

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Chimica e dei Materiali

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Chimica e dei Processi Sostenibili**

Tesi di Laurea Magistrale

**Indici di performance HSE per le
Tecnologie Verdi**



Relatore

prof.ssa Micaela Demichela

Candidato

Elena Basciu

Dicembre 2023

A Tore

ABSTRACT

Percorrere la strada della Transizione Energetica porta con sé delle problematiche legate al mondo del lavoro e, in particolare, alle lavoratrici e ai lavoratori, la cui tutela deve essere sempre posta al centro del dibattito. Lo slancio verso un'economia verde, porta quindi allo sviluppo di nuovi lavori, i cosiddetti "lavori verdi": risulta fondamentale evidenziare i rischi sulla salute e sulla sicurezza che questi nuovi lavori comportano, al fine di garantire condizioni di lavoro sicure e salubri, nonché le ricadute sull'ambiente in cui questi operano.

Lo scopo di questo lavoro è quello di individuare delle metodologie per la valutazione della sostenibilità degli impianti per la produzione di energia proveniente da fonti rinnovabili. Tali metodologie sono focalizzate sulle componenti relative alla gestione della Salute (Health), la Sicurezza (Safety) e l'Ambiente (Environment), ossia HSE, con particolare attenzione al loro impatto sui lavoratori che operano in tali impianti.

Il lavoro è suddiviso in una parte introduttiva dove vengono descritte le tecnologie e gli strumenti di riferimento del modello, viene dunque studiato il funzionamento generale delle tecnologie che si utilizzano per produrre energia elettrica a partire dalla radiazione solare e dalla biomassa (tenendo in considerazione anche le tecnologie innovative) in modo da comprendere a pieno quali sono i principi di funzionamento dei processi presi in esame.

La seconda parte del lavoro comprende, la fase di sviluppo del modello e la sua convalida attraverso l'analisi delle caratteristiche di alcuni impianti pilota che utilizzano sia fonti rinnovabili da fotovoltaico, sia Biogas.

Per poter procedere alla costruzione del modello si è dapprima svolta un'analisi accurata della normativa vigente in materia di Tutela della Sicurezza e della Salute sul Lavoro e Ambientale, da cui è stato possibile individuare i fattori di rischio per i lavoratori e l'ambiente. Tali fattori sono poi stati parametrizzati in modo da poter effettuare una valutazione oggettiva, al fine di generare un indice, chiamato Indice di Performance HSE, il cui obiettivo è quello di individuare gli impianti con le performance migliori in ambito HSE e mettere a fattor comune gli interventi, individuati come ripetitivi o migliorativi, in un'ottica di manutenzione/integrazioni utilizzando un approccio predittivo. Il modello così costruito sarà in grado di adattarsi facilmente a tutte le diverse tipologie di impianti per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.

Saranno inoltre individuate le procedure, gli strumenti ed alcune prassi, comuni agli impianti per la produzione di energia rinnovabile, di facile attuazione come ad esempio, quelle per il monitoraggio degli accessi in impianti remoti, la gestione delle segnalazioni e dei piani di miglioramento.

Attraverso questo studio viene individuato un indice analitico, monitorabile nel tempo, rappresentativo dei vari parametri in riferimento agli aspetti HSE che potrà essere utilizzato per confrontare tali aspetti di diversi impianti anche nelle fasi di eventuali *Due Diligenze* a cui gli stessi sono spesso soggetti

ABSTRACT

Going down the road of Energy Transition brings with it some issues related to labor, and in particular to women workers, whose protections must always be placed at the center of the debate. The momentum towards a green economy, thus leads to the development of new jobs, the so-called "green jobs": it is essential to highlight the health and safety risks that these new jobs bring with them in order to ensure safe and healthy working conditions, as well as the effects on the environment in which they operate.

The purpose of this thesis work is to identify methodologies for assessing the sustainability of facilities for the production of energy from renewable sources. These methodologies are focused on the components related to the management of Health (Health), Safety (Safety) and Environment (Environment), i.e., HSE, with particular attention to their impact on workers operating in such plants. This work is divided into a descriptive part where the technologies and reference tools of the model are described, the general operation of the technologies that are used to produce electricity from solar radiation and biomass (also taking into account innovative technologies) is thus described so as to fully understand what are the operating principles of the processes examined.

The second part of the paper includes instead, the model development phase and its validation through the analysis of the characteristics of some pilot plants using both renewable sources from photovoltaics and Biogas.

In order to be able to proceed with the construction of the model, a thorough analysis of current legislation on Occupational and Environmental Health and Safety Protection was first carried out, from which it was possible to identify risk factors for workers and the environment. These factors were then parameterized so that an objective assessment could be carried out in order to generate an index, called the HSE Performance Index, whose objective is to identify the plants with the best performance in the HSE field and pool the interventions, identified as repetitive or improving, with a view to maintenance/integrations using a predictive approach.

The model thus constructed will be able to easily adapt to all different types of renewable energy power plants.

Procedures, tools and some practices, common to renewable energy production facilities, that are easy to implement will also be identified, such as, those for monitoring access in remote facilities, managing alerts and improvement plans.

Through this study, an analytical index is identified that can be monitored over time and is representative of the various parameters in reference to HSE aspects that can be used to compare these aspects of different plants even in the stages of any Due Diligence to which the same plants are often subjected.

Sommario

1	INTRODUZIONE.....	7
2	SVILUPPO SOSTENIBILE E TRANSIZIONE ENERGETICA	9
2.1	SVILUPPO SOSTENIBILE.....	11
2.2	TRANSIZIONE ENERGETICA	12
3	PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTI RINNOVABILI	13
3.1	IMPIANTI FOTOVOLTAICI.....	15
3.1.1	<i>Radiazione solare</i>	<i>16</i>
3.1.2	<i>La scoperta dell'effetto fotovoltaico</i>	<i>18</i>
3.1.3	<i>La cella fotovoltaica</i>	<i>19</i>
3.1.4	<i>Componenti di un impianto fotovoltaico</i>	<i>25</i>
3.1.5	<i>Tipologie di impianti fotovoltaici.....</i>	<i>32</i>
3.2	IMPIANTI A BIOGAS.....	36
3.2.1	<i>Biomassa e bioenergia</i>	<i>36</i>
3.2.2	<i>Digestione anaerobica.....</i>	<i>38</i>
3.2.3	<i>Struttura impianto.....</i>	<i>43</i>
4	METODOLOGIE PER LA DEFINIZIONE DEGLI INDICI DI PERFORMANCE HSE	53
4.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	53
4.1.1	<i>Salute e Sicurezza dei Lavoratori.....</i>	<i>54</i>
4.1.2	<i>Tutela Ambientale</i>	<i>56</i>
4.2	VALUTAZIONE DEI RISCHI PER LA SALUTE E SICUREZZA DEI LAVORATORI.....	58
4.2.1	<i>Individuazione dei rischi</i>	<i>58</i>
4.2.2	<i>Valutazione dei rischi</i>	<i>62</i>
4.2.3	<i>Indicatore del livello di rischio per la SSL.....</i>	<i>65</i>
4.3	VALUTAZIONE DEI RISCHI PER L'AMBIENTE.....	68
4.3.1	<i>Componenti Ambientali Bersaglio.....</i>	<i>68</i>
4.3.2	<i>Fattori di Impatto Ambientale.....</i>	<i>69</i>
4.3.3	<i>Indicatore del livello di rischio per l'Ambiente</i>	<i>75</i>
4.4	INDIVIDUAZIONE DEGLI INDICI DI PERFORMANCE HSE	78
5	CONVALIDA DEL MODELLO.....	79
5.1	PVF-1	80
5.1.1	<i>Applicazione del modello.....</i>	<i>84</i>
5.2	BIO-1.....	87
5.2.1	<i>Applicazione del modello.....</i>	<i>92</i>
5.3	RISULTATI	96
6	CAMPI DI APPLICAZIONE	97
6.1	CONFRONTO DELLE PRESTAZIONI TRA DIVERSI IMPIANTI	97
6.2	DEFINIZIONE PIANO DI MIGLIORAMENTO	98
7	CONCLUSIONI	110
8	BIBLIOGRAFIA.....	113
9	RINGRAZIAMENTI	115
10	APPENDICE A	I
11	APPENDICE B	XIX
12	APPENDICE C	XLV
13	APPENDICE D.....	XLVI
14	APPENDICE E	XLVII

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 4.1 CRITERIO DI STIMA PER LA VALUTAZIONE DELL'ENTITÀ DEI DANNI CAUSATI DA UN EVENTO INCIDENTALE.....	63
TABELLA 4.2 CRITERI DI STIMA PER LA VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI ACCADIMENTO DI UN EVENTO INCIDENTALE.....	64
TABELLA 4.3 3CRITERIO DI STIMA PER LA DETERMINAZIONE DEL FATTORE DI FREQUENZA DI CONTATTO.	65
TABELLA 4.4 SCHEDA DI SINTESI OTTENUTA DALLA VALUTAZIONE DEI RISCHI PER LA SSL	66
TABELLA 4.5 LIVELLO DI RISCHIO ASSOCIATO AI RISCHI CALCOLATI DURANTE LA FASE DI VALUTAZIONE.....	67
TABELLA 4.6 COMPENTI DI IMPATTO AMBIENTALE	69
TABELLA 4.7 FATTORI DI IMPATTO AMBIENTALE	70
TABELLA 4.8 LIVELLO DI RISCHIO ASSOCIATO AGLI IMPATTI AMBIENTALI INDIVIDUATI DURANTE LA FASE DI VALUTAZIONE.....	77
TABELLA 4.9 MATRICE DEGLI INDICI DI PERFORMANCE HSE.....	78
TABELLA 4.10 LIVELLO DI PRESTAZIONE ASSOCIATO ALL'INDICE DI PERFORMANCE HSE	78
TABELLA 5.1 SCHEDA DI SINTESI DEI RISCHI SSL DI PVF-1	84
TABELLA 5.2 FIA PRODOTTI DA PVF-1.....	85
TABELLA 5.3 RISCHI PRODOTTI SULLE CAB DA PVF-1	86
TABELLA 5.5 SEZIONE DI TRASPORTO BIOMASSA SOLIDA BIO-1	88
TABELLA 5.8 SCHEDA DI SINTESI DEI RISCHI SSL DI BIO-1	92
TABELLA 5.9 FIA PRODOTTI DA BIO-1.....	94
TABELLA 5.10 RISCHI PRODOTTI SULLE CAB DA BIO-1	95
TABELLA 6.1 PROPOSTA DI PIANO DI MIGLIORAMENTO ASSOCIATO ALL'INDICE DI PERFORMANCE HSE.....	98
TABELLA 6.2 PROPOSTE DI AZIONI MIGLIORATIVE E/O CORRETTIVE PER LA SALUTE- SICUREZZA DEI LAVORATORI	99
TABELLA 6.3 PROPOSTA DI AZIONI MIGLIORATIVE E/O CORRETTIVE PER L'AMBIENTE.....	105

1 Introduzione

Il periodo di cambiamenti che stiamo vivendo, ha come punto cardine la Transizione Energetica, ovvero il passaggio dai combustibili fossili tradizionali a fonti energetiche di origine rinnovabile, può essere definito come una vera propria Rivoluzione, che inevitabilmente porta con sé numerosi cambiamenti sia a livello economico che sociale: in tutto il mondo si comincia a ragionare in un'ottica di sostenibilità e rivoluzione tecnologica.

Tutto questo ha conseguenze importanti nel mondo del lavoro e dei lavoratori, dove trovano spazio nuove figure professionali. I cosiddetti "Lavori Verdi" (Green Jobs) comprendono tutte quelle attività finalizzate a riconvertire in un'ottica sostenibile le imprese, le pubbliche amministrazioni e tutto il settore economico in generale. Nonostante non esista una definizione univoca e condivisa a livello internazionale, possiamo definire i lavori verdi come tutti quei lavori che hanno come scopo la salvaguardia e il ripristino dell'ambiente che può essere raggiunta attraverso impieghi e attività differenti secondo il settore di riferimento.

Lo sviluppo di questi nuove figure professionali porta con sé numerose opportunità sul piano occupazionale, ma diventa sempre più importante affrontare in modo appropriato la questione della salute e sicurezza dei lavoratori. Le numerose innovazioni tecnologiche, i nuovi materiali utilizzati e i processi produttivi emergenti, hanno determinato la nascita di nuovi profili di rischio che devono essere analizzati e gestiti in modo adeguato.

In molti casi la rigida applicazione del semplice "principio di precauzione" può risultare una soluzione non sempre percorribile poiché l'interesse per la tutela della salute dei lavoratori può entrare in contrasto non solo con gli interessi di natura economica, ma anche con la preservazione e la tutela dell'ambiente.

Sempre più aziende, sensibilizzate dalle suddette tematiche, stanno adottando dei sistemi di gestione che le supportino nella programmazione ed attuazione delle attività da effettuare in un'ottica di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori e dell'ambiente, come ad esempio il sistema di gestione integrato (indicato con l'acronimo SGI) della Salute, Sicurezza e Ambiente (indicato con l'acronimo HSE-Health, Safety and Environment). Avvalendosi di questo strumento le aziende mirano a prevenire, mitigare e eliminare eventuali interruzioni e perdite derivanti da incidenti sul lavoro, esposizione a rischi e/o pericoli. In particolare, un sistema gestionale HSE garantisce il rispetto delle leggi e degli standard pertinenti e permette di avere sotto controllo tutte le politiche attuate e documentate.

In particolare, i vantaggi dell'adozione di un sistema gestionale HSE sono riconducibili a:

- definire degli obiettivi di miglioramento e i programmi da attuare in maniera unificata;
- evitare le duplicazioni o le sovrapposizioni tra due o più sistemi effettuando un sistema documentale unico che permetta di facilitare le comunicazioni tra i diversi settori attraverso la condivisione delle informazioni;
- prevenire e eliminare conflitti tra normative di per sé indipendenti;
- individuare approcci strategici innovativi attraverso l'analisi dei processi globali, in ottica di tutela ambientale e riduzione dei rischi per i lavoratori.

Questi vantaggi si riflettono sulla capacità dell'azienda di lavorare secondo un approccio globale, attuato per migliorare l'efficienza e l'efficacia degli strumenti a disposizione per risolvere determinate criticità, trovando benefici in tre aspetti fondamentali dell'impresa, ovvero, economico, strategico e organizzativo.

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è quello di fornire uno strumento che supporti il sistema gestionale HSE, per quanto riguarda la gestione dei rischi per la Salute e Sicurezza dei lavoratori e dell'Ambiente, che possono essere tenuti sotto controllo attraverso un indice, definito come *Indice*

di Performance HSE, per impianti che producono energia elettrica a partire da fonti rinnovabili (definiti da qui in avanti come Impianti FER).

L'Indice di Performance HSE sarà generato in maniera tale da contenere tutti gli aspetti gestionali da monitorare, grazie ai quali sarà possibile mettere a confronto più impianti FER e individuare quali sono le criticità su cui agire per mitigare i rischi derivanti dalle attività svolte tenendo conto di:

- Riferimenti normativi e vincoli legislativi vigenti sul territorio;
- Posizione geografica;
- Numero dei lavoratori;
- Produzione di energia elettrica;
- Impatti ambientali;
- Tutela dei lavoratori

Lo sviluppo del modello sarà effettuato tenendo conto dei riferimenti normativi e legislativi, a livello internazionale, nazionale e locale, per generare un indice che rispetti i vincoli legislativi vigenti.

Il lavoro che segue può essere suddiviso in 3 sezioni principali:

1. *Sezione di presentazione*: in questa prima parte, essenzialmente descrittiva, viene individuato il panorama internazionale da cui nasce l'esigenza di fornire uno strumento di supporto per le organizzazioni e le imprese nella gestione HSE. Vengono quindi descritti quelli che sono i principi dello Sviluppo Sostenibile dove si inserisce il concetto di Transizione Energetica e le modalità attraverso cui questa si sviluppa. Per ultimo si descrivono nel dettaglio due tipologie di impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabile differente, ovvero a partire dall'energia solare e dalla biomassa, al fine di comprenderne i principi di funzionamento e i processi che ivi avvengono. Si è scelto di entrare nel dettaglio del funzionamento di queste tipologie di impianti in quanto, per convalidare il modello sviluppato, verranno utilizzati impianti di questo tipo.
2. *Sezione di sviluppo del modello*: questa sezione può essere vista come il cuore dell'intero lavoro. Vengono inizialmente presentate le normative e le leggi utilizzate come riferimento nella costruzione del modello e poi vengono definite le modalità attraverso cui effettuare un'adeguata valutazione dei rischi (in materia di Salute e Sicurezza sul Lavoro e Tutela Ambientale) nel rispetto dei suddetti riferimenti. Attraverso considerazioni derivanti dall'analisi di diversi casi studio e tramite il supporto di esperti, è stato generato l'Indice di Performance HSE dell'impianto che permette di determinare il livello di prestazione HSE degli impianti FER. Si definiscono i livelli di rischio associati a tali impianti e quali sono le azioni correttive e/o migliorative da adottare per ottenere una prestazione migliore in termini HSE dell'impianto.
3. *Sezione di convalida del modello e conclusioni*: l'ultima sezione mira a verificare se il modello sviluppato nella precedente sezione può essere utilizzato in maniera efficace e efficiente come supporto nella gestione HSE di un'azienda. A tal fine vengono utilizzati due impianti pilota un fotovoltaico (PVF-1) e un impianto a biogas (BIO-1). Infine, verranno individuati quelli che sono i campi di applicazione del modello, i punti di forza e quali limiti presenta, seguito da considerazioni su come questi possano essere superati.

Questo lavoro di tesi è stato svolto in collaborazione con lo Studio Buonanno s.r.l. che ha fornito supporto nella fase di sviluppo del modello, mettendo a disposizione numerosi casi studio da cui prendere informazione e, figure esperte che hanno permesso di generare un modello il più possibile accurato. Inoltre, è stato fornito il materiale necessario alla convalida del modello, ottenuto attraverso la raccolta di dati e durante i sopralluoghi effettuati presso gli impianti presi in analisi. Alcune informazioni sono strettamente confidenziali e dunque non saranno rese note in questa trattazione.

2 Sviluppo Sostenibile e Transizione energetica

Dalla rivoluzione industriale, a partire dall'invenzione della macchina a vapore, passando per la scoperta dell'energia elettrica e arrivando alla rivoluzione digitale, sono state fatte numerose scoperte che hanno portato radicali trasformazioni nella vita di tutti i giorni, cambiando per sempre il modo di produrre beni e servizi. Al centro di questa importante trasformazione vi è, non solo l'uomo e la sua voglia di spingersi oltre i propri limiti, ma una sostanza, un materiale inanimato la cui scoperta ha cambiato per sempre il destino del nostro pianeta: il carbone.

Il carbone è un combustibile fossile la cui formazione risale a circa 345 milioni di anni fa, che si è formato all'interno di rocce sedimentarie ed è composto principalmente da carbonio e tracce di altri idrocarburi in materia minore. Sarà proprio questa sostanza ad alimentare la prima macchina a vapore che darà il via alla rivoluzione industriale. Fino alla seconda metà del XX secolo la fonte primaria per la produzione di energia veniva dal carbonio, ma grazie alle nuove scoperte in campo tecnologico, dagli anni '50 si iniziò ad utilizzare una nuova sostanza: il petrolio, anch'esso un combustibile di origine fossile.

Per quanto queste scoperte e invenzioni abbiano cambiato le nostre abitudini, portando un benessere che si è tradotto in un aumento esponenziale degli abitanti sul pianeta terra, l'uso sconsiderato di questi ha riversato in atmosfera milioni di tonnellate di CO_2 , influenzando l'equilibrio naturale del pianeta e portando alle catastrofiche conseguenze di cui siamo testimoni ogni giorno: siccità, scioglimento dei ghiacciai, innalzamento dei livelli dei mari, innalzamento della temperatura media del pianeta sono le principali conseguenze del cosiddetto "Global Warming", ovvero il riscaldamento globale.

Tale fenomeno deriva dall'alterazione dei gas presenti nella nostra atmosfera responsabili dell'effetto serra, la presenza di questi gas (principalmente anidride carbonica, metano ma anche vapore acqueo e altri gas) permettono al nostro Pianeta di mantenersi a una temperatura adatta alla vita. I raggi del sole che raggiungono la superficie terrestre non sono tutti assorbiti, ma in parte vengono riflessi verso l'esterno, la presenza dell'atmosfera permette di trattenere una parte di essi evitando che si disperdano nello spazio, in questo modo il calore che deriva dai raggi trattenuti si somma a quello dei raggi assorbiti, creando delle condizioni climatiche ideali allo sviluppo e alla proliferazione delle forme di vita sulla Terra. Tuttavia, le attività antropiche hanno destabilizzato la composizione naturale dell'atmosfera, in particolare aumentando la concentrazione dei gas serra che trattengono e reindirizzano sulla superficie terrestre una quota maggiore di radiazione solare provocando un innalzamento della temperatura sul pianeta. Questo fenomeno si traduce in una serie di cambiamenti climatici che tendono a destabilizzare l'intero equilibrio degli ecosistemi.

Gli organismi internazionali hanno lanciato una serie di iniziative che delineano le strategie da utilizzare per affrontare questo problema. È necessario che a livello globale vengano predisposte delle azioni mirate per adottare soluzioni in grado di limitare, quanto più possibile questo fenomeno e garantire alle generazioni future la possibilità di vivere sul pianeta Terra con le stesse condizioni in cui lo conosciamo noi. Questo è possibile effettuando un vero e proprio cambiamento di paradigma dell'intero sistema di produttivo, che consiste nell'intraprendere la strada della Transizione Energetica, ovvero cambiare il modo in cui si produce l'energia, attraverso il passaggio dalle attuali fonti non rinnovabili (petrolio, gas e carbone) ad un mix di energie rinnovabili più efficiente e meno inquinante.

Lo Stato italiano, per contrastare il cambiamento climatico, utilizza come riferimento diverse fonti che comprendono leggi, accordi e piani, di seguito elencate.

UNFCCC (Accordi di Rio)

L'UNFCCC è entrata in vigore il 21 marzo del 1994, dopo esser stata sottoscritta a Rio de Janeiro durante il vertice sulla Terra (Giugno 1992) da 154 paesi più l'UE. Con questa viene definito come obiettivo la stabilizzazione delle concentrazioni di gas-serra per la protezione del clima attraverso la promozione di interventi mirati. Vengono definiti degli impegni non vincolanti per i Paesi industrializzati che si impegnano a riportare entro il 2000 le proprie emissioni di gas-serra ai livelli del 1990. Dal 1995 sono iniziate le COP (Conferenza delle parti). La prima fu a Berlino, dove i Paesi si impegnarono a rendere più stringenti gli accordi usciti da Rio con il cosiddetto "Mandato di Berlino" e da cui si è poi sviluppato il Protocollo di Kyoto.

Protocollo di Kyoto

Il protocollo di Kyoto adottato nel 1997 ma entrato in vigore nel 2005 rappresenta il primo accordo internazionale giuridicamente vincolante in questo ambito. Prevede l'impegno di 37 paesi e la Comunità Europea, che vengono riconosciuti come i principali responsabili di emissione di gas-serra, a ridurre le loro emissioni di almeno il 5% rispetto ai livelli del 1990, nel periodo 2008-2012.

Pacchetto clima ed energia

Questo pacchetto viene adottato dall'UE nella Direttiva 2009/29/CE per definire le strategie nel periodo successivo al Protocollo di Kyoto. Prevede, entro il 2020, la riduzione delle emissioni di gas-serra del 20%, alzare del 20% la quota energetica proveniente da fonti rinnovabili e portare al 20% il risparmio energetico.

Accordo di Parigi

Viene firmato durante la COP21 (Conferenza di Parigi sul Clima, tenutasi nel 2015) da 196 paesi. L'accordo prevede di mantenere l'aumento della temperatura media al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali, per arrivare all'obiettivo di mantenere il limite di 1,5°C al fine di diminuire l'impatto del cambiamento climatico e di garantire un flusso costante di finanziamenti verso soluzioni scientifiche che mirano ad abbattere le emissioni. Inoltre, gli stati membri dell'UE si impegnano ad adottare impegni che permettano all'Unione di diventare la prima economia e società a impatto zero entro il 2050.

Green Deal

Viene presentato dalla commissione Europea nel dicembre 2019 che propone un insieme di iniziative mirate a stimolare l'uso efficiente delle risorse, arrestare i cambiamenti climatici, mettere fine alla perdita di biodiversità e ridurre l'inquinamento.

Tra le iniziative proposte vi sono:

- Fit for 55 che prevede le azioni finalizzate a ridurre le emissioni di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990 garantendo una transizione giusta e socialmente equa;
- Normativa Europea sul clima (che vincola giuridicamente la neutralità climatica al 2050 e la riduzione del 55% entro il 2030);
- la Strategia di adattamento ai cambiamenti climatici (soluzioni basate sulla natura, Protezione civile addestrata nell'operare durante gli eventi meteorologici estremi, adattamento delle politiche macrofiscali);
- un piano d'azione per l'economia circolare e per la produzione e smaltimento delle batterie europee.

Piano Integrato Energia e Clima (PNIEC)

Il PNIEC rappresenta la proposta italiana di strategia energetica nazionale da attuare per raggiungere gli obiettivi di riduzione dei gas serra del 40% entro il 2030, efficienza e utilizzo di fonti rinnovabili.

Il piano è stato pubblicato nel 2020 e risulta essere già obsoleto in quanto gli obiettivi previsti dal Fit for 55 prevedono la riduzione delle emissioni del 5% entro il 2030.

8° Piano di azione per l'ambiente

Il piano proposto dalla Commissione Europea è entrato in vigore il 2 Maggio 2022 con lo scopo di perseguire i seguenti obiettivi: riduzione delle emissioni di gas serra, individuare un modello di crescita per poter restituire alla terra più di quanto si prenda da essa, adattamenti ai cambiamenti climatici, protezione e ripristino della biodiversità, azzeramento dell'inquinamento, la riduzione delle principali pressioni ambientali e climatiche connesse alle attività antropiche.

Piano 2030

Il piano 2030 definisce degli obiettivi da raggiungere entro il 2030, tra cui troviamo: la decarbonizzazione della produzione energetica efficienza energetica, sicurezza energetica, mercato interno (maggiore flessibilità del sistema elettrico, ricerca innovazione e competitività).

PNRR

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza si inserisce nel piano Next Generation EU, con l'obiettivo di portare l'Italia verso una transizione ecologica attraverso lo stanziamento 59 miliardi (31,05% del finanziamento del piano) e digitali con 40 miliardi (21% del totale).

Oltre a quelle sopracitate, nel piano vengono individuate altre 4 missioni, ovvero Infrastrutture per una mobilità sostenibile (25,40 miliardi), Istruzione e ricerca (30,88 miliardi), Inclusione e coesione (19,81 miliardi), Salute (15,63 miliardi).

2.1 Sviluppo Sostenibile

Il concetto di Sviluppo Sostenibile nasce dalla necessità di trovare un modello economico alternativo al modello tradizionalmente utilizzato che è destinato a causare il collasso dell'intero ecosistema terrestre. Le suddette iniziative, proposte dagli organi internazionali, mirano proprio ad adottare un sistema economico che sia rispettoso della natura e in grado di generare benessere, sia a livello economico e sociale, per tutti gli abitanti del pianeta.

Lo Sviluppo Sostenibile è un concetto che si presta a numerose interpretazioni, tuttavia esso viene riconosciuto universalmente attraverso la definizione presente nel rapporto Brundtland del 1987 come:

“quello sviluppo che consente alla generazione presente di soddisfare i propri bisogni senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri.”

Le prime osservazioni relative alle criticità del modello di sviluppo tradizionale erano già state effettuate negli anni '70, quando la crisi petrolifera, causata dalla guerra tra Israele e i Paesi Arabi, mise in difficoltà l'intera economia occidentale, che si basava sullo sfruttamento del petrolio presente nei territori medio orientali. Ma fu solo dal 1992 (Accordi di Rio) che gli organismi internazionali hanno riconosciuto la necessità di cambiare radicalmente il modo di concepire l'economia a partire dalla produzione fino al consumo di beni e servizi, attraverso un sistema che ponesse al centro dell'attenzione la tutela dell'ambiente e della salute delle persone.

Il nuovo modello di sviluppo prevede, dunque, che i bisogni essenziali siano soddisfatti attraverso processi di produzione che siano in grado di rispettare i ritmi dei cicli naturali e compatibili con l'ecosistema.

Il concetto di sostenibilità può essere applicato a tutte le dimensioni dello sviluppo, e in particolare, possiamo individuare tre macro-aree di interesse:

- sostenibilità economica
- sostenibilità sociale
- sostenibilità ambientale

Si può osservare che questi settori non sono indipendenti tra loro, ma ognuno di essi interagisce con l'altro. Lo sviluppo sostenibile deve infatti diffondere il benessere per il maggior numero di persone e questo passa attraverso l'attuazione di politiche che permettono l'opportunità di crescere in termini di occupazione, accesso ai beni, servizi e consumi. Per fare questo è evidentemente necessario individuare nella sostenibilità ambientale il pilastro da cui partire per costruire una società equa e in grado da garantire il benessere di ogni individuo.

La sostenibilità ambientale nasce infatti con l'obiettivo di tutelare l'ambiente in cui viviamo, in maniera tale che la natura provveda a fornire le condizioni adeguate a creare crescita e sviluppo.

Il risultato è un completo cambio di paradigma rispetto alle dottrine economiche che hanno governato i secoli scorsi, adesso la natura non è più considerata come un contenitore inesauribile di risorse da cui attingere per soddisfare i bisogni della società, ma diventa un bene essenziale che deve essere preservato e tutelato attraverso sforzi e azioni collettive.

I principi su cui si fonda lo Sviluppo Sostenibile sono determinati all'interno dell'Agenda 2030. Si tratta di un programma di azione per le persone, il pianeta e la prosperità sottoscritto nel settembre 2015 da 193 Paesi membri dell'ONU dove vengono individuati 17 obiettivi (Sustainable Development Goals- SDGs), articolati in 169 target che rappresentano delle linee guida per orientare i Paesi lungo il percorso della sostenibilità attraverso obiettivi comuni.



Figura 2.1 Sustainable Development Goals (Fonte: www.asvis.it)

2.2 Transizione Energetica

La transizione energetica attualmente in atto prevede di cambiare il modo in cui si produce l'energia, eliminando a questo scopo, lo sfruttamento delle risorse fossili a favore dello sviluppo di tecnologie che utilizzano fonti rinnovabili come materia prima per generare energia.

La transizione energetica tuttavia non è limitata alla semplice chiusura delle centrali a carbone e allo sviluppo delle energie rinnovabili, ma prevede un cambiamento in tutto ciò che riguarda il mercato

energetico che va dallo sviluppo di nuove tecnologie per la distribuzione e lo stoccaggio dell'energia, all'elettrificazione di alcuni settori, alla digitalizzazione.

Percorrendo la strada della transizione energetica si vuole garantire uno sviluppo sostenibile e prospero per tutti gli abitanti della Terra, perseguibile attraverso il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- riduzione delle emissioni di gas serra: il principale obiettivo della transizione energetica è la mitigazione del cambiamento climatico, che passa attraverso la riduzione delle emissioni di gas-serra provenienti dalle attività antropiche;
- promozione delle energie rinnovabili: un obiettivo chiave della transizione energetica è quello di aumentare la quota di energia prodotta a partire da fonti rinnovabili;
- decarbonizzazione: prevede la progressiva riduzione delle emissioni di carbonio derivanti dalle attività antropiche;
- efficienza energetica: ridurre il consumo di energia utilizzando delle misure mirate ad utilizzare l'energia in modo più efficiente per poter ottenere gli stessi risultati attraverso consumi minori;
- diversificazioni delle fonti energetiche: significa ridurre la dipendenza da un singolo tipo di combustibile per rendere l'approvvigionamento energetico più resiliente e sicuro;
- sicurezza energetica: riducendo la dipendenza dai combustibili fossili di importazione è possibile migliorare la sicurezza energetica dei paesi, rendendoli meno vulnerabili alle fluttuazioni nei prezzi e ad interruzioni di fornitura.

A causa della sempre più elevata richiesta energetica, fino ad ora le fonti di energia rinnovabili non sono state in grado di sostituire completamente le "vecchie", ma le hanno semplicemente affiancate. Le tecnologie che utilizzano fonti fossili non rinnovabili sono risultate sempre più convenienti ed efficienti e, specialmente per quanto riguarda i paesi entrati recentemente nella fase industriali, questo ha frenato notevolmente la transizione energetica.

La ricerca scientifica tuttavia ha permesso di sviluppare tecnologie basate sull'utilizzo di fonti rinnovabili sempre più competitive sul mercato fornendo così una soluzione a questo problema.

3 Produzione di Energia Elettrica da Fonti Rinnovabili

Le tecnologie che utilizzano fonti rinnovabili per produrre energia elettrica rappresentano il cuore della transizione energetica e sono sempre più diffuse a livello globale.

I vantaggi che derivano dall'utilizzo di queste tecnologie sono molteplici, oltre a produrre energia elettrica senza emettere gas serra, le fonti derivano da risorse naturali e inesauribili, ovvero che sono in grado di auto-rigenerarsi in tempi brevi, compatibili con il loro consumo.

Tra le fonti di energia rinnovabile più diffuse troviamo:

- Energia solare: consente di produrre elettricità a partire dalla radiazione solare che arriva sul nostro pianeta. Il processo di conversione da energia solare a energia elettrica avviene utilizzando un impianto fotovoltaico o solare. L'impianto fotovoltaico sfrutta l'irradiazione solare per fornire corrente elettrica mentre l'impianto solare è collegato a un serbatoio che riscalda l'acqua e si utilizza in sostituzione di una caldaia.
- Energia eolica: questo tipo di energia utilizza la forza del vento per produrre energia meccanica che viene convertita in energia elettrica attraverso un alternatore.
- Energia geotermica: in questo caso si sfrutta il calore naturale che si genera negli strati più profondi della crosta terrestre. Si utilizzano delle centrali geotermiche che convertono il flusso di vapore proveniente dal sottosuolo che è in grado di far muovere una turbina,

l'energia meccanica prodotta in questo modo viene poi convertita in energia elettrica attraverso un alternatore.

- Energia idroelettrica: questo tipo di energia sfrutta i moti dell'acqua (le onde, le maree, le cascate naturali e artificiali, i fiumi, etc..) che producono energia cinetica che viene trasformata in elettricità attraverso delle turbine collegate a un alternatore, in degli appositi impianti chiamati centrali idroelettriche.
- Energia ricavata da biomassa-Bioenergia: l'energia viene prodotta da scarti o residui di lavorazioni agricole o industriali. Attraverso dei processi biologici la materia di scarto viene convertita in gas che possono essere utilizzati come vettori energetici.

Tra queste le tecnologie più mature sono certamente l'idroelettrico e il geotermico, che nel secolo scorso hanno governato il mercato delle rinnovabili. In particolare, per quanto riguarda l'idroelettrico, le prime centrali sono state installate alla fine dell'800, e tutt'ora è la tecnologia più rilevante, con una capacità installata (a livello mondiale) superiore alla somma di tutte le altre. Nonostante sia una tecnologia matura, che non si presta a importanti rivoluzioni, lo sviluppo di nuove tecnologie permette di aumentare l'efficienza e prolungare la durata degli impianti.

Il geotermico invece ha un ruolo secondario a livello globale, in quanto le risorse geotermiche necessarie sono presenti solo in determinate aree geografiche.

Negli ultimi decenni invece si è vista una rapida crescita di quelle che sono le tecnologie basate sull'energia solare e eolica, che si prestano a diventare le protagoniste della transizione energetica. Queste tecnologie, per quanto flessibili, sono correlate alle caratteristiche di una determinata area geografica. In particolare, l'energia producibile dipende dalla disponibilità delle fonti, dalla loro accessibilità tecnica e dai vincoli vigenti su un territorio che ne possono ostacolare l'utilizzo.

Per quanto riguarda la bioenergia prodotta da biomassa invece si deve fare un discorso diverso. Il contributo energetico delle biomasse sempre stato fondamentale nella storia dell'uomo, ed è la fonte che più di tutte ha contribuito al quadro energetico globale, complice anche la distribuzione geografica omogenea delle riserve. La produzione di bioenergia riveste un importante ruolo nell'ottica di economia circolare, infatti si utilizzano gli scarti delle produzioni agricole e industriali come materia prima per produrre combustibili "verdi", andando ad affrontare anche il complesso problema della gestione dei rifiuti.

Oltre alle sopracitate tecnologie già consolidate, tra le tecnologie del futuro si stanno affacciando quelle che sfruttano l'energia del mare, derivante dal movimento delle onde e dalle maree sono le più avanzate. Ma altri metodi si basano sulla differenza di temperatura che si instaura tra acque di superficie e profonde, sulla differenza di salinità e tra le diverse masse di acqua. Queste tecnologie non sono ancora mature per poter essere utilizzate a livello commerciale, ma sono stati prodotti alcuni prototipi che mostrano dei risultati interessanti e positivi.

Il destino delle rinnovabili è quello di diventare la fonte primaria di energia elettrica, e gli accordi internazionali mirano a raggiungere questo obiettivo nel prossimo futuro, attraverso investimenti e finanziamenti destinati alla ricerca per lo sviluppo di tecnologie sempre più efficienti ed efficaci. Secondo il Renewable Capacity Statistics 2023, pubblicato dall'International Renewable Energy Agency (IRENA), alla fine del 2022 le fonti rinnovabili hanno coperto l'83% di tutta la capacità elettrica raggiunta.

Nello stesso anno, molti Paesi hanno aumentato la loro capacità rinnovabile, ma la crescita più importante si riscontra in Asia, Stati Uniti e Europa.

L'Italia sul fronte delle energie rinnovabili ha da sempre presentato un'avanguardia, in Europa e nel mondo. La posizione geografica e le caratteristiche morfologiche del territorio rendono disponibili numerose fonti energetiche naturali sul territorio che grazie alle moderne tecnologie possono essere convertite in energia elettrica.

Il mercato è da sempre dominato dall'idroelettrico, seguito da solare fotovoltaico, l'eolico, le bioenergie e il geotermico che nel complesso provvedono a generare un terzo dell'energia elettrica prodotta in Italia e la posizionano come terzo produttore di rinnovabili in Europa.

La diffusione degli impianti rinnovabili non è uniforme sul territorio, ma presenta importanti differenze dovute alle caratteristiche delle regioni e alla distribuzione delle risorse. L'idroelettrico predomina nelle zone che caratterizzate da forti pendenze (catena delle Alpi e dorsale appenninica) mentre al sud è massiccia la presenza di impianti fotovoltaici ed eolici. Per quanto riguarda l'energia geotermica, grazie alle caratteristiche geologiche della regione, il mercato è dominato dalla Toscana che ha il primato di aver costruito il primo impianto geotermico del mondo nel 1911 a Lardello.

Secondo l'ultimo Rapporto sull'efficienza energetica dell'ENEA, più di un terzo del fabbisogno energetico elettrico italiano è soddisfatto dalle rinnovabili (110 terawattora su un totale di 320 terawattora), in particolare la quota maggiore è fornita dall'idroelettrico 42%, seguita da fotovoltaico (20%) e dalle bioenergie (17%). L'eolico, con una quota di 16%, è la tecnologia che mostra il trend di crescita più solido e si predispone a superare in tempi brevi la tecnologia fotovoltaica e le bioenergie, mentre la quota derivante dalla geotermia si mantiene al 5%.

3.1 Impianti Fotovoltaici

La tecnologia fotovoltaica consente di generare corrente elettrica attraverso la trasformazione dell'energia proveniente dalla radiazione solare, in modo da sfruttare una fonte rinnovabile e inesauribile a costo zero per generare energia pulita.

Il termine fotovoltaico significa letteralmente "energia prodotta dalla luce": foto deriva infatti dal greco "photos" (luce) e voltaico deriva da "Volt" (l'unità di misura della tensione, che prende il nome dallo scopritore della pila Alessandro Volta).

Come vedremo in seguito, le prime osservazioni relative all'effetto fotovoltaico sono riconducibili al 1839, ma fu solo a partire dagli anni '50 del secolo scorso che la tecnologia vide le prime applicazioni pratiche, prima in campo aerospaziale, per poi entrare nel mercato energetico (a partire dalla crisi del petrolio negli anni '70), fino a diventare, ai giorni nostri, una parte integrante del nostro modo di produrre energia elettrica, sia a livello domestico che industriali, vedendo la tecnologia svilupparsi su larga scala.

La struttura elementare della tecnologia fotovoltaica è rappresentata dalla cella fotovoltaica, un dispositivo composto da un materiale semiconduttore, in grado di assorbire la radiazione solare e di trasformare l'energia in essa contenuta in energia elettrica, in corrente continua, che verrà successivamente convertita (utilizzato un dispositivo di trasformazione, l'inverter) in corrente alternata adatta ad alimentare le utenze a cui l'impianto è collegato.

La sempre più urgente necessità di produrre energia utilizzando fonti energetiche alternative per mitigare i cambiamenti climatici e far fronte all'esaurimento delle risorse fossili (con il conseguente aumento dei prezzi), ha portato la comunità scientifica a sviluppare sempre più efficienti e con costi di produzione tali da rendere tale tecnologia competitiva sul mercato.

I vantaggi principali relativi all'uso della tecnologia fotovoltaica li possiamo definire in termini di:

- Inesauribilità della fonte energetica (luce del sole);
- Assenza di prodotti di scarto o emissioni di gas inquinanti e/o a effetto serra (relativamente alla fase di esercizio);
- Alta affidabilità dei componenti a causa dell'assenza di organi in movimento e, conseguentemente, quasi assenza di interventi di manutenzione.

Di seguito verranno esaminati tutti gli aspetti relativi al corretto funzionamento di un impianto fotovoltaico, con particolare attenzione agli elementi che lo costituiscono e alle varie configurazioni impiantistiche sviluppate per massimizzare la produzione di energia e minimizzare i costi (di produzione e di esercizio).

3.1.1 Radiazione solare

La fonte di energia primaria utilizzata per la produzione di energia elettrica tramite effetto fotovoltaico è la radiazione solare. Possiamo definire la radiazione solare come la radiazione elettromagnetica emessa dal Sole come risultato dei processi di fusione dell'idrogeno contenuto in esso (Oliver, 2005). Tale radiazione viaggia dunque, sotto forma di onde elettromagnetiche alla velocità della luce ($c = 2.9937 \times 10^8$ m/s) ed è caratterizzata da una lunghezza d'onda λ e da una frequenza ν , legate dall'espressione $\lambda\nu = c$.

Considerando rapporto tra la distanza del sole dalla Terra ($1,5 \times 10^8$ km) e il diametro del Sole (circa 3×10^5 km), la radiazione ci appare come un fascio coincidente con una dispersione angolare di circa mezzo grado.

La radiazione solare non è concentrata su una singola frequenza, bensì risulta distribuita su un ampio spettro di frequenze con la tipica forma a campana, con una distribuzione spettrale che va dall'ultravioletto (UV) all'infrarosso (IR). Il massimo della radiazione, misurata fuori dall'atmosfera terrestre è centrato nella banda della luce visibile, che presenta il picco alla lunghezza d'onda di circa 500 nm ($\lambda_{max} = 474$ nm).

Attraverso l'osservazione dell'intensità della radiazione solare per un lungo periodo di tempo si è giunti alla conclusione che questa mantiene una certa costante, per questo motivo è possibile introdurre una costante che determina la quantità di radiazione solare (definita con il termine radianza) per unità di tempo e che incide su una superficie unitaria normale alla direzione di propagazione che si trova a distanza media Terra-Sole, che definiamo "costante solare" (G_0) ed è pari a 1367 W/m^2 (CNR, 2012).

Quando la radiazione solare non si presenta perpendicolare alla superficie è necessario modificare il valore della radianza tenendo conto del valore dell'angolo tra la normale alla superficie e i raggi del sole (θ):

$$G = G_0 * \cos(\theta)$$

Tale angolo θ esso dipende da molti parametri, tra i quali possiamo evidenziare:

- latitudine (Φ);
- angolo di tilt (β);
- angolo di azimut (γ);
- angolo orario $\omega = 15 * (12 - \text{ora del giorno})$;
- declinazione solare $\delta = 23,45 * \sin \left[360 * \frac{284 + \text{giorno anno}}{356} \right]$

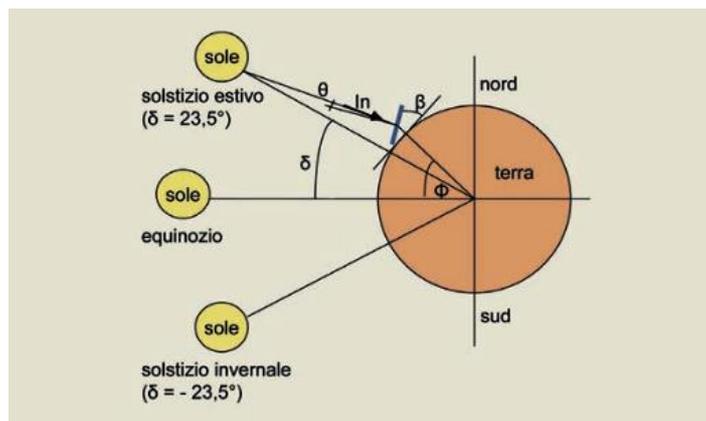


Figura 3.1 Radiazione solare in assenza di atmosfera. Fonte: (ENEA, SICENEA, 2008a)

Attraverso l'utilizzo di calcoli specifici e tramite formule più o meno complesse è possibile calcolare in maniera rigorosa, in assenza di atmosfera, il valore della radianza in qualsiasi istante dell'anno. In presenza di atmosfera è necessario considerare che la radiazione incidente che arriva sulla terra viene divisa in varie componenti: una parte viene assorbita, una parte viene riflessa nello spazio (esterno all'atmosfera) e una parte viene diffusa dall'atmosfera stessa.

Le interazioni tra la radiazione solare e l'atmosfera sono funzione della lunghezza d'onda della radiazione (λ), dalla massa di aria che viene attraversata e dalla composizione dell'aria, nonché dalle condizioni meteorologiche.

Quando la radiazione penetra l'atmosfera solo la frazione del campo visibile raggiunge la superficie terrestre, quello ultravioletto ($\lambda < 0,3 \mu\text{m}$) vengono bloccate all'altezza dello strato di ozono atmosferico, mentre quelle infrarosse vengono bloccate dallo strato di acqua e di anidride carbonica. Inoltre, una frazione di radiazione viene riflessa nello spazio da parte dell'atmosfera e delle nubi. Ne consegue che la frazione di radiazione che arriva sulla superficie è di circa il 47% della potenza disponibile.

La parte di energia che viene assorbita dall'atmosfera viene diffusa dalla stessa, in questo fa sì che la luce non provenga solo dal Sole ma dall'intera volta celeste.

Possiamo quindi suddividere la radiazione solare raccolta al suolo come:

- Radiazione diretta (H_b – beam radiation): rappresenta la frazione di radiazione che arriva alla superficie con un unico e definito angolo di contatto;
- Radiazione diffusa (H_d – diffuse radiation): rappresenta la frazione di radiazione solare che è stata diffusa dall'atmosfera e quindi raggiunge il suolo da tutte le direzioni possibile e si può considerare uniformemente distribuita;
- Radiazione riflessa (H_a -componente di albedo): rappresenta la radiazione che viene riflessa da altre superfici. Questa componente dipende dall'inclinazione della superficie in misura complementare alla radiazione diffusa e dalle proprietà riflettenti del terreno.

La radiazione globale che raggiunge una superficie inclinata è la somma di queste tre componenti, e ne risulta:

$$H = H_b + H_d + H_a \quad (3.1)$$

In figura 3.2 possiamo osservare come le componenti che compongono l'irraggiamento vengono viste da una superficie inclinata:

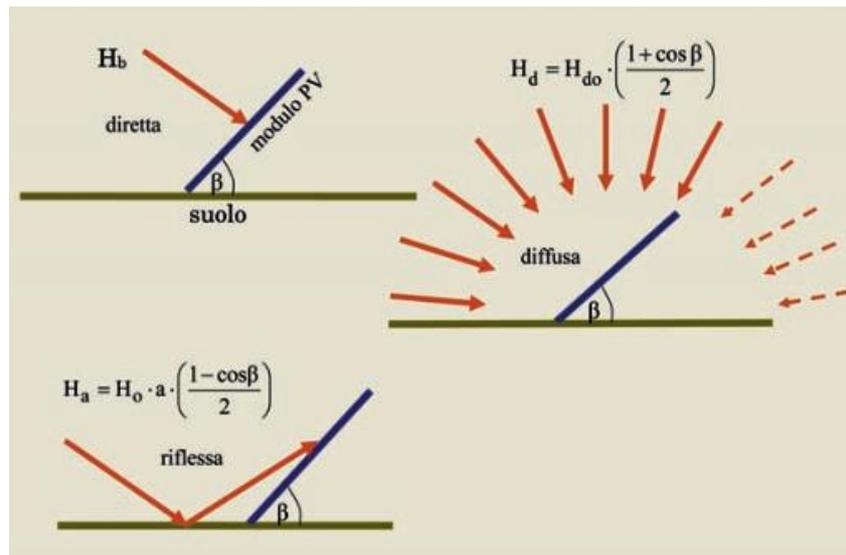


Figura 3.2 Componenti dell'irraggiamento su una superficie inclinata. Fonte: (ENEA, SICENEA, 2008a)

Il calcolo delle tre componenti è molto complesso, varia in base alla località, all'ora del giorno, alle condizioni atmosferiche e meteorologiche ma dipende anche dalle caratteristiche dell'ambiente circostante. Ne risulta che l'intensità della radiazione solare raccolta sul suolo è sempre funzione dell'angolo che la radiazione incidente forma con esso. Questo si può spiegare in quanto, quando la radiazione attraversa lo strato di atmosfera, essa viene deviata con un angolo inversamente proporzionale allo spessore dello strato atmosferico: tanto più è piccolo l'angolo formato con la superficie tanto minore sarà la radiazione che raggiunge la superficie (ENEA, SICENEA, 2008a).

3.1.2 La scoperta dell'effetto fotovoltaico

Le prime osservazioni relative al fenomeno fotovoltaico risalgono al 1839, quando lo scienziato francese A.E. Becquerel scoprì casualmente che la corrente nei dispositivi elettrochimici aumentava quando la luce solare veniva fatta incidere in prossimità degli elettrodi immersi in soluzione salina. Il fenomeno venne registrato come la variazione della conduttività elettrica di un materiale quando viene sottoposto ad irraggiamento con la luce solare o artificiale (Becquerel, 1839). Dopo aver registrato le sue osservazioni, Becquerel non approfondì ulteriormente il fenomeno.

Successivamente W. Smith, nel 1873, osservò lo stesso fenomeno su materiali solidi, come il selenio e attraverso una serie di esperimenti mise in evidenza una chiara dipendenza tra la conduttività del selenio e l'intensità dell'illuminazione. Tali esperimenti vennero confermati qualche anno dopo da due scienziati inglesi W. G. Adams e R. E. Day, i quali dimostrarono in modo sperimentale e riproducibile che era possibile generare corrente elettrica in una barretta di selenio utilizzando semplicemente l'azione della luce e definirono tale corrente "fotoelettrica". (Adams & Day, 1877)

Adams e Day furono i primi a comprendere le potenzialità di tale fenomeno ma il primo dispositivo solido, in grado di convertire la luce solare in elettricità fu realizzato da C. Fritts nel 1883. Questo dispositivo, che possiamo definire come un rudimentale pannello solare, era costituito da uno strato di selenio posto in contatto con una lastra di rame e ricoperto sull'altra faccia da uno sottile strato semitrasparente di oro. Collegando l'elettrodo in oro con lo strato di rame attraverso un amperometro veniva riscontrato un passaggio di corrente quando la luce solare andava a colpire lo strato di selenio dopo aver passato lo strato semitrasparente d'oro. Chiaramente questa tecnologia era caratterizzata da uno scarso rendimento che non favoriva investimenti e applicazioni pratiche. Fu solo dopo quasi un secolo (nel 1954), che grazie alle scoperte in campo fisico e chimico, e in particolare grazie alle scoperte relative alla struttura dell'atomo e della meccanica quantistica, nei laboratori della Bell System di Murray Hills (New Jersey, USA), gli scienziati G. Pearson, D. Chapin

e C. Fuller, costruiscono la prima cella solare capace di generare corrente elettrica. La prima cella fotovoltaica al silicio realizzata dai ricercatori della Bell Sytem fu la prima realizzata utilizzando il silicio monocristallino, e attraverso indagini teoriche e sperimentali condotte sui semiconduttori portarono all'invenzione della cella fotovoltaica a giunzione p-n nel silicio, che rappresenta la base fisica su cui tutt'ora sono realizzate le celle fotovoltaiche. Questo tipo di celle mostrava un'efficienza pari al 2,3%, che allora apparve già come un risultato straordinario, in quanto superavano l'efficienza delle convenzionali celle a selenio utilizzate negli esposimetri fotografici. Successivamente, grazie alle scoperte scientifiche che portarono a una migliore comprensione fisica del comportamento dell'interazione tra cella e luce si arrivò a realizzare dei dispositivi che presentavano efficienza intorno al 5%. Questi risultati permettevano di vedere la possibilità concreta di raggiungere valori sempre più alti attraverso il perfezionamento della tecnologia di produzione dei dispositivi, in modo da migliorare, non solo l'efficienza di conversione, ma anche l'affidabilità delle prestazioni.

Tra gli anni 60 e 70 il fotovoltaico trova le prime applicazioni in campi ristretti, ma l'attenzione sullo sviluppo e il miglioramento della tecnologia diventa sempre più oggetto di studio dopo la crisi petrolifera del 1974 che spinge a cercare nuove fonti energetiche alternative alle fonti fossili.

Tra gli anni 90-2000 la crescita del fotovoltaico tocca il 400% e i prezzi iniziano a diminuire rendendo questa tecnologia sempre più accessibile e competitiva sul mercato energetico.

Le previsioni sul prezzo dell'energia da fonti fossili propendono per un considerevole aumento negli anni a venire, rendendo sempre maggiore l'interesse nei confronti della tecnologia fotovoltaica i cui vantaggi possono essere riassunti in termini di: generazione di elettricità distribuita sul territorio, indipendenza energetica e riduzione delle emissioni (ENEA, 2008a; ENEA,SICENEA, 2008b).

3.1.3 La cella fotovoltaica

Funzionamento della cella fotovoltaica

Attraverso l'effetto fotovoltaico è possibile generare energia elettrica a partire dalla luce proveniente dalla radiazione solare, tale conversione avviene all'interno della *cella fotovoltaica*, un dispositivo costituito da un materiale semiconduttore.

Il principale semiconduttore che si utilizza per questo tipo di applicazioni è il Silicio (Si), la cui struttura atomica risulta uguale del diamante, ogni atomo di silicio possiede quattro elettroni di valenza nell'orbitale esterno e si lega con altri 4 atomi di silicio (fig.3.3) ma le distanze intermolecolari tra gli atomi sono maggiori rispetto a quelle che si osservano tra gli atomi di carbonio che costituiscono il diamante (Oku, 2016).

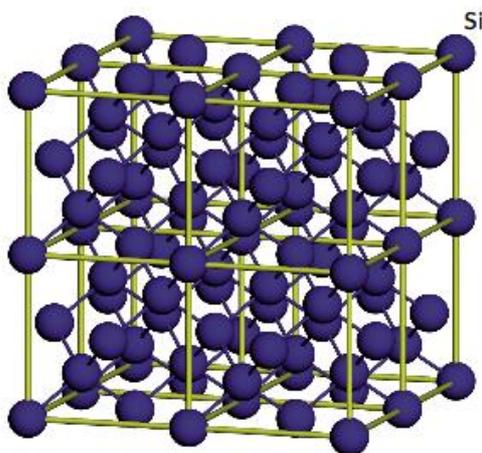


Figura 3.3 Modello della struttura atomica del Silicio. Fonte: (Oku, 2016)

Secondo la meccanica quantistica in un atomo gli elettroni occupano dei livelli energetici discreti, detti anche quantizzati. Come accade per tutti i solidi, nel silicio sono presenti un numero molto elevato di atomi e questo fa sì che i livelli energetici quantizzati siano molto vicini tra loro, e prendono il nome di banda di energia. Talvolta tra bande di energia differenti vi sono delle regioni che sono proibite per gli elettroni che prendono il nome di gap (salto). In tutti i semiconduttori, l'ultima banda di energia completamente piena (allo zero assoluto) viene chiamata banda di valenza e la prima banda di energia vuota banda di conduzione. (Priolo, s.d.).

Quando viene fornita dell'energia all'atomo, per esempio sotto forma di radiazione luminosa, gli elettroni possono passare dalla banda di valenza alla banda di conduzione e rimane un posto vuoto nella banda di valenza che si chiama lacuna. Questo flusso di elettroni alla banda di conduzione genera corrente elettrica (ENEA, SICENEA, 2008a).

In realtà il moto delle lacune risulta essere un moto solo "apparente" in quanto nessuna lacuna si muove, ma viene occupata da un elettrone di valenza di un atomo vicino, che a sua volta lascia libera una lacuna.

Il processo comincia quando un fotone, dotato di sufficiente energia, viene assorbito dal materiale semiconduttore di cui è costituita la cella, tuttavia non tutti i fotoni di cui è costituita la luce solare sono uguali, perché questi vengano assorbiti dalla cella è necessario che possiedano un'energia che sia maggiore di un certo valore, che dipende dal materiale. Se l'energia del fotone è minore del valore minimo il processo di conversione non può essere innescato.

L'energia che il fotone possiede è correlata alla sua lunghezza d'onda, che può essere espressa attraverso la legge di Plank:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.2)$$

Dove:

$h = 6,626 * 10^{-34} Js$ è la costante di Plank

λ è la lunghezza d'onda della radiazione, misurata in [m]

c è la velocità della luce

Drogaggio del Silicio

Perché si verifichi la produzione di energia elettrica è necessario che i fenomeni di ricombinazione tra elettroni e lacune siano limitati e a tale scopo è necessario dare un orientamento preferenziale al moto degli elettroni fornendo un campo elettrico permanente sovrapponendo due strati di silicio drogati con opportuni elementi chimici. A questo scopo viene utilizzata la tecnica del drogaggio, che consiste nell'inserimento di piccole quantità di impurità nel materiale di cui è costituita la cella al fine di alterare le concentrazioni dei portatori di carica e modificare le sue proprietà elettriche.

Il drogaggio può avvenire attraverso due diverse tipologie:

- drogaggio di tipo n: consiste nell'inserire degli atomi "donatori", atomi del quinto gruppo, che mettono a disposizione un elettrone di legame in modo tale che vi sia un eccesso di elettroni disponibili all'interno del reticolo.
- drogaggio di tipo p: si inseriscono degli atomi "accettori", atomi del terzo gruppo, che danno luogo alla carenza di un elettrone di legame.

Quando il semiconduttore che costituisce la cella è il silicio si utilizzano atomi di fosforo e di boro per produrre rispettivamente il silicio di tipo-n e il silicio di tipo- p. (ENEA, SICENEA, 2008a)

Questa procedura risulta essenziale in quanto un semiconduttore pure, dunque quando non sono presenti impurezza nel suo reticolo cristallino, la presenza di elettroni nella banda di conduzione può verificarsi solo in corrispondenza di un numero pari alle lacune che si formano nella banda di valenza. La presenza di impurità all'interno del reticolo squilibra le concentrazioni dei portatori e vi si verifica un eccesso degli uni o degli altri nella banda di conduzioni. La quantità di atomi droganti

è estremamente bassa, dell'ordine di qualche atomo di impurezza per milione di atomi di materiale puro. (Treccani, s.d.)

Per fare in modo che si generi corrente elettrica, è necessario che nella cella si verifichi un intimo contatto di due strati di silicio p e n, la zona di giunzione tra questi prende il nome di "giunzione p-n" e in essa si ha la formazione di un campo elettrico. Sovrapponendo i due strati si innesca un movimento di elettroni nella zona p e di lacune nella zona opposta fino a raggiungere una situazione di equilibrio elettrostatico: in questo modo si forma un campo elettrico interno al sistema che risulta stabile all'interno del cristallo del semiconduttore. Le cariche che si generano per effetto fotovoltaico, a causa dei fotoni provenienti dalla radiazione solare, nelle vicinanze della giunzione vengono separate dando luogo alla circolazione della corrente elettrica quando il dispositivo viene connesso a un carico (ENEA, SICENEA, 2008a).

In figura 3.4 è possibile osservare la struttura di base della cella fotovoltaica.

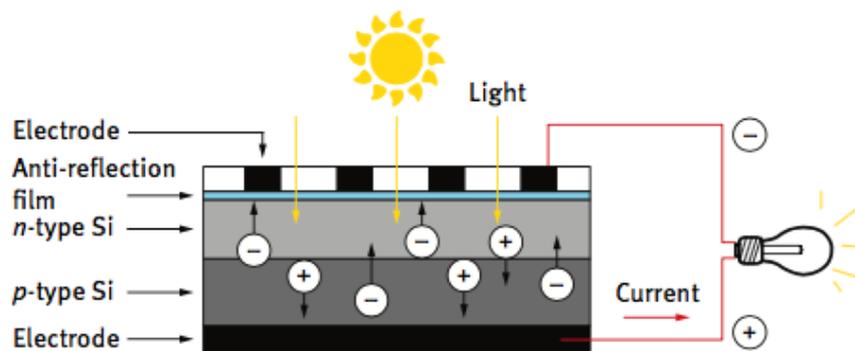


Figura 3.4 Struttura base di una cella fotovoltaica. Fonte: (Oku, 2016)

Tipologie di celle fotovoltaiche

La conversione fotovoltaica della radiazione solare è una delle tecnologie più recenti per la produzione di energia elettrica, e il suo livello di sviluppo può essere considerato molto giovane e caratterizzato da numerose possibili opzioni di miglioramento. L'attività di ricerca è finalizzata a ridurre i costi globali operando su tre direzioni: riduzione del materiale impiegato, riduzione dei costi di fabbricazione e miglioramento dell'efficienza di conversione.

Il parametro che richiede più attenzione è invece quello riguardante il miglioramento dell'efficienza di conversione, per il quale vengono studiate diverse soluzioni.

Possiamo classificare le varie tecnologie esistenti per le celle fotovoltaiche in tre generazioni che si basano su una scala temporale, in modo da mettere in evidenza i legami tra i diversi rami della tecnologia:

- **Prima generazione:** racchiude le celle e i moduli fotovoltaici realizzati utilizzando silicio cristallino (mono o policristallino). Questi vengono prodotti a livello industriale attraverso la lavorazione di elementi (wafer) su banco e in linee parzialmente automatizzate. I costi derivanti dal processo di produzione sono molto elevati, e risultano competitivi solo se l'efficienza energetica dei moduli raggiunge valori superiori al 20%;
- **Seconda generazione:** a questa generazione appartengono i moduli realizzati con film sottili di materiali semiconduttori, come ad esempio silicio amorfo idrogenato, diseleniuro di indio e di rame o il tellurio di cadmio, che vengono depositati in strati su delle lamine di sostegno (che possono essere di vetro, metallo, plastica, ecc.). Queste tecnologie risultano ancora in fase di sviluppo ma risultano adatte ad abbattere i costi di produzione in quanto il processo industriale può essere realizzato in continuo ed essere quasi completamente automatizzato.

I bassi costi di produzione rendono queste tecnologie competitive sul mercato energetico anche se presentano un'efficienza di conversione leggermente più bassa rispetto alla prima generazione;

- *Terza generazione*: questa generazione si basa su tecnologie innovative che sono state testate in laboratorio ma non hanno trovato sufficiente sperimentazione pratica per essere realizzate a livello industriale. Queste tecnologie hanno l'obiettivo di superare uno dei limiti principali delle classiche celle a silicio, il silicio (e gli altri materiali semiconduttori) sfruttano solo una parte dello spettro solare, ovvero vedono solo alcuni colori che compaiono nello spettro. Utilizzando dei materiali in grado di rilevare più frequenze della radiazione solare è possibile ottenere una efficienza maggiore dei dispositivi.

Ad ora le principali tecnologie sono quelle che utilizzano il silicio come materiale semiconduttore, appartenenti alla prima e alla seconda generazione. Nonostante questo materiale presenti delle grosse limitazioni dal punto di vista dell'efficienza di conversione, risulta essere competitivo grazie al fatto che, per questo tipo di applicazione, il silicio non richiede gradi di purezza elevati, come invece accade nel caso dei componenti elettronici, pertanto i costi di produzione possono essere mantenuti sufficientemente bassi.

Di seguito verranno analizzate le tipologie di celle fotovoltaiche più comunemente utilizzate, appartenenti alle varie generazioni (ENEA, 2008b).

Celle in silicio cristallino

Le celle fotovoltaiche in silicio cristallino sono, fin dalla loro invenzione, la tecnologia più utilizzata in campo fotovoltaico, con una quota di mercato che si è sempre mantenuta compresa tra l'80% e il 90%.

Possiamo individuare varie ragioni che hanno portato tale tecnologia ad assumere un ruolo preponderante all'interno del mercato del fotovoltaico: in primo luogo è possibile individuare una ragione storica, le celle fotovoltaiche si sono sviluppate in parallelo all'industria dell'elettronica, che utilizza il silicio cristallino come elemento principale. Inoltre, il silicio possiede alcune caratteristiche proprio che lo rendono adatto ad essere impiegato nelle suddette applicazioni:

- il silicio è un *materiale abbondante* (costituisce circa il 25% della crosta terrestre);
- è un materiale atossico;
- i moduli fotovoltaici costituiti da celle al silicio presentano una *lunga durata* (>20 anni), questo risulta un parametro decisivo in termini di competitività in quanto tempo di ritorno dell'investimento iniziale è di circa 10 anni;
- presenta *un'alta efficienza di conversione*: Un'elevata efficienza riduce i costi di sistema e consente l'installazione di sistemi ad alta potenza in siti con spazio disponibile limitato come i tetti. Le migliori celle solari commerciali al silicio oggi disponibili superano il 20% di efficienza;
- è possibile ridurre ulteriormente i costi di produzione.

Il fotovoltaico in silicio cristallino può essere suddiviso in silicio monocristallino e in silicio policristallino in base all'orientazione spaziale che assumono gli atomi: nella struttura monocristallina gli atomi sono orientati nello stesso verso e legati gli uni agli altri nello stesso modo; in quella policristallina gli atomi risultano aggregati in piccoli grani monocristallini orientati in maniera disordinata, come mostrato in fig. 3.5.

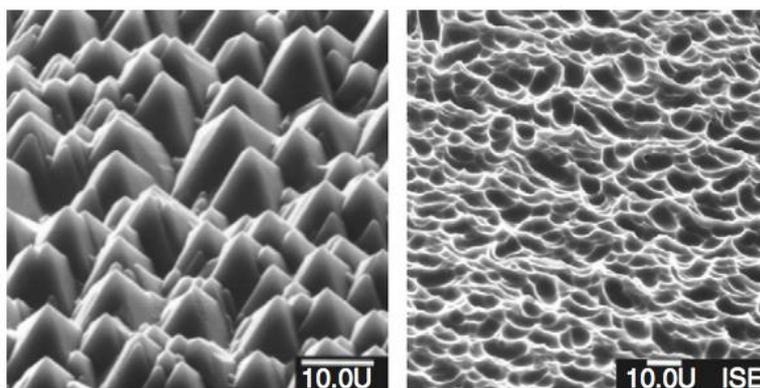


Figura 3.5 Texture sul lato anteriore delle celle solari in silicio monocristallino (dx) e policristallino (sx).

Fonte: (Glunz, et al., 2012)

Le celle a silicio monocristallino forniscono prestazioni migliori in termini di efficienza (14-17% rispetto al 12-14% del policristallino) ed è possibile avere applicazioni con una minore superficie occupata a parità di potenza installata ma con un costo superiore rispetto al silicio policristallino (Glunz, et al., 2012).

Di seguito verranno illustrati i principali processi produttivi per la fabbricazione di celle fotovoltaiche:

- **Metodo Czochralsky:** questo metodo è il più comunemente utilizzato, consente di ottenere silicio monocristallino a partire dal silicio policristallino di grado elettronico. Il processo avviene all'interno di una fornace dove, in un crogiolo di silicio fuso (a 1400°C) viene immerso un seme di silicio in lenta rotazione. Il seme cristallino viene estratto lentamente in modo da controllare la velocità di estrazione per regolare il diametro del lingotto e le impurità vengono concentrate nella parte inferiore (Olli, 2015);
- **Metodo EFG:** attraverso il metodo EFG (*Edge-defined film growth*) si ottiene un nastro cilindrico di silicio ottagonale monocristallino attraverso un processo di trafilatura. Il nastro si ottiene per effetto capillare, mediante il passaggio attraverso una fessura in cui sale il silicio liquido. Questo metodo presenta alcuni problemi di purezza del cristallo in quanto questo si presenta come un ottimo solvente e raccoglie le impurità durante la trafilatura. (Minkyu, et al., 2012);
- **Metodo Casting:** per questo processo di produzione si utilizza il silicio scartata dall'industria elettronica in modo da ottenere silicio policristallino. All'inizio del processo il materiale viene frammentato e successivamente è soggetto a una prima purificazione da impurità superficiale. Successivamente questo viene fuso e colato nelle forme in cui avverrà la successiva ricristallizzazione, queste rappresentano le fasi più critiche dell'intero processo. Dopo la cristallizzazione il materiale viene nuovamente lavorato in modo da rimuovere le impurità che si sono addensate sulla superficie in seguito ai precedenti processi (HOEPLI, 2012);

Successivamente sulle celle viene effettuata un'operazione di drogaggio in modo da ottenere le giunzioni p-n. Una volta ottenute le giunzioni vengono installati

dei contatti metallici sulla parte esposta alla luce (regione n) per permettere alla corrente generata di essere raccolta. Una volta realizzati i contatti metallici la cella viene ricoperta da uno strato di materiale antiriflettente (ossido di titanio o nitruro di Si) in modo da evitare che ci siano delle eccessive riflessioni che causano perdita di fotoni e quindi di produttività. (HOEPLI, 2012)

Celle a film sottile in silicio amorfo

La tecnologia a film sottile impiega la deposizione su un supporto di un sottilissimo strato di materiale semiconduttore, in questo caso silicio amorfo. La tecnica di produzione utilizzata, chiamata *Chemical Vapor Deposition (CVD)*, consiste nel depositare un film che viene fatto evaporare sul supporto. In questo caso non viene utilizzato silicio puro ma si utilizzano composti ossigenati quali il silanolo (SiH_4) o il disilano (Si_2H_6) (HOEPLI, 2012).

Attraverso questo processo produttivo è possibile ridurre notevolmente i costi di produzione in quanto viene utilizzata una quantità molto minore di materiale fotovoltaico rispetto alle tradizionali celle a silicio cristallino. Lo spesso del materiale depositato infatti è di circa $1\mu m$ e può essere realizzato attraverso dei processi produttivi che non dipendono dall'industria elettronica.

Attraverso questa tecnologia è possibile ottenere dei moduli leggeri e flessibili che presentano la possibilità di installazione su varie tipologie di superficie.

I film sottili rappresentano una valida alternativa alle tradizionali celle in silicio cristallino, risultano essere competitivi sia a livello di costi di produzione che in termini di ritorno di investimento che risulta essere di circa 1,5 anni (rispetto a 3,2 anni delle celle a silicio cristallino) (ENEA, SICENEA, 2008c).

Celle a film sottile realizzate con materiali innovativi

La tecnologia utilizzata è la stessa dei film sottili a silicio amorfo ma vengono utilizzati dei materiali che permettono di ottenere delle efficienze migliori. I materiali più comunemente utilizzati sono il diseleniuro di cadmio ($CdTe$) e il diseleniuro di indio e rame, comunemente indicato con la sigla CIS ($CuInSe_2$), attraverso cui è possibile raggiungere efficienze fino al 12%.

Ultimamente si stanno studiando altri materiali che presentano un'alta efficienza teorica (con valori di circa 30%), come l'arseniuro di gallio ($GaAs$) e l'arseniuro di gallio e alluminio ($GaAlAs$), ma che prevedono degli elevati costi di produzione e per questo vengono utilizzati solo per applicazioni spaziali. (HOEPLI, 2012)

Celle multigiunzione

La tecnica delle celle a giunzione multipla prevede l'utilizzo di diversi materiali semiconduttori, connessi in serie, in modo da realizzare un unico dispositivo che permetta di sfruttare una maggior fascia dello spettro solare per incrementare l'efficienza totale di conversione e massimizzare la produzione energetica.

Ciascuna giunzione assorbe una parte della radiazione che viene convertita in elettroni, la restante parte passa oltre e viene assorbita dalla giunzione successiva e così via, gli elettroni convertiti in ogni sezione vengono raccolti in un circuito elettrico esterni.

La corrente risulta limitata dalla più bassa corrente generata dalle giunzioni e la tensione è data dalla somma delle tensioni di ogni componente e la potenza totale generata dal dispositivo corrisponde alla somma di tutti i contributi di conversione nelle diverse giunzioni.

In linea teorica si possono raggiungere delle efficienze elevatissime in condizioni di massima concentrazione (86.8%), ma allo stato attuale è registrato un massimo di efficienza per le celle commerciali a tripla giunzione (terna di : fosforo di indio/gallio-arseniuro di gallio-germanio oppure fosforo di indio/gallio-arseniuro di gallio- arseniuro di indio/gallio), di circa il 40% (ENEA, 2008b).

Celle in perovskite

La perovskite è un minerale composto da biossido di titanio di calcio, che presenta una forma cristallina molto particolare e complessa rendendolo un ottimo conduttore. La tecnologia combina dunque le caratteristiche di questo materiale insieme a quelle di un semiconduttore (il silicio),

consentendo una maggiore capacità di assorbire la luce. Attraverso questa tecnologia le cariche elettriche che si generano in seguito all'assorbimento della luce all'interno della cella, viaggiano all'interno del pannello per distanze maggiori, dovute proprio alla struttura della perovskite, e la carica presenta un tempo di permanenza all'interno della cella più elevato, permettendo un maggiore accumulo di energia.

Uno dei vantaggi di questa tecnologia è la dimensione del pannello, che può avere uno spessore di qualche micrometro (rispetto ai tipici 180 micrometri delle celle tradizionali a silicio cristallino), perché possono essere realizzate spargendo il pigmento su una lamina di vetro o metallo utilizzando pochi strati di materiali, il che rende le celle più agevoli e funzionali (Iren, 2022).

3.1.4 Componenti di un impianto fotovoltaico

Le celle prodotte a livello industriale forniscono valori di tensione e di corrente limitati in rapporto a quelli normalmente richiesti dagli utilizzatori, inoltre si presentano come estremamente fragili, non isolate elettricamente e prive di un supporto che conferisca resistenza meccanica alle sollecitazioni. Le celle vengono quindi assemblate tra loro attraverso collegamenti elettronici serie-parallelo in modo da formare il generatore fotovoltaico.

Un impianto fotovoltaico è essenzialmente costituito da un *“generatore”* (composto dai moduli), da un *“sistema conversione della potenza”* (l'inverter), e da un eventuale *“accumulatore di energia”* (la batteria). Sono inoltre presenti delle *“strutture di sostegno”* per il montaggio su coperture inclinate oppure dei telai metallici fissi o mobili per la posa su superfici piane. Infine, è presente un *“sistema di monitoraggio”* dell'impianto, che ha lo scopo di tenere sotto controllo lo stato di salute dell'intero sistema attraverso informazioni relative ai pannelli fotovoltaici, gli inverter, lo stato della rete elettrica e la capacità produttiva dell'impianto nel suo insieme. Questi sono gli elementi essenziali presenti in un impianto fotovoltaico che vanno collegati in maniera opportuna e configurati in base alle specifiche tecniche dei vari elementi. Sono presenti inoltre alcuni elementi ausiliari necessari a garantire la corretta conduzione dell'impianto, come: quadri elettrici, cavi di collegamento, sistemi di protezione, sistemi di interfacciamento alla rete. Di seguito sono presentati in maniera approfondita gli elementi principali che costituiscono un impianto fotovoltaico.

Modulo fotovoltaico e stringhe

Il modulo rappresenta il componente elementare dei sistemi fotovoltaici, è costituito da celle collegate elettricamente e incapsulate in modo da garantire protezione dagli agenti atmosferici, isolamento elettrico, supporto strutturale e protezione meccanica in modo da assicurare il corretto funzionamento per molti anni anche in condizioni ambientali difficili.

Il processo di fabbricazione si articola in varie fasi:

1. **connessione elettrica:** le singole vengono collegate in serie-parallelo in modo da ottenere i valori di tensione e corrente desiderati;
2. **incapsulamento:** le celle vengono inglobate tra una lastra di vetro e una di plastica attraverso laminazione a caldo di un materiale polimerico (es. EVA: vinil acetato di etilene). L'incapsulamento serve a proteggere le celle ma è importante che sia trasparente alla radiazione solare e stabile ai raggi ultravioletti e alla temperatura. Inoltre, deve avere capacità autopulenti e deve consentire che la temperatura delle celle non diventi troppo alta;
3. **montaggio della cornice e della scatola di giunzione:** conferisce al modulo una maggiore robustezza e consente l'ancoraggio alle strutture di sostegno.

I moduli in commercio più diffusi presentano una superficie che va da $0,5\text{m}^2$ a 2m^2 , sono composti da celle in silicio mono e policristallino, generalmente prevedono 36 celle collegate elettricamente in serie.

La potenza dei moduli dipende dall'efficienza delle singole celle, e va da 50 fino a 250 W, con una tensione di lavoro pari a 17 volt e corrente da 3 a 12 A e, gli attuali moduli utilizzati in applicazioni commerciali, presentano un rendimento di circa 12-16%.

In fig. 3.6 viene mostrata la struttura di un modulo fotovoltaico con un indicazione dei componenti principali.

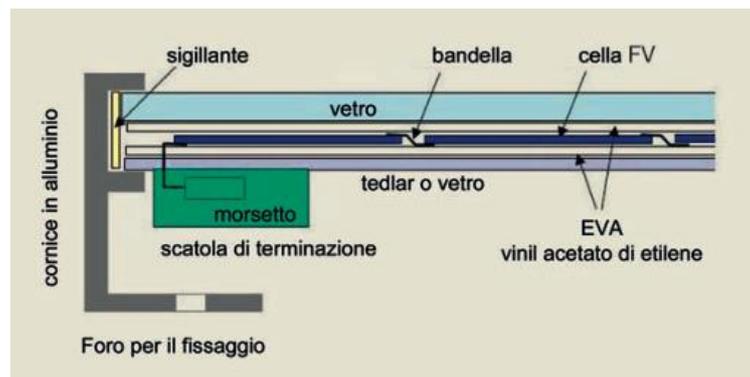


Figura 3.6 Struttura del modulo fotovoltaico. Fonte: (ENEA, SICENEA, 2008d)

Oltre al silicio cristallino è possibile realizzare i moduli utilizzando celle a silicio amorfo e altri film sottili, che presentano efficienza pari, rispettivamente, a 8% e 10%. Per scegliere quale tecnologia utilizzare è necessario fare delle considerazioni di tipo economico. Nonostante la tecnologia a silicio cristallino sia la più matura e affidabile, la disponibilità di materia prima per la realizzazione dei dispositivi risulta sempre più limitata e questo porta ad avere un margine di riduzione dei costi nei confronti delle altre tecnologie. I film sottili si presentano adatti per essere integrati nell'architettura, la loro flessibilità consente infatti di realizzare tegole e lamiere, oppure effettuare effetti di trasparenza per finestre e facciate negli edifici. Il grosso limite dei film sottili risiede nel fatto che questi presentano dei fenomeni di degrado molto veloci con una conseguente riduzione del rendimento.

In alcuni casi il modulo può avere alcuni componenti accessori come:

- cassetta di terminazione: si tratta di un contenitore a tenuta stagna, generalmente in materiale plastico fissato sul retro di un modulo fotovoltaico e contenente la morsettiera per il collegamento elettrico e i diodi di by-pass.
- cornice: è tipicamente costruita in alluminio, serve per facilitare le operazioni di montaggio e permette una migliore distribuzione degli sforzi sui bordi del vetro, inoltre costituisce un'ulteriore barriera contro le infiltrazioni di acqua.
- diodi di by-pass: se è presente la cassetta di terminazione, i diodi di by-pass vengono installati al suo interno, in caso contrario vengono cablati all'esterno del modulo e devono essere opportunamente protetti.

Attraverso il collegamento in serie più moduli fotovoltaici si costruisce una *stringa fotovoltaica*. Una stringa risulta caratterizzata da una tensione massima che è pari alla somma delle tensioni nominali di ogni modulo e da una tensione di funzionamento pari alla tensione nel punto di massima potenza della caratteristica della stringa.

Una volta scelta la tensione della stringa, e dunque il numero di moduli da collegare in serie la connessione elettrica avviene attraverso l'utilizzo di cavi che terminano all'interno delle cassette di terminazione dei moduli.

Le stringhe composte dai moduli fotovoltaici vengono collegate in parallelo tra loro nella sede di funzionamento e formano un *campo fotovoltaico* che costituisce generatore dell'impianto fotovoltaico (fig.3.7).

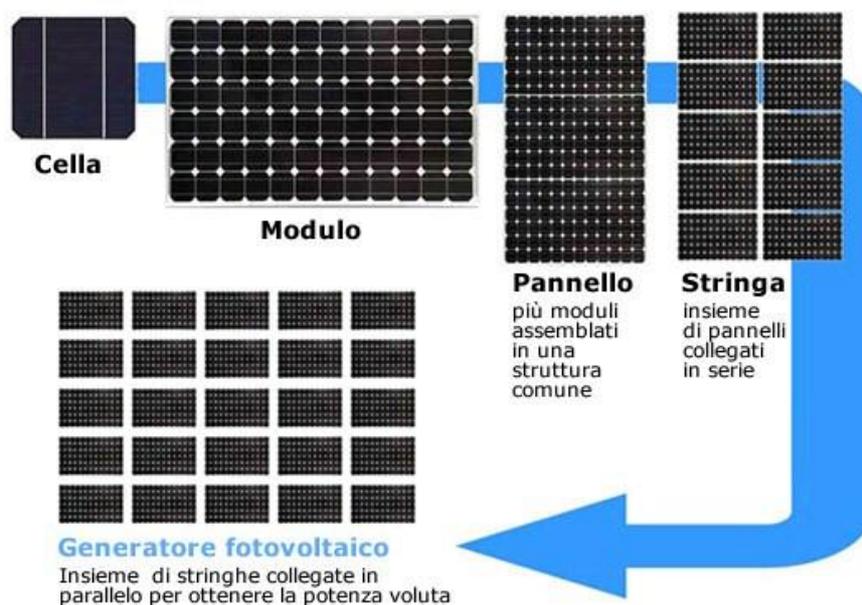


Figura 3.7 Elementi che compongono il campo fotovoltaico. Fonte (homatron, s.d.)

Per quanto riguarda la connessione in parallelo delle stringhe, è importante che queste presentino delle caratteristiche elettriche quanto più possibile uniformi (numero di moduli in serie, tipo di moduli, classe di corrente dei moduli, esposizione dei moduli), in modo da non penalizzare la produzione di energia. Inoltre, è importante che ogni stringa sia singolarmente sezionabili in modo da poter verificare e manutenzione in modo facile e senza dover staccare l'intero impianto.

I moduli e le stringhe vengono collegati elettricamente tramite dei cavi appartenenti alla classe di isolamento 2; questi devono essere realizzati con materiali in grado di resistere ai raggi UV, agli agenti atmosferici e all'umidità. Il dimensionamento dei cavi deve essere tale da limitare le cadute di tensione, che devono essere mantenute entro il 2%, e assicurare una durata soddisfacente ai conduttori e agli isolamenti sottoposti al passaggio della corrente (ENEA, SICENEA, 2008d).

Diodi di blocco e diodi di by-pass

I pannelli fotovoltaici risultano molto sensibili agli ombreggiamenti. Quando anche solo una cella di un pannello è coperta da un'ombra, la produzione di energia dell'intero pannello cala a causa di una sorta di "corto circuito" interno.

Per evitare che si verifichi questo effetto vengono utilizzati dei dispositivi appositi: i diodi di by-pass e i diodi di blocco

I diodi di by-pass sono dei diodi che vengono utilizzati nei moduli fotovoltaici per evitare che una eventuale corrente inversa possa circolare nelle celle creando degli hotspot che potrebbero causare danni all'impianto.

Il diodo di bypass fa in modo che la corrente fluisca in una stringa di pannelli posta in serie andando a by-passare una cella o un modulo ombreggiato, permettendo l'esclusione parziale della zona in ombra, in modo da garantire la continuazione della corrente elettrica ed evitare delle perdite di energia prodotta.

I diodi sono disposti in antiparallelo, ovvero con polarità opposta rispetto alle celle, nella direzione della corrente diretta. In condizioni normali il diodo si comporta come un circuito aperto, mentre se si genera una corrente inversa questo ne impedisce il passaggio, pur continuando a consentire quello della corrente diretta. La tensione ai capi della cella ombreggiata risulta uguale alla tensione di polarizzazione diretta delle altre celle in serie che condividono lo stesso diodi di bypass più la tensione del diodo di bypass.

Tra le stringhe collegate in parallelo si introduce, per ogni stringa, un diodo di blocco, per evitare la circolazione di una corrente inversa sulle stringhe ombreggiate, avendo le stringhe più moduli in serie. Il diodo di blocco impedisce che circoli corrente inversa sulle stringhe ombreggiate che provocherebbe perdita di potenza e danneggiamenti dei moduli (ENEA, SICENEA, 2008d).

Quadri elettrici

I quadri di campo sono dei dispositivi progettati e costruiti per la protezione e la gestione degli impianti fotovoltaici.

Si possono individuare due tipologie di quadri che assolvono a diverse funzioni, quadri in corrente continua e quadri in corrente alternata.

Quadri in corrente continua

I quadri in corrente continua vengono utilizzati per:

- il sezionamento delle stringhe: le stringhe devono essere interrotte in modo da poter eseguire lavori, di controllo o manutenzione, su parti attive dell'impianto;
- protezione delle stringhe con diodi di blocco: vengono inseriti in modo da evitare che una stringa assorba o dissipi potenza elettrica da altre stringhe in seguito a situazioni di ombreggiamento o guasti;
- protezione delle stringhe da sovratensioni indotte di origine atmosferica;

Quadri in corrente alternata

I quadri in corrente alternata devono essere realizzati in modo da assolvere alle seguenti funzioni:

- connessione in parallelo delle uscite dagli inverter;
- contenere la protezione di interfaccia con la rete e i contatori di energia prodotti.

Quando il sistema utilizza una connessione di stringa e si ha un numero di inverter rilevante si dispone un primo livello di quadri dedicati al parallelo parziale degli inverter e poi un quadro generale per il parallelo finale con la funzione di misurare l'energia prodotta e proteggere l'interfaccia alla rete.

I quadri vengono posizionati all'interno di un armadio contenitore che deve essere progettato con materiali, dimensioni e grado di protezione idoneo al luogo dove viene installato.

È necessario calcolare la temperatura finale interna al fine di non superare la temperatura massima di funzionamento dei componenti all'interno del quadro. (Menichella, 2019)

La temperatura finale interna (T_q) deve essere calcolata tenendo conto della potenza che il quadro deve dissipare verso l'ambiente esterno (P_d) e la resistenza termica del quadro (R_{th}), attraverso la formula:

$$T_q = T_{ambiente} + P_d * R_{th} \quad (3.3)$$

Se la T_q è maggiore della temperatura massima di funzionamento dei componenti all'interno del quadro è necessario utilizzare dei ventilatori in modo da ridurre il salto termico che tenga conto

della portata del ventilatore (Q , espressa in m^3/h), in questo caso la T_q al quadro viene calcolata attraverso un'approssimazione data da:

$$T_q = T_{ambiente} + 3,5 \frac{P_d}{Q} \quad (3.4)$$

Strutture di sostegno

Le strutture di sostegno per i pannelli fotovoltaici sono dei sistemi costruiti attraverso l'assemblaggio di profili metallici commerciali in grado di sostenere i moduli fotovoltaici, ancorarli al suolo o a una struttura edile e ottimizzare l'esposizione.

Tali strutture devono essere costruite in modo da resistere alla sollecitazione di carico permanente data da: peso della struttura, peso delle zavorre, peso dei moduli, carico di neve uniformemente distribuito, spinta del vento e eventuali effetti sismici sulla struttura.

Possiamo individuare diverse tipologie di strutture di sostegno che vengono utilizzate in base alle necessità e in relazione al sito di installazione dei moduli, tra le più comuni vi sono:

- *Strutture a cavalletto per il fotovoltaico a terra*: attraverso questo tipo di strutture è possibile disporre al meglio i moduli fotovoltaici verso l'irraggiamento solare, attraverso la scelta dell'inclinazione e dell'orientamento più opportuni per ogni specifica applicazione. Per impianti con potenza installata fino alla decina di chilowatt, i costi dei materiali e del montaggio sono relativamente contenuti, dato che i profili commerciali risultano facilmente trasportabili e sollevabili.
- *Strutture a palo per moduli fotovoltaici*: si utilizza un palo costituito da uno o più tubi sovrapposti a sezione circolare dove viene fissato il telaio portamoduli. Questa soluzione viene utilizzata quando si vuole aumentare l'altezza del piano dei moduli fotovoltaici in modo da superare eventuali zone d'ombra o quando è vincolante un minor spazio occupato a terra (l'ingombro a terra è solo l'area della sezione del palo) rispetto alle strutture a cavalletto dove l'area occupata coincide corrisponde alla proiezione a terra del campo fotovoltaico. Questa soluzione di supporto comporta dei costi aggiuntivi sia per la parte metallica che per quella civile (in quanto richiede delle fondamenta più impegnative) (ENEA,SICENEA, 2008d).

Accumulo elettrico

Un sistema di accumulo è composto da un banco di batterie ricaricabili che viene utilizzato per stoccare l'energia elettrica generata dall'impianto che non viene consumata immediatamente in modo da renderla disponibile in momenti successivi. Il sistema viene dimensionato in modo da poter garantire una sufficiente autonomia di alimentazione del carico elettrico.

Per poter essere utilizzato in campo fotovoltaico, il sistema di accumulo, deve possedere delle caratteristiche specifiche come: elevata efficienza (definita come il rapporto tra l'energia immagazzinata dall'accumulatore e l'energia fornita dal sistema fotovoltaico), lunga durata in regime di frequenti cicli di carica/scarica, elevata resistenza a grandi escursioni termiche, ridotta autoscarica, elevato rapporto capacità/volume, basso costo ed elevata affidabilità (ENEA,SICENEA, 2008d).

Le prime batterie ad essere utilizzate erano quelle a piombo-acido, che rispondevano in maniera soddisfacente alle suddette caratteristiche. Tuttavia, tali dispositivi sono molto costosi, non sono in grado di immagazzinare molta elettricità e hanno bisogno di essere alloggiati in dei locali adeguati, che non siano troppo caldi o troppo freddi, per consentirne il corretto funzionamento, inoltre hanno bisogno di manutenzione periodica e di sostituzione molto frequente. Tali criticità hanno portato le aziende produttrici a ricercare delle soluzioni migliori, tra queste le batterie agli ioni litio risultano essere le più efficaci, e attualmente sono le più utilizzate in questo ambito. Rispetto ai precedenti

modelli al piombo-acido, le batterie a ioni di litio mostrano una durata superiore e supportano una carica fino all'80% senza perdere di efficienza.

I produttori, tutt'ora, stanno sviluppando diversi tipi di batterie agli ioni di litio, le più promettenti risultano essere le batterie al litio ferro fosfato. Queste batterie sono in grado di subire cariche molto profonde, si caricano molto velocemente perché riescono ad assorbire l'intera potenza del caricatore durante tutto il ciclo di carica, inoltre non soffrono fenomeni di solfatazione (la formazione di cristalli di solfato di piombo che provoca un aumento della resistenza interna della batteria diminuendo l'emissione di corrente lungo il percorso) (Chiras, 2016).

Regolatore di carica

Il regolatore di carica è un dispositivo, generalmente installato tra il generatore fotovoltaico e l'inverter, che ha il compito di preservare le batterie dagli eccessi di carica/scarica. L'eccesso di carica si verifica quando il generatore lavora in condizioni di irraggiamento massimo e le utenze non richiedono quella quantità di energia; viceversa l'eccesso di scarica si verifica quando l'utenza presenta un fabbisogno energetico elevato e il generatore non è in grado di produrre abbastanza energia. Queste condizioni sono dannose per la corretta conduzione dell'impianto e per la durata degli accumulatori (ENEA, SICENEA, 2008f).

Sistema di condizionamento della potenza

La corrente prodotta dal generatore fotovoltaico non si adatta alle richieste specifiche delle utenze che, generalmente, richiedono la corrente alternata per alimentare un carico o per il collegamento alla rete elettrica di distribuzione e un valore costante di tensione in uscita dal generatore. Per questo motivo gli impianti fotovoltaici sono collegati, a seconda dei casi, alla batteria, agli apparecchi utilizzatori o alla rete elettrica attraverso un sistema di conversione e controllo della potenza: un convertitore DC/AC (inverter).

L'inverter è il dispositivo che trasforma la corrente continua in uscita dal campo in corrente alternata per alimentare le utenze o la rete elettrica (nel caso di collegamento diretto).

Nei sistemi fotovoltaici non viene utilizzato solo per la conversione della corrente ma può svolgere altre funzioni:

- Monitora la rete al quale è collegato al fine di proteggere l'impianto da eventuale cortocircuito e sovratensioni; questa funzione viene effettuata sia nei confronti dell'impianto che nei confronti della rete elettrica al quale è allacciato. Attraverso l'inverter possiamo interfacciarci con l'impianto in modo da conoscere i dettagli sull'andamento dell'impianto e riconoscere eventuali guasti o anomalie. Attualmente le operazioni di monitoraggio vengono eseguite da remoto, tramite applicazione che ricevono i dati direttamente dall'inverter grazie alla rete Wi-Fi;
- Regola la frequenza e la tensione dell'energia elettrica;
- Ottimizza il rendimento dell'impianto, monitorando quale è il punto più efficiente dell'impianto durante l'arco della giornata e segnalando la presenza di anomalie o guasti che potrebbero compromettere la produzione di energia;
- Gestisce le variazioni di temperatura all'interno dell'involucro dell'inverter, in modo che non vi siano innalzamenti di temperatura. Durante il lavoro di trasformazione di corrente continua in alternata una piccola parte viene sempre dispersa sotto forma di calore, i migliori impianti sono in grado di limitare queste perdite (circa 2%).

La conversione da corrente continua in corrente alternata viene realizzata tramite un "ponte di conversione" il quale utilizza dispositivi semiconduttori: IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) o

MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) gestiti attraverso sequenze di impulsi di comando controllati. Nella maggior parte degli inverter commerciali la trasformazione del ponte si verifica ad una frequenza superiore di quella di rete utilizzando la tecnica PWM (Pulse Width Modulation) per modulare la durata degli impulsi; in questo modo è possibile generare una successione di impulsi con durata proporzionale al valore, assunto in quell'istante, dell'onda sinusoidale richiesta.

Possiamo classificare i convertitori in due tipologie fondamentali:

- commutazione naturale o di rete (Line Commuted Inverter, LCI): la tensione di rete è il riferimento per la generazione degli impulsi di comando (accensione e spegnimento);
- commutazione forzata o auto commutati (Self Commuted Inverter, SCI): Gli impulsi vengono generati da un sistema di controllo provvisto di un timer autonomo che stabilisce la frequenza di riferimento una sorgente di energia che consente la trasformazione e/o l'interdizione dei dispositivi di potenza.

Un componente fondamentale installato all'interno dell'inverter è l'inseguitore del punto di massima potenza (MPPT). Poiché i parametri del generatore cambiano continuamente a causa della variazione delle condizioni operative (irraggiamento e ombreggiamento) cambia anche il di massima potenza, il dispositivo MPPT consente al trasformatore di variare la propria impedenza di ingresso per assumere quella necessaria a conseguire il massimo trasferimento di potenza all'utilizzatore. Questa funzione in genere viene eseguita da un primo ponte di conversione DC/DC attraverso un'unità di controllo a microprocessore: viene eseguita un'azione di regolazione della tensione o della corrente di uscita in modo tale che l'inverter venga visto dalla rete come un generatore di tensione che regola il suo angolo di carico per trasferire la massima potenza, oppure come un generatore di corrente il quale inietta in rete una corrente proporzionale alla massima potenza trasferibile (in base alle tecniche utilizzate). Successivamente si esegue un secondo di conversione DC/AC, armonizzato con la frequenza di rete, che fornisce la potenza d'uscita con le caratteristiche desiderate di tensione e frequenza.

In alcuni casi potrebbe non essere necessario realizzare una particolare disposizione di tensione tra l'ingresso (lato generatore FV) e l'uscita (lato carico o rete); in questi casi le azioni di controllo dell'MPPT e di regolazione delle grandezze di uscita (tensione e corrente) possono essere effettuate mediante un unico stadio di conversione DC/AC. Dopo lo stadio di conversione finale si effettuano delle operazioni di filtraggio delle armoniche di corrente che vengono immesse in rete e dei dispositivi di protezione di interfaccia lato carico che devono garantire che le prescrizioni per il collegamento alla rete stabilite dalle norme tecniche siano rispettate, tali dispositivo sono generalmente di massima e minima tensione, massima e minima frequenza, massima corrente.

Nel caso di sistemi stand-alone, che non sono collegati alla rete, gli inverter sono costituiti da un ponte di conversione posto a monte di un trasformatore e da un regolatore interno che sia tale da assicurare che i valori di tensione e frequenza di uscita siano contenuti in un range di valori stabilito al variare della tensione continua in ingresso. Successivamente allo stadio conversione è presente la sezione di filtraggio dell'armonica e i dispositivi di protezione lato carico.

Al fine di utilizzare dei dispositivi che presentano valori di efficienza e indici di prestazione migliore, in relazione anche ai costi, vengono utilizzati gli inverter a commutazione forzata con sistema di regolazione e controllo basato sulla tecnica di modulazione PWM. Attraverso questa tecnica è possibile trasferire alla rete una corrente pressoché sinusoidale e con una fase controllabile rispetto alla tensione stessa per avere un fattore di potenza praticamente unitario (ENEA, SICENEA, 2008c).

Inverter PWM

Gli inverter PWM sono dei dispositivi completamente automatici, costituiti dalle seguenti parti fondamentali: filtro lato campo fotovoltaico, convertitore DC/DC (se è necessario alzare la tensione del campo fotovoltaico al livello di funzionamento del ponte), ponte a semiconduttori (MOSFET, IGBT), unità di controllo, filtro di uscita, trasformatore, dispositivi di interfaccia sui quali agiscono le protezioni.

Possiamo suddividere gli inverter per applicazioni fotovoltaiche grid-connected in 4 gruppi:

1. Inverter di tipo centralizzato o tradizionale: in questa tipologia tutte le stringhe dell'impianto f sono connesse tra loro in parallelo e collegate ad un solo inverter; generalmente è presente un quadro di campo dove viene realizzato il parallelo delle stringhe attraverso diodi di blocco e sezionatori. Questo tipo di inverter mostra alta efficienza di conversione e basso costo. L'energia annuale prodotta risulta sensibile alle perdite di disaccoppiamento tra i moduli e alle perdite dovute ombreggiamenti parziali delle stringhe. Il funzionamento dell'intero generatore dipende solamente dall'inverter, e questo influenza l'affidabilità che risulta essere limitata;
2. Inverter di stringa: in questa configurazione viene assegnato un inverter ad ogni stringa. In questo modo l'MPPT lavora per massimizzare la produttività della stringa, inoltre la presenza di più inverter indipendenti aumenta l'affidabilità del generatore. L'attuale dinamica dei prezzi e l'aumento di efficienza degli inverter rendono questa soluzione la più diffusa tra gli impianti fotovoltaici;
3. Inverter multistringa: si tratta di una evoluzione degli inverter di stringa. In questo caso l'inverter connette diverse stringhe con separati MPPT (convertitore DC/DC) ad un unico stadio di potenza DC/AC inverter; in questo modo si combinano i vantaggi degli inverter centralizzati a quelli di stringa. Inoltre, è possibile collegare stringhe fotovoltaiche di diversa tecnologia e diverso orientamento andando a ottimizzare l'efficienza di conversione per ogni stringa;
4. Inverter di modulo: in questa configurazione viene installato un piccolo inverter nel retro o nelle immediate vicinanze di ogni modulo. Questa soluzione viene utilizzata per impianti di piccola potenza che presentano un numero limitato di moduli, in quanto presenta dei costi elevati. In questo modo è possibile eliminare completamente i problemi dovuti a disadattamento dei moduli grazie alla presenza dell'MPPT installato su ogni modulo (ENEA, SICENEA, 2008e).

3.1.5 Tipologie di impianti fotovoltaici

L'impianto fotovoltaico è strutturato in modo da soddisfare svariate esigenze dell'utenza a cui esso è collegato. È possibile avere impianti che alimentano piccoli dispositivi oppure delle utenze che risultano isolate dalla rete elettrica, in questo caso si parla di impianti stand-alone, dove in genere viene accumulata energia attraverso i sistemi di accumulo e questa verrà poi fornita all'utenza nel momento del bisogno.

Un'altra categoria di impianti sono quelli dove i generatori sono connessi alla rete, impianti Grid-Connected, in questo caso l'energia prodotta viene sul momento convertita in corrente alternata e viene utilizzata per alimentare il carico-utente e/o immessa in rete (ENEA, SICENEA, 2008f).

Queste due tipologie di impianti funzionano esattamente allo stesso modo, con la differenza che nel caso di impianti grid-connected, l'eccesso di energia prodotta viene immessa nella rete elettrica nazionale, che può essere vista come un grande serbatoio di energia., mentre negli impianti stand-alone, l'energia in eccesso viene inviata a un sistema di accumulo. Nel caso di sistemi isolati è

evidente che la quantità energetica che può essere immagazzinata è limitata dalla capacità delle batterie, oltre questa quantità l'energia prodotta viene semplicemente dispersa; negli impianti connessi alla rete invece, l'eccesso di energia entra nella linea di distribuzione nazionale, andando ad alimentare tutte le utenze connesse, in modo da utilizzare al massimo la potenzialità dell'impianto.

Oltre alla distinzione tra impianti isolati e impianti connessi alla rete, possiamo suddividere gli impianti fotovoltaici in base alla tecnologia che utilizzano per ottimizzare la cattura della radiazione solare: inseguimento, concentrazione o generazione diffusa.

Di seguito verranno riportate le caratteristiche principali delle suddette tipologie impiantistiche.

Impianti Grid- Connected

Quando si parla di impianti grid-connected si intende quella tipologia di impianto fotovoltaico che risulta elettricamente collegato alla rete elettrica nazionale. La corrente prodotta dalle celle per effetto fotovoltaico viene convertita da continua ad alternata dal sistema di controllo della potenza, che adatta anche la tensione prodotta dal generatore a quella della rete effettuando l'inseguimento del punto di massima potenza e controlla la qualità della potenza immessa in rete in termini di distorsione e rifasamento. Il collegamento alla rete avviene utilizzando dei cavi di connessione che devono necessariamente essere resistenti alle alte temperature e ai raggi UV.

Gli impianti in questione risultano essere la migliore soluzione per il fotovoltaico in termini di affidabilità e flessibilità di servizio. L'energia prodotta può essere utilizzata direttamente dall'utenza, oppure, se in eccesso può essere immessa in rete, inoltre quando il sistema fotovoltaico non è attivo, le utenze possono utilizzare l'energia della rete nazionale. Si può dire che tra l'impianto e la rete esiste un lavoro sincronizzato di generazione distribuita e scambio energetico bidirezionale. Possiamo ulteriormente suddividere questa tipologia di impianti in 3 categorie che comprendono:

- Impianti domestici: il fabbisogno di una tipica utenza domestica dipende da alcuni fattori, quali il clima, il numero di componenti del nucleo familiare e le loro abitudini. In genere una famiglia media (composta da 3-4 persone) consuma annualmente 3000 kWh. Tale fabbisogno può essere in gran parte soddisfatto attraverso l'installazione di una stringa di pannelli (in genere intorno ai 20, ma varia dal tipo di tecnologia applicata). Questo tipo di installazione può risultare estremamente vantaggioso in quanto, i picchi di potenza richiesta possono essere completamente soddisfatti durante le ore di maggiore produttività dell'impianto, senza la necessità di prelevare energia dalla rete.
- Impianti di media potenza: gli impianti di questa taglia sono caratterizzati da una potenza di qualche centinaio di kW. Lo spazio necessario all'installazione non è molto elevato, possono essere utilizzate le coperture di edifici commerciali o industrie.
- Centrali di potenza: vengono così definiti gli impianti che presentano una potenza nominale della grandezza di MW o superiore. Per questa applicazione vengono richieste delle zone di installazione che presentino una superficie elevata.

Impianti fotovoltaici Stand Alone

Per impianto stand-alone si intende di installazione fotovoltaica che **non** è connessa alla rete elettrica nazionale, ma è connessa ad un **sistema autonomo di accumulo** di energia, composto da batterie, in grado di raccogliere l'elettricità prodotta dall'impianto e restituirla all'utenza nel momento del bisogno.

Si tratta quindi di approvvigionamento energetico indipendente ed autonomo che si può utilizzare in svariati contesti: i pannelli solari trasformano la luce proveniente dalla radiazione solare in corrente continua che viene stoccata nelle batterie di accumulo, attraverso un regolatore di carica,

oppure viene trasformata in corrente alternata per il consumo immediato da parte dell'utenza utilizzando un inverter: il sistema di condizionamento in questo caso adegua le caratteristiche del generatore a quelle dell'utenza e il sistema di accumulo viene gestito attraverso il regolatore di carica.

Questa configurazione permette di alimentare utenze elettriche in località dove non è presente la rete elettrica, o in luoghi dove il collegamento alla rete comporta dei costi di investimento troppo elevati in rapporto alla quantità di energia richiesta. Questo tipo di applicazioni risultano adatte anche per portare elettricità in rifugi, casi isolate o siti archeologici, evitando operazioni di scavo per il collegamento alla rete e costose gestioni di linee di trasmissione e sottostazioni elettriche.

Le caratteristiche di questi sistemi permettono di garantire una sicurezza energetica anche per i paesi in via di sviluppo, dove non è sempre garantito il collegamento alla rete elettrica. Il fotovoltaico si dimostra facilmente gestibile e può essere applicato in modo capillare senza la necessità di costruire grandi reti di distribuzione, rendendolo economico e compatibile con ambienti non contaminati da attività industriali.

Di seguito sono riportati alcuni esempi e campi di applicazione per le utenze isolate:

- il pompaggio dell'acqua, soprattutto in agricoltura;
- l'alimentazione di ripetitori radio, di stazioni di rilevamento e trasmissione dati (meteorologici, sismici, sui livelli dei corsi d'acqua), di apparecchi telefonici nel settore delle comunicazioni;
- la carica di batterie;
- la segnalazione o prevenzione incendi, nei servizi di protezione civile;
- nei servizi sanitari, ad es. per l'alimentazione di refrigeratori, molto utili soprattutto nei Paesi in via di sviluppo per la conservazione di vaccini e sangue;
- l'illuminazione e, in generale, la fornitura di potenza per case, scuole, ospedali, rifugi, fattorie, laboratori ecc.;
- la potabilizzazione dell'acqua;
- la segnaletica sulle strade, la segnalazione di pericolo nei porti e negli aeroporti;
- la protezione catodica nell'industria e nel settore petrolifero e delle strutture metalliche in generale.

Negli impianti stand-alone l'utenza dipende completamente dall'impianto fotovoltaico, per questo motivo è importante provvedere a un corretto dimensionamento dell'impianto in modo da garantire la fornitura di energia anche nelle ore notturne o in condizioni meteorologiche non favorevoli alla produzione di energia.

Fotovoltaico a concentrazione

Il principio di funzionamento di questa tipologia di impianto è quello di concentrare la radiazione solare sulla cella fotovoltaica attraverso un sistema ottico. In questo modo la cella vede un'intensità molto più alta ed è possibile utilizzare meno celle (generalmente vengono utilizzate celle multigiunzione, che rappresentano il componente più costoso) mantenendo la stessa produttività del modulo.

Per lungo tempo l'ostacolo più grande a questa tecnologia erano i costi elevati, a causa della scarsa disponibilità di celle progettate per operare in tali condizioni e di sistemi di raffreddamento, movimentazione e inseguimento solare affidabili. Adesso tali tecnologie hanno raggiunto un livello di maturità sufficiente a sviluppare sistemi che siano economicamente competitivi.

Indipendentemente dal tipo di tecnologia utilizzata i sistemi a concentrazione sono composti da due componenti principali: un collettore in grado di reindirizzare raggi solari verso una speciale cella di area ridotta. Esistono dei sistemi, chiamati concentratori, che sono in grado di focalizzare la radiazione solare sul ricevitore fotovoltaico installato nel fuoco ottico del sistema.

Affinché questi sistemi funzionino alla massima potenzialità, è importante che il sole si trovi sempre sull'asse ottico del concentratore, perciò il sistema ha bisogno di un apparato di movimentazione che consenta di seguire il moto apparente del Sole.

Tra i concentratori più diffusi troviamo quello con lenti di Fresnel, grazie alla sua facilità di fabbricazione, leggerezza e praticità d'uso. Attraverso questo dispositivo viene modificato il fascio di raggi, aumentandone la convergenza, ma senza invertirne la direzione. In questo modo il recettore può essere posizionato al di sotto della lente e presenta un'ampia superficie per dissipare il calore in eccesso senza creare ombra.

La radiazione solare in questo caso viene concentrata su celle fotovoltaiche di ridottissime dimensioni, per questo motivo è necessario utilizzare celle multigiunzione che presentano un valore di efficienza elevato.

Un'altra tipologia di concentratori molto diffusa sono i concentratori a specchi parabolici lineari. In questo sistema il modulo fotovoltaico viene installato in corrispondenza del fuoco della parabola, assumendo uno sviluppo geometrico lineare, in questo modo viene irraggiato il sistema che contiene le celle fotovoltaiche dove, che contiene al suo interno un apparato di dissipazione del calore. Un particolare specchio parabolico è quello a disco. si tratta di un sistema caratterizzato da un'altissima precisione dove la radiazione viene concentrata su superfici esternamente ridotte. In questo modo si ottengono evidenti vantaggi in termini di risparmio di materiale e di costi di installazione, tuttavia si riscontrano dei problemi legati al raffreddamento della cella. Il cuore del sistema è costituito da ricevitore fotovoltaico, composto da un numero ridotto di celle multigiunzione ad alta efficienza, progettate per essere utilizzate sotto concentrazione (Sala & Anton, 2011).

Fotovoltaico a inseguimento

I sistemi fotovoltaici a inseguimento permettono di aumentare la producibilità energetica rispetto agli impianti che presentano un'installazione fissa, in quanto sono in grado di modificare l'angolo di incidenza in modo da massimizzare l'energia prodotta.

La funzione di inseguimento viene gestita da una centralina elettronica che può essere programmata secondo diversi criteri. Un primo criterio è quello di utilizzare un microprocessore che è in grado di mantenere la perpendicolarità tra i raggi del sole e i moduli in relazione alla latitudine e alla longitudine del sito, della stagione e dell'orario. Questo è un metodo abbastanza efficiente che, tuttavia, non tiene conto delle condizioni meteorologiche. Un secondo metodo è quello di dare un input alla centralina attraverso dei sensori di radiazione, in questo modo la movimentazione avviene in funzione dell'effettiva posizione di miglior rilevamento dell'energia solare.

Dalla centralina viene inviato un segnale agli attuatori di movimento che posizionano il modulo in maniera ottimale, tipicamente vengono utilizzati degli attuatori in corrente alternata che risultano più affidabili rispetto a quelli in continua. Se i moduli da movimentare sono di grandi dimensioni è possibile utilizzare degli attuatori idraulici in grado di assicurare resistenza e robustezza elevate.

L'inseguimento può avvenire sia a livello giornaliero che stagionale. Nel caso di inseguimento giornaliero si utilizza un inseguitore in grado di tenere fissa l'inclinazione al valore ottimale per il sito di installazione e insegue il sole dall'alba al tramonto. In questo caso è possibile utilizzare due tipologie di inseguimento: tracking e backtracking. La prima strategia che consiste nel posizionare i moduli secondo il massimo angolo di rotazione e il successivo inseguimento secondo quanto dettato dalla logica di controllo. In questo caso si ha un problema durante le prime e le ultime ore di esercizio, dove il primo filare esposto ombreggia tutti gli altri andando a ridurre in modo considerevole l'energia prodotta.

La seconda strategia consiste nel partire dall'alba impostando il piano dei moduli con un angolo di azimut nulla, e si calibrano i successivi movimenti in modo da evitare ombreggiamenti tra i filari. Si può notare che questi sistemi presentano un aumento di producibilità di circa il 25% all'anno rispetto a impianti fissi con stessa potenza, insieme alle caratteristiche di robustezza e economicità li rende estremamente competitivi. Lo svantaggio principale è dato dallo spazio che questi richiedono per l'installazione, 60% in più rispetto agli impianti fissi di pari potenza. Negli impianti a inseguimento stagionale l'angolo di tilt del sistema viene modificato in modo da adattarsi alla variazione dell'altezza del sole e giornalmente ai cambiamenti delle condizioni di irraggiamento. Utilizzando questo sistema si possono raggiungere aumenti di produttività di circa 8-10% rispetto ai sistemi fissi (HOEPLI, 2012).

3.2 Impianti a biogas

3.2.1 Biomassa e bioenergia

Viene definita biomassa qualsiasi sostanza di matrice organica, animale o vegetale, che deriva, direttamente o indirettamente, dalla fotosintesi clorofilliana e che non ha subito alcun processo di fossilizzazione. È considerata la più sofisticata forma di accumulo dell'energia solare; infatti, attraverso il processo di fotosintesi, i vegetali, sono in grado di convertire l'energia contenuta nella radiazione solare in energia chimica che viene stoccata sotto forma di molecole complesse, costituite principalmente da lunghe catene di Carbonio (C), Idrogeno (H) e Ossigeno (O) a elevato contenuto energetico, come cellulosa, emicellulosa e lignina, attraverso la reazione:

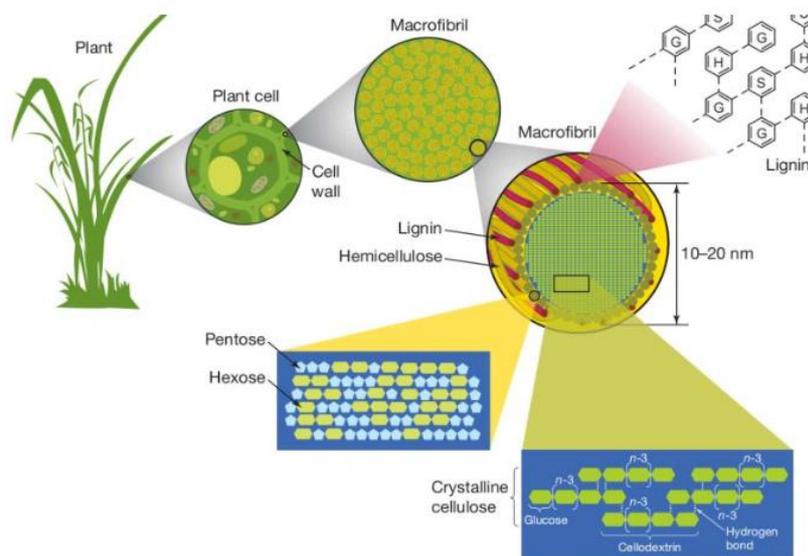
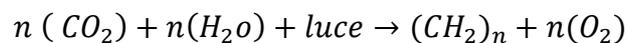


Figura 3.8 Organizzazione dei polimeri naturali (cellulosa, emicellulosa e lignina) nella parete cellulare delle piante.

L'energia stoccata all'interno della biomassa può essere convertita per generare energia elettrica e/o termica: qualsiasi forma di energia che si ottiene attraverso la conversione di materiali prodotti a partire dalla biomassa viene definita bioenergia. Tali materiali, chiamati biocombustibili, possono essere considerati come una fonte di energetica sostenibile (se il ritmo di impiego della biomassa è

sincrono rispetto al tempo di rigenerazione della stessa). Inoltre, la biomassa si può considerare come una fonte energetica neutrale in termini di CO_2 , in quanto il vegetale, durante la fotosintesi, assorbe una determinata quantità di anidride che viene convertita in molecole complesse, e al momento del suo utilizzo viene rilasciata la stessa quantità in atmosfera, rispettando il ciclo del carbonio sul pianeta.

Possiamo suddividere le biomasse adatte alla conversione energetica in due categorie: biomasse di tipo residuale e non residuale.

Le biomasse residuali vengono ulteriormente classificate in base al comparto di provenienza, ovvero:

- agricolo: comprende i residui derivanti da attività agricole e dalle colture dedicate di specie lignocellulosiche, piante oleaginose per l'estrazione di olio che viene trasformato in biodiesel) oppure piante alcoligene dedicate alla produzione di bioetanolo;
- forestale e agroforestale: comprende i residui di operazioni sevicolturali o di attività agroforestali;
- zootecnici: comprende reflui zootecnici utilizzati per la produzione di biogas;
- industriale: comprende i residui provenienti da attività industriali quali lavorazione del legno, cartiere o residui di industria alimentare;
- rifiuti urbani: comprende la frazione organica dei rifiuti solidi urbani e i residui derivanti dalle operazioni di manutenzione del verde pubblico.

Le biomasse non residuali sono invece, quelle che vengono coltivate appositamente per scopi energetici, definite colture energetiche, che possono essere classificate in tre categorie:

- colture da carboidrati: caratterizzate da un elevato contenuto zuccherino;
- colture oleaginose: presentano un elevato contenuto di olio vegetale che può essere direttamente utilizzato oppure convertito in biodiesel,
- colture da biomassa lignocellulosica: caratterizzate da un elevato contenuto di sostanza secca, che può essere utilizzato per diverse applicazioni energetiche.

Per poter convertire la biomassa in biocombustibile sono necessari dei processi di conversione (o valorizzazione energetica) che possono essere classificati come: processi termochimici e processi biochimici, ulteriormente suddivisi in base alle tecnologie attualmente disponibili.

I processi termochimici si basano sull'azione del calore, che si origina da reazioni chimiche tali da trasformare la materia in energia. Tra questi i più comuni sono: combustione diretta, carbonizzazione, pirolisi, gassificazione e steam explosion.

I processi biochimici invece consentono di ricavare energia attraverso reazioni chimiche dovute alla presenza di enzimi, funghi o altri microrganismi che si formano nella biomassa.

Per scegliere quale categoria di processo utilizzare è necessario conoscere alcune caratteristiche della biomassa, in particolare si deve tener conto di due fattori: il rapporto carbonio/azoto e il tenore di umidità alla raccolta.

Quando la biomassa presenta valori di C/N bassi (intorno a 30) e umidità superiore al 30% sono consigliati i processi biochimici, in quanto le suddette caratteristiche non garantirebbero un'efficiente combustione della materia organica e sarebbe necessario fornire calore esterno in grosse quantità per effettuare un trattamento termochimico, che si utilizza invece per valori di C/N maggiori di 30.

Per poter sfruttare al meglio il materiale disponibile, al fine di aumentare la resa energetica e migliorare la praticità di impiego, nonché le caratteristiche di trasporto e di stoccaggio della biomassa, spesso i processi di conversione sono preceduti da processi di pretrattamento mirati a modificare le caratteristiche della biomassa trattata (HOEPLI, 2012).

Per completezza sono state citate le varie tipologie di processi di valorizzazione energetica della biomassa, tuttavia, in questo progetto di Tesi, saranno oggetto di studio esclusivamente gli impianti di produzione di biogas attraverso la digestione anaerobica, le cui caratteristiche saranno esaminate nei paragrafi successivi.

3.2.2 Digestione anaerobica

Si definisce digestione anaerobica il processo biologico fermentativo che si verifica in condizioni di anaerobiosi, ovvero in assenza di ossigeno molecolare o legato ad altri elementi.

Il processo consiste nella decomposizione della materia organica in prodotti più semplici, fino ad ottenere un prodotto finale composto da una miscela di gas, in particolare metano e anidride carbonica, chiamato biogas, e un prodotto secondario, il digestato, costituito dalla materia organica residua.

La presenza di metano all'interno della miscela di gas fornisce al biogas la frazione infiammabile, attraverso cui è possibile generare energia, dopo aver eseguito opportuni processi di depurazione per allontanare eventuali residui di sostanze come zolfo o azoto.

Il processo avviene attraverso quattro stadi, sfruttando la presenza di microrganismi specializzati che sono in grado di utilizzare e degradare i prodotti generati nelle fasi precedenti, come segue:

1. *idrolisi*: in questa prima fase si ha la degradazione dei substrati organici complessi (come proteine, grassi e carboidrati) in composti più semplici (amminoacidi, acidi grassi e polisaccaridi) in forma solubile. Essendo molto lenta, è la fase limitante dell'intero processo di digestione anaerobica; può essere inibita dall'accumulo di amminoacidi e zuccheri a causa dell'interferenza nella produzione e nell'attività degli enzimi fermentativi;
2. *acidogenesi*: insieme all'idrolisi del materiale organico complesso avviene il processo acidogenico, dove i batteri fermentativi degradano i monomeri e gli oligomeri producendo acidi grassi volatili a catena corta (propionati e butirato), alcoli, H_2S , H_2 , CO_2 . La produzione di queste sostanze provoca la diminuzione del pH del substrato (fase di acidificazione), che sarà di circa 5,5;
3. *acetogenesi*: a partire dai substrati che si formano nelle fasi di idrolisi e acidogenesi, i batteri acetogeni producono acido acetico, acido formico, H_2 , e CO_2 . La presenza di idrogeno in questa fase può inibire il processo, per questo motivo deve essere tenuto a basse concentrazioni, quindi, nella fase successiva si utilizzano i batteri metanogeni che ossidano l'idrogeno;
4. *metanogenesi*: in questa fase si utilizzano i batteri metanogeni (idrogenofili e acetoclastici) che usano come substrato i prodotti generati nella fase di acetogenesi per produrre metano, considerato come il prodotto finale dell'intero processo. La maggior parte del metano viene prodotto attraverso i batteri acetoclastici che degradano anaerobicamente l'acido acetico producendo metano e anidride carbonica, la restante parte di metano viene prodotta ad opera dei batteri idrogenofili che ossidano l'idrogeno riducendo l'anidride carbonica.

chimiche, come il carbonato di sodio, carbonato di calcio, carbonato di potassi, idrossido di calcio e nitrato di potassio (Nayono, 2009).

Temperatura

La temperatura è uno dei parametri principali da tenere sotto controllo nel processo di digestione anaerobica, in quanto determina la velocità dei processi di degradazione e, in particolare, i tassi di idrolisi e matanogenesi. Inoltre, presenta un effetto significativo sulla velocità di trasferimento del gas e sulle caratteristiche di sedimentazione dei biosolidi.

L'attività biologica anaerobica può avere luogo in un ampio intervallo di temperatura, esistono infatti differenti microrganismi classificabili in base all'intervallo termico ottimale per la loro crescita: psicrofili ($T < 20$ °C), mesofili ($20 < T < 40$ °C) e termofili ($T > 45$ °C) (Evans, 2000).

I tempi di digestione sono correlati alla velocità di crescita dei batteri e quindi dalla temperatura: nel caso di batteri psicrofili le reazioni si completano in 40-100 giorni, per i batteri mesofili in 25-40 giorni e per i batteri termofili in 14-20 giorni.

I batteri mesofili sono i più utilizzati, in quanto sono robusti e in grado di tollerare maggiori cambiamenti nei parametri ambientali, compresa la temperatura. Sebbene essi richiedano tempo di ritenzione più lunghi, la stabilità del processo mesofilo lo rende più adatto ad essere utilizzato nelle attuali strutture di digestione anerobica.

I processi condotti in regime termofilo presentano una cinetica più rapida, tassi di produzione di biogas più elevati e l'alta temperatura favorisce inoltre la rimozione dei patogeni. Tuttavia, è un processo molto più sensibile sia alla presenza di sostanze tossiche che ai cambiamenti nei parametri operativi per via degli organismi utilizzati. (Melvill, et al., 2014).

Caratteristiche del substrato

Il successo del processo di digestione è fortemente influenzato dalle caratteristiche del substrato, ed è dunque importante valutare le caratteristiche biochimiche e fisiche della biomassa alimentata, che determinano non solo l'idoneità di una certa biomassa ad essere utilizzata come materia prima, ma anche la progettazione, la scala e il funzionamento più adatti al processo.

I parametri chiave che vengono utilizzati nella caratterizzazione di una biomassa sono:

- contenuto di solidi totali (TS)
determina l'apporto energetico richiesto per le procedure di miscelamento e le dimensioni delle vasche contenenti la sostanza organica.
- Contenuto di solidi volatili (VS)
- Composizione dei nutrienti (azoto, fosforo e potassio)
- Rapporto C/N (carbonio su azoto)

ideale tra 25 e 30, una carenza di azoto non garantisce una corretta crescita batterica che comporta un abbassamento della velocità di produzione del biogas e della biodegradabilità del materiale; al contrario se invece si utilizzano biomasse che presentano un rapporto C/N molto basso, il processo provoca un accumulo di ammoniaca tossica per i batteri che porta a un'inibizione del processo.

- Dimensione delle particelle
è importante valutare la dimensione delle particelle alimentate al digestore influisce sul processo di digestione. Si può osservare che particelle più piccole forniscono un'area maggiore per l'attacco enzimatico, specialmente durante il processo di idrolisi pertanto ad avere un aumento della velocità di produzione del biogas e un aumento della biodegradabilità del materiale.
- Degradabilità e il potenziale di produzione del biogas

dipendono, invece, dalla quantità dei componenti principali presenti nella biomassa: lipidi, proteine, carboidrati complessi come cellulosa e emicellulosa, nonché lignina (Melvill, et al., 2014).

Tempo di ritenzione idraulico e tasso di carico organico

Viene definito tempo di ritenzione idraulico o HRT (Hydraulic Retention Time) la misura utilizzata per descrivere il tempo medio in cui un determinato substrato risiede all'interno del digestore.

Se viene utilizzato un digestore a miscelazione continua si può considerare un HRT del contenuto del reattore come uniforme. Quando viene utilizzato questo tipo di sistema si è nella condizione di HRT minima che dipende dal tasso di crescita dei microrganismi essenziali a crescita più lenta dell'intera comunità batterica.

In generale, si cerca di minimizzare quanto più possibile l'HRT, in modo da ridurre le dimensioni del reattore diminuendo il costo di investimento dell'impianto; inoltre, un basso valore di HRT porta ad avere un tasso di produzione di biogas più elevato, ma una degradabilità della materia organica più basso che rende il sistema meno stabile (Smith, et al., 2012).

Il tasso di carico organico o OLR (Organic Loading Rate) viene invece definito come la quantità di materia organica (espressa come solidi volatili o COD del substrato di alimentazione) che deve essere trattata in un determinato volume di digestore in un preciso periodo di tempo. Il valore di OLR risulta associato all'HRT: se la concentrazione di materia organica nel substrato di partenza è costante, minore è il valore di HRT maggiore sarà il valore di OLR, viceversa una variazione della concentrazione del substrato di alimentazione porta il valore di carico organico a variare verso il valore di HRT. Se il valore di OLR varia in modo rapido, e in particolare aumenta, si ottiene una rapida produzione di intermedi nelle fasi di idrolisi e acidogenesi, tuttavia, i batteri metanogeni non sono in grado di bilanciare gli acidi grassi formati, che si accumulano provocando una caduta del pH che inibisce l'attività dei batteri metanogeni e causando un guasto del sistema (Melvill, et al., 2014).

3.2.2.2 Fonti di biomassa utilizzate per la digestione anaerobica

Nel processo di digestione anaerobica sono utilizzati dei substrati composti prevalentemente da carboidrati, proteine e lipidi in concentrazioni variabile nelle diverse fonti di biomassa che includono: fanghi di depurazione, residui agricoli, rifiuti alimentari (frazione organica dei rifiuti solidi urbani) e colture energetiche dedicate.

Fanghi di depurazione

I fanghi che derivano dal processo di trattamento delle acque reflue urbane, devono essere opportunamente smaltiti o trattati, con costi che possono arrivare fino al 50% del costo totale del trattamento delle acque. Questi fanghi, che si presentano con un elevato contenuto di carbonio e sostanze nutritive, possono essere utilizzati per la produzione di energia attraverso processi dedicati, compostati o applicati al terreno come fertilizzante. Tra le più comuni applicazioni per il trattamento dei fanghi vi è la digestione anaerobica, attraverso cui è possibile ridurre i volumi finali dei fanghi, limitare gli odori e distruggere i patogeni, ottenendo un prodotto stabilizzato. Il biogas prodotto dalla degradazione dei fanghi può essere utilizzato in situ per generare energia per alimentare il processo (Melvill, et al., 2014).

Rifiuti agricoli

La lavorazione dei raccolti per l'industria agricola e la gestione del bestiame produce ogni anno un grande volume di rifiuti che tradizionalmente vengono compostati. Questa pratica però presenta degli impatti negativi dal punto di vista ambientale, dovuti all'emanazione di cattivi odori, lisciviazione di sostanze nutritive nelle acque sotterranee (con conseguente eutrofizzazione delle fonti idriche) e proliferazione di parassiti i quali possono causare danni alla salute umana.

Questo tipo di residui, che grazie alla loro natura e composizione si prestano ad essere utilizzati come fonte di biomassa nel processo di AD, possono essere divisi in due categorie (Chen , et al., 2008):

- liquami e concimi, di origine animale, presentano generalmente un contenuto di solidi elevati costituiti da materiale lignocellulosico, con alte concentrazioni di azoto ammoniacale;
- residui colturali, che derivano dalla raccolta e dalla lavorazione delle colture e possono includere bucce, steli, foglie e residui legnosi.

Rifiuti alimentari

La filiera alimentare produce una grande quantità di rifiuti derivanti dalla preparazione, lavorazione e deterioramento degli alimenti provenienti da varie fonti: domestiche, commerciali e industriali. La composizione della biomassa derivante da questi scarti presenta una composizione (carboidrati, proteine e lipidi) che può variare a seconda dell'origine e della stagione.

La biomassa che deriva da scarti di frutta e verdura generalmente presenta un elevato contenuto di umidità (>80%) e di solidi volatili (>95% dei solidi totali) ed è problematica per il suolo in quanto presenta un'elevata biodegradabilità. Alcuni studi hanno riportato che l'utilizzo di vegetali come substrato di un processo di AD risulta inadeguato a causa di un rapido accumulo di acidi volatili che provocano un'eccessivo abbassamento del pH all'interno del reattore, inibendo l'attività dei batteri metanogeni. Un secondo aspetto negativo è invece legato all'utilizzo di alimenti con un alto contenuto proteico, che portano alla produzione di concentrazioni elevate di ammoniaca, tossica per i batteri metanogeni acetoclastici. Alcuni impianti di AD miscelano e co-digeriscono le materie prime all'interno del digestore con degli oligoelementi in modo da ridurre il contenuto di ammoniaca (Chen , et al., 2008).

Coltivazioni energetiche

Per coltivazioni energetiche si intende la coltivazione di specie vegetali dedicate alla produzione di energia. Secondo l'European Anaerobic Digestion Network (www.adnett.org) l'uso di colture energetiche tradizionali nell'AD non ha acquisito importanza nell'UE. Il recente problema del conflitto *food-fuel* ha infatti portato il settore dell'AD a concentrarsi prevalentemente sulla derivazione di energia dai rifiuti e residui.

Negli ultimi decenni sono emerse alcune colture energetiche che dimostrano un buon potenziale come materie prime per la AD, tra queste vi è la biomassa algale che presenta un contenuto di olio estremamente elevato, un'elevata produttività nonché un'eccellente efficienza fotosintetica rispetto alle colture terrestri. Questa biomassa può essere pretrattata in modo da estrarre gli oli per produrre biocarburanti e la restante parte co-digerita per migliorare la produzione di biogas da altri substrati e i residui liquidi, ricchi di nutrienti, possono essere utilizzati come mezzo per far crescere altre alghe senza la necessità di ricorrere ad altri nutrienti (Park & Li, 2012).

3.2.2.3 Prodotti della digestione anaerobica

Biogas

Il principale prodotto derivante dalla degradazione della biomassa attraverso il processo di digestione anaerobica è il biogas, una miscela composta prevalentemente da metano (in

composizione che varia tra il 50% e il 60% in volume) e anidride carbonica (in composizione che varia tra il 40% e il 50% in volume), con tracce di altri composti come ammoniaca, idrogeno solforato e azoto. Queste variazioni sul contenuto di metano dipendono dalla velocità di degradazione dei diversi componenti della materia organica degradabile. Infatti, poco dopo l'introduzione del substrato nel digestore, i primi componenti si degradano, producendo un biogas molto ricco di anidride carbonica, mentre gli altri componenti si degradano dopo e viene prodotto un biogas più ricco in metano.

Il biogas così ottenuto è considerato un biocombustibile: può essere utilizzato direttamente, alimentandolo in un motore cogenerativo, per produrre energia elettrica e calore oppure può essere trasformato in biometano per essere immesso nella rete pubblica.

Conoscendo il potere calorifico del metano, che è pari a 36 MJ/m³, è possibile determinare quello del biogas in base al contenuto di metano in esso contenuto. Si ricava quindi che il biogas possiede un potere calorifico di circa 18–25 MJ/m³, che è il 30-40% inferiore rispetto a quello del gas naturale. Per questo è necessario che l'immissione nella rete pubblica o l'uso come combustibile avvenga in maniera moderata (Melvill, et al., 2014).

Digestato

Al termine del processo di digestione anaerobica rimane una parte di materiale che non viene digerito, e dunque non viene convertito in biogas: il digestato, i cui usi finali dipendono dalla sua composizione che, a sua volta, dipende dalla composizione della materia prima utilizzata.

Uno dei più importanti usi del digestato è in agricoltura, dove può essere utilizzato come fertilizzante. A questo scopo è necessario valutare la sua composizione e la possibilità di rilascio di composti chimici e biologici che potrebbero avere un impatto negativo sul suolo, sulle fonti d'acqua e sulle coltivazioni. Per questo tipo di applicazione vi sono dei riferimenti normativi che specificano quali materie prime è possibile utilizzare per la digestione anaerobica e come la qualità di queste ultime debba essere monitorata e controllata, inoltre vengono specificati criteri per la qualità del digestato risultante.

In Italia, il digestato equiparato ai fertilizzanti di origine chimica è destinato all'impiego agronomico diretto. Ai soli fini dell'immissione sul mercato, il digestato deve rispettare i requisiti per soddisfare la procedura prevista dal decreto legislativo n. 75 del 29 aprile 2010. Tale decreto è stato ripreso e integrato nell'articolo 22 dal decreto del Ministro delle politiche agricole e forestali del 25 Febbraio 2016, dove vengono definite le modalità di utilizzazione dello stesso.

Una seconda via di utilizzazione riguarda la possibilità di catturare e elaborare il carbonio residuo e le sostanze nutritive all'interno del digestato attraverso processi termochimici come, ad esempio la pirolisi. Il processo di pirolisi permette di ottenere un biochar che presenta caratteristiche adatte al condizionamento del suolo in termini di pH più elevato, area superficiale, capacità di scambio cationico, idrofobicità. etc. (Melvill, et al., 2014).

3.2.3 Struttura impianto

La struttura di un impianto a biogas prevede diversi elementi in base alla tipologia e alla qualità delle biomasse che esso è in grado di ricevere, alcuni dei quali sempre presenti; ad esempio, il digestore e il cogeneratore (che possiamo definire come il cuore dell'impianto), i gasometri, le aree di stoccaggio (relativamente alle biomasse in entrata, al biogas e al digestato), tubature di trasporto, sistemi di riscaldamento e miscelamento nonché sistemi di monitoraggio e strumenti di protezione dell'impianto.

Per semplificare la descrizione è possibile suddividere l'impianto in sezioni, che comunicano attraverso le tubature e in ognuna delle quali avvengono differenti tipologie di processi necessari ad ottenere la conversione ottimale della biomassa, prima in biogas e poi in energia. Esse sono: sezione di alimentazione, sezione di digestione, sezione di conversione e sezione di separazione, come indicato in fig.3.10.

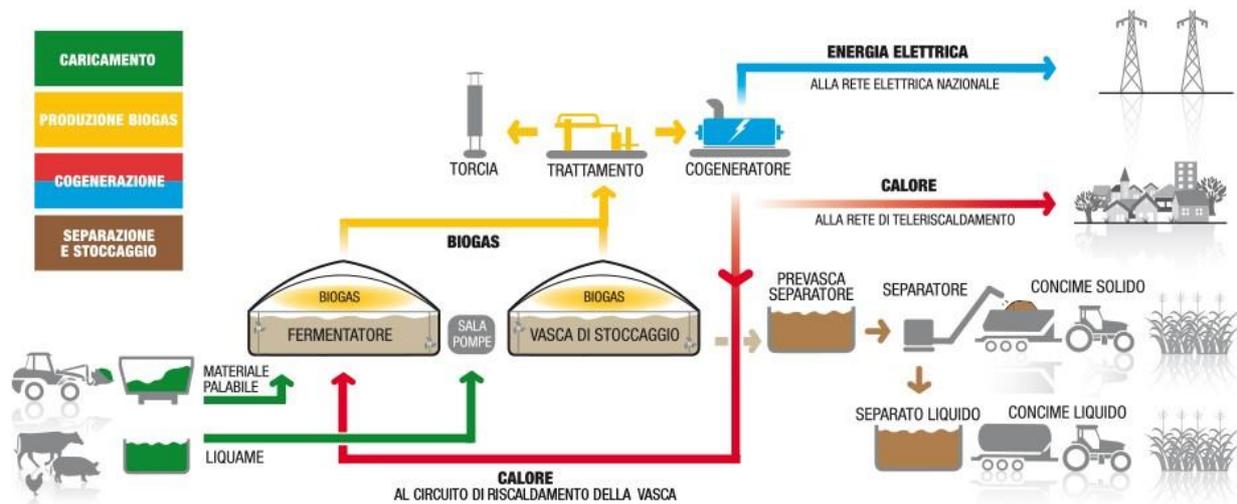


Figura 3.10 Schema impianto a biogas (Spadi & Vai, s.d.)

3.2.3.1 Sezione di alimentazione

Nella sezione di alimentazione avviene la preparazione delle biomasse convogliate all'impianto, che formano quello che viene definito tecnicamente influente. In questa sezione possono essere effettuati vari processi mirati alla trasformazione della biomassa a seconda del tipo di sostanza utilizzata come materia prima e delle condizioni di processo. Fanno parte di questa sezione tutti i macchinari e le attrezzature che consentono di ricevere la biomassa dall'esterno ed eventuali sistemi di canalizzazione e pipe-line. Inoltre, si considerano tutti i sistemi di pesatura posti a valle della postazione di ricevimento e connessi con le restanti parti dell'impianto. Per completezza si riportano alcuni tra i pretrattamenti che è possibile effettuare in questa sezione: separazione, omogeneizzazione, spremitura/triturazione, correzione del pH, addensamento o diluizione, raffreddamento o riscaldamento, disabbatura, disoleazione, grigliatura, pastorizzazione, igienizzazione.

Il processo di alimentazione avviene attraverso modalità diverse nel caso che la biomassa si presenti allo stato solido o semisolido/liquido

Le biomasse solide che arrivano all'impianto vengono scaricate in trincee di stoccaggio che presentano una pavimentazione in asfalto che permette una maggiore resistenza rispetto all'azione corrosiva degli acidi. La struttura della trincea è composta da una platea circondata da pareti di contenimento su tre lati. La biomassa viene quindi coperta con dei teli in PVC in modo che non il materiale non entri in contatto con l'aria che attiverebbe un processo di fermentazione, influenzando in maniera negativa la resa dell'intero processo. La copertura serve inoltre per contenere le emissioni odorogene e le dispersioni di polveri organiche nell'ambiente circostante. Il materiale viene quindi inviato a una tramoggia di carico, generalmente integrata con un sistema di pesatura, che fornisce la quantità di materia solida necessaria al processo.

Per biomasse che si trovano allo stato semisolido/liquido si utilizza un'unità di carico che ha la funzione di somministrare la biomassa di alimentazione al digestore. La biomassa viene inviata a una vasca di prima raccolta del liquame, dopodiché il sistema di pompaggio alimenta il fluido al bacino di fermentazione.

I tubi adibiti al trasporto del substrato possono essere pressurizzati o non pressurizzati. Nel primo caso, si utilizza sistema di pompaggio del substrato che viene inviato all'interno di tubi con un diametro dia almeno 100 mm che sia in grado di consentire il flusso del materiale, se il trasporto avviene per lunghe distanze il diametro deve essere almeno pari a 150 mm. Il flusso del materiale deve essere tale da evitare che vengano a formarsi delle sedimentazioni sul fondo del calcolo e dunque, deve avere una velocità minima di scorrimento di 1 m/s.

I tubi non pressurizzati sono invece soggetti alla forza gravitazionale e devono presentare un diametro maggiore (almeno 200 mm). Generalmente vengono utilizzati tubi in acciaio, ma possono essere utilizzati anche altri materiali plastici in grado di resistere alla corrosione dovuta all'acidità del substrato (HOEPLI, 2012).

3.2.3.2 Sezione di digestione

Digestore

Il biogas viene prodotto all'interno dei fermentatori (chiamati anche digestori), secondo le modalità descritte nel precedente paragrafo. I fermentatori sono dei particolari bacini costruiti in cemento armato, a tenuta stagna e dotati di una protezione interna che li rende immuni agli attacchi delle sostanze contenute e che sia inalterabile dall'azione corrosiva del biogas stesso.

In ogni vasca di fermentazione è presente un sistema di riscaldamento che mantiene la temperatura ottimale e costante per tutta la durata del processo e le superfici che compongono la vasca sono coibentate termicamente in modo da evitare la dissipazione del calore.

È possibile suddividere il processo in due fasi utilizzando due bacini di fermentazione: il fermentatore primario, alimentato con la biomassa solida e la biomassa non palabile attraverso la sezione di carico (sistema di tramogge a coclee) e la prevasca interrata. Entrambe le strutture, vasca interrata e fermentatore primario, presentano una copertura portante in cemento armato, che le mantiene isolate dall'ambiente esterno e garantisce il mantenimento della temperatura.

Dal fermentatore primario la materia organica viene inviata al fermentatore secondario posto nelle immediate vicinanze, dove si completa il processo di digestione. Questa seconda vasca presenta le medesime caratteristiche costruttive della prima, ma è coperta da un gasometro, dove è conservato il biogas che viene poi inviato al motore cogenerativo.

Possiamo classificare gli impianti di digestione, in base alla quantità di materia prima che questi possono trattare, in tre classi:

- Piccola taglia: digestori semplici con volume che varia da 50 a 100 m^3 utilizzati per trattare piccole quantità di substrato (100-1000 ton).
- Media taglia: presentano una capacità compresa tra 100 e 800 m^3 e sono prevalentemente utilizzati nelle aziende agricoli che trattano dalle 1000 alle 15000 ton di substrato all'anno.
- Grossa taglia: digestori che sono in grado di trattare quantità di substrato estremamente elevate, maggiori di 15000 ton all'anno. questo tipo di applicazioni risulta vantaggiosa in quanto è possibile abbattere rapidamente i costi di investimento iniziali.

Le nuove tecnologie relative al trattamento di digestione anaerobica possono presentare diversi livelli di avanzamento tecnologico, tuttavia essi presentano sempre degli elementi comuni che consentono di separare la fase liquida dal fango digerito e dal biogas.

L'operazione può essere progettata secondo diverse modalità in modo da consentire la separazione delle fasi, per migliorare le reazioni chimiche nonché regolare la velocità di reazione andando a modificare la temperatura del processo oppure migliorando il contatto tra le popolazioni microbiche e il substrato.

Miscelazione meccanica

L'operazione di miscelazione meccanica permette di ottenere un'omogeneizzazione della materia organica, un migliore contatto tra la popolazione microbica e il substrato (grazie all'eliminazione di zone con punti di concentrazione localizzate e zone morte) e una rimozione dei sottoprodotti più efficiente.

I suddetti vantaggi tuttavia devono essere valutati rispetto all'aumento dei costi operativi del sistema di miscelazione, il quale oltre al costo di investimento iniziale, comprende ingenti costi di manutenzione nonché spese relative alla gestione della sicurezza dovute alla presenza di organi in movimento (Evans, 2000).

Crescita dispersa o attaccata

La popolazione batterica può entrare in contatto con il substrato attraverso due differenti modalità. La prima modalità, che viene utilizzata nella maggior parte dei reattori, prevede che i batteri risultino dispersi su tutto il substrato, questo comporta uno svantaggio dovuto al fatto che la popolazione batterica si perde insieme al digestato. tale perdita può avvenire lentamente durante il funzionamento in continuo o in semicontinuo, oppure tutta in una volta se si effettua un'operazione batch. Altre tecnologie, sfruttano invece la capacità della popolazione batterica di formare granuli o fanghi densi che vanno ad aderire al substrato in entrata. La formazione dei suddetti granuli impediscono che la popolazione batterica venga espulsa durante la digestione consentendo un buon insediamento dei fanghi dopo la digestione (Melvill, et al., 2014).

Processo continuo o batch

Il processo di digestione anaerobica può avvenire attraverso due differenti categorie operative: caricamento in lotti (processo batch) oppure in alimentazione continua. Il processo batch prevede che la biomassa alimentata come substrato rimanga all'interno del digestore per un tempo sufficientemente lungo, successivamente la maggior parte del volume viene rimossa e la restante parte viene trattenuta per seminare il lotto successivo.

Nei processi semicontinui viene aggiunta regolarmente, tipicamente una o due volte al giorno, una quantità di substrato pari a quella che viene sprecata mente nei digestori alimentati in regime continuo; l'operazione si svolge senza interruzioni del ciclo (Melvill, et al., 2014).

Reattori Monofase o Multifase

Perché il processo avvenga nel modo più efficiente possibile è molto importante che la popolazione batterica sia adeguatamente acclimatata, a questo scopo si utilizzano liquidi di processo per aumentare il contenuto di umidità e fornire un inoculo di batteri per la materia prima in entrata.

È possibile suddividere gli impianti digestione anaerobica in monofase e multifase. Negli impianti monofase i reattori contengono tutta la popolazione microbica, mentre la digestione anaerobica multifase viene eseguita adoperando diversi reattori separati con configurazione in parallelo. Attraverso l'utilizzo di sistemi multifase è possibile ottimizzare le condizioni per i batteri specifici in ogni fase, in particolare è stato osservato che, nei sistemi che dividono la fase idrolitica/acidogena e la fase metanogena, i tempi di permanenza risultano essere più brevi rispetto ai sistemi monofase.

Sistemi a umido o a secco

A livello tecnologico è possibile suddividere le tipologie del processo sulla base della concentrazione di sostanza secca presente nel digestore:

- **Digestione a umido:** si effettua quando il substrato presenta un contenuto di sostanza secca inferiore al 10%, e viene prevalentemente utilizzata nel trattamento di liquami zootecnici. Il processo prevede che a valle di un pretrattamento della biomassa, finalizzato a rimuovere plastiche, inerti e in generali corpi grossolani, ci sia uno stadio di miscelazione che permetta l'omogeneizzazione della miscela e garantisca un sufficiente contenuto di solidi. Per poter garantire una corretta diluizione viene aggiunta dell'acqua proveniente dalla rete o dal parziale ricircolo dell'effluente del reattore.
- **Digestione a secco:** questa operazione si utilizza per trattare un substrato organico che si presenta con un contenuto di sostanza secca maggiore del 30%. Attraverso questo tipo di processo è possibile operare con volumi ridotti nonché risparmiare energia per il riscaldamento dei reattori e per la disidratazione del materiale digerito; tuttavia, a causa delle proprietà reologiche del materiale, è necessario che l'alimentazione venga eseguita attraverso dei nastri trasportatori e un sistema di pompaggio, che implica un aumento dei costi di investimento per l'impianto. Al fine di rimuovere materiali che si presenta con dimensioni maggior di 40 mm si esegue un pretrattamento di vagliatura del flusso in ingresso.
- **Digestione a semisecco:** quando il substrato organico si presenta con un contenuto di sostanza secca compreso tra il 20 e il 30% è possibile operare attraverso questo tipo di tecnologia che prevede l'utilizzo di un reattore CSTR che sia in grado di operare sia in regime mesofilo che termofilo. In questo tipo di sistemi si effettua la miscelazione del materiale con dei miscelatori meccanici che possono essere coadiuvati da sistemi di ricircolo di biogas.

Sistema di riscaldamento

Il processo di digestione anaerobica è fortemente influenzato dalla temperatura, per questo motivo è necessario che vi sia un sistema in grado di garantire il corretto riscaldamento del substrato all'interno del fermentatore. A tale scopo si utilizza, come fluido riscaldante, dell'acqua calda prodotta all'interno di una caldaia alimentata dal biogas prodotto all'interno del digestore, che passa attraverso degli scambiatori secondo differenti configurazioni.

Generalmente si utilizza uno scambiatore di calore esterno che consente di miscelare il digestato di ricircolo con il liquame grezzo in modo che questo arrivi all'interno del digestore con una quota di batteri anaerobi ricircolando andando a velocizzare il processo.

Possono essere utilizzare differenti tipologie di scambiatori: scambiatori a bagno d'acqua oppure scambiatori tubolari e a spirali. Tra queste, le tipologie più utilizzate sono quelle tubolari e aspirali che presentano un coefficiente di scambio termico maggiore dovuto alla configurazione controcorrente

In alternativa è possibile utilizzare un riscaldamento interno al digestore, composto da delle serpentine posizionate contro le pareti del digestore all'interno delle quali circola l'acqua calda. Le serpentine devono essere in grado di resistere all'azione corrosiva dei fanghi e del biogas e dunque si utilizza un materiale plastico oppure in acciaio inox. Lo svantaggio di questa configurazione risiede nel fatto che, nel caso di guasto al sistema di riscaldamento, è necessario svuotare tutto il digestore per la manutenzione.

Il sistema è sempre dotato di dispositivi per la regolazione ed il controllo della temperatura di mandata del fluido riscaldante che monitori le condizioni in modo da rendere ottimale il processo all'interno di ogni singolo bacino di fermentazione (Nayono, 2009).

Sistema di miscelamento

La miscelazione svolge un ruolo molto importante nel processo, infatti fornisce un adeguato contatto tra il substrato fresco in ingresso e la popolazione batterica vitale, prevenendo la stratificazione termica e la formazione di accumulo superficiale di crosta/schiuma nel reattore, inoltre assicura che i solidi rimangano in sospensione evitando la formazione di zone morte per sedimentazione di sabbia o particelle solide pesanti e consente alle fasi di idrolisi e metanogenesi di avvenire lentamente, permettendo ai batteri metanogeni di consumare in maniera adeguata i prodotti della fermentazione evitando l'accumulo di composti che potrebbero inibire la produzione di biogas.

Le apparecchiature di miscelamenti possono essere di tipo meccanico o idraulico. I più comuni dispositivi meccanici sono a pale o a immersione.

Se si utilizzano sistemi di miscelamento idraulici, il substrato viene mescolato da una pompa: una parte del substrato viene prelevata dalla parte superiore del digestore e viene poi reinserita nella parte inferiore. I tubi di mandata e di uscita devono essere posizionati in modo che l'intero contenuto del digestore venga mescolato correttamente (Melvill, et al., 2014).

Gasometro

Lo stoccaggio del biogas prodotto all'interno del digestore dipende dai consumi del cogeneratore; se quest'ultimo funziona in regime continuativo, allora il volume di stoccaggio sarà ridotto, al contrario, per un funzionamento saltuario sono richiesti volumi di stoccaggio maggiori.

Il contenitore di raccolta del biogas prende il nome di gasometro, questo è in genere posizionato sopra il digestore e si caratterizza dalla tipica conformazione a cupola data dalla membrana elastomerica di protezione. Raramente viene utilizzata una sola membrana, e solo in caso di bassi volumi di stoccaggio, spesso si utilizza un'orditura lignea al di sopra della quale si trova una rete di materiale sintetico che serve come supporto per i microrganismi deputati alla prima fase di desolfurazione del biogas. Sopra questa rete si trova una seconda membrana utilizzata come protezione atmosferica. Questa tipologia di copertura può essere utilizzata anche sui contenitori posti a valle del digestore principale dove viene trasferito il digestato al termine del processo di digestione principale.

I serbatoi possono essere distinti in primo luogo sulla base della pressione di esercizio, si possono dunque avere serbatoi di bassa (poco superiore alla pressione atmosferica), media (tra i 5 e i 20 bar) e alta pressione (tra i 200 e i 300 bar). La pressione di funzionamento è regolata da una valvola a farfalla posizionata lungo la tubazione di mandata del gas verso il cogeneratore (HOEPLI, 2012).

Torcia di sicurezza

In tutti gli impianti dove viene prodotto biogas deve essere prevista l'installazione di una torcia di emergenza che garantisca la combustione quasi ideale del biogas prodotto così da assicurare:

- il mantenimento di valori di temperatura adeguati, limitando l'emissione di inquinanti e la produzione di fuliggine;
- l'omogeneità della temperatura all'interno della camera di combustione;
- un adeguato tempo di residenza del biogas all'interno della camera di combustione;
- un sufficiente grado di miscelazione tra biogas ed aria di combustione;

- un valore sufficientemente elevato della concentrazione di ossigeno libero nei fumi effluenti.

Per poter garantire una maggiore affidabilità al sistema la torcia deve inoltre essere dotata di sistemi automatici di accensione e controllo della fiamma.

3.2.3.3 Sezione di conversione

Il biogas prodotto nella sezione di digestione viene poi inviato alla sezione di cogenerazione dove è utilizzato per produrre energia elettrica e termica in assetto cogenerativo.

L'energia elettrica prodotta, al netto degli autoconsumi propri dell'impianto, viene ceduta alla rete pubblica in media tensione. L'energia termica invece viene inviata a un'utenza che si trova nelle vicinanze dell'impianto, secondo modalità dettate dal contratto di fornitura; una minima parte viene invece utilizzata dall'impianto stesso per soddisfare i fabbisogni termici dell'impianto stesso, che consistono prevalentemente nel mantenimento della temperatura ottimale all'interno del digestore.

Il gruppo di cogenerazione viene gestito mediante un sistema di supervisione (hardware e software) che utilizza pagine grafiche visualizzate sul monitor di un pc posizionato all'interno di una sala di controllo.

Depurazione del biogas

Nei gasometri viene effettuato un primo trattamento di desolforazione, tuttavia prima che il biogas venga utilizzato nel cogeneratore è necessario sottoporlo a ulteriori trattamenti di purificazione in modo da rimuovere eventuali sostanze che potrebbero influenzare l'efficienza del processo di conversione. La presenza di anidride carbonica, azoto e acqua provoca infatti un abbassamento del potere calorifico, mentre altri composti come l'idrogeno solforato o composti organici alogenati possono causare gravi danni al sistema in quanto si comportano come agent corrosivi (APAT, 2005). Tra questi i principali trattamenti sono:

- deumidificazione, elimina l'umidità, di cui il biogas è saturo, che può condensare all'interno delle tubazioni in seguito a variazioni di temperatura e/o pressione, provocando malfunzionamenti. Il sistema di deumidificazione è costituito generalmente da un gruppo frigorifero in grado di raffreddare il gas da inviare ai motori. In tal modo si separa dalla miscela gassosa l'umidità che, condensando, viene allontanata precipitando al contempo sostanze nocive e corrosive presenti nel flusso gassoso stesso.
- desolforazione, può avvenire secondo due differenti modalità: la prima prevede l'utilizzo di filtri chimici riempiti con ossidi di ferro che provocano la precipitazione dei composti che possono essere quindi estratti, il secondo è un metodo a umido tramite torri di lavaggio (che devono essere poste prima della sezione di deumidificazione) che lavano il gas attraverso un flusso di acqua e ossido ferrico in controcorrente.
- rimozione CO_2 : questo tipo di trattamento può essere utilizzato per aumentare il tenore di metano presente nella miscela in modo da aumentarne il potere calorifico. I processi utilizzati (che devono essere installati a valle della desolforazione) sono l'assorbimento di CO_2 in acqua con successivo strippaggio ed emissioni in atmosfera, oppure l'utilizzo di membrana semipermeabile che lascia passare l'anidride carbonica e trattiene il metano. Quest'ultimo è molto più costoso e complesso rispetto al primo.

Unità di cogenerazione

L'impianto di cogenerazione non è altro che una piccola centrale elettrica con tutti i relativi componenti, dove avviene la produzione congiunta di energia elettrica e termica: il biogas viene utilizzato come combustibile in una macchina termica (come un motore alternativo, turbina a gas o a vapore) generando energia meccanica che viene poi convertita in energia elettrica attraverso un alternatore. Il calore di scarico, che nelle tradizionali centrali viene dissipato all'esterno, in questo caso viene recuperato per essere utilizzato direttamente in processi industriali o indirettamente per la produzione di vapore e/o acqua calda.

Il principale vantaggio della cogenerazione risiede dunque nella possibilità di utilizzare il calore: le tradizionali centrali mostrano una perdita del 80% (48% se si considera il caso di ciclo combinato) di energia primaria per produrre energia elettrica, la cogenerazione invece disperde solo il 16%, utilizzando quindi l'84% dell'energia introdotta con il combustibile.

Ulteriori vantaggi sono riconducibili a:

- riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti dirette (NOx, CO, particolato, etc) e di anidride carbonica, grazie al minor consumo di combustibile;
- minori impatti sull'ambiente, dovuti al recupero del calore di scarico che non viene dissipato esternamente;
- riduzione del percorso medio dell'energia elettrica, dovuta allo spostamento della produzione nei centri di consumo, con conseguente riduzione di perdite dovuto al trasporto.

In particolare, quest'ultimo deriva da una necessità insita nella cogenerazione, ovvero la decentralizzazione dell'impianto, dovuto al fatto che gli impianti devono essere costruiti nelle vicinanze del luogo di utilizzo del calore, che non può essere trasportato per lunghe distanze. È infatti necessario che il calore presenti un livello termico sufficiente a garantirne il suo utilizzo, questa situazione può essere facilmente ottenuta con le attuali tecnologie, che riconducibili a quattro tipologie:

- impianti con turbina a vapore (a contropressione o spillamento);
- impianti con motori alternativi;
- impianti con microturbine;
- impianti con celle a combustibile.

Nel caso di un impianto a biogas vengono utilizzati prevalentemente impianti a motori alternativi o con turbine a gas. Questa scelta viene dettata sia dalla composizione del biogas, che i presenta essenzialmente come una miscela di due gas, che dalle capacità di combustibile che un impianto di digestione è in grado di produrre (APAT, 2005).

Motore alternativo

I motori alternativi sono attualmente tra i sistemi più utilizzati nel campo della cogenerazione di piccola taglia, con campi di applicazione che vanno dai 15kW a qualche MW e presentano un elevato rendimento (30-45%) dovuto alla capacità di inseguire il carico in modo soddisfacente fino a circa la metà del valore nominale. I motori alternativi sono macchine termiche che generano energia meccanica attraverso la combustione della miscela aria-combustibile in un cilindro, seguendo un ciclo Otto (combustione a volume costante) oppure un ciclo Diesel (combustione a P costante). L'energia liberata dalla combustione viene utilizzata per imprimere ad un pistone un moto alterno, convertito da un meccanismo biella-manovella nel moto rotatorio di un albero motore.

Attraverso questa tecnologia è possibile ottenere calore a due livelli termici differenti: il primo, ad alta temperatura (450-500°C) deriva dal recupero dei gas di scarico, il secondo a bassa temperatura (80-90 °C) deriva dal sistema di raffreddamento dell'olio, dell'aria di alimentazione e dall'acqua di refrigerazione delle camicie.

Tra i principali vantaggi della tecnologia c'è l'elevata flessibilità, dovuta alla capacità di utilizzare una vasta gamma di combustibili, sia allo stato liquido che solido.

È possibile suddividere i motori alternativi cogenerativi in due tipologie, sulla base del ciclo termodinamico che ne descrive il comportamento, si suddividono quindi in motori a ciclo Otto

Il motore genera quindi energia meccanica che viene convertita in energia elettrica per mezzo di un alternatore. L'immissione dell'energia elettrica avviene mediante un'apposita apparecchiatura fornita con la macchina, che è in grado di regolare la tensione e la frequenza della corrente prodotta in modo da evitare disturbi alla rete.

Dal punto di vista elettrico l'impianto funziona in parallelo alla rete, in accordo alle prescrizioni vigenti, e può essere dotato di un generatore elettrico di tipo asincrono o sincrono che lavora come un generatore di emergenza in caso di mancanza di rete (APAT, 2005).

Microturbine

Si tratta di un particolare tipo di turbina a gas che fornisce delle buone prestazioni anche per impianti di piccola taglia. Le microturbine rappresentando una novità, essendo state introdotte nel mercato della generazione distribuita primi anni 2000.

La macchina sfrutta un ciclo Bryton, un ciclo rigenerativo composto da un compressore centrifugo monostadio, una turbina centripeta a uno o due stadi e palette non raffreddate. Questo tipo di ciclo, se applicato a turbomacchine radiali, risulta economicamente conveniente e opera meglio rispetto alle macchine assiali tipiche dei turbogas industriali.

Una singola microturbina presenta potenze nominali basse, che vanno dai 28 kW a 100-200 kW, tuttavia la tecnologia è modulabile, ed è dunque possibile realizzare potenze maggiori realizzando un parallelo di più macchine, secondo le necessità.

Il calore deriva dal recupero dei gas esausti a una temperatura di circa 270 °C, e si può ottenere un rendimento che varia tra il 20 e il 25%, con possibilità di migliorare dovute allo sviluppo di nuovi materiali ceramici in grado di resistere a temperature elevate

Il collegamento alla rete in questo caso avviene per mezzo di un inverter. Il numero di giri dell'albero-alternatore risulterà quindi svincolato dalla frequenza della rete elettrica e questo permette alla turbina di funzionare sempre con un numero di giri ottimale mantenendo un elevato rendimento anche a carichi parziali (APAT, 2005).

3.2.3.4 Sezione di separazione

Il substrato esausto, in uscita dal digestore e dai post-digestori viene stoccato in attesa del suo impiego agronomico, in genere dopo aver subito alcuni trattamenti per renderne più facile lo stoccaggio e il trasporto alla sua destinazione finale.

Disidratazione

Il digestato si presenta come un fango, con valori di sostanza secca che vanno dal 20-25% nel caso di trattamenti a secco e del 5-10% per trattamenti a umido, costituito dalla materia organica non digerita e dalla maggior parte di acqua. Per poter ottenere un prodotto più concentrato, che abbia caratteristiche fisiche compatibili alla successiva fase di stabilizzazione è necessario effettuare un trattamento di disidratazione, finalizzato ad avere un fango che presenti almeno il 45% di sostanza secca (APAT, 2005).

A questo scopo possono essere effettuati differenti processi, che vengono scelti in base alla digestione anaerobica effettuata (liquido, secco o semi-secco), a cui è legato il contenuto di acqua, alla granulometria delle particelle dure e al tenore di materia secca.

Per la disidratazione si utilizzano:

- pressa a vite, utilizzata generalmente per fanghi prodotti da un processo di digestione a secco, con contenuto di frazione secca tra il 40% e il 55%;
- centrifuga: utilizzata per fanghi che presentano un contenuto di frazione secca pari a 25-30%. Può essere utilizzato per trattare il fango direttamente dal digestore oppure come trattamento complementare al residuo proveniente dalla pressa a vite.
- nastro pressa: può essere utilizzato per trattare direttamente il materiale in uscita dal digestore con funzionamento a liquido oppure come trattamento complementare di un trattamento effettuato pressa a vite o centrifuga, per fanghi con un contenuto di frazione secca di 30-40%.

Stabilizzazione del digestato

Il digestato che viene prodotto nella fase di metanizzazione non risulta completamente stabilizzato a causa dei ridotti tempi di permanenza dello stesso all'interno del reattore. Per poterlo rendere stabile è necessario dunque effettuare un ulteriore trattamento di stabilizzazione aerobica che consiste nella degradazione della materia organica più difficile da digerire, al fine di ottenere un materiale igienizzato. Il grado di maturazione richiesto dipende dall'utilizzo finale del fango stabilizzato.

Tale processo generalmente si sviluppa in due fasi: biossidazione accelerata e post maturazione. Poiché il materiale è già stato sottoposto a una parziale degradazione, i tempi di permanenza all'interno della vasca di stabilizzazione aerobica sono ridotti (30-45 giorni). In alcuni casi può inoltre essere richiesta una raffinazione del materiale da effettuare al termine della biossidazione accelerata (APAT, 2005).

Stoccaggio dei residui di produzione

Le aree destinato allo stoccaggio finale del digestato prodotto dall'impianto sono zone esterne dotate di copertura, adiacenti all'impianto che devono essere ben differenziate dalle aree dedicate allo stoccaggio dei residui del trattamento.

Le dimensioni della sezione di stoccaggio devono essere tali da garantire il movimento degli automezzi per le operazioni di prelievo e scarico dei materiali (HOEPLI, 2012) (Evans, 2000).

4 Metodologie per la definizione degli Indici di performance HSE

Come è stato detto nel capitolo di introduzione, questo lavoro di Tesi si pone l'obiettivo di determinare, in maniera oggettiva, l'efficienza del sistema di gestione integrato salute-sicurezza-ambiente, per impianti FER attraverso la valutazione di:

- Rischi per la Salute e Sicurezza dei Lavoratori
- Rischi per l'Ambiente

Nel linguaggio comune per rischio si intende la condizione di pericolo al quale si è esposti individualmente o collettivamente in un determinato contesto. Nei paragrafi andremo ad analizzare invece cosa si intende per rischio negli specifici ambiti (Salute-Sicurezza e Ambiente).

Il processo di valutazione dei rischi viene effettuato attraverso l'utilizzo di dati, ottenuti dall'osservazione della realtà ma che non hanno un significato univoco, per cui necessitano di un lavoro mentale per essere contestualizzati che consiste essenzialmente in un processo percettivo. Tale processo risulta essere fortemente soggettivo e dipende dalla percezione del soggetto che svolge la valutazione e dipende da: abitudini ed esperienze pregresse, esperienza personale o di altri, accettabilità collettiva del rischio. La difficoltà maggiore è quindi rendere questo processo quanto più possibile oggettivo, utilizzando indicatori ottenuti tramite delle valutazioni quantitative e riproducibili.

A questo scopo verrà definito un indice, definito Indice di Performance HSE, che permetta di valutare le prestazioni dell'impianto in materia HSE secondo un approccio quantitativo, che renda possibile effettuare un confronto tra diversi impianti.

Il modello che andremo a definire si sviluppa attraverso quattro fasi consequenziali:

1. *Identificazione della normativa applicabile*: vengono identificati i riferimenti normativi e legislativi utilizzati per poter garantire il rispetto di tutti i vincoli e le prescrizioni vigenti in materia di salute-sicurezza-ambiente, sia a livello internazionale che nazionale. Da questo studio sono stati ricavati gli indicatori necessari nel processo di valutazione dei rischi, che sono stati opportunamente definiti nelle sezioni dedicati;
2. *Valutazione dei rischi (Salute-Sicurezza-Ambiente)*: viene proposto un metodo di valutazione dei rischi da utilizzare nella la gestione della salute e sicurezza dei lavoratori e per la gestione ambientale. Per i diversi sistemi di gestione verranno individuati degli indicatori che saranno parametrizzati in maniera da ottenere un valore numerico caratteristico di un determinato impianto
3. *Determinazione dell'Indice di Performance HSE*: al termine del processo di valutazione dei rischi verranno combinati i risultati ottenuti per individuare il livello di performance HSE dell'impianto;

Grazie a questa struttura il metodo sviluppato può essere utilizzato come strumento di supporto per le aziende per facilitare l'individuazione di elementi critici e predisporre azioni finalizzate a mitigare i danni nell'ottica della sostenibilità aziendale.

4.1 Riferimenti normativi

Questa prima fase del processo risulta fondamentale per l'intero sviluppo del lavoro, in quanto da qui partono i ragionamenti che hanno permesso di generare un modello applicabile su larga scala e facilmente comprensibile.

Il presupposto fondamentale su cui, come vedremo, si basa il modello qui descritto, è che ogni impianto sia conforme ai requisiti di legge applicabili all'attività svolta. Se, in una fase preliminare di valutazione, emergono delle non conformità rispetto ai requisiti di legge, prima di applicare il modello, queste devono essere sanate e riportate nei limiti prestabiliti. L'obiettivo del modello è

infatti quello di supportare le aziende, che sono interessate a migliorare le proprie prestazioni in ambito HSE, nel processo organizzativo e non vuole essere uno strumento di controllo.

Le prescrizioni di legge che verranno considerate sono quelle del quadro legislativo comunitario e nazionale, riguardo alla Salute e Sicurezza e alla tutela Ambientale, che consentono di individuare gli indicatori necessari per svolgere una corretta valutazione.

Di seguito sono riportati i riferimenti normativi, suddivisi per area tematica, che vengono descritti attraverso un breve commento in maniera da capire come vengono utilizzati.

Si specifica che questa non è una raccolta esaustiva di tutta la normativa vigente in materia ma contiene solamente i riferimenti utilizzati per poter sviluppare il modello che consente di individuare gli Indici di Performance HSE e per definire i piani di miglioramento suggeriti a valle del processo di valutazione.

4.1.1 Salute e Sicurezza dei Lavoratori

I concetti di sicurezza e salute possono essere definiti come, per la sicurezza, la condizione che rende e fa sentire esente da pericoli, o che da la possibilità di prevenire, eliminare o rendere meno gravi danni e rischi; mentre il concetto di salute viene definito dall'OMS come "lo stato di completo benessere fisico, mentale e sociale e non la semplice assenza dello stato di malattia o di infermità. Da queste definizioni risulta evidente come con il termine Salute e Sicurezza sul Lavoro, in genere, si indica l'insieme delle condizioni ideali di salute, sicurezza e benessere dei lavoratori sui luoghi di lavoro.

Tali condizioni possono essere raggiunte attraverso l'adozione di apposite misure preventive e protettive finalizzate a evitare o ridurre al minimo possibile l'esposizione dei lavoratori ai rischi connessi all'attività lavorativa che vengono definite dalle leggi e dalle normative. Il datore di lavoro è la figura giuridica responsabile e garante della salute e sicurezza sul lavoro della propria azienda e deve far in modo di ottemperare aa quanto stabilito dalla normativa vigente in modo da garantire la corretta applicazione delle misure preventive e operative mirate a ridurre o a eliminare i rischi presenti nei luoghi di lavoro.

In questa sezione sono raccolti quelli che sono i testi fondamentali della normativa relativa alla sicurezza sul lavoro che verranno utilizzati per sviluppare il modello nella fase del processo di individuazione e valutazione dei rischi per la salute e sicurezza e per l'individuazione delle azioni migliorative/correttive da adottare per migliorare le prestazioni in questo ambito.

D.Lgs 81/08-Testo Unico sulla Sicurezza (Aggiornamento Gennaio 2023)

Il decreto regola la tutela della Salute e Sicurezza sui luoghi di lavoro attraverso la definizione di regole, procedure e misure preventive da adottare per rendere più sicuri i luoghi di lavori, quali essi siano, e limitare l'esposizione dei lavoratori a rischi legati all'attività lavorativa per evitare infortuni, incidenti o malattie professionali.

Il Testo trova il suo fondamento in alcuni principi della Costituzione Italiana e, allo stato attuale, è il risultato di una serie di norme che si sono susseguite nel tempo, a partire dalla legge.80 del 12 Marza 1898 che sancì l'obbligo assicurativo per gli operai nelle industrie.

Da qui verranno individuati i rischi che saranno poi oggetto di valutazione che avviene secondo le modalità definite dal testo.

D.M. 30/11712-Procedure standardizzate per la valutazione dei rischi

Il decreto interministeriale sancisce le procedure per la valutazione dei rischi in aziende che abbiano fino a 10 lavoratori o fino a 50, a esclusione di quelle considerate ad alto rischio nonché

quelle in cui so svolgono attività che espongono i lavoratori a rischi chimici, biologici, da atmosfere esplosive, cancerogeni/mutageni o connessi all'esposizione di amianto.

D.P.R. 175/88- Attuazione della direttiva CEE n.82/501

Il Decreto del Presidente della Repubblica mette in atto la direttiva 82/501/CEE (SEVESO I) relativa al rischio di incidente rilevante connesso con determinata attività industriali. Si richiede che, per ciascun stabilimento che rientra nel suddetto ambito sia condotto un'analisi dei rischi che individui tutti i possibili scenari incidentali e ne stimi le frequenze e le conseguenze, al fine di riconoscere le azioni correttive che possono garantire una gestione più sicura del sistema in esame.

D.Lgs 17/2010-Attuazione della direttiva 2006/42/CE relativa alle macchine che modifica la direttiva 95/16/CE relativa agli ascensori"

Il decreto interviene con norme che prevedono di integrare con maggiore efficacia rispetto al passato la sicurezza nella progettazione e costruzione di macchinari di vario genere, di effettuare un'installazione e manutenzione corretta nonché di garantire un'adeguata sorveglianza del mercato ai fini della sicurezza. Vengono definiti i campi di applicazione, i prodotti considerati macchine e altri elementi chiave quali immissione sul mercato, messa in servizio, fabbricante, mandatario e la norma armonizzata.

Regolamento 1272/2008-Regolamento CLP (Classification-Labeling-Packaging)

Attraverso questo regolamento si vogliono armonizzare i criteri per la classificazione delle sostanze e delle miscele e delle norme relative alla loro etichettatura e imballaggio al fine di assicurare un livello di protezione adeguato alla salute umana e dell'ambiente e la libera circolazione delle sostanze e delle loro miscele, rafforzando la competitività e l'innovazione. L'applicazione del regolamento consente di determinare quali proprietà di una sostanza o miscela permettano di classificarla come pericolosa, affinché i pericoli che essa comporta siano adeguatamente identificati.

Nota 07 febbraio 2012 Guida per l'installazione degli impianti FV – Edizione anno 2012

Nota promulgata dal Ministero dell'Interno, Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile, la quale determina gli impianti FV non sono soggetti ai controlli di prevenzione incendi, in quanto non compresi nell'allegato I del DPR 151/2011, ma la loro installazione è da considerare modifica a tali attività, almeno di tipo senza aggravio di rischio.

Norma ISO 45001

Definisce gli standard minima di una buona pratica per la protezione dei lavoratori in tutto il mondo.

È la prima norma internazionale per la salute e la sicurezza nei luoghi di lavoro e stabilisce un quadro per migliorare la sicurezza, ridurre i rischi in ambito lavorativo e migliorare la salute e il benessere dei lavoratori, permettendo alle organizzazioni di organizzare in modo proattivo le performance in materia di salute e sicurezza.

La norma si applica a qualsiasi organizzazione, indipendentemente dalle dimensioni, dal settore di appartenenza e dalla natura delle sue attività ed è progettata per essere integrata nei processi di gestione già esistenti.

La norma è stata sviluppata tenendo conto di altri documenti sul tema, come le linee guida ILO-OSH 2001, la OSHAS 18001 e altre norme nazionali.

Linee guida INAIL

Sono state esaminate le linee guida predisposte dall'INAIL riguardo alla gestione della Salute e Sicurezza dei Lavoratori, al fine di evitare simulazioni di modelli già sviluppati e/o implementati. Le linee guida hanno inoltre supposti durante le fasi di valutazione dei rischi fornendo spunti per la predisposizione del modello.

4.1.2 Tutela Ambientale

Per sua natura il termine "ambiente" possiede vari significati differenti, ma in ambito giuridico può essere definito come un bene unitario e immateriale in relazione a cui si configurano interessi individuali, collettivi e pubblici. A partire da questa definizione è possibile inquadrare il concetto di danno ambientale inteso come la modificazione negativa di una risorsa naturale oppure come il suo deterioramento sia diretto che indiretto e che quindi deve essere tutelato, per questo motivo, quando si fa riferimento alle azioni mirate alla salvaguardia dell'ambiente si parla di Tutela Ambientale.

L'accrescimento di una "coscienza ambientale" sempre più diffusa ha spinto la predisposizione di appositi strumenti di legge che hanno obiettivo la protezione delle risorse naturali, degli ecosistemi e della salute.

La regolamentazione sempre più precisa in materia di Tutela Ambientale, individua quelle che sono le misure mirate a:

- prevenire la contaminazione dell'aria, dell'acqua e del terreno dovuta a inquinamento, radiazioni o altri residui industriali e agricoli;
- preservare l'integrità dei processi naturali che viene minacciata dagli effetti dell'industrializzazione, dell'agricoltura, dello sviluppo commerciale e di altre attività dell'uomo;
- a proteggere le specie vegetali e animali e le località di interesse paesaggistico;
- conservare altre risorse naturali.

Le questioni di maggiore interesse sono legate a molteplici fenomeni come: inquinamento dell'aria e dell'acqua, emissioni di sostanze chimiche tossiche a seguito di incidenti industriali e di inadeguate procedure di trattamento e di eliminazione dei rifiuti, minacce di radiazioni nucleari, desertificazione e la distruzione delle foreste, estinzione sempre più rapida di specie vegetali e animali, conservazione di aree di interesse paesaggistico, disponibilità di risorse energetiche adeguate per il prossimo secolo e i potenziali rischi connessi a nuove tecnologie quali le biotecnologie (Brown, 1987).

Allo scopo di proteggere le risorse naturali, gli ecosistemi e la salute si è sviluppata una nuova branca del Diritto, il Diritto Ambientale che mira a salvaguardare, tutelare e migliorare la qualità dell'ambiente, vigilando contestualmente sulla salute umana e utilizzando le risorse naturali disponibili in modo razionale e intelligente. Questo approccio si propone, inoltre, di risolvere in modo concreto le problematiche dell'ambiente.

In questa sezione sono raccolti quelli che sono i testi fondamentali del Diritto Ambientale i quali saranno utilizzati per sviluppare il modello nella fase del processo di individuazione e valutazione dei rischi per l'ambiente e per l'individuazione delle azioni migliorative/correttive da adottare per migliorare le prestazioni in questo ambito.

D.Lgs 152/2016-Testo Unico Ambientale (TUA)

Il decreto viene emanato con l'obiettivo di promuovere i livelli di qualità della vita umana da realizzare attraverso la salvaguardia ed il miglioramento delle condizioni dell'ambiente e l'utilizzazione razionale delle risorse naturali.

Il Testo determina le procedure nelle materie seguenti:

- valutazione ambientale strategica (VAS), per la valutazione d'impatto ambientale (VIA) e per l'autorizzazione ambientale integrata (IPPC);
- alla difesa del suolo, tutela delle acque dall'inquinamento e gestione delle risorse idriche;
- gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti contaminati;
- tutela dell'aria e riduzione delle emissioni in atmosfera.

Il testo tuttavia non può essere effettivamente considerato come testo unico, infatti non tiene conto di alcune importanti discipline ambientali, come per esempio, rumore, elettrosmog e aree protette.

D.Lgs 22/97-Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio

Art.1. comma 1 "Il decreto disciplina la gestione dei rifiuti, dei rifiuti pericolosi, degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggi, fatte salve disposizioni specifici particolari o complementari, conformi ai principi del presente decreto, adottate in attuazione di direttive comunitarie che disciplinano la gestione di determinate categorie di rifiuti."

L.447/1995-Legge quadro sull'inquinamento acustico

La legge definisce quali sono i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo per quanto riguarda l'inquinamento acustico. Nella legge vengono analizzate tutte le tematiche riguardanti il rumore, i soggetti volti ad analizzarle e le competenze dei vari enti di controllo.

DPCM 14/11/97-Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore

Determina i valori limite di emissione, di immissione, i valori di attenzione ed i valori di qualità riferiti alle destinazioni d'uso del territorio.

Direttiva 2007/2/CE

Vengono stabilite le norme generali per istituire un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità Europea che sia in grado di supportare le politiche ambientali comunitarie e le attività che possano avere un impatto sull'ambiente. Attraverso tale infrastruttura viene favorita la conoscenza, la disponibilità e l'interoperabilità dei dati geografici e territoriali tra le pubbliche amministrazioni, anche realizzando dei servizi in rete.

Direttiva 92/43/CEE-Direttiva Habitat

Lo scopo della direttiva è la salvaguardia della biodiversità mediante la conservazione degli habitat naturali, nonché della flora e della fauna selvatiche nel territorio europeo. Per il raggiungimento di questo obiettivo la direttiva stabilisce quali sono le misure da attuare per assicurare il mantenimento o il ripristino, in uno stato di conservazione soddisfacente, degli habitat e delle specie di interesse comunitario elencati nei suoi allegati.

Norma ISO 14001

La norma rappresenta lo standard di riferimento internazionale per quanto riguarda i sistemi di gestione ambientale, applicabile da organizzazioni di ogni dimensione e settore. LA norma fornisce

una struttura gestionale per le pratiche che riguardano la protezione dell'ambiente, la prevenzione dell'inquinamento, nonché la riduzione del consumo di energia e risorse.

Nella norma non sono prescritti criteri specifici di prestazione ambientale ma si applica agli aspetti ambientali che l'organizzazione identifica come quelli che essa può tenere sotto controllo.

Regolamento EMAS

EMAS è l'acronimo di EI Eco-Management and Audit Scheme operativo dal 1995 e modificato più volte fino a raggiungere la forma attuale. Si tratta di uno strumento volontario di gestione ambientale europeo che consente alle imprese di valutare, riferire e migliorare le loro prestazioni ambientali. Le imprese che seguono le indicazioni fornite dal Regolamento possono essere registrate come aziende certificate EMAS. Il regolamento prevede che le imprese si impegnino per ridurre il proprio impatto ambientale, a partire dal consumo di energia e acqua fino alla produzione e rifiuti.

Linee Guida SNPA 28/2020

Fornisce uno strumento, per la redazione e la valutazione degli studi di impatto ambientale per le opere riportate negli allegati II e III della parte seconda del TUA.

Le indicazioni della Linea Guida integrano i contenuti minimi previsti dall'art. 22 e le indicazioni dell'Allegato VII del TUA, sono riferite ai diversi contesti ambientali e sono valide per le diverse categorie di opere, l'obiettivo è di fornire indicazioni pratiche chiare e possibilmente esaustive.

Report di Sistema SNPA 32/2022

Il Rapporto analizza l'evoluzione del territorio e del consumo di suolo all'interno di un più ampio quadro di analisi delle dinamiche delle aree urbane, agricole e naturali ai diversi livelli, attraverso indicatori utili a valutare le caratteristiche e le tendenze del consumo, della crescita urbana e delle trasformazioni del paesaggio, ma anche dell'evoluzione, della distribuzione e delle caratteristiche della vegetazione, fornendo valutazioni sull'impatto della crescita della copertura artificiale del suolo, con particolare attenzione alle funzioni naturali perse o minacciate.

4.2 Valutazione dei Rischi per la Salute e Sicurezza dei Lavoratori

Il concetto di Rischio viene definito nell'art.2, comma 1. lettera s del D.lgs 81/08 come *“probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego o di esposizione ad un determinato fattore o agente oppure alle loro combinazioni”* può essere considerato come una combinazione di più fattori indipendenti tra loro.

In questa sezione andremo a individuare quali rischi caratterizzano gli impianti FER e individuarne l'entità, in modo da dare una stima, ottenuta tramite la valutazione oggettiva dei rischi a cui sono esposti i lavoratori “verdi”, tenendo in considerazione tutte le attività che essi svolgono all'interno dell'impianto.

Questo processo avviene attraverso due fasi distinte, la prima prevede di individuare le categorie di rischio che verranno successivamente valutate attraverso un algoritmo che consente di ottenere un valore numerico.

4.2.1 Individuazione dei rischi

La prima fase del processo di sviluppo del modello consiste nell'individuazione dei rischi per la Salute e la Sicurezza, che vengono determinati come previsto dalla normativa vigente in materia di Salute e Sicurezza, ovvero dal testo Unico sulla Sicurezza e Salute sul lavoro (D.lgs. 81/08).

Questi per la tipologia di esercizio condotto, verranno quindi suddivisi in 4 categorie come segue:

- Rischi associati ai Luoghi di Lavoro;
- Rischi associati alle Attività;
- Rischi associati alle Macchine-Utensili-Attrezzature-Impianti;
- Rischi potenziali per la presenza di Agenti Fisici-Chimici-Biologici

Di seguito si riportano i rischi che saranno oggetto della nostra analisi.

Luoghi di Lavoro

Il D.Lgs 81/98 definisce come Luoghi di Lavoro “tutti quei luoghi destinati a ospitare posti di lavoro ubicati all’interno dell’azienda o dell’unità produttiva, nonché ogni altro luogo di pertinenza dell’azienda o dell’unità produttiva accessibile al lavoratore nell’ambito del proprio lavoro”. Di seguito sono riportati tutti i rischi che possono essere associati ai luoghi di lavoro.

- 1. Ergonomia:** si considera l’ergonomia (in termini di sicurezza, affidabilità, efficacia, comfort, gradevolezza, efficienza) delle postazioni e spazi di lavoro, delle attrezzature, delle macchine, degli utensili e dei software inseriti o adoperati nello specifico ambiente di lavoro (non vengono prese in considerazione le postazioni di lavoro munite di videoterminali, che sono oggetto di una valutazione apposita).
- 2. Strutturali:** si esegue una valutazione sulle condizioni della struttura prendendo in considerazione le sue caratteristiche (stabilità, altezza, superficie, volume, compresa la valutazione del rischio sismico), la stabilità degli arredi, condizioni (relativamente alla pavimentazione, pareti, solai, soppalchi, botole, finestre, scala, marciapiedi e banchine verificando se vi sono problemi strutturali e/o elementi di inciampo o altri ostacoli), condizione delle vie di circolazione e dei passaggi, condizioni delle vie di uscita e di emergenza, numero di uscite/porte in funzione del personale, condizioni dei locali di riposo e refezione, condizione dei locali dei servizi (spogliatoi, servizi igienici, docce, gabinetti e lavabi), fruibilità dei locali seminterrati, fruibilità dei locali sotterranei e l’eventuale presenza di barriere architettoniche,
- 3. Strutturali specifici:** verifica della presenza e delle condizioni di eventuali spazi confinati o ambienti sospetti di inquinamenti.
- 4. Microclima e Macroclima:** valutazione della temperatura, umidità, velocità e dei ricambi di aria (in ambiente chiuso)
- 5. Illuminamento:** si considera l’illuminazione (sia naturale che artificiale) che garantisca una corretta visibilità delle aree di lavoro.
- 6. Elettrico:** si esegue una valutazione dei rischi tenendo in considerazione le condizioni e le caratteristiche specifiche del lavoro, comprese eventuali interferenze (uso comune di impianto elettrico; uso attrezzature elettriche in quota; luoghi con conduttori ristretti; lavori sotto tensione; ecc....) , i rischi presenti nell’ambiente di lavoro (ad esempio presenza di impianti sotto traccia interrati; presenza di ATEX ; ambienti umidi/bagnati; vibrazioni su impianti e apparecchiature; polvere; agenti chimici aggressivi; cc...) e tutte le condizioni di esercizio prevedibili (d esempio usi ordinari; manutenzione ordinaria e straordinaria; sistemi di funzionamento (manuali-automatici); continuità; ecc...).
- 7. Incendio:** la valutazione globale del rischio incendio prevede diversi passaggi, ovvero, studio delle caratteristiche del sistema, identificazione dei possibili scenari di incendio, identificazione delle conseguenze e valutazione delle diverse conseguenze per ogni evento. Risulta evidente che per limitare tale rischio è necessario intervenire sui fattori che lo determinano e quindi sia sulla frequenza che sulla limitazione delle conseguenze, per questo motivo è necessario verificare l’assoggettabilità alla normativa specifica per la prevenzione incendi (CPI), la presenza e depositi di materiali combustibili e/o infiammabili e la presenza di sistemi antincendio.

8. **Emergenza, Primo Soccorso:** verifica delle procedure per la gestione delle emergenze e la presenza di squadre di gestione delle emergenze, nonché che vengano effettuate le esercitazioni periodiche necessarie.
9. **Informazione:** si devono verificare la presenza e le condizioni della segnaletica nonché l'informazione del personale interno in merito alle potenziali situazioni di pericolo che possono verificarsi in un determinato luogo di lavoro.
10. **Gestione Appalti:** i rischi di lavorazioni interferenti devono essere valutate nell'apposito documento (DUVRI).
11. **Cantieri:** devono essere valutate le eventuali interferenze nelle lavorazioni per opere specifiche, nonché la presenza di condizioni diverse dovute alla presenza del cantiere (ad esempio rumore, viabilità di cantiere, recinzioni di cantiere, luoghi di transito, lavori in quota, scale, scavi, pozzi e cunicoli, ponteggi fissi e amovibili, demolizioni).

Attività

Vengono esplicitati i rischi correlati alle mansioni che i lavoratori svolgono all'interno dello stabilimento, sono altresì comprese le problematiche correlate alla formazione e alla sorveglianza sanitaria.

12. **Organizzazione del lavoro:** in questa categoria vengono individuate diverse tipologie di attività che possono portare a rischi specifici, valutati nel caso specifico (processi usuranti, lavoro notturno, lavoratrici madri, lavoro minorile, invecchiamento della forza lavoro, differenza di genere, provenienza da altri paesi, lavoro isolato, lavoratori disabili, interazioni con il pubblico, rischio rapina/aggressioni, utilizzo software, gestione della manutenzione)
13. **Stress lavoro-correlato e fattori psicologici:** si considerano le attività che possono portare una condizione di stress nei lavoratori come ad esempio intensa monotonia, situazione conflittuali, complessità delle mansioni nonché eventuali condizioni di carenze di controllo e di reattività anomale alle emergenze.
14. **Movimentazione manuale di carichi:** comprende quelle attività che prevedono la movimentazione di carichi/oggetti con peso maggiore ai 3 kg con frequenza superiore alle 8 volte al giorno che possono provocare danni al sistema muscolo-scheletrico.
15. **Movimenti, posture e sforzi ripetuti:** comprende quelle attività che prevedono movimenti, posture e sforzi ripetuti che possono provocare danni al sistema muscolo-scheletrico.
16. **Cadute dall'alto:** sono comprese tutte quelle attività che prevedono il lavoro in quota, ovvero espongono il lavoratore al rischio di caduta da un'altezza superiore ai 2 metri rispetto a un piano stabile.
17. **Formazione:** si intendono tutte quelle attività finalizzate a limitare l'accadimento di un evento incidentale, formando tutti i lavoratori che svolgono una specifica attività o che si trovano in un determinato luogo di lavoro.
18. **Sorveglianza Sanitaria:** comprende le attività che vengono svolte dal medico competente. in base alle specifiche attività che si svolgono in un determinato luogo di lavoro è possibile che vengano richieste delle condizioni di salute specifiche per cui periodicamente bisogna effettuare delle apposite valutazioni.

Macchine-Utensili-Attrezzature-Impianti

Vengono analizzati i rischi associati all'utilizzo o alla presente di determinate tipologie di macchine così definite dal D.Lgs 17/2010.

- 19. Uso scale:** utilizzo di attrezzature di lavoro dotate di pioli o gradini sui quali una persona può salire, scendere o sostare per brevi periodi. Permettono di superare dislivelli e raggiungere posti di lavoro in quota, possono essere trasportate e installate a mano senza l'ausilio di mezzi meccanici.
- 20. Macchine e utensili portatili:** sono compresi tutte quelle attrezzature che non sono fissate in un determinato punto del luogo di lavoro ma possono essere trasportate in base a dove vi è necessità di essere utilizzati (ex: trapani, frese...).
- 21. Urti, colpi, schiacciamenti:**
- **urto:** si definisce urto una collisione che avviene tra due o più corpi nello spazio, caratterizzato da forze interne intense;
 - **colpo:** si intende un colpo netto e veloce che viene subito da una persona da parte di un'altra persona o da un oggetto in movimento
 - **schiacciamenti:** si intende la sollecitazione a cui un corpo, soggetto a un sistema di forze convergenti, viene sottoposto
- 22. Punture, tagli, abrasioni:**
- **punture:** piccola ferita provocata da oggetti dotati di punta;
 - **tagli:** ferita provocata da oggetti dotati di una lama o con strumenti e attrezzature capaci di tagliare
 - **abrasioni:** si intende una leggera escoriazione della pelle o delle mucose o una lesione della parte più esterna della pelle, provocata da un trauma conseguenziale ad un urto o ad uno sfregamento con un corpo contundente che colpisce di striscio la superficie interessata.
- 23. Proiezione di materiali:** si intende la fuoriuscita o un getto violento (che può avvenire sotto differenti livelli di pressione) di un elemento solido da una sorgente.
- 24. Contatto con temperature estreme:** si intendono i rischi (lesioni) derivanti dal contatto o dalla vicinanza con parti della macchina o materiali a temperatura elevata o molto bassa.
- 25. Movimentazione Meccanizzata di carichi:** utilizzo di attrezzatura meccanica utilizzata per spostare carichi pesanti che possono provocare rumore, vibrazione, ribaltamento, caduta e scivolamento, investimento o urti, contatto con organi in movimento.
- 26. Videoterminali:** si intende il rischio che si riscontra nella attività dove i lavoratori utilizzano attrezzatura dotata di videoterminali in maniera sistemica ed abituale, per almeno 4 ore consecutive giornaliere, per tutta la settimana lavorativa.
- 27. Mezzi di trasporto e Investimento:** l'investimento viene definito come un evento in cui rimangono coinvolti mezzi di trasporto ed esseri umani, fermi o in movimento, e dal quale derivano lesioni a cose o persone.

Agenti Fisici-Chimici-Biologici

Vengono analizzati i rischi associati all'utilizzo, alla produzione o allo stoccaggio di agenti chimici e biologici, nonché alla presenza di agenti fisici che possono provocare danni per la salute e sicurezza dei lavoratori.

- 28. Rumore:** si intende il rischio che si riscontra nelle attività che comportano l'esposizione personale del lavoratore superiore a 80 dB.
- 29. Vibrazioni:** si intende il rischio che si riscontra nelle attività dove vengono utilizzati utensili ad asse vibrante o ad aria compressa o dove l'operatore è in contatto per un tempo prolungato a una fonte di vibrazioni.

- 30. Radiazioni Non Ionizzanti, CEM:** sono comprese quelle radiazioni dotate di energia insufficiente a ionizzare gli atomi e le molecole con le quali vengono in contatto ma che possono essere nocive o accompagnare la luce viva.
- 31. Radiazioni Ottiche:** si intendono le radiazioni elettromagnetiche della gamma di lunghezza d'onda compresa tra 100 nm e 1 mm.
- 32. Radiazioni Ionizzanti:** si tratta di una tipologia di radiazioni capace di causare, direttamente o indirettamente, la ionizzazione degli atomi e delle molecole dei materiali attraversati.
- 33. Rischio Chimico:** rischio derivato dal contatto con agenti chimici (prodotti originati da una reazione chimica desiderata e controllata e potenzialmente pericolosi per l'uomo).
- 34. Rischio cancerogeni/mutageni:** rischio derivato dall'esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni.
- 35. Lavori in ipo/iperbarico:** sono comprese tutte quelle attività dove il lavoratore è sottoposto ad atmosfere ipobariche o iperbariche.
- 36. Amianto:** esposizione a manufatti contenenti amianto.
- 37. Sostanze aerodisperse:** sostanze chimiche inquinanti (sotto forma gassosa, liquida o solida) che possono provocare problemi sia per la salute che per la sicurezza dei lavoratori e si trovano disperse nell'ambiente di lavoro.
- 38. Agenti Biologici:** rischio derivato da qualsiasi entità microbiologica, cellulare o meno, in grado di riprodursi o trasferire materiale genetico (anche se geneticamente modificato), coltura cellulare ed endoparassita umano che potrebbe provocare infezioni, allergie o intossicazioni.
- 39. Esplosione/Atex:** con il termine esplosione si definisce un improvviso e violento rilascio di energia meccanica, chimica o nucleare, con produzione di gas ad altissima temperatura e pressione. L'espansione istantanea di questi gas crea un'onda d'urto nel mezzo in cui avviene, che in assenza di ostacoli si espande in una sfera centrata nel punto dell'esplosione. Se incontra ostacoli esercita su questi una forza proporzionale alla superficie investita, e quanto più vicina al centro dell'esplosione.

4.2.2 Valutazione dei rischi

L'obiettivo di questo modello è quello di rendere la valutazione dei rischi presenti in un impianto FER il più possibile oggettiva, privandola dunque dall'esperienza personale del soggetto che la svolge, attraverso un approccio basato sulla parametrizzazione dei dati raccolti in termini numericamente quantificabili.

A questo scopo viene proposto un algoritmo che tenga conto di:

- entità del danno (E),
- probabilità di accadimento (Pr);
- frequenza di contatto con la fonte di rischio (FC);
- presenza di operazioni caratteristiche (OC);

da cui si può esprimere il rischio come:

$$R = E * Pr * FC * OC \quad (4.1)$$

Ognuno di questi fattori deve essere parametrizzato in modo da ottenerne un valore oggettivo rappresentato da un numero, secondo i criteri di stima che vengono di seguito definiti.

4.2.2.1 Entità del Danno

L'entità del danno serve a quantificare le conseguenze che si verificano a seguito di un evento incidentale, in generale attraverso questo parametro è possibile determinare quali sono le perdite attribuibili al suddetto evento.

In questo caso occorre effettuare una distinzione sulla base del bersaglio interessato al danno, ovvero se questo coinvolge i lavoratori (👤) o le attrezzature (🛠️) in quanto vengono utilizzati dei criteri di stima differenti.

Tabella 4.1 Criterio di stima per la valutazione dell'Entità dei danni causati da un evento incidentale

E		Entità (criterio di stima)
5	CATASTROFICO	
	👤	L'evento può causare invalidità permanente superiore all'11% o il decesso del lavoratore.
	🛠️	L'evento può causare danni alle attrezzature fino alla completa sostituzione per un valore maggior di 5 milioni di dollari (US dollar)
4	MAGGIORE	
	👤	L'evento può causare assenza dal lavoro per n periodo superiore a 40 giorni fino alla sensibilizzazione oppure l'invalidità permanente inferiore a 11%.
	🛠️	L'evento può causare danni alle attrezzature fino alla completa sostituzione per un valore inferiore 5 milioni di dollari (US dollar) e comunque superiori al danno stimato per un fermo di 30 gg
3	MEDIO	
	👤	L'evento può causare assenza dal lavoro per un periodo compreso tra 1 e 40 giorni
	🛠️	L'evento può causare danni strutturali alle attrezzature che causano interruzione della produzione per un periodo maggiore di 7 giorni
2	MINORE	
	👤	L'evento può causare fastidio o assenza dal lavoro per un periodo inferiore a un giorno.
	🛠️	L'evento può causare danni strutturali alle attrezzature che causano interruzione della produzione per un periodo inferiore a un giorno
1	INSIGNIFICANTE	
	👤	L'evento può causare disagio, distrazione o spavento al lavoratore.
	🛠️	L'evento può causare danni alle attrezzature che non causano interruzione della produzione

4.2.2.2 Probabilità di accadimento

La probabilità di accadimento indica la probabilità con cui un determinato evento può verificarsi, viene determinata sulla base di analisi storiche che consentono di comprendere con quale frequenza un evento incidentale può verificarsi.

Tabella 4.2 Criteri di stima per la valutazione della Probabilità di accadimento di un evento incidentale

Pr	Probabilità di accadimento (criterio di stima)
5	CERTO Il funzionamento della macchina e/o le condizioni ambientali e/o il comportamento dei lavoratori o di terzi hanno causato più volte l'evento.
4	QUASI CERTO Il funzionamento della macchina e/o le condizioni ambientali e/o il comportamento dei lavoratori o di terzi hanno causato l'evento.
3	SPORADICO Una situazione dovuta al funzionamento della macchina e/o alle condizioni ambientali e/o all'azione di terzi può causare l'evento.
2	RARO Una situazione dovuta al funzionamento della macchina e/o alle condizioni ambientali e/o al comportamento dei lavoratori può causare eccezionalmente l'evento.
1	REMOTO Non è ragionevolmente prevedibile che l'evento possa accadere.

4.2.2.3 Frequenza di contatto con la fonte di rischio

In un impianto FER può essere molto complicato stimare quale sia il numero di lavoratori che possono entrare in contatto con una sorgente di rischio, in quanto per propria natura, alcune tipologia di impianti non necessitano di personale fisso all'interno dell'impianto. Per poter stimare il numero di lavoratori che possono essere coinvolti in un evento incidentale si è quindi deciso di utilizzare un parametro, definito Frequenza di contatto (FC) con la fonte di rischio, che indica appunto la frequenza con cui i lavoratori all'interno dell'impianto possono entrare in contatto con la fonte di rischio.

Per quantificare tale parametro si effettua un rapporto tra il numero di persone che entrano all'interno dell'impianto, il tempo di permanenza medio rispetto alle le ore lavorative annuali, attraverso la formula

$$FC = \frac{N \cdot t_m}{t_y} \quad (4.2)$$

dove:

N è il numero medio di accessi all'interno dell'impianto in un anno;

t_m è il tempo di permanenza medio dei lavoratori all'interno dell'impianto (media annuale);

t_y ore di lavoro previste in un "anno lavoratore" corrispondente a 50 settimane/anno per 40 ore/settimana, ovvero 2000 ore lavorative.

In questo modo si ottiene un valore percentuale che deve essere parametrizzato a un numero intero, compreso tra 1 e 4 secondo i seguenti criteri di stima:

Tabella 4.3 3 Criterio di stima per la determinazione del fattore di Frequenza di Contatto.

FC	Frequenza Contatto (criterio di stima)
4	$FC > 500$
3	$50 < FC < 500$
2	$10 < FC < 50$
1	$FC < 10$

4.2.2.4 Presenza di operazioni caratteristiche

Alcune tipologie di operazioni presenti negli impianti FER possono essere considerate come “operazioni caratteristiche”, ovvero proprie di una determinata tipologia di impianto, e che si riscontano in maniera omogenea per tutte gli impianti appartenenti a tale tipologia. Bisogna dunque prendere in considerazione che i rischi associati a tali operazioni, indipendentemente dall’entità e dalla frequenza di accadimento determinate secondo i criteri di stima di cui sopra, devono essere considerati in maniera differente rispetto agli altri, in quanto i lavoratori risultano esserne esposti più frequentemente durante le normali attività di conduzione o di manutenzione.

La presenza di un rischio derivante da operazioni caratteristiche si parametrizza attraverso un indicatore così definito:

- 1- il rischio non deriva da operazioni caratteristiche
- 2- il rischio deriva da operazioni caratteristiche

Questo significa che ogni volta in cui, durante la valutazione, si incontra questa tipologia di rischio, il suo valore, indipendentemente dagli altri indicatori, raddoppia. In questo modo si tiene conto del fatto che durante le normali attività svolte all’interno dell’impianto c’è sempre la possibilità che questo possa verificarsi.

4.2.3 Indicatore del livello di rischio per la SSL

La valutazione del rischio può essere molto complessa in quanto all’interno dell’impianto ci possono un gran numero di luoghi, attività, attrezzature e macchine che presentano rischi differenti. Il modo migliore per poter effettuare un’analisi accurata è quello di suddividere l’impianto per gruppi omogenei, che vengono definite unità operative, ovvero individuare tutti i luoghi di lavoro/attività/attrezzature che data la loro natura siano simili o connessi tra loro, e analizzare i rischi presenti in ogni unità operativa

Una volta esaminati e valutati i rischi presenti in ognuna di queste sezioni bisogna confrontarli in quella che viene definita una scheda di sintesi, che mostra un quadro generale dell’impianto.

Un esempio di scheda di sintesi può essere la seguente, dove l’impianto viene suddiviso in 4 unità operative per ognuna di queste viene riportato il valore di rischio attraverso la valutazione dei rischi per ognuna delle sezioni:

Tabella 4.4 Scheda di sintesi ottenuta dalla valutazione dei rischi per la SSL

Oggetto di Valutazione		Unità operativa 1	Unità operativa 2	Unità operativa 3	Unità operativa 4
Luoghi di Lavoro	Ergonomia	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Strutturali	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Strutturali specifici	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Microclima	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Illuminazione	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Elettrico	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Incendio	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Emergenza, Primo Soccorso	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Informazione	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Gestione Appalti	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Cantieri	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
Attività	Organizzazione del lavoro	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Fattori psicologici Stress Lavoro-Correlato	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Movimentazione Manuale dei Carichi	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Movimenti, posture e sforzi ripetuti	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Cadute dall'alto	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Formazione	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Sorveglianza Sanitaria	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
Macchine, Utensili, Attrezzature e Impianti	Uso scale	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Macchine, utensili portatili	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Urti, colpi, schiacciamenti	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Punture, Tagli, abrasioni	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Proiezione di materiali	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Contatto con temperature estreme	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Movimentazione Meccanizzata di carichi	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Videoterminali	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Autoveicoli e investimento	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
Agenti Fisici, Chimici e Biologici	Rumore	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Vibrazioni	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200

	Radiazioni non ionizzanti,CEM	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Radiazioni Ottiche	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Radiazioni ionizzanti	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Rischio Chimico	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Impiego di Sostanze Pericolose	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Lavori in Ipo/Iperbarico	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Amianto	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Sostanze Aerodisperse	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Agenti Biologici	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200
	Esplosione	NA-200	NA-200	NA-200	NA-200

Da questa scheda si individua quale è il valore di rischio più alto e si considera questo come indicativo per valutare il livello di sicurezza dell'intero impianto e rappresenta dunque il valore che verrà utilizzato per individuare l'indice di performance HSE dell'impianto oggetto di studio.

Utilizzando i parametri ottenuti secondo le modalità sopra descritte, si ottiene quindi un valore compreso tra 1 e 200, oppure, nel caso in cui il rischio non sia applicabile alla sezione in esame, NA (Non Applicabile), che permette di individuare attraverso un valore oggettivo il rischio attribuibile all'impianto che stiamo valutando.

Il valore ottenuto ci permette di individuare un indicatore legato al livello di rischio dell'impianto che viene valutato secondo i seguenti intervalli:

Tabella 4.5 Livello di rischio associato ai rischi calcolati durante la fase di valutazione.

INDICATORE	LIVELLO DI RISCHIO	INTERVALLI
A	Molto Basso	1-18
B	Basso	19-36
C	Moderato	37-64
D	Medio	65-127
E	Alto	128-160
F	Non accettabile	161-200

4.3 Valutazione dei Rischi per l'Ambiente

Per poter comprendere e valutare i rischi per l'ambiente derivanti dalla conduzione di un impianto FER è necessario iniziare con il definire cosa sono gli Impatti Ambientali.

Per Impatto Ambientale un effetto, che può essere sia negativo che positivo, causato da un evento o da un'azione sull'ambiente. In questa sezione siamo interessati a capire esclusivamente quelli che sono gli effetti negativi sull'ambiente causati dalla presenza di un impianto FER, e quindi si vogliono individuare quelle attività che presentano dei rischi relativi alle componenti ambientali. Il modello sviluppato rende possibile effettuare una valutazione dei fattori che possono portare degli effetti significativi sull'ambiente, in un'ottica di miglioramento della performance ambientale. L'obiettivo è quello di riuscire a dare una stima degli impatti ambientali dovuti alla fase di esercizio di un determinato impianto, la quale viene effettuata in maniera tale da essere, attendibile e oggettiva, riproducibile e flessibile.

Si osserva che questa valutazione deve essere effettuata sempre una volta ricevute le autorizzazioni ambientali da parte degli enti di controllo, e non vuole in alcun modo sostituirsi a quelle che sono le procedure di valutazione standard. Questo modello rappresenta solo una stima degli impatti ambientale può essere applicata solo ed esclusivamente per impianti, già in servizio, che rispettano vincoli di legge in materia di tutela ambientale.

È possibile sintetizzare il processo di misurazione degli impatti in 4 fasi:

- individuazione delle Componenti Ambientali Bersaglio (CAB);
- individuazione dei Fattori di Impatto Ambientale (FIA);
- costruzione della Matrice degli Impatti Ambientali;
- calcolo dell'Indice di Impatto (IA)

4.3.1 Componenti Ambientali Bersaglio

La prima fase del progetto consiste nell'individuare tutte le componenti ambientali significative soggette alle azioni svolte all'interno dell'impianto, che saranno individuate attraverso le Componenti Ambientali Bersaglio (CAB).

A questo scopo è importante dunque avere una descrizione dell'ambiente quanto più possibile chiara e dettagliata da cui deriva la correttezza della valutazione finale.

Attraverso lo studio delle normative in materia di tutela ambientale sono state identificate 9 categorie di seguito elencate:

- Acqua
- Atmosfera
- Biodiversità
- Suolo
- Sistema paesaggistico

Per poter valutare in maniera corretta come le attività dell'impianto possono impattare su queste categorie è necessario individuare degli indicatori (riportati in fig. 4.6) grazie ai quali è possibile osservare dei cambiamenti, in maniera quanto più possibile oggettiva, per poter attribuire una valutazione dell'impatto sulle suddette componenti ambientali.

Tabella 4.6 Competi di Impatto Ambientale

CATEGORIE		INDICATORI
ACQUA	ACQUE DI SUPERFICIE	Qualità
		Quantità
		Temperatura
	ACQUE SOTTERRANEE	Qualità
		Quantità
ARIA		Qualità
		Impatti Globali
BIODIVERSITA'	FLORA	Vegetazione naturale
		Vegetazione coltivata
	FAUNA	Uccelli
		Animali acquatici
		Animali terrestri
SUOLO		Impermeabilizzazione
		Composizione chimico/fisica/biologica
SISTEMA PAESAGGISTICO	PAESAGGIO	Alterazione paesaggio
	BENI CULTURALI	Conservazione

4.3.2 Fattori di Impatto Ambientale

Per poter effettuare una stima dell'entità degli impatti che uno specifico impianto produce sull'ambiente circostante è necessario partire dall'individuazione dei fenomeni che questo produce durante la sua fase di esercizio, ovvero i FIA. Ogni impianto sulla base della sua natura, del luogo di costruzione e delle sue caratteristiche strutturali può produrre diversi FIA che devono essere opportunamente individuati e descritti in maniera da comprendere, successivamente, in che modo questi possono provocare sulle CAB e in generale sull'ambiente.

Questa fase richiede una conoscenza approfondita dell'impianto e dei processi che ivi avvengono e prevede quindi lo studio di tutta la documentazione riguardante le caratteristiche dell'impianto stesso, a questo scopo è necessario essere in possesso di:

- Schemi impiantistici: P&ID o PFD, in alternativa schema elettrico e idraulico;
- Progetto strutturale: devono essere comprese tutte le strutture costruite per poter garantire la corretta conduzione dell'impianto, comprese infrastrutture, barriere e recinzioni nonché linea di trasmissione elettrica (se costruita appositamente per tale impianto);
- VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) e VAS (Valutazione Ambientale Strategica) e qualunque documentazione richiesta dalla autorità competenti per poter costruire l'Impianto;
- Elenco delle materie prime utilizzate nell'impianto e rispettivi quantitativi;
- Documento derivante dal monitoraggio di inquinanti (inquinanti atmosferici, gas serra, rumore, campi elettromagnetici);
- Elenco di qualsiasi sostanza definita sostanza nociva utilizzata;
- Registro di carico e scarico dei rifiuti, Formulario di identificazione dei rifiuti (FIR) e Modello Unico di dichiarazione ambientale (MUD).

Partendo sempre dallo studio delle normative vigenti è stato possibile individuare tre categorie di fattori che possono avere un impatto negativo sull'ambiente, che a loro volta sono divisi in sottocategorie come indicato in fig.4.7.

Tabella 4.7 Fattori di Impatto Ambientale

EMISSIONI	INQUINANTI ATMOSFERICI
	GAS SERRA
	CAMPI ELETTRROMAGNETICI
	RUMORE
	AGENTI CHIMICI, BIOLOGICI e POLVERI
CONSUMO RISORSE	SUOLO
	– Edifici
	– Attrezzature per la conversione energetica
	– Canalizzazioni/tubature interrato
	– Strade /ponti
– Linea di trasmissione elettrica	
– Barriere recinzioni	
	ACQUA
	COMBUSTIBILI FOSSILI
	BIOMASSA
RIFIUTI	PRODUZIONE RIFIUTI
	RECUPERO RIUTILIZZO

Di seguito verranno descritte le modalità attraverso cui sono stati individuati i FIA e quali effetti questi producono sull'ambiente.

4.3.2.1 Emissioni

Per inquinamento si intende *“l’alterazione o la contaminazione di un qualsiasi materiale o ambiente ad opera di agenti inorganici o organici (scarichi, rifiuti, ecc..) o di batteri, derivanti dalle attività umane, produttive o stanziali”*.

In questa analisi verrà esaminato l'inquinamento ambientale, ovvero l'insieme delle contaminazioni che conseguono a varie attività umane e che alterano le caratteristiche dell'ambiente in cui l'uomo vive, comunemente distinto in:

- inquinamento atmosferico: deriva principalmente dai prodotti gassosi provenienti dallo scarico a cielo aperto (in assenza di adeguati sistemi di depurazione dei fumi), dagli impianti di riscaldamento, dai motori a combustione interna;
- inquinamento del suolo: viene causato principalmente dai prodotti non biodegradabili o chimici/metallurgici che non sono eliminabili in maniera rapida dal terreno;
- inquinamento delle acque (di falda, fluviali, lacustri, costiere/marittime): principalmente causato dalle acque di rifiuto degli agglomerati urbani o dei complessi industriali.

A partire da questa definizione di inquinamento, è possibile definire come inquinante tutte quelle sostanze che direttamente o indirettamente, producono inquinamento costituendo un pericolo per la salute dell'uomo o per l'ambiente, in quanto provocando l'alterazione delle risorse biologiche e degli ecosistemi.

Di seguito verranno descritti gli inquinanti che interessano la nostra valutazione, i quali possono essere ricondotti a 6 tipologie, ovvero, inquinanti atmosferici e gas ad effetto serra, rumore, campi elettromagnetici e altre sostanze pericolose.

Inquinanti atmosferici

Fanno parte degli inquinanti atmosferici quelle sostanze che sono in grado di alterare la normale composizione chimica dell'aria, con conseguenze sulla salute dell'uomo e dell'ambiente.

La norma di riferimento in tema di qualità dell'aria è il D.lgs n.153/2010, "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa", che prevede un quadro normativo unitario in termini di valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente.

In particolare, vengono regolamentati i livelli in aria ambiente di:

- Ossido di Zolfo (SO_2);
- Biossido di Azoto (NO_2);
- Ossidi di Azoto (NO_x);
- Monossido di Carbonio (CO);
- Ozono (O_3);
- particolato atmosferico: PM10 e PM2,5;
- Benzene ($C_6 H_6$);
- Elementi in tracce: Arsenico (As), Cadmio (Cd), Nichel (Ni);
- Piombo (Pb);

Gas Serra

Fanno parte della categoria dei gas serra quelle sostanze che sono responsabili dell'effetto serra sulla Terra: il fenomeno che permette all'atmosfera di trattenere il calore proveniente dalla radiazione solare e mantenendo la superficie terrestre a una temperatura tale da garantire la vita sul pianeta. La maggior parte dei gas serra è dunque presente naturalmente nell'atmosfera, tuttavia le attività antropiche hanno contribuito al loro accumulo e mantenimento. La conseguenza di un'eccessiva quantità di gas serra all'interno dell'atmosfera provoca un innalzamento della temperatura terrestre (Global Warming) e di conseguenza si hanno delle modifiche nei fenomeni atmosferici come: variazione dei modelli di neve e precipitazioni, aumento delle temperature medie e di eventi meteorologici estremi quali ondate di calore e inondazioni che si verificano con maggiore frequenza.

Questa tipologia di inquinante comprende:

- Anidride Carbonica (CO_2);
- Metano (CH_4);
- Ossido Nitroso (N_2O);
- Idrofluoro-Carburati (HFC);
- Perfluoro-Carburati (PFC);
- Esafluoruro di Zolfo (SF_6);
- Trifluoro di Azoto (NF_3)

In generale i Gas fluorurati a effetto serra sono il tipo più potente e persistente di gas a effetto serra emessi dalle attività umane che possono produrre un effetto migliaia di volte superiore a quello della CO_2 .

Rumore

Il rumore, inteso come fenomeno acustico che non ha caratteristiche musicali (rumore acustico) è la causa unica dell'inquinamento acustico che si verifica quando nell'ambiente vengono emessi suoni di elevata intensità e che si verifica prevalentemente nelle aree urbane e industriali. Il rumore acustico può essere definito come una sensazione fastidiosa o intollerante, che può derivare da diverse attività umane quali il traffico veicolare, ferrovie, trasporto aereo, produzioni industriali o artigianale, attività commerciali oppure può essere di origine naturale quando viene causato da fenomeni meteorologici.

L'esposizione a inquinamento acustico causa effetti nocivi sulle attività e sulla salute di essere umani e animali.

Per quanto riguarda gli esseri umani le conseguenze possono essere ricondotte all'apparato uditivo, nel caso di esposizione intensa o prolungata si può verificare la perdita di udito (parziale o totale), oppure possono influenzare altre aree come l'apparato cardiovascolare o la sfera psico-emotiva, causando disturbi quali stress, ansia, depressione, aggressività, disturbi antisociali o disturbi del sonno.

Negli animali le conseguenze sono in genere riconducibili a un progressivo stato di disorientamento con consecutiva morte di un singolo individuo, fino alla completa estinzione di una specie se questa non è in grado di sopravvivere nel proprio habitat naturale a causa del cambiamento delle condizioni originali.

Campi elettromagnetici (CEM)

I campi elettromagnetici, ovvero originati a partire da un campo elettrico che variando nel tempo genera un campo magnetico, danno origine a un fenomeno detto "inquinamento elettromagnetico". Tale fenomeno è quindi legato alla presenza di campi elettrici, magnetici e elettromagnetici artificiali, cioè non attribuibili al naturale fondo terrestre o ad eventi naturali.

I campi elettromagnetici si propongono sotto forma di onde elettromagnetiche che vengono prodotte da tutti quei dispositivi che per funzionare hanno bisogno di essere alimentati da una rete elettrica.

Si può dire dunque che l'inquinamento elettromagnetico è prodotto da tutti gli impianti tecnologici (sia ad uso domestico che industriale) che durante il loro funzionamento generano campi elettromagnetici a determinate frequenze, le cui emissioni vengono considerate come radiazioni non ionizzanti, ovvero la cui frequenza è inferiore a quella posseduta dalla radiazione infrarossa.

Sulla base della frequenza, misurata in Hz, ovvero il numero di oscillazione che l'onda effettua in un secondo, è possibile distinguere due tipologie di inquinamento elettromagnetico:

- inquinamento elettromagnetico generato da campi a bassa frequenza (0Hz-10KHz);
- inquinamento elettromagnetico generato da campi ad alta frequenza (10kHz-300 GHz).

Effettuare tale distinzione è importante in quanto le caratteristiche dei campi cambiano e variano in relazione alla frequenza di emissione e dunque anche l'interazione di tali campi con gli esseri viventi varia con diverse conseguenze per la salute.

Sostanze nocive

Questa tipologia di inquinanti comprende tutte le sostanze, intese come elementi e composti chimici (in forma gassosa, liquida o solida) e microrganismi, che possono arrecare danni alla salute umana o agli ecosistemi nel caso di dispersione nell'ambiente, come indicate nel Regolamento CLP.

SOSTANZA	DESCRIZIONE
Agenti chimici	Tutte quelle sostanze di origine naturale o artificiale che sopra determinate concentrazioni possono causare danni alla fauna e alla flora selvatica e coltivata a causa dell'alterazione del normale ciclo vitale degli organismi, sia in ambienti acquatici che terrestri. Sono comprese inoltre quelle sostanze che possono alterare la conservazione degli elementi paesaggistici a causa di fenomeni di corrosione.
Agenti mutageni e cancerogeni	Tutte quelle sostanze riconosciute o sospette cancerogene per gli animali.
Agenti biologici	Batteri, virus, endoparassiti e funghi microscopici che se dispersi sull'ambiente possono provocare danni alla fauna e alla flora selvatica e coltivata a causa di malattie, infezioni e intossicazioni.
Polveri e Fibre	Sostanze chimiche o minerali in forma solida e finemente dispersa nell'aria che possono penetrare negli organismi provocando danni al sistema respiratorio o che alterano il normale ciclo vitale di una specie. Viene considerata anche la deposizione sopra superficie che possono avere una rilevanza a livello paesaggistico o il danneggiamento di beni culturali.

Queste possono essere a loro volta classificate sulla base delle loro caratteristiche in: agenti chimici, agenti cancerogeni e mutageni, agenti biologici, polveri e fibre le cui definizioni sono riportate al paragrafo 4.2 e che possono impattare sull'ambiente sulla base di quanto esposto in tabella.

4.3.2.2 *Consumo risorse naturali*

Nell'enciclopedia Treccani viene definita risorsa *“qualsiasi fonte o mezzo che valga a fornire aiuto, soccorso, appoggio, sostegno, specialmente in situazioni di necessità (...)”*.

Le risorse naturali, ovvero quelle che vengono direttamente fornite dalla natura, sono rappresentate da tutte le fonti alimentari, minerarie, idriche ed energetiche immediatamente disponibili sulla terra per l'uomo.

Attualmente il problema relativo all'utilizzo delle risorse naturali risiede nell'eccessivo sfruttamento delle risorse, rispetto alla situazione “primitiva”, in cui l'uomo utilizzava ciò che viene fornito dalla natura in maniera equilibrata, provocando modifiche all'ambiente che influenzano il naturale equilibrio ecologico, regolato da precise leggi fisiche che garantiscono la proliferazione della vita sul pianeta.

È necessario dunque effettuare un cambio di prospettiva nell'utilizzo di ciò che la Terra fornisce, in particolare si deve utilizzare il capitale naturale, in maniera coscienziosa, cercando di non depauperare le risorse ai fini di garantire la sopravvivenza e lo sviluppo delle generazioni future.

Per la nostra analisi siamo interessati a verificare come l'utilizzo di risorse naturali interagisca sulle componenti ambientali di riferimento, considerando:

- **consumo di acqua:** si fa riferimento ai quantitativi di acqua utilizzata nella attività di gestione e conduzione dell'impianto, ovvero, pulizia, raffreddamento, processo di produzione;
- **consumo del suolo:** si fa riferimento alla variazione da una superficie non artificiale del suolo (suolo non consumato) a una copertura artificiale del suolo (suolo consumato), ovvero vengono considerate tutte le costruzioni (edifici, canalizzazioni e tubature, strade e ponti, linea di trasmissione elettrica, attrezzature per la conversione energetica, barriere e

recinzioni) presenti all'interno dell'area di pertinenza dell'impianto e/o costruite appositamente per la sua gestione e conduzione;

- **consumo di combustibili fossili:** si considera il quantitativo di tutti i combustibili di origine fossile utilizzati per la gestione e la conduzione dell'impianto.
- **consumo di biomassa:** nel caso in cui ci sia come oggetto di studio un impianto a biogas, si considera quanta biomassa viene utilizzata come materia prima per il processo di DA.

4.3.2.3 *Gestione dei rifiuti*

Tra le principali tematiche in materia di tutela ambientale vi è la gestione dei rifiuti, che vengono definiti dall'art.138, comma 1, lettera a) del Testo Unico Ambientale (TUA) come "qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o abbia l'obbligo di disfarsi". Con questo termine si fa riferimento in generale ai cosiddetti rifiuti solidi a cui si aggiungono particolari tipologie di liquidi (come liquidi concentrati di origine industriale) non recapitati in fognature ma che vengono recapitati in impianti di smaltimento attraverso le stesse modalità che si applicano al trasporto dei combustibili solidi.

Quando si parla di gestione dei rifiuti si fa riferimento a tutte le politiche, le procedure e le metodologie che vengono attuate per gestire l'intero processo dei rifiuti che parte dalla loro produzione alla destinazione finale. Tale processo è composto essenzialmente da 5 fasi avvengono nel seguente ordine:

1. Raccolta: questa prima fase comprende tutte le operazioni di prelievo, cernita e raggruppamento per il trasporto dei rifiuti prodotti;
2. Trasporto: si
3. Recupero
4. Trattamenti di inertizzazione e confezionamento
5. Smaltimento finale

Per poter capire come avviene il trattamento dei rifiuti è quindi necessario effettuare il TUA fornisce una classificazione dei rifiuti secondo 3 aspetti fondamentali:

- Origine: rifiuti urbani e speciali;
- Pericolosità: rifiuti pericolosi e rifiuti non pericolosi;
- Destinazione finale: rifiuti non riutilizzabili (destinati a smaltimento) e rifiuti riutilizzabili.

Per quanto riguarda l'origine e la pericolosità possiamo classificare i rifiuti secondo quanto previsto dal D.lgs. 22/97, ovvero in:

- a) **Rifiuti solidi urbani (RSU):** vengono così definiti tutti quei rifiuti che, anche se di grandi dimensioni, provengono dalle abitazioni o che si trovano sulle strade pubbliche o private, aree pubbliche, sulle spiagge o sulle rive dei corsi d'acqua, compresi tutti i residui vegetali derivanti dalla cura del verde pubblico. Tra questi possono annoverarsi anche alcuni rifiuti che pur provenendo da attività commerciali, artigianali o industriali possiedono caratteristiche simili agli RSU e quindi vengono definiti "rifiuti assimilabili agli RSU" e che vengono smaltiti negli stessi impianti (es. materiali da imballaggio, ritagli di tessuti, gomme, scarti di legno, ecc....);
- b) **Rifiuti speciali (RS):** comprendono prevalentemente i rifiuti di provenienza industriale, artigianale, agricola o commerciale che non ricadano nella classe precedentemente descritta oltre che rifiuti composti da materiale da costruzione, demolizione o scavo, veicoli e macchine obsoleti, rifiuti prodotti da ospedali o case di cura, rifiuti derivanti dal trattamento degli RSU e dal trattamento delle acque reflue civili;

c) **Rifiuti pericolosi (RP):** sono compresi tutti quei rifiuti che possono presentare un pericolo immediato o nel lungo termine per la salute dell'uomo nonché per la vita animale e vegetale. Si tratta per lo più di rifiuti che provengono da industrie che possono presentare le seguenti caratteristiche di pericolo:

- infiammabilità,
- tossicità/nocività/irritabilità,
- corrosività,
- cancerogeneità,
- teratogenicità,
- mutagenicità,
- infettabilità,
- reattività
- esplosività.

L'obiettivo della nostra valutazione è quello di comprendere, sulla base della tipologia di rifiuti prodotti dall'impianto in analisi, come avviene la gestione dei rifiuti e come ogni fase può impattare sull'ambiente. Per fare questa valutazione è quindi necessario, per ogni tipo di impianto conoscere:

- Tipologia di rifiuti e quantitativi di rifiuto prodotti annualmente;
- Destinazione finale dei rifiuti prodotti (recupero, trattamento o smaltimento);
- Distanza tra il punto di raccolta dei rifiuti e la il punto di destinazione finale.

4.3.3 Indicatore del livello di rischio per l'Ambiente

Una volta determinati l'entità, e dunque i pesi, dei FIA individuati per l'impianto in analisi si procede con la compilazione della Matrice degli Impatti Ambientali (fig. 4.1), attraverso la quale sarà possibile determinare un valore che misura in modo oggettivo l'impatto ambientale dell'impianto. Sulla matrice vengono individuati i FIA sulle colonne e le CAB sulle righe e per ogni FIA si compilano le caselle secondo un indice binario, dove 0 significa che tale FIA non agisce in maniera diretta sulla CAB di riferimento mentre 1 significa che il FIA agisce direttamente sulla CAB di riferimento.

Su ogni colonna è possibile osservare che alcune caselle sono state precompilate con un valore NA, che significa Non Attribuibile, tale operazione è stata svolta in maniera da rendere più leggera la compilazione della matrice, in quanto tali FIA non possono agire sulle CAB in qualsiasi caso, e non dipendono dall'impianto oggetto di valutazione.

La matrice deve essere compilata in ogni sua parte, e, una volta determinata o meno l'impatto che un FIA ha sulle CAB, si sommano i valori presenti in ogni riga in modo da determinare il rischio associato alle componenti ambientali.

Per determinare infine il livello di rischio per l'ambiente associato all'impianto si sommano tutti valori di rischio parziale e si trova l'indice di impatto ambientale, il quale viene rappresentato da un numero che può essere compreso tra 0 e 140.

Da questi valori è possibile infine determinare un indice alfabetico che sia caratteristico di ogni impianto e che tenga conto, oltre che dei rischi anche della produttività dell'impianto.

A questo scopo è stato creato un grafico su cui vengono individuate diverse aree che permettono di individuare un indicatore dei rischi per l'ambiente. Questi vengono valutati tenendo in considerazione che a un determinato valore di impatto ambientale corrisponde una quota di energia green prodotta e immessa in rete che va a compensare la presenza dell'impatto stesso. Le aree relative agli indici di performance ambientale vengono individuate, sul grafico, da delle linee verdi, e tengono in considerazione la quota di energia elettrica "green" prodotta dall'impianto e che dunque compensa gli impatti ambientali attraverso la generazione di energia pulita.

SISTEMA PAESAGGISTICO	SUOLO	BIODIVERSITA'	ARIA	ACQUA	CATEGORIE		INDICATORI																		
					PAESAGGIO	BENI CULTURALI		ACQUE DI SUPERFICIE	ACQUE SOTTERRANEE	FLORA	FAUNA	EMISSIONI	CONSUMO RISORSE												
	alterazione paesaggio conservazione	Composizione chimico/fisica/biologica	Impedibilità	animali terrestri	animali acquatici	uccelli	vegetazione coltivata	vegetazione naturale	Impatto globale	qualità	quantità	temperatura	qualità	quantità	qualità	quantità									
1	NA	NA	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	INQUINANTI ATMOSFERICI	EMISSIONI							
NA	NA	NA	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	GAS SERRA								
NA	NA	NA	1	1	1	1	NA	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	CAMPI ELETTROMAGNETICI								
NA	NA	NA	NA	1	1	1	NA	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	RUMORE								
1	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	NA	1	1	1	1	AGENTI CHIMICI ,BIOLOGICI E POLVERI								
1	1	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	EDIFICI								
NA	1	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	1	1	1	1	1	1	Attrezzature per la conversione energetica								
NA	1	1	NA	1	1	1	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	1	1	1	CANALIZZAZIONI/ TUBATURE INTERRATE								
NA	NA	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	1	1	1	STRADE /PONTI								
NA	NA	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	LINEA DI TRASMISSIONE ELETTRICA								
NA	1	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	BARRIERE RECINZIONI								
NA	NA	1	1	1	1	1	NA	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	ACQUA								
NA	NA	1	NA	1	1	1	NA	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	FOSSILI								
NA	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	BIOMASSA								
NA	NA	NA	NA	1	1	1	NA	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	RECUPERO RIUTILIZZO								
NA	1	1	1	1	1	1	NA	NA	1	1	1	1	1	1	1	1	PRODUZIONE RIFIUTI								
3	5	11	9	16	16	16	3	3	8	10	12	8	9	11	11	11	SOMMA PARZIALE								

Figura 4.1 Matrice degli Impatti Ambientali

Significa quindi, che a parità di impatto ambientale generato da due differenti impianti, quello che presenta una produttività minore possiederà un indice di performance ambientale più basso, e viceversa.

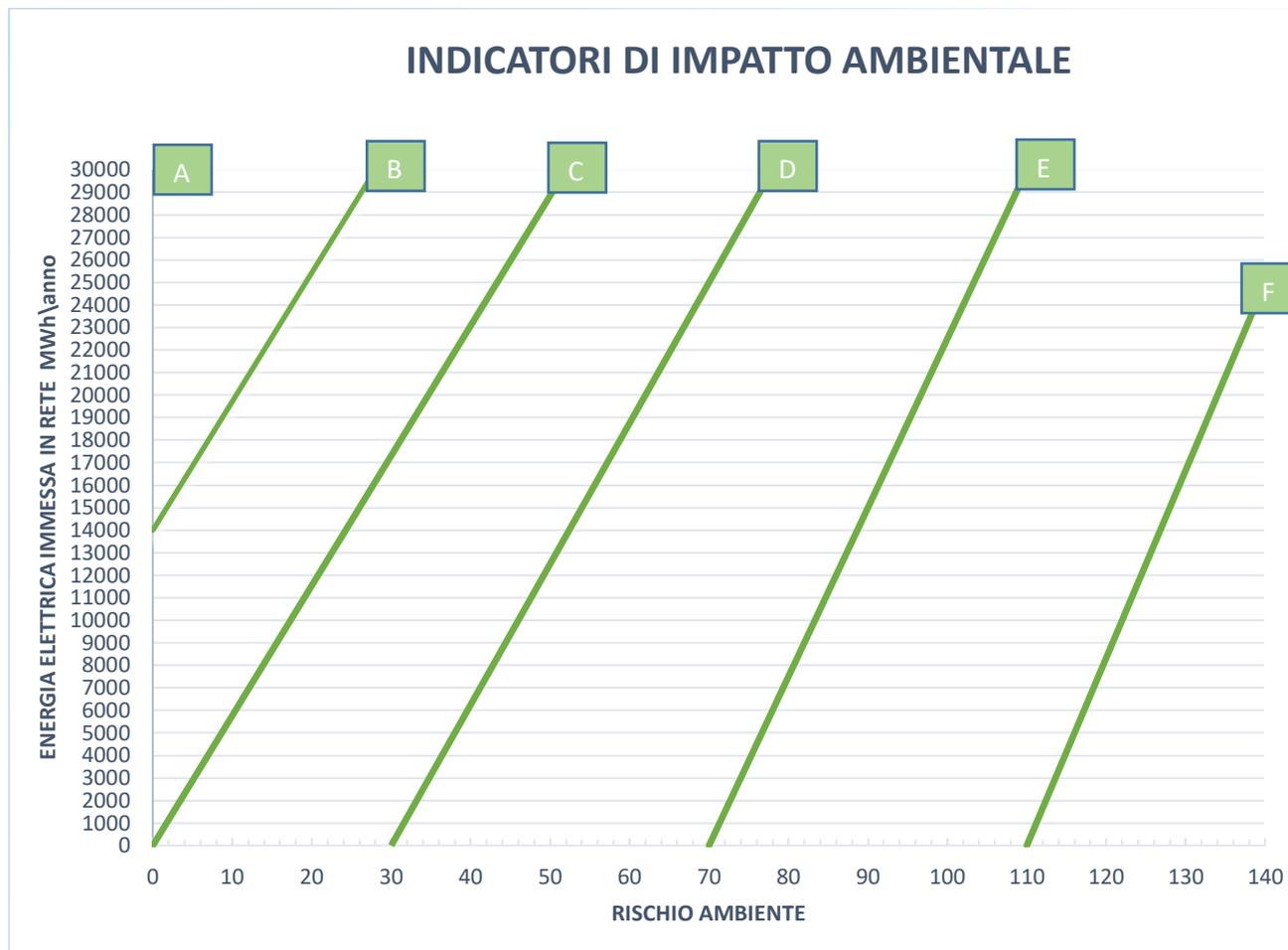


Figura 4.2 Livelli di Rischio per l'Ambiente

Come abbiamo visto nel caso dei rischi per la SSL, a questi indici corrispondono dei livelli di rischio.

Tabella 4.8 Livello di rischio associato agli impatti ambientali individuati durante la fase di valutazione

INDICATORE	LIVELLO DI RISCHIO
A	Molto Basso
B	Basso
C	Moderato
D	Medio
E	Alto
F	Molto Alto

4.4 Individuazione degli Indici di Performance HSE

Attraverso le schede di sintesi ricavate per i rischi relativi alla SSL e per l'ambiente è stato possibile determinare in modo quantitativo, attraverso un valore numerico, quali sono i rischi imputabile a un determinato impianto FER e ricavare un indicatore, espresso attraverso una lettera dell'alfabeto da A ad F che corrisponde il livello di rischio dell'impianto in analisi.

Una volta individuati tali indicatori, questi possono essere combinati in maniera da trovare un indice cumulativo, ovvero l'Indice di Performance HSE, che risulta composto da due lettere:

$$\text{Indice di Performance HSE} = XY$$

Dove X rappresenta l'indice relativo alla gestione SSL e Y rappresenta l'indice relativo alla gestione Ambientale.

I differenti casi possono portare ad ottenere le seguenti combinazioni:

Tabella 4.9 Matrice degli Indici di Performance HSE

		IA					
		A	B	C	D	E	F
SSL	A	AA	AB	AC	AD	AE	AF
	B	BA	BB	BC	BD	BE	BF
	C	CA	CB	CC	CD	CE	CF
	D	DA	DB	DC	DD	DE	DF
	E	EA	EB	EC	ED	EE	EF
	F	FA	FB	FC	FD	FE	FF

L'indice di performance HSE ottenuto in questo modo ci fornisce un quadro della situazione dell'impianto dal punto di vista della gestione HSE, e ci rende immediatamente chiaro individuare quale aspetto gestionale è maggiormente critico (Salute o Sicurezza o Ambiente).

Per poter comprendere in modo chiaro e veloce il livello di rischio associato a ogni combinazione di indice si utilizzano degli indicatori semaforici che consentono di determinare la performance HSE, come segue:

Tabella 4.10 Livello di prestazione associato all'Indice di Performance HSE

COLORE	LIVELLO	DESCRIZIONE
Verde	Ottimo	Il SGI è efficiente e non ci sono non conformità evidenti.
Giallo	Buono	Il SGI è efficace tuttavia sono presenti delle criticità da analizzare e comprendere.
Arancione	Mediocre	Il SGI presenta delle lacune si devono adottare delle misure mirate alla prevenzione e mitigazione dei rischi
Rosso	Scarso	Il SGI presenta delle gravi lacune e devono essere quindi riviste le politiche adottate in campo HSE.
Viola	Molto scarso Non accettabile	Il SGI si mostra estremamente carente dal punto di vista della gestione della Sicurezza e Salute per i lavoratori e si ricade in una zona di non tollerabilità

5 Convalida del modello

Per convalidare il modello questo è stato applicato nella valutazione di due differenti tipologie di impianto FER: un impianto fotovoltaico (PVF-1) e un impianto a biogas (BIO-1). Si è scelto di utilizzare due tipologie così differenti di impianti in modo da dare una panoramica completa per quanto riguarda i campi di applicazione del modello e dimostrare che questo è estremamente flessibile, ovvero si adatta facilmente alle caratteristiche dei vari impianti FER senza bisogno di apportare modifiche su di esso.

Per poter effettuare una corretta analisi è stata impostata una scheda di raccolta dati (Appendice E) che permette di avere un quadro completo dell'impianto oggetto di studio. All'interno della scheda devono essere esplicitati:

- Riferimenti per l'identificazione dell'azienda-Codice identificativo, Nominativo, Ragione sociale o natura giuridica, Rappresentante legale, Indirizzo sede legale, codice ATECO, Nome e localizzazione dello stabilimento;
- Tipologia di impianto- Fotovoltaico, Biomassa, Geotermico, Idroelettrico, Eolico;
- Potenza Impianto;
- Energia elettrica prodotta (media riferita agli ultimi 3 anni);
- Energia elettrica immessa in rete (media riferita agli ultimi 3 anni);
- Superficie dello stabilimento;
- Tipologia di costruzioni presenti all'interno dell'area dello stabilimento- Edifici, Attrezzature per la conversione energetica, strade e ponti, canalizzazioni e tubature interrato, Linea di trasmissione elettrica, barriere e recinzioni;
- Superficie costruita all'interno dello stabilimento;
- Numero di lavoratori fissi all'interno dello stabilimento;
- Numero di accessi all'interno dello stabilimento;
- Tempo di permanenza medio all'interno dello stabilimento;
- Consumi- Acqua, Combustibili fossili ausiliari, Energia elettrica;
- Inquinanti emessi durante il processo di produzione- Inquinanti Atmosferici, Gas Serra, Rumore, Campi elettromagnetici;
- Tipologia e relative quantità di rifiuti generati, tipologia di trattamento, distanza dal luogo di raccolta al luogo di conferimento.

Separatamente vengono raccolti e presi in valutazione tutti i documenti che possono essere utili alla valutazione come: P&ID/PFD e schemi impiantistici, autorizzazioni ambientali, DVR (Documento di Valutazione dei Rischi), Elenco delle sostanze e miscele utilizzate, MUD (Modello Unico di Dichiarazione Ambientale).

L'analisi è stata condotta, a seguito della raccolta dati e di sopralluoghi sul campo, tenendo conto delle condizioni dell'impianto al momento della valutazione. Sono quindi considerate tutte le pratiche, mirate alla prevenzione e protezione, adottate e applicate dall'azienda.

5.1 PVF-1

Il primo impianto pilota su cui andremo ad applicare il modello sviluppato precedentemente è un impianto fotovoltaico, situato in Toscana, più precisamente in provincia di Lucca, di cui vengono riportate le principali caratteristiche.

Potenza contrattuale	993,6 kW
Posizionamento	Installazione a terra
Numero moduli	4968
Superficie complessiva dei moduli	7303 m ²
Angolo di Azimut	0°
Angolo di Tilt	30°
Fattore di Albedo	Pietrisco/ Verde
Fattore di riduzione ombre	0,95

Il campo fotovoltaico è costituito da 4968 moduli installati a terra con un'esposizione azimutale di 0° rispetto al sud e un'inclinazione di 30° rispetto all'orizzontale (tilt), al fine di massimizzare l'energia producibile dal generatore fotovoltaico. Per poter garantire che le perdite dovute a fenomeni di ombreggiamento siano inferiori al 5% su base annua si è scelto un fattore di riduzione delle ombre pari a 0.95.

Per una semplicità di analisi possiamo suddividere l'impianto in 4 Unità operative, come segue:

- Unità operativa 1: generatore fotovoltaico;
- Unità operativa 2: gruppo di conversione;
- Unità operativa 3: sistema di trasporto, controllo e monitoraggio;

Di seguito vengono descritti i processi e i componenti presenti in ciascuna sezione.

Unità operativa 1: generatore fotovoltaico

Il generatore fotovoltaico è composto da moduli del tipo "SUNTECH STP200-18UB", i quali possiedono una vita utile stimata di oltre 20 anni senza presentare significativi fenomeni di degradazione nelle prestazioni. I moduli presentano le seguenti caratteristiche

Potenza nominale	200 W _p
Celle	Silicio policristallino
Tensione circuito aperto V _{OC}	33,4 V
Corrente di corto circuito I _{SC}	8,12 A
Tensione V _{MP}	26,2 V
Corrente I _{MP}	7,63 A
Grado di efficienza	13,6 %
Dimensioni	1482 mm x 992 mm x 35 mm

La potenza complessiva da raggiungere è data dal prodotto tra la potenza nominale dei moduli e il numero di questi, ovvero pari a 993.600,00 W_p, pertanto il campo fotovoltaico dovrà essere configurato come segue:

Numero di stringhe	69
Numero di moduli per stringa	24
Tensione V_{MP} a 25°C	562
Corrente I_{MP} a 25°C	7,63x24=94A Max (24 MPPT indipendenti)
Superficie complessiva moduli	1,47 m ² /mod. x 4968 mod. = 7.303,67 m ²

Ogni modulo è fornito di diodi di by-pass per ridurre al minimo le perdite di potenza dovute a fenomeni di ombreggiamento e ogni stringa di moduli è fornita da un diodo di blocco che isola la stringa dalle altre in caso di accidentali ombreggiamenti, guasti, o altri fenomeni che provocano un abbassamento di tensione.

La linea elettrica che proviene dai moduli fotovoltaici viene messa a terra attraverso degli scaricatori di sovratensione con indicazione ottica di fuori servizi al fine di garantire la protezione dalle scariche di origine atmosferica.

Inoltre, sul lato DC dell'impianto sono inserite delle bobine di sgancio che consentono ai VVF di sezionare la produzione in caso di intervento all'interno dell'impianto.

Il campo fotovoltaico viene gestito attraverso il sistema IT, ovvero nessun polo viene connesso a terra. Le stringhe sono costituite dalle serie dei singoli moduli fotovoltaici singolarmente sezionabile provvisti di diodi di blocco e di protezioni contro le sovratensioni.



Figura 5.1 Generatore Fotovoltaico di PVF-1

I moduli sono montati su delle apposite strutture di sostegno, struttura Krinner, la cui parte elevata è costituita da una serie di telai verticali a struttura reticolare disposti ad uno specifico interasse, che sostengono gli arcarecci orizzontali sui quali vengono adagiati e fissati i moduli fotovoltaici.

I telai sono realizzati con profili tubulari in acciaio zincato Fe 360 (De=60 mm, Sp03,6 mm) collegati per mezzo di particolari giunti "a collare" e "a bicchiere" a montaggio rapido in grado di realizzare un vincolo a cerniera. Gli arcarecci invece sono realizzati in acciaio zincato Fe 430 (De=60 mm, Sp=3,6 mm). La sede cilindrica dei giunti presenta al suo interno un profilo tubolare: la giunzione viene resa solidale con un'operazione simile alla crimpatura, tramite il serraggio di grani filettati che effettuano uno schiacciamento meccanico irreversibile sul mantello del profilo tubolare.

Il modulo fotovoltaico vien fissato agli arcarecci con le apposite staffe tipo pipe clip.

Unità operativa 2: gruppo di conversione

Il gruppo di conversione è formato da 3 convertitori statici (Inverter), che convertono la corrente continua prodotta dal generatore fotovoltaico in corrente alternata e sono idonei a trasferire la potenza prodotta dal campo alla rete, in conformità con i requisiti normativi e di sicurezza applicabili. I valori della tensione e della corrente in ingresso di queste apparecchiature sono compatibili con quelli prodotti dal generatore fotovoltaico, mentre i valori della tensione e della frequenza in uscita sono compatibili con quelli della rete alla quale viene connesso l'impianto.

Il gruppo di conversione sarà dotato da un inverter tipo "POWER ONE PVI-CENTRAL-300" che si trova all'interno di un locale tecnico dedicato, areato con riciclo forzato. Si utilizza il modello AURORA PVI-CENTRAL-300-TL con sei convertitori indipendenti. Questo modello può funzionare in due modalità: Multi-Master e Master-Slave. In modalità Multi-Master ciascun convertitore è dedicato ad un Array separato (i campi fotovoltaici, ovvero i 6 Array, sono isolati tra di loro) e viene operato un controllo indipendente di inseguimento del punto di massima potenza (MPPT). I sei Array quindi possono essere installati con posizioni e orientamento diversi e ognuno di essi viene controllato da un circuito di controllo MPPT. La modalità Master-Slave prevede che un solo dispositivo gestisca il punto di massima potenza, e quindi è necessario configurare opportunamente la sezione di ingresso DC.

Per ogni modulo l'inverter viene controllato da un DSP (Digital Signal Processor) e da un microprocessore centrale il cui dialogo avviene tramite protocollo CAN. Lo stesso protocollo viene utilizzato anche per il dialogo tra i moduli facenti parte del sistema. In questo modo viene garantito il funzionamento ottimale di tutto il complesso e un rendimento elevato in tutte le condizioni di insolazione e di carico sempre nel pieno rispetto delle relative direttive, norme e disposizioni. Per la comunicazione del sistema l'inverter è provvisto di due porte seriali indipendenti di tipo RS485: un canale per la comunicazione utente e un canale per i combinatori di stringa PVI-STRINGCOMB.

Unità operativa 3: sistema di trasporto, controllo e monitoraggio

Ognuna di queste sezioni è connessa da cavi elettrici e di cablaggio che consentono di trasportare l'energia prodotta dai pannelli tramite effetto fotovoltaico al processo di trasformazione e infine immetterla nella rete di distribuzione. Il cablaggio elettrico avviene per mezzo di cavi con conduttori isolati in rame con le seguenti caratteristiche:

- Sezione delle anime in rame di 1,5mm x 1A
- Tipo FG7 in esterno in cavidotti su percorsi interrati
- tipo N07V-K se all'interno di cavidotti di edifici
- tipo FG7H2R per il cavo antifrode dall'inverter al contatore tariffa incentivante
-

Tutti i cavi rispettano le seguenti prescrizioni normative: CEI 20-13, CEI 20-22II e CEI 20-37 I, marchiatura I.M-Q, colorazione delle anime secondo le norme UNEL e grado di isolamento di 4kV. Al fine di garantire la sicurezza di chi opera a diverso titolo nell'impianto, durante fasi di verifica adeguamento o manutenzione, i conduttori sono indicati secondo la seguente colorazione:

- Conduttori di protezione: giallo-verde;
- Conduttore di neutro: blu chiaro;
- Conduttore di fase: grigio/marrone;
- Conduttore per circuiti in C.C: opportunamente siglato con l'indicazione del positivo "+" e del negativo "-";

La sala quadri e il sistema di monitoraggio e controllo dell'impianto è contenuto all'interno di box realizzato con tipologia di costruzione scatolare che consente di ottenere una struttura robusta,

rigida e non soggetta a movimenti per assestamento e/o dilatazioni. L'intera cabina prefabbricata è realizzata in modo da assicurare un grado di protezione verso l'esterno IP-33 Norme CEI 70-1. Gli elementi prefabbricati che costituiscono la struttura sono realizzati in calcestruzzo armato vibrato, classe Rck 350 kg/cm² additivato con fluidificanti ed impermeabilizzanti, tali da garantire una adeguata protezione contro le infiltrazioni d'acqua per capillarità.



Figura 5.2 Cabina di Campo di PVF-1

L'ossatura della cabina è costituita da una armatura metallica costruita in rete elettrosaldata e ferro nervato, ad aderenza migliorata, in Feb44k controllato in stabilimento. Tale armatura, unita mediante saldatura, realizza una maglia equipotenziale di terra omogenea in tutta la struttura (gabbia di Faraday), che successivamente collegata all'impianto di terra protegge le apparecchiature interne da sovratensioni atmosferiche e limita a valori trascurabili gli effetti delle tensioni di passo e contatto.

Sono previsti due tipologie di quadri elettrici, uno per la corrente continua e uno per la corrente alternata.

Per quando riguarda il quadro lato corrente continua, questo viene installato a monte del convertitore per la misurazione e il controllo dei dati in uscita dal generatore.

Il quadro di parallelo lato corrente alternata invece viene installato all'interno di una cassetta posta a valle dei convertitori statici per la misurazione, il collegamento e il controllo delle grandezze in uscita dall'inverter. All'interno viene inserito un sistema di interfaccia alla rete e il contatore in uscita della Società distributrice.

Il sistema di controllo e monitoraggio consente di monitorare le prestazioni dell'impianto al fine di verificare in ogni istante la funzionalità degli inverter installati con la possibilità di visionare le indicazioni tecniche (tensione, corrente, potenza) di ciascun inverter, per mezzo di un computer e di un software dedicato.

A questo scopo si collega l'inverte a una morsettiera, in particolare la morsettiera RS-485 può essere utilizzata per collegare uno o più inverter AURORA collegati in catena (daisy-chain). Il numero massimo di inverter che possono essere collegati con questa configurazione è 31 e la lunghezza massima raccomandata della catena è di 1000 metri. L'ultimo inverter della catena presenta il

contatto della linea di terminazione attivato quindi si utilizza una resistenza da 120 ohm posizionata nell'ultima "torre" di inverter della catena.

5.1.1 Applicazione del modello

5.1.1.1 Salute e Sicurezza

Si riporta la scheda di sintesi relativa alla valutazione dei rischi per salute e sicurezza ottenuta tramite la valutazione dei rischi (Appendice A).

Tabella 5.1 Scheda di Sintesi dei Rischi SSL di PVF-1

Oggetto di Valutazione	Unità operativa 1	Unità operativa 2	Unità operativa 3	
Luoghi di Lavoro	Ergonomia	6	6	6
	Strutturali	9	9	9
	Strutturali specifici	NA	NA	NA
	Microclima	6	6	6
	Illuminazione	1	1	1
	Elettrico	32	32	32
	Incendio	24	24	24
	Emergenza, Primo Soccorso	8	8	8
	Informazione	1	1	1
	Gestione Appalti	18	18	18
Attività	Cantieri	NA	NA	NA
	Organizzazione del lavoro	12	12	12
	Fattori psicologici Stress Lavoro-Correlato	1	1	1
	Movimentazione Manuale dei Carichi	4	4	4
	Movimenti, posture e sforzi ripetuti	1	1	1
	Cadute dall'alto	18	18	18
	Formazione	1	1	1
Macchine, Utensili, Attrezzature e Impianti	Sorveglianza Sanitaria	1	1	1
	Uso scale	9	9	9
	Macchine, utensili portatili	6	6	6
	Urti, colpi, schiacciamenti	1	1	1
	Punture, Tagli, abrasioni	6	6	1
	Proiezione di materiali	1	1	1
	Contatto con temperature estreme	24	24	12
	Movimentazione Meccanizzata di carichi	NA	NA	NA
	Videoterminali	1	NA	NA
Autoveicoli e investimento	18	NA	NA	
Agenti Fisici, Chimici e Biologici	Rumore	1	1	1
	Vibrazioni	2	1	1
	Radiazioni non ionizzanti,CEM	12	12	12
	Radiazioni Ottiche	1	1	1
	Radiazioni ionizzanti	NA	1	NA
	Rischio Chimico	18	NA	1

	Impiego di Sostanze Pericolose	1	1	1
	Lavori in Ipo/Iperbarico	1	1	1
	Amianto	1	1	1
	Sostane Aerodisperse	1	1	6
	Agenti Biologici	4	4	4
	Esplosione	NA	NA	10

Il valore di rischio massimo, in questo caso pari a 32, è associato per tutte le unità operative al rischio elettrico.

5.1.1.2 Ambiente

La valutazione dei rischi per l'ambiente prevede di individuare quelli che sono i FIA (determinati al paragrafo 4.3.2) presenti nell'impianto di valutazione. A questo scopo è utile utilizzare una tabella che metta in relazione le attività svolte in ogni unità operativa con i possibili FIA che questa può generare.

Tabella 5.2 FIA prodotti da PVF-1

	FIA	Unità operativa 1	Unità operativa 2	Unità operativa 3
EMISSIONI	INQUINANTI ATMOSFERICI	Non presenti	Non presenti	Non presenti
	GAS SERRA	Non presenti	Non presenti	Non presenti
	CAMPI ELETTRICI	Generati dalla presenza di apparecchiature elettroniche	Generati dalla presenza di apparecchiature elettroniche	Generati dalla presenza di apparecchiature elettroniche
	RUMORE	Non presente	Non presente	Fenomeno provocato dalla presenza del sistema di ventilazione e o di allarme
	AGENTI CHIMICI, BIOLOGICI e POLVERI	Agenti chimici all'interno dei pannelli che possono diffondersi nell'ambiente a seguito di incendi/esplosioni	Non presenti	Non presenti
CONSUMO RISORSE	SUOLO – Edifici – Attrezzature per la conversione energetica – Canalizzazioni/tubature interrato – Strade /ponti – Linea di trasmissione elettrica – Barriere recinzioni	Suolo consumato dall'installazione dei pannelli. Strade in terra battuta per arrivare alle varie zone del campo. Presenza della recinzione	Suolo consumato per l'installazione dell'inverter e della sua cabina di protezione	Suolo consumato dalla costruzione delle fondamenta per l'installazione dei box e dai sistemi di cavi e di cablaggio sotterranei per il loro collegamento
	ACQUA	Utilizzo di acqua per la pulizia e il raffreddamento dei pannelli	Non presente	Acqua utilizzate per le pulizie, quantità trascurabile

	COMBUSTIBILI FOSSILI	Non presente	Non presente	Non presente
	BIOMASSA	Non presente	Non presente	Non presente
RIFIUTI	PRODUZIONE RIFIUTI	Generazione di rifiuti speciali o speciali pericolosi a seguito di manutenzione	Generazione di rifiuti speciali a seguito di manutenzione	Generazione di rifiuti speciali a seguito di manutenzione
	RECUPERO/RIUTILIZZO	Riutilizzo o recupero in base alla tipologia di rifiuto	Riutilizzo o recupero in base alla tipologia di rifiuto	Riutilizzo o recupero in base alla tipologia di rifiuto

Una volta individuati quali sono i FIA generati dall'attività dell'impianto si procede con l'identificare, sulla base delle caratteristiche dell'ambiente circostante l'impianto, le CAB (definite al paragrafo 4.3.2) attraverso la compilazione della matrice degli impatti secondo quanto specificato al paragrafo 4.3.3.

Dall'analisi effettuata (Appendice C) è possibile individuare il valore di rischio parziale (ovvero relativo a ogni CAB) e il rischio totale dato dalla somma dei rischi parziale.

Tabella 5.3 Rischi prodotti sulle CAB da PVF-1

CATEGORIE		INDICATORI	RISCHIO PAZRIALE
ACQUA	ACQUE DI SUPERFICIE	Qualità	7
		Quantità	7
		Temperatura	5
	ACQUE SOTTERRANEE	Qualità	4
		Quantità	8
ARIA		Qualità	6
		Impatto globale	4
BIODIVERSITA'	FLORA	Vegetazione naturale	1
		Vegetazione coltivata	1
	FAUNA	Uccelli	12
		Animali acquatici	0
		Animali terrestri	9
SUOLO		Impermeabilizzazione	8
		Composizione chimico/fisica/biologica	7
SISTEMA PAESAGGISTICO	PAESAGGIO	Alterazione paesaggio	0
	BENI CULTURALI	Conservazione	0
		RISCHIO TOTALE	79

5.2 BIO-1

Il secondo piano che utilizzeremo per convalidare il modello è un impianto che utilizza Biogas prodotto attraverso la digestione anaerobica di biomassa.

L'impianto può essere suddiviso in 4 differenti unità operative (processi) come di seguito riportato:

- Unità operativa 1: Ricezione e caricamento biomasse solide, stoccaggio temporaneo cofermenti liquidi;
- Unità operativa 2: Digestione e stoccaggio del residuo di fermentazione;
- Unità operativa 3: Sala di pompaggio
- Unità operativa 4: Produzione combinata di energia elettrica e termica (Cogenerazione);

Per ogni unità operativa vengono utilizzati macchinari e attrezzature differenti che consentono di portare avanti l'intero processo, a differenza della tipologia di impianto precedentemente descritta (PVF) questo possiede numerosi elementi, il cui funzionamento deve essere compreso per effettuare una corretta valutazione dei rischi. Oltre al numero di elementi presenti è necessario considerare anche la presenza di diverse sostanze chimiche/biologiche presenti all'interno dell'impianto, che si trovano sia sotto forma di materia prima in ingresso che come prodotti e sottoprodotti derivanti dal processo di digestione anaerobica e dal processo di combustione del biogas.

Di seguito vengono descritte, in maniera semplificata ma esaustiva, le varie unità operative, sia per quanto riguarda le attrezzature utilizzate che per le sostanze chimiche/biologiche presenti.

Unità operativa 1: Ricezione e caricamento biomasse solide, stoccaggio temporaneo cofermenti liquidi

Nella prima fase del processo avviene il conferimento della biomassa in arrivo all'impianto e il suo successivo caricamento all'interno delle vasche di fermentazione attraverso una tramoggia di carico (per la biomassa solida) o all'interno di una pre-vasca per la raccolta e il temporaneo stoccaggio di liquidi.

Ricezione biomasse solide

La biomassa solida viene stoccata all'interno delle trincee di stoccaggio da cui viene periodicamente prelevata e caricata nella tramoggia di carico, dotata di un pianale mobile che viene azionato idraulicamente dalla centralina idraulica. Posta sulla tramoggia si trova una cella di carico che consente di monitorare in maniera precisa la quantità di biomassa in ingresso all'impianto.

I conferimenti solidi vengono quindi trasportati automaticamente mediante il sistema di avanzamento a strati in posizione orizzontale sul pianale mobile fino a raggiungere la parte finale della tramoggia dove si trovano le coclee. Le coclee vengono azionate singolarmente e sono disposte in modo obliquo rispetto alla direzione del movimento della biomassa; le singole coclee hanno lo scopo di sollevare il materiale dalla parete e di trasportarlo nella coclea di emissione.



Figura 5.3 Trincea di Stoccaggio BIO-1

Bioacceleratore e trasporto materiale solido

La coclea di emissione alimenta i solidi dall'alto nell'apposito vano di carico del bioacceleratore, dove vengono sminuzzati e sfilacciati. Il bioacceleratore è un estrusore che ottimizza la decomposizione dei substrati in modo da ottenere una maggiore resa in biogas.

Se nella biomassa in ingresso dovessero trovarsi degli elementi ferrosi e/o corpi materiali estranei, questi vengono rilevati da un sensore a vibrazione. In tal caso l'alimentazione della biomassa si arresta e si apre un deflettore, azionato idraulicamente, che fa cadere tali materiali in una vasca di raccolta da cui vengono estratti.

Una volta che il prodotto è sminuzzato ad una taglia tale da riuscire ad attraversare le maglie del vaglio filtrante entra nel vano di scarico, posto nella parte inferiore del bioacceleratore.

Da qui i prodotti sminuzzati vengono scaricati in una pompa a coclea in cui vengono mescolati con il digestato liquido proveniente dall'impianto. La pompa miscelatrice invia quindi il materiale alla vasca di idrolisi o al fermentatore a cui è collegata per mezzo di due differenti tubazioni regolate da saracinesche pneumatiche.

I vari sistemi vengono tutti opportunamente lubrificati per mezzo di elettrovalvole a membrana.

Sono presenti inoltre degli interruttori di soglia di livello che vengono utilizzati come allarme di troppo pieno per la presenza di eventuali liquidi i quali attivano una pompa sommersa installata in un pozzetto vicino alla tramoggia.



Tabella 5.4 Sezione di trasporto biomassa solida BIO-1

Pre-vasca per raccolta ed il temporaneo stoccaggio di conferimenti liquidi

I conferimenti liquidi (liquami, reflui zootecnici non palabili) vengono raccolti all'interno di una vasca chiusa, in cemento armato, per poi essere eventualmente utilizzati nel processo biologico unitamente alla biomassa solida.

La pre-vasca è dotata di vari componenti, tra i quali: pozzo ermetico di servizio dotato di oblò per l'ispezione visiva, valvola di sicurezza per la protezione dalle sovrappressioni/depressioni e valvola manuale a farfalla per la tubazione del biogas, miscelatore ad immersione e altre valvole ad azionamento manuale.

Unità operativa 2: Digestione e stoccaggio del residuo di fermentazione

A questo punto la biomassa viene trasportata all'interno della sezione di digestione per mezzo di una coclea di alimentazione ad imbuto inclinato (in acciaio INOX).

Nell'impianto sono presenti 3 vasche destinate alla fermentazione: pre-vasca di idrolisi, fermentatore e post-fermentatore anche se attualmente la vasca di idrolisi non viene utilizzata. In generale la pre-vasca di idrolisi viene utilizzata in modo tale da far avvenire al suo interno la prima fase del processo di digestione anaerobica (l'idrolisi) che porta alla degradazione dei substrati organici complessi con formazione di composti semplici e che risulta essere di fatto la fase limitante del processo. Si è osservato che l'utilizzo di questa vasca non comportava una particolare differenza sulla resa di biogas, e dunque si è preferito alimentare la biomassa direttamente al digestore primario in modo da accorciare i tempi.

La biomassa viene quindi inviata all'interno del digestore dove avviene il processo di digestione anaerobica (vd.3.2.2). All'interno delle vasche la biomassa è sottoposta a degradazione in ambiente a tenuta stagna in condizioni anaerobiche; il processo avviene in condizioni controllate attraverso sonde di temperatura e di pressione e condotto a temperatura costante. Il mantenimento della temperatura avviene mediante una rete di tubazioni che copre il perimetro interno delle vasche contenente acqua calda, ottenuta impiegando parte del calore prodotto dal cogeneratore, i digestori sono inoltre isolati termicamente dalle condizioni atmosferiche esterne.

Il materiale all'interno dei digestori viene continuamente rimescolato per mezzo di appositi miscelatori a immersioni che permettono di mantenere caratteristiche omogenee su tutto il substrato.

In ogni digestore sono presenti degli oblò di ispezione, dei pozzi ermetici di servizio, valvole di sicurezza per la protezione dalla sovrappressioni/depressioni e valvole manuali a farfalla per le tubazioni del biogas, nonché valvole ad azionamento manuale e saracinesche.

Il digestato prodotto dal processo di fermentazione viene movimentato da una vasca all'altra per mezzo di un sistema di tubazioni in acciaio INOX forzate e non forzate. La raccolta e lo stoccaggio del biogas invece avvengono nella parte superiore dei digestori grazie alla copertura costituita da un telo a doppia membrana in poliestere con soffianti di sostegno. Inoltre, si effettua una desolfurazione biologica per eliminare l'idrogeno solforato presente nel biogas che si accumula sulla parte superiore del fermentatore.



Figura 5.4 Post-fermentatore BIO-1

Sistema di riscaldamento dei digestori

Parte dell'energia termica prodotta dal cogeneratore viene utilizzata per il riscaldamento dei digestori: il calore riscalda il liquido scambiatore (acqua) che, circolando all'interno di una serpentina in acciaio che copre il perimetro interno delle vasche, mantiene in temperatura il substrato.

Il circuito di riscaldamento è composto da tubazioni in acciaio che provengono dal collettore di riscaldamento situato all'interno della sala di pompaggio e giungono fino ai digestori. Tale circuito comprende le pompe per il riscaldamento delle vasche, valvole a tre vie, valvole di non ritorno, valvole e saracinesche manuali, sonde di temperatura e indicatori di temperatura e pressione.

Unità operativa 3: Sala di pompaggio

Il digestato viene trasportato all'interno delle vasche tramite condotte forzate: la distribuzione viene regolata da un misuratore di quantità di flusso (composto da misuratore e indicatore di portata) e da valvole con azionamento pneumatico e manuale: Il substrato in questo modo viene opportunamente movimentato tra fermentatore, post-fermentatore e vasche di stoccaggio.

Il materiale fermentato viene prelevato a gravità dal fermentatore e post-fermentatore attraverso tubazioni non forzate installate nelle pareti inferiori delle vasche e finisce all'interno delle pompe presenti all'interno della sala di pompaggio.

All'interno della sala di pompaggio si trovano:

- elettropompe dotate di compensatori e collegate al sistema di tubazioni;
- valvole con azionamento pneumatico e manuale per la movimentazione del substrato;
- il sistema di riscaldamento dei digestori;
- soffianti per la produzione dell'aria necessaria alla desolforazione del biogas;
- sistema di analisi del biogas;
- sistema di condotte dell'acqua;
- compressore aria con serbatoio e azionamento elettrico per generare l'aria compressa necessaria agli azionamenti pneumatici delle valvole;
- quadro elettrico e software di comando tramite PC.

Il quadro elettrico e PLC (Programmable Logic Controller) sono utilizzati per il controllo di tutte le logiche di funzionamento e di regolazione dell'impianto con visualizzazione grafica dello stato dell'impianto mediante personal computer di interfaccia con l'operatore.

Sistema di analisi del Biogas

La quantità di aria da immettere per la desolforazione viene regolata per mezzo di un sensore per O₂ attraverso un'apposita apparecchiatura che rileva in continuo le caratteristiche fisico-chimiche del biogas prodotto misurando le percentuali di CH₄, O₂ e H₂S (in ppm). Questa regolazione garantisce una buona qualità del biogas prodotto ed evita che vi sia un sovra o un sotto dosaggio di ossigeno.

Tramite delle tubazioni che contengono separatori a condensa, filtri e valvole, il campione di biogas viene prelevato dai digestori e analizzato all'interno del sistema di analisi.

Sistema condotte aria

Per l'alimentazione del biogas al cogeneratore è richiesto, oltre che all'eliminazione dell'umidità, anche la rimozione dell'idrogeno solforato (H₂S) con lo scopo di evitare problemi di corrosione dovuta alla formazione di acido solfidrico.

la desolforazione del biogas avviene immettendo un volume di aria controllato direttamente nel fermentatore per consentire a particolari batteri di innescare una reazione biologica che converte l'idrogeno solforato in zolfo elementare acqua. L'attività biologica viene ulteriormente favorita

installando dei supporti artificiali sotto la copertura del fermentatore che fungono da superfici di attecchimento per la biomassa aerobica.

Per poter effettuare il trattamento del gas (desolfurazione) sono necessari diversi componenti: soffianti di aria, valvole di non ritorno, elettrovalvole di regolazione e di arresto nel vaso in cui la soffiante dovesse presentare un malfunzionamento, apparecchiatura per la misurazione della composizione del biogas per regolare la quantità di aria da immettere e sistema di condotte in acciaio INOX e PE che permettono la distribuzione dell'aria e attraversano il pozzo di servizio del fermentatore.

Unità operativa 4: Produzione combinata di energia elettrica e termica (Cogenerazione)

Il biogas che viene prodotto all'interno dei digestori chiusi ermeticamente viene estratto tramite una soffiante con tubazioni collegate ai pozzi di servizio (punti di captazione del biogas) delle vasche e da qui, dopo esser stato desolforato, viene convogliato al cogeneratore per la produzione combinata di energia elettrica e termica.

Le tubazioni di collegamento del biogas in superficie sono in acciaio AISI 304, mentre quelle interrate sono in PE. Sono installate inoltre delle valvole manuali sulle tubazioni che permettono l'esclusione dal sistema di una o più vasche.

Il biogas esce dal digestore anaerobico in condizioni di saturazione, e dunque sono necessari degli opportuni trattamenti finalizzati alla rimozione dell'umidità. A questo scopo il biogas passa attraverso un gruppo frigorifero dove viene raffreddato ad una temperatura sotto il punto di rugiada della miscela gas-vapore acqueo e la maggior parte del vapore acqueo si separa sotto forma di acqua liquida (condensa) che scorre all'interno della tubazione di aspirazione del biogas, opportunamente inclinata con percorso sotterraneo verso un pozzetto (pozzo di condensa) dove precipita per gravità. Tramite una pompa installata all'interno di tale pozzo la condensa viene inviata al post-fermentatore e si aggiunge al resto del contenuto.



Figura 5.5 Unità operativa 4 BIO-1

Il biogas, una volta trattato, viene alimentato a un gruppo cogenerativo costituito da un motore a combustione interna (ciclo Otto), accoppiato a un generatore elettrico e ad uno scambiatore di calore per il recupero termico.

Il cogeneratore è dotato di:

- soffiante biogas;
- filtro e valvole a farfalla;
- misuratore di pressione e di temperatura;
- separatore di condensa,
- scambiatore di calore;
- chiller;

- container isolato acusticamente dove si trovano tutti gli accessori per il corretto funzionamento;
- il quadro elettrico;
- sistemi di allarme e segnalatori acustici;
- tubazioni scarico gas;

Una quota parte dell'energia che viene prodotta dal cogeneratore viene utilizzata per alimentare l'impianto, mentre le eccedenze di produzione vengono cedute in rete tramite collegamenti diretti.



Figura 5.6 Motore Cogenerativo BIO-1

5.2.1 Applicazione del modello

5.2.1.1 Salute e Sicurezza

Si riporta la scheda di sintesi relativa alla valutazione dei rischi per salute e sicurezza ottenuta tramite la valutazione dei rischi (Appendice B).

Tabella 5.5 Scheda di Sintesi dei Rischi SSL di BIO-1

Oggetto di Valutazione		Unità operativa 1	Unità operativa 2	Unità operativa 3	Unità operativa 4
Luoghi di Lavoro	Ergonomia	12	8	8	8
	Strutturali	24	48	16	16
	Strutturali specifici	72	120	48	48
	Microclima	32	32	4	16
	Illuminazione	4	4	4	4
	Elettrico	96	96	96	96
	Incendio	96	96	96	96
	Emergenza, Primo Soccorso	32	32	32	32
Informazione	8	8	8	8	

	Gestione Appalti	48	48	48	48
	Cantieri	NA	NA	NA	NA
Attività	Organizzazione del lavoro	72	72	72	72
	Fattori psicologici Stress Lavoro-Correlato	4	4	4	4
	Movimentazione Manuale dei Carichi	4	4	4	4
	Movimenti, posture e sforzi ripetuti	4	4	4	4
	Cadute dall'alto	24	24	8	8
	Formazione	4	4	4	4
	Sorveglianza Sanitaria	4	4	4	4
Macchine, Utensili, Attrezzature e Impianti	Uso scale	32	48	24	24
	Macchine, utensili portatili	24	24	16	16
	Urti, colpi, schiacciamenti	32	NA	NA	NA
	Punture, Tagli, abrasioni	24	24	16	16
	Proiezione di materiali	32	48	48	48
	Contatto con temperature estreme	48	48	48	48
	Movimentazione Meccanizzata di carichi	36	NA	NA	NA
	Videoterminali	NA	48	48	48
	Autoveicoli e investimento	72	NA	NA	NA
Agenti Fisici, Chimici e Biologici	Rumore	8	8	8	72
	Vibrazioni	4	4	4	4
	Radiazioni non ionizzanti, CEM	48	48	48	48
	Radiazioni Ottiche	4	4	4	4
	Radiazioni ionizzanti	NA	NA	NA	NA
	Rischio Chimico	24	72	12	72
	Impiego di Sostanze Pericolose	4	4	4	4
	Lavori in Ipo/Iperbarico	4	4	4	4
	Amianto	4	4	4	4
	Sostanze Aerodisperse	4	72	4	4
	Agenti Biologici	72	72	32	32
	Esplosione	40	80	40	60

Il valore di rischio massimo, in questo caso pari a 96, associato a rischio incendio e elettrico per tutte le unità operative.

Ambiente

La valutazione dei rischi per l'ambiente viene effettuata secondo le modalità descritte per PVF-1.

Tabella 5.6 FIA prodotti da BIO-1

FIA		Unità operativa 1	Unità operativa 2	Unità operativa 3	Unità operativa 4
EMISSIONI	INQUINANTI ATMOSFERICI	Non presenti	Non presenti	Non presenti	NO_2, CO
	GAS SERRA	Non presenti	Non presenti	Non presenti	CO_2, CH_4
	CAMPI ELETTROMAGNETICI	Generati dalla presenza di apparecchiature elettroniche	Generati dalla presenza di apparecchiature elettroniche	Generati dalla presenza di apparecchiature elettroniche	Generati dalla presenza di apparecchiature elettroniche
	RUMORE	Non presente	Non presente	Non presente	Fenomeno provocato dalla presenza del sistema di ventilazione e o di allarme
	AGENTI CHIMICI, BIOLOGICI e POLVERI	Sostanze chimiche e biologiche presenti nella materia prima	Sostanze chimiche e biologiche presenti nel digestato	Non presente	HCl, HF, H_2S, NH_2
CONSUMO RISORSE	SUOLO – Edifici – Attrezzature per la conversione energetica – Canalizzazioni/tubature interrate – Strade /ponti – Linea di trasmissione elettrica – Barriere recinzioni	Costruzioni in cemento armato, strade e canalizzazioni/tubazioni interrate, recinzione.	Costruzioni in cemento armato e canalizzazioni/tubazioni interrate	Strutture in muratura e cemento armato, canalizzazioni e tubazioni interrate	Strutture in muratura e cemento armato, canalizzazioni e tubazioni interrate
	ACQUA	Utilizzo acqua per la pulizia	Utilizzo acqua per il processo e il riscaldamento del digestore	Acqua utilizzate per le pulizie, quantità trascurabile	Fluido termovettore per il riscaldamento dei digestori
	COMBUSTIBILI FOSSILI	Utilizzo di combustibile per il trasporto delle materie prime	Non presente	Non presente	Non presente
	BIOMASSA	Non presente	Non presente	Non presente	

RIFIUTI	PRODUZIONE RIFIUTI	Generazione di rifiuti speciali o speciali pericolosi a seguito di manutenzione e imballaggi	Generazione di rifiuti speciali prodotti durante il processo di DA.	Generazione di rifiuti speciali a seguito di manutenzione e indifferenziato	Generazione di rifiuti speciali derivanti dal motore cogenerativo (olio e filtri esausti, fluido refrigerante).
	RECUPERO/RIUTILIZZO	Recupero, riciclo o smaltimento in base alla tipologia di rifiuto	Recupero, riciclo o smaltimento in base alla tipologia di rifiuto	Recupero, riciclo o smaltimento in base alla tipologia di rifiuto	Recupero, riciclo o smaltimento in base alla tipologia di rifiuto

Dall'analisi effettuata (Appendice D)) è possibile individuare il valore di rischio parziale (ovvero relativo a ogni CAB) e il rischio totale dato dalla somma dei rischi parziale.

Tabella 5.7 Rischi prodotti sulle CAB da BIO-1

CATEGORIE		INDICATORI	RISCHIO PAZRIALE
ACQUA	ACQUE DI SUPERFICIE	qualità	11
		quantità	11
		temperatura	9
	ACQUE SOTTERRANEE	qualità	8
		quantità	12
ARIA		qualità	10
		Impatto globale	9
BIODIVERSITA'	FLORA	vegetazione naturale	3
		vegetazione coltivata	3
	FAUNA	uccelli	12
		animali acquatici	0
		animali terrestri	13
SUOLO		Impermeabilizzazione	9
		Composizione chimico/fisica/biologica	10
SISTEMA PAESAGGISTICO	PAESAGGIO	alterazione paesaggio	0
	BENI CULTURALI	conservazione	0
		RISCHIO TOTALE	116

5.3 Risultati

Il modello applicato agli impianti PVF-1 e BIO-1 ha prodotto i seguenti risultati.

PVF-1	
Energia elettrica immessa in rete	13800 MWh/anno
Rischio SSL	32
Rischio Ambiente	79
Indice di Performance HSE	BD
Livello	Mediocre

BIO-1	
Energia elettrica immessa in rete	8046 MWh/anno
Rischio SSL	96
Rischio Ambiente	116
Indice di Performance HSE	DE
Livello	Scarso

Ne risulta che il modello si adatta facilmente alle diverse tipologie di impianto e mette in evidenza le criticità proprie di ogni tipologia. Il risultato è infatti concorde con quello che ci si aspettava all'inizio dell'analisi: l'impianto a biogas presenta per entrambe le valutazioni un risultato più alto, ma la maggiore differenza si riscontra nei rischi relativi alla SSL, dove si riscontra un livello non accettabile, rispetto all'impianto fotovoltaico che dimostra avere un livello di rischio in questo ambito molto più basso.

Questa differenza è dovuta principalmente alla presenza di un maggior numero di lavoratori equivalenti presenti su BIO-1, presenza necessaria a causa della natura del processo produttivo. In questa tipologia di impianto infatti si richiede la presenza fissa durante il turno di lavoro di almeno un lavoratore, che si occupa del monitoraggio e della manutenzione ordinaria dell'impianto, oltre a numerosi altri ingressi che si registrano per le operazioni di approvvigionamento di materia prima necessaria e per la manutenzione straordinaria. In secondo luogo, un impianto a biogas presenta numerose apparecchiature, molte delle quali elettriche che presentano pericoli relativamente a guasti del circuito che possono provocare incendi o esplosioni (nel caso di formazione di atmosfere infiammabili). Inoltre, il combustibile prodotto, il biogas, è per sua natura infiammabile e esplosivo e dunque il livello attribuibile a queste tipologie di rischio.

Al contrario un impianto fotovoltaico non necessita di presenze fisse all'interno e gli ingressi sono limitati ai soli casi di manutenzione (ordinaria o straordinaria) e alla vigilanza, per cui si abbassa notevolmente il parametro relativo alla frequenza di contatto (che passa da 4 nel caso del BIO-1 a 1 nel caso di PVF-1). I rischi presenti inoltre sono essenzialmente riconducibili a guasti dei componenti che possono provocare cortocircuito e incendio, fenomeni che non si manifestano con frequenza e dovuti prevalentemente a una scarsa manutenzione o a condizioni esterne straordinarie.

6 Campi di applicazione

Attraverso l'Indice di Performance HSE è possibile fornire una "fotografia" delle condizioni dell'impianto al momento della valutazione che può essere utile per effettuare delle verifiche, sia per quanto riguarda la predisposizione di un piano di miglioramento che per effettuare confronti su diversi impianti della stessa tipologia, per determinare eventuali investimenti sul breve o lungo termine.

6.1 Confronto delle prestazioni tra diversi impianti

L'Indice di Performance HSE può essere utile per effettuare il confronto tra diversi impianti, della stessa tipologia o differenti, per individuare quello economicamente più vantaggioso.

Come abbiamo visto, per ogni livello di rischio associato all'indice, si devono predisporre delle misure di miglioramento, le quali presentano dei costi per l'azienda. Un impianto che presenta degli indici caratterizzati da rischi maggiore, avrà bisogno di adottare delle misure, che possono essere relative all'impianto stesso (modifiche strutturali, predisposizione misure di protezione collettiva o individuali, ecc.) o comportamentali (formazione informazione, ecc.) che comportano costi più elevati per l'azienda.

A titolo di esempio, gli impianti pilota precedentemente descritti sono stati confrontati con altri impianti (uno per ogni impianto pilota), che presentano caratteristiche simili. L'indagine è stata effettuata, come per il caso degli impianti pilota, a valle del processo di raccolta dati e di sopralluoghi sul campo, che hanno portato ai seguenti risultati:

Denominazione Impianto	Energia elettrica prodotta MWh/anno	Rischio SSL	Rischio Ambiente	Indice di Performance HSE
PVF-1	13800	32	79	BD
PVF-2	1282	32	79	BE
BIO-1	8046	96	116	DE
BIO-2	7909	128	116	DF

Da questo confronto è possibile individuare quale tra gli impianti studiati presenta le prestazioni migliori in ambito HSE.

Si può osservare che, per quanto riguarda gli impianti fotovoltaici (PVF-1 e PVF-2) non ci sono differenze sui rischi presenti, questo perché gli impianti si presentano pressoché identici dal punto di vista strutturale e di gestione. La differenza sostanziale risiede nella produttività dell'impianto, che per PVF-2 è leggermente più alta, e dunque l'impatto ambientale prodotto non viene compensato dalla stessa quota parte di energia rispetto al caso del PVF-1, e dunque presenta un indice più basso. Per poter migliorare questo indice si può operare in due modi: aumentare la produttività dell'impianto (aumentare il numero di pannelli o sostituirli con tecnologie più efficienti) oppure effettuare interventi strutturali che permettono di abbassare l'indice di rischio per l'ambiente, adottando azioni migliorative in ottica preventiva.

Una situazione diversa si ritrova per gli impianti a Biogas. Nel caso di BIO-2 si può osservare che il livello di rischio è molto maggiore rispetto a BIO-1, questo deriva dal fatto che, attraverso lo studio della documentazione, in BIO-2 sono stati più frequenti fenomeni imputabili a guasti nell'impianto elettrico che hanno di fatto aumentato la probabilità di accadimento dell'evento accidentale.

Questo fenomeno si può attribuire alla gestione dell'impianto stesso. Rispetto agli impianti fotovoltaici che non hanno presenze fisse in stabilimento, nel caso del biogas ci sono dei lavoratori che si occupano della manutenzione ordinaria e della gestione dell'impianto, e questa differenza può essere dovuta proprio alle competenze e all'attenzione del personale di servizio. Per

abbassare il livello di rischio si può dunque agire attraverso delle azioni di miglioramento mirate a fornire una maggiore formazione del personale e predisponendo degli audit più frequenti. Per quanto riguarda gli impatti ambientale invece ci troviamo nello stesso caso del fotovoltaico, la produzione minore di energia porta ad ottenere un indicatore più basso, che può essere migliorato aumentando la produttività dell'impianto. In questo caso però si può anche operare su un altro fattore, ovvero sull'utilizzo di combustibili fossili ausiliari e per il trasporto delle materie prime, per abbassare l'impatto dovuto a questo fattore è possibile utilizzare mezzi elettrici, eliminando del tutto gli effetti derivanti dall'utilizzo di combustibili fossili sulle componenti ambientali.

La scelta di quale azione migliorativa intraprendere è fortemente influenzata dai costi che questa comporta, e dunque le aziende deve valutare attentamente, attraverso una analisi costi-benefici, quali azioni applicare per migliorare le performance HSE dell'impianto, in modo da garantire il benessere dei lavoratori e il rispetto dell'ambiente.

6.2 Definizione Piano di Miglioramento

L'obiettivo di un sistema di gestione integrato è quello di definire le regole e le procedure utili al perseguire un obiettivo di miglioramento, nel metterle in atto e rianalizzarle in ottica di perseguire un miglioramento continuo.

L'indice di performance HSE può fornire un notevole supporto, per quanto riguarda la predisposizione di un piano di miglioramento nell'ambito della gestione della salute-sicurezza-ambiente. Attraverso l'indice è infatti possibile comprendere in maniera immediata su quale ambito sono presenti le criticità più importanti e su cui è quindi necessario effettuare un'analisi più approfondita.

Una volta individuato il valore dell'Indice è possibile determinare, in prima battuta la frequenza degli audit¹ e quali sono le attività da predisporre durante questi ultimi.

Tabella 6.1 Proposta di Piano di Miglioramento associato all'Indice di Performance HSE

INDICE	LIVELLO	FREQUENZA AUDIT	AZIONI MIGLIORATIVE
AA, AB, BA	Ottimo	1 volta/anno	Monitoraggio e sorveglianza per poter garantire le medesime condizioni di lavoro.
AC, AD, BB, BC, BD, CA, CB, CC DA	Buono	2 volte/anno	Monitoraggio Sorveglianza Utilizzo DPI Misure di prevenzione Segnaletica
AE, AF, BE CD, CE, DB, DC, DD, EA, EB	Mediocre	3 volte/anno	Formazione Utilizzo DPI Misure di prevenzione Segnaletica
BF,CF, DE, DF EC, ED, EE, EF	Scarso	4 volte/anno	Revisione delle politiche HSE Verifica del personale preposto alla gestione dei rischi Formazione Utilizzo DPI Misure di prevenzione

¹ Per la norma UNI EN ISO 19011 si definisce audit "Processo sistematico, indipendente e documentato per ottenere evidenze degli audit e valutarle con obiettività, al fine di stabilire in quale misura i criteri di audit sono stati soddisfatti".

			Segnaletica
FA, FB, FC FD, FE, FF	Molto scarso	Ogni 60 giorni fino a rientrare nella zona di tollerabilità	Revisione delle politiche relative alla SSL

A valle di questa analisi preliminare, per risultati differenti da AA, si richiede una analisi più approfondita delle criticità che emergono, in modo da predisporre azioni migliorative mirate per ogni fattore di rischio, in relazione al livello riscontrato. Di seguito viene fornito un esempio per quanto riguarda lo sviluppo di questa procedura.

Tabella 6.2 Proposte di Azioni Migliorative e/o correttive per la Salute- Sicurezza dei lavoratori

INDICE DI RISCHIO	A	B	C	D	E	F	
LIVELLO DI RISCHIO	Molto basso	Basso	Moderato	Medio	Alto	Non Accettabile	
Luoghi di Lavoro	Ergonomia	Monitorare con sopralluogo visivo entro 5 anni	Monitorare annualmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure alternative nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Interdire l'area di lavoro
	Strutturali	Monitorare con sopralluogo visivo entro 5 anni	Predisporre Informative/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'accesso all'area e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Interdire l'accesso all'area di lavoro	Valutare il fermo impianto
	Strutturali Specifici	Monitorare con sopralluogo visivo entro 5 anni	Predisporre Informative/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'accesso all'area e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Interdire l'accesso all'area di lavoro	Valutare la messa fuori servizio dell'area
	Microclima	Monitorare con sopralluogo entro 4 anni	Predisporre Informative/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'accesso all'area e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Interdire l'accesso all'area di lavoro	Valutare la messa fuori servizio dell'area
	Illuminazione	Monitorare con sopralluogo entro 4 anni	Predisporre Informative/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'accesso all'area e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Interdire l'accesso all'area di lavoro	Valutare la messa fuori servizio dell'area

	Elettrico	Monitorare con sopralluogo visivo entro 5 anni	Monitorare annualmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Interdire l'accesso all'area di lavoro	Interdire l'area di lavoro
	Incendio	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure alternative nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto
	Emergenza, Primo Soccorso	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure alternative nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto
	Informazione	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare annualmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure alternative nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto
	Gestione Appalti	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure alternative nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto
	Cantieri	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare annualmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Interdire l'accesso all'area di lavoro	Valutare il fermo impianto

	Organizzazione del lavoro	Monitorare documentale e annuale	Monitorare annualmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre informative e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure alternative nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare la riorganizzazione del gruppo di lavoro
	Stress-lavoro correlato e fattori psicologici	Monitorare documentale e annuale	Monitorare annualmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre informative e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure alternative nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare la riorganizzazione del gruppo di lavoro
Attività	Movimentazione Manuale dei Carichi	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare annualmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre informative e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure alternative nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare la riorganizzazione del gruppo di lavoro
	Movimenti, posture e sforzi ripetuti	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare annualmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre informative e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure alternative nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare la riorganizzazione del gruppo di lavoro
	Cadute dall'alto	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure alternative nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto

	Formazione	Monitorare documental e annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure alternative nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto
	Sorveglianza Sanitaria	Monitorare documental e annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure alternative nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto
Macchine, Utensili, Attrezzature e Impianti	Uso scale	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure di protezione nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto/m acchina
	Macchine e utensili portatili	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure di protezione nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto/m acchina
	Urti, colpi, schiacciamenti	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure di protezione nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto/m acchina

	Punture, tagli, abrasioni	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure di protezione nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto/m acchina
	Proiezione di materiali	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure di protezione nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto/m acchina
	Contatto con temperature estreme	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure di protezione nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto/m acchina
	Movimentazione Meccanizzata Carichi	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure di protezione nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto/m acchina
	Videoterminali	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure di protezione nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto/m acchina

	Autoveicoli ed Investimento	Monitorare con sopralluogo visivo annuale	Monitorare semestralmente	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Predisporre segnaletica informativa e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Predisporre misure di protezione nell'immediato e programmare misure di miglioramento entro il mese	Valutare il fermo impianto/macchina
	Rumore	Monitorare con sopralluogo entro 4 anni	Predisporre Informativa/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'accesso all'area e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Interdire l'accesso all'area di lavoro	Valutare la messa fuori servizio dell'area
Agenti Fisici, Chimici e Biologici	Radiazioni Non Ionizzanti, CEM	Monitorare con sopralluogo entro 4 anni	Predisporre Informativa/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'accesso all'area e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Interdire l'accesso all'area di lavoro	Valutare la messa fuori servizio dell'area
	Radiazioni Ottiche	Monitorare con sopralluogo entro 4 anni	Predisporre Informativa/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'accesso all'area e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Interdire l'accesso all'area di lavoro	Valutare la messa fuori servizio dell'area
	Radiazioni Ionizzanti	Monitorare con sopralluogo entro 4 anni	Predisporre Informativa/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'accesso all'area e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Interdire l'accesso all'area di lavoro	Valutare la messa fuori servizio dell'area
	Rischio Chimico	Monitorare con sopralluogo entro 3 anni	Predisporre Informativa/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'utilizzo della sostanza e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Vietare l'utilizzo della sostanza	Valutare la messa fuori servizio dell'area
	Rischio cancerogeni/mut	Monitorare con sopralluogo entro 3 anni	Predisporre Informativa/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'utilizzo della sostanza e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Vietare l'utilizzo della sostanza	Valutare la messa fuori servizio dell'area

	Lavori in Ipo/Iperbarico	Monitorare con sopralluogo entro 3 anni	Predisporre Informative/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'utilizzo della sostanza e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Vietare l'utilizzo della sostanza	Valutare la messa fuori servizio dell'area
	Amianto	Monitorare con sopralluogo annuale	Predisporre Informative/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'utilizzo della sostanza e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Valutare la messa fuori servizio dell'area	Valutare il fermo impianto
	Sostanze Aerodisperse	Monitorare con sopralluogo entro 3 anni	Predisporre Informative/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'utilizzo della sostanza e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Vietare l'utilizzo della sostanza	Valutare la messa fuori servizio dell'area
	Agenti Biologici	Monitorare con sopralluogo entro 3 anni	Predisporre Informative/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'utilizzo della sostanza e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Vietare l'utilizzo della sostanza	Valutare la messa fuori servizio dell'area
	Esplosione/Atex	Monitorare con sopralluogo annuale	Predisporre Informative/segnaletica e attuare monitoraggio annuale	Verificare annualmente per l'individuazione e di possibili azioni di miglioramento	Limitare l'utilizzo della sostanza e attuare misure di miglioramento entro sei mesi	Valutare la messa fuori servizio dell'area	Valutare il fermo impianto

Tabella 6.3 Proposta di Azioni Migliorative e/o Correttive per l'Ambiente

INDICE DI RISCHIO	A	B	C	D	E	F
LIVELLO DI RISCHIO	Molto basso	Basso	Moderato	Medio	Alto	Molto Alto
INQUINANTI ATMOSFERICI	Rivalutazione almeno biennale	Valutare possibili indagini strumentali una tantum e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di contenimento e/o miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività fino al rientro nei parametri prefissati	Predisporre piani di campionamento con monitoraggi strumentali

	GAS SERRA	Rivalutazione almeno biennale	Valutare possibili indagini strumentali una tantum e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di contenimento e/o miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività fino al rientro nei parametri prefissati	Predisporre monitoraggi strumentali
EMISSIONI	CAMPI ELETTROMAGNETICI	Rivalutazione almeno biennale	Valutare possibili indagini strumentali una tantum e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di contenimento e/o miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività fino al rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto
	RUMORE	Rivalutazione almeno biennale	Valutare possibili indagini strumentali una tantum e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di contenimento e/o miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività fino al rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto
	AGENTI CHIMICI, BIOLOGICI e POLVERI	Rivalutazione almeno biennale	Valutare possibili indagini strumentali una tantum e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di contenimento e/o miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività fino al rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto

	SUOLO						
	Edifici	Rivalutazione almeno ogni 5 anni	Verifica annuale e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività e attuare piano di rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto
	Attrezzature per la conversione energetica	Rivalutazione almeno biennale	Verifica annuale e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività e attuare piano di rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto
	Canalizzazioni/tubature interrante	Rivalutazione almeno biennale	Verifica annuale e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività e attuare piano di rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto
	Strade /ponti	Rivalutazione almeno biennale	Verifica annuale e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività e attuare piano di rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto

CONSUMO RISORSE	Linea di trasmissione elettrica	Rivalutazione almeno biennale	Verifica annuale e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività e attuare piano di rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto
	Barriere recinzioni	Rivalutazione almeno biennale	Valutare possibili indagini strumentali una tantum e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività e attuare piano di rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto
	ACQUA	Rivalutazione almeno biennale	Verifica annuale e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività e attuare piano di rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto
	COMBUSTIBILI FOSSILI	Rivalutazione almeno biennale	Verifica annuale e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività e attuare piano di rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto

	BIOMASSA	Rivalutazione almeno biennale	Valutare possibili indagini strumentali una tantum e rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di contenimento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività e attuare piano di rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto
RIFIUTI	PRODUZIONE RIFIUTI	Rivalutazione almeno biennale	Rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di miglioramento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività e attuare piano di rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto
	RECUPERO RIUTILIZZO	Rivalutazione almeno biennale	Rivalutazione annuale del parametro	Attuare misure di miglioramento entro 6 mesi	Limitare le attività e attuare un piano di misure di miglioramento entro 3 mesi	Limitare le attività e attuare piano di rientro nei parametri prefissati	Valutare il fermo impianto

7 Conclusioni

La presente Tesi nasce con l'obiettivo di definire una metodologia per valutare, attraverso un parametro oggettivo, quelli che sono i rischi per la salute-sicurezza-ambiente negli ambienti di lavoro correlati alle tecnologie verdi destinate alla produzione di energia elettrica tramite fonti rinnovabile, tecnologie spesso considerate, insieme ai lavori ad esse associate, come "pulite" e di conseguenza a minor rischio per i lavoratori. Questo comporta da una parte l'errore di sottovalutare i pericoli ad esse connessi, anche perché nelle valutazioni ci si concentra su metodologie di analisi applicate storicamente in altri settori, tralasciando gli approfondimenti sui rischi tipici del settore, tra cui i rischi emergenti ad esso collegati, dall'altra parte difficoltà di analisi, a parità di impianto, per l'individuazione di quello su cui investire maggiormente.

In questo lavoro è stato dimostrato come sia possibile definire metodologie oggettive e ripetibili che possano essere applicate a tali tipologie di impianti, attraverso la determinazione dell'indice di Performance HSE (Health-Safety-Environment). Tale indice può essere definito come un indicatore dei rischi per l'ambiente, per la sicurezza e per salute associati a un determinato impianto che produce energia elettrica utilizzando fonti rinnovabili, in grado di supportare le aziende nei processi decisionali, per quanto riguarda la gestione HSE della stessa.

Una volta individuato l'indice caratteristico di un determinato impianto è stato possibile associare a quest'ultimo un relativo livello di prestazione: ottimo, buono, mediocre, scarso, molto scarso/non accettabile.

L'Indice di performance HSE, presentato in questo lavoro, è stato sviluppato come risultato della definizione di un modello di valutazione dei rischi che fosse in grado di contenere e parametrizzare tutte le informazioni necessari a determinare i rischi presenti in uno specifico impianto.

Il modello è stato sviluppato a seguito di una fase preliminare di studio della normativa vigente che ha permesso di individuare i fattori di rischio, successivamente valutati attraverso dei parametri che permettessero di ottenere una valutazione quanto più oggettiva possibile. Il processo di valutazione per i rischi legati alla salute e sicurezza dei lavoratori e per i rischi ambientali viene effettuato separatamente e al termine di questo viene attribuito un indicatore, definito da una lettera da A a F, associata al livello di rischio calcolato, con A livello di rischio più basso. Gli indicatori infine vengono poi combinati in modo da individuare l'Indice di Performance HSE, che è dunque formato da due lettere differenti, nella forma XY, dove X rappresenta il livello di rischio associato alla salute e sicurezza dei lavoratori e Y il livello di rischio associato all'ambiente.

Grazie ai parametri che sono stati individuati per effettuare la valutazione, l'indice ottenuto si riferisce a tutte le informazione legate alla gestione HSE dell'impianto, ovvero, numero di lavoratori, energia prodotta, attività svolte all'interno dell'impianto, macchine, attrezzature e strutture presenti all'interno dell'impianto, condizioni ambientali e metereologiche, materie prime impiegate, prodotti/sottoprodotti/rifiuti generati durante il processo e misure di prevenzione e protezione adottate per la mitigazione dei rischi .

Per poter convalidare il modello predisposto è stata condotta un'analisi su due differenti tipologie di impianto, un impianto fotovoltaico (PVF-1) e un impianto a biogas (BIO-1), i cui rischi sono stati determinati attraverso l'applicazione del modello. Da questa analisi è stato possibile determinare, per entrambi gli impianti, un Indice di Performance HSE che rispecchia le caratteristiche di questi.

I risultati ottenuti da questa analisi hanno infatti dimostrato che PVF-1 presenta un Indice di Performance HSE migliore rispetto a BIO-1, e dunque prestazioni di livello più alto nel campo della gestione HSE.

Il risultato è stato coerente con quanto ci aspettavamo all'inizio dell'analisi, il fotovoltaico infatti è un impianto che per sua natura non presenta dei pericoli elevati, in quanto non sono presenti numerose attrezzature meccaniche, non vengono usate materie prime infiammabili e non vi sono

sottoprodotti generati dal processo che possono essere caratterizzati da pericoli intrinseci. In secondo luogo, mentre l'impianto a biogas ha bisogno di presenza costante di lavoratori che garantiscano le corrette condizioni per far avvenire il processo produttivo, nel fotovoltaico si svolgono solo operazioni sporadiche legate a manutenzione ordinaria e straordinaria o alla sorveglianza dell'impianto, e quindi si abbassa notevolmente l'esposizione dei lavoratori alle sorgenti di rischio. Per quanto riguarda i rischi legati alla componente ambientale, anche in questo caso PVF-1 presenta una performance migliore, anche se la differenza è meno netta. Questo è dovuto al fatto che durante il funzionamento del fotovoltaico non vengono emesse sostanze inquinanti (inquinanti atmosferici, gas serra e altre sostanze nocive) come invece accade, anche se in ridotte quantità, nel processo di conversione energetica del biogas.

Il modello sviluppato non copre tutti gli aspetti riferiti alla vita della tipologia di impianti considerati, essendo fortemente concentrato sulla fase di gestione degli stessi, e presenta alcuni limiti che possono essere superati attraverso l'implementazione e integrazione di altri parametri.

Il modello potrebbe infatti essere esteso per coprire le altre fasi del ciclo vita degli impianti, considerando i rischi associati alle fasi di installazione e dismissione, in modo da avere una visione completa dei rischi derivanti dalle varie fasi.

Per quando riguarda la valutazione dei rischi per l'ambiente, si osserva che in questo modello viene considerata solo la presenza o meno di un determinato Fattore di Impatto Ambientale (FIA) ma non viene determinata la loro entità, che invece sarebbe importante comprendere per determinare l'effettivo impatto sull'ambiente.

In un'ottica di sviluppi futuri è possibile utilizzare un peso che sia in grado di quantificare l'entità dei FIA, attraverso un criterio semi-quantitativo basato su due parametri di riferimento, ovvero, il tempo (riferito a un anno solare) in cui si verifica l'impatto e la tipologia di cambiamento che questo produce sulla Componenti Ambientali Bersaglio (CAB). Mentre il primo parametro è facilmente calcolabile in modo oggettivo in quanto serve essere a conoscenza della frequenza in termini di giorno /anno, rispetto appunto all'anno solare, di accadimento di tale fenomeno, il secondo prevede una valutazione più predittiva/intuitiva. Alcuni impatti ambientali non sono infatti osservabile in tempo reale, ad esempio l'effetto di emissioni del rumore sulla fauna locale non provoca danni immediati, ma a lungo termine può portare ad effetti come la migrazione di una specie. Per questa valutazione quindi è necessario affidarsi alla letteratura, al netto di fattori facilmente osservabile come può essere la presenza di un edificio che deturpa un paesaggio, in modo da capire quali siano le probabilità che un determinato cambiamento sulle CAB possa realmente verificarsi. A titolo di esempio si riporta una tabella che individua dei pesi correlati a dei criteri di stima per individuare l'entità dei FIA.

Entità	Peso	Criterio di stima
Lieve	1	Il FIA agisce sul CAB per non più di 30 giorni distribuiti nell'arco di un anno e la sua azione non produce cambiamenti permanenti.
Moderata	2	Il FIA agisce sul CAB per un periodo compreso tra 30 e i 60 giorni nell'arco di un anno e la sua azione può produrre cambiamenti permanenti.
Elevata	3	Il FIA agisce sul CAB per un periodo maggiore di 60 giorni nell'arco di un anno e la sua azione produce cambiamenti permanenti.

Possiamo dunque concludere che il modello nel suo insieme si presenta funzionale e flessibile, in quanto è in grado di adattarsi a diverse tipologie di impianti FER e, attraverso l'Indice di Performance HSE viene fornito un risultato chiaro e replicabile, utilizzabile sia per la definizione di piani di

miglioramento sia per completare i processi di valutazione in fase di compravendita di detti impianti, Due Diligence, a cui gli stessi sono soggetti sempre più frequentemente. Tuttavia, il metodo sviluppato rappresenta solo un punto di partenza che può essere ampliato per determinare con maggiori precisioni i rischi per la Salute e la Sicurezza e per l'Ambiente attribuibili agli impianti FER, anche nelle loro diverse fasi di vita.

8 Bibliografia

- Adams, W. & Day, R., 1877. The Action of Light on Selenium. *Proc. Royal Soc.*, Volume 25, pp. 113-119.
- APAT, 2005. *Digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi*. Roma: APAT.
- Bacquerel, A. E., 1839. Sur les effets electriques produits sous l'influence solaire. *C. R. Acad. Sci.*, 25 Nov, 9(22), p. 561–567.
- Chen, Y., Cheng, J. J. & Creamer, K. S., 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: a review.. *Bioresource Technology*, Issue 99, pp. 4044-4046.
- Chiras, D., 2016. Batteries, Charge Controllers, and Gen-sets. In: *Power from the Sun : Achieving Energy Independence*. s.l.:New Society Publishers, pp. 187-233.
- CNR, 2012. *Radiazione*. Roma: s.n.
- ENEA, SICENEA, 2008c. *Progettare e installare un impianto fotovoltaico*. Roma: ENEA.
- ENEA, SICENEA, 2008a. *Progettare e installare un impianto fotovoltaico*. Roma: ENEA.
- ENEA, SICENEA, 2008b. *Progettare e installare un impianto fotovoltaico*. Roma: ENEA.
- ENEA, SICENEA, 2008d. *Progettare e installare un impianto fotovoltaico*. Roma: ENEA.
- ENEA, SICENEA, 2008e. *Progettare e installare un impianto fotovoltaico*. Roma: ENEA.
- ENEA, SICENEA, 2008f. *Progettare e installare un impianto fotovoltaico*. Roma: ENEA.
- ENEA, 2008a. *Fotovoltaico, il processo evolutivo e le nuove frontiere*. Roma: ENEA.
- ENEA, 2008b. *Fotovoltaico, il processo evolutivo e le nuove frontiere*. Roma: ENEA.
- Evans, G., 2000. *Biowaste and Biological Waste Treatment*. s.l.:Routledge.
- Glunz, S. W., Preu, R. & Biro, D., 2012. Crystalline Silicon Solar Cells: State-of-the-Art and Future Developments. In: *Comprehensive Renewable Energy*. s.l.:Elsevier.
- HOEPLI, 2012. *Le energie rinnovabili*. Milano: Ulrico Hoepli Editor.
- HOEPLI, 2012. *Le energie rinnovabili: le nuove tecnologie di produzione elettrica e termica*. Milano: Ulrico Hoepli editore.
- homatron, s.d. *homatron*. [Online]
Available at: <http://www.homatron.it/it/impianto-fotovoltaico/>[Consultato il giorno Aprile 2023].
- Iren, 2022. *gruppoiren*. [Online]
Available at: <https://www.gruppoiren.it/it/everyday/sfide-di-innovazione/2022/Fotovoltaico-in-perovskite-piu-efficiente-e-economico.html>
[Consultato il giorno Aprile 2023].
- McEvoy, A., Castaner, L. & Markvart, T., 2012. *Solar Cells : Materials, Manufacture and Operation*. San Diego: Elsevier Science & Technology.
- Melvill, L., Weger, A., Wiesgickl, S. & Franke, M., 2014. Anaerobic Digestion. In: *Transformation of Biomass: Theory to Practice*. s.l.: John Wiley & Sons, pp. 31-54.
- Menichella, M., 2019. *Consulente-Energia*. [Online]
Available at: <http://www.consulente-energia.com/av-i-quadri-elettrici-degli-impianti-fotovoltaici-quando-occorrono-i-quadri-in-corrente-continua-nel-fotovoltaico-armadi-per-quadri-elettrici-fotovoltaici.html>[Consultato il giorno Aprile 2023].
- Minkyu, J. et al., 2012. Novel vapor texturing method for EFG silicon solar cell applications. *Contents lists available at SciVerse ScienceDirect Solar Energy Materials & Solar Cells*, Issue 107, pp. 366-372.
- Nayono, S. E., 2009. *Anaerobic digestion of organic solid waste for energy production*. s.l.:KIT Scientific Publishing.
- Oku, T., 2016. Basic of Solar Cells. In: *Solar Cells and Energy Materials*. Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH, pp. 31-32.
- Oliver, J. E. e., 2005. *Encyclopedia of World Climatology*. Dordrecht: Springer Netherlands .

- Olli, A., 2015. Czochralski Growth of Silicon Crystals. In: *Handbook of Silicon Based MEMS Materials and Technologies*. Norwich: Elsevier Science & Technology Books, pp. 18-55.
- Park, S. & Li, Y., 2012. Evaluation of methane production and macronutrient degradation in the anaerobic co-digestion of algae biomass residue and lipid waste.. *Bioresource Technology*, Issue 111, pp. 42-48.
- Priolo, F., s.d. *asimmetrie*. [Online]
Available at: www.asimmetrie.it/images/12/pdf/articolo-10-numero12.pdf
[Consultato il giorno 13 Aprile 2023].
- Sala, G. & Anton, I., 2011. Photovoltaic Concentrators. In: *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Madrid: John Wiley & Sons, pp. 402-426.
- Smith, A. L., Stadler, L. B. & Love, N. G., 2012. Perspectives on anaerobic membrane bioreactor treatment of domestic wastewater: a critical review.. *Bioresource Technology*, Issue 122, pp. 149-159.
- Treccani, s.d. *Treccani*. [Online]
Available at: https://www.treccani.it/enciclopedia/drogaggio_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/[Consultato il giorno Aprile 2023].

9 Ringraziamenti

Al termine di questo elaborato, ci tengo a ringraziare tutti coloro che mi hanno supportato durante questo percorso.

In primis, ringrazio la mia relatrice, prof.ssa Micaela Demichela, per i suoi preziosi consigli e la sua disponibilità. Grazie per avermi fornito spunti fondamentali per la stesura di questo lavoro e per avermi indirizzato nei momenti di indecisione.

Un sentito ringraziamento va all'Ing. Michele Buonanno, mio tutor presso l'azienda ove ho effettuato questo percorso, Studio Buonanno s.r.l. Grazie per avermi guidato con pazienza in tutte le fasi di sviluppo dell'elaborato, ma soprattutto grazie per avermi dato questa opportunità che mi ha fatto crescere professionalmente. Porterò sempre con me quello che ho imparato durante questo periodo.

Ringrazio la mia famiglia, Mamma, Babbo e Marco, che mi hanno sempre motivato a dare il meglio e sono stati un faro anche nei momenti più difficili.

Grazie ai miei amici, quelli di sempre e quelli "nuovi", con i quali abbiamo condiviso gioie e dolori di questo percorso universitario e che hanno sempre creduto in me.

10 Appendice A

OGGETTO DELLA VALUTAZIONE: Unità operativa 1: generatore fotovoltaico										
		PROBABILITA'	P	ENTITA' DEL DANNO	E	FREQUENZA DI CONTATTO	FC	OPERAZIONE CRITICA	OC	R
	Ergonomia	Presenza di postazioni di lavoro che possono portare ad assumere una scorretta postura	3	Danni all'apparato muscolo-scheletrico	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	6
	Strutturali									9
	Caratteristiche della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Stabilità degli arredi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Condizioni della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Vie di circolazione e passaggi	Su alcune vie di circolazioni sono presenti degli ingombri che ostacolano il passaggio (verde, animali)	3	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	6
	Vie e uscite di emergenza	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Uscite e porte	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Locali di riposo e refezione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Servizi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Locali seminterrati		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1		1	NA
	Locali sotterranei		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1		1	NA
	Barriere architettoniche	Alcune zone non sono accessibili a lavoratori con problemi di disabilità motoria	3	Danni di varia entità	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	9

	Strutturali Specifici									NA
	Spazi confinati		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1			NA
	Vasche e canalizzazioni		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1			NA
	Microclima									6
	Microclima moderato	Non sono state riscontrate particolari criticità	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	3
	Microclima severo	Non sono state riscontrate particolari criticità	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	3
	Macroclima	Esposizioni a condizioni metereologiche avverse durante le attività	3	Danni all'apparato respiratorio Colpi di calore/insolazione	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	Attività esterna	1	6
	Illuminazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni all'apparato respiratorio Colpi di calore/insolazione	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Elettrico									32
	Impianto elettrico, di terra e di protezione dalle scariche atmosferiche	Guasti nell'impianto elettrico	4	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di apparecchiature elettriche	2	32
	Utilizzo apparecchiature	Uso scorretto delle attrezzature elettroniche e mancata manutenzione di esse	3	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	N=500, tm=24 ore/anno	1	Utilizzo di apparecchiature elettriche	2	24
	Incendio	Possibilità che si verifichi un incendio durante le operazioni	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	4	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di sostanze e apparecchiature che possono innescare un incendio	2	24
	Emergenza, Primo Soccorso	Situazioni di emergenza dovute a un malore di un lavoratore o a un malfunzionamento della macchina	2	Danni di varia entità	4	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	8
	Informazione	Segnaletica e formazione degli operatori adeguata	1	Danni di lieve entità	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Gestione Appalti	Danni derivanti da una cattiva gestione delle interferenze con ditte appaltatrici	3	Danni di varia entità	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di ditte appaltatrici per effettuare determinate mansioni	2	18
	Cantieri		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1		1	NA
Attivi	Organizzazione del lavoro									12

Processi usuranti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di varia entità per i lavoratori ele attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Lavoro notturno	Probabilità di operare su turni notturni in caso di interventi di manutenzione a seguito di eventi incidentali	2	Disturbi psicologici e del sonno	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	4
Lavoratrici madri	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Lavoro minorile	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Invecchiamento della forza lavoro	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Differenza di genere	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Provenienza da altri paesi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Lavoro isolato	Possibilità di lavorare in solitudine durante le normali attività di conduzione	3	Danni di varia entità	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di un lavoratore fisso durante la giornata	1	3
Lavoratori disabili	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Interazione con il pubblico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Rischio rapina/aggressioni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Software	Malfunzionamento software per il monitoraggio e la regolazione del sistema di sicurezza	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Utilizzo di software PLC per la misurazione e la regolazione	2	12
Gestione della manutenzione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Stress-lavoro correlato e fattori psicologici	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Movimentazione Manuale dei Carichi	Movimentazione di carichi durante le attività di manutenzione	2	Danni all'apparato muscolo-scheletrico	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	4
Movimenti, posture e sforzi ripetuti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Cadute dall'alto									18
Lavori in quota		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	NA

	Caduta	Presenza di elementi che possono provocare cadute	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	9
	Cadute di materiali dall'alto	Caduta di pannelli e/o altri componenti dalle strutture di sostegno	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Danneggiamento dovuto al tempo a fenomeni metereologici avversi dei pannelli	2	18
	Formazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Sorveglianza Sanitaria	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Idoneità particolari	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Alcool/droga	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Macchine, Utensili, Attrezzature e Impianti	Uso scale	Utilizzo di scale per attività di manutenzione	3	Danni di varia entità per i lavoratori	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	9
	Macchine e utensili portatili	Possibilità di utilizzare macchine e utensili portatili per operazioni di manutenzione	3	Danni di lieve entità	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	6
	Urti, colpi, schiacciamenti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Punture, tagli, abrasioni	Presenza di elementi acuminati che possono provocare lesioni durante operazioni di manutenzione	3	Danni di lieve entità	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	6
	Proiezione di materiali									1
	Proiezione di materiali o piccole parti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Investimento da liquidi o vapori surriscaldati		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	NA
	utilizzo di apparecchiature in pressione/PED		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	NA
	Contatto con temperature estreme	La superficie dei pannelli può raggiungere temperature elevate	4	Ustioni di vario grado	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Surriscaldamento pannelli	2	24
	Movimentazione Meccanizzata Carichi		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	NA
Videoterminali	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1	

	Autoveicoli ed Investimento									18
	Utilizzo di automezzi, incidente, incidente in itinere	Presenza di mezzi in movimento	2	Danni di varia entità per i lavoratori	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Passaggio di mezzi per la sorveglianza o la manutenzione dell'impianto	2	12
	Investimento da parte di mezzi	Presenza di mezzi in movimento	3	Danni di varia entità per i lavoratori	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Passaggio di mezzi per la sorveglianza o la manutenzione dell'impianto	2	18
Agenti Fisici, Chimici e Biologici	Rumore	I macchinari rispettano i limiti previsti dalla legge	1	Disturbo o fastidio per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Vibrazioni									2
	Vibrazioni Mano-Braccio	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Vibrazioni Corpo-Intero	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori		N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	2
	Radiazioni Non Ionizzanti, CEM	Presenza CEM dovuta al funzionamento del sistema	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di apparecchiature elettriche	2	12
	Radiazioni Ottiche									1
	ROA	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	RON	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Radiazioni Ionizzanti		3		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	NA
	Rischio Chimico									18
	Esposizione ad agenti chimici (salute)	Presenza di agenti chimici tossici che possono diventare pericolosi in caso di incendio	3	Intossicazione	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di agenti chimici tossici all'interno dei pannelli (boro, tellurio di cadmio, arseniuro di gallio e fosforo)	2	18
Esposizione ad agenti chimici (sicurezza)	Combustibili per l'alimentazione dei mezzi di trasporto	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	4	

Rischio cancerogeni/mutageni										1
Esposizione a Agenti Cancerogeni e/o Mutageni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1	1
Potenziale Esposizione al Fumo di Sigaretta	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1	1
Lavori in Ipo/Iperbarico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1	1
Amianto	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1	1
Sostanze Aerodisperse										1
Potenziale esposizione a Fibre Artificiali Vetrose e/o Minerali	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1	1
Polveri, Fumi, Vapori, Nebbie, Gas	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1	1
Agenti Biologici										4
Esposizione diretta ad agente biologico		N A		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO			NA
Esposizione indiretta ad agente biologico	Esposizione a microrganismi o virus	2	Infezioni virali o batteriche	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1	4
Esplosione		N A		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	Formazione atmosfere esplosive vasca conferimento liquidi	1	1	NA

OGGETTO DELLA VALUTAZIONE :Unità operativa 2: gruppo di conversione										
		PROBABILITA'	P	ENTITA' DEL DANNO	E	FREQUENZA DI CONTATTO	FC	OPERAZIONE CRITICA	OC	R
	Ergonomia	Presenza di postazioni di lavoro che possono portare ad assumere una scorretta postura	3	Danni all'apparato muscolo-scheletrico	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	6
	Strutturali									9
	Caratteristiche della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1

Stabilità degli arredi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Condizioni della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Vie di circolazione e passaggi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	2
Vie e uscite di emergenza	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Uscite e porte	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Locali di riposo e refezione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Servizi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Locali seminterrati		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1		1	NA
Locali sotterranei		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1		1	NA
Barriere architettoniche	Potrebbero essere difficoltà di accesso nel caso di lavoratori con problemi di disabilità motoria	3	Danni di varia entità	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	9
Strutturali Specifici									NA
Spazi confinati		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1			NA
Vasche e canalizzazioni		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1			NA
Microclima									6
Microclima moderato	Non sono state riscontrate particolari criticità	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	3
Microclima severo	Non sono state riscontrate particolari criticità	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	3
Macroclima	Esposizioni a condizioni metereologiche avverse durante le attività	3	Danni all'apparato respiratorio Colpi di calore/insolazione	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	Attività esterna	1	6
Illuminazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni all'apparato respiratorio	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1

				Colpi di calore/insolazione						
	Elettrico									32
	Impianto elettrico, di terra e di protezione dalle scariche atmosferiche	Guasti nell'impianto elettrico	4	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di apparecchiature elettriche	2	32
	Utilizzo apparecchiature	Uso scorretto delle attrezzature elettroniche e mancata manutenzione di esse	3	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	N=500, tm=24 ore/anno	1	Utilizzo di apparecchiature elettriche	2	24
	Incendio	Possibilità che si verifichi un incendio durante le operazioni	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	4	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di sostanze e apparecchiature che possono innescare un incendio	2	24
	Emergenza, Primo Soccorso	Situazioni di emergenza dovute a un malore di un lavoratore o a un malfunzionamento della macchina	2	Danni di varia entità	4	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	8
	Informazione	Segnaletica e formazione degli operatori adeguata	1	Danni di lieve entità	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Gestione Appalti	Danni derivanti da una cattiva gestione delle interferenze con ditte appaltatrici	3	Danni di varia entità	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di ditte appaltatrici per effettuare determinate mansioni	2	18
	Cantieri		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1		1	NA
Attività	Organizzazione del lavoro									12
	Processi usuranti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Lavoro notturno	Probabilità di operare su turni notturni in caso di interventi di manutenzione a seguito di eventi incidentali	2	Disturbi psicologici e del sonno	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	4
	Lavoratrici madri	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1

Lavoro minorile	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Invecchiamento della forza lavoro	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Differenza di genere	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Provenienza da altri paesi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Lavoro isolato	Possibilità di lavorare in solitudine durante le normali attività di conduzione	3	Danni di varia entità	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di un lavoratore fisso durante la giornata	1	3
Lavoratori disabili	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Interazione con il pubblico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Rischio rapina/aggressioni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Software	Malfunzionamento software per il monitoraggio e la regolazione del sistema di sicurezza	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Utilizzo di software PLC per la misurazione e la regolazione	2	12
Gestione della manutenzione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Stress-lavoro correlato e fattori psicologici	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Movimentazione Manuale dei Carichi	Movimentazione di carichi durante le attività di manutenzione	2	Danni all'apparato muscolo-scheletrico	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	4
Movimenti, posture e sforzi ripetuti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Cadute dall'alto									9
Lavori in quota		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	NA
Caduta	Presenza di elementi che possono provocare cadute	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	9
Cadute di materiali dall'alto	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	Danneggiamento dovuto al tempo a fenomeni meteorologici	2	2

							avversi dei pannelli			
	Formazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Sorveglianza Sanitaria	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Idoneità particolari	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Alcool/droga	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Macchine, Utensili, Attrezzature e Impianti	Uso scale	Utilizzo di scale per attività di manutenzione	3	Danni di varia entità per i lavoratori	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	9
	Macchine e utensili portatili	Possibilità di utilizzare macchine e utensili portatili per operazioni di manutenzione	3	Danni di lieve entità	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	6
	Urti, colpi, schiacciamenti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Punture, tagli, abrasioni	Presenza di elementi acuminati che possono provocare lesioni durante operazioni di manutenzione	3	Danni di lieve entità	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	6
	Proiezione di materiali									1
	Proiezione di materiali o piccole parti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Investimento da liquidi o vapori surriscaldati		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	NA
	utilizzo di apparecchiature in pressione/PED		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	NA
	Contatto con temperature estreme	La superficie degli inverter può diventare molto calda	4	Ustioni di vario grado	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Surriscaldamento inverter	2	24
	Movimentazione Meccanizzata Carichi		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	NA
	Videoterminali		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	NA
	Autoveicoli ed Investimento									NA
	Utilizzo di automezzi, incidente, incidente in itinere		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	Passaggio di mezzi per la sorveglianza o la manutenzione dell'impianto	2	NA

	Investimento da parte di mezzi		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1	Passaggio di mezzi per la sorveglianza o la manutenzione dell'impianto	2	NA
Agenti Fisici, Chimici e Biologici	Rumore	I macchinari rispettano i limiti rivisti dalla legge	1	Disturbo o fastidio per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Vibrazioni									1
	Vibrazioni Mano-Braccio	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Vibrazioni Corpo-Intero	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Radiazioni Non Ionizzanti, CEM	Presenza CEM dovuta al funzionamento del sistema	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di apparecchiature elettriche	2	12
	Radiazioni Ottiche									1
	ROA	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	RON	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Radiazioni Ionizzanti		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1		1	NA
	Rischio Chimico									1
	Esposizione ad agenti chimici (salute)	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Esposizione ad agenti chimici (sicurezza)	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Rischio cancerogeni/mutageni									1
	Esposizione a Agenti Cancerogeni e/o Mutageni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Potenziale Esposizione al Fumo di Sigaretta	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1	

Lavori in lpo/lperbarico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Amianto	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Sostanze Aerodisperse									1
Potenziale esposizione a Fibre Artificiali Vetrose e/o Minerali	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Polveri, Fumi, Vapori, Nebbie, Gas	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Agenti Biologici									4
Esposizione diretta ad agente biologico		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1			NA
Esposizione indiretta ad agente biologico	Esposizione a microrganismi o virus	2	Infezioni virali o batteriche	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	4
Esplosione		NA		NA	N=500, tm=24 ore/anno	1		1	NA

OGGETTO DELLA VALUTAZIONE Unità operativa 3: sistema di trasporto, controllo e monitoraggio										
		PROBABILITA'	P	ENTITA' DEL DANNO	E	FREQUENZA DI CONTATTO	F C	OPERAZIONE CRITICA	O C	R
Ergonomia	Presenza di postazioni di lavoro che possono portare ad assumere una scorretta postura		3	Danni all'apparato muscolo-scheletrico	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	6
Strutturali										9
Caratteristiche della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Stabilità degli arredi	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Condizioni della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1

Vie di circolazione e passaggi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	2
Vie e uscite di emergenza	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Uscite e porte	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Locali di riposo e refezione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Servizi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Locali seminterrati		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1		1	N A
Locali sotterranei		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1		1	N A
Barriere architettoniche	Potrebbero essere difficoltà di accesso nel caso di lavoratori con problemi di disabilità motoria	3	Danni di varia entità	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	9
Strutturali Specifici									N A
Spazi confinati		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1			N A
Vasche e canalizzazioni		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1			N A
Microclima									6
Microclima moderato	Non sono state riscontrate particolari criticità	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	3
Microclima severo	Potrebbero essere raggiunte delle temperature elevate nella sala quadri	3	Danni apparato respiratorio	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	6
Macroclima	Esposizioni a condizioni metereologiche avverse durante le attività	3	Danni all'apparato respiratorio Colpi di calore/insolazione	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	Attività esterna	1	6
Illuminazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni all'apparato respiratorio Colpi di calore/insolazione	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Elettrico									3 2

	Impianto elettrico, di terra e di protezione dalle scariche atmosferiche	Guasti nell'impianto elettrico	4	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di apparecchiature elettriche	2	3 2
	Utilizzo apparecchiature	Uso scorretto delle attrezzature elettroniche e mancata manutenzione di esse	3	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	N=500, tm=24 ore/anno	1	Utilizzo di apparecchiature elettriche	2	2 4
	Incendio	Possibilità che si verifichi un incendio durante le operazioni	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	4	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di sostanze e apparecchiature che possono innescare un incendio	2	2 4
	Emergenza, Primo Soccorso	Situazioni di emergenza dovute a un malore di un lavoratore o a un malfunzionamento della macchina	2	Danni di varia entità	4	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	8
	Informazione	Segnaletica e formazione degli operatori adeguata	1	Danni di lieve entità	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Gestione Appalti	Danni derivanti da una cattiva gestione delle interferenze con ditte appaltatrici	3	Danni di varia entità	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di ditte appaltatrici per effettuare determinate mansioni	2	1 8
	Cantieri		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1		1	N A
Attività	Organizzazione del lavoro									1 2
	Processi usuranti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Lavoro notturno	Probabilità di operare su turni notturni in caso di interventi di manutenzione a seguito di eventi incidentali	2	Disturbi psicologici e del sonno	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	4
	Lavoratrici madri	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Lavoro minorile	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Invecchiamento della forza lavoro	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Differenza di genere	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1

Provenienza da altri paesi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Lavoro isolato	Possibilità di lavorare in solitudine durante le normali attività di conduzione	3	Danni di varia entità	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di un lavoratore fisso durante la giornata	1	3
Lavoratori disabili	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Interazione con il pubblico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Rischio rapina/aggressioni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Software	Malfunzionamento software per il monitoraggio e la regolazione del sistema di sicurezza	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Utilizzo di software PLC per la misurazione e la regolazione	2	1 2
Gestione della manutenzione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Stress-lavoro correlato e fattori psicologici	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Movimentazione Manuale dei Carichi	Movimentazione di carichi durante le attività di manutenzione	2	Danni all'apparato muscolo-scheletrico	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	4
Movimenti, posture e sforzi ripetuti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Cadute dall'alto									6
Lavori in quota		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	N A
Caduta	Presenza di elementi che possono provocare cadute/inciampo	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	6
Cadute di materiali dall'alto	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	Danneggiamento dovuto al tempo a fenomeni meteorologici avversi dei pannelli	2	2
Formazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1

	Sorveglianza Sanitaria	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Idoneità particolari	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Alcool/droga	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Macchine, Utensili, Attrezzature e Impianti	Uso scale	Utilizzo di scale per attività di manutenzione	3	Danni di varia entità per i lavoratori	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	9
	Macchine e utensili portatili	Possibilità di utilizzare macchine e utensili portatili per operazioni di manutenzione	3	Danni di lieve entità	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	6
	Urti, colpi, schiacciamenti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Punture, tagli, abrasioni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Proiezione di materiali									1
	Proiezione di materiali o piccole parti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Investimento da liquidi o vapori surriscaldati		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	N A
	utilizzo di apparecchiature in pressione/PED		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	N A
	Contatto con temperature estreme	La superficie dei quadri può diventare molto calda	2	Ustioni di vario grado	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	Surriscaldamento superficie dei quadri	2	1 2
	Movimentazione Meccanizzata Carichi		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	N A
	Videoterminali		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	N A
	Autoveicoli ed Investimento									N A
Utilizzo di automezzi, incidente, incidente in itinere		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1		2	N A	

	Investimento da parte di mezzi		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1		2	N A
Agenti Fisici, Chimici e Biologici	Rumore	I macchinari rispettano i limiti previsti dalla legge	1	Disturbo o fastidio per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Vibrazioni									1
	Vibrazioni Mano-Braccio	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Vibrazioni Corpo-Intero	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Radiazioni Non Ionizzanti, CEM	Presenza CEM dovuta al funzionamento del sistema	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	Presenza di apparecchiature elettriche	2	1 2
	Radiazioni Ottiche									1
	ROA	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	RON	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Radiazioni Ionizzanti		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1		1	N A
	Rischio Chimico									1
	Esposizione ad agenti chimici (salute)	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Esposizione ad agenti chimici (sicurezza)	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Rischio cancerogeni/mutageni									1
	Esposizione a Agenti Cancerogeni e/o Mutageni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Potenziale Esposizione al Fumo di Sigaretta	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
	Lavori in Ipo/Iperbarico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Amianto	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1	
Sostanze Aerodisperse									6	

Potenziale esposizione a Fibre Artificiali Vetrose e/o Minerali	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1
Polveri, Fumi, Vapori, Nebbie, Gas	Formazioni di vapori all'interno dei box	2	Danni di varia entità	3	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	6
Agenti Biologici									4
Esposizione diretta ad agente biologico		N A		N A	N=500, tm=24 ore/anno	1			N A
Esposizione indiretta ad agente biologico	Esposizione a microrganismi o virus	2	Infezioni virali o batteriche	2	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	4
Esplosione	Formazioni di miscele esplosive all'interno del box	2	Danni di varia entità	5	N=500, tm=24 ore/anno	1	NO	1	1 0

11 Appendice B

Unità operativa 1: Ricezione e caricamento biomasse solide, stoccaggio temporaneo cofermenti liquidi										
		PROBABILITA'	P	ENTITA' DEL DANNO	E	FREQUENZA DI CONTATTO	F C	OPERAZIONE CRITICA	O C	R
Ergonomia	Presenza di postazioni di lavoro che possono portare ad assumere una scorretta postura		3	Danni all'apparato muscolo-scheletrico	1	640	4	NO	1	1 2
Strutturali										2 4
Caratteristiche della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Stabilità degli arredi	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Condizioni della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Vie di circolazione e passaggi	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Vie e uscite di emergenza	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Uscite e porte	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4

Locali di riposo e refezione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Servizi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Locali seminterrati		N A		N A		4			N A
Locali sotterranei		N A		N A		4			N A
Barriere architettoniche	Alcune zone non sono accessibili a lavoratori con problemi di disabilità motoria	2	Danni di varia entità	3	640	4	NO	1	2 4
Strutturali Specifici									7 2
Spazi confinati	Presenza di un volume che presenta un'atmosfera con caratteristiche diverse dalla norma	3	Danni all'apparato respiratorio Intossicazione Infezioni	3	640	4	Operazioni nei pressi di: Trincee di stoccaggio Prevasca conferimenti liquidi	2	7 2
Vasche e canalizzazioni	Possibilità di effettuare interventi di manutenzione	2	Danni all'apparato respiratorio Intossicazione Infezioni	3	640	4	Prevasca conferimento liquidi Canalizzazioni per il trasporto liquami	2	4 8
Microclima									3 2
Microclima moderato	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Microclima severo	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Macroclima	Esposizioni a condizioni metereologiche avverse durante le attività	2	Danni all'apparato respiratorio Colpi di calore/insolazione	2	640	4	Attività esterna	2	3 2
Illuminazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavorator	1	640	4	NO	1	4
Elettrico									9 6

	Impianto elettrico, di terra e di protezione dalle scariche atmosferiche	Guasti nell'impianto elettrico	3	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	640	4	Presenza di apparecchiature elettriche	2	9 6
	Utilizzo apparecchiature	Uso scorretto delle attrezzature elettroniche e mancata manutenzione di esse	3	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	640	4	Utilizzo di apparecchiature elettriche	2	9 6
	Incendio	Cortocircuito, presenza di materiale infiammabile	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	4	640	4	Presenza di sostanze e apparecchiature che possono innescare un incendio	2	9 6
	Emergenza, Primo Soccorso	Situazioni di emergenza dovute a un malore di un lavoratore o a un malfunzionamento della macchina	2	Danni di varia entità	4	640	4	NO	1	3 2
	Informazione	Segnaletica e formazione degli operatori adeguata	1	Danni di lieve entità	1	640	4	NO	2	8
	Gestione Appalti	Danni derivanti da una cattiva gestione delle interferenze con ditte appaltatrici	2	Danni di varia entità	3	640	4	Presenza di ditte appaltatrici per effettuare determinate mansioni	2	4 8
	Cantieri		N A		N A		4			N A
Attività	Organizzazione del lavoro									7 2
	Processi usuranti	Presenza di lavori che possono essere considerati usuranti	2	Danni di varia entità	3	640	4	NO	1	2 4
	Lavoro notturno	Probabilità di operare su turni notturni in caso di interventi di manutenzione a seguito di eventi incidentali	2	Disturbi psicologici e del sonno	2	640	4	NO	1	1 6
	Lavoratrici madri	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Lavoro minorile	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Invecchiamento della forza lavoro	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4

Differenza di genere	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Provenienza da altri paesi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Lavoro isolato	Possibilità di lavorare in solitudine durante le normali attività di conduzione	3	Danni di varia entità	3	0,36	4	Presenza di un lavoratore fisso durante la giornata	2	7 2
Lavoratori disabili	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Interazione con il pubblico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Rischio rapina/aggressioni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Software	Malfunzionamento software per il monitoraggio e la regolazione del sistema di sicurezza	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	Utilizzo di software PLC per la misurazione e la regolazione	2	4 8
Gestione della manutenzione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Stress-lavoro correlato e fattori psicologici	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Movimentazione e Manuale dei Carichi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Movimenti, posture e sforzi ripetuti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Cadute dall'alto									2 4
Lavori in quota	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Caduta	Presenza di elementi che possono provocare cadute	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	NO	1	2 4

	Cadute di materiali dall'alto	Presenza di elementi che possono provocare cadute di materiali dall'alto	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	NO	1	2 4
	Formazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Sorveglianza Sanitaria	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Idoneità particolari	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Alcool/droga	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Macchine, Utensili, Attrezzature e Impianti	Uso scale	Utilizzo di scale per attività di manutenzione	2	Danni di varia entità per i lavoratori	4	640	4	NO	1	3 2
	Macchine e utensili portatili	Possibilità di utilizzare macchine e utensili portatili per operazioni di manutenzione	3	Danni di lieve entità	2	640	4	NO	1	2 4
	Urti, colpi, schiacciamenti	Rischio di contatto tra parti della macchina in movimento e parti del corpo dell'operatore	2	Danni di varia entità	4	640	4	NO	1	3 2
	Punture, tagli, abrasioni	Presenza di elementi acuminati che possono provocare lesioni durante operazioni di manutenzione	3	Danni di lieve entità	2	640	4	NO	1	2 4
	Proiezione di materiali									3 2
	Proiezione di materiali o piccole parti	Possibilità che si verifichi durante la fase di trasporto della biomassa solida	2	Danni di lieve entità	2	640	4	coclea raschiatore	2	3 2
	Investimento da liquidi o vapori surriscaldati		N A		N A		4			N A
	utilizzo di apparecchiature in pressione/PED		N A		N A	640	4		2	N A
	Contatto con temperature estreme	Presenza di superfici calde	2	Danni di varia entità per i lavoratori	3	640	4	Sistema di riscaldamento del fermentatore	2	4 8
	Movimentazione e Meccanizzata Carichi	Trasporto biomassa dalle trincee di stoccaggio alla sezione di alimentazione	3	Danni di varia entità per i lavoratori	3	640	4	NO	1	3 6

	Videoterminali		N A		N A		4		N A	
	Autoveicoli ed Investimento								7 2	
	Utilizzo di automezzi, incidente, incidente in itinere	Presenza di mezzi in movimento	3	Danni di varia entità per i lavoratori	3	640	4	Conferimento della materia prima dall'esterno	2	7 2
	Investimento da parte di mezzi	Presenza di mezzi in movimento	3	Danni di varia entità per i lavoratori	3	640	4	Conferimento della materia prima dall'esterno	2	7 2
Agenti Fisici, Chimici e Biologici	Rumore	I macchinari rispettano i limiti previsti dalla legge	1	Disturbo o fastidio per i lavoratori	1	640	4	Presenza di apparecchiature che producono rumore durante il funzionamento	2	8
	Vibrazioni									4
	Vibrazioni Mano-Braccio	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Vibrazioni Corpo-Intero	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Radiazioni Non Ionizzanti, CEM	Presenza CEM dovuta al funzionamento del sistema	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	2	86,4	4	Presenza di apparecchiature elettriche	2	4 8
	Radiazioni Ottiche									4
	ROA	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	RON	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Radiazioni Ionizzanti		N A		N A		4			N A
	Rischio Chimico									2 4
	Esposizione ad agenti chimici (salute)		N A		N A	640	4		2	N A
	Esposizione ad agenti chimici (sicurezza)	Combustibili per l'alimentazione dei mezzi di trasporto	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	2	640	4	NO	1	2 4
	Rischio cancerogeni/mutageni									4

Esposizione a Agenti Cancerogeni e/o Mutageni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Potenziale Esposizione al Fumo di Sigaretta	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Lavori in Ipo/Iperbarico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Amianto	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Sostanze Aerodisperse									4
Potenziale esposizione a Fibre Artificiali Vetrose e/o Minerali	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Polveri, Fumi, Vapori, Nebbie, Gas	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Agenti Biologici									7 2
Esposizione diretta ad agente biologico	Esposizione a materiale biologico che potrebbe essere contaminato	3	Infezioni virali o batteriche	3	640	4	Materiale biologico da trattare	2	7 2
Esposizione indiretta ad agente biologico	Esposizione a materiale biologico che potrebbe essere contaminato	3	Infezioni virali o batteriche	3	640	4	Materiale biologico da trattare	2	7 2
Esplosione	Possibilità di formazione di atmosfere esplosive	1	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	5	640	4	Formazione atmosfere esplosive vasca conferimento liquidi	2	4 0

OGGETTO DELLA VALUTAZIONE Unità operativa 2: Digestione e stoccaggio del residuo di fermentazione										
		PROBABILITA'	P	ENTITA' DEL DANNO	E	FREQUENZA DI CONTATTO	F C	OPERAZIONE CRITICA	O C	R
Ergonomia	Presenza di postazioni di lavoro che possono portare ad assumere una scorretta postura		2	Danni all'apparato muscolo-scheletrico	1	640	4	NO	1	8
Strutturali										48
Caratteristiche della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Stabilità degli arredi	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Condizioni della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Vie di circolazione e passaggi	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Vie e uscite di emergenza	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Uscite e porte	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Locali di riposo e refezione	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Servizi	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Locali seminterrati			N A		N A		4			N A
Locali sotterranei			N A		N A		4			N A
Barriere architettoniche	Alcune zone non sono accessibili a lavoratori con problemi di disabilità motoria		4	Danni di varia entità	3	640	4	NO	1	48
Strutturali Specifici										72

Spazi confinati	Presenza di un volume che presenta un'atmosfera con caratteristiche diverse dalla norma	3	Danni all'apparato respiratorio Intossicazione Infezioni	3	640	4	Attività di manutenzione o ispezioni nei pressi di: Fermentatore Post-fermentatore	2	7 2
Vasche e canalizzazioni	Possibilità di effettuare interventi di manutenzione	3	Danni all'apparato respiratorio Intossicazione Infezioni	3	640	4	Attività di manutenzione delle condotte di aria o acqua o del sistema di trasporto del substrato	2	7 2
Microclima									3 2
Microclima moderato	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Microclima severo	Esposizione ad alte temperature nel caso di interventi di manutenzione all'interno delle vasche di fermentazione	2	Danni al sistema respiratorio	2	640	4	Attività all'interno di vasche di fermentazione	2	3 2
Macroclima	Esposizioni a condizioni metereologiche avverse durante le attività esterne	2	Danni all'apparato respiratorio Colpi di calore/insolazione	2	640	4	Attività esterna	2	3 2
Illuminazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Elettrico									9 6
Impianto elettrico, di terra e di protezione dalle scariche atmosferiche	Guasti nell'impianto elettrico	3	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	640	4	Presenza di apparecchiature elettriche	2	9 6
Utilizzo apparecchiature	Uso scorretto delle attrezzature elettroniche e mancata manutenzione di esse	3	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	640	4	Utilizzo di apparecchiature elettriche	2	9 6
Incendio	Cortocircuito, presenza di materiale infiammabile	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	4	640	4	Presenza di sostanze e apparecchiature che possono innescare un incendio	2	9 6
Emergenza, Primo Soccorso	Situazioni di emergenza dovute a un malore di un lavoratore o a un malfunzionamento della macchina	2	Danni di varia entità	4	640	4	NO	1	3 2
Informazione	Segnaletica e formazione degli operatori adeguata	1	Danni di lieve entità	1	640	4	NO	2	8

	Gestione Appalti	Danni derivanti da una cattiva gestione delle interferenze con ditte appaltatrici	2	Danni di varia entità	3	640	4	Presenza di ditte appaltatrici per effettuare determinate mansioni	2	4 8
	Cantieri		N A		N A		4			N A
Attività	Organizzazione del lavoro									7 2
	Processi usuranti	Presenza di lavori che possono essere considerati usuranti	2	Danni di varia entità	3	640	4	NO	1	2 4
	Lavoro notturno	Probabilità di operare su turni notturni in caso di interventi di manutenzione a seguito di eventi incidentali	2	Disturbi psicologici e del sonno	2	640	4	NO	1	1 6
	Lavoratrici madri	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Lavoro minorile	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Invecchiamento della forza lavoro	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Differenza di genere	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Provenienza da altri paesi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Lavoro isolato	Non sono state riscontrate particolari criticità	3	Danni di varia entità	3	0,36	4	Presenza di un lavoratore fisso durante la giornata	2	7 2
	Lavoratori disabili	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Interazione con il pubblico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Rischio rapina/aggressioni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Software	Malfunzionamento software per il monitoraggio e la regolazione del sistema di sicurezza	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	Utilizzo di software PLC per la misurazione e la regolazione	2	4 8

	Gestione della manutenzione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Stress-lavoro correlato e fattori psicologici	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Movimentazione Manuale dei Carichi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Movimenti, posture e sforzi ripetuti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Cadute dall'alto	Non sono state riscontrate particolari criticità								2 4
	Lavori in quota	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Caduta	Presenza di elementi che possono provocare cadute	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	NO	1	2 4
	Cadute di materiali dall'alto	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Formazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Sorveglianza Sanitaria	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Idoneità particolari	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Alcool/droga	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Macchine,	Uso scale	Utilizzo di scale per attività di manutenzione e di ispezione	3	Danni di varia entità per i lavoratori	4	640	4	NO	1	4 8
	Macchine e utensili portatili	Possibilità di utilizzare macchine e utensili portatili per operazioni di manutenzione	3	Danni di lieve entità	2	640	4	NO	1	2 4
	Urti, colpi, schiacciamenti		N A		N A		4			N A

	Punture, tagli, abrasioni	Presenza di elementi acuminati che possono provocare lesioni durante operazioni di manutenzione	3	Danni di lieve entità	2	640	4	NO	1	2 4
	Proiezione di materiali									4 8
	Proiezione di materiali o piccole parti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Investimento da liquidi o vapori surriscaldati	Presenza di apparecchiature che contengono liquidi e/o vapori surriscaldati	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	Sistema di riscaldamento del fermentatore Canalizzazioni biogas	2	4 8
	utilizzo di apparecchiature in pressione/PED	Apparecchiature in pressione	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	2	640	4	Digestori	2	3 2
	Contatto con temperature estreme	Presenza di superfici calde	2	Danni di varia entità per i lavoratori	3	640	4	Sistema di riscaldamento del fermentatore	2	4 8
	Movimentazione Meccanizzata Carichi		N A		N A		4			N A
	Videoterminali	Sistema di monitoraggio remoto	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	2	0,36	4	Operazioni di controllo	2	4 8
	Autoveicoli ed Investimento									N A
	Utilizzo di automezzi, incidente, incidente in itinere		N A		N A		4			N A
	Investimento da parte di mezzi		N A		N A		4			N A
Agenti Fisici, Chimici e	Rumore	I macchinari rispettano i limiti previsti dalla legge	1	Disturbo o fastidio per i lavoratori	1	640	4	Presenza di apparecchiature che producono rumore durante il funzionamento	2	8
	Vibrazioni									4
	Vibrazioni Mano-Braccio	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4

Vibrazioni Corpo-Intero	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Radiazioni Non Ionizzanti, CEM	Presenza CEM dovuta al funzionamento del sistema	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	2	86,4	4	Presenza di apparecchiature elettriche	2	4 8
Radiazioni Ottiche									4
ROA	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
RON	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Radiazioni Ionizzanti		N A		N A		4			N A
Rischio Chimico									7 2
Esposizione ad agenti chimici (salute)	Esposizioni ad agenti chimici presenti all'interno dei fermentatori (acidi e basi per regolazione pH, o sottoprodotti di reazione)	3	Danni di varia entità per i lavoratori	3	640	4	Operazioni di regolazione dei parametri	2	7 2
Esposizione ad agenti chimici (sicurezza)	presenza di agenti chimici combustibili	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	Produzione Biogas	2	7 2
Rischio cancerogeni/mutageni									4
Esposizione a Agenti Cancerogeni e/o Mutageni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Potenziale Esposizione al Fumo di Sigaretta	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Lavori in Ipo/Iperbarico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Amianto	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4

Sostanze Aerodisperse									7 2
Potenziale esposizione a Fibre Artificiali Vetrose e/o Minerali	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Polveri, Fumi, Vapori, Nebbie, Gas	Presenza di vapori e gas all'interno dei digestori	3	Danni di varia entità	3	640	4	Vapori prodotti dal processo di DA	2	7 2
Agenti Biologici									7 2
Esposizione diretta ad agente biologico	Esposizione a materiale biologico che potrebbe essere contaminato	3	Infezioni virali o batteriche	3	640	4	Materiale biologico trattato	2	7 2
Esposizione indiretta ad agente biologico	Esposizione a materiale biologico che potrebbe essere contaminato	3	Infezioni virali o batteriche	3	640	4	Materiale biologico trattato	2	7 2
Esplosione	Possibilità di formazione di atmosfere esplosive	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	5	640	4	Formazione di atmosfere esplosive formate durante il processo di DA	2	8 0

OGGETTO DELLA VALUTAZIONE. Unità operativa 3: Sala di pompaggio										
		PROBABILITA'	P	ENTITA' DEL DANNO	E	FREQUENZA DI CONTATTO	F C	OPERAZIONE CRITICA	O C	R
Ergonomia	Presenza di postazioni di lavoro che possono portare ad assumere una scorretta postura		2	Danni all'apparato muscolo-scheletrico	1	640	4	NO	1	8
Strutturali										16
Caratteristiche della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Stabilità degli arredi	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Condizioni della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4

Vie di circolazione e passaggi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Vie e uscite di emergenza	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Uscite e porte	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Locali di riposo e refezione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Servizi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Locali seminterrati		N A		N A		4			N A
Locali sotterranei		N A		N A		4			N A
Barriere architettoniche	Alcune zone non sono accessibili a lavoratori con problemi di disabilità motoria	2	Danni di lieve entità	2	640	4	NO	1	16
Strutturali Specifici									48
Spazi confinati		N A		N A		4			N A
Vasche e canalizzazioni	Possibilità di effettuare interventi di manutenzione	2	Danni all'apparato respiratorio Intossicazione Infezioni	3	640	4	Attività di manutenzione delle condotte di aria o acqua	2	48
Microclima									4
Microclima moderato	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Microclima severo	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Macroclima	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Illuminazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Elettrico									96

	Impianto elettrico, di terra e di protezione dalle scariche atmosferiche	Guasti nell'impianto elettrico	3	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	640	4	Presenza di apparecchiature elettriche	2	96
	Utilizzo apparecchiature	Uso scorretto delle attrezzature elettroniche e mancata manutenzione di esse	3	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	640	4	Utilizzo di apparecchiature elettriche	2	96
	Incendio	Cortocircuito, presenza di materiale infiammabile	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	4	640	4	Presenza di sostanze e apparecchiature che possono innescare un incendio	2	96
	Emergenza, Primo Soccorso	Situazioni di emergenza dovute a un malore di un lavoratore o a un malfunzionamento della macchina	2	Danni di varia entità	4	640	4	NO	1	32
	Informazione	Segnaletica e formazione degli operatori adeguata	1	Danni di lieve entità	1	640	4	NO	2	8
	Gestione Appalti	Danni derivanti da una cattiva gestione delle interferenze con ditte appaltatrici	2	Danni di varia entità	3	640	4	Presenza di ditte appaltatrici per effettuare determinate mansioni	2	48
	Cantieri		N A		N A		4			N A
Attività	Organizzazione del lavoro									72
	Processi usuranti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Lavoro notturno	Probabilità di operare su turni notturni in caso di interventi di manutenzione a seguito di eventi incidentali	2	Disturbi psicologici e del sonno	2	640	4	NO	1	16
	Lavoratrici madri	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Lavoro minorile	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Invecchiamento della forza lavoro	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Differenza di genere	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4

Provenienza da altri paesi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Lavoro isolato	Possibilità di lavorare in solitudine durante le normali attività di conduzione	3	Danni di varia entità	3	0,36	4	Presenza di un lavoratore fisso durante la giornata	2	72
Lavoratori disabili	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Interazione con il pubblico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Rischio rapina/aggressioni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Software	Malfunzionamento software per il monitoraggio e la regolazione del sistema di sicurezza	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	Utilizzo di software PLC per la misurazione e la regolazione	2	48
Gestione della manutenzione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Stress-lavoro correlato e fattori psicologici	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Movimentazione Manuale dei Carichi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Movimenti, posture e sforzi ripetuti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Cadute dall'alto									8
Lavori in quota	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Caduta	Presenza di elementi che possono provocare cadute	2	Danni di lieve entità per i lavoratori e le attrezzature	1	640	4	NO	1	8
Cadute di materiali dall'alto	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Formazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Sorveglianza Sanitaria	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Idoneità particolari	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Alcool/droga	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4

Macchine, Utensili, Attrezzature e Impianti	Uso scale	Utilizzo di scale per attività di manutenzione e di ispezione	2	Danni di varia entità per i lavoratori	3	640	4	NO	1	24
	Macchine e utensili portatili	Possibilità di utilizzare macchine e utensili portatili per operazioni di manutenzione	2	Danni di lieve entità	2	640	4	NO	1	16
	Urti, colpi, schiacciamenti		N A		N A		4			N A
	Punture, tagli, abrasioni	Presenza di elementi acuminati che possono provocare lesioni durante operazioni di manutenzione	2	Danni di lieve entità	2	640	4	NO	1	16
	Proiezione di materiali									48
	Proiezione di materiali o piccole parti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Investimento da liquidi o vapori surriscaldati	Presenza di apparecchiature che contengono liquidi e/o vapori surriscaldati	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	Sistema di riscaldamento del fermentatore Canalizzazioni biogas	2	48
	utilizzo di apparecchiature in pressione/PED	Apparecchiature in pressione	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	Compressori aria	2	48
	Contatto con temperature estreme	Presenza di superfici calde	2	Danni di varia entità per i lavoratori	3	640	4	Sistema di riscaldamento del fermentatore	2	48
	Movimentazione Meccanizzata Carichi		N A		N A		4			N A
	Videoterminali	Sistema di monitoraggio remoto	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	2	0,36	4	Operazioni di controllo	2	48
	Autoveicoli ed Investimento									N A
	Utilizzo di automezzi, incidente, incidente in itinere		N A		N A		4			N A
	Investimento da parte di mezzi		N A		N A		4			N A
Agenti	Rumore	I macchinari rispettano i limiti previsti dalla legge	1	Disturbo o fastidio per i lavoratori	1	640	4	Presenza di apparecchiature che producono rumore durante il funzionamento	2	8

Vibrazioni										4
Vibrazioni Mano-Braccio	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4	4
Vibrazioni Corpo-Intero	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4	4
Radiazioni Non Ionizzanti, CEM	Presenza CEM dovuta al funzionamento del sistema	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	2	86,4	4	Presenza di apparecchiature elettriche	2	48	
Radiazioni Ottiche										4
ROA	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4	4
RON	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4	4
Radiazioni Ionizzanti		N A		N A		4				N A
Rischio Chimico										12
Esposizione ad agenti chimici (salute)	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4	4
Esposizione ad agenti chimici (sicurezza)	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	3	640	4	NO	1	12	
Rischio cancerogeni/mutageni										4
Esposizione a Agenti Cancerogeni e/o Mutageni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4	4
Potenziale Esposizione al Fumo di Sigaretta	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4	4
Lavori in lpo/lperbarico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4	4
Amianto	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4	4
Sostanze Aerodisperse										4

Potenziale esposizione a Fibre Artificiali Vetrose e/o Minerali	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Polveri, Fumi, Vapori, Nebbie, Gas	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Agenti Biologici									32
Esposizione diretta ad agente biologico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Esposizione indiretta ad agente biologico	Esposizione a microrganismi	2	Infezioni virali o batteriche	2	640	4	Materiale biologico trattato	2	32
Esplosione	Possibilità di formazione di atmosfere esplosive	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	5	640	4	NO	1	40

Unità operativa 4: Produzione combinata di energia elettrica e termica (Cogenerazione)										
		PROBABILITA'	P	ENTITA' DEL DANNO	E	FREQUENZA DI CONTATTO	F C	OPERAZIONE CRITICA	O C	R
Ergonomia	Presenza di postazioni di lavoro che possono portare ad assumere una scorretta postura		2	Danni all'apparato muscolo-scheletrico	1	640	4	NO	1	8
Strutturali										16
Caratteristiche della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Stabilità degli arredi	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Condizioni della struttura	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Vie di circolazione e passaggi	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Vie e uscite di emergenza	Non sono state riscontrate particolari criticità		1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4

Uscite e porte	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Locali di riposo e refezione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Servizi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori e per le attrezzature	1	640	4	NO	1	4
Locali seminterrati		N A		N A		4			N A
Locali sotterranei		N A		N A		4			N A
Barriere architettoniche	Alcune zone non sono accessibili a lavoratori con problemi di disabilità motoria	2	Danni di lieve entità	2	640	4	NO	1	1 6
Strutturali Specifici									4 8
Spazi confinati		N A		N A		4			N A
Vasche e canalizzazioni	Possibilità di effettuare interventi di manutenzione	2	Danni all'apparato respiratorio Intossicazione Infezioni	3	640	4	Attività di manutenzione delle condotte	2	4 8
Microclima									1 6
Microclima moderato	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Microclima severo	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Macroclima	Esposizioni a condizioni metereologiche avverse durante le attività esterne	2	Danni all'apparato respiratorio Colpi di calore/insolazione	2	640	4	NO	1	1 6
Illuminazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Elettrico									9 6

	Impianto elettrico, di terra e di protezione dalle scariche atmosferiche	Guasti nell'impianto elettrico	3	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	640	4	Presenza di apparecchiature elettriche	2	9 6
	Utilizzo apparecchiature	Uso scorretto delle attrezzature elettroniche e mancata manutenzione di esse	3	Fibrillazione Arresto cardiaco Danno di diversa gravità per i lavoratori e le apparecchiature	4	640	4	Utilizzo di apparecchiature elettriche	2	9 6
	Incendio	Cortocircuito, presenza di materiale infiammabile	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	4	640	4	Presenza di sostanze e apparecchiature che possono innescare un incendio	2	9 6
	Emergenza, Primo Soccorso	Situazioni di emergenza dovute a un malore di un lavoratore o a un malfunzionamento della macchina	2	Danni di varia entità	4	640	4	NO	1	3 2
	Informazione	Segnaletica e formazione degli operatori adeguata	1	Danni di lieve entità	1	640	4	NO	2	8
	Gestione Appalti	Danni derivanti da una cattiva gestione delle interferenze con ditte appaltatrici	2	Danni di varia entità	3	640	4	Presenza di ditte appaltatrici per effettuare determinate mansioni	2	4 8
	Cantieri		N A		N A		4			N A
Attività	Organizzazione del lavoro									7 2
	Processi usuranti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Lavoro notturno	Probabilità di operare su turni notturni in caso di interventi di manutenzione a seguito di eventi incidentali	2	Disturbi psicologici e del sonno	2	640	4	NO	1	1 6
	Lavoratrici madri	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Lavoro minorile	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Invecchiamento della forza lavoro	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4

Differenza di genere	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Provenienza da altri paesi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Lavoro isolato	Possibilità di lavorare in solitudine durante le normali attività di conduzione	3	Danni di varia entità	3	0,36	4	Presenza di un lavoratore fisso durante la giornata	2	7 2
Lavoratori disabili	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Interazione con il pubblico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Rischio rapina/aggressioni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Software	Malfunzionamento software per il monitoraggio e la regolazione del sistema di sicurezza	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	Utilizzo di software PLC per la misurazione e la regolazione	2	4 8
Gestione della manutenzione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Stress-lavoro correlato e fattori psicologici	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Movimentazione Manuale dei Carichi	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Movimenti, posture e sforzi ripetuti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Cadute dall'alto									8
Lavori in quota		N A		N A		4			N A
Caduta	Presenza di elementi che possono provocare cadute	2	Danni di lieve entità per i lavoratori e le attrezzature	1	640	4	NO	1	8

	Cadute di materiali dall'alto	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Formazione	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Sorveglianza Sanitaria	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Idoneità particolari	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Alcool/droga	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Macchine, Utensili, Attrezzature e Impianti	Uso scale	Utilizzo di scale per attività di manutenzione e di ispezione	2	Danni di varia entità per i lavoratori	3	640	4	NO	1	2 4
	Macchine e utensili portatili	Possibilità di utilizzare macchine e utensili portatili per operazioni di manutenzione	2	Danni di lieve entità	2	640	4	NO	1	1 6
	Urti, colpi, schiacciamenti		N A		N A		4			N A
	Punture, tagli, abrasioni	Presenza di elementi acuminati che possono provocare lesioni durante operazioni di manutenzione	2	Danni di lieve entità	2	640	4	NO	1	1 6
	Proiezione di materiali									4 8
	Proiezione di materiali o piccole parti	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Investimento da liquidi o vapori surriscaldati	Presenza di apparecchiature che contengono liquidi e/o vapori surriscaldati	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	Canalizzazione biogas Motore a combustione interna	2	4 8
	utilizzo di apparecchiature in pressione/PED	Apparecchiature in pressione	2	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	3	640	4	Canalizzazione biogas Motore a combustione interna	2	4 8
	Contatto con temperature estreme	Presenza di superfici calde o fredde	2	Danni di varia entità per i lavoratori	3	640	4	Canalizzazione biogas Motore a combustione interna Gruppo frigorifero	2	4 8
	Movimentazione Meccanizzata Carichi		N A		N A		4			N A

	Videoterminali	Sistema di monitoraggio remoto	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	2	0,36	4	Operazioni di controllo	2	48
	Autoveicoli ed Investimento			2						NA
	Utilizzo di automezzi, incidente, incidente in itinere		NA		NA		4			NA
	Investimento da parte di mezzi		NA		NA		4			NA
Agenti Fisici, Chimici e Biologici	Rumore	Esposizione a rumore che supera gli 80dB	3	Danni all'apparato uditivo Disturbi psicologici	3	640	4	Presenza di apparecchiature che producono rumore durante il funzionamento	2	72
	Vibrazioni									4
	Vibrazioni Mano-Braccio	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Vibrazioni Corpo-Intero	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Radiazioni Non Ionizzanti, CEM	Presenza CEM dovuta al funzionamento del sistema	3	Danni di lieve entità per i lavoratori	2	86,4	4	Presenza di apparecchiature elettriche	2	48
	Radiazioni Ottiche									4
	ROA	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	RON	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
	Radiazioni Ionizzanti		NA		NA		4			NA
	Rischio Chimico									72
	Esposizione ad agenti chimici (salute)	Presenza di agenti chimici (biogas, sostanze refrigeranti)	3	Danni di varia entità	3	640	4	Alimentazione del motore cogenerativo e del gruppo frigorifero	2	72

Esposizione ad agenti chimici (sicurezza)	Presenza di agenti combustibili	3	Danni di varia entità	3	640	4	Alimentazione del motore cogenerativo e del gruppo frigorifero	2	7 2
Rischio cancerogeni/mutageni									4
Esposizione a Agenti Cancerogeni e/o Mutageni	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Potenziale Esposizione al Fumo di Sigaretta	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Lavori in lpo/lperbarico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Amianto	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Sostanze Aerodisperse									4
Potenziale esposizione a Fibre Artificiali Vetrose e/o Minerali	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Polveri, Fumi, Vapori, Nebbie, Gas	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Agenti Biologici									3 2
Esposizione diretta ad agente biologico	Non sono state riscontrate particolari criticità	1	Danni di lieve entità per i lavoratori	1	640	4	NO	1	4
Esposizione indiretta ad agente biologico	Esposizione a microrganismi	2	Infezioni virali o batteriche	2	640	4	Materiale biologico trattato	2	3 2
Esplosione	Possibilità di formazione di atmosfere esplosive	3	Danni di varia entità per i lavoratori e le attrezzature	5	640	4	Motore cogenerativo	1	6 0

12 Appendice C

			EMISSIONI					CONSUMO RISORSE								RIFIUTI		SOMME PARZIALI	
			Inquinanti atmosferici	Gas serra	Campi elettromagnetici	Rumore	Agenti chimici, biologici e polveri	Suolo								Biomassa	Recupero riutilizzo		produzione rifiuti
								Edifici	Attrezzature per la conversione energetica	Canalizzazioni/ tubature interrate	Strade /ponti	Linea di trasmissione elettrica	Barriere recinzioni	Acqua	Fossili				
CATEGORIE		INDICATORI																	
ACQUA	ACQUE DI SUPERFICIE	qualità	0	0	NA	NA	1	NA	1	1	1	NA	NA	1	0	0	1	1	7
		quantità	0	0	NA	NA	1	NA	1	1	1	NA	NA	1	0	0	1	1	7
		temperatura	0	0	NA	NA	1	NA	1	NA	NA	NA	NA	1	0	0	1	1	5
	ACQUE SOTTERRANEE	qualità	0	0	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	1	0	0	1	1	4
		quantità	0	0	NA	NA	1	1	1	1	1	NA	NA	1	0	0	1	1	8
ARIA		qualità	0	0	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	0	0	1	1	6
		Impatto globale	0	0	NA	NA	1	NA		NA	NA	NA	NA	1	0	0	1	1	4
BIODIVERSITA'	FLORA	vegetazione naturale	0	0	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	1
		vegetazione coltivata	0	0	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	1
	FAUNA	uccelli	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0	1	1	12
		animali acquatici	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		animali terrestri	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1		0	1	9
SUOLO		Impermeabilizzazione	NA	NA	0	NA	1	1	1	NA	1	1	1	1	NA		NA	1	8
		Composizione chimico/fisica/biologica	NA	NA	NA	NA	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	NA	1	7
SISTEMA PAEGGISTICO	PAESAGGIO	alterazione paesaggio	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	NA	NA	0	NA	NA		NA	0	0
	BENI CULTURALI	conservazione	0	NA	NA	NA	0	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	0

13 Appendice D

			EMISSIONI					CONSUMO RISORSE								RIFIUTI		SOMME PARZIALI	
			Inquinanti atmosferici	Gas serra	Campi elettromagnetici	Rumore	Agenti chimici, biologici e polveri	Suolo								Biomassa	Recupero rifiuti		Produzione rifiuti
								Edifici	Attrezzature per la conversione energetica	Canalizzazioni/tubature interrate	Strade /ponti	Linea di trasmissione elettrica	Barriere recinzioni	Acqua	Fossili				
CATEGORIE			INDICATORI																
ACQUA	ACQUE DI SUPERFICIE	qualità	1	1	NA	NA	1	NA	1	1	1	NA	NA	1	1	1	1	1	11
		quantità	1	1	NA	NA	1	NA	1	1	1	NA	NA	1	1	1	1	1	11
		temperatura	1	1	NA	NA	1	NA	1	NA	NA	NA	NA	1	1	1	1	1	9
	ACQUE SOTTERRANEE	qualità	1	1	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	1	1	1	1	1	8
		quantità	1	1	NA	NA	1	1	1	1	1	NA	NA	1	1	1	1	1	12
ARIA			qualità	0	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	1	1	1	1	1
			Impatto globale	0	1	1	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	1	1	1
BIODIVERSITA'	FLORA	vegetazione naturale	1	1	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3
		vegetazione coltivata	1	1	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3
	FAUNA	uccelli	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	12
		animali acquatici	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		animali terrestri	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
SUOLO			Impermeabilizzazione	NA	NA	NA	1	NA	1	1	1	NA	1	1	0	1	NA	NA	1
			Composizione chimico/fisica/biologica	NA	NA	NA	NA	NA	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	NA
SISTEMA PAESAGGISTICO	PAESAGGIO	alterazione paesaggio	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0	NA	NA	0	NA	NA	NA	NA	0	
	BENI CULTURALI	conservazione	0	NA	NA	NA	0	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	

14 Appendice E

SCHEDA RACCOLTA DATI PER VALUTAZIONE PERFORMANCE HSE

IDENTIFICAZIONE AZIENDA/SOCIETA'/IMPRESA	
Codice identificativo	<i>facoltativo</i>
Nominativo	<i>facoltativo</i>
Ragione Sociale e Natura Giuridica	<i>facoltativo</i>
Rappresentante legale	<i>facoltativo</i>
Indirizzo Sede Legale	<i>facoltativo</i>
Attività produttiva aziendale (codice ATECO)	<i>facoltativo</i>
Nome dello stabilimento	<i>facoltativo</i>
Localizzazione dello stabilimento	<i>facoltativo</i>

CARATTERISTICHE IMPIANTO		
Tipologia di impianto		
Potenza impianto (MW)		
Energia Prodotta (kW/anno)-media riferita agli ultimi 3 anni		
Energia immessa in rete (kW/anno)-media riferita agli ultimi 3 anni		
Superficie dello stabilimento (m2)		
Tipologia costruzioni all'interno dello stabilimento	m2 Utilizzati	
	Edifici	
	Attrezzature per la conversione energetica	
	Strade e Ponti	
	Canalizzazioni/Tubature	
	Linea di trasmissione elettrica	
	Barriere e recinzioni	
Superficie costruita all'interno dello stabilimento (Suolo consumato)		
% suolo consumato		
Numero di lavoratori fissi all'interno dello stabilimento		
Numero di accessi all'interno dello stabilimento (media annua)		
Tempo di permanenza medio all'interno dello stabilimento (media ore/anno)		

CONSUMI	
Acqua (m3/anno)	
Combustibili Fossili ausiliari (l/anno)	
Energia utilizzata per autoconsumo (kW/anno)	

INQUINANTI	UM	EMISSIONI
Inquinanti atmosferici		
Ossido di Zolfo	µg/m3	
Biossido di Azoto	µg/m3	
Ossidi di Azoto	µg/m3	
Monossido di Carbonio	mg/m3	
Ozono	µg/m3	
Particolato atmosferico: PM10 e PM2,5	µg/m3	
Benzene	µg/m3	
Arsenico (As)	µg/m3	
Cadmio (Cd)	µg/m3	
Nichel (Ni)	µg/m3	
Piombo (Pb)	µg/m3	
Gas Serra	CO2e	
Anidride Carbonica	CO2e	
Metano	CO2e	
Ossido Nitroso	CO2e	
Idrofluoro-Carburanti	CO2e	
Perfluoro-Carburanti	CO2e	
Esfluoruro di Zolfo	CO2e	
Trifluoro di Azoto	CO2e	
TOTALE	CO2e	0
Rumore	dB(A)	
Campi Elettromagnetici	V/m (misurato entro 2m dalla sorgente)	

RIFIUTI			
Tipologia Rifiuti prodotti	RIFIUTI SOLIDI URBANI	RIFIUTI SPECIALI NON PERICOLOSI	RIFIUTI SPECIALI PERICOLOSI
Quantità (tonn/anno)			
Trattamento			
Distanza luogo di raccolta-luogo di conferimento	/	/	/