



IDROGENO: SOLUZIONI DI STOCCAGGIO E PROGETTAZIONE D IMPIANTI



TECHINT
Engineering & Construction

ght Dunkirk LNG

Montelibretti, 15 novembre

APPARTENIAMO A UN GRUPPO GLOBALE

55,500

Dipendenti a tempo pieno

~22

miliardi USD di fatturato



Tenaris

3.3 million

Tons of seamless and welded pipe shipments

-30% CO2 emissions by 2030

TECHINT

Engineering & Construction

1.3 billion

USD in annual sales

**ERNC & Energy Transition
Solutions Developer**



tenova

920 million

USD in backlog



Ternium

12.5 million

tons steel products* shipment

-20% CO2 emissions by 2030



Tecpetrol

170,000

barrels of oil equivalent production per day

**ERNC & Energy Transition
Solutions Investor**

HUMANITAS

1.0 million

hospital admissions

*Does not include

Esperienza H₂ Verde

SEGUE 75 ANNI DI ESPERIENZA SU H₂ GRIGIO

Networking

H2IT

IPCEI

INNOVATION FUND

MISE

CONFINDUSTRIA



Key Projects

TENARIS Dalmine Zero CO₂ Emissions project – Feasibility, Advanced Basic, Owner Eng

Major Utility Company (Confidential) – Definition of Corporate Safety Guidelines for Green H₂ installations and safety studies for ongoing project

TENARIS H₂ Cylinder Storage - Risk analysis

Hydrogen Refueling Station – Optimization and safety study

Plant optimization for fluctuating source of energy and production requirements

Dynamic simulation of electrolyzers production plant

Economical assessment studies - Funding application

MEXINOL – Feed Phase for a new 120 MW Hydrogen Plant inside a Methanol Plant in

Hera™

Tenaris Hydrogen Hera

Tenaris

- Nel 2021 Tenaris lancia **THera™**, un nuovo brand che racchiude i prodotti proprietari e la tecnologia dei materiali per applicazioni Idrogeno.
- Sono inclusi:
 - Sistemi di stoccaggio Idrogeno
 - Carri bombolai (integrazione verticale nella forma “chiavi in mano”)
 - Tubi certificati ADR o DOT
 - Customizzabili in accord ai Paesi di destinazione
 - Pressure ottimale: 200 bar (disponibili pressioni maggiori)
 - Pipelines per trasporto di Idrogeno
 - Soluzioni per segmenti industriali (raffinerie, impianti di processo di idrocarburi e Idrogeno verde/blu)



Soluzioni di Stoccaggio

H₂

Soluzioni di stoccaggio H₂ per:

Stazioni di rifornimento Idrogeno per diverse applicazioni di Mobilità

Stoccaggi di grande capacità e sistemi di polmonazione per applicazioni industriali

Tenaris



Cilindri H₂ Gassoso di Grande Capacità ad Alta Pressione

- Gas Cylinders in acciaio (Type I Seamless)
- Pressioni Progetto: fino a 1034 bar
- Capacità : fino a 3.000 ltr, sulla base di P_{progetto}
- Normative : ISO, ASME, KGS, etc.
- Fatigue Life Assessment



Sistemi di Stoccaggio per Stazioni di Rifornimento



Grandi Industrie

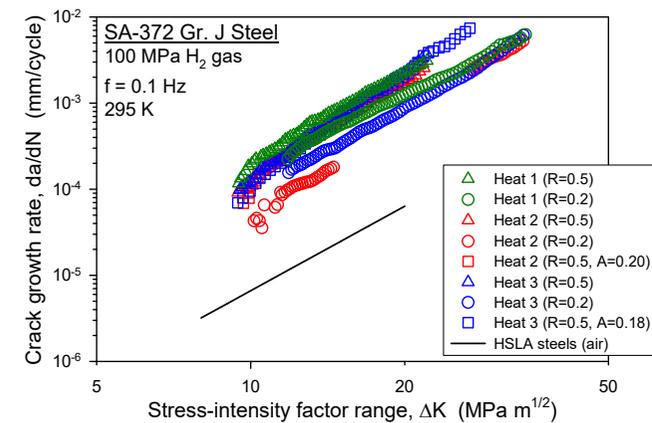
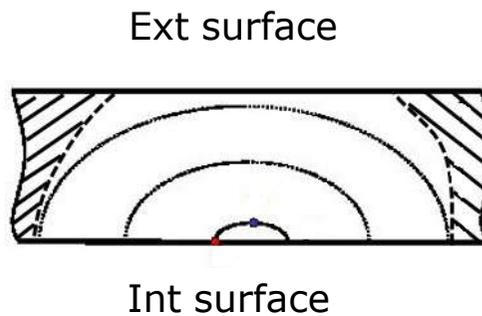
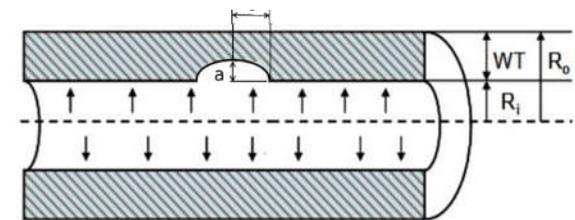


Produzione tramite uso di principi “damage-tolerance”

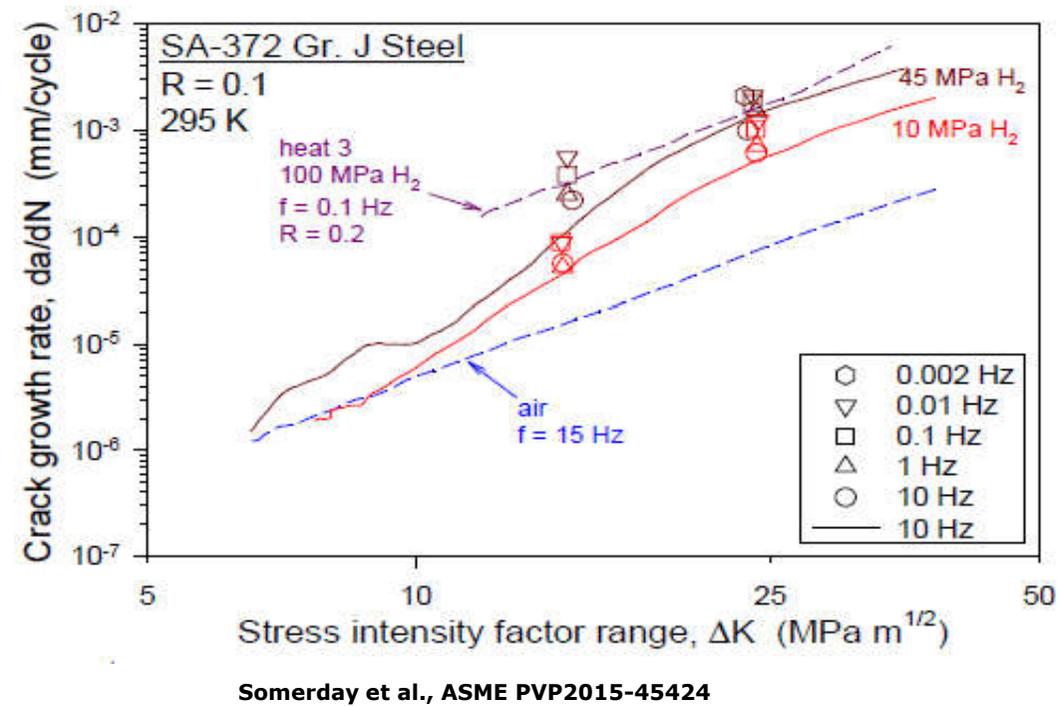
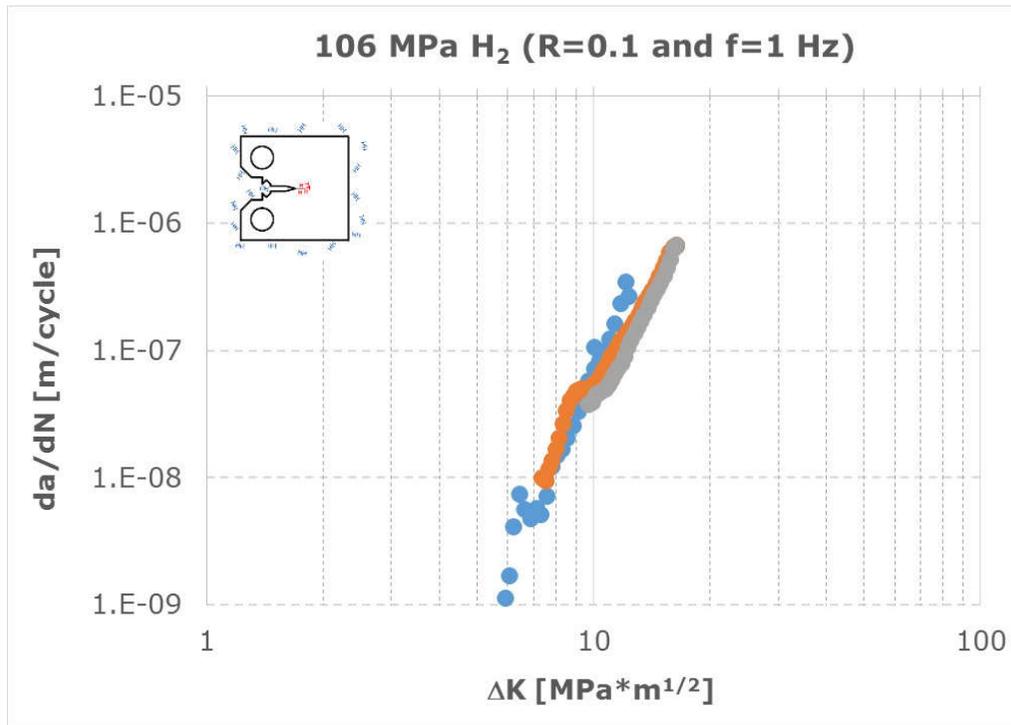
Defect size

Fracture toughness

Fatigue crack propagation rate



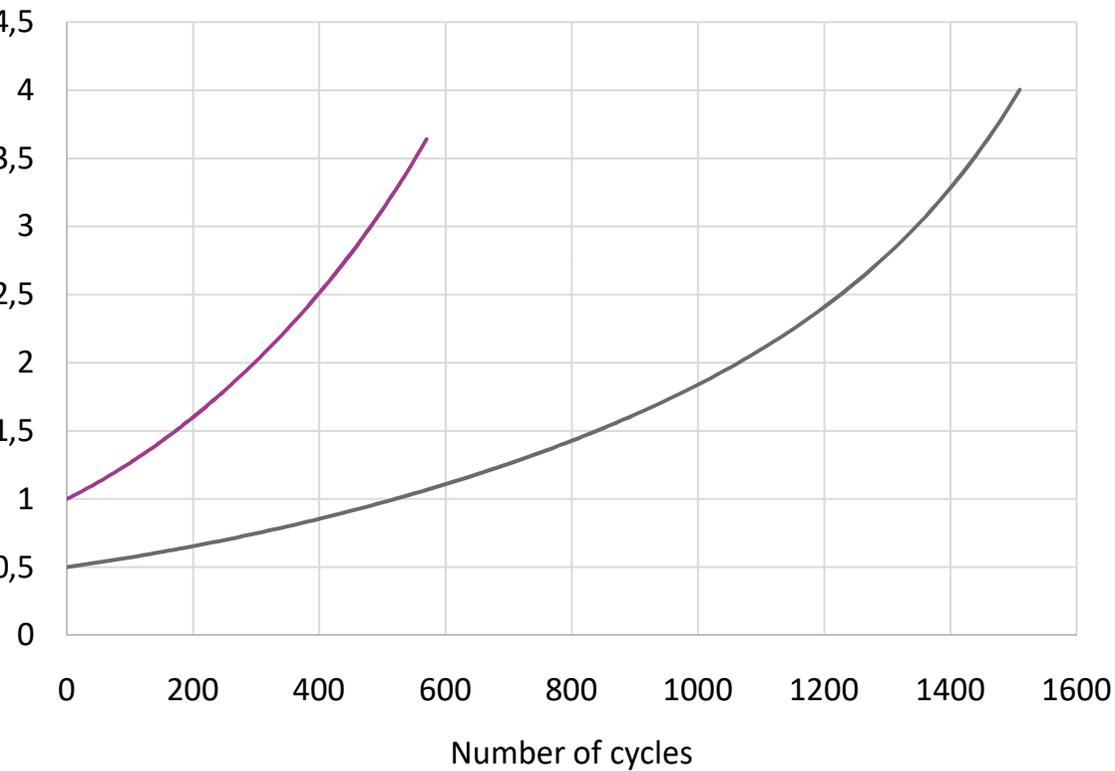
FCGR in H2 gas – Evidenze sperimentali



- A più bassi ΔK , la velocità di crescita delle cricche a fatica in H₂ si avvicina alla velocità in aria.
- La transizione da aria a Idrogeno aumenta la funzione a fatica di molte variabili tra cui g R-ratio, pressione H₂, frequenza.

Fatigue crack growth

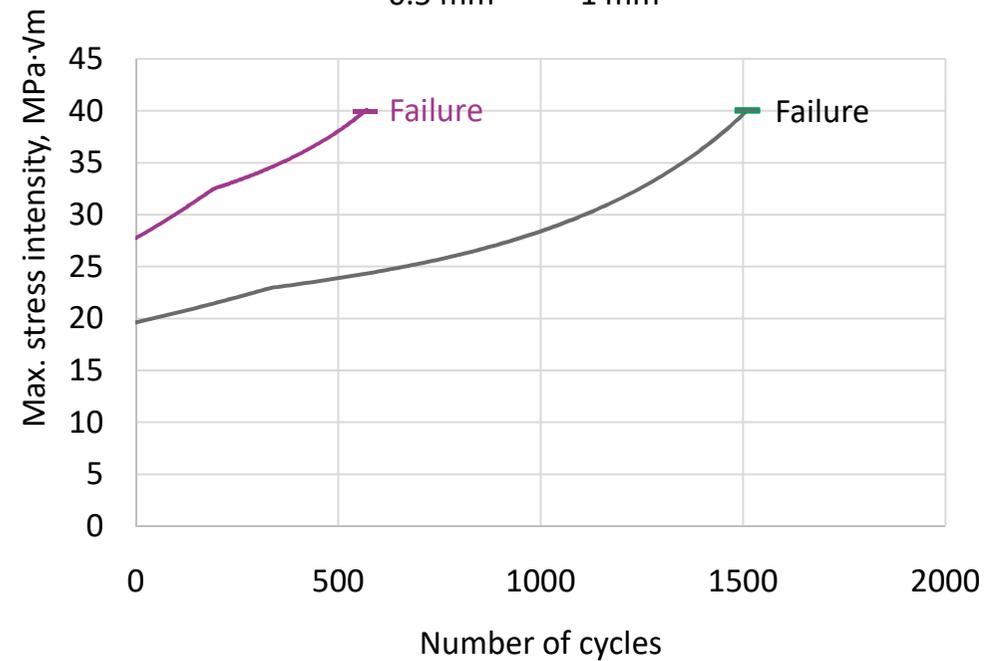
— 0.5 mm — 1 mm



- 1,000 bar H₂, R = 0,9 .
- Initial flaw: 0.5 mm vs. 1.0 mm

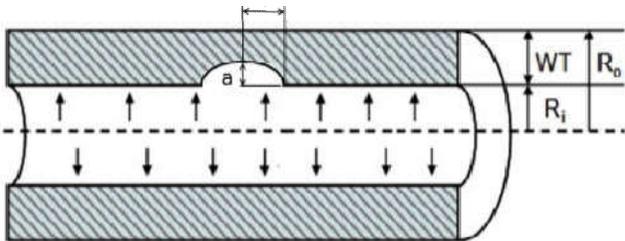
Stress intensity

— 0.5 mm — 1 mm

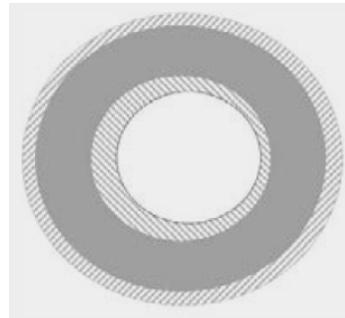


Principi “damage-tolerance” → Controlli migliorati

Manufacturing Defects



Surface preparation



NDE



Dimensione dei difetti ridotta e controllata

Vita a fatica garantita

Hera™ technology | Caratteristiche standard

STORAGE	Pressure bar		Tube Volume	Estimated H2 (c)
	Design	Working(a)	ltr	Kg
Buffer	240	220	2.335	41
			(b) 2.865	50
	330	300	2.060	47
			(b) 2.355	54
HRS	550	500	1.170	40
			(b) 1.407	48
	1034	930	255	13
			396	20

(a) : to be set by customer

(b) : subject to minimum quantity purchase

(c) : at design pressure and 15°C temperature

APPLICABLE CODES

Storage vessels are manufactured in accordance with Directive (PED) 2014/68/EU and recognized European code (EN 13445 or AD 2000).

ASME codes are also available.

Le soluzioni possono essere customizzate per:

- Capacità
- Pressione



CASO STUDIO 1 | Applicazione in acciaieria

ETTO DI LIVELLO "BASIC AVANZATO" PER LA CONVERSIONE PARZIALE A IDROGENO
'ACCIAIERIA.

ATTTERISTICHE STOCCAGGIO

mentazione: elettrolizzatori da 20 MW

capità stoccaggio: 750 m³ / 10 t

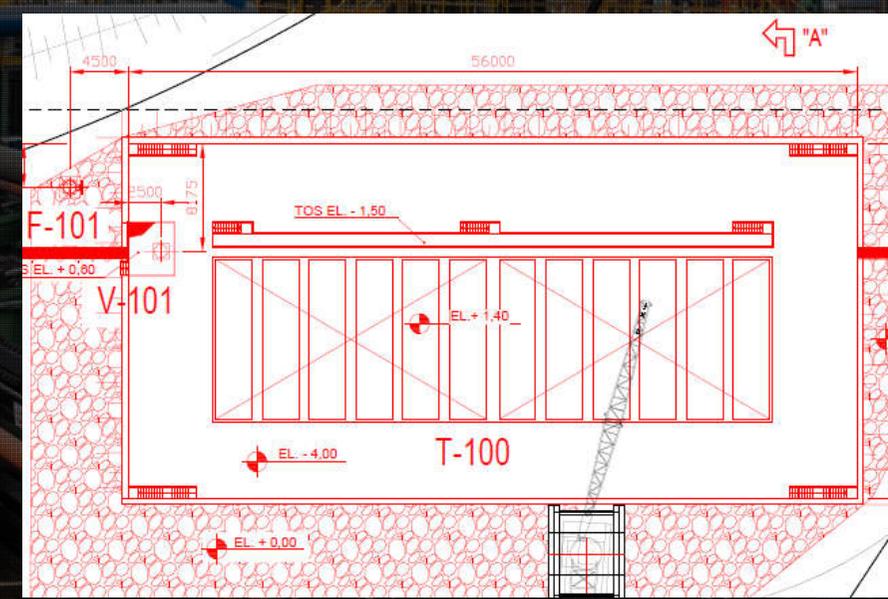
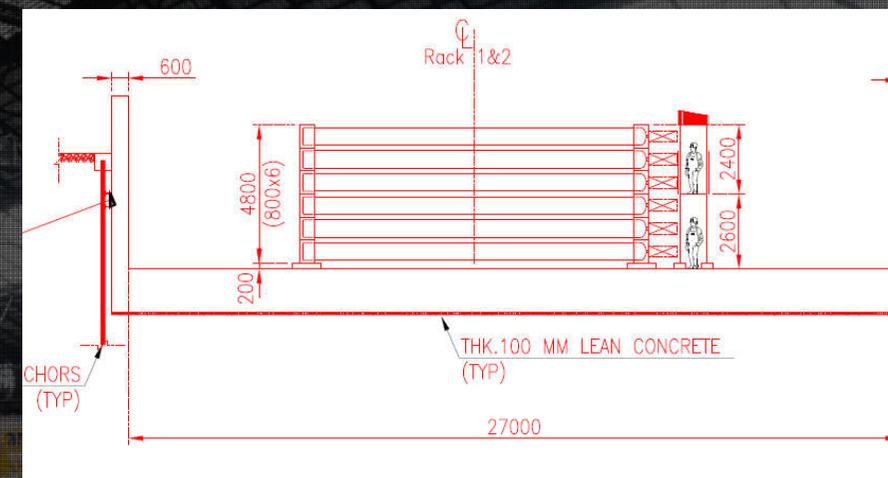
numero bomboloni: 264

pressione operativa: 220 barg (tramite compressione a valle dell'elettrolisi)

FIGURAZIONE SELEZIONATA

zione: sotto piano campagna con muri di contenimento in cemento armato

ANCHE PER RIDUZIONE
IMPATTO PAESAGGISTICO



CASO STUDIO 1 | Applicazione in acciaieria

ANALISI DI RISCHIO PRELIMINARE

Obiettivo: valutare possibili impatti esterni ed interni allo stabilimento

Modalità di presentazione: Jet Fire area stoccaggio

Documenti di riferimento: compatibilità territoriale D.M. 9 maggio 2001 (Stabilimento Soglia Inferiore)

Software di simulazione conseguenze: DNV Phast

Zone isolabili: 2

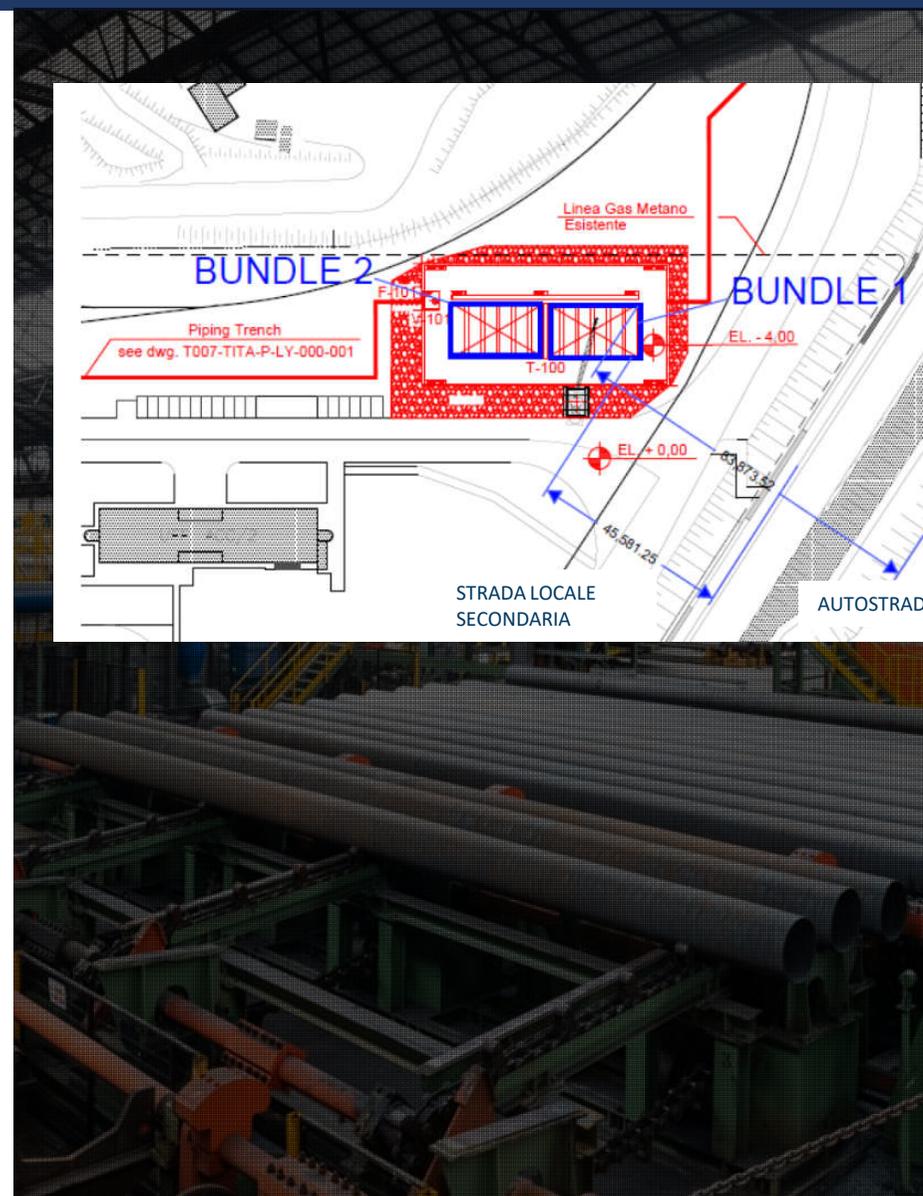
Struttura: disponibile HAZOP → solo guasti casuali da database

Fonte dati: probabilità di innesco immediato da RIVM BEVI Risk Assessment Manual

Condizioni: i simboli nelle file inferiori non contribuiscono agli scenari di jet fire perché schermati dai muri circostanti.

Meccanismo: probabilità ridotta di direzione del Jet Fire verso i recettori esterni

Protezione: presenza schermatura J30 in corrispondenza del manifold valvole



CASE STUDY 1 | Applicazione in acciaieria

ANALISI DI RISCHIO PRELIMINARE– RISULTATI JET FIRE 12,5 kW/m²

Isolatable section	Description of the isolatable section	Op. P (barg)	Loss Containment Freq. (x/year)	12.5 kW/m ² 10mm	12.5 kW/m ² 25mm	12.5 kW/m ² 100mm
A-G	H ₂ to 1st stage HP compressor (Gas release) [HP Compressor + H ₂ Buffer + 3" pipe x 10m typ. + 3" pipe-in-pipe x 944m]	29	7,1E-4	5,6m	13,3m	48,8m
A-G	H ₂ from HP compressor to HP Hydrogen Storage (Gas release) [HP Compressor + 2" pipe-in-pipe x 944m]	219	1,6E-4	13,4m	31,8m	66m (50mm)
A-G	HP Hydrogen Storage (Gas release) [2 bundles x 132 HP Cylinders + 2 x 2" manifold x 25m]	219	1,5E-4	(shielded)	(shielded)	(shielded)
A-G	H ₂ from HP Hydrogen Storage to LP Distribution Header (Gas release) [H ₂ KO Drum + 4" pipe x 10m typ. + 4" pipe 10m typ. + 8" pipe 10 typ.]	10	1,5E-5	2,1m	4,9m	18m
A-G	H ₂ to Burners (Gas release) [4" pipe-in-pipe x 236m]	0.2	0	-	-	-

Isolatable section	Component in the isolatable section	Distance to target (m)	12.5 kW/m ² > Dist. To target	Freq. (x/year) [leak size]	Land use category D.M. 9.5.2001
A-G	HP Hydrogen compressor (1st stage)	112	NO	--	any
A-G	Hydrogen buffer	112	NO	--	any
A-G	Hydrogen suction pipe (3")	112	NO	--	any
A-G	Hydrogen BP pipe (3")	--	--	--	any
B-G	HP Hydrogen Header (2")	--	--	--	any
B-G	HP Hydrogen compressor (2nd stage)	112	NO	--	any
A-G	HP Hydrogen storage (Bundle 1)	--	--	--	any
A-G	HP Hydrogen storage (Bundle 2)	--	--	--	any
A-G	Hydrogen KO Drum	89	NO	--	any
A-G	Hydrogen to Burners (4")	--	--	--	any

RISULTATO: LE SCHERMATURE (MURI O PANNELLI DI IDRORESISTENZA AL FUOCO) SONO LA SOLUZIONE PRINCIPALE PER RIDURRE IL RISCHIO DI JET FIRE GRAZIE ALL'AZIONE SCHERMANTE.

L'ANALISI HA IDENTIFICATO ALTRI DUE POSSIBILI ELEMENTI CRITICI:

- **COMPRESSORE 30 barg → 220 barg: SOGLIA 3 kW/m² DI IRRAGGIAMENTO SUPERIORI AI LIMITI DI STABILIMENTO MA E' COMPATIBILE CON LE AREE CIRCOSTANTI**

- **TUBAZIONE DI COLLEGAMENTO TRA IL COMPRESSORE E LO STOCCAGGIO (~900 m): CALCOLATI EFFETTI TERMICI DA JET FIRE PER I POSSIBILI RILASCI RANDOM NON COMPATIBILI CON LE AREE CIRCOSTANTI**

SOLUZIONE: TUBAZIONE PIPE-IN-PIPE POSIZIONATA IN TRENCH ISPEZIONABILE CON LA FREQUENZA DI RILASCIO CALCOLATA (SCENARIO NON CREDIBILE)

CASO STUDIO 2 | Applicazione impianto di ricerca

ETTO DI LIVELLO "BASIC" PER MAJOR COMPANY (confidenziale)

si di rischio svolta conservativamente per valutazione criteri D.M. 9 maggio 2001 (benché non impianto
tto a Seveso) ed escalation.

azione supplementare al rispetto delle distanze di sicurezza in D.M. 23 ottobre 2018 (utile riferimento).

us presentazione: esplosione baie di carico carri bombolai

software utilizzato: uso combinato HyRAM+ e tool Excel su base teorica AIChE CCPS



one isolabile: 1 (non prevista contemporaneità eventi incidentali nelle due baie)

sione operativa: 300 barg

METRI SIMULAZIONE

dello esplosione parzialmente confinata: BST (Baker/Strehlow/Tang)

i di confinamento: 3,5

abilità di innesco da Purple Book

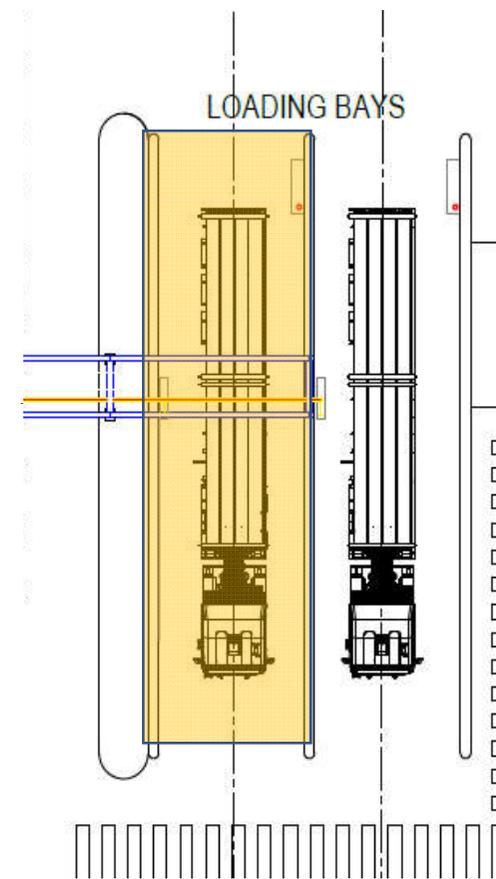
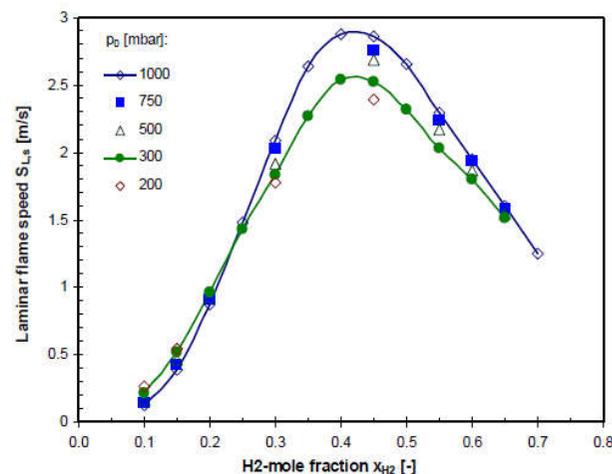
concentrazione infiammabile: 40%vol (\leftrightarrow max velocità laminare di

mma = 2,9 m/s (*))

ne con origine casuale con suddivisione in cinque classi di sezioni

representative: 0.01%A, 0.1%A, 1%A, 10%A, 100%A

numero dei guasti



(*) FLAMMABILITY LIMITS AND LAMINAR FLAME SPEEDS OF
HYDROGEN-AIR MIXTURES AT SUB-ATMOSPHERIC PRESSURES
Pro-Science GmbH, Germany
Institute for Energy and Nuclear Energy, Karlsruhe
University of Technology, Germany

CASO STUDIO 2 | Applicazione impianto di ricerca

ULTATI

Sezione trasversale tubo	Sovrapressione picco [barg]
0.01%A	0
0.1%	0
1%	0
10%	0.08
100%	0.69

Impatto su Locale di Controllo

Distanza di sicurezza interna 15 m > soglia 0.2 barg

Frequenza $\geq 1.0E-4$ x/anno)

AZIONI

Aumentare distanza di sicurezza interna

Aggiungere locale monitoraggio e controllo resistente all'onda di pressione (~0.32 barg)

Aggiungere il muro del box di carico per contenere la massima pressione di esplosione (~0.69 barg).

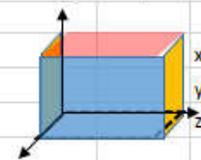
The actual flame speed measured in experiments, M_f , is based on an Eulerian (fixed) coordinate system. When presenting the new BST curves, Tang and Baker presented M_f in terms of M_f , the measured flame velocity. Tang and Baker determined the overpressure for a range of values as a function of M_f , using the following equation derived from

$$\frac{P_{max} - P_0}{P_0} = 2.4 \cdot \frac{M_f^2}{1 + M_f^2}$$

M_f is function of both the burning gas and the geometry of confining space

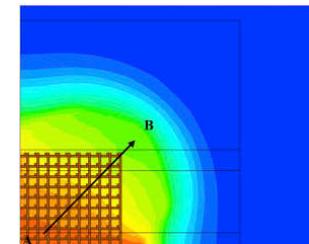
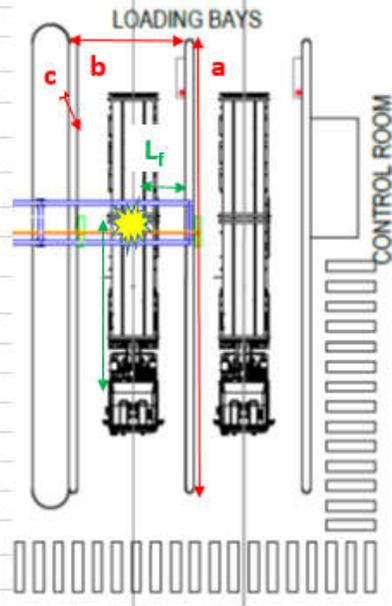
$$M_f = M_{f,3D} \cdot NPF \cdot [1 + (\beta - 1)(nPlanes - 1)]$$

solid	<input checked="" type="checkbox"/> x	x*	<input checked="" type="checkbox"/> solid
	<input type="checkbox"/> y	y*	<input type="checkbox"/>
solid	<input checked="" type="checkbox"/> z	z*	<input checked="" type="checkbox"/> grated



$M_f = 0,70$ $P_{MAX} = 0,69$ barg
 $M-E : 6$ # curve

nPlanes :	3,5	number of confining planes (0 for no confinement, 1 for ignition at grade, 2 for two planes confinement, 5 for linear expansion as in pipe. Planes that are not completely solid or rigid may be accounted for using a fraction of a plane)
NPF :	2,85	flame speed correction factor
d_{le} :		leak size (mm) S_L (sugg.) : 0,08 (suggested laminar flame speed, m/s)
S_L :	2,9	laminar flame speed of flammable gas (m/s) (see also table 5.1 from Yellow Book)
X :	40,0%	hydrogen volume concentration in air at S_L (%)



Fonte: CEI EN IEC 60079-10-1 con possibile riferimento complementare a NFPA 2, Hydrogen Technologies Code. L'esperienza con diversi fornitori ha messo in evidenza una eterogeneità di approcci ATEX (loro responsabilità).

Fornitore 1

Elettrolizzatori alcalini installato in edificio
chiuso (20 MW). P = 29 barg

1 m intorno all'unità di elettrolisi.

Fornitore 4

Elettrolizzatori alcalini installato in edificio
chiuso (tot 20 MW). P = atm

1 m intorno alle connessioni flangiate.

Fornitore 2

Elettrolizzatore PEM in cabinato installato
all'aperto (1 MW). P = 30 barg

1 m intorno all'intero cabinato.

Fornitore 5

Elettrolizzatori alcalini in edificio con
ventilazione naturale (120 MW). P = atm

Dalla flangia Idrogeno più bassa al soffitto.

Fornitore 3

Elettrolizzatore alcalino in cabinato installato
all'aperto (0,5 MW). P = 35 barg

Nessuna classificazione esterna. Nessuna
informazione su classificazione interna.



In tutti i casi si parla di Zona 2 IIC T1, con l'eccezione degli sfiati che possono avere la doppia estensione, Zona 1 / Zona 2, in funzione delle condizioni di servizio in atmosfera.

Approccio tipico derivato dalle esperienze e da valutare in funzione delle condizioni progettuali.

Elettrolisi

Strategie definite anche sulla base delle valutazioni di rischio dei fornitori (approccio omogeneo)

Rivelazione gas + fumo/temperatura + fiamma

Allarme locale/remoto

Copertura rete idranti

Estintori

Nota: assenza di sistemi di estinzione automatici (e.g. clean agent)

Sistemi di Emergency Shut-Down con eventuale depressurizzazione e inertizzazione con Azoto

Sgancio alimentazione elettrica principale, con sistemi di sicurezza mantenuti attivi

Compressione

Prassi dell'industria di processo

- Rivelazione gas + fiamma
- Allarme locale/remoto
- Copertura rete idranti
- Possibili sistemi di estinzione gassosi per installazioni in cabinato
- Estintori
- Sistemi di Emergency Shut-Down



Stoccaggio

Prassi dell'industria di processo (approccio applicabile anche a baie di carico carri bombati)

- Rivelazione gas + fiamma
- Allarme locale/remoto
- Copertura rete idranti
- Sistemi ad acqua per exposure protection
Per stoccaggi di grossa capacità l'installazione di impianti a diluvio potrebbe comportare difficoltà di supportazione in ingombro
→ copertura esterna con monitori su torri (poco efficace per baie di carico).
- Estintori
- Sistemi di Emergency Shut-Down con depressurizzazione



ANDREA CALIGIURI
HSE Engineering Discipline Manager
andrea.caligiuri@techint.com

MAURO PAGANELLI
Head of process and HSE Engineering
Technology Innovation Manager
mauro.paganelli@techint.com

STEFANO CAPPONI
Business Development Manager
scapponi@tenaris.com

Grazie



TECHINT
Engineering & Construction

www.tenaris.com
www.techint.com