




RELAZIONE DI CALCOLO DI PROCESSO E DIMENSIONAMENTO IMPIANTO IDROGENO



PROGETTO DEFINITIVO

REALIZZAZIONE DI UN HUB DI RICERCA, SVILUPPO, PRODUZIONE, STOCCAGGIO, RICONVERSIONE E DISTRIBUZIONE DELL'IDROGENO, ALIMENTATO DA UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 8,982 MWp E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN SITO NEL COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO), LOCALITÀ SAN MATTEO DELLA DECIMA.

Committente:  Tozzi Green S.p.A. Via Brigata Ebraica, 50 48123 Mezzano (RA) P.IVA 02132890399 R.E.A. n. RA-174504 Tel. (+39) 0544 525311 pec: tozzi.re@legalmail.it mail: info@tozzigreen.com web: www.tozzigreen.com		Progettista:  ambiente s.p.a. Via Frassina, 21, 54033 Carrara (MS) Coordinamento di progetto:  ambiente s.p.a. Via Frassina, 21, 54033 Carrara (MS)			
0	30/09/2021	Ing. M. Altemura	Ing. F. Seni	Ing. M. Altemura	Prima emissione
REV.	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DESCRIZIONE
Codice elaborato: P.1.3		Titolo elaborato: Relazione di calcolo di processo e dimensionamento impianto idrogeno			

INDICE

1. PREMESSA	3
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2.1. La normativa in materia di costruzioni	4
2.2. La normativa in materia di impianti elettrici.....	4
2.3. La normativa in materia di prevenzione incendi	6
2.4. Altre normative tecniche	6
3. IL PROGETTO.....	7
3.1. Criteri utilizzati per le scelte progettuali	7
3.2. Impianto di produzione di idrogeno	9
3.2.1. Principio di funzionamento del processo	11
3.2.2. Impianto di produzione	12
3.2.3. Impianto distribuzione	21
INDICE DELLE FIGURE	23

1. PREMESSA

La Società Tozzi Green S.p.A., specializzata in soluzioni, servizi e progetti per lo sviluppo d'impianti e per la generazione di energia da fonti rinnovabili, risulta soggetto Proponente di una iniziativa finalizzata alla realizzazione e messa in esercizio di un impianto di produzione IDROGENO VERDE, alimentato da energia rinnovabile prodotta da impianto fotovoltaico denominato "San Giovanni in Persiceto" di potenza pari a 8,982 MWp, in Località San Giovanni in Persiceto (BO).

La presente relazione tecnica descrive i criteri adottati e la normativa rispettata per la progettazione dell'impianto di produzione, compressione, stoccaggio e distribuzione idrogeno.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

2.1. La normativa in materia di costruzioni

L'intero compendio della progettazione strutturale si basa sui principi fondamentali contenuti nel D.M. 17.01.2018 – "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni". Le prestazioni e i requisiti di sicurezza relativi alle strutture sono stati pertanto valutati in relazione al complesso degli stati limite che verosimilmente possono verificarsi nel corso della vita utile di progetto degli edifici.

Per quanto attiene l'assegnazione dei carichi di progetto e le modalità di combinazione delle azioni e di conduzione delle verifiche agli stati limite ultimi e d'esercizio, si assumono come riferimento normativo principale i codici riconosciuti a livello internazionale, gli Eurocodici e le norme di calcolo nazionali contenute nel D.M. 17.01.2018.

- D.M. 17 Gennaio 2018 - "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"
- Circolare 27 Luglio 2018 – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"
- UNI-EN 1993-1-1: 2005 Eurocodice 3 – "Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici".

2.2. La normativa in materia di impianti elettrici

La progettazione dell'impianto elettrico è stata eseguita tenendo presente delle seguenti normative:

- Legge 13/07/1966 n° 615: Provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico e successivi regolamenti di esecuzione;
- Legge 01/03/1968 n° 186: Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazione di impianti elettrici ed elettronici;
- Legge 18/10/1977 n° 791: Attuazione delle direttive del consiglio delle Comunità Europea relativa alle garanzie di sicurezza che deve possedere il materiale destinato ad essere utilizzato entro alcuni limiti di tensione; Dlgs 25/11/1996 n° 626 e s.m.i.;
- DPR 27/4/1978 e s.m.i: Eliminazione barriere architettoniche;
- Direttiva 2014/30/UE, Direttiva Europea sulla compatibilità elettromagnetica;
- Direttiva 2014/35/UE, Direttiva Bassa Tensione;
- DPR 24/07/1996 n° 503: Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici;
- UNI EN ISO 7001: Segnaletica di sicurezza;
- D.Lgs 25/11/1996 n.626: Attuazione della direttiva 93/68/CEE in materia di marcatura CE del materiale elettrico destinato ad essere utilizzato entro taluni limiti di tensione;

- DPR 462/01 Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazione e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi;
- Decreto 22/1/08 n. 37: Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno di edifici;
- D.Lgs. 81/2008 Attuazione dell'art. 1 della Legge 3 agosto 2007 n. 123 in materia di tutela della e sicurezza nei luoghi di lavoro.
- D.M. 26/6/2015 Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.
- D.L. 106/2017 Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) n.305/2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE.

e delle seguenti norme tecniche di settore (si elencano le principali):

- CEI 0-16 Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica
- CEI 0-21 Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica
- CEI 31-87 Costruzioni elettriche per atmosfere esplosive per la presenza di gas
- CEI 31-88 Costruzioni elettriche per atmosfere esplosive per la presenza di polveri
- CEI 44-16 Sicurezza del macchinario - Sicurezza funzionale dei sistemi di comando e controllo elettrici, elettronici ed elettronici programmabili correlati alla sicurezza (Quadri bordo macchina)
- CEI 64-8 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente • alternata e a 1500 V in corrente continua
- CEI 64-12 Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario
- CEI 64-19 Guida agli impianti di illuminazione esterna (Vedasi anche CEI 64-8 Sez. 714)
- CEI 78-17 Manutenzione delle cabine elettriche MT/MT e MT/BT dei clienti/utenti finali (per gli utenti con i requisiti semplificati è possibile applicare la CEI 0-15)
- CEI 79-3 Sistemi di allarme. Prescrizioni particolari per gli impianti di allarme intrusione
- CEI 79-83 Sistemi di videosorveglianza per applicazioni di sicurezza
- CEI 81-10 Protezione contro i fulmini.
- CEI 81-10/1: Principi generali;
- CEI 81-10/2: Valutazione del rischio; CEI 81-10/3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone.
- CEI 81-10/4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture.
- CEI 82-25 Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa tensione

- UNI 1838 Illuminazione di emergenza
- UNI 9795 Sistemi fissi automatici di rivelazione e di segnalazione allarme d'incendio. Progettazione, installazione ed esercizio

La normativa CEI è regolamentata, oltre che per l'installazione dell'impianto, anche per i suoi componenti. Citiamo a titolo d'esempio: gli accumulatori (CT 21), le apparecchiature a bassa tensione, quali interruttori automatici, prese a spina, tubi protettivi, apparecchi di comando, commutatori, connettori, interruttori differenziali, ecc. (CT 23), i condensatori (CT 33), le lampade (CT 34), i trasformatori di misura (CT 38), gli involucri di protezione (CT 70), gli apparecchi utilizzatori (CT 107).

2.3. La normativa in materia di prevenzione incendi

Le valutazioni in merito alla prevenzione incendi e la progettazione dell'impianto antincendio sono state eseguite sulla base delle seguenti normative in materia antincendio:

- D.lgs. 9 aprile 2008 n. 81, "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro"
- D.M. 3 agosto 2015, "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139";
- D.M. 23 Ottobre 2018, "Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio degli impianti di distribuzione idrogeno per autotrazione.
- DPR 151/2011, "Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122"
- D.M. 07.08.2012 "Disposizioni relative alle modalità di presentazione delle istanze concernenti i procedimenti di prevenzione incendi e alla documentazione da allegare, ai sensi dell'articolo 2, c. 7, del D.P.R. 151/11";
- D.M. 30.11.1983 "Termini, definizioni generali e simboli grafici P.I.";
- D.M. 10.03.1998 "Criteri generali di sicurezza antincendi e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro".

2.4. Altre normative tecniche

- Direttiva comunitaria 2006/42/CE (Direttiva Macchine);
- Direttiva Comunitaria 2014/34/UE (ATEX).

3. IL PROGETTO

3.1. Criteri utilizzati per le scelte progettuali

La società TOZZI GREEN S.p.A., con sede in Mezzano (Ravenna) è specializzata in soluzioni, servizi e progetti per lo sviluppo d'impianti e per la generazione di energia da fonti rinnovabili, ed è tra gli attori protagonisti del mercato della produzione di energia.

In linea con le passate esperienze del gruppo, con le attuali strategie di sviluppo aziendale, con i chiari indirizzi della Comunità Europea e dello Stato italiano, nasce il progetto per la realizzazione di un hub di ricerca, sviluppo, produzione, stoccaggio, riconversione e distribuzione dell'idrogeno, alimentato da un impianto fotovoltaico da 8,982 MWp e relative opere di connessione alla RTN di San Giovanni in Persiceto.

Oltre alla verifica di rispondenza ai requisiti normativi cogenti, le scelte progettuali per l'impianto in oggetto sono state definite guardando ai principali strumenti per la programmazione ambientale e strategica del territorio regionale.

La Regione Emilia-Romagna si è dotata di un Piano energetico regionale (PER), che approvato con Delibera dell'Assemblea legislativa n. 111 del 1° marzo 2017, fissa la strategia e gli obiettivi per clima ed energia fino al 2030 e si realizza attraverso un Piano triennale di attuazione (Pta) con cui si definiscono le linee operative triennali necessarie al raggiungimento degli obiettivi di lungo periodo previsti dal PER. Il piano fa propri gli obiettivi europei al 2020, 2030 e 2050, in materia di clima ed energia come driver di sviluppo dell'economia regionale, e in particolare:

- la riduzione delle emissioni climalteranti
- l'incremento della quota di copertura dei consumi attraverso l'impiego di fonti rinnovabili
- l'incremento dell'efficienza energetica negli edifici, nel patrimonio pubblico, nei trasporti, nelle attività produttive.

La regione ha redatto Il Patto per il Lavoro e per il Clima nel Dicembre 2020, il quale si inserisce all'interno delle strategie del Paese e di quelle dell'Unione Europea verso la neutralità climatica al 2050 e di rilancio e transizione verso un'economia più sostenibile dal punto di vista ambientale e sociale. I punti chiave di programmazione per la transizione ecologica possono riassumersi nelle seguenti linee di intervento:

- Accompagnare la transizione ecologica delle imprese di ogni dimensione orientandone e incentivandone gli investimenti verso le energie rinnovabili e verso processi e prodotti a minor impatto ambientale, mettendole nelle condizioni di cogliere le opportunità della transizione verde attraverso aiuti mirati, semplificazioni normative e misure che sostengano il cambiamento verso modelli di produzione e consumi sostenibili.
- Sviluppare nuove filiere green con attenzione sia alla filiera clima/energia che alle filiere industriali di recupero dei materiali.

- Investire in ricerca e innovazione orientandola verso campi ad alto potenziale strategico come l'idrogeno, l'elettrico e la chimica verde.
- Costruire un team di ricerca e studio finalizzato al sostegno e alla definizione di progetti di finanza sostenibile e di impatto sociale coerenti con gli obiettivi del Patto.
- Accelerare la transizione energetica del comparto pubblico, sostenendo lo sviluppo dei Piani Energia Clima dei Comuni e percorsi di neutralità carbonica a livello territoriale, dando nuovo impulso all'adeguamento e all'efficientamento energetico dell'intero patrimonio pubblico.

Il progetto si inserisce anche nel contesto di una nuova mobilità sostenibile supportato dalla programmazione degli investimenti con un nuovo pacchetto di progetti green per il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza che permetta ad esempio di:

- incentivare e rafforzare le reti del trasporto pubblico, con particolare riferimento alle aree montane ed interne;
- valorizzare la capacità produttiva regionale, sostituendo i mezzi delle aziende TPL con veicoli più ecologici;
- promuovere l'uso della bicicletta anche attraverso la realizzazione di 1000 km di nuove piste ciclabili; incentivare gli investimenti per lo sviluppo della mobilità elettrica;
- sostenere la diffusione della mobilità privata verso "emissioni zero" anche attraverso l'installazione di 2.500 punti di ricarica entro il 2025;

Di fatto, la realizzazione del progetto costituisce una reale applicazione di alcuni degli obiettivi del PIANO, tra i quali la riduzione delle emissioni di gas serra e la razionalizzazione e riduzione dei consumi energetici.

Il progetto in oggetto si compone di tre parti fondamentali, interconnesse tra loro. Nello specifico nell'area del sito si troverà l'Hub di ricerca per lo studio e lo sviluppo di tecnologie connesse all'idrogeno, l'impianto di produzione e distribuzione idrogeno, il parco fotovoltaico. Nei paragrafi seguenti si riporta una descrizione specifica delle tre componenti costitutive del progetto.

3.2. Impianto di produzione di idrogeno

Le nuove tecnologie seguono le varie esigenze del mondo produttivo, oggi in continuo cambiamento. L'idrogeno è una fonte a emissioni zero di carburante per treni, autobus, camion, automobili, carrelli elevatori e navi. È anche usato come gas di alimentazione per industrie come l'acciaio e la raffinazione. Inoltre, è una fonte di calore ed energia per gli edifici e un buffer ideale per immagazzinare l'energia generata da fonti rinnovabili.

Le applicazioni di elettrolizzatori possono essere diversificate in base ai sistemi ad essi integrati, tra cui l'immissione di idrogeno nella rete del gas naturale oppure, come in questo caso, l'utilizzo di idrogeno verde prodotto attraverso l'energia derivante da fonti rinnovabili come carburante alternativo.

Nel presente progetto si prevede quindi la realizzazione di un impianto di produzione idrogeno per elettrolisi ed una stazione di rifornimento idrogeno con una capacità tale da poter alimentare circa 4-5 autobus ad uso urbano e/o extra-urbano al giorno. Per questa tipologia di mezzi la pressione di alimentazione del carburante deve avvenire oltre i 350 bar (per le autovetture invece la pressione di alimentazione deve essere di circa 700 bar).

Da dati di letteratura si registra che gli autobus ad idrogeno attualmente in circolazione sono in grado di stoccare circa 37,5 kg di idrogeno, con cui sono in grado di raggiungere un'autonomia di circa 300-350 km.

A seguire si allega estratto scheda tecnica dell'autobus di riferimento, modello Solari Urbino 12 Hydrogen, simile od equivalente.

Urbino 12 hydrogen		<ul style="list-style-type: none"> ● standard ○ option
Driveline system	Motor	●
	electric portal axle ZF AVE130 2x125 kW (*)	
	Hydrogen fuel cell	
	70kW	●
	Traction batteries	
	lithium-ion	●
	Hydrogen tanks	
	composite tanks 5 x 312 l	●
	Charging system	
	plug-in	●

Figura 1. Scheda tecnica di riferimento autobus idrogeno

Il volume di stoccaggio di un singolo autobus prevede:

- n°5 x 312 l pari a 1560 litri circa

Considerando la densità dell'idrogeno a 15°C e 350 Bar abbiamo 24,023 kg/m³ ¹

Da cui la carica completa di un autobus corrisponde a circa:

- 1,56 m³ x 24,023 kg/m³ = 37,47 kg H₂

Considerando poi un consumo medio di 10,5 kg/100 Km di un autobus tipo Solaris Urbino 12 hydrogen, si ottiene un'autonomia massima di circa 356,9 km.

Considerando l'applicazione, nel comune di San Giovanni di Persiceto (BO) si stima che un autobus urbano sia esercito per circa 14 ore, dalle ore 6:00 alle ore 20:00.

Considerando poi la velocità media di un autobus pubblico, pari a 20.7 km/h² si ottiene una percorrenza pari a circa 289,8 km/gg

- Percorrenza media 289,8 km/gg < Percorrenza massima pari a circa 356,9 km/gg
- Consumo medio 27,6 kg H₂/gg < Capacità serbatoio 37,47 kg H₂

I dati sopra riportati, in base dalle informazioni ricevute dai fornitori, sono coerenti con l'esperienza relativa al distributore di Bolzano in cui attualmente sono attivi n°5 autobus ad idrogeno.

Partendo pertanto da questi starting-point il distributore prevede di avere una capacità produttiva giornaliera pari a:

- 37,47 kg H₂ x 4 = 149,6 kg H₂ / gg \cong 150 kg H₂ / gg

La produzione di idrogeno prevista dall'impianto di elettrolisi in progetto sarà quindi di 80 Nm³/h, pari a circa 150 kg/giorno da produrre in circa 20 ore di funzionamento dell'elettrolizzatore che avrà pertanto una produttività massima di circa 7,5 kg/h.

¹ Fonte NIST - <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>

² Fonte Elaborazione del Centro Ricerche Continental Autocarro basato su dati Istat. Il dato di 20.7 km/h si riferisce alla regione Emilia Romagna

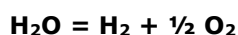
Il progetto prevede inoltre la realizzazione di una sola colonna di rifornimento destinata agli autobus di trasporto urbano, con la possibilità eventuale in un futuro prossimo di aggiungerne una adiacente per il rifornimento di auto private.

3.2.1. Principio di funzionamento del processo

L'elettrolisi è un'opzione promettente per la produzione di idrogeno da risorse rinnovabili. Nella cella elettrolitica l'elettrodo collegato al polo negativo del generatore viene denominato catodo mentre l'elettrodo collegato al polo positivo viene denominato anodo.

Quando i due elettrodi, collegati ai poli del generatore, sono immersi nella soluzione, in questa si verifica una doppia migrazione degli ioni presenti nell'elettrolita: gli ioni positivi, i cationi, vengono attratti dall'elettrodo negativo ovvero dal catodo dove acquistano elettroni riducendosi mentre gli ioni negativi, gli anioni, vengono attratti dal polo positivo, l'anodo dove cedono elettroni ossidandosi.

L'elettrolisi dell'acqua è in grado di produrre idrogeno e ossigeno secondo la seguente reazione:



Per eseguire l'elettrolisi dell'acqua pura si deve tenere conto che essa è un cattivo conduttore e ciò rende impossibile qualunque processo elettrolitico. Per aumentare la conducibilità dell'acqua si deve aggiungere un opportuno elettrolita in grado di dissociarsi in ioni. Tra differenti tipi di elettroliti, quelli alcalini funzionano mediante il trasporto di ioni idrossidi attraverso l'elettrolita dal catodo all'anodo, con l'idrogeno che viene generato sul lato del catodo. Nella figura seguente si riporta uno schema esemplificativo del funzionamento di una cella elettrolitica.

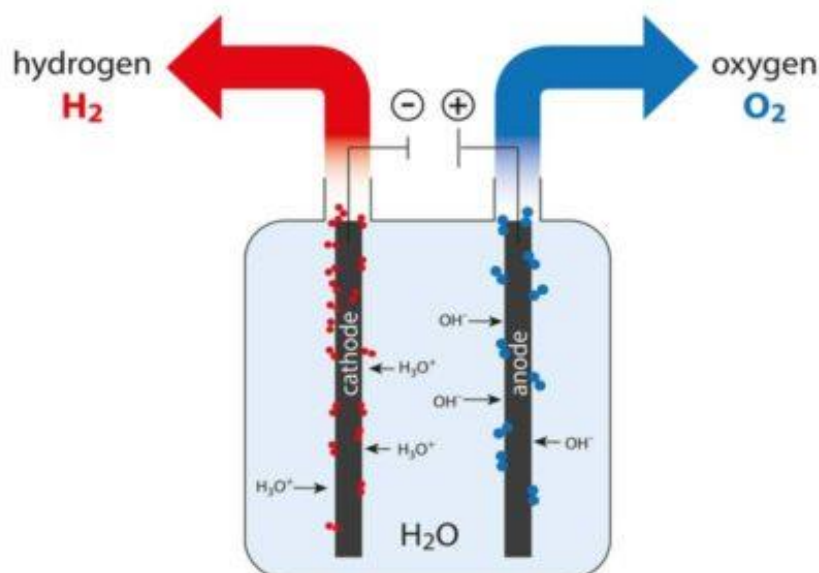


Figura 2. Schema di una cella elettrolitica

3.2.2. Impianto di produzione

L'impianto di produzione idrogeno sarà composto da 3 elementi principali:

1. Elettrolizzatore
2. Sistema di compressione
3. Serbatoi di stoccaggio

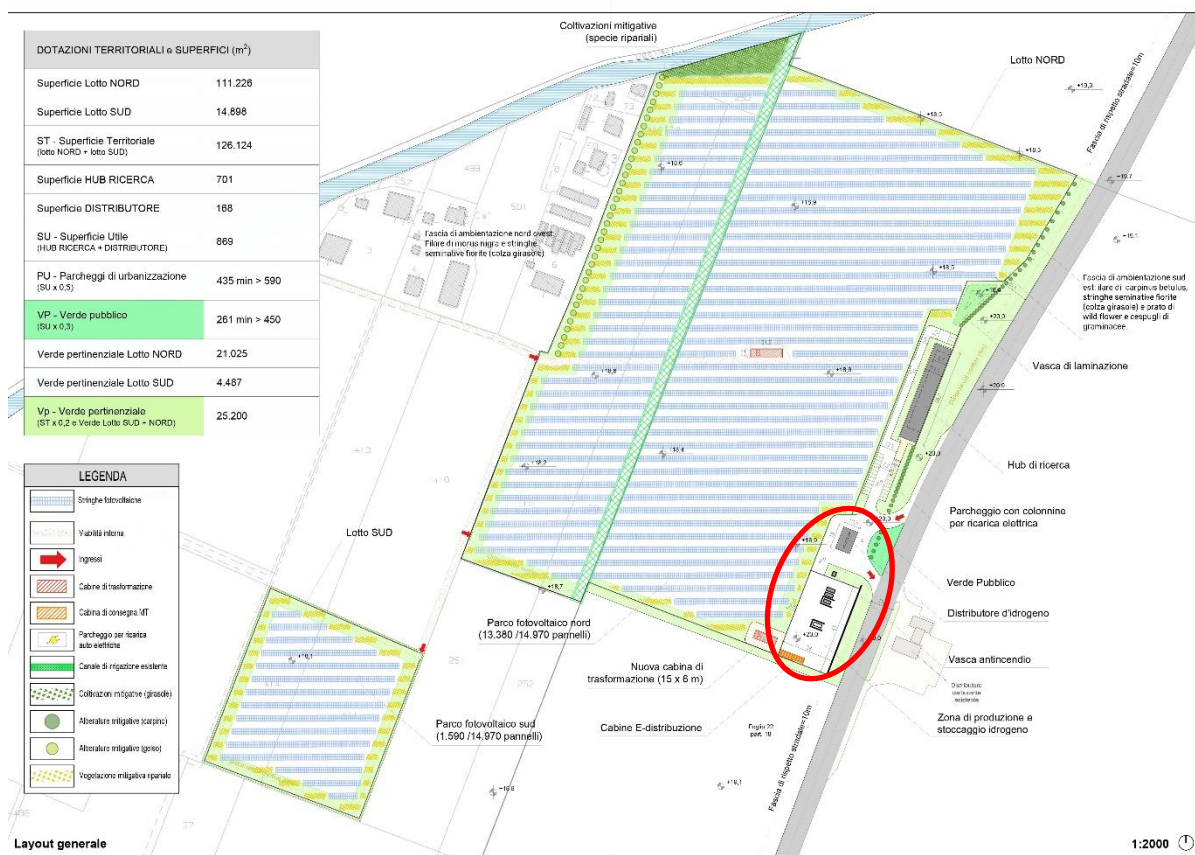


Figura 1. Masterplan di progetto con indicazione (in rosso) della dislocazione dell'impianto di produzione e distribuzione idrogeno

Tutte le apparecchiature saranno fornite di certificazione di conformità alle seguenti norme (dove applicabili):

- 2004/30/UE Compatibilità elettromagnetica
- 2006/42/CE Direttiva macchine
- EN60204-1 Sicurezza dell'equipaggiamento elettrico
- 2014/68/EU Direttiva PED
- 2014/34/UE Direttiva Atex

Elettrolizzatore

L'elettrolizzatore, come detto, è il cuore dell'impianto, con la funzione di produrre idrogeno verde per elettrolisi appunto.

L'elettrolizzatore sarà fornito con integrazione di sistemi di gestione dell'energia, adatto a trattare l'energia derivata dal campo fotovoltaico.

Il sistema è progettato per massimizzare l'automaticità delle operazioni e con una logica "failsafe", basandosi su due unità principali: quella di processo e l'unità di potenza. L'unità di processo contiene tutte le apparecchiature, le tubazioni, connessioni e la strumentazione necessarie per eseguire il processo di elettrolisi. Il sistema di monitoraggio e controllo, basato su un controllore logico programmabile (PLC), è integrato con l'unità di potenza. Di seguito vengono descritti i diversi componenti che costituiscono il sistema.

Stack

Lo stack di celle di tipo PEM costituisce il cuore del processo. Tale sistema è composto da celle elettrolitiche bipolari poste in serie operanti sotto pressione. L'idrogeno e l'ossigeno sono prodotti nelle celle dall'azione di una corrente continua (DC), che scinde l'acqua secondo la seguente reazione di idrolisi sopra riportata.

In base al rapporto stechiometrico dei prodotti si evince che il volume di idrogeno generato sarà il doppio di quello dell'ossigeno.

La scissione dell'acqua richiede un consumo elettrico teorico di circa 3,55 kWh/Nm³ di idrogeno, che è fornito dal flusso di corrente continua, con un consumo reale effettivo di circa 4,8 kWh per ogni Nm³/h prodotto; una frazione della potenza totale viene persa e rilasciata sotto forma di calore. L'efficienza viene quindi misurata confrontando il consumo elettrico teorico con quello reale. L'idrogeno e l'ossigeno generati fluiscono nei serbatoi separatori assieme all'acqua, nei quali la fase gassosa si separa dalla fase liquida, che viene così reintegrata nel sistema costituendo un circuito chiuso.

I due gas vengono poi filtrati passando attraverso filtri separatori per la rimozione dell'umidità, prima di essere rilasciati dall'unità.

L'impianto sarà suddiviso in due strutture comprensive di:

- Elettrolizzatore di tipo PEM;
- Sistema di purificazione dell'acqua;
- Sistema di controllo della temperatura;
- Controllore di tipo PLC;
- Purificazione dell'idrogeno.

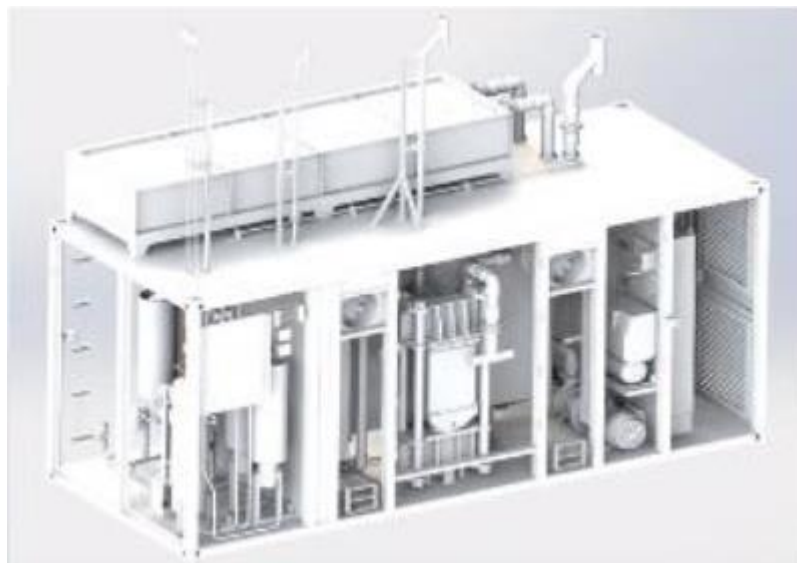


Figura 2. Elettrolizzatore di tipo PEM



Figura 3. Configurazione tipica del sistema di produzione di idrogeno (immagine esemplificativa)

Il sistema produttivo sarà contenuto in due container forniti di un sistema di condizionamento ad aria, necessario per mantenere un'adeguata ventilazione all'interno delle strutture.

La soluzione proposta prevede un sistema di Generatori di H₂ con le seguenti caratteristiche:

Capacità produttiva idrogeno	80 – 85 Nm ³ /h
Dimensioni	N2 x 1700x2600x2400
Potenza installata	500 kW circa

Il sistema sarà allocato in due cabinati da 20 piedi.

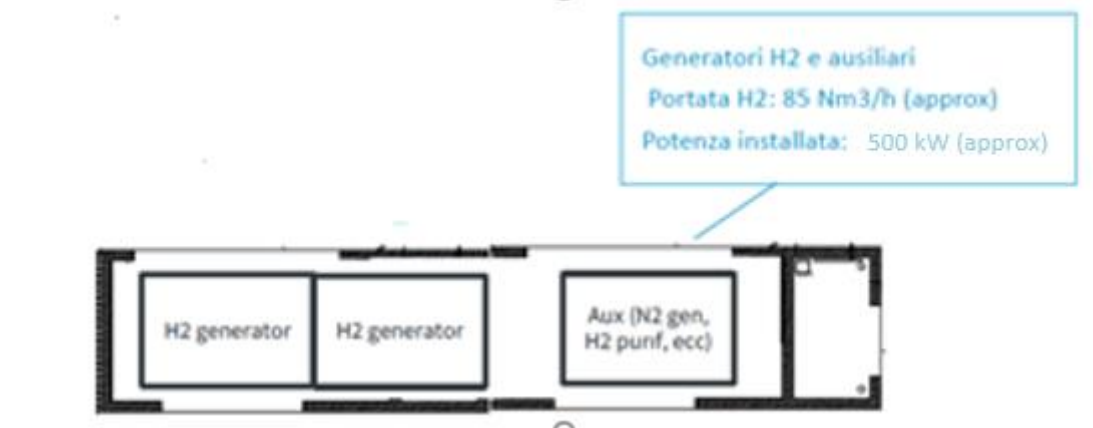


Figura 4. Configurazione tipica del container "Elettrolizzatore" (immagine esemplificativa)

Fornitura dell'acqua

L'acqua necessaria all'elettrolisi viene prelevata direttamente dall'acquedotto per poi essere sottoposta ad un trattamento di purificazione ad osmosi prima dell'invio ai serbatoi di servizio direttamente a bordo macchina. L'acqua demineralizzata viene trasferita quindi nel sistema elettrolitico, quando richiesto dal processo stesso. La conducibilità residua dell'acqua osmotizzata dovrà essere inferiore a quella richiesta dall'elettrolizzatore, sarà cura del fornitore dimensionare l'impianto di trattamento dell'acqua al fine di garantire tale scopo. La linea dell'acqua di alimentazione sarà derivata dal locale tecnico presente nell'HUB di ricerca, dove sarà anche prevista l'installazione di apposito contatore.

Sistema di controllo

L'unità di elettrolisi utilizza un controllore logico programmabile (PLC) per gestire il processo. Il controllore permette di gestire l'impianto senza l'intervento di un operatore, a parte l'accensione o lo spegnimento, o di essere informati di eventuali sorgenti di allarme.

Il controllore è programmato per correggere e monitorare i parametri di processo al fine di mantenere le fasi del sistema sicure ed efficienti.

Le condizioni di lavoro in termini di temperatura, pressione e livello del liquido, sono fornite al controllore per mezzo di specifici strumenti di misura integrati nel sistema di elettrolisi, che poi genera segnali in uscita diretti agli specifici dispositivi di controllo. In caso di condizioni di processo anomale, il controller interromperà la produzione di gas e attiverà i relativi allarmi.

In tali condizioni, i gas vengono automaticamente rimossi mediante iniezione di gas inerte (azoto). La gestione dell'intero sistema di monitoraggio e di controllo remoto è affidata ad un software presente su PC dedicato.

Fornitura di energia elettrica e controllo

Il tasso di produzione di idrogeno è proporzionale al flusso in corrente continua che attraversa lo stack. Questo può essere impostato e regolato in un intervallo compreso tra il 20% e il 100% della capacità di elettrolisi. La tensione di stack, che è correlata all'efficienza della cella, è uno dei parametri visualizzati su un pannello di controllo, insieme ai dati del flusso di corrente.

Analisi dei gas prodotti

La purezza dell'idrogeno e dell'ossigeno viene monitorata tramite analizzatori dedicati. Sono presenti allarmi che si attivano quando la composizione del gas (% di ossigeno nell'idrogeno e % di idrogeno nell'ossigeno) raggiunge il livello di soglia definito in funzione del limite di esplosività al fine di garantire la sicurezza intrinseca del sistema i livelli limite di esplosività.

Sistemi di sicurezza

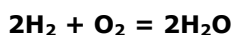
Gli elettrolizzatori sono progettati con una considerazione prioritaria in termini di sicurezza dell'operatore e del sistema. Il sistema si trova in un contenitore o skid costituito da due camere/aree separate, una in cui è presente l'unità di processo e una in cui è presente l'unità di potenza. Una doppia parete, con doppi passacavi, separa le due stanze.

La camera di processo è sottoposta a ventilazione forzata per eliminare ogni possibile traccia di idrogeno. I componenti della parte elettrica sono selezionati in relazione alle prescrizioni di sicurezza già descritte, seguendo le relative regolamentazioni tecniche.

Purificazione dell'idrogeno

Per ottenere un'elevata purezza dell'idrogeno, con contenuti di acqua e ossigeno nell'ordine del PPM, il gas deve essere purificato in una sezione apposita del processo.

La sezione di purificazione è composta da filtri per la rimozione dell'acqua residua, un reagente catalitico per la rimozione del contenuto di O₂ e da due essiccatori per la rimozione dell'acqua. Il reattore (disossidante) favorisce la reazione di una piccola frazione di O₂ con una frazione stechiometrica di H₂, producendo acqua come segue:



Per aumentare la conversione dell'ossigeno in acqua, l'idrogeno viene riscaldato fino a 40°C da un riscaldatore elettrico. La reazione genera calore, pertanto è necessario raffreddare il gas in uscita attraverso uno scambiatore di calore. La condensa formata dal raffreddamento viene rimossa all'interno di un filtro coalescente posto a valle dello scambiatore.

L'idrogeno disossidato, saturo di umidità, viene alimentato a due adsorbitori, utilizzati alternativamente: mentre il primo disidrata il gas, il secondo è in rigenerazione. Al termine della fase attiva, gli essiccatori invertono il loro funzionamento. La rigenerazione è dovuta al processo TSA, dove il letto di allumina viene preventivamente riscaldato a 150 °C-180 °C per rilasciare acqua;

successivamente, un flusso di gas secco fluisce attraverso il serbatoio per rimuovere l'acqua in eccesso e raffreddare l'allumina sotto i 35°C.

Compressione

A valle della produzione dell'idrogeno, lo stesso sarà inviato all'unità di compressione. Come detto in precedenza, visto l'utilizzo finale previsto dell'idrogeno (autotrazione bus), la pressione finale di utilizzo dovrà raggiungere i 350 bar. Per questo è necessario prevedere una stazione di compressione fino a 450/500 bar.



Figura 5. Configurazione tipica del container "compressione"(immagine esemplificativa)

Il sistema di compressione previsto è costituito da un booster alternativo a pistoni per idrogeno con trasmissione idraulica. La trasmissione idraulica permette di eliminare volani, alberi a gomito, teste a croce e rende possibile interrompere l'erogazione del gas istantaneamente mentre il motore continua a girare in folle per riprenderla in qualsiasi momento senza alcuna necessità di sfiatare il compressore.

I componenti principali del compressore sono un cilindro idraulico e due cilindri gas. Un'asta in acciaio collega il pistone dell'olio con i due pistoni gas. La pressione dell'olio sul pistone dell'olio muove l'asta e il gas viene compresso nei cilindri appositi. L'unica parte mobile è l'asta. Con questa semplice costruzione orizzontale tutte le forze sono nella stessa direzione e sono bilanciate dall'olio idraulico.

Il pistone del compressore nel suo moto alternativo lavora a una velocità molto inferiore rispetto a quella di altre tipologie di compressori; questo riduce l'usura degli organi di tenuta ed aumenta la vita di tutti i componenti in quanto essi sono sottoposti ad un numero inferiore di cicli di lavoro, cioè al massimo 20 40 corse al minuto.

Tali condizioni di lavoro permettono l'utilizzo di pistoni gas a secco, privi cioè di un sistema di lubrificazione forzata, garantendo quindi anche un livello di purezza dell'idrogeno per mancanza di contaminazioni. I compressori saranno certificati PED e conformi alla normativa ATEX.



Figura 6. Esempio sistema di compressione (immagine esemplificativa)

Il sistema di compressione sarà allocato in cabinato da 20 piedi.



Figura 7. Esempio cabinato per sistema di compressione (immagine esemplificativa)

Dotazioni dei compressori

I compressori sono forniti completi di:

- Cilindro di compressione completo di filtro sull'aspirazione, valvole di sicurezza in aspirazione e mandata, valvola di ritegno in mandata, valvole attuate pneumaticamente in aspirazione e mandata per isolare il compressore in caso di emergenza;
- Gruppo di trasmissione idrostatica con motore elettrico Eexde IIC
- Scambiatori di calore gas interfase e di mandata e scambiatore di calore olio
- Pannello di controllo
- Quadro elettrico: per l'alimentazione di potenza del compressore e per realizzare la logica di funzionamento automatico, sarà fornito un quadro elettrico IP55 con PLC e pannello operatore grafico touchscreen. Sarà possibile collegarsi in remoto sia con VNC sia con TCP/IP

L'attrezzatura e la strumentazione dei compressori includono:

- Manometro di aspirazione
- Pressostato di aspirazione
- Manometro di mandata
- Pressostati di mandata (normali e di sicurezza)
- Trasduttori di pressione
- Termostato di massima temperatura olio
- Livello minimo dell'olio
- Valvole di sicurezza

Tutti gli strumenti sono alimentati a sicurezza intrinseca.

Le tubazioni del gas a bordo macchina e le valvole necessarie per l'automazione sono realizzate in acciaio inox. In aspirazione e mandata del compressore saranno presenti valvole attuate pneumaticamente con ritorno a molla per l'isolamento del compressore in caso di emergenza.

Il sistema è idoneo a partire e ad arrestarsi in qualunque condizione di carico restando sotto pressione senza necessità di essere sfiatato ogni volta. In virtù della trasmissione idrostatica a bassa frequenza non sono richieste fondazioni o fissaggi di alcun tipo.

A servizio del sistema di compressione sarà inoltre installato un sistema di raffreddamento a circuito chiuso, a glicole. Le cooling unit saranno installate all'aperto in zona sicura.

Il sistema di raffreddamento garantisce il raffreddamento del compressore e del gas interstadio e in mandata agli erogatori, e comprende:

- pannello radiatore di adeguata superficie con ventilatore
- pompa di ricircolo di adeguata portata per la circolazione del glicole nel compressore e nel radiatore

Stoccaggio idrogeno

L'idrogeno compresso sarà immagazzinato in apposito sistema di stoccaggio, costituito da 8 moduli allocati in cabinato da 20'.

La pressione di stoccaggio è di 450 bar, i moduli possono contenere fino a 280 kg di H₂ complessivamente.

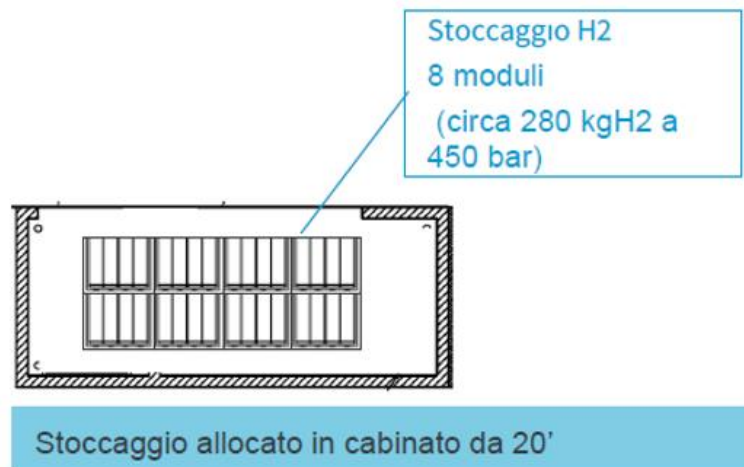


Figura 8. Esempio cabinato per sistema di stoccaggio (immagine esemplificativa)

Durante la redazione del progetto esecutivo, sarà cura del fornitore verificare la necessità di inserire anche uno stoccaggio a bassa pressione e verificare la taglia dello stoccaggio ad alta pressione, in funzione della tecnologia del compressore adottato.

Rimane tuttavia il limite massimo di 280 kg H₂ a 450 Bar, come valore non superabile, ai fini dell'autorizzazione di prevenzione incendi.

3.2.3. Impianto distribuzione

Il distributore avrà la configurazione tipica di un classico distributore stradale, con impianto di erogazione installato sotto copertura. Al momento è prevista la realizzazione di un'unica unità di erogazione, con predisposizione per un'eventuale seconda unità.

La tettoia sarà realizzata in acciaio strutturale S275JR, e installata su platea in conglomerato cementizio per le strutture di fondazione.

La pensilina sarà progettata con struttura metallica rivestita in lamiera dai cromatismi affini e coerenti con quelli dello HUB di ricerca e desumibili dalla palette dello studio cromatico. Questa scelta è dettata dalla volontà di massimizzare l'unitarietà dell'intervento declinando il medesimo linguaggio formale secondo le esigenze poste dalle specifiche parti del progetto. L'accesso veicolare all'area di rifornimento, complanare al livello della strada, avverrà sulla carreggiata ovest della Strada Provinciale 255 attraverso una corsia di decelerazione. A sud della pensilina trova spazio un'area tecnica destinata allo stoccaggio e produzione di idrogeno e quindi accessibile esclusivamente da addetti incaricati.

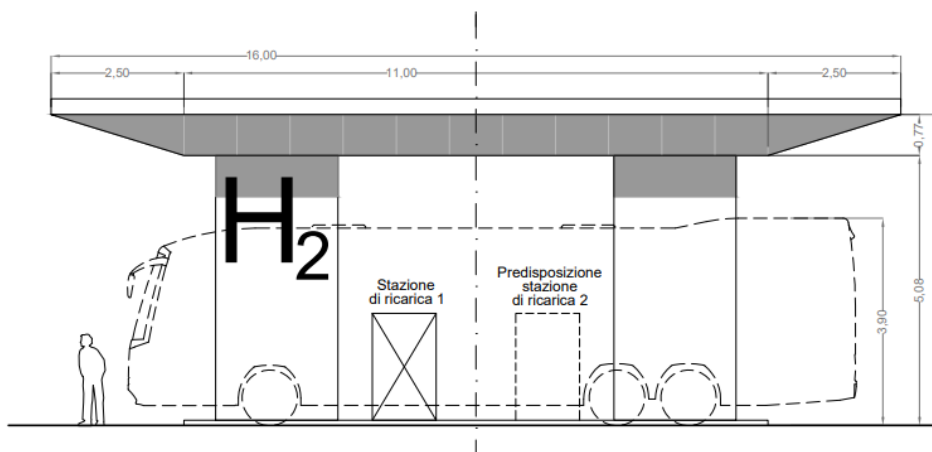


Figura 9. Distributore idrogeno – vista frontale

L'erogatore comprende

- le valvole di rifornimento (valvola principale e rampa regolatore),
- il misuratore di pressione e temperatura
- il flussometro.
- giunto a rottura
- Tubo di rifornimento ad alta pressione
- Raccordo di riempimento
- Schermo ed unità di controllo



Figura 10. Colonnina erogazione idrogeno (immagine esemplificativa)

Caratteristiche tecniche erogatore

N. unità di erogazione	1
Tempo medio per singolo rifornimento	15 min
Quantità di carica	37,4 kg H ₂
Pressione di carica	350 bar

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Scheda tecnica di riferimento autobus idrogeno	9
Figura 2.	Schema di una cella elettrolitica	11
Figura 1.	Masterplan di progetto con indicazione (in rosso) della dislocazione dell'impianto di produzione e distribuzione idrogeno.....	12
Figura 2.	Elettrolizzatore di tipo pem.....	14
Figura 3.	Configurazione tipica del sistema di produzione di idrogeno (immagine esemplificativa)	14
Figura 4.	Configurazione tipica del container "elettrolizzatore" (immagine esemplificativa)	15
Figura 5.	Configurazione tipica del container "compressione"(immagine esemplificativa)	17
Figura 6.	Esempio sistema di compressione (immagine esemplificativa)	18
Figura 7.	Esempio cabinato per sistema di compressione (immagine esemplificativa)	18
Figura 8.	Esempio cabinato per sistema di stoccaggio (immagine esemplificativa)...	20
Figura 9.	Distributore idrogeno – vista frontale	21
Figura 10.	Colonnina erogazione idrogeno (immagine esemplificativa)	22