Definire i requisiti essenziali di sicurezza antideflagrante per i prodotti elettrici e non elettrici e per le loro installazioni in un'area pericolosa, garantendo che non possano incendiare le atmosfere esplosive identificate.

Chi necessita della classificazione delle aree pericolose?

A seconda della struttura amministrativa nazionale o locale, questa classificazione è utile per molti soggetti interessati, ma in generale è richiesta da:

- Coloro che effettuano la valutazione del rischio di atmosfera esplosiva.
- Il Servizio di Salute, Sicurezza e Prevenzione.
- Chiunque acquisti attrezzature (dispositivi, macchinari, ecc.) per queste aree.
- Tutto il personale che lavora o comunque accede a queste aree.
- I lavoratori che utilizzano strumenti o attrezzature in tali aree (ad esempio, squadre di manutenzione).
- Organismi di regolamentazione e ispezione.

In generale, un'esplosione può verificarsi solo quando i seguenti tre elementi coesistono nello stesso luogo e nello stesso momento:

1. **Un gas infiammabile o polvere combustibile (combustibile);**
2. **Aria, il cui ossigeno funge da ossidante (ossidante);**
3. **Una fonte di accensione**, ad esempio una scintilla, un arco elettrico o un'elevata temperatura superficiale (accensione).

La sicurezza anti esplosione si ottiene quando la probabilità che combustibile, ossidante e fonte di accensione coesistano viene ridotta a un livello accettabile. Intorno a ciascuna apparecchiatura di un impianto a idrogeno, le aree sono classificate determinando l'estensione spaziale delle zone pericolose e il corrispondente rischio di esplosione. Tale rischio viene valutato e, se necessario, ridotto a limiti accettabili, agendo sulle fonti di emissione, sull'ambiente (ventilazione, monitoraggio, ecc.) e sulle potenziali fonti di accensione (sia elettriche che non elettriche).

Le aree sono suddivise in **zone pericolose** e **zone non pericolose** in base all'origine del pericolo (ad esempio, gas, vapori o nebbie infiammabili; polveri combustibili) e alle caratteristiche operative quali sistemi di contenimento, apparecchiature di processo e procedure di manutenzione.

- **Zona 0:** è presente un'atmosfera esplosiva in modo continuo, per lunghi periodi o frequentemente.
- **Zona 1:** è probabile che si verifichi un'atmosfera esplosiva durante il normale funzionamento, ma solo occasionalmente.
- **Zona 2:** è improbabile che si verifichi un'atmosfera esplosiva durante il normale funzionamento e, se ciò dovesse accadere, persisterà solo per brevi periodi.



Questo metodo di suddivisione in zone è essenziale anche per selezionare tecnologie che non diventino esse stesse potenziali fonti di accensione.



4.3 Pianificazione: selezione e caratterizzazione del sito

La scelta del sito per un impianto a idrogeno diventa un fattore aggiuntivo di notevole importanza, insieme alle considerazioni di sicurezza relative alle singole tecnologie.

Pertanto, la selezione del sito dovrebbe basarsi su un'analisi multicriterio che tenga conto di:

- Destinazioni d'uso del territorio e compatibilità urbanistica, compresi i vincoli per le specie protette o altri limiti ambientali.
- Le distanze da aree affollate ed edifici pubblici. È preferibile evitare le aree congestionate.
- Disponibilità di energia elettrica e acqua. (La disponibilità di acqua è un fattore di rischio se il sito si trova in una zona con scarsità d'acqua).
- Assenza di ostacoli che potrebbero favorire il ristagno di gas.
- Verifica dell'accessibilità dei vigili del fuoco/veicoli di emergenza e dell'ubicazione degli idranti (in relazione alle distanze di sicurezza).
- Valutazione delle interferenze: linee elettriche aeree, ferrovie, flussi di traffico intenso, zone ATEX esistenti, altri serbatoi di carburante.

Maggiori dettagli su alcuni di questi aspetti sono inclusi nel deliverable D4.3.

4.4 Approcci di sicurezza per i progetti sull'idrogeno: misure di prevenzione e mitigazione

Di seguito vengono esaminate le principali fonti di rischio per la sicurezza associate alle singole tecnologie di produzione, stoccaggio e utilizzo dell'idrogeno.

Comprendere le proprietà intrinseche dell'idrogeno è essenziale per gestire gli impianti in modo sicuro. Lo scopo di questa sezione è quello di evidenziare gli aspetti chiave di sicurezza che devono essere presi in considerazione. La sezione contiene una rassegna dei seguenti impianti a idrogeno:

- Produzione di idrogeno rinnovabile tramite elettrolisi per applicazioni industriali (4.3.1)
- Stoccaggio di idrogeno compresso per i settori industriale e della mobilità (4.3.2)
- Stazioni di rifornimento di idrogeno (4.3.3)
- Celle a combustibile per i settori energetico e residenziale (4.3.4)

Un impianto a idrogeno può contenere elementi dei sistemi descritti in questa sezione (ad esempio, una stazione di rifornimento di idrogeno con produzione e stoccaggio in loco; un elettrolizzatore con stoccaggio in loco, ecc.), pertanto le informazioni di sicurezza fornite nella presente linea guida devono essere combinate per coprire tutti gli elementi inclusi.

4.4.1 Produzione di idrogeno rinnovabile tramite elettrolisi per applicazioni industriali

L'idrogeno rinnovabile può essere prodotto utilizzando l'elettricità generata da fonti rinnovabili quali l'energia solare, eolica e idroelettrica. Questa corrente alternata viene convertita in corrente continua per alimentare l'elettrolizzatore con una corrente costante e unidirezionale.



L'elettricità alimenta anche tutti i componenti del Balance of Plant (BoP) che accompagnano la pila elettrolitica per garantire un funzionamento efficiente nelle condizioni di progetto e la sicurezza complessiva dell'impianto.

Il Balance of Plant può essere costituito da:

- 1) Sistemi di gestione dell'acqua;
- 2) Sistema per l'approvvigionamento energetico;
- 3) Sistemi di ricircolo e purificazione dell'elettrolita;
- 4) Sistemi di purificazione dei gas per i prodotti dell'elettrolizzatore;

All'interno del BoP sono inclusi anche i sistemi di monitoraggio e controllo che attivano le funzioni di sicurezza. In generale, i sistemi di monitoraggio, controllo e sicurezza come i sistemi di arresto di emergenza (EES) sono apparecchiature automatizzate che possono attivare procedure di arresto. In caso di rilevamento di una perdita o di altre condizioni di emergenza, i sistemi automatizzati possono avviare un arresto immediato dei processi e delle apparecchiature interessati. Inoltre, gli operatori possono attivare manualmente le procedure di arresto, se necessario, fornendo un ulteriore livello di controllo durante le emergenze.

Il sistema di elettrolisi ha un componente centrale costituito da una pila di **celle elettrolitiche**. Ad esempio, gli elettrolizzatori PEM funzionano a pressioni comprese tra 15 e 30 barg e contengono i seguenti elementi:

- 1) Membrana/diaframma;
- 2) Strato catalizzatore;
- 3) PTL (strati di trasporto porosi);
- 4) Collettore di corrente/campo di flusso (griglie);
- 5) Piastra bipolare.

Nessuna tecnologia è priva di rischi. Pertanto, la probabilità che un malfunzionamento di un componente provochi una fuga di idrogeno non è pari a zero, sebbene sia improbabile. Sia i produttori che gli integratori di sistemi sono tenuti a eseguire le proprie analisi e prove per garantire il corretto funzionamento dei componenti del sistema, nonché dei sistemi di allarme e di sicurezza il cui ruolo è quello di attivarsi in caso di diversi tipi di pericoli. Durante il normale funzionamento dell'elettrolizzatore, è necessario prendere in considerazione diversi rischi, che possono avere origini multiple.

Di seguito sono riportate, a titolo esemplificativo, le possibili fonti di rischio, la loro descrizione e le misure di prevenzione e mitigazione necessarie da applicare quando il progetto in esame prevede la produzione in loco di idrogeno mediante elettrolisi per tutte le applicazioni, comprese quelle industriali, di mobilità e residenziali. L'attenzione è focalizzata sulla cella elettrolitica, ma di seguito vengono fornite informazioni sul BoP come completamento di un sistema integrato (BoP+Stack).

Tabella 6 Guasti, rischi e misure di prevenzione/mitigazione per lo stack elettrolitico

Origine del guasto	Descrizione del rischio	Misure di prevenzione/mitigazione
<p>Variazione della pressione all'interno del sistema</p>	<p>Le alte pressioni derivanti dai guasti possono causare rotture e perdite pericolose</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Valutare valvole di sicurezza ridondanti (PSV) dimensionate per scenari di "uscita bloccata", "esposizione al fuoco" e "espansione termica". • Considerare i dischi di rottura come seconda linea di difesa, o in parallelo con le PSV, su tubazioni e serbatoi critici. • Assicurarsi che le linee di scarico convogliano il gas verso un camino di sfiato verticale in quota, dotato di separatore di gocce, valvola di ritegno e arresto fiamma all'uscita.
<p>L'idrogeno e l'ossigeno entrano in contatto, creando una miscela potenzialmente esplosiva</p>	<p>In questo caso, il rischio deriva da un malfunzionamento del componente che mantiene separati i due gas: la membrana. Durante alcune fasi transitorie (ad esempio, l'avvio del sistema) possono verificarsi rotture o incroci di ossigeno e idrogeno attraverso la membrana. Tutti i sistemi di elettrolisi hanno una selettività specifica della membrana, ma non è assoluta. Gli effetti di permeazione possono quindi portare a combustioni o esplosioni all'interno della cella elettrolitica, nelle tubazioni e nei sistemi di stoccaggio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Garantire l'uso di sistemi di controllo di sicurezza con valvole di intercettazione di sicurezza.
<p>Fughe di idrogeno all'esterno del sistema</p>	<p>L'idrogeno che permea all'esterno dell'elettrolizzatore deve essere monitorato continuamente e il rischio di esplosione deve essere prevenuto utilizzando la circolazione forzata dell'aria.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizzare sensori di H₂ riferiti al limite inferiore di esplosività ($\leq 25\%$ LEL) e sensori di O₂ ($\geq 23\%$ vol), con allarmi al 10% LEL e arresto (arresto forzato dell'impianto) quando il parametro supera, ad esempio, $> 25\%$ LEL.

Origine del guasto	Descrizione del rischio	Misure di prevenzione/mitigazione
		<ul style="list-style-type: none"> • Fornire una ventilazione forzata, specificando i ricambi d'aria richiesti all'ora.
Perdite di idrogeno nei flussi di scarto dell'elettrolizzatore e nei sistemi associati (ad es. essiccatori...)	L'idrogeno può anche essere rilasciato all'esterno del sistema di elettrolisi attraverso i flussi di scarico/sfiato dall'essiccatore, dall'elettrolita e dalle linee di sfiato. Quando la fase liquida viene rimossa, l'idrogeno gassoso può accumularsi e raggiungere i limiti di infiammabilità.	<ul style="list-style-type: none"> • Assicurarsi che l'area in cui vengono effettuati gli scarichi sia ben ventilata e lontana da fonti di accensione. • Dimensionare e posizionare le linee di sfiato in modo che il gas venga disperso in modo sicuro nell'atmosfera. • Anche i flussi di scarico dell'elettrolita devono essere gestiti in aree ventilate; inoltre, utilizzare strumenti antiscintilla e smaltire i rifiuti caustici in conformità con le normative sui rifiuti pericolosi.
Cariche/fonti elettriche	Le cariche elettriche che si accumulano sulla superficie di un componente dell'elettrolizzatore possono fungere da fonte di accensione.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizzare apparecchiature adatte alle zone ATEX (è essenziale verificare che tutti i sistemi rechino il marchio CE).

Di seguito sono riportati i vari rischi associati alle potenziali cause di guasto dei componenti BoP che incidono sulla sicurezza e le misure di prevenzione e mitigazione applicabili.

Tabella7 Rischi associati alla produzione di idrogeno Componenti BoP che incidono sulla sicurezza e misure di prevenzione e mitigazione applicabili

Componente BoP	Potenziali cause di guasto e rischi associati	Descrizione del rischio	Misure di prevenzione/mitigazione
Sistema di gestione dell'acqua	Presenza di contaminanti che causano il degrado/guasto di parti con rilascio di gas e/o liquidi	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminanti di vario tipo (ioni, sostanze organiche, particolato, ecc.) possono essere presenti a causa di malfunzionamenti dei sistemi di 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoraggio della qualità dell'acqua (ad esempio, carbonio organico totale - TOC - per i contaminanti organici, conducibilità per gli ioni disciolti);

Componente BoP	Potenziali cause di guasto e rischi associati	Descrizione del rischio	Misure di prevenzione/mitigazione
		<p>filtrazione, osmosi inversa o deionizzazione. Questi contaminanti causano principalmente il degrado delle membrane.</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'usura dei sistemi di gestione della qualità dell'acqua può introdurre contaminanti nell'elettrolizzatore o causare perdite di gas e/o liquidi. • I fenomeni corrosivi possono anche influire sui materiali dello stack, aumentando il rischio di perdite di idrogeno/ossigeno ed elettroliti. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contenimento secondario per i serbatoi per impedire il rilascio di acqua ed elettrolito dall' e dai recipienti e dalle tubazioni; • Uso di dispositivi di protezione individuale (DPI) abbinati a procedure chiare per la manipolazione delle sostanze chimiche; • Sensori di livello su serbatoi e pozzetti più allarmi quando i livelli si discostano dai limiti impostati.
<p>Sistema per l'alimentazione elettrica, raddrizzatori, trasformatori</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Disturbi di rete; • Sovraccarico elettrico; • Dimensionamento errato; • Surriscaldamento, raffreddamento insufficiente; • Invecchiamento e degrado dell'isolamento; • Connessioni corrose; • Vibrazioni, urti meccanici <p>Tutti i fattori sopra indicati possono generare scintille,</p>	<p>La presenza dei guasti indicati come esempi può causare scosse elettriche, scintille, ecc. Questi fenomeni sono pericolosi per gli operatori che entrano in contatto con gli strumenti, ma soprattutto creano rischi a cascata (incendi o esplosioni), specialmente nelle aree ATEX.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Considerare pannelli per aree non classificate o con IP/Ex adeguato; • Definire prove periodiche di isolamento; • Considerare una corretta messa a terra e collegamento

Componente BoP	Potenziali cause di guasto e rischi associati	Descrizione del rischio	Misure di prevenzione/mitigazione
	cortocircuiti e altri fenomeni elettrici		
Ricircolo dell'elettrolita, se applicabile	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminanti; • Micro-perdite; • Sovrapressione; • Miscelazione di gas. <p>Tutti i fattori sopra indicati possono causare perdite di liquidi/gas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Il degrado della membrana può causare la contaminazione dell'elettrolita e della cella, con conseguente aumento del calore () e rilascio di gas indesiderati. • Le micro-perdite possono causare la fuoriuscita di soluzioni caustiche, che possono provocare ustioni. • La sovrappressione e la miscelazione di gas indesiderati possono causare esplosioni interne nella cella. 	<ul style="list-style-type: none"> • Effettuare un monitoraggio continuo con sostituzione dell'elettrolita. Allo stesso tempo, controllare i programmi di sostituzione dei filtri • Identificare la presenza di contenitori secondari e dotare i sensori di flusso/pressione di allarmi • Controllare il funzionamento degli spegnimenti automatici per eventuali perdite di elettrolita dai tubi in caso di attivazione dei rilevatori T/P • Spurgo/inertizzazione immediati in caso di miscelazione e scarico controllato.
Sistemi di purificazione dei gas	<ul style="list-style-type: none"> • Rotture • Sovrapressione • Malfunzionamento del sistema di essiccazione 	<ul style="list-style-type: none"> • Le rotture possono causare micro-perdite dai circuiti del gas (H_2 / O_2) che possono compromettere la sicurezza delle zone ATEX. • Una possibile sovrappressione può causare la rottura di valvole e flange. • Un malfunzionamento degli 	<ul style="list-style-type: none"> • Effettuare ispezioni periodiche per individuare eventuali perdite • Assicurarsi che i componenti abbiano una tenuta certificata (PED + ATEX) • Assicurarsi della presenza di valvole di sicurezza della pressione (PSV)

Componente BoP	Potenziali cause di guasto e rischi associati	Descrizione del rischio	Misure di prevenzione/mitigazione
		essiccatori/sistemi di essiccazione del gas può anche includere liquidi condensati contenenti idrogeno.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizzare materiali resistenti all'infragilimento • Scarichi ventilati e procedure di spurgo controllate

La sicurezza deve essere garantita durante il funzionamento per proteggere i suoi componenti. Si raccomanda quindi di effettuare:

- **Manutenzione regolare:** la manutenzione programmata può essere preventiva e predittiva con la pulizia ordinaria dei componenti degli elettrolizzatori e la sostituzione dei componenti, se necessario. Ciò previene la contaminazione dovuta all'usura, alla corrosione o al guasto dei componenti coinvolti nella gestione del gas e dell'acqua/elettrolita.
- **Protocolli di collaudo:** il collaudo regolare dei gas immagazzinati garantisce che essi soddisfino le specifiche di purezza richieste prima di essere utilizzati o distribuiti.

4.4.2 Stoccaggio di idrogeno compresso per i settori industriale e della mobilità

Se il progetto sull'idrogeno, sia esso industriale o relativo a una stazione di rifornimento, include lo stoccaggio dell'idrogeno, le parti interessate dovrebbero tenere conto dei seguenti rischi e delle corrispondenti misure preventive/mitiganti.

I sistemi di stoccaggio dell'idrogeno sono i componenti dell'impianto che tipicamente operano nelle condizioni più impegnative in termini di pressione (ad esempio, pressioni fino a 700 bar). Per questo motivo, la loro costruzione utilizza materiali multipli progettati per resistere ai tipici fenomeni di degrado che potrebbero compromettere l'integrità dei materiali e quindi la sicurezza delle persone e delle strutture. Lo stoccaggio dell'idrogeno può avvenire in forma gassosa, liquida o solida (ad esempio, idruri metallici). Di seguito presentiamo i rischi per la sicurezza e le possibili misure preventive e di mitigazione per i sistemi di stoccaggio dell'idrogeno compresso, la tecnologia oggi più diffusa.

Date le proprietà fisico-chimiche dell'idrogeno e le condizioni operative tipiche di un sistema di stoccaggio - alta pressione e lunga durata prevista - **la tabella seguente elenca i tre principali rischi associati all'idrogeno compresso, che devono essere affrontati se un progetto sull'idrogeno include un sistema di stoccaggio fisso o mobile (ad esempio, fasci di bombole di idrogeno).**

Tabella8 Rischi e misure di prevenzione/mitigazione per lo stoccaggio di idrogeno compresso per l'industria e la mobilità

Descrizione del rischio	Misure di prevenzione/mitigazione
<p>L'infragilimento dei metalli causato dall'idrogeno è dovuto alla permeazione dell'idrogeno. Ad alte pressioni, la molecola di idrogeno (o l'atomo dopo la dissociazione) è sufficientemente piccola da infiltrarsi negli interstizi del reticolo cristallino e persino sostituire gli atomi all'interno della struttura cristallina del metallo. Questo processo indebolisce i legami chimici, degrada le proprietà meccaniche e porta quindi all'infragilimento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verificare che le schede tecniche allegate alla documentazione riportino esplicitamente il comportamento di infragilimento da idrogeno dei metalli utilizzati. • Se l'ambiente circostante il sito di installazione richiede misure di sicurezza aggiuntive, prendere in considerazione modifiche progettuali al componente per evitare la creazione di nuove fonti di accensione o guasti. • Includere misure di sicurezza come sistemi di spegnimento automatico, sistemi di sfiato, ventilazione e barriere fisiche per proteggere il personale e le attrezzature vicine in caso di accensione.
<p>Fessurazione indotta dall'idrogeno: i difetti o le fessurazioni all'interno del materiale possono essere amplificati dall'idrogeno, specialmente quando è contenuto nei liquidi che entrano in contatto con la superficie del materiale e poi si diffondono al suo interno.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Questo fenomeno di corrosione può essere prevenuto attraverso ispezioni e test con tecniche quali (anche in loco): Wet Fluorescent Magnetic Particle Testing (WFMP), metodi di prova a ultrasuoni, ecc.
<p>Attacco dell'idrogeno ad alta temperatura: quando la temperatura di esercizio supera i 200 °C, i materiali tendono a reagire fortemente con l'idrogeno, che ad alta pressione e temperatura penetra nella struttura e, insieme alle impurità del materiale, forma specie gassose come il metano. Man mano che questi gas si propagano, lasciano pori e altri difetti.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • È essenziale utilizzare leghe metalliche conformi alla norma API RP 941 - <i>Acciai per servizi con idrogeno a temperature e pressioni elevate</i>. • La prevenzione si basa su ispezioni regolari delle superfici e metodi di prova dedicati quali (anche in loco): prove ultrasoniche con array a fasi (PAUT); diffrazione del tempo di volo (ToFD); e metodo di acquisizione a matrice completa/focalizzazione totale (FMC/TFM).

4.4.3 Stazioni di rifornimento di idrogeno

Le stazioni di rifornimento di idrogeno (HRS) sono strutture in cui diverse tecnologie a idrogeno operano in aree adiacenti. Pertanto, **le misure preventive e di mitigazione descritte per le**



tecnologie di produzione e stoccaggio, collegate a possibili scenari di rischio, si applicano anche alle HRS, poiché queste tecnologie possono far parte della stazione.

HYPOP suggerisce un approccio generale alla sicurezza che può essere applicato, ad esempio, a:

- HRS con produzione in loco;
- HRS senza produzione in loco;
- HRS standard con stoccaggio fisso o mobile (ad es. fasci di idrogeno, rimorchi tubolari);
- HRS mobili con stoccaggio integrato.

I seguenti pilastri delineano le misure generali da seguire per garantire la sicurezza di un progetto di stazione di rifornimento di idrogeno. In termini generali, queste misure possono essere applicate ai diversi casi citati; il livello di attenzione dipende dal numero di elementi pericolosi presenti e dal contesto intorno al perimetro del sito. **Progetti di gestione della sicurezza più complessi, come le HRS con elettrolisi in loco o soluzioni containerizzate/mobili, richiedono una maggiore attenzione e una documentazione tecnica più dettagliata da parte dei fornitori di tecnologia (ad esempio, analisi dei rischi, protocolli di sicurezza e manutenzione, ecc.) a supporto della fase di progettazione.** In ogni caso, i criteri di sicurezza di base sono quelli indicati nella tabella 9 dell' .

Se sono presenti elettrolizzatori o sistemi di stoccaggio, fare riferimento alle sezioni 4.3.1 e 4.3.2 .

Progettazione ingegneristica e barriere generiche

La progettazione del sistema deve prevedere un layout aperto e modulare per garantire la sicurezza.

Le informazioni di sicurezza riportate nella tabella seguente sono una sintesi che tiene conto delle connessioni funzionali e fisiche tra i vari componenti presenti in una stazione di rifornimento di idrogeno. Per dettagli più approfonditi sulle singole tecnologie, come gli elettrolizzatori e i sistemi di stoccaggio, consultare le sezioni 4.4.1 e 4.4.2, che si applicano ai casi di HRS con produzione in loco e con stoccaggio mobile/fisso.

Tabella 9 Potenziali guasti, rilevamento e misure di sicurezza per i componenti delle HRS

Componente HRS interessato	Possibile guasto	Rilevamento e misure di sicurezza
Produzione (ulteriori dettagli sull'elettrolizzatore in Tabella 6 e sul BoP in Tabella 7)	• Variazione indesiderata della pressione e surriscaldamento del modulo a causa delle cariche elettriche;	• H ₂ , sensori di pressione e temperatura con setpoint di intervento; arresto automatico dell'unità e isolamento;

Componente HRS interessato	Possibile guasto	Rilevamento e misure di sicurezza
	<ul style="list-style-type: none"> •Contaminanti derivanti da guasti al sistema di gestione dell'acqua; •Piccole perdite di H₂; •Miscelazione indesiderata di gas 	<ul style="list-style-type: none"> • sistemi di monitoraggio della qualità dell'acqua, contenimento secondario per i serbatoi, uso di DPI e sensori di livello sui serbatoi • ventilazione naturale e/o forzata efficace; • ispezioni programmate e manutenzione preventiva; • formazione degli operatori per il riconoscimento delle anomalie
<p>Gas ad alta pressione (ulteriori dettagli sui guasti relativi ai materiali di stoccaggio sono disponibili all'indirizzo Tabella 8 – rilevante anche per i compressori)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sovrapressione della linea; • perdite dai raccordi/valvole; • surriscaldamento del compressore 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoraggio della pressione e della temperatura; • valvole di sicurezza in area sicura; • arresto automatico del compressore; • Rilevamento perdite di H₂; • ventilazione e potenziale raffreddamento esterno; • manutenzione preventiva
<p>Distributore (rifornimento veicoli)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Perdita all'accoppiamento; • Uso improprio da parte dell'utente 	<ul style="list-style-type: none"> • Controlli funzionali prima del rifornimento; • rilevatori locali di H₂; • arresto immediato e spurgo in caso di perdita; • istruzioni operative guidate; • accesso controllato per utenti autorizzati
<p>Sistemi elettrici e di controllo per l'impianto e le sue parti</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fonti di accensione in zona classificata; • guasto del sistema di sicurezza 	<ul style="list-style-type: none"> • apparecchiature certificate ATEX; • separazione fisica dei pannelli; • diagnostica e autotest; • spegnimento selettivo e isolamento dei circuiti difettosi;

Componente HRS interessato	Possibile guasto	Rilevamento e misure di sicurezza
		<ul style="list-style-type: none"> • ispezioni periodiche e test funzionali; • gestione documentata delle modifiche
Area complessiva e persone (utenti, personale)	<ul style="list-style-type: none"> • Accesso non autorizzato; • risposta ritardata; • scarso coordinamento delle emergenze 	<ul style="list-style-type: none"> • Recinzioni e controllo degli accessi; • procedura di emergenza aggiornata e affissa; • esercitazioni periodiche con i vigili del fuoco; • monitoraggio remoto e registrazione degli eventi; • formazione continua e qualificazione; • revisione continua delle lezioni apprese

Oltre alle scelte progettuali, la sicurezza degli impianti HRS è garantita da diversi tipi di barriere integrate nell'impianto e posizionate a distanze di sicurezza interne definite (elettrolisi → compressione → stoccaggio → distributore).

Tipi di barriere:

- **Passive (utilizzate ove giustificato dalla QRA):** muri in cemento armato, muri anti-esplosione, recinzioni per impedire l'accesso a personale non addestrato/non autorizzato, ecc.
- **Attive:** sistemi che si attivano automaticamente quando i parametri di controllo vengono superati (sensori di temperatura/pressione/flusso con logica di spegnimento; rilevamento combinato di gas + fiamma nelle aree di compressione e stoccaggio; valvole di chiusura rapida - ESD - e linee di depressurizzazione verso un camino di sfiato sopraelevato per la dispersione verticale).
- **Continuo:** sistemi che funzionano costantemente per mantenere le condizioni entro limiti di sicurezza, ad esempio sistemi di ventilazione che prevengono atmosfere esplosive.

4.4.4 Celle a combustibile per i settori energetico e residenziale

Le celle a combustibile sono dispositivi elettrochimici che, come le batterie, forniscono energia elettrica per una serie di usi finali, dalla mobilità alle applicazioni stazionarie nei settori energetico e residenziale. Le celle a combustibile possono funzionare fintanto che vengono alimentate con idrogeno (o combustibili ricchi di idrogeno) e fino a quando i loro componenti raggiungono la fine del loro ciclo di vita.



Esistono diversi tipi di celle a combustibile che funzionano a temperature diverse, utilizzano materiali diversi e servono a scopi diversi. Si distinguono per la natura dell'elettrolita (liquido, che può essere acido o alcalino, o solido) e per le temperature di funzionamento.

Come per altre tecnologie a idrogeno, è necessario considerare i rischi di sicurezza legati alle sostanze chimiche ogni volta che un progetto prevede l'utilizzo di una cella a combustibile per fornire elettricità in contesti industriali, energetici o residenziali. Alcune celle a combustibile utilizzano elettroliti che contengono agenti corrosivi o irritanti. Se la cella a combustibile è danneggiata, queste sostanze potrebbero rappresentare un pericolo per la salute. Tuttavia, in un sistema chiuso che funziona correttamente, la probabilità di esposizione è generalmente bassa.

I principali tipi di celle a combustibile sono elencati nella tabella seguente.

Tabella10 Tipi e applicazioni delle celle a combustibile (materiale didattico aggiuntivo⁹)

Cella a combustibile	Tipo di elettrolita	Temperatura di esercizio	Applicazioni
Membrana polimerica elettrolitica (PEMFC)	Polimero a base di fluorocarburi (solido)	60-90 °C	Mobilità/Stazionario
Celle a combustibile ad acido fosforico (PAFC)	Pellicola di acido fosforico contenuta in una matrice fluorocarbonica (liquido)	>150 °C	Generazione di energia stazionaria, micro-CHP residenziale
Celle a combustibile con elettrolita alcalino (AFC)	Soluzione acquosa di idrossido di potassio (liquido)	100 < T < 250 °C	Mobilità
Celle a combustibile a ossidi solidi (SOFC)	Ceramica conduttiva (solida)	600 < T < 1000 °C	Fisse - Power-to-x
MCFC: Celle a combustibile a carbonato fuso	Carbonati fusi di litio e sodio/potassio in una matrice	600 < T < 1000 °C	Fisso - Industria

La tabella seguente elenca gli scenari di rischio e le **misure di prevenzione/mitigazione che dovrebbero essere prese in considerazione, o ricercate in modo specifico, quando si esamina l'approccio alla sicurezza proposto da uno sviluppatore di progetto che presenta un progetto a un'autorità pubblica.**

⁹ <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/learn-about-hydrogen/education-materials/hydrogen-basics>

Tabella11 Rischi e misure di prevenzione/mitigazione per i sistemi a celle a combustibile utilizzati in applicazioni energetiche e residenziali

Origine del guasto	Descrizione del rischio	Misure di prevenzione/mitigazione
H₂ perdita	L'idrogeno può fuoriuscire attraverso micro-perdite o guasti alle guarnizioni/linee, accumularsi in spazi chiusi → incendio/esplosione.	Assicurarsi che il progetto includa: <ul style="list-style-type: none"> • Rilevatori di gas + ventilazione forzata • Tenuta certificata di tubazioni, flange, raccordi (ATEX/IECEX) Le procedure di manutenzione devono includere l'inertizzazione e lo spurgo prima dell'intervento.
Rilasci di ossidanti (O₂ o aria compressa)	Come per le perdite generiche, un aumento locale della concentrazione di O ₂ può aumentare la probabilità di incendio.	<ul style="list-style-type: none"> • Tubazioni e valvole di sovrappressione ridondanti • Distanze di separazione dai materiali combustibili.
Surriscaldamento e superfici calde	I malfunzionamenti possono portare le aree/superfici a temperature che causano ustioni o vapori pericolosi (ad esempio, > 120 °C per PEM e fino a 800 °C per SOFC).	<ul style="list-style-type: none"> • Fornire isolamento termico e schermatura • Verificare termostati/fusibili e spegnimento automatico al superamento delle temperature di sicurezza predefinite.
Sovrapressione di pile o serbatoi di gas/liquidi	Valvole bloccate, formazione di ghiaccio nei componenti/nelle linee o reazioni incontrollate possono causare sovrappressione e rotture meccaniche.	La progettazione dell'impianto deve includere: <ul style="list-style-type: none"> • Dischi di rottura calibrati e dispositivi di scarico della pressione (PRD) • Monitoraggio continuo di P/T con logica di controllo per rilevare tendenze anomale e attivare lo spegnimento • Linee di scarico sicure che sfiatano all'esterno • Per il ghiaccio, verificare che sia prevista la gestione termica/dell'umidità.

Origine del guasto	Descrizione del rischio	Misure di prevenzione/mitigazione
Rischi elettrici (bassa e alta tensione)	Rischio di scosse elettriche, archi elettrici, cortocircuiti (soprattutto in stack ad alta potenza).	Verificare: <ul style="list-style-type: none"> • Custodie IPxxB e sezionatori di sicurezza • Interruttori differenziali (GFCI) che intervengono in caso di guasti a terra di mA, prevenendo scosse elettriche e incendi • Prove periodiche di isolamento su cavi, avvolgimenti, apparecchiature.
Compatibilità dei materiali rispetto alla permeazione di H₂	Una scelta errata dell'acciaio può indurre l'infragilimento da idrogeno nelle leghe ad alta resistenza.	<ul style="list-style-type: none"> • Assicurarsi che le leghe metalliche siano resistenti (ad esempio, acciaio inossidabile 316L - a base di Fe-Cr-Ni; Inconel - superleghe Ni-Cr; Hastelloy - superleghe Ni-Mo e/o Ni-Cr-Mo).

Nell'ambito di HYPOP, il coinvolgimento delle parti interessate e l'analisi di molteplici best practice hanno dimostrato che **le applicazioni residenziali faticano ancora ad affermarsi in Europa. Di conseguenza, i dati disponibili non sono ancora sufficienti per definire un approccio di sicurezza di base per questi contesti (come è stato fatto per gli HRS). Sono necessari ulteriori progetti dimostrativi e una più ampia condivisione delle informazioni per promuovere l'integrazione dell'idrogeno come risorsa di bilanciamento per l'uso energetico domestico.**

Tuttavia, le discussioni con gli esperti del settore e lo scambio di esperienze all'interno di HYPOP ci hanno permesso di delineare un approccio generale alla sicurezza tratto da una delle migliori pratiche riportate nei Deliverable 2.1 e 2.2.

Considerando l'installazione di un sistema rSOC (cella a ossido solido reversibile) in grado di funzionare in modalità SOEC per immagazzinare l'elettricità in eccesso producendo idrogeno, e in modalità SOFC per generare elettricità e calore utile, è stato adottato il seguente metodo.

Approccio metodologico alla sicurezza

La gestione del rischio dovrebbe seguire una logica di tipo HAZOP basata su deviazione-causa-conseguenza-misura di salvaguardia:

1. Identificazione sistematica delle deviazioni operative.
2. Analisi delle cause (guasti agli strumenti, azioni spurie delle valvole, errori dell'operatore).
3. Valutazione delle conseguenze senza tenere conto delle protezioni esistenti (sovrapressione, rilascio di H₂, incendio/esplosione).



4. Elenco delle misure di salvaguardia esistenti (PSV, interblocchi, rilevatori di H₂, ventilazione, componenti con classificazione EX).
5. Raccomandazioni aggiuntive nei casi in cui il rischio residuo superi i criteri di accettabilità.

Esempi di eventi critici da esaminare per questo tipo di applicazione dovrebbero essere:

- **E1 - Scarico del compressore bloccato:** rischio di sovrappressione della linea e rilascio di H₂ → mitigato da PSV per lo sfiato di sicurezza, interblocchi di pressione, rilevamento di gas H₂ al 10% LEL con ventilazione forzata + allarme, depressurizzazione automatica per lo sfiato di sicurezza.
- **E2 - Guasto al raffreddamento:** temperatura eccessiva del compressore, danneggiamento della membrana, perdita interna/esterna di H₂ → sensori di temperatura e flusso con interruttori, componenti con classificazione EX (Zona 2), rilevatori di H₂.
- **E3 - Ingresso di aria (bassa pressione):** formazione di miscele infiammabili nello stoccaggio ad alta pressione → interruttore di bassa pressione, compressori alloggiati in involucro REI Grado I.
- **E4 - Piccole perdite (connessioni):** rilascio locale di H₂ → rilevamento gas + ventilazione forzata + allarme, componenti EX Zona 2.

Misure trasversali

Ventilazione naturale di alto livello, rilevamento gas (impostato al 10% LEL), spegnimento selettivo, ventilazione forzata automatica, valvole di sfiato azionate a distanza, allarmi ottici/acustici, apparecchiature certificate EX nella zona classificata 2, sistemi di depressurizzazione rapida.

5 Metodologie di valutazione del rischio

Tabella12 PERCHÉ, COSA e QUANDO l'analisi dei rischi è importante per i progetti H₂

<p>COSA?</p> <p>Le analisi dei rischi sono approcci metodologici, basati su conoscenze tecniche e strumenti di modellizzazione/previsione, che aiutano a prevenire e mitigare i guasti che potrebbero danneggiare persone o beni.</p>
<p>PERCHÉ?</p> <p>La sicurezza dei componenti può essere compromessa da malfunzionamenti o eventi esterni, che potrebbero innescare effetti a cascata sulle attività economiche e sulle aree pubbliche circostanti. L'incertezza dovuta a lacune nelle conoscenze e a normative poco chiare porta spesso a pensare che "più rigoroso è, più sicuro è", il che può rallentare l'innovazione e rendere i progetti tecnicamente o economicamente irrealizzabili. Per questo motivo, vengono utilizzati vari metodi per analizzare i rischi derivanti da eventi accidentali con diverse probabilità e gravità. L'analisi dei rischi è quindi uno strumento potente che può essere applicato in più fasi di un progetto sull'idrogeno.</p>
<p>QUANDO?</p> <p>I metodi principali rientrano in due macro-categorie: tecniche qualitative e quantitative.</p> <p>Le analisi qualitative dei rischi sono utilizzate principalmente nelle prime fasi del progetto per individuare rapidamente i pericoli evidenti quando non sono ancora disponibili dati tecnici dettagliati; possono anche fornire distanze di separazione preliminari. Le tecniche quantitative aggiungono input numerici (dati sul tasso di guasto, probabilità di accensione, statistiche meteorologiche, dati sulla popolazione, modelli convalidati) per perfezionare e giustificare la progettazione della sicurezza.</p>

Di seguito è riportato un breve riassunto delle principali analisi dei rischi identificate da HYPOP dalle migliori pratiche contenute nel Deliverable 2.1 e dalle interviste con vari stakeholder e progetti europei sull'idrogeno.

Tabella13 Analisi qualitative e quantitative dei rischi identificate dalle migliori pratiche HYPOP

<p>Tecniche qualitative</p>
<p>HAZOP (Hazard and Operability Study):</p> <p>Una tecnica sistematica che esamina un elemento (o nodo) alla volta e descrive le conseguenze dei malfunzionamenti. Identificando le deviazioni e le loro cause, attraverso parole guida (ad esempio, <i>no/non; più; meno; così come</i>) collegate ai parametri di processo (ad esempio, flusso, pressione, temperatura), propone azioni correttive.</p>
<p>HAZID (Identificazione dei pericoli):</p> <p>Un esercizio di gruppo multidisciplinare per identificare potenziali pericoli in un ampio ambito: progettazione, costruzione, installazione, smantellamento e modifiche proposte alle</p>



operazioni esistenti. Spesso è un precursore o una componente delle analisi quantitative dei rischi.
Analisi What-If: Un approccio che esplora i potenziali pericoli e le cause di guasto ponendo domande "what if" e valutando gli scenari risultanti.
Analisi dei modi e degli effetti dei guasti (FMEA): Un metodo semi-quantitativo che elenca le possibili modalità di guasto di un processo/componente e i loro effetti, in genere uno per uno senza considerare guasti multipli simultanei. Ogni guasto viene classificato (Numero di priorità di rischio) in base alla gravità, alla frequenza e alla rilevabilità, in modo che le azioni possano concentrarsi prima sulle questioni più critiche.
Tecniche quantitative
Valutazione quantitativa del rischio (QRA): Un'analisi approfondita che combina i risultati dell'albero dei guasti con strumenti di modellazione per quantificare il rischio complessivo di un impianto o processo a idrogeno, coprendo le frequenze di guasto, le probabilità di accensione e le conseguenze.
Analisi dell'albero dei guasti (FTA): Un metodo grafico che mappa gli eventi principali indesiderati e le combinazioni di eventi di base che li determinano, assegnando probabilità per stimare la possibilità di guasto.

Una serie più ampia di tecniche qualitative, semiquantitative e quantitative può essere esplorata nella "Guida EHSP sulla sicurezza dell'idrogeno - Documento guida" pubblicato dalla Clean Hydrogen Joint Undertaking¹⁰.

¹⁰ <https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2023-05/EHSP%20Guidance%20on%20Hydrogen%20Safety%20Engineering%20-%20v1-Final.pdf>

6 Raccomandazioni e azioni HYPOP per accelerare le procedure di accettazione e sicurezza

Nell'ambito di HYPOP, è stato osservato che **ogni progetto relativo all'idrogeno deve essere valutato in base a molteplici fattori: il sito di installazione, l'ambiente circostante il perimetro dell'impianto e il quadro normativo nazionale e locale.** Fornire una linea guida sulla sicurezza che offra un approccio chiaro pur rimanendo adattabile ai requisiti e agli ostacoli specifici dei paesi dell'UE e delle applicazioni fungerà da motore per accelerare l'accettazione e lo sviluppo dei progetti relativi all'idrogeno. Queste linee guida fungono anche da incentivo per le parti interessate nei paesi meno avanzati nello sviluppo pratico e normativo del settore dell'idrogeno e delle sue applicazioni industriali, di mobilità e residenziali. Le migliori pratiche, nonché i requisiti e gli ostacoli derivanti dai vari quadri normativi dei paesi europei che hanno informato lo sviluppo di queste linee guida, possono essere consultati in dettaglio sia nell'appendice al presente documento che nel Deliverable 2.1.

Di seguito riassumiamo le principali criticità, le azioni pratiche e le raccomandazioni, nonché i vantaggi derivanti dalla loro risoluzione. Allo stesso tempo, HYPOP propone una procedura standard ("Linee guida di sicurezza HYPOP") volta a facilitare l'interazione tra le autorità pubbliche e i progettisti. Questi ultimi potranno così presentare progetti relativi all'idrogeno seguendo una filosofia di sicurezza condivisa, comprensibile e accettata dalle autorità pubbliche e dai cittadini nel più breve tempo possibile.

Tabella14 Azioni pratiche/raccomandazioni HYPOP e benefici attesi

Problema	Azioni pratiche/raccomandazioni	Beneficio atteso
Lacune normative o interpretazioni divergenti (anche tra regioni o uffici locali)	Compendio condiviso di "pratiche equivalenti" (creato in collaborazione con autorità e operatori)	<ul style="list-style-type: none"> • Uniformità di base; • Meno discrezionalità
Scarsa esperienza pratica delle autorità in materia di norme tecniche, metodi di analisi e specifiche dell'idrogeno.	Formazione modulare (legale/tecnica/sociale) per funzionari e vigili del fuoco	<ul style="list-style-type: none"> • Decisioni più rapide e meglio motivate
Uso improprio e affidamento difensivo alle normative relative ad altri combustibili (gas naturale, GPL) che non sempre corrispondono alle caratteristiche dell'idrogeno.	Schede comparative delle proprietà + linee guida per l'adattamento	<ul style="list-style-type: none"> • Evitare una progettazione eccessiva ingiustificata
Applicazione parziale e incoerente degli elementi Seveso agli impianti di piccole	Seguire i principi generali di sicurezza (per i casi SEVESO al di sotto della soglia) + lista di controllo basata sul rischio	<ul style="list-style-type: none"> • Trattamento coerente dei piccoli impianti

Problema	Azioni pratiche/raccomandazioni	Beneficio atteso
dimensioni al di sotto della soglia, creando confusione.		
Il processo iterativo e lento comporta tempi più lunghi a causa di richieste di dati ad hoc e cicli di chiarimento non strutturati.	Pre-consultazione formale ("riunione di definizione dell'ambito") prima della presentazione	• Meno richieste di integrazione successive
Sfiducia da parte del pubblico	Coinvolgimento precoce (sessioni di domande e risposte) con mappa dei rischi semplificata	• Maggiore accettazione sociale, meno obiezioni

Le linee guida di sicurezza HYPOP sono quindi il risultato del coinvolgimento delle parti interessate e sono strutturate come una serie di passaggi da seguire, accompagnati da indicazioni di errori e rischi, raccomandazioni e azioni pratiche. Tutte le informazioni tecniche sulla sicurezza dell'idrogeno, sulle tecnologie dell'idrogeno e sulle relative misure di prevenzione/mitigazione descritte in questo rapporto sono rilevanti per gestire correttamente i seguenti 6 passaggi (in particolare i passaggi 2, 3 e 4).

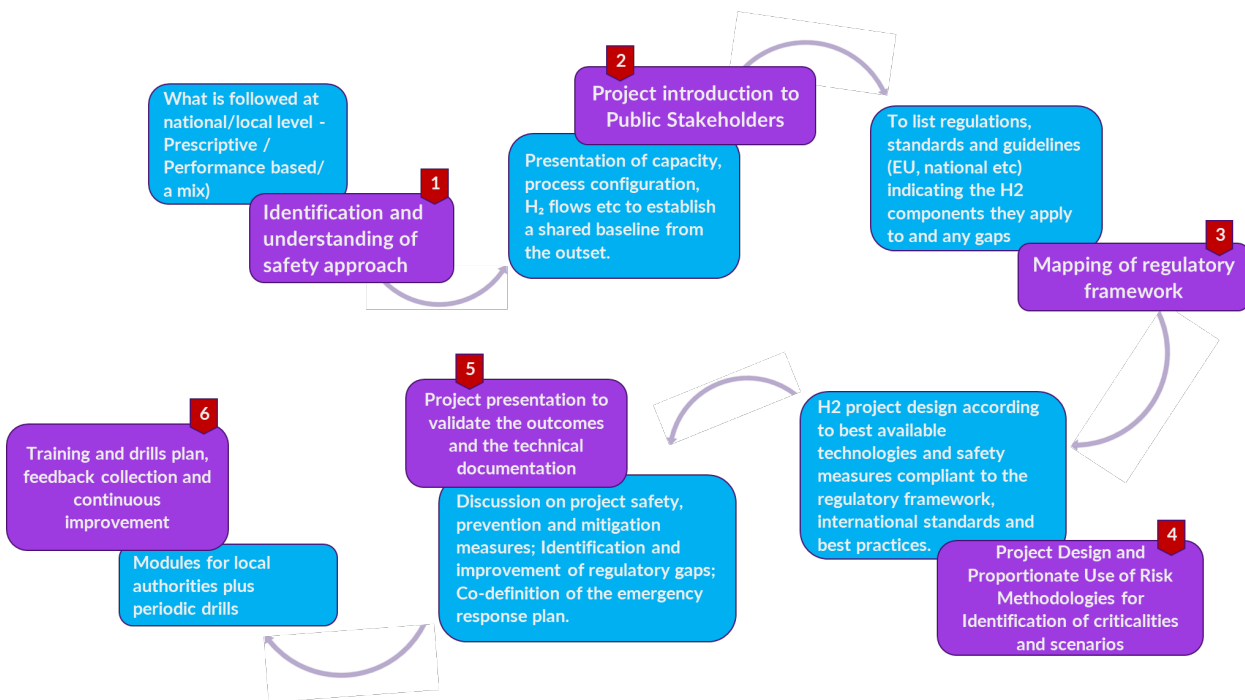


Figura1 Linee guida di sicurezza HYPOP

1) La prima fase consiste nell'identificare e comprendere l'approccio generale alla sicurezza seguito a livello nazionale o locale (prescrittivo/basato sulle prestazioni).



In alcuni contesti di mobilità e residenziali, i progetti relativi all'idrogeno sono trattati dalle normative o dalle autorità competenti come progetti industriali e vengono applicati i requisiti e gli approcci corrispondenti. In assenza di esperienza pratica o di riferimenti normativi specifici, è consigliabile guardare ad altri paesi o a normative consolidate per combustibili più familiari e adattare tali requisiti. Sulla base di queste informazioni, è possibile determinare l'approccio di sicurezza appropriato.

Nell'ambito di HYPOP sono stati individuati casi di studio che adottano due tipi di approcci di sicurezza, talvolta in alternativa, talvolta in modo complementare:

- **Approccio prescrittivo:** stabilisce regole fisse (alcuni esempi sono riportati di seguito). È tipico delle normative mature o delle regole originariamente scritte per altri combustibili (gas naturale, GPL) e poi "adattate" all'idrogeno. Le norme tecniche internazionali diventano effettivamente parte del pacchetto prescrittivo una volta trasposte in leggi o decreti.

Esempi di requisiti prescrittivi tipici

- Distanze minime tra le tecnologie H₂ (principalmente produzione di idrogeno e stoccaggio ad alta pressione) e i confini del sito.
 - Limiti di pressione o capacità per attivare livelli di protezione passiva.
 - Specifiche delle attrezzature certificate in aree classificate come pericolose (ATEX).
- **Approccio basato sulle prestazioni:** definisce l'obiettivo di sicurezza (livello di rischio accettabile) e lascia libertà su come raggiungerlo. Qui entrano in gioco le analisi dei rischi: identificano gli scenari critici e supportano scelte mirate per il layout, le barriere e le procedure.

Esempi di requisiti tipici basati sulle prestazioni

- Distanze di sicurezza risultanti da strumenti di modellizzazione e simulazione.
- Utilizzo di norme internazionali per le attrezzature, le operazioni e la manutenzione.
- Utilizzo di misure e materiali di prevenzione/mitigazione se giustificato da caratteristiche specifiche del sito di installazione o come risultato di valutazioni dei rischi.
- Ottimizzazione del layout tramite simulazione CFD per ridurre le zone di accumulo/ristagno.

In pratica, i due approcci **coesistono**: HYPOP ha identificato che, laddove le regole sono chiare, si applicano i requisiti tabellari; laddove vi sono lacune o casi innovativi, si utilizza un approccio basato sulle prestazioni per dimostrare un livello di sicurezza equivalente.

Tabella15 Punti di forza e limiti degli approcci prescrittivi e basati sulle prestazioni

Aspetto	Prescrittivo	Basato sulle prestazioni
Velocità decisionale	Rapida se il caso è "standard", analisi limitata ad alcune tecnologie H ₂	Più lento (analisi sempre necessaria per tutto l'impianto)
Flessibilità innovativa	Bassa (vincoli rigidi)	Elevata (adattabile alle nuove tecnologie)
Trasparenza per le autorità locali	Elevata (regole semplici)	Dipende dalla qualità della relazione sui rischi e richiede competenze tecniche
Rischio di sovradimensionamento	Medio/alto	Controllabile (barriere commisurate al rischio reale)

Comprendere questo approccio è essenziale per capire quale possa essere l'approccio preferito dalle autorità nazionali/locali nei confronti di un progetto sull'idrogeno.

2) Presentazione del progetto agli stakeholder pubblici

Il secondo passo prevede una presentazione concisa (scopo, capacità, configurazione del processo, flussi di H₂, profilo degli utenti) per stabilire fin dall'inizio una base comune.

Si raccomanda il coinvolgimento delle autorità pubbliche sin dalle prime fasi di progettazione, quando il tipo di impianto, le tecnologie e il sito di installazione sono ancora in fase di definizione. Le potenziali criticità tecniche (ad esempio, disponibilità di acqua; presenza di altri impianti che trattano sostanze pericolose; vicinanza ad aree urbane che impongono vincoli di costruzione o richiedono misure preventive/mitigative aggiuntive, ecc.) e le questioni relative all'accettazione, in particolare da parte del pubblico e delle autorità locali (ad esempio, sicurezza antincendio, protezione dell'ambiente, ecc.), dovrebbero essere affrontate tempestivamente.

Tabella16 Vantaggi di una presentazione tempestiva del progetto alle autorità pubbliche

Rischi/problemi da affrontare	Vantaggi derivanti dall'adozione di misure
Scarsa consapevolezza e conoscenza tecnica dell'idrogeno tra le autorità locali e i cittadini;	I cittadini sono informati e consapevoli delle opportunità locali e dell'importanza delle attività locali per la sostenibilità.
Opposizione a un progetto presentato in ritardo. La mancata presentazione di una presentazione iniziale prima dell'invio della domanda alle autorità competenti può essere rischiosa.	Il feedback iniziale delle autorità locali, anche nel caso di progetti conformi alla legislazione vigente, può accelerare l'intera procedura, evitando ritardi o problemi critici durante la procedura successiva.

Rischi/problemi da affrontare	Vantaggi derivanti dall'adozione di misure
Difficoltà nell'interpretazione delle normative o mancanza di conoscenza del quadro normativo esistente	Le autorità adottano misure preventive raccogliendo informazioni e suggerendo normative da prendere in considerazione, essenziali in caso di lacune normative

La presentazione del progetto è solo il primo passo per coinvolgere le autorità, che deve essere seguito da ulteriori incontri con informazioni più dettagliate sulla filosofia di sicurezza che si intende proporre.

- 3) **Mappatura del quadro normativo (probabilmente anche in parallelo con la Fase 2)**
 Tabella che elenca le normative, gli standard e le linee guida (UE, nazionali, locali, internazionali volontarie) indicando i componenti a cui si applicano ed eventuali lacune.

Si raccomanda vivamente di esaminare il panorama normativo esistente. Nella maggior parte dei paesi europei esistono notevoli lacune e incertezze interpretative; nei casi peggiori, l'idrogeno non è nemmeno menzionato nelle normative che mettono in pratica i documenti strategici nazionali e locali. Occasionalmente, tuttavia, esistono documenti supplementari, talvolta trattati dalle autorità pubbliche come normative quasi ufficiali, che raccolgono il quadro normativo pertinente ed elencano la documentazione richiesta per le applicazioni dell'idrogeno nei settori industriale, della mobilità e residenziale. Laddove non siano disponibili tali risorse, si consiglia alle parti interessate di rivolgersi alle autorità pubbliche e di istituire gruppi di lavoro in grado di redigere un documento equivalente. HYPOP ha identificato che:

- **Le linee guida forniscono chiarezza** identificando i punti critici, definendo il ruolo delle autorità e affrontando le lacune normative.
- **Le linee guida fungono da strumenti accessibili** per raggiungere e coinvolgere una più ampia gamma di parti interessate.
- **Le linee guida mettono in evidenza le migliori pratiche** in tutta l'UE, promuovendo la fiducia e sensibilizzando le autorità locali.
- **Le linee guida rafforzano la cooperazione** tra le parti interessate e le autorità, poiché la loro elaborazione richiede consenso e collaborazione.

Vantaggio chiave: lo sviluppo di linee guida rafforza i rapporti con le autorità pubbliche, crea fiducia e mette in luce le lacune normative, i requisiti vincolanti e le sfide interpretative. Per esempi e ulteriori dettagli su alcune delle linee guida esaminate in HYPOP, si invitano i lettori a consultare l'appendice del presente documento e il documento HYPOP Deliverable 2.1.

- 4) **Progettazione tecnico-economica e uso proporzionato delle metodologie di rischio per l'identificazione delle criticità e degli scenari:**

Progettazione di progetti sull'idrogeno secondo le migliori tecnologie disponibili e misure di sicurezza conformi al quadro normativo, agli standard internazionali e alle migliori pratiche.

Non tutti i progetti richiedono una valutazione quantitativa completa del rischio (il livello più alto di complessità identificato in HYPOP). Si raccomanda di optare per una scala proporzionata che eviti sprechi e mantenga la credibilità:



- **Screening qualitativo strutturato** (HazID + matrice di rischio) come base minima predefinita.
- **Analisi semiquantitativa** (ad esempio, tra approcci qualitativi e quantitativi, vedere la sezione 5) se permane l'incertezza decisionale o emergono scenari moderati.
- **QRA completa** solo se:
 - layout denso / spazio limitato;
 - apparecchiature ad alta pressione;
 - richiesta di deroga alle distanze di sicurezza fisse previste dalla normativa;
 - vicinanza a edifici pubblici e aree affollate;
 - rischi cumulativi / potenziale effetto domino.

5) **Presentazione del progetto per convalidare i risultati emersi dal feedback della prima riunione e dalla documentazione tecnica prodotta.**

Discussione sulle misure di sicurezza, prevenzione e mitigazione del progetto; identificazione e miglioramento delle lacune normative; co-definizione del piano di risposta alle emergenze.

La discussione tra le autorità e i progettisti dovrebbe basarsi almeno **sulla seguente documentazione minima**: diagramma di flusso di processo (PFD)/diagramma di tubazioni e strumentazione (P&ID), layout, classificazione ATEX, matrice degli scenari, relazione sui rischi, logica di controllo della sicurezza alla base del sistema di arresto di emergenza (ESD) e filosofia di rilevamento, distanze di sicurezza giustificate, ecc.

La convalida dell'approccio alla sicurezza e del progetto può comportare la **co-definizione di misure preventive e barriere**, ove necessario. In particolare, possono essere richiesti maggiori dettagli sul monitoraggio, sul rilevamento dei parametri di sicurezza e sugli strumenti correlati, nonché sull'entità della ventilazione. Possono essere necessarie anche barriere **aggiuntive**, come muri di contenimento, in direzione delle aree sensibili e degli edifici pubblici affollati.

Questa fase è il momento in cui le autorità pubbliche possono porre domande, discutere e raccogliere le lacune e le osservazioni dei progettisti, al fine di migliorare la loro comprensione e definire normative future più efficaci.

Si raccomanda alle autorità di **convalidare o co-definire un piano di risposta alle emergenze.**

6) **Piano di formazione e esercitazioni, raccolta di feedback e miglioramento continuo**

Moduli per le autorità locali (proprietà fisiche dell'H₂, differenze rispetto al NG / GPL, sicurezza delle tecnologie H₂) più esercitazioni periodiche (perdite, ESD, incendi circostanti).

Se necessario, si raccomanda di sviluppare un piano di formazione che, attraverso la diffusione delle conoscenze, abbia anche un impatto positivo sulle procedure di autorizzazione in generale. La preparazione operativa forma le persone, verifica periodicamente le procedure e i sistemi (rilevamento, evacuazione, ecc.) e crea un ciclo di miglioramento continuo basato su prove concrete e feedback. Questo miglioramento può essere misurato attraverso indicatori quali:



tempo medio per le richieste di informazioni aggiuntive, tempo complessivo di autorizzazione; tempo di risposta alle emergenze, revisione annuale congiunta del funzionamento, manutenzione e guasti, ecc.

Le fasi 5 e 6 sono destinate a questa fase di transizione, in cui l'idrogeno e le tecnologie dell'idrogeno saranno utilizzati in settori emergenti e per quei casi in cui vi è scarsa conoscenza pratica dei progetti sull'idrogeno e bassa consapevolezza. Una volta che la conoscenza pratica si sarà diffusa nei vari paesi dell'UE, vi sarà una maggiore convergenza e un approccio più armonizzato alla sicurezza degli impianti a idrogeno. Di conseguenza, queste fasi potrebbero essere mantenute solo se ritenute necessarie, altrimenti potrebbero comportare consulenze iterative e costi di progetto più elevati.



7 Metodologia

HYPOP si basa sul coinvolgimento delle parti interessate. Le informazioni che hanno contribuito alle linee guida finali sulla sicurezza per i primi soccorritori sono state raccolte attraverso i risultati dei workshop nazionali HYPOP e applicando la stessa metodologia utilizzata per raccogliere informazioni per l'analisi tecnica dei requisiti di sicurezza e delle barriere del Work Package 2.

I workshop nazionali si sono svolti in Spagna, Italia, Belgio, Polonia e Bulgaria e i loro risultati sono presentati (vedi Appendice). I dati sono stati raccolti principalmente tramite strumenti online (ad esempio Google Forms, Slido) e, in Italia e Belgio, integrati da tavole rotonde. L'obiettivo era quello di raccogliere le esperienze delle parti interessate lungo tutta la catena del valore dell'idrogeno, costruire un quadro generale di tali esperienze e confrontare le somiglianze e le differenze tra i paesi partecipanti al workshop e gli altri paesi analizzati nel progetto.

Inoltre, le misure di prevenzione e mitigazione raccolte dalle migliori pratiche e gli approcci generali alla sicurezza hanno migliorato le raccomandazioni finali e le azioni pratiche delle linee guida HYPOP descritte nella sezione 6. Ciò è stato possibile grazie alla costante implementazione della ricerca avviata nel Work Package 2 su "Requisiti e barriere di sicurezza" (un complemento ai dati del WP2 è fornito nell'Appendice). Pertanto, la stessa metodologia è stata applicata per questo documento. Si basa principalmente sulla ricerca bibliografica di normative e linee guida nazionali/locali specifiche, sulle sinergie con altri progetti che si occupano di tematiche normative (ad esempio, il progetto HYLAW, GA n. 737977 ecc.) e sull'esperienza delle parti interessate coinvolte dai partner HYPOP. **La tabella seguente riassume le principali attività che caratterizzano la metodologia citata, in cui la sicurezza e la certificazione delle tecnologie dell'idrogeno sono solitamente collegate, ed evidenzia gli stakeholder che possono trarre vantaggio da ciascuna attività e argomento.**

Tabella17 Attività svolte nei Work Package 2 e 4 per ottenere informazioni sugli approcci di sicurezza per i progetti H₂

Tipo di attività	Parti interessate	Argomento di riferimento
Analisi dei quadri normativi nei paesi target dell'UE per l'attuazione di progetti sull'idrogeno (utile per raccomandazioni tecniche e azioni pratiche)	Produttori, primi utilizzatori, sviluppatori di progetti, autorità pubbliche	Sicurezza
Revisione della letteratura e delle norme relative alle tecnologie dell'idrogeno	Produttori	Sicurezza e certificazione
Interviste con le parti interessate per ottenere informazioni sugli approcci di sicurezza nazionali/locali seguiti, sulle esperienze personali (ad esempio, progetti pilota e reali), opinioni e percezioni	Produttori, primi utilizzatori, sviluppatori di progetti, autorità pubbliche	Sicurezza e certificazione

Tipo di attività	Parti interessate	Argomento di riferimento
Analisi di un numero limitato di progetti chiave/migliori pratiche (descritti nel Deliverable 2.1)	Produttori, primi utilizzatori, sviluppatori di progetti, autorità pubbliche	Sicurezza e certificazione
Organizzazione di workshop nazionali e di un workshop internazionale (attività che collega WP2 e WP4)	Produttori, primi utilizzatori, sviluppatori di progetti, autorità pubbliche	Sicurezza e autorizzazioni

L'analisi è stata condotta nei seguenti paesi dell'UE e la tabella seguente mostra il tipo di parti interessate e le esperienze apportate alle linee guida HYPOP.

Tabella18 Contributori a HYPOP: progetti UE, autorità pubbliche ed enti privati

Paese	Tipo di soggetti interessati	Riferimenti ed esperienze
<i>Paesi HYPOP</i>		
Belgio	Cluster dell'idrogeno; Azienda privata	<ul style="list-style-type: none"> • Waterstofnet - sicurezza, autorizzazioni e certificazioni; • Aeroporto di Bruxelles - coordinatore del progetto STARGATE; • Technifutur - coinvolto in diversi progetti H₂ (Green SKHy, KnowWHY, HySCHOOL, ...); • VITO - studio BAT sulle stazioni di rifornimento di H₂; • Sertius, ente preposto al rilascio delle autorizzazioni in Belgio; • RESA, gestore della rete di distribuzione di gas ed elettricità; • Università di Bruxelles (ULB); • Gruppo Colruyt, Amministrazione della regione vallona (dipartimento autorizzazioni e ambiente)
Italia	Autorità pubblica; Azienda privata; Università	<ul style="list-style-type: none"> • Porto di Trieste - sicurezza e autorizzazioni, progetto RENEWPORT; • RINA Consulting - esperti in sicurezza e certificazione; • Tecnodelta - partner del progetto HYCARE - certificazione;

Paese	Tipo di soggetti interessati	Riferimenti ed esperienze
		<ul style="list-style-type: none"> • ATENA Scarl - certificazione - partner del progetto H2ports; • Uniparthenope - certificazione - partner del progetto FuelSOME; • A2A company - sicurezza e autorizzazioni - progetto Valcamonica hydrogen; • Tenova - sicurezza e autorizzazioni - progetto GrInHy 2.0; • Fondazione Bruno Kessler - sicurezza, autorizzazioni e certificazione - coordinatore del progetto SWITCH; • UNI - Ente Italiano Normazione - certificazione - partner del progetto e-SHyIPS; • SAGAT - sicurezza, autorizzazioni e certificazione - partner del progetto TULIPS
Spagna	Azienda privata, Associazione di aziende	<ul style="list-style-type: none"> • Redexis (progetti OCEANH2, GREEN HYSLAND); • Tecnia (progetto ARENHA) • TECNIBERIA • Clúster Andaluz del Hidrógeno; • Piattaforma tecnologica spagnola dell'idrogeno
<i>Paesi UE-13</i>		
Bulgaria (paese HYPOP)	Associazione per l'idrogeno	<ul style="list-style-type: none"> • Cluster balcanico dell'idrogeno - sicurezza e autorizzazioni
Polonia (paese HYPOP)	Azienda privata;	<ul style="list-style-type: none"> • TUV SUD Polonia - esperti in materia di sicurezza e certificazione;
Croazia	Centro di ricerca; Autorità pubblica	<ul style="list-style-type: none"> • Istituto per l'energia Hrvoje Pozar - autorizzazioni ambientali - progetti Interreg; • Ministero dell'Economia - sicurezza; • Istituto per l'energia e la protezione ambientale (EKONERG) - autorizzazioni; • Green Sustainable Solutions - autorizzazioni.
Cipro	Società privata; Ente pubblico	<ul style="list-style-type: none"> • Future Fuels Ltd - coordinatore del progetto GreenH2CY - sicurezza e autorizzazioni; • Autorità di regolamentazione dell'energia di Cipro - sicurezza e autorizzazioni; • Trinomics

Paese	Tipo di soggetti interessati	Riferimenti ed esperienze
Repubblica Ceca	Società privata; Cluster dell'idrogeno; Agenzie energetiche regionali; Agenzia regionale	<ul style="list-style-type: none"> • ORLEN Unipetrol - esperto in materia di sicurezza e autorizzazioni; • Piattaforma nazionale ceca per la tecnologia dell'idrogeno - esperto in materia di sicurezza e autorizzazioni; • Centro energetico della regione di Usti; • Agenzia energetica della regione di Zlín (EAZK); • Consiglio economico e sociale della regione di Usti; • Azienda DEVINN - sicurezza, autorizzazioni e certificazioni - integratori di sistemi;
Estonia	Centro di ricerca	<ul style="list-style-type: none"> • Istituto di metrologia Metrosert - coordinamento della Hydrogen Valley
Ungheria	Azienda privata	<ul style="list-style-type: none"> • PBN Advanced Management - partner del progetto SMART-HY-AWARE - sicurezza e autorizzazioni;
Lettonia	Nessuna informazione	Nessuna informazione
Lituania	Centro di ricerca; Autorità pubblica	<ul style="list-style-type: none"> • Istituto lituano per le energie rinnovabili; Autorità portuale statale di Klaipeda - sicurezza e autorizzazioni; • Rappresentante del Ministero dei Trasporti - informazioni sul quadro normativo; • Consiglio della ricerca della Lituania
Malta	Agenzia nazionale	<ul style="list-style-type: none"> • Consiglio maltese per la scienza e la tecnologia
Romania	Associazione per le competenze nell'idrogeno	<ul style="list-style-type: none"> • ONG sostenibile - Autorizzazioni
Slovacchia	Centro di ricerca; Autorità pubblica	<ul style="list-style-type: none"> • Istituto per lo sviluppo dei servizi pubblici - partner nel progetto H2CE; • Autorità regionale di Kosice - coordinatore del progetto EASTGATEH2 - condivisione di informazioni su sicurezza e autorizzazioni;
Slovenia	Centro di ricerca; Azienda privata	<ul style="list-style-type: none"> • Kemijski inštitut - progetto Interreg H2GreenFuture; • Holding Slovenske elektrarne d.o.o. - coordinatore di NAHV, North Adriatic

Paese	Tipo di soggetti interessati	Riferimenti ed esperienze
		Hydrogen valley - autorizzazioni e certificazioni di sicurezza;
<i>Paesi all'avanguardia</i>		
Francia	Autorità pubblica; Associazione nazionale; Società privata	<ul style="list-style-type: none"> • Regione Centro Valle della Loira - accettazione da parte dell'opinione pubblica; • France Energies Marines - focalizzata sulla sicurezza, le autorizzazioni e l'accettazione da parte dell'opinione pubblica per il settore marittimo; • ENGIE - esperti in sicurezza e certificazione - ricerca prenormativa nel progetto Thyga; • Francia Idrogeno
Germania	Azienda privata	<ul style="list-style-type: none"> • Aeroporto di Amburgo - coordinatore del progetto HyAirport - sicurezza e autorizzazioni; • Esperti in sicurezza e certificazione - informazioni condivise durante le colazioni di lavoro Hytruck; • NOW GmbH
Paesi Bassi	Autorità pubblica; Azienda privata	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrogen hub Noord Holland - coordinatore dell'Hydrogen Hub Noord-Holland valley - sicurezza, autorizzazioni e certificazione; • New Energy Coalition - progetto LIHYP - sicurezza e autorizzazioni; • Nedstack fuell cell technology BV - sicurezza e certificazione - partner del progetto GRASSHOPPER; • KIWA - certificazione; NL Hydrogen
Svizzera	Associazione nazionale;	<ul style="list-style-type: none"> • H2Mobilitet - autorizzazioni.



Figura 2 Copertura geografica della ricerca sui temi della sicurezza, delle autorizzazioni e delle certificazioni

I seguenti parametri sono stati utilizzati per eseguire un'analisi dei punti di forza e di debolezza in grado di fornire un quadro completo dell'attuale stato di preparazione del quadro normativo dell'UE. I principali risultati del WP2 sono riportati nella tabella. Ulteriori approfondimenti sono inclusi nel Deliverable 2.1 di HYPOP "Requisiti e ostacoli alla sicurezza" e nel Deliverable 2.2 "Requisiti e ostacoli alle autorizzazioni".

Tabella19 Parametri di sicurezza e autorizzazione utilizzati per eseguire un'analisi dei punti di forza e di debolezza

Parametri di sicurezza	Parametri di autorizzazione
Disponibilità di linee guida per la valutazione della sicurezza	Prova dell'esistenza di un quadro normativo per il rilascio delle autorizzazioni
Prova dell'attuazione/adozione di metodologie di valutazione del rischio	Esistenza di procedure specifiche per l'H2
Prova dell'esistenza di regolamenti, codici e norme che guidano l'approccio alla sicurezza dell'idrogeno	Prova dell'esistenza di linee guida per il rilascio delle autorizzazioni (per le tecnologie H2)
Applicazione/adozione/prova di un approccio basato sulle prestazioni e dei conseguenti requisiti	Prova della cooperazione con le autorità pubbliche e del loro atteggiamento complessivamente positivo nei confronti dell'idrogeno
Applicazione/adozione/prova di un approccio prescrittivo e dei conseguenti requisiti.	

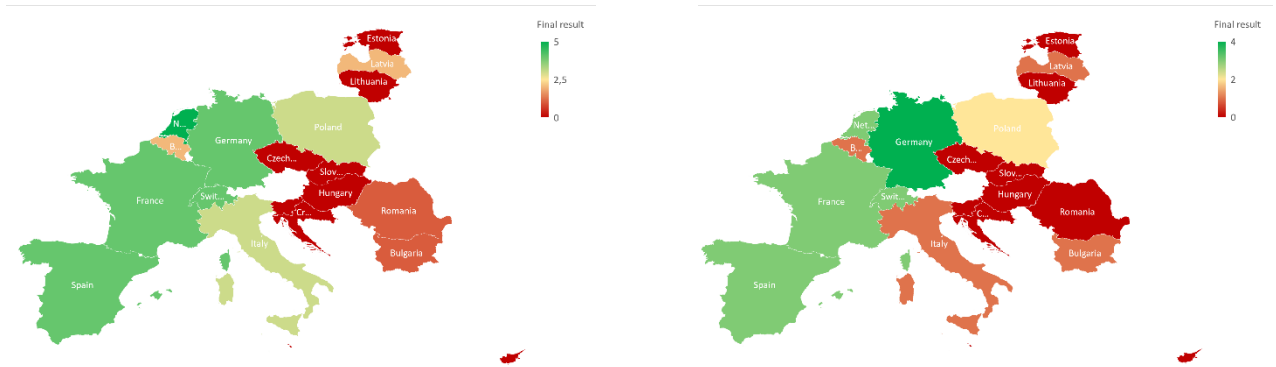


Figura 3 Mappa dei punti di forza e di debolezza in base ai parametri di sicurezza (a sinistra) e ai parametri di autorizzazione (a destra) dal WP2



8 Conclusioni

Le tecnologie dell'idrogeno sono sempre più riconosciute come un pilastro del percorso di decarbonizzazione dell'Europa per l'industria, la mobilità e gli usi residenziali, a complemento dell'elettrificazione e dell'efficienza. Le prove raccolte da HYPOP (analisi delle migliori pratiche, workshop con le parti interessate, casi di studio sulle autorizzazioni) mostrano tuttavia un panorama frammentato in materia di sicurezza: interpretazioni divergenti, familiarità disomogenea con le proprietà distintive dell' H_2 e oscillazione tra approcci prescrittivi e basati sulle prestazioni.

La percezione e la conoscenza delle parti interessate coinvolte nelle procedure di sicurezza e autorizzazione sono considerate fattori determinanti per l'attuazione dei progetti sull'idrogeno. L'uso dell'idrogeno è percepito da molti come una novità, ma le tecnologie dell'idrogeno sono state utilizzate in modo sicuro in diverse applicazioni industriali fin dal secolo scorso. Nuove applicazioni e tecnologie emergenti dell'idrogeno sono in fase di sviluppo per la mobilità e gli usi residenziali. In questi casi, gli approcci di sicurezza alla base del quadro normativo devono seguire il ritmo definito dalla ricerca e dall'innovazione, e questo non è un compito facile. Infatti, gli approcci comuni alla sicurezza associati alle tecnologie dell'idrogeno e all'idrogeno stesso come combustibile non sono ancora completamente sviluppati. Questa incertezza si riflette sia a livello nazionale che locale nell'UE, dove i requisiti di sicurezza possono creare ostacoli che impediscono gli investimenti privati e rendono più complesso il lavoro delle parti interessate coinvolte nelle procedure di concessione e ottenimento delle autorizzazioni (ad esempio, autorità pubbliche vs imprese).

Problema attuale: la fase attuale è caratterizzata da un'esperienza pratica limitata con l'idrogeno: molte autorità locali (in primo luogo i comandi dei vigili del fuoco e gli uffici tecnici responsabili delle questioni ambientali, dell'urbanistica e della prevenzione degli incidenti) non sono supportate da un quadro normativo e quindi hanno difficoltà a interpretare le normative esistenti (spesso concepite per altri combustibili) nella loro valutazione di soluzioni innovative.

Obiettivo: Ridurre l'incertezza e i tempi di autorizzazione e aumentare la conoscenza e la percezione, garantendo al contempo livelli di sicurezza documentati ed equivalenti, attraverso un percorso di interazione strutturato e replicabile tra il promotore del progetto / progettista HSE e le autorità pubbliche.

Il panorama frammentato della sicurezza genera:

- Tempi di autorizzazione più lunghi e meno prevedibili.
- Requisiti di sicurezza diseguali e diversificati nell'UE (ingegneria eccessiva o insufficiente).
- Aumento dei "costi indiretti" di sviluppo (cicli di revisione iterativi, consulenze ripetute).
- Un indebolimento della fiducia del pubblico laddove la trasparenza è scarsa.

Le raccomandazioni incluse nelle **linee guida HYPOP possono essere riassunte in due pilastri operativi che possono guidare l'implementazione quotidiana e la riproducibilità:**

- **Azioni tecniche:** dalla mappatura delle lacune normative all'adattamento mirato e al trasferimento delle migliori pratiche dagli approcci dell'UE; dai diversi requisiti tecnici (ad esempio, certificazione e conformità ATEX, progettazione del layout e



containerizzazione, rilevamento precoce e ventilazione adattiva, ecc.) alla graduale standardizzazione delle metodologie di rischio e a un approccio comune alla sicurezza.

- **Trasferimento di conoscenze e sensibilizzazione:** un processo di miglioramento continuo basato su una formazione modulare per le autorità e gli operatori; creazione di un ecosistema partecipativo ampio e standardizzato che rafforzi l'interazione tra le parti interessate per costruire l'accettazione e contrastare la disinformazione; organizzazione di workshop tra esperti tecnici e autorità pubbliche per scambiare opinioni e allineare le prospettive sulla sicurezza; e co-creazione di protocolli di emergenza con i vigili del fuoco.

L'implementazione di questo modello accelererà l'implementazione sicura, ridurrà gli oneri amministrativi e rafforzerà la fiducia del pubblico, avviando un circolo virtuoso tra innovazione e governance del rischio.



9 Appendice A

i. Linee guida dell'UE

La tabella seguente include alcune linee guida di sicurezza identificate durante HYPOP che possono essere prese in considerazione per esplorare diversi approcci e iniziare a sviluppare le proprie linee guida basate sul proprio approccio alla sicurezza e apportando modifiche o adattamenti da altre migliori pratiche.

Tabella 20 Linee guida UE in materia di sicurezza identificate nell'ambito del progetto HYPOP

Paese	Impatto	Argomenti	Settori	Entità	Conclusioni
Svizzera¹¹	Nazionale	Sicurezza/Autorizzazioni	Produzione di H ₂	Associazione di produttori di H ₂ , aziende, autorità nazionale	<p>Il quadro normativo in materia di autorizzazioni si basa su interazioni semplificate tra le autorità pubbliche, in cui lo scambio di informazioni per i diversi tipi di autorizzazioni è gestito da un'autorità principale.</p> <p>Sono necessari due permessi principali: edilizio ed elettrico. Il permesso edilizio include autorizzazioni ambientali come la valutazione di impatto ambientale se:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lo stoccaggio di gas supera i 50.000 m³ o, nel caso di stoccaggio di liquidi, supera i 5.000 m³;

¹¹

<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/11554&ved=2ahUKEwiEu47S3N-OAxU8cvEDHQm-Hv4QFnoECAkQAQ&usg=AOvVaw2qMyiJ0ZB6GKrH3iWeuf5f>



Paese	Impatto	Argomenti	Settori	Entità	Conclusioni
					<ul style="list-style-type: none"> L'area operativa dell'impianto supera i 5.000 m² o se i prodotti chimici sintetizzati superano le 1.000 tonnellate all'anno. <p>Aspetti di sicurezza:</p> <ul style="list-style-type: none"> norme armonizzate a livello intercantonale come la prevenzione degli incendi; riferimento giuridico per atmosfere potenzialmente esplosive, VUV (equivalente ad ATEX 1999/92/CE)
Paesi Bassi ¹²	Nazionale	Sicurezza	Mobilità (stazioni di rifornimento o di idrogeno, HRS)	H ₂ esperti incaricati dalle autorità	Le linee guida sulla sicurezza delle HRS (valutate dai comuni o dalle province) fungono da regolamento. Le distanze di sicurezza interne (fino a 8,5 metri) sono calcolate attraverso l'applicazione di una metodologia basata sulla valutazione quantitativa del rischio, un software (SAFETI-NL NL v6.5.4) e le definizioni e i concetti di sicurezza dell'Associazione europea dei gas industriali (EIGA) IGC Doc 75/07/E "Determinazione delle distanze di sicurezza". La normativa (o le linee guida) raccomanda inoltre di prendere in considerazione misure di mitigazione come firewall per ridurre l'escalation, o la modifica della progettazione delle attrezzature e/o delle condizioni operative per ridurre la gravità e/o la probabilità dell'incidente se le distanze di sicurezza risultanti sono troppo grandi per la progettazione dell'HRS.

¹²

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://content.publicatiereeksgevaarlijkstoffennl/documents/PGS35/PGS%252035%2520voor%2520website%2520ondertekend.pdf&ved=2ahUKEwiuzPrr3N-OAxW4Q_EDHchUMjYQFnoECBcQAQ&usg=AOvVaw05GoR5M1E9FmV_6igboH zr



Paese	Impatto	Argomenti	Settori	Entità	Conclusioni
Spagna ¹³	Nazionale	Sicurezza	H ₂ Produzione Mobilità Residenziale	Associazione delle imprese	<p>Le linee guida illustrano l'approccio spagnolo alla sicurezza basato sulle prestazioni, descrivendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • le metodologie di analisi dei rischi più rilevanti, la loro funzione e i loro obiettivi e la fase di applicazione nel progetto; • l'identificazione di potenziali lacune normative a livello nazionale, le raccomandazioni degli esperti e la presentazione di regolamenti, codici e norme internazionali (RCS) per la sicurezza degli impianti a idrogeno. <p>Vengono riportati gli elementi chiave che influenzano la sicurezza degli impianti a idrogeno (anche per la produzione di H₂ in loco):</p> <ul style="list-style-type: none"> • definizione delle zone di esclusione in cui l'accesso è limitato; • distanze di sicurezza e misure di mitigazione influenzate da scenari di esplosione; • fuoriuscita di H₂ nell'aria che richiede adeguati sistemi di ventilazione per tutte le zone ATEX; • sistemi di rilevamento di gas e incendi.

ii. Prove dell'esistenza di normative per la sicurezza dei progetti H₂ nell'UE

¹³ <https://bequinor.org/general/guia-de-seguridad-del-hidrogeno-de-bequinor/>



Di seguito sono riportate alcune norme di sicurezza identificate in HYPOP, classificate in base al tipo di approccio alla sicurezza ed elencando i principali requisiti di sicurezza. Per ulteriori informazioni, si prega di fare riferimento al Deliverable 2.1 di HYPOP.

Tabella 21 Normative di sicurezza UE esistenti per i progetti H₂

Paese	Applicazione H ₂	Riferimento	Requisiti principali	Approccio alla sicurezza
Italia	Produzione di H ₂	Decreto del 7 luglio 2023 del Ministero dell'Interno: "Norme tecniche antincendio per l'individuazione delle metodologie di analisi dei rischi e delle misure di sicurezza antincendio da adottare nella progettazione, costruzione e gestione degli impianti di produzione di idrogeno mediante elettrolisi e dei relativi sistemi di stoccaggio". ¹⁴	<ul style="list-style-type: none"> • Distanze di sicurezza da 3 m a 5 m (P<10bar) • Distanze di sicurezza da 15 m a 30 m (700 <P<1000 bar) 	Prescrittivo
Italia	HRS	Decreto del 23 ottobre 2018 del Ministero dell'Interno: "Norme tecniche antincendio per la progettazione, la costruzione e l'esercizio degli impianti di distribuzione di idrogeno per autoveicoli". ¹⁵	Distanze di sicurezza da 12 m a 30 m	Prescrittivo

¹⁴ <https://www.vigilfuoco.it/media/notizie/gu-decreto-7-luglio-2023-impianti-di-produzione-di-idrogeno-mediante-elettrolisi-e-relativi-sistemi>

¹⁵ <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/11/05/18A07049/SG>



Paese	Applicazione H2	Riferimento	Requisiti principali	Approccio alla sicurezza
Spagna	HRS	Real Decreto 919/2006, de 28 de julio (ITC-ICG 5) ¹⁶	ISO/TS 19880-1:2020 "Idrogeno gassoso - Stazioni di rifornimento - Parte 1: Requisiti generali	Prestazioni
Spagna	Residenziale	Decreto reale 656/2017, Regolamento sullo stoccaggio di prodotti chimici e relative istruzioni tecniche complementari MIE APQ da 0 a 10 ¹⁷ (MIE APQ-1; MIE APQ-5; MIE APQ-10).	<ul style="list-style-type: none"> • In base alla quantità immagazzinata; • Distanze di sicurezza tra apparecchiature pericolose - 3 m / 6 m o parete divisoria 	Prescrittivo
Polonia	HRS	Regolamento del Ministro del Clima e dell'Ambiente del 21 ottobre 2022 sui requisiti tecnici dettagliati per le stazioni di rifornimento di idrogeno (Gazzetta ufficiale 2022, voce 2158) ¹⁸	<ul style="list-style-type: none"> • norme ISO 1988-1 e EN ISO 17127 • norme ISO 19880-2 e EN ISO 17268 	Prestazioni

¹⁶ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-15345#itcicg05>

¹⁷ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2017-8755>

¹⁸ <https://www.gov.pl/web/klimat/rozporzadzenie-ministra-klimatu-i-srodowiska-w-sprawie-szczegolowych-wymagan-technicznych-dla-stacji-wodoru>



Paese	Applicazione H2	Riferimento	Requisiti principali	Approccio alla sicurezza
Bulgaria	HRS + produzione di H2 in loco	Regolamento n. RD-02-20-2 del 28 settembre 2020 relativo alle "Condizioni e procedure per la progettazione, la costruzione, la messa in servizio e il controllo delle stazioni di rifornimento di veicoli a idrogeno" ¹⁹	<ul style="list-style-type: none"> • Distanze di sicurezza fino a 15 m. • BDS ISO 16111 "Dispositivi portatili di stoccaggio del gas. Idrogeno assorbito in idruri metallici reversibili • BDS EN ISO 17268 "Dispositivi di connessione per il rifornimento di veicoli stradali con idrogeno gassoso (ISO17268:2012)". • BDS EN 17127 "Punti di rifornimento di idrogeno all'aperto, erogazione di idrogeno gassoso e , 	Prescrittivo

¹⁹ <https://lex.bg/bg/laws/ldoc/2137206003>



Paese	Applicazione H2	Riferimento	Requisiti principali	Approccio alla sicurezza
			<p>compresi i protocolli di rifornimento";</p> <ul style="list-style-type: none"> • BDS EN 60079-10-1 "Atmosfere esplosive. Parte 10-1: Classificazione delle aree. Atmosfere gassose esplosive". 	
Repubblica Ceca	HRS	Metodologia per la costruzione e il funzionamento di stazioni di rifornimento di idrogeno compresso per dispositivi mobili ²⁰ (linea guida applicata ufficialmente)	Distanze di sicurezza da 3 m a 8 m	Prescrittivo
Francia	HRS	Arrêté du 22 octobre 2018 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration	Distanze di sicurezza da 6 m a 14 m (riduzione a max 10 m)	Prescrittivo/Prestazionale

²⁰ <https://hzscr.gov.cz/clanek/metodika-vystavby-a-provozu-plnicich-stanic-stlaceneho-vodiku-pro-mobilni-zarizeni.aspx>



Paese	Applicazione H2	Riferimento	Requisiti principali	Approccio alla sicurezza
		sous la rubrique n° 1416 (station de distribution d'hydrogène gazeux) ²¹		
Francia	Residenziale	Decreto del 12 febbraio 1998 «Requisiti generali applicabili agli impianti classificati per la protezione dell'ambiente soggetti a dichiarazione alla voce n. 4715). ²²	<ul style="list-style-type: none"> • Distanze di sicurezza interne 5 m • Distanze di sicurezza all'aperto 8 m 	Prescrittivo
Germania	HRS	<i>Linee guida per l'approvazione delle stazioni di rifornimento di idrogeno</i> ²³	<ul style="list-style-type: none"> • ISO 19880-1:2020 Idrogeno gassoso – Stazioni di rifornimento – Parte 1: Requisiti generali • TRGS 720: Miscele esplosive pericolose – Informazioni generali 	Prestazioni

²¹ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000037519292/>

²² <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000571176>

²³ https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2022/03/NOW_Genehmigungleitfaden_H2-Tankstellen.pdf&ved=2ahUKewibqrl0vt-OAxU_V6QEHabPPCEQFnoECAkQAQ&usg=AOvVaw1DDVCWjEDp6w9zjCd4ybOy



Paese	Applicazione H2	Riferimento	Requisiti principali	Approccio alla sicurezza
			<ul style="list-style-type: none"> • TRGS 727: Prevenzione dei rischi di accensione dovuti a cariche elettrostatiche c • TRGS 745: Contenitori portatili per gas compressi – Riempimento, stoccaggio, trasporto interno e svuotamento 	
Paesi Bassi	HRS	PGS35 "Impianti per la fornitura di idrogeno a veicoli e macchinari" ²⁴	<ul style="list-style-type: none"> • Distanze di sicurezza da 2 m a 8,5 m • software (SAFETI-NL v6.5.4), • concetti di sicurezza dell'Associazione europea dei gas industriali (EIGA) 	Prestazioni

²⁴ <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/pgs35/>



Paese	Applicazione H2	Riferimento	Requisiti principali	Approccio alla sicurezza
			<ul style="list-style-type: none"> • IGC Doc 75/07/E "Determinazione delle distanze di sicurezza" 	
Croazia	Industria, HRS, residenziale	Basato su NFPA-2/2020 "Codice sulla tecnologia dell'idrogeno" (non normativa nazionale)	<ul style="list-style-type: none"> • Distanze di sicurezza dallo stoccaggio di idrogeno compresso comprese tra 1,5 m e 14 m a seconda delle apparecchiature coinvolte. 	Prestazioni

iii. Riferimenti di base dell' e per regolamenti, codici e norme (RCS)

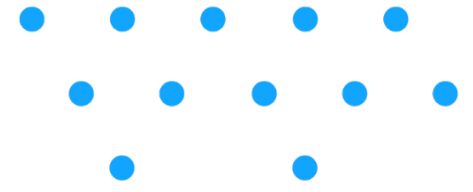
La tabella seguente include alcuni RCS di base che potrebbero essere verificati. Per ulteriori dettagli sulle norme, si consiglia di consultare sia il Deliverable 2.3 che le Linee guida per la certificazione D4.5 di HYPOP.

Tabella 22 Riferimenti di base per regolamenti, codici e norme

Norme e regolamenti utili per la sicurezza dell'idrogeno



Protezione contro le esplosioni: IEC/EN 60079 e ISO/IEC 80079;
ISO 22734 - Generatori di idrogeno mediante elettrolisi dell'acqua - Applicazioni industriali, commerciali e residenziali: richiede ai produttori di elettrolizzatori di eseguire una valutazione dei rischi. A seconda della posizione finale dell'apparecchiatura, i proprietari/operatori dell'impianto potrebbero dover eseguire una propria valutazione aggiuntiva sul generatore di idrogeno, applicando la classificazione delle zone utilizzando la norma IEC 60079-10-1 o una norma nazionale appropriata
ISO 19880 - Idrogeno gassoso - Stazioni di rifornimento
Classificazione delle zone e metodi di protezione dall'accensione secondo IEC 60079, ISO/IEC 80079 e NFPA 2
ISO/TR 15916 - Considerazioni di base per la sicurezza dei sistemi a idrogeno
Risorse aggiuntive (con riferimenti)
Database dei codici e delle norme relativi all'idrogeno e alle celle a combustibile: https://h2tools.org/fuel-cell-codes-and-standards?search_api_fulltext=
Guida EIGA: SISTEMI DI CONDOTTE PER IDROGENO https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC121.pdf&ved=2ahUKEwja-uC4d-OAxVmVqQEHaObHnkQFnoECBUQAQ&usg=AOvVaw2Xm3-VobjG-Flg0-Bkki3n
Guida EIGA: LINEE GUIDA PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO SU PICCOLA SCALA https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.eiga.eu/ct_documents/doc246-pdf/&ved=2ahUKEwja-uC4d-OAxVmVqQEHaObHnkQFnoECBYQAQ&usg=AOvVaw1ue2JTdrcuiEf8Qz9O5yME
Guida NFPA: misure di sicurezza fondamentali per la generazione, l'installazione, lo stoccaggio, il trasporto, l'uso e la manipolazione dell'idrogeno sotto forma di gas compresso https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-2-standard-development/2&ved=2ahUKEwi-1L724d-OAxW4KvsDHU5HIzYQFnoECAkQAQ&usg=AOvVaw3X4Is3hYFY0_tlrRBIw7D8





iv. Workshop tecnici HYPOP

Workshop tecnico: Spagna

I due workshop organizzati in Spagna dal Centro Nacional de Hidrogeno hanno previsto presentazioni sul progetto HYPOP e discussioni con il pubblico, composto principalmente da aziende. I risultati più significativi di questi workshop hanno riguardato le principali sfide/barriere incontrate nella dimostrazione della sicurezza delle tecnologie a idrogeno.

Le principali sfide e ostacoli sono stati riassunti nelle seguenti categorie:

- **Conoscenza:** sono stati evidenziati anche come problemi la mancanza di informazioni e di consapevolezza (generalmente da parte delle amministrazioni), la disponibilità di infrastrutture precedenti e la mancanza di precedenti.
- **Opinione pubblica:** credibilità, consapevolezza sociale (combattere i falsi miti, sensibilizzare la società sul fatto che l'H2 è presente da decenni) e questioni sociali.
- **Regolamentazione e certificazione:** mancanza di una regolamentazione specifica, mancanza di una regolamentazione specifica unica, certificazione, migliori pratiche standardizzate, omogeneità.
- **Prevenzione ambientale.**
- **Questioni tecnico-economiche:** costi, questioni economiche, domanda, utilizzo della tecnologia, ore di funzionamento dei macchinari, anticipazione del degrado delle attrezzature di stoccaggio, progettazione degli impianti, stoccaggio, distribuzione, avvicinamento dell'H2 alle persone attraverso l'HRS.
- **Sicurezza:** la scarsa consapevolezza in materia di sicurezza e la difficoltà di rilevare le fughe di idrogeno sono stati altri argomenti affrontati. Aspetti generali su questo tema, come le zone esplosive, il range di infiammabilità dell'H2, i valori di pressione nella



generazione e nello stoccaggio dell'H₂, la mancanza di dati su incidenti precedenti (per convalidare il livello di sicurezza). Sviluppo, diffusione e applicazione di misure di sicurezza passive e attive.

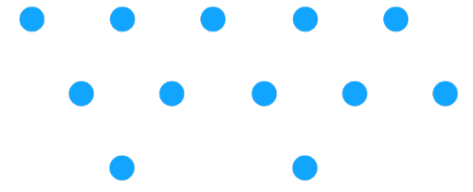
Workshop tecnico: Italia

Il workshop italiano si è svolto durante l'Hydrogen Expo Piacenza. Il workshop è stato organizzato da ENVIPARK in collaborazione con l'Associazione Italiana Idrogeno e Celle a Combustibile (H₂IT) e ha visto la partecipazione di aziende private e autorità pubbliche.

È stata organizzata una tavola rotonda per discutere i principali ostacoli incontrati dagli stakeholder del settore dell'idrogeno in Italia. Le principali criticità individuate sono state la scarsa esperienza e percezione delle autorità pubbliche nei confronti dell'idrogeno e le incertezze relative all'interpretazione e all'applicazione delle norme di sicurezza esistenti a livello nazionale.

Attraverso le discussioni, sono stati raccolti i principali risultati dei relatori e del pubblico per sviluppare una probabile discussione sul coinvolgimento delle autorità di sicurezza. I passaggi principali sono stati riportati qui:

- **Presentazione del progetto (sicurezza):** presentare il progetto al comando dei vigili del fuoco, rendendolo più facile da comprendere e accelerando il processo di approvazione.
- **Riferimenti normativi:** esaminare con i vigili del fuoco quali decreti ministeriali e regolamenti si applicano a ciascuna sezione dell'impianto.
- **Questioni critiche:** analizzare le potenziali criticità del progetto e identificare misure di mitigazione adeguate.
- **Esigenze:** implementare le normative di sicurezza esistenti introducendo condizioni specifiche per ogni possibile dimensione del progetto e tecnologia installata.
- **Strumenti:** richiedere una valutazione dei rischi e specificare la metodologia desiderata.
- **Approccio:** ragionare sulla probabilità degli scenari di incidente piuttosto che sulla gravità.





Workshop tecnico: Belgio

CLUSTER TWEED ha organizzato un workshop online che ha coinvolto un'azienda specializzata in servizi ambientali e di sicurezza, un'azienda privata che ha implementato un progetto sull'idrogeno nella **catena di negozi alimentari**, un'azienda dedicata alla rete di distribuzione di gas ed elettricità e la **Libera Università di Bruxelles**. CLUSTER TWEED ha condotto una presentazione incentrata sulla situazione attuale in Belgio e nei paesi limitrofi. La sessione si è conclusa con una breve sessione di domande e risposte che ha evidenziato come la questione principale quando si affronta la sicurezza dei progetti sull'idrogeno non sia l'aspetto tecnico, ma piuttosto l'accettazione da parte degli stakeholder nel renderlo accettabile. A causa di un quadro amministrativo poco chiaro in Vallonia, le autorità pubbliche temono generalmente questa nuova tecnologia. Poiché l'amministrazione non ha competenze in materia di idrogeno, spesso fa riferimento alle normative SEVESO, anche per progetti di piccole dimensioni. In assenza di criteri di accettazione specifici, si seguono i criteri SEVERO, che sono molto restrittivi per i progetti relativi all'idrogeno, come le stazioni di rifornimento di idrogeno. Tutti i partecipanti hanno convenuto che **la formazione e la sensibilizzazione delle autorità sono essenziali** e che l'industria può partecipare in prima linea a questo processo.

Workshop tecnico: Bulgaria

Il workshop bulgaro si è tenuto presso l'Accademia bulgara delle scienze a Sofia. Alcuni dei partecipanti erano rappresentanti delle seguenti organizzazioni: l'Agenzia statale per la meteorologia e la supervisione tecnica, l'Accademia bulgara delle scienze, varie università, comuni e i servizi nazionali antincendio e di sicurezza civile.

A causa delle significative lacune normative in Bulgaria, il workshop ha affrontato in termini generali quali fossero le principali esigenze da affrontare. Il Servizio nazionale per la sicurezza antincendio e la protezione civile ha informato i partecipanti di tutti i requisiti legali e normativi e degli esempi pratici relativi alla produzione, allo stoccaggio e all'uso dell'idrogeno. I partecipanti hanno quindi espresso il parere che le autorità statali dovrebbero adottare un approccio proattivo e introdurre più rapidamente norme legislative per consentire alle imprese di adottare l'idrogeno su larga scala. Come esempio dei prossimi passi che vedremo per la Bulgaria, sarà istituito un gruppo di lavoro di esperti



specificamente dedicato alle autorizzazioni per i progetti relativi all'idrogeno. I partecipanti hanno espresso la speranza che questo gruppo dia un impulso positivo ai progetti relativi all'idrogeno e alle relative autorizzazioni.

Workshop tecnico: Polonia

Il workshop mirava a presentare al pubblico il progetto HYPOP (Hydrogen Public Opinion and Acceptance) e ad avviare una discussione interregionale approfondita e costruttiva sul potenziale e sulle sfide legate all'economia dell'idrogeno. L'incontro ha riunito rappresentanti di vari settori: industria, pubblica amministrazione ed esperti ambientali. Questa presenza intersettoriale ha garantito una visione olistica dello sviluppo dell'economia dell'idrogeno.

Durante la sessione di discussione, i partecipanti hanno condiviso esperienze, esigenze e sfide relative all'attuazione del progetto sull'idrogeno. Sono state individuate le seguenti questioni chiave:

- Complessità e mancanza di trasparenza nelle procedure amministrative; mancanza di standard locali uniformi
- Competenza amministrativa insufficiente negli aspetti tecnici e giuridici degli impianti a idrogeno
- Assenza di strumenti di comunicazione pubblica coerenti e di meccanismi di coinvolgimento dei cittadini
- Potenziale non sfruttato di sinergia con i progetti finanziati dall'UE
- Necessità di linee guida unificate per la regione della Pomerania.



v. Analisi tecnica dei requisiti di sicurezza e delle barriere: integrazione da HYPOP D2.1

Le informazioni fornite in questa sezione dell'appendice intendono integrare l'analisi tecnica dei requisiti di sicurezza per i progetti relativi all'idrogeno che figura nel documento D2.1. Questo lavoro è stato svolto (anche nel caso delle autorizzazioni) parallelamente all'organizzazione di workshop di coinvolgimento delle parti interessate. **Ulteriori informazioni, risultati e confronti con altri paesi sono disponibili nel documento HYPOP Deliverable 2.1.**

CROAZIA

La Croazia non dispone attualmente di un quadro giuridico specifico per l'idrogeno nei settori industriale, della mobilità o residenziale. Si applicano le normative esistenti relative ai gas infiammabili, alla sicurezza delle costruzioni e all'energia, spesso in combinazione con le direttive dell'UE. Per la mobilità e l'uso industriale si seguono le norme dell'UE, mentre nel settore residenziale l'idrogeno è ancora in fase pilota.

Le principali sfide condivise dalle parti interessate quando si tratta di permessi relativi all'idrogeno includono:

- mancanza di un quadro giuridico chiaro e specifico;
- requisiti di sicurezza aggiuntivi;
- interpretazioni e procedure diverse tra comuni e contee.

Requisiti generali di sicurezza

I limiti quantitativi delle sostanze pericolose che devono essere stoccate nel sito dell'impianto devono essere verificati in conformità con **l'allegato IA del regolamento sull' e per la prevenzione degli incidenti rilevanti che coinvolgono sostanze pericolose (OG, 44/14, 78/15, 31/17, 45/17):**

Tabella 23 Quantità limite di sostanze pericolose dal regolamento sulla prevenzione degli incidenti rilevanti che coinvolgono sostanze pericolose

Numero di serie	Sostanza pericolosa	Quantità limite inferiori di sostanze pericolose (in tonnellate)	
		Piccole quantità	Grandi quantità



Allegato IA, parte 2			
15	Idrogeno	5	50

Inoltre, poiché l'idrogeno è definito come una sostanza pericolosa che, in caso di fuoriuscita, può causare un'atmosfera esplosiva e possibili esplosioni, sono state definite zone di pericolo e distanze di sicurezza. Poiché la legislazione croata attualmente non contiene norme che definiscono le distanze di sicurezza dei serbatoi di idrogeno compresso da altri edifici e fonti di incendio, **si applica la norma NFPA-2/2020**, i cui valori sono riportati di seguito:

Tabella 24 Distanze di sicurezza dalla norma NFPA-2/2020 (dalla Croazia)

TIPI DI OGGETTI POTENZIALI NELLE VICINANZE DI UN'AUTOCISTERNA DI IDROGENO COMPRESSO ("TUBE TRAILER")	DISTANZA MINIMA DA UN SERBATOIO DI IDROGENO COMPRESSO (m)
EDIFICI RESISTENTI AL FUOCO	5,8
EDIFICI INFIAMMABILI O A BASSA INFIAMMABILITÀ	5,8
VEICOLI IN SOSTA	7,3
AUTOSTRADE PUBBLICHE, FERROVIE E ALTRE SUPERFICI DI PROPRIETÀ DI TERZI	14
SERBATOI DI IDROGENO LIQUIDO	1,5
LUOGHI DI RITROVO PUBBLICI	14
BANDI APERTI	14
SERBATOI DI OSSIGENO LIQUIDO	5,8
SERBATOI PER LIQUIDI INFIAMMABILI	5,8



TIPI DI OGGETTI POTENZIALI NELLE VICINANZE DI UN'AUTOCISTERNA DI IDROGENO COMPRESSO ("TUBE TRAILER")	DISTANZA MINIMA DA UN SERBATOIO DI IDROGENO COMPRESSO (m)
SERBATOI SOTTERRANEI VALVOLE DI RESPIRAZIONE	5,8
COMBUSTIBILI LIQUIDI	5,8
MATERIALI SOLIDI INFIAMMABILI (STOCCAGGIO DI COMBUSTIBILI) SOLIDI)	14
PRESE D'ARIA DEI COMPRESSORI	14
ALTRE STRUTTURE	14

CIPRO

Il coinvolgimento delle parti interessate ha portato all'analisi del principale progetto H₂attivo a Cipro. Il **progetto GreenH₂CY** è una delle poche iniziative a Cipro che integra la **produzione, lo stoccaggio e l'uso di idrogeno rinnovabile specificamente per il trasporto su strada**. Finanziato nell'ambito **del bando del Fondo per l'innovazione 2022**, il progetto mira a includere nello stesso sito:

- L'installazione e il funzionamento di un **elettrolizzatore a membrana a scambio protonico (PEM) da 2 megawatt (MW)** composto da due stack di elettrolisi da 1 MW (capacità produttiva di 150 tonnellate/anno);
- **Un impianto di stoccaggio dell'idrogeno** composto da due unità di stoccaggio (2 × 500 kg);
- **Una stazione di rifornimento di idrogeno** nella stessa sede.

Gli stakeholder del progetto sono impegnati **da oltre due anni** nel **processo di autorizzazione**, affrontando sfide significative a causa della **mancanza di formazione in materia di idrogeno da parte delle autorità**, sia a livello locale che nazionale. Al contrario, **la percezione del**



pubblico e il coinvolgimento della comunità sono stati molto positivi, con il progetto descritto come un'opportunità per decarbonizzare il settore dei trasporti.

Future Fuels Ltd, il coordinatore del progetto, ha contribuito al progetto HYPOP con queste informazioni relative **alla sicurezza e alle procedure di autorizzazione**.

Dal **punto di vista della sicurezza**, i **vigili del fuoco** sono l'autorità competente per il rilascio delle autorizzazioni relative alla sicurezza. Poiché **non esistono linee guida tecniche o normative specifiche per l'idrogeno**, l'unico riferimento normativo noto è la **direttiva SEVESO**. Tuttavia, a causa della sua **inapplicabilità ai progetti pilota su piccola scala** (al di sotto della soglia di 5 tonnellate) e **dei suoi rigorosi requisiti di sicurezza**, alla fine è stata presa in considerazione ma **non applicata**.

La procedura ha invece previsto l'analisi **delle linee guida esistenti per i combustibili convenzionali** e la presentazione **di una relazione sulla sicurezza** ai Vigili del Fuoco, compresi i risultati di una **valutazione dei rischi** che evidenziava **il rischio di esplosione dello stoccaggio di idrogeno** e le **distanze di sicurezza richieste** tra l'unità di stoccaggio e i confini esterni del sito.

REPUBBLICA CECA

I **vigili del fuoco regionali** (a livello distrettuale) sono le **autorità competenti in materia di sicurezza**. Attualmente **non esistono gruppi di lavoro o iniziative specifiche volte a raccogliere le migliori pratiche e le esperienze condivise**. In pratica, **ogni progetto viene gestito come un caso a sé stante**.

Al momento, l'esperienza pratica per la mobilità a idrogeno nel paese si basa su quattro stazioni di rifornimento di idrogeno a 700 bar: una a Ostrava gestita da VÍTKOVICE, a.s., due (una a Praga e una a Litvinov) gestite da ORLEN Unipetrol e una vicino a Praga gestita da ČEPRO, a.s.

Nella Repubblica Ceca esistono linee guida per lo sviluppo delle stazioni di rifornimento di idrogeno. È possibile consultarle al seguente link: <https://hzscr.gov.cz/clanek/metodika-vystavby-a-provozu-plnicich-stanic-stlaceneho-vodiku-pro-mobilni-zarizeni.aspx>.

Le caratteristiche principali delle linee guida per le stazioni di rifornimento di idrogeno sono riportate di seguito.



Queste linee guida sono state elaborate in assenza di una normativa ufficiale e fungono quindi, di fatto, da standard de facto. Esse definiscono una metodologia che stabilisce le condizioni di base per la costruzione di nuove stazioni di rifornimento di idrogeno compresso per attrezzature mobili, in particolare per i veicoli di trasporto.

Descrivono inoltre una serie di metodi, utilizzati singolarmente o in combinazione, per la prevenzione degli incidenti, la mitigazione dei danni e le procedure di risposta alle emergenze in caso di atmosfere infiammabili o esplosive. Il documento è stato redatto grazie alla collaborazione tra enti pubblici e privati insieme all'organismo di certificazione indipendente TÜV NORD e contiene disposizioni sia sulla sicurezza antincendio che sulle procedure di autorizzazione.

Per la scelta del sito, la progettazione, la costruzione, la messa in servizio, il funzionamento e la manutenzione, si basa sull'esperienza di impianti comparabili e sulle normative relative al GNC e al GPL, nonché sulle lezioni apprese dalla progettazione, costruzione, gestione e manutenzione della prima (e finora unica) stazione di rifornimento di idrogeno compresso a Neratovice e sulle norme tecniche riconosciute a livello internazionale adottate dalla Repubblica Ceca. Il documento **non** tratta la produzione di idrogeno in loco né l'uso di idrogeno liquido. Tuttavia, la metodologia riguarda vari tipi di stazioni, pubbliche o private, con capacità di rifornimento lento o rapido.

Struttura delle linee guida

- **Definizioni, terminologia e riferimenti normativi applicabili**
- **Requisiti tecnici e amministrativi per la presentazione di un progetto di stazione di rifornimento**
- **Raccomandazioni sulle caratteristiche del sito e sulla progettazione della stazione**
- **Test per la convalida del sistema**

Questa struttura riflette un **approccio prescrittivo alla sicurezza**, fornendo indicazioni chiare al progettista. I principali riferimenti in materia di sicurezza antincendio per lo sviluppo di una stazione di rifornimento di idrogeno sono:

- **ČSN 73 0802** (sicurezza antincendio degli edifici non produttivi)



- ČSN 73 0804 (sicurezza antincendio degli edifici produttivi)

Riferimento chiave aggiuntivo: ISO/TS 19880-1 – Idrogeno gassoso – Stazioni di rifornimento – Parte 1: Requisiti generali.

Requisiti generali di sicurezza

- La distanza minima tra i distributori deve impedire la sovrapposizione di zone a rischio di esplosione.
- Tutti i componenti della stazione devono essere protetti dai danni meccanici causati dal funzionamento dei veicoli a motore.
- Le tubazioni dell'idrogeno devono essere conformi alla norma EN 13480-3 – Tubazioni metalliche industriali, Parte 3: Progettazione e calcolo.
- I serbatoi di stoccaggio a pressione devono essere conformi alla norma EN ISO 11114-4 – Bombole per il trasporto di gas, Parte 4: Metodi di prova per la selezione di acciai resistenti all'infragilimento da idrogeno.
- I distributori devono essere installati all'aperto sotto una tettoia realizzata interamente con materiali non combustibili (compresa la copertura).

Tabella 25 Distanze di sicurezza richieste nella Repubblica Ceca

Categoria di distanza	Distanza (m)
Da fonti di calore e fiamme libere	5
Zona a rischio di incendio ed esplosione creata da apparecchiature di stoccaggio e pressione	5
Da strade pubbliche e parcheggi	8



Da edifici con fiamme libere, superfici/edifici combustibili e prese d'aria	8
Da serbatoi e depositi di GPL	8
Da apparecchiature a metano e GNL	8
Dal compressore	3

Documentazione richiesta per la progettazione e l'approvazione edilizia (l'elenco dettagliato è riportato nelle linee guida; i riferimenti principali includono):

- **Legge n. 133/1985 Coll.** sulla protezione antincendio (e successive modifiche)
- **Legge n. 505/1990 Coll.** sulla metrologia (e successive modifiche)
- **ČSN 1127-1** - Atmosfere esplosive - Prevenzione e protezione contro le esplosioni - Parte 1: Concetti di base e metodologia
- **Decreto n. 499/2006 Coll.** sulla documentazione edilizia (e successive modifiche)
- **Decreto n. 169/2016 Coll.** sull'ambito di applicazione della documentazione per gli appalti di lavori pubblici e l'inventario dei lavori di costruzione, delle forniture e dei servizi, modificato dal **decreto n. 405/2017 Coll.**



- ISO 26142 – Apparecchiature di rilevamento dell'idrogeno – Applicazioni fisse
- IEC 61000 – Compatibilità elettromagnetica (EMC)
- ČSN 73 0810 – Sicurezza antincendio degli edifici – Disposizioni generali

Non esistono invece prove dell'esistenza di linee guida o normative specifiche per gli impianti di produzione di idrogeno, come indicato al seguente link: <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/policies-and-standards/national-policy> Ciononostante, nel Paese sono previsti alcuni processi di produzione di idrogeno: Green Mine (2027, Most, Regione di Ústí nad Labem), dove sarà costruito un elettrolizzatore nell'ambito del progetto Green Mine (produzione annua di 360 tonnellate); un progetto in cui l'idrogeno prodotto da un elettrolizzatore è collegato all'eccesso di energia fotovoltaica prodotta. Il progetto dovrebbe essere avviato nel 2027 ed è gestito da ORLEN Unipetrol (produzione annua di 4500 tonnellate).

Al momento, nella Repubblica Ceca sono attivi solo pochi progetti relativi all'idrogeno. Sono state costruite e sono operative alcune stazioni di rifornimento di idrogeno (HRS), oltre a un progetto che prevede la produzione di idrogeno tramite elettrolizzatori alimentati da un parco fotovoltaico. Tuttavia, questi progetti hanno in comune la caratteristica di essere situati in **aree industriali**, spesso su **terreni di proprietà di aziende private**, in particolare nel **settore chimico**. Ciò influenza sia il **tipo di autorità pubbliche coinvolte** sia **la loro esperienza e percezione** di tali progetti, evidenziando al contempo una generale **mancanza di esperienza** in contesti pubblici o urbani.

Il progetto di produzione di idrogeno attualmente in fase di autorizzazione non sta incontrando grandi difficoltà in termini di procedure di sicurezza, soprattutto perché è situato vicino ad aree in cui le aziende chimiche operano abitualmente con altri gas esplosivi. **L'unica sfida** incontrata è stata la necessità di implementare **ulteriori norme e misure di sicurezza** per rispondere alle preoccupazioni sollevate dai **vigili del fuoco** a causa della vicinanza del sito alle **linee ferroviarie**.

Attualmente, **non** esistono **norme di sicurezza nazionali o regionali specifiche** per i progetti relativi all'idrogeno nella Repubblica Ceca, né per le stazioni di rifornimento di idrogeno senza produzione in loco né per gli impianti di produzione di idrogeno. Per le stazioni di rifornimento di idrogeno esistenti, sono state seguite **le norme standard per le stazioni di rifornimento di gas naturale e GPL** (insieme alle linee guida che fungono da metodologia). Inoltre, sono richiesti l'installazione di **rilevatori di gas**, un'adeguata **suddivisione in zone ATEX** e un'**analisi dei**



rischi. Vengono applicate alcune **distanze di sicurezza prescrittive**, ma queste possono essere **superate previa discussione con i vigili del fuoco**, a condizione che siano comunque rispettati **i criteri minimi di sicurezza**. Ciò è generalmente possibile grazie alla **competenza tecnica e all'apertura dei vigili del fuoco**, abituati a lavorare in contesti industriali.

LITUANIA

Una delle principali rappresentanti del progetto del porto di Klaipėda, attualmente l'iniziativa più avanzata in Lituania nel campo dell'idrogeno, è stata coinvolta e ha condiviso la sua opinione. Il progetto prevede la costruzione di un impianto di produzione di idrogeno in loco e di una stazione di rifornimento all'interno del porto. Dotato di un elettrolizzatore da 1,25 MW, l'impianto produrrà circa 531 kg di idrogeno al giorno e includerà uno stoccaggio in loco per 1.500 kg. L'idrogeno sarà erogato attraverso due unità: una aperta al pubblico e una dedicata al rifornimento dei veicoli del porto (navi ibride di bunkeraggio utilizzate per la raccolta e la gestione dei rifiuti).

Questa iniziativa ha anche fornito l'opportunità di avviare un gruppo di lavoro volto a redigere un quadro normativo nazionale sull'idrogeno per la Lituania.

Attualmente, la Lituania non dispone di normative specifiche in materia di idrogeno. Di conseguenza, tutte le procedure di autorizzazione - che riguardano la sicurezza, l'ambiente e altri aspetti - sono state sviluppate ad hoc in consultazione con le autorità competenti. L'intero processo di autorizzazione ha richiesto più di 2,5 anni e ora è nella fase finale.

Quando l'autorità portuale ha avviato il processo nel 2023, ha proposto due possibili siti di installazione. Uno di essi è stato respinto dai vigili del fuoco perché troppo vicino a un'area utilizzata per la movimentazione di fertilizzanti e quindi considerata pericolosa.

Punti chiave sulla sicurezza:

- È stata richiesta una domanda formale per utilizzare gli standard tedeschi per la costruzione sicura degli impianti e la gestione sicura del lavoro. In particolare, all'inizio di quest'anno il Ministro dell'Energia ha emanato un regolamento che consente l'uso degli standard tedeschi per la progettazione tecnica dei progetti relativi all'idrogeno. Questi sono gli standard applicabili:
 - **Linee guida per l'installazione di stazioni di rifornimento di idrogeno** (*in tedesco: Genehmigungslitfaden Wasserstoff-Tankstellen*);



- **Requisiti generali di sicurezza per le stazioni di rifornimento di idrogeno** secondo la norma ISO 19880-1:2020 (*inglese: Gaseous hydrogen – Fuelling stations – Part 1: General requirements*);
 - **Allegato 1 dell'ordinanza tedesca sulle sostanze pericolose** (*in tedesco: Gefahrstoffverordnung*);
 - **TRGS 720: Miscela esplosiva pericolosa – Informazioni generali** (*in tedesco: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Allgemeines*);
 - **TRGS 727: Prevenzione dei rischi di accensione dovuti a cariche elettrostatiche** (*in tedesco: Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen*);
 - **TRGS 745: Contenitori portatili per gas compressi – Riempimento, stoccaggio, trasporto interno e svuotamento** (*in tedesco: Ortsbewegliche Druckgasbehälter – Füllen, Bereithalten, innerbetriebliche Beförderung, Entleeren*).
- È stata richiesta una valutazione quantitativa del rischio (QRA) che, tra gli altri risultati, ha portato alla definizione di una distanza di sicurezza di circa 5 m intorno alle condutture dedicate all'idrogeno. Le norme vigenti in Lituania riguardano solo pressioni di 200 bar, pertanto la QRA era necessaria per le zone di servizio dell'idrogeno a pressione più elevata.
 - Non è stata avanzata alcuna richiesta specifica di scatole o muri in cemento per separare le attrezzature, ad eccezione di un muro di mitigazione delle esplosioni a protezione del lato del terminale.
 - Sono in discussione ulteriori distanze di sicurezza.
 - È stato richiesto uno studio HAZOP per identificare tutti i potenziali pericoli.
 - Sono state organizzate presentazioni pubbliche per rispondere alle domande della comunità. Molte provenivano da gruppi ambientalisti preoccupati per il consumo di acqua e il rischio di esplosione. Le autorità locali sono state consultate ripetutamente e sono stati presentati esempi di riferimento provenienti dal Regno Unito e dal Giappone.



MALTA

Nel caso di Malta, non sono state trovate informazioni sulle procedure specifiche per l'idrogeno né sulle procedure generali. Sono stati individuati i seguenti elementi di sicurezza:

- Legge XXVII del 2000, come modificata, Legge sull'Autorità per la salute e la sicurezza sul lavoro, Cap 424 delle Leggi di Malta;
- S.L. 424.15 Regolamento sul luogo di lavoro (requisiti minimi di salute e sicurezza);
- S.L. 424.19 Regolamento sul controllo dei rischi di incidenti rilevanti;
- S.L. 424.29 Regolamento sul luogo di lavoro (requisiti minimi di salute e sicurezza per il lavoro nei cantieri edili) abrogato con avviso legale 88 del 201

SLOVACCHIA

HYPOP ha coinvolto un rappresentante della regione di Košice in Slovacchia. L'autorità regionale ha iniziato a lavorare sull'idrogeno circa cinque anni fa e ha contribuito alla stesura di una strategia regionale sull'idrogeno. La parte interessata ha aderito in qualità di coordinatore del progetto **EASTGateH₂ Valley**, recentemente finanziato, che mira a installare un totale di **4 MW di produzione di idrogeno elettrolitico** insieme a una **stazione di rifornimento di idrogeno (HRS)**.

Tempistica del progetto

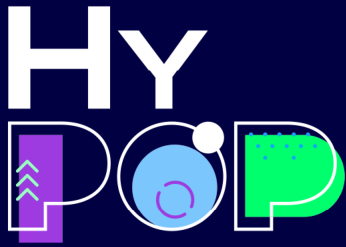
Il progetto sarà realizzato in due fasi principali:

1. **Fase 1** – installazione del primo elettrolizzatore da 2 MW (le autorizzazioni sono ormai in fase avanzata) e primi passi per la HRS co-localizzata;
2. **Fase 2** – installazione della seconda unità da 2 MW.

Informazioni chiave condivise sui temi della sicurezza:



- **Non** esiste ancora **un codice nazionale dedicato alla sicurezza dell'idrogeno**. È quindi necessario un approccio *personalizzato, progetto per progetto*.
- Le associazioni di settore e il Ministero dell'Economia stanno lavorando a una nuova legislazione.
- Per l'attuale valle, i requisiti di sicurezza sono valutati **dall'Autorità di ispezione tecnica** e dal **Consiglio comunale**, con il supporto dei **Vigili del fuoco**, che contribuiscono alla preparazione del piano di gestione della sicurezza e della valutazione dei rischi inclusi nel fascicolo tecnico.



 www.hypop-project.eu

 info@hypop-project.eu

#HYPOPPROJECT



Let's make
the hydrogen
revolution

