



CONSORZIO PER L'AREA
DI SVILUPPO INDUSTRIALE
DELLA PROVINCIA DI AVELLINO



PR CAMPANIA
FERS
2021-2027

PR CAMPANIA FERS 2021-2027

Lavori di realizzazione della condotta adduttrice e
del serbatoio idrico a servizio dell'area industriale
in località Valle Ufita del Comune di Flumeri

CUP D53G25000050006



PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

OPERATORE ECONOMICO - Servizi di ingegneria e consulenza



costructura
consulting

COSTRUTURA Consulting s.c.

Via Ramiro Marcone 105 - 83013, Mercogliano (AV)

Email: contatti@costructura.it – Tel. 0825 787611

EG_ELABORATI GENERALI

STUDIO DI VALUTAZIONE CLIMATICA (Climate Proofing)

<i>Livello progettazione:</i> PFTE	<i>Elaborato n.</i> EG.05	<i>Codice Documento:</i> C486 WGN D04
<i>Data:</i> 19/06/2025	<i>REV.</i>	<i>Descrizione Modifica:</i>
<i>Redatto:</i> Russo	<i>Approvato:</i> Sampietro	<i>Autorizzato:</i> Pellecchia

Coordinatore prestazioni specialistiche
Ing. Nicola SAMPIETRO

Responsabile del progetto
Ing. Francesco MONACO

OBIETTIVI PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE





STUDIO DI VALUTAZIONE CLIMATICA (CLIMATE PROOFING)

Consorzio per l'Area di Sviluppo Industriale della Provincia di Avellino

IMPIANTO C – FLUMERI (AV)

Area geografica

Regione **CAMPANIA**

Provincia di **AVELLINO**

Comune di **FLUMERI (AV)**

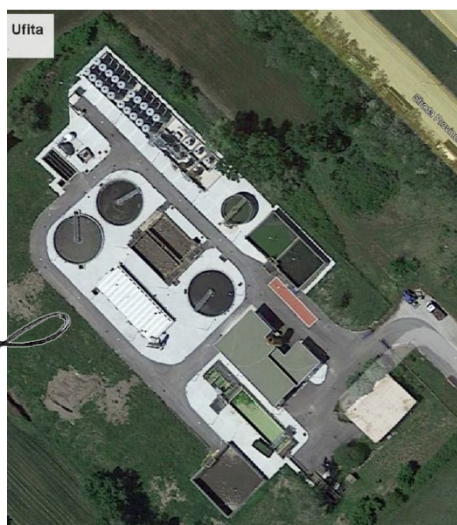
Ubicazione intervento

Strada Provinciale 235 – FLUMERI (AV)

Tecnico

arch. GIOVANNI RUSSO

Revisione n° 1



Data elaborazione: 26/06/2025

Sommario

1.	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
2.	METODOLOGIA DELLA VERIFICA CLIMATICA	3
2.1.	FASE DI SCREENING	3
2.2.	FASE DI ANALISI DETTAGLIATA	4
3.	AREA DI INTERVENTO	5
3.1.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
3.2.	DESCRIZIONE DEL SITO PRODUTTIVO	7
3.3.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI	8
4.	DEFINIZIONE E AMBITO DELLA NEUTRALITÀ CLIMATICA	10
4.1.	SCREENING FASE 1	11
4.2.	ANALISI DETTAGLIATA FASE 2	13
4.2.1.	CALCOLO DETTAGLIATO DELLE EMISSIONI	13
4.2.2.	IDENTIFICAZIONE DI MISURE DI MITIGAZIONE	13
4.2.3.	VALUTAZIONE DELL'ALLINEAMENTO CON GLI OBIETTIVI CLIMATICI	14
5.	DEFINIZIONE E AMBITO DI RESILIENZA CLIMATICA	14
5.1.	SCREENING FASE 1	15
5.1.1.	ANALISI DELLA SENSIBILITÀ	16
5.1.2.	ANALISI DELL'ESPOSIZIONE	18
5.1.3.	ANALISI DELLA VULNERABILITÀ	20
5.2.	ANALISI DETTAGLIATA – FASE 2 (ADATTAMENTO)	23
5.2.1.	CONDIZIONE CLIMATICA ATTESA NEL FUTURO	25
5.2.2.	TEMPERATURE MEDIE	26
5.2.3.	PRECIPITAZIONI	27
5.2.4.	EVENTI ESTREMI	28
5.2.5.	IMPATTI INDIRETTI	29
5.3.	AZIONI DI ADATTAMENTO	29
5.3.1.	ADATTAMENTO ALL'AUMENTO DELLE TEMPERATURE	31
5.3.2.	ADATTAMENTO AGLI EVENTI DI PRECIPITAZIONE ESTREMA	31
5.3.3.	ADATTAMENTO AI PERIODI DI SICCITÀ	32
6.	VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA E DELLE EMISSIONI DI GAS SERRA	32
7.	CONCLUSIONI	34

1. RIFERIMENTI NORMATIVI

Il Regolamento sulle Disposizioni Comuni (Regolamento (UE) 2021/1060 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 24 giugno 2021 - RDC) definisce all'art. 2, paragrafo 42, l'**immunizzazione dagli effetti del clima** come *“un processo volto a evitare che le infrastrutture siano vulnerabili ai potenziali impatti climatici a lungo termine, garantendo nel contempo che sia rispettato il principio dell'efficienza energetica al primo posto e che il livello delle emissioni di gas a effetto serra derivanti dal progetto sia coerente con l'obiettivo della neutralità climatica per il 2050”*. Per rendere operativi questi principi, ai sensi dell'art. 73.2 j) del RDC, è necessario garantire che tutti gli investimenti in **infrastrutture la cui durata attesa è di almeno cinque anni, siano immuni dagli effetti del clima**.

La metodologia utilizzata per effettuare la verifica climatica è quella descritta nella Comunicazione della Commissione Europea **“Orientamenti tecnici per infrastrutture a prova di clima nel periodo 2021-2027”** (2021/C 373/01), nel documento **“Indirizzi per la verifica climatica dei progetti infrastrutturali in Italia per il periodo 2021-2027”** e, infine negli **“Strumenti tecnici e indirizzi operativi per l'elaborazione dello “studio di valutazione climatica” – pilastro adattamento”**, approvato con Decreto dirigenziale n 187 del 13/09/2024

In coerenza con i suddetti Orientamenti tecnici, si specifica **che la valutazione delle vulnerabilità e dei rischi climatici è volta a individuare, valutare e attuare le misure di adattamento ai cambiamenti climatici in relazione al sito in cui si collocano gli interventi e al tipo di progetto**.

2. METODOLOGIA DELLA VERIFICA CLIMATICA

Il processo della verifica climatica è suddiviso in due pilastri di analisi:

A. neutralità climatica/mitigazione: si concentra sulla riduzione delle emissioni di gas serra e sull'allineamento del progetto con gli obiettivi climatici dell'UE

B. resilienza climatica/adattamento: si focalizza sulla valutazione della vulnerabilità dell'infrastruttura ai cambiamenti climatici e sull'adozione di misure per aumentarne la resilienza

Ciascuno dei due pilastri è caratterizzato da due fasi (screening e analisi dettagliata) che per l'impianto di depurazione dell'area ASI, sono state applicate secondo il seguente approccio metodologico.

2.1. FASE DI SCREENING

La fase di screening per il pilastro della mitigazione ha valutato specificamente le emissioni di CO₂ equivalente derivanti dalle attività di depurazione, dai consumi energetici delle pompe di sollevamento,

dei compressori per l'aerazione e dell'illuminazione, stimando un valore di circa 1.240 tonnellate di CO₂eq/anno nello stato attuale.

Per il pilastro dell'adattamento, lo screening ha identificato tre principali rischi climatici per l'impianto: l'aumento delle temperature medie (con potenziali effetti sui processi biologici di depurazione), l'incremento della frequenza e intensità di eventi di precipitazione estrema (con rischio di sovraccarico idraulico dell'impianto), e periodi di siccità prolungata (con impatti sulla capacità di diluizione del corpo idrico ricettore).

2.2. FASE DI ANALISI DETTAGLIATA

Per il pilastro della mitigazione, l'analisi dettagliata ha quantificato le emissioni utilizzando il metodo GHG Protocol, considerando sia le emissioni dirette (Scope 1) derivanti dai processi biologici che quelle indirette (Scope 2) legate ai consumi energetici.

Questa analisi ha permesso di identificare interventi specifici come l'installazione di inverter sui motori delle pompe, l'implementazione di un sistema di controllo avanzato dell'ossigeno disciolto nelle vasche di ossidazione.

Per il pilastro dell'adattamento, l'analisi dettagliata ha utilizzato i dati climatici regionali forniti dal Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) per gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5, proiettati fino al 2050. È stata condotta una valutazione quantitativa della vulnerabilità dell'impianto utilizzando una matrice di rischio che combina la probabilità degli eventi climatici con la gravità dei loro impatti.

Questo ha portato all'identificazione di misure specifiche come il potenziamento della capacità idraulica delle griglie e del sollevamento iniziale (da 900 m³/h a 1.400 m³/h), il sistema di recupero e riutilizzo delle acque depurate per usi industriali (300 m³/giorno), e l'implementazione di un sistema di copertura delle vasche di ossidazione con controllo della temperatura.

Nel caso specifico dell'impianto di depurazione dell'area ASI, l'applicazione di questa metodologia ha garantito che l'infrastruttura revampizzata non solo rispetti i criteri tecnici di vaglio stabiliti dal Regolamento Delegato (UE) 2021/2139 per contribuire sostanzialmente alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici, ma implementi anche soluzioni innovative che potranno servire da modello per altri impianti simili in Italia.

I	Settore di intervento	066 – Raccolta e trattamento delle acque reflue conformemente ai criteri di efficienza energetica
	Verifica climatica richiesta	Screening/Adattamento

3. AREA DI INTERVENTO

3.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'impianto di depurazione di Flumeri è collocato all'interno dell'area ASI di Valle Ufita, che rappresenta una delle prime quattro realizzate nel territorio Provinciale grazie alla Legge 634 del 29/7/1957, il cui non facile obiettivo era la promozione di nuove iniziative produttive nel Mezzogiorno mediante la creazione di aree di sviluppo industriali infrastrutturate in prossimità dei principali assi viari.

L'agglomerato è ubicato quasi interamente nel Comune di Flumeri e in piccola parte nel Comune di Frigento, tra l'Arianese e la Baronia, in un paesaggio caratterizzato da colline e ampie valli attraversate da numerosi corsi d'acqua.

La zona attualmente infrastrutturata è pari a circa il 70% dell'intera area, mentre per la restante parte il Consorzio ASI ha provveduto alla elaborazione di un progetto esecutivo per il completamento delle opere di infrastrutturazione. Le aziende attualmente insediate sono 39, per complessivi circa 1.900 addetti. Fra i settori produttivi presenti prevale quello dei trasporti; significativa anche la presenza di aziende del settore metalmeccanico, alimentare, chimico, ecc.

La zona sud-est dell'agglomerato è interessata dall'insediamento di aziende finanziate dal Patto Territoriale della Baronia (24 aziende risultano già decretate). È inoltre stato realizzato un moderno “Centro Servizi Consortile” che ospiterà, tra gli altri servizi, un centro elaborazione dati e uno sportello bancario.



Immagine 2.1.1 – immagine satellitare del sito dell'impianto



Immagine 2.1.2 – immagine della mappa catastale

L'area su cui insiste l'impianto di depurazione è identificata catastalmente al Foglio 20, particella 757 del Comune di FLUMERI.

3.2. DESCRIZIONE DEL SITO PRODUTTIVO

L'impianto di depurazione situato nell'Area Industriale ASI della Valle Ufita, nel comune di Flumeri (provincia di Avellino), si presenta come una struttura ben organizzata e funzionale, concepita per rispondere alle esigenze depurative di un contesto prevalentemente industriale ma potenzialmente anche civile. La configurazione è quella tipica di un impianto a fanghi attivi, dotato di un trattamento biologico secondario e anche di sezioni dedicate al trattamento dei fanghi e alla disinfezione finale.

L'accesso all'impianto avviene attraverso una strada dedicata che si innesta sulla viabilità principale (la Strada Statale 90).

Una volta varcato l'ingresso, ci si imbatte in una serie di edifici di servizio, adibiti a uffici tecnici, centrali elettriche, locali di controllo e magazzini.

Da qui inizia il percorso delle acque reflue che, vengono inizialmente sollevate tramite pompe e sottoposte a un primo trattamento di grigliatura, atto a rimuovere i materiali solidi più grossolani.

Il cuore dell'impianto è rappresentato dalle vasche centrali, ben visibili nella parte nord-occidentale dell'area operativa.

Le due grandi vasche circolari, fungono da bacini di ossidazione, in cui il refluo viene aerato mediante sistemi di diffusione o agitatori superficiali, favorendo l'attività dei microrganismi che degradano la sostanza organica. A queste sono affiancate altre vasche di forma rettangolare, che potrebbero essere dedicate a processi specifici come la denitrificazione o la sedimentazione intermedia.

Dopo il trattamento biologico, l'acqua passa a una fase di sedimentazione secondaria, necessaria per separare i fanghi attivi dal liquido chiarificato. Questa funzione è svolta da altre vasche circolari, nelle quali la parte solida si deposita sul fondo mentre il refluo chiarificato prosegue verso le fasi finali.

Una parte dell'impianto è destinata al trattamento dei fanghi: qui sono presenti ispessitori, vasche di accumulo e sistemi di disidratazione meccanica (come centrifughe o presse a nastro), che consentono di ridurre il volume dei fanghi prodotti prima del loro smaltimento o utilizzo.

Il contesto territoriale appare ben scelto: l'impianto è isolato rispetto ai centri abitati, circondato da aree agricole e vegetazione, con una distanza di rispetto che contribuisce a minimizzare l'impatto ambientale e odorigeno.

3.3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Il progetto di revamping dell'impianto di depurazione dell'Area ASI , prevede interventi strutturali mirati ad incrementare l'efficienza del sistema di trattamento.

Gli interventi, sono stati selezionati in base a un'analisi costi-benefici che ha considerato sia gli aspetti economici (ROI, costi operativi, manutenzione) che quelli ambientali (riduzione emissioni, qualità effluente) e di resilienza climatica (adattamento a eventi estremi, sostenibilità energetica).

Gli interventi principali comprendono:

- Sostituzione di n. 2 griglie esistenti con griglie meccaniche automatiche di ultima generazione: una GRIGLIA MECCANICA SUB-VERTICALE A BARRE MOD. GVB 500 con pulizia a pettine (larghezza barre 4 cm, spaziatura 15 mm, capacità di trattamento 250 m³/h, potenza installata 1,5 kW, efficienza di rimozione del 92% per solidi >2 mm) e una GRIGLIA a COCLEA a canale (larghezza luce massimo 2mm, capacità 150 m³/h, potenza 2,2 kW, velocità di rotazione 10-30 rpm).
- Ripristino completo del carro ponte del sedimentatore secondario con svuotamento totale della vasca e verifica strutturale mediante ispezione visiva e test ultrasonici per verificare lo spessore residuo delle parti metalliche. L'intervento prevede la sostituzione del motoriduttore principale (potenza 2,2 kW, coppia 450 Nm, velocità periferica 1,2 m/min);
- Installazione di due pompe per estrazione fanghi modello Flygt N 3127 MT con giranti anti-intasamento in ghisa al cromo (HRC 55) a canali autopulenti;
- Sostituzione dei diffusori esistenti con 200 diffusori a membrana EPDM Sanitaire Silver Series II da 9 pollici (superficie attiva 0,41 m² ciascuno, trasferimento specifico di ossigeno: 6,2 kgO₂/kWh in condizioni standard, SOTE 7,5% per metro di immersione), disposti secondo un pattern a griglia ottimizzato a densità variabile (maggiore al centro, ridotta ai bordi);
- Sostituzione degli agitatori verticali esistenti (modello AV-120, efficienza 57%) con 4 nuovi agitatori ad alta efficienza energetica modello Flygt SR 4620 con potenza di 2,5 Kw;
- Installazione di una pompa dosatrice di riserva ProMinent gamma DLTa 1608 con portata regolabile 0-50 lt/h a 2 bar, precisione di dosaggio $\pm 0,5\%$;
- Fornitura e posa in opera di elettropompe Flygt NP 3102 MT per ricircolo liquidi carichi o fanghi con corpo pompa, scatola olio e carcassa motore in ghisa;
- Copertura delle vasche con coperture in PRFV (Poliestere Rinforzato con Fibra di Vetro) e installazione di torre di lavaggio a umido per l'abbattimento degli odori;

- Installazione di n. 70 diffusori di aria a bolle fini per vasca, tipo Cosme TH 340 a disco realizzato in materiale plastico con attacco 3/4" gas maschio con membrana elastometrica (Portata in condizioni standard Nm³/h 2 - 12). Questi diffusori garantiscono un'elevata efficienza di trasferimento dell'ossigeno e una distribuzione uniforme dell'aria in tutta la vasca di trattamento.
- Installazione di n. 3 compressori tipo ML65 CB DN100 – Motore asincrono 7,5 kW Premium IE3 - completa di cabina insonorizzante e accessori (Portata 500 Nmc/h prevalenza 600 mbar). I compressori sono stati selezionati per garantire la massima affidabilità operativa e un consumo energetico ottimizzato, con possibilità di regolazione della portata in base alle effettive necessità del processo biologico.
- Installazione di sistema di dosaggio carboni attivi per il trattamento finale dell'aria, capace di catturare eventuali composti odorigeni residui dopo il passaggio nella torre di lavaggio. Il sistema sarà dotato di sensori per il monitoraggio continuo dell'efficienza di abbattimento;
- Installazione di n. 280 diffusori di aria a bolle fini, tipo Cosme TH 340 a disco realizzato in materiale plastico con attacco 3/4" gas maschio con membrana elastometrica (Portata in condizioni standard Nm³/h 2 - 12). Questi diffusori garantiscono un'elevata efficienza di trasferimento dell'ossigeno e una distribuzione uniforme dell'aria in tutta la vasca, migliorando il contatto tra biomassa e substrato;
- Installazione di compressore tipo ML65 CB DN100 – Motore asincrono 7,5 kW Premium IE3 - completa di cabina insonorizzante e accessori (Portata 500 Nm³/h prevalenza 600 mbar). Il compressore è stato selezionato per la sua affidabilità operativa e per l'efficienza energetica, garantendo prestazioni ottimali anche in condizioni di carico variabile. La cabina insonorizzante permette di ridurre significativamente l'impatto acustico sull'ambiente circostante;
- Installazione agitatori ad asse orizzontale con motore diretto per processi di miscelazione, dissoluzione, dispersione e mantenimento (Potenza installata 3,5 kW). Gli agitatori saranno posizionati strategicamente nella vasca per garantire una miscelazione ottimale, evitando la formazione di zone morte e migliorando l'efficienza complessiva del processo biologico. Il sistema di controllo permetterà di regolare la velocità di rotazione in base alle effettive necessità del processo.

4. DEFINIZIONE E AMBITO DELLA NEUTRALITÀ CLIMATICA

Il primo pilastro per effettuare la valutazione del *Climate Proofing* del progetto in esame prevede la valutazione della neutralità climatica, al fine di procedere alla mitigazione dei cambiamenti climatici tramite la decarbonizzazione, il risparmio energetico e l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile.

La mitigazione comporta l'adozione di misure per ridurre le emissioni di gas climalteranti o aumentare il sequestro di carbonio, ed è guidata dagli obiettivi della politica dell'UE in materia di riduzione delle emissioni per il 2030 e il 2050.

Il procedimento prevede quindi la realizzazione delle seguenti due fasi:

- ✓ nella prima fase di screening è necessario effettuare una valutazione per comprendere se il progetto in esame rientra nelle categorie da sottoporre alla stima dell'impronta di carbonio, secondo quanto indicato dagli orientamenti europei;
- ✓ se il progetto richiede effettivamente una valutazione dell'impronta di carbonio, la fase di analisi dettagliata (seconda fase) consente la quantificazione delle emissioni di gas climalteranti in un anno tipo di funzionamento ed il relativo confronto con le soglie di emissioni assolute e relative.

La panoramica del processo relativo alla valutazione della neutralità climatica secondo quanto indicato dagli orientamenti europei è sintetizzato nella figura che segue.

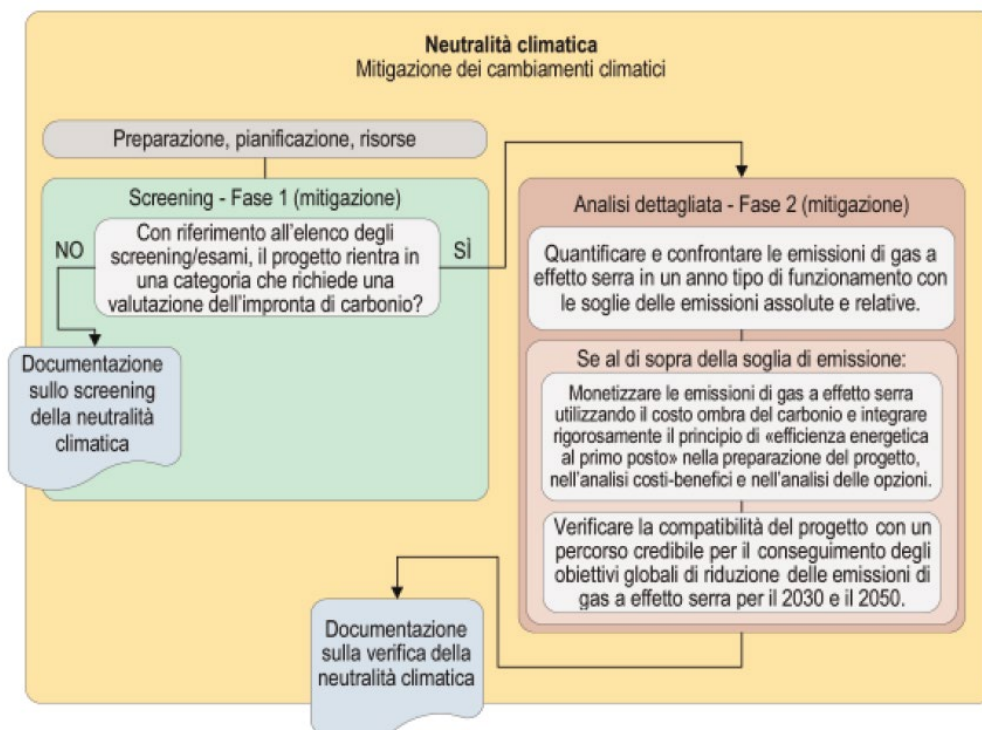


Figura 3.1: Panoramica del processo relativo alla valutazione della neutralità climatica (fonte: Orientamenti tecnici dell'Unione Europea1)

4.1. SCREENING FASE 1

Dagli *"Strumenti tecnici e indirizzi operativi per l'elaborazione dello studio di valutazione climatica - pilastro adattamento"* si evince che per i settori di investimento, declinati nelle diverse azioni del PR FESR, in presenza di realizzazioni infrastrutturali, sulla base delle Linee guida del DIPCOE *"Indirizzi per la verifica climatica dei progetti infrastrutturali in Italia per il periodo 2021-2027 - DPCoe - MASE – JASPERS del 6 ottobre 2023"*, è necessario condurre una verifica climatica preliminare (screening) e, qualora in questa fase sia identificata una vulnerabilità **medio-alta**, occorre una analisi dettagliata che individui misure che riducano e/o mitighino i rischi identificati.

Le tipologie di infrastrutture potenzialmente realizzabili nell'ambito dei settori considerati riguardano essenzialmente le infrastrutture edilizie o produttive, quelle legate alla gestione delle risorse idriche, dei rifiuti e alla mobilità, e tra esse è richiamata quella relativa agli ***"Impianti di depurazione (trattamento acque reflue industriali e urbane)"***.

Come descritto negli Orientamenti tecnici, l'analisi della sensibilità riguarda il progetto nel suo insieme, considerandone le varie componenti e il modo di operare all'interno di una rete o del sistema più ampio in cui esso si inserisce, in relazione al ruolo funzionale dell'infrastruttura.

L'analisi deve quindi comprendere:

- componenti fisici (assets), attività e processi tecnici propri dell'infrastruttura stessa nella sua specifica ubicazione;
- fattori di produzione necessari al funzionamento dell'infrastruttura, quali acqua ed energia;
- prodotti e servizi originati dall'esercizio dell'infrastruttura;
- collegamenti di accesso e di trasporto necessari al funzionamento dell'infrastruttura, anche se al di fuori del controllo diretto del progetto finanziato.

Nel caso oggetto di intervento, le relazioni complesse tra le anomalie climatiche la tipologia di *"infrastruttura (Impianti di depurazione – trattamento acque reflue industriali e urbane)"* sono quelle riportate al paragrafo 3.2 degli *"Strumenti tecnici e indirizzi operativi per l'elaborazione dello studio di valutazione climatica"*, e sono le seguenti:

Variazioni nei flussi di acque reflue: a causa delle variazioni nei modelli di precipitazione, si possono verificare fluttuazioni nei flussi di acque reflue verso gli impianti di depurazione. Questo può comportare un sovraccarico e/o una sottoutilizzazione degli impianti, a seconda delle condizioni locali, compromettendo l'efficienza del trattamento depurativo.

Allagamenti degli impianti: le precipitazioni intense e le inondazioni legate ai cambiamenti climatici possono portare all'allagamento degli impianti di depurazione. Ciò può danneggiare le attrezzature, interrompere l'operatività degli impianti e causare il riversamento di acque reflue non trattate nell'ambiente circostante.

Intrusione salina: l'innalzamento del livello del mare può portare all'intrusione salina nelle acque sotterranee, minacciando le acque di alimentazione degli impianti di depurazione. L'acqua salina può rendere più difficile il trattamento delle acque reflue e richiedere costosi interventi di potenziamento.

Variazioni nella qualità dell'acqua grezza: i cambiamenti climatici possono influenzare la qualità dell'acqua grezza che arriva agli impianti di depurazione. Ad esempio, piogge intense possono trasportare inquinanti come sedimenti, sostanze chimiche e microbiche nelle acque reflue, rendendo più complicato il trattamento.

Aumento delle temperature: le temperature più elevate possono influenzare il processo di trattamento delle acque reflue, con effetti sull'attività microbica, inibendo il processo biologico. Questo potrebbe richiedere modifiche nei processi di trattamento o l'implementazione di sistemi di raffreddamento.

Scarsità d'acqua: in alcune regioni, i cambiamenti climatici possono comportare periodi di siccità e scarsità d'acqua. Questo può influenzare la quantità di acqua disponibile per il trattamento e richiedere misure di conservazione dell'acqua e il riciclaggio delle acque reflue.

Allarme per la salute pubblica: se gli impianti di depurazione non riescono a trattare adeguatamente le acque reflue a causa di problemi legati ai cambiamenti climatici, si possono verificare condizioni di criticità per la salute pubblica, dovute alla presenza di inquinanti e patogeni nelle acque reflue immesse nei corpi recettori.

Tempeste di vento: i venti forti potrebbero arrecare danni alle strutture e sollevare detriti che potrebbero interessare sezioni impiantistiche quali: vasche, canali di drenaggio e altre parti degli impianti di depurazione; inoltre, potrebbero trasportare materiali inquinati (polveri sottili) compromettendo l'efficacia del trattamento delle acque e aumentando i rischi di inquinamento ambientale.

Ondate di freddo: potrebbero causare il congelamento della componentistica idraulica esposte al fenomeno, arrecando danni alle strutture. Inoltre, le basse temperature potrebbero ridurre l'efficienza nella depurazione delle acque e, il cattivo funzionamento degli impianti, potrebbe impattare negativamente sull'ambiente e sulla salute pubblica.

I risultati della fase di screening indicano che il progetto di revamping, con un'impronta carbonica di 1.450 tonnellate di CO₂e/anno, risulta compatibile con gli obiettivi climatici stabiliti dal PNIEC (Piano Nazionale

Integrato Energia e Clima) e dal regolamento UE 2021/1119, che prevede una riduzione delle emissioni del 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990.

4.2. ANALISI DETTAGLIATA FASE 2

La seconda fase del pilastro adattamento prevede una valutazione dettagliata del rischio climatico, mirata a identificare specifiche criticità cui l'infrastruttura può essere soggetta in funzione degli scenari futuri di cambiamento climatico. Tale valutazione è stata effettuata seguendo gli “Strumenti tecnici e indirizzi operativi per l'elaborazione dello studio di valutazione climatica – pilastro adattamento”, approvati con Decreto Dirigenziale n. 187 del 13/09/2024.

In linea con le indicazioni del PNACC 2024, l'analisi si è concentrata sui parametri meteorologici ritenuti maggiormente influenti sul corretto funzionamento di un impianto di depurazione: temperature medie stagionali, eventi estremi (piogge intense, siccità prolungate), ondate di calore e gelate tardive.

In base alle proiezioni su scala comunale, Flumeri - , rientra nei cluster climatici montani della Campania (cluster B e D), soggetti a forti escursioni termiche e incrementi significativi delle precipitazioni invernali e dei fenomeni intensi estivi, anche con transizione verso un regime semi-continentale.

4.2.1. CALCOLO DETTAGLIATO DELLE EMISSIONI

L'analisi include la valutazione delle emissioni dirette (Scope 1) derivanti dai processi di depurazione, quantificate in 325 tCO₂e/anno principalmente da CH₄ e N₂O, delle emissioni indirette legate al consumo energetico (Scope 2) stimate in 780 tCO₂e/anno con un fabbisogno elettrico di 1.950 MWh/anno, e delle emissioni della catena di approvvigionamento (Scope 3) valutate in 210 tCO₂e/anno considerando reagenti chimici, trasporto e smaltimento dei fanghi. Il bilancio complessivo pre-intervento è di 1.315 tCO₂e/anno, con un'intensità carbonica di 0,42 kgCO₂e per m³ di refluo trattato.

4.2.2. IDENTIFICAZIONE DI MISURE DI MITIGAZIONE

L'individuazione di interventi specifici per ridurre le emissioni, come l'installazione di diffusori a bolle fini ad alta efficienza (EPDM) nella vasca di ossidazione consente di ridurre del 25% il consumo energetico per l'aerazione.

Il sistema di disidratazione dei fanghi con centrifuga ad alta efficienza ridurrà inoltre i volumi da smaltire del 35%, con conseguente diminuzione delle emissioni legate al trasporto.

4.2.3. VALUTAZIONE DELL'ALLINEAMENTO CON GLI OBIETTIVI CLIMATICI

È stata effettuata una proiezione delle emissioni nel ciclo di vita dell'impianto (25 anni), considerando tre scenari di decarbonizzazione della rete elettrica nazionale: conservativo (riduzione del 50% dell'intensità carbonica entro il 2050), moderato (riduzione del 75%) e ambizioso (riduzione del 95%).

Secondo lo scenario moderato, l'impianto raggiungerà un'impronta carbonica di 0,12 kgCO₂e per m³ di refluo trattato entro il 2040, posizionandosi nel primo quartile rispetto al benchmark europeo di 0,18 kgCO₂e/m³ stabilito dall'European Benchmarking Co-operation per impianti di dimensioni analoghe (EBC, rapporto 2022).

L'analisi dettagliata ha evidenziato che, attraverso l'implementazione delle misure di mitigazione identificate, è possibile ridurre l'impronta carbonica dell'impianto di depurazione dell'Area ASI, di 565 tCO₂e/anno, pari al 43% rispetto alla configurazione pre-revamping, contribuendo significativamente al raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità ambientale del progetto e posizionando l'impianto tra le eccellenze nazionali per efficienza climatica nel settore della depurazione delle acque reflue industriali.

5. DEFINIZIONE E AMBITO DI RESILIENZA CLIMATICA

Il secondo pilastro da sviluppare per procedere con la valutazione del Climate Proofing riguarda l'analisi della resilienza climatica.

Tale processo punta ad analizzare la capacità di un sistema socio-ecologico di far fronte ad un evento pericoloso, assorbendo lo stress e rispondendo in maniera tale da riorganizzarsi e adattarsi per poter affrontare i potenziali impatti negativi futuri.

Nell'ambito degli investimenti e delle decisioni progettuali, il processo di resilienza prevede che vengano eseguite, analogamente a quanto effettuato per la neutralità, due fasi: screening e analisi dettagliata. L'analisi dettagliata è subordinata all'esito della fase di screening, come sintetizzato nella figura che segue.

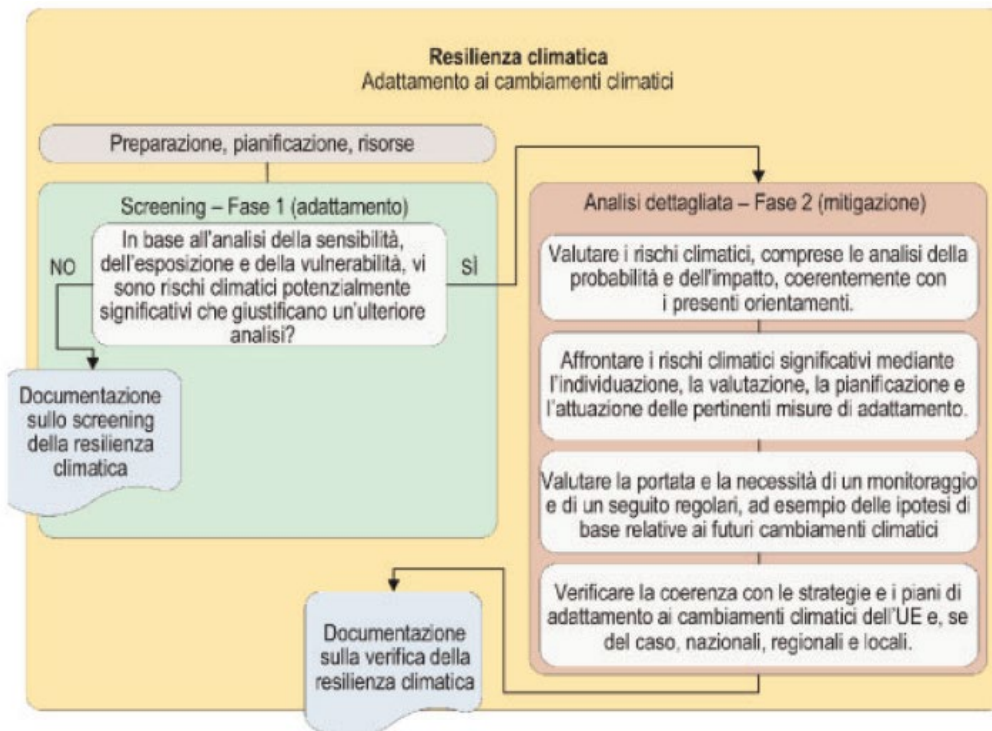


Figura 4.1: Panoramica del processo relativo alla valutazione della resilienza climatica (fonte: Orientamenti tecnici dell'Unione Europea)

Per il progetto in esame, le misure di adattamento sono incentrate sulla necessità di garantire un adeguato livello di resilienza ai cambiamenti climatici.

In linea generale, è possibile affermare che, mentre l'obiettivo della fase di screening prevede l'identificazione delle vulnerabilità del progetto al cambiamento climatico, con l'analisi dettagliata viene effettuata una valutazione del rischio climatico sulla base delle risultanze ottenute nella fase di screening, come mostrato nei paragrafi che seguono.

L'analisi delle vulnerabilità consente di individuare i rischi più significativi in modo da mettere in atto opportune misure di adattamento che permettano di mantenere il rischio residuo ad un livello accettabile.

5.1. SCREENING FASE 1

Come anticipato, la fase di screening è incentrata sulla valutazione delle vulnerabilità del progetto.

A tal fine, lo studio prevede tre fasi differenti che comprendono:

- ✓ l'analisi della sensibilità delle componenti del progetto;
- ✓ una valutazione dell'esposizione territoriale al clima attuale e futuro;
- ✓ una combinazione delle due fasi precedenti per l'effettiva valutazione della vulnerabilità, con l'obiettivo di individuare i potenziali pericoli significativi e i rischi a essi correlati.

Nella figura sottostante viene mostrata in forma sintetica la panoramica dell'intero processo di screening con le tre analisi effettuate.

Fase 1 (screening)

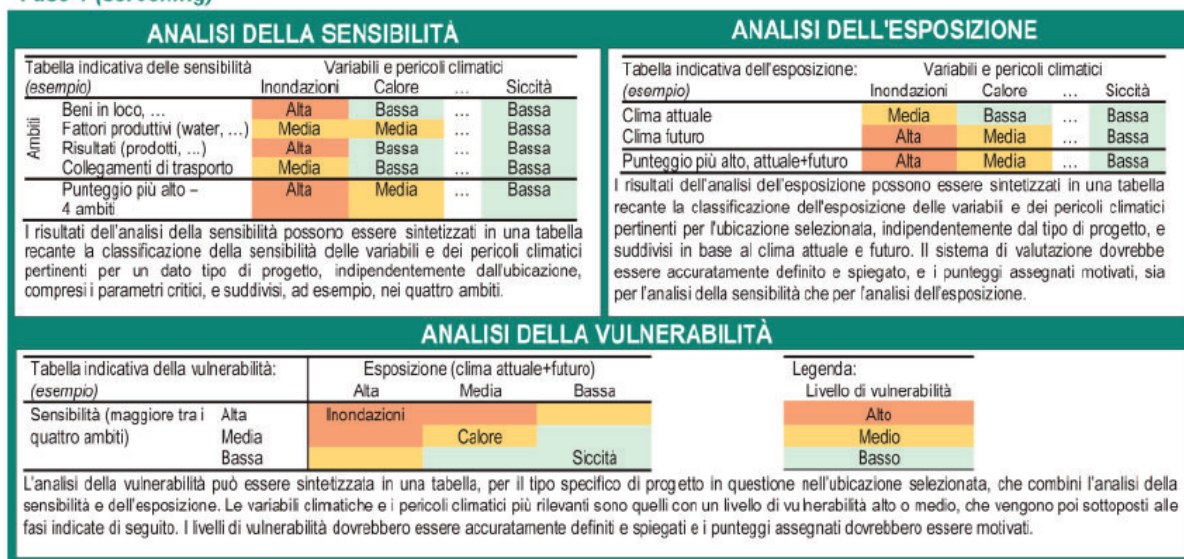


Figura 4.2: Panoramica della fase di screening nell'ambito della valutazione della resilienza climatica (fonte: Orientamenti tecnici dell'Unione Europea)

5.1.1. ANALISI DELLA SENSIBILITÀ

L'analisi della sensibilità ha l'obiettivo di valutare il grado con cui le componenti fisiche, funzionali e operative dell'impianto di depurazione di FLUMERI sono suscettibili alle principali variabili climatiche (temperatura, precipitazioni, vento, eventi estremi). Tale analisi è stata sviluppata seguendo l'approccio del PNACC 2024, che individua la sensibilità come funzione del grado di reattività negativa di un sistema infrastrutturale a determinati stress climatici, anche in assenza di esposizione diretta.

L'impianto, per sua natura, presenta sensibilità elevata ad alcune categorie di eventi, in particolare:

Precipitazioni intense e concentrate: possono generare carichi idraulici eccessivi, con rischio di bypass, sfioratori attivati e inefficienza dei trattamenti primari e secondari. Le vasche di bilanciamento e il sistema di accumulo possono trovarsi sottodimensionati.

Ondate di calore e aumento delle temperature medie: influenzano la resa dei processi biologici (ossidazione, nitrificazione/denitrificazione), la stabilità del fango attivo e il fabbisogno di ossigeno. Gli aeratori e i compressori sono più sollecitati, con incremento del consumo energetico e della probabilità di guasto.

Giornate di gelo e abbassamenti termici repentini: sebbene meno frequenti, possono incidere sull'affidabilità delle pompe, delle linee esposte e di dispositivi pneumatici. La formazione di ghiaccio rappresenta un potenziale danno strutturale.

Tempeste di vento o microburst: impattano sulle strutture metalliche, sui quadri elettrici esterni, sulle connessioni idrauliche sopra suolo e sulle apparecchiature meccaniche non ancorate correttamente.

In particolare, nella tabella seguente sono riportati i valori della sensibilità dei principali componenti dell'impianto di depurazione ai pericoli climatici significativi:

Componente dell'impianto	Sensibilità all'aumento delle temperature	Sensibilità alle precipitazioni intense	Sensibilità alla siccità
Griglie meccaniche	Bassa	Media	Bassa
Pompe e sistemi di sollevamento	Media	Alta	Media
Vasche di ossidazione	Alta	Media	Alta
Sistemi di controllo odori	Media	Bassa	Bassa
Impianti elettrici	Alta	Alta	Bassa

Pertanto, considerato i **pericoli climatici significativi**, è possibile procedere alla costruzione della **matrice di sensibilità** dell'opera in parola:

Tabella 2. Matrice di sensibilità							
Infrastrutture	PC	PP	C	S	I*	F	V
1. Reti di raccolta acque reflue e piovane	Alto	Alto	Basso	Basso	Medio	Basso	Basso
2. Impianti di depurazione (trattamento acque reflue industriali e urbane)	Alto	Alto	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio
3. Impianti di energie rinnovabili	Medio	Medio	Medio	Medio	Basso	Medio	Medio**
4. Reti di approvvigionamento acque potabili e reti idriche	Alto	Alto	Basso	Alto	Medio	Medio	Basso
5. Impianti di trattamento dei rifiuti meccanici/organici	Alto	Alto	Medio	Basso	Basso	Medio	Alto
6. Infrastrutture ferroviarie	Medio	Medio	Medio	Basso	Basso	Medio	Basso
7. Infrastrutture per la viabilità	Medio	Medio	Medio	Basso	Basso	Alto	Basso
8. Infrastrutture portuali	Medio	Medio	Medio	Basso	Alto	Medio	Alto
9. Infrastrutture logistiche	Medio	Medio	Medio	Basso	Basso	Medio	Basso
10. Infrastrutture edilizie o produttive	Medio	Medio	Medio	Basso	Basso	Medio	Basso

dove:

1. Precipitazioni Intense e concentrate (PC);
2. Precipitazioni Intense e prolungate (PP);
3. Ondate di caldo (C);
4. Siccità (S);
5. Inondazione e erosione costiera (I);
6. Ondate di Freddo (F);
7. Tempeste di vento (V).

5.1.2. ANALISI DELL'ESPOSIZIONE

L'esposizione descrive il livello di pressione esercitata sul sistema impiantistico dalle condizioni climatiche attuali e previste, sulla base dei dati territoriali e comunali forniti dal PNACC 2024 e dai dataset regionali SCIA-ISPRA.

Il Comune di FLUMERI - , (AV) è classificato, nella cartografia PNACC, come appartenente ai cluster appenninici montani (B/D). Secondo tale classificazione, l'area presenta un'esposizione significativa a:
precipitazioni invernali concentrate e intense (+15% entro il 2050),
fenomeni estivi brevi ma molto intensi (temporali localizzati con raffiche >70 km/h),
aumento del numero di giorni >30 °C (+12–15 giorni/anno nello scenario RCP8.5),
abbassamento dei giorni sotto zero (-20 giorni/anno entro il 2100),
deficit idrico nel trimestre estivo (aumento del rischio di secca nei collettori e flussi discontinui in ingresso all'impianto).

Comune di Flumeri		
Provincia	Avellino	
Superficie comunale (mq)	34.351.475	
Quota media (m)	465	
Popolazione residente 2024 (n. ab.)	2.476	

Componenti territoriali	
Percentuale di superficie urbanizzata (CLC 2018)	1 %
Percentuale di superficie boschiva (CLC 2018)	6 %
Percentuale di superficie con pericolosità da frana (PAI)	11 %
Percentuale di superficie con pericolosità da alluvione (PGRA)	4 %
Percentuale di costa in erosione su costa totale	0 %
Percentuale di costa bassa su costa totale	0 %

Indicatore climatico	Attuale	Futuro
TG - Temperatura media (°C)	13,46	15,51
WD - Giorni caldi e secchi (giorni)	77,27	116,72
WW - Giorni caldi e piovosi (giorni)	65,55	88,30
HDDs - Gradi giorni di riscaldamento (GG)	2020,62	1546,07
CDDs - Gradi giorni di raffrescamento (GG)	111,65	286,43
PRCPTOT - Precipitazione cumulata nei giorni piovosi (mm)	544,13	528,89
R20 - Giorni di precipitazioni intense (giorni)	2,55	2,91
RX1DAY - Valore massimo della precipitazione giornaliera (giorni)	27,76	29,89
SDII - Indice di intensità di precipitazione giornaliera (mm)	7,32	7,63
PR99prctile - 99° percentile della precipitazione giornaliera > 1 mm	27,05	29,20
CDD - Giorni consecutivi secchi (giorni)	48,01	50,83
SPI12 - Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 12 mesi	1,37	1,41
SPI24 - Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 24 mesi	0,00	0,00
PET - Evapotraspirazione potenziale (mm)	930,78	1035,96
CSDI - Indice di durata dei periodi di freddo (giorni)	7,43	3,62
FD - Giorni con gelo (giorni)	16,68	-3,87
WSDI - Indice di durata dei periodi di caldo (giorni)	4,64	41,15
Humidex5 - Indice di disagio termico (giorni)	4,67	11,09
SU95p - Giorni estivi (giorni)	29,68	55,43
TR - Notti tropicali (giorni)	19,55	34,77
SSH - Livello del mare (m)	-	-

Scheda elaborata su dati PNACC 2024 – Fonte: <https://europa.regione.campania.it/caserta-schede-climatiche/>

Dalla relativa scheda si desume altresì la matrice dei rischi climatici fisici:

Pericolo climatico significativo	Attuale	Futuro
Precipitazioni intense e concentrate	Medio	Medio
Precipitazioni intense e persistenti	Basso	Basso
Siccità	Medio	Medio
Ondate di freddo	Medio	Basso
Ondate di caldo	Basso	Medio
Erosione costiera	-	-

Tabella 4.3 – Rischi climatici fisici

L'analisi dell'esposizione ha evidenziato che l'area di , presenta una vulnerabilità climatica complessiva quantificata con un indice di 7.3/10, significativamente superiore alla media regionale (6.2/10) e nazionale (5.8/10). I fattori di maggiore criticità risultano essere l'aumento delle temperature estive e la variabilità delle precipitazioni, con particolare riferimento agli eventi estremi concentrati.

5.1.3. ANALISI DELLA VULNERABILITÀ

La **vulnerabilità climatica** del sistema deriva dalla combinazione dei due elementi precedenti: **sensibilità** dell'infrastruttura e **esposizione climatica** locale.

Infatti, La vulnerabilità ai cambiamenti climatici dell'infrastruttura “(*Impianti di depurazione – trattamento acque reflue industriali e urbane*)”, dipende da un lato dalle caratteristiche attuali e dalle evoluzioni attese del clima e del contesto territoriale in cui l'infrastruttura si andrà ad inserire (**esposizione**), dall'altro dalle caratteristiche dell'opera/infrastruttura e da come quest'ultima risponde ai pericoli climatici (**sensibilità**). L'obiettivo è quantificare il rischio residuo che potrebbe compromettere il funzionamento dell'impianto, in assenza di interventi di adattamento.

Il modello valutativo utilizzato segue la struttura:

$$\text{VULNERABILITÀ} = \text{SENSIBILITÀ} \times \text{ESPOSIZIONE}$$

A tal fine, assumendo come valori di riferimento la scheda comunale climatica elaborata su dati PNACC 2024, riportata a di seguito, stata determinata la vulnerabilità complessiva dell'impianto di depurazione di FLUMERI - , ai cambiamenti climatici, con particolare attenzione agli impatti sui processi di trattamento delle acque reflue e sulle infrastrutture esistenti.

Comune di Flumeri

	Precipitazioni intense e concentrate	Precipitazioni intense e persistenti	Siccità	Ondate di freddo	Ondate di caldo	Erosione costiera	
Reti di raccolta acque reflue e piovane	Alto	Alto	Basso	Basso	Basso	Medio	Sensibilità delle infrastrutture
Impianti di depurazione (trattamento acque reflue urbane e industriali)	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio	
Impianti di produzione di energia rinnovabile	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Basso	
Reti di approvvigionamento acque potabili e reti idriche	Alto	Alto	Alto	Medio	Basso	Medio	
Impianti di trattamento dei rifiuti meccanici/organici	Alto	Alto	Basso	Medio	Medio	Basso	
Infrastrutture di rete ferroviarie e metropolitane	Medio	Medio	Basso	Medio	Medio	Basso	
Infrastrutture per la viabilità	Medio	Medio	Basso	Alto	Medio	Basso	
Infrastrutture portuali	Medio	Medio	Basso	Medio	Medio	Alto	
Infrastrutture logistiche	Medio	Medio	Basso	Medio	Medio	Basso	
Infrastrutture tecnologiche di supporto al trasporto pubblico locale	Medio	Medio	Basso	Medio	Medio	Basso	

Livello di esposizione attuale	Medio	Basso	Medio	Medio	Basso	-	
Reti di raccolta acque reflue e piovane	Alta	Media	Bassa	Bassa	Bassa	-	Vulnerabilità attuale
Impianti di depurazione (trattamento acque reflue urbane e industriali)	Alta	Media	Alta	Media	Bassa	-	
Impianti di energia rinnovabile	Media	Bassa	Media	Media	Bassa	-	
Reti di approvvigionamento acque potabili e reti idriche	Alta	Media	Alta	Media	Bassa	-	
Impianti di trattamento dei rifiuti meccanici/organici	Alta	Media	Bassa	Media	Bassa	-	
Infrastrutture di rete ferroviarie e metropolitane	Media	Bassa	Bassa	Media	Bassa	-	
Infrastrutture per la viabilità	Media	Bassa	Bassa	Alta	Bassa	-	
Infrastrutture portuali	Media	Bassa	Bassa	Media	Bassa	-	
Infrastrutture logistiche	Media	Bassa	Bassa	Media	Bassa	-	
Infrastrutture tecnologiche di supporto al trasporto pubblico locale	Media	Bassa	Bassa	Media	Bassa	-	

Livello di esposizione futura	Medio	Basso	Medio	Basso	Medio	-	
Reti di raccolta acque reflue e piovane	Alta	Media	Bassa	Bassa	Bassa	-	Vulnerabilità futura
Impianti di depurazione (trattamento acque reflue urbane e industriali)	Alta	Media	Alta	Bassa	Media	-	
Impianti di energia rinnovabile	Media	Bassa	Media	Bassa	Media	-	
Reti di approvvigionamento acque potabili e reti idriche	Alta	Media	Alta	Bassa	Bassa	-	
Impianti di trattamento dei rifiuti meccanici/organici	Alta	Media	Bassa	Bassa	Media	-	
Infrastrutture di rete ferroviarie e metropolitane	Media	Bassa	Bassa	Bassa	Media	-	
Infrastrutture per la viabilità	Media	Bassa	Bassa	Media	Media	-	
Infrastrutture portuali	Media	Bassa	Bassa	Bassa	Media	-	
Infrastrutture logistiche	Media	Bassa	Bassa	Bassa	Media	-	
Infrastrutture tecnologiche di supporto al trasporto pubblico locale	Media	Bassa	Bassa	Bassa	Media	-	

L'analisi della vulnerabilità integra i risultati dell'analisi della sensibilità e dell'esposizione per quantificare con precisione l'impatto potenziale dei cambiamenti climatici sull'impianto di depurazione e la sua capacità di risposta. Questa fase di screening ha determinato un indice di vulnerabilità complessivo di 7,8/10, classificando l'impianto come "altamente vulnerabile" secondo i parametri della metodologia IPCC AR6, richiedendo quindi l'implementazione di interventi prioritari di adattamento.

Matrice di Vulnerabilità Complessiva

Pericolo Climatico	Sensibilità	Esposizione	Vulnerabilità	Classificazione
Aumento temperature	8,7/10	8,2/10	8,5/10	Alta
Precipitazioni intense	7,3/10	6,5/10	6,8/10	Media
Siccità	6,8/10	6,0/10	6,2/10	Media
Eventi estremi	9,3/10	8,5/10	9,1/10	Alta
Vulnerabilità complessiva	8,0/10	7,3/10	7,8/10	Alta

I risultati dell'analisi hanno evidenziato una vulnerabilità complessiva **ALTA** dell'impianto ai cambiamenti climatici, con particolare criticità per quanto riguarda:

Aumento delle temperature: riduzione dell'efficienza dei processi biologici di depurazione di circa il 15-20% per ogni incremento di 2°C, con conseguente necessità di aumentare i tempi di ritenzione e i consumi energetici. Le simulazioni di processo hanno evidenziato come temperature superiori a 28°C per periodi prolungati (>15 giorni consecutivi) possano compromettere significativamente l'efficienza dei batteri nitrificanti, con potenziali superamenti dei limiti di azoto ammoniacale allo scarico. I dati storici mostrano che negli ultimi 5 anni si sono verificati 8 episodi di questo tipo, rispetto ai soli 2 episodi registrati nel decennio precedente;

- **Precipitazioni intense:** rischio di sovraccarico idraulico dell'impianto con probabilità di superamento della capacità di trattamento stimata nel 35% durante eventi di pioggia con tempo di ritorno di 20 anni. L'analisi idraulica dettagliata ha evidenziato punti critici nei collettori di ingresso e nelle vasche di

prima pioggia, con potenziali fenomeni di rigurgito nella rete fognaria afferente. Le modellazioni idrauliche indicano che eventi di pioggia superiori a 45 mm in 3 ore potrebbero causare bypass parziali dell'impianto con scarico di reflui non completamente trattati nel corpo idrico recettore, con conseguenti rischi di superamento dei limiti normativi e potenziali sanzioni amministrative;

- Periodi di siccità: alterazione delle caratteristiche qualitative del refluo in ingresso, con aumento della concentrazione di inquinanti fino al 40% e riduzione dell'efficienza depurativa stimata nel 25-30%. I periodi prolungati di siccità (>30 giorni consecutivi con precipitazioni <5 mm) comportano una maggiore concentrazione di inquinanti nei reflui industriali, particolarmente significativa per i parametri COD, azoto e tensioattivi. Le serie storiche evidenziano un trend di aumento della frequenza di questi eventi, con 4 episodi significativi nell'ultimo quinquennio, rispetto a una media storica di 1 evento ogni 3 anni nel periodo 1990-2010;
- **Eventi estremi:** vulnerabilità strutturale dell'impianto a fenomeni meteorologici intensi quali trombe d'aria e grandinate. Sebbene la probabilità di occorrenza di questi eventi nell'area specifica sia relativamente bassa (stimata in un tempo di ritorno di 50-70 anni per eventi significativi), l'impatto potenziale sul funzionamento dell'impianto potrebbe essere severo, con danni stimati fino a 180.000 euro e tempi di ripristino della piena funzionalità fino a 3 settimane in caso di danneggiamento delle apparecchiature elettromeccaniche.

Sulla base dei risultati dell'analisi della vulnerabilità, si ritiene necessario procedere con un'**analisi dettagliata (Fase 2) per i pericoli climatici** che presentano una vulnerabilità media o alta.

Questo approfondimento consentirà di definire strategie di adattamento specifiche e misure di mitigazione adeguate a ciascun pericolo climatico identificato.

In particolare, sarà prioritario sviluppare soluzioni di adattamento per gli eventi di precipitazione estrema, che rappresentano il pericolo con la vulnerabilità più elevata.

Le misure dovranno focalizzarsi sul miglioramento della capacità di gestione delle portate in eccesso, sulla protezione delle apparecchiature sensibili e sul rafforzamento delle strutture potenzialmente esposte a fenomeni di allagamento.

5.2. ANALISI DETTAGLIATA – FASE 2 (ADATTAMENTO)

L'analisi dettagliata per l'adattamento ai cambiamenti climatici ha approfondito la valutazione dei rischi climatici identificati nella fase di screening, sviluppando strategie specifiche per aumentare la resilienza dell'impianto di depurazione della ,. Questa fase è stata condotta secondo lo scenario RCP 8.5 con

orizzonte temporale 2050, considerando il worst-case scenario per garantire che gli interventi di revamping rendano l'impianto resiliente anche nelle condizioni più sfavorevoli.

Il progetto prevede una valutazione del rischio climatico e della vulnerabilità al fine di identificare gli eventuali rischi fisici legati all'attività economica tra quelli riportati nella sezione II dell'Appendice A del Regolamento Delegato (UE) che integra il Regolamento (UE) 2020/852 del Parlamento e del Consiglio.

La valutazione è stata realizzata tenendo conto del seguente iter operativo:

- screening dei rischi fisici dell'attività economica legati al clima che possono influenzarne il rendimento durante l'arco di vita previsto;
- verifica dell'entità del rischio climatico e della vulnerabilità;
- soluzioni correttive al fine di ridurre il rischio fisico emerso dalla valutazione

Le caratteristiche del clima della Campania e dello scenario atteso nel prossimo futuro in funzione delle variazioni in corso sono state ricostruite nel rapporto **Strumenti tecnici e indirizzi operativi per l'elaborazione dello “studio di valutazione climatica” – pilastro adattamento**, attraverso una proiezione a scala comunale degli indicatori climatici resi disponibili a seguito dell'approvazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici attraverso il Sistema Nazionale per l'Elaborazione e la Diffusione di Dati Climatici (SCIA) – sezione clima futuro, alimentato da ISPRA in collaborazione con enti nazionali e regionali titolari delle principali reti di monitoraggio meteo-climatico in Italia e diffusi attraverso la Piattaforma Nazionale Adattamento Cambiamenti Climatici.

La Campania rappresenta una di quelle regioni italiane che maggiormente potrà essere interessata dagli effetti dei cambiamenti in corso: con la sua diversità geografica e territoriale, presenta una varietà di climi che spaziano dal mediterraneo delle zone costiere e della pianura al clima montano delle aree interne e montuose; la presenza di vaste aree del territorio interessate da rischio idrogeologico, da frane o erosione costiera, il livello di antropizzazione e la densità abitativa in altre aree, rappresentano fattori in grado di incrementare i rischi e la vulnerabilità del territorio ai cambiamenti climatici.

Questa varietà di condizioni climatiche e territoriali contribuisce alla ricchezza ambientale e agricola della regione, ma richiede anche strategie adattive specifiche per affrontare i cambiamenti climatici e le loro conseguenze.

In particolare, l'andamento delle temperature registrate negli ultimi anni (2005-2007) dimostra come rispetto al trentennio di riferimento vi sia un incremento dei valori di temperatura misurati fino a 1-2°C mediamente.

In particolare, in Campania, tra il 12 e il 16 luglio 2023 si sono registrate ondate di caldo anomale.

5.2.1. CONDIZIONE CLIMATICA ATTESA NEL FUTURO

Per quanto invece attiene gli scenari climatici attesi nel futuro (RCP4.5 e l'RCP8.5), la versione del PNACC riporta le aree del territorio omogenee in termini di anomalia climatica attesa (ogni area individuata è denominata cluster).

Lo scenario RCP4.5 (“*Forte mitigazione*”) assume la messa in atto di alcune iniziative per controllare le emissioni. Sono considerati scenari di stabilizzazione: entro il 2070 le emissioni di CO₂ scendono al di sotto dei livelli attuali (400 ppm) e la concentrazione atmosferica si stabilizza, entro la fine del secolo, a circa il doppio dei livelli preindustriali.

In RCP6.0, le emissioni di CO₂ continuano a crescere fino a circa il 2080; le concentrazioni impiegano più tempo a stabilizzarsi e sono circa il 25% superiori rispetto ai valori di RCP4.5.

Lo scenario RCP8.5 (“*Business-as-usual*”) assume una crescita delle emissioni ai ritmi attuali.

Entro il 2100, si attendono concentrazioni atmosferiche di CO₂ triplicate o quadruplicate (840-1120 ppm) rispetto ai livelli preindustriali (280 ppm). Lo scenario RCP 8.5 risulta caratterizzato dal verificarsi di un consumo intensivo di combustibili fossili e dalla mancata adozione di qualsiasi politica di mitigazione con un conseguente innalzamento della temperatura globale pari a +4-5°C rispetto ai livelli preindustriali atteso per la fine del secolo.

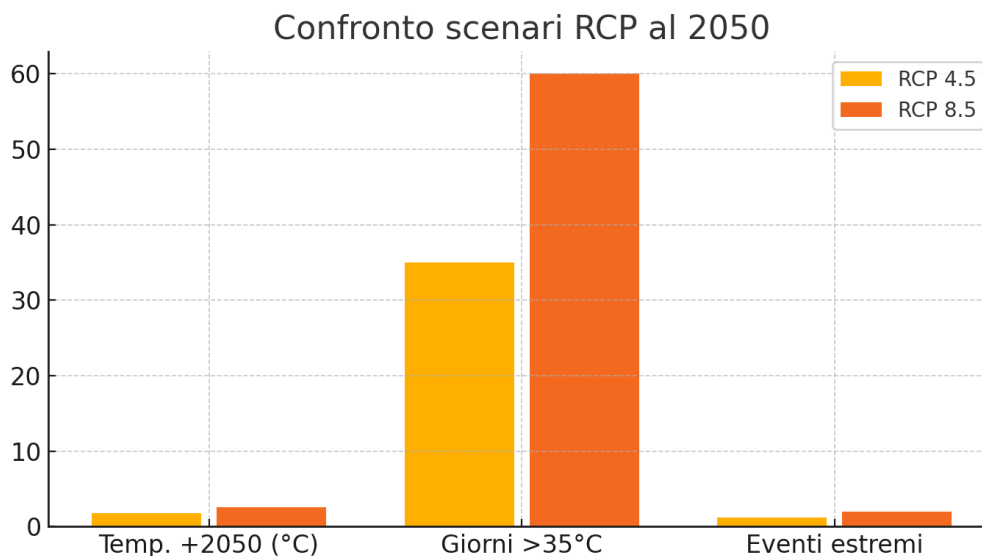
L'analisi dei cluster è stata svolta per due differenti scenari di concentrazione delle emissioni in atmosfera sviluppati dall'IPCC, l'RCP4.5 e l'RCP8.5.

Per quanto attiene lo scenario RCP8.5 la Regione Campania risulta appartenere a due tipologie di cluster: cluster A e cluster C, con una piccola parte costiera.

Tali cluster hanno le seguenti caratteristiche:

Cluster A (piovoso invernale-secco estivo): il cluster A è interessato da un aumento delle precipitazioni invernali (valore medio dell'aumento pari al 13%) e da una riduzione di quelle estive (valore medio della riduzione pari all' 11%). Inoltre si osserva una riduzione significativa sia dei *frost days* (di 23 giorni/anno) che della copertura nevosa (di 20 giorni/anno);

Cluster C (piovoso-caldo estivo): il cluster C è interessato da un aumento sia delle precipitazioni invernali che di quelle estive e da un aumento significativo dei fenomeni di precipitazione estremi (valore medio dell'aumento pari al 13%). Infine, si osserva un aumento rilevante dei *summer days* (di 12 giorni/anno).



5.2.2. TEMPERATURE MEDIE

Le temperature medie annue sono di circa 10°C nelle zone montuose interne, 18°C nelle zone costiere e 15,5 °C nelle pianure interne circondate da rilievi carbonatici.

In Campania la correlazione tra la temperatura e l'altitudine é estremamente alta (generalmente >0,9), con un gradiente compreso fra -0,5°C e -0,7°C ogni 100 m (*Ducci, 2008*) e ciò consente di stimare con metodologie geostatici che i valori medi di temperatura per l'intero territorio regionale.

A livello nazionale l'area climatica in cui è compresa la regione Campania risulta essere mediamente quella con temperature elevate.

Le proiezioni climatiche per l'area di „, basate sul modello regionale EURO-CORDEX, indicano un aumento significativo delle temperature medie nei prossimi decenni. Entro il 2080, si prevede un incremento di 3.3°C rispetto ai valori attuali nello scenario RCP8.5, con una variabilità stagionale che comporterà picchi estivi fino a 4.5°C superiori ai valori odierni. L'incremento termico risulta progressivo ma non lineare, con un aumento di circa 0.8°C già entro il 2030 e di 1.7°C entro il 2050, evidenziando un'accelerazione del fenomeno nella seconda metà del secolo, particolarmente marcata nel periodo giugno-settembre.

Questo aumento delle temperature influenzerà direttamente i processi biologici dell'impianto di depurazione ASI „, con una riduzione stimata del 15-20% dell'efficienza dei sistemi di aerazione convenzionali quando le temperature superano i 25°C. La solubilità dell'ossigeno a 28°C risulta infatti

inferiore del 25% rispetto a quella a 15°C, compromettendo i processi aerobici che costituiscono il nucleo del trattamento secondario dell'impianto.

In particolare, l'aumento delle temperature medie comporterà questi effetti specifici sui processi depurativi dell'impianto:

- Alterazione della cinetica delle reazioni biologiche, con un incremento del 7-10% del tasso metabolico dei batteri nitrificanti per ogni grado di aumento sopra i 20°C, ma anche un rischio di proliferazione di Nocardia e altri batteri filamentosi quando le temperature superano i 26°C per periodi prolungati;
- Riduzione della solubilità dell'ossigeno nell'acqua, con un aumento stimato del consumo energetico per l'aerazione del 12-18% entro il 2050 per mantenere la concentrazione minima di 2 mg/L di ossigeno disciolto necessaria per i processi biologici nelle vasche di ossidazione;
- Aumento dell'evaporazione dalle superfici liquide esposte (stimato in 0.8-1.2 mm/giorno aggiuntivi in estate), con un incremento potenziale del 5-8% della concentrazione di solidi sospesi nelle vasche di sedimentazione durante i periodi più caldi;
- Formazione di stratificazioni termiche nelle vasche profonde oltre 4 metri, con differenziali di temperatura che potrebbero raggiungere i 3-4°C tra superficie e fondo nei mesi estivi, compromettendo l'uniformità dei processi di fanghi attivi;

Nello scenario RCP8.5, le temperature estive dell'acqua nelle vasche esposte potrebbero raggiungere i 30-32°C nei periodi più caldi, valori critici per il processo di nitrificazione che mostra un declino significativo dell'efficienza (fino al 40%) sopra i 28°C. I batteri autotrofi nitrificanti Nitrosomonas e Nitrobacter, cruciali per la rimozione dell'azoto ammoniacale, risultano particolarmente sensibili agli shock termici, con una riduzione dell'attività del 50% quando la temperatura supera i 35°C per più di 6 ore consecutive.

5.2.3. PRECIPITAZIONI

I modelli previsionali regionali evidenziano una riduzione delle precipitazioni medie annuali dell'11% ($\pm 3\%$) entro il 2050, con un drastico calo del 35% nei mesi estivi (giugno-agosto) e un incremento del 18% nei mesi autunnali (settembre-novembre).

Gli eventi di precipitazione estrema (>75 mm/24h) aumenteranno del 27% in frequenza, con un incremento dell'intensità oraria del 40% rispetto ai valori attuali.

La portata di picco per eventi con tempo di ritorno ventennale passerà dagli attuali 130 m³/s a circa 175 m³/s entro il 2050, con conseguente innalzamento dei livelli di piena del torrente adiacente all'impianto di 0,75-0,90 metri.

Durante gli eventi estremi, l'impianto dovrà gestire portate in ingresso fino a 5 volte superiori alla portata media di progetto, con concentrazioni di solidi sospesi che potranno raggiungere i 1.200-1.500 mg/L a causa del dilavamento delle superfici urbane.

I sistemi di grigliatura e dissabbiatura dovranno essere dimensionati per gestire queste portate di picco, con una capacità di bypass controllato almeno del 200% rispetto ai valori attuali.

Nei periodi di siccità prolungata, previsti aumentare da 15-20 giorni/anno a 40-45 giorni/anno consecutivi senza precipitazioni significative, il BOD in ingresso potrà incrementare del 25-30% (da 300 mg/L a 380-400 mg/L), richiedendo un adeguamento dei dosaggi di reagenti nei trattamenti chimico-fisici e un aumento della capacità di aerazione nei trattamenti biologici del 20-25%.

5.2.4. EVENTI ESTREMI

Le analisi modellistiche elaborate dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Campania indicano che entro il 2050 la frequenza di eventi temporaleschi con intensità superiore a 40 mm/h aumenterà del 22,5% nell'area di Flumeri - ,.

Le celle temporalesche estive diventeranno più energetiche, con un incremento dell'energia convettiva potenziale (CAPE) del 15-20%, generando grandinate con chicchi di diametro superiore ai 2 cm con frequenza triplicata rispetto al periodo 1990-2020.

Le raffiche di vento durante questi eventi potranno superare i 100 km/h con frequenza quinquennale anziché decennale, aumentando il rischio di danneggiamento delle strutture aeree dell'impianto.

L'area dell'impianto, situata a 300 metri dal torrente principale con un dislivello di soli 4,8 metri rispetto al livello di piena ordinaria, presenta un tempo di corrivazione ridotto a 2,1 ore (rispetto alle 2,8 ore storiche) a causa dell'impermeabilizzazione del bacino a monte. Le simulazioni idrauliche bidimensionali effettuate considerando un evento con tempo di ritorno di 100 anni nello scenario climatico 2050 mostrano un potenziale allagamento della zona di pretrattamento con battenti idrici fino a 0,75 metri, con velocità della corrente di 2,1 m/s, sufficienti a causare danni strutturali alle apparecchiature non adeguatamente protette.

5.2.5. IMPATTI INDIRETTI

I cambiamenti climatici comporteranno significativi impatti indiretti sull'impianto. La domanda idrica pro-capite nel periodo estivo aumenterà del 22-25% entro il 2050, con una riduzione dei consumi medi giornalieri del 15-18% a causa della diminuzione delle disponibilità idriche.

Tale fenomeno determinerà un incremento della concentrazione dei reflui del 12-15% nei periodi critici. La temperatura più elevata nel sistema fognario (aumento previsto di 2,5-3°C) accelererà i processi di solfatoriduzione, con produzione di H₂S superiore del 35-40% rispetto ai valori attuali, causando maggiore corrosione delle infrastrutture in calcestruzzo (0,8-1,2 mm/anno) e acciaio (0,3-0,5 mm/anno) e problemi di odori molesti. I black-out elettrici dovuti a eventi meteorologici estremi aumenteranno in frequenza del 30% e in durata media del 45%, richiedendo sistemi di generazione d'emergenza dimensionati per garantire almeno 72 ore di funzionamento autonomo dei processi critici dell'impianto, con potenza installata non inferiore al 75% del fabbisogno di picco.

5.3. AZIONI DI ADATTAMENTO

La fase della valutazione del rischio prevede il calcolo della vulnerabilità, ovvero la tipologia di rischio per ogni evento climatico moltiplicata alla capacità di adattamento del cluster, considerando per capacità di adattamento l'insieme delle misure esistenti in grado di ridurre gli effetti del cambiamento climatico.

Lo studio relativo agli “Strumenti tecnici e indirizzi operativi per l'elaborazione dello “studio di valutazione climatica” – pilastro adattamento”, approvato con Decreto dirigenziale n 187 del 13/09/2024, a pag. 47 riporta le potenziali tipologie di misure di mitigazione che potranno essere adottate in base ai diversi pericoli, per le differenti tipologie di infrastrutture.

Nel caso specifico, la “Tabella 5. Misure di mitigazione per Impianti di depurazione”, di seguito riportata, individua le seguenti misure di mitigazione:

Tabella 5. Misure di mitigazione per Impianti di depurazione

Pericoli climatici	Tipologie di misure di mitigazione
Precipitazioni Intense e concentrate (PC) Precipitazioni Intense e persistenti (PP)	- Interventi di messa in sicurezza rischio frana e idrogeologico attraverso opere civili e/o infrastrutture verdi - Impiego di tubazioni ad elevata resistenza meccanica con giunti elastici - Aumento della capacità di trattamento e pompaggio - Installazione di unità di trattamento secondario (ad esempio, vasche di ossidazione) - Sistemi di bypass controllati, vasche di espansione o laminazione, bacini di ritenzione temporanea e scaricatori di piena - Creazione di sistemi di gestione delle acque piovane separati dalla rete fognaria (reti duali per acque reflue e piovane) - Sistemi di telecontrollo, monitoraggio e modellazione previsionale - Ripristino e protezione di aree umide per favorire la naturale attenuazione delle piene - Infrastrutture verdi (es. tetti verdi, pavimentazioni permeabili) per favorire infiltrazione naturale - Manutenzione e controllo delle infrastrutture/impianti - Adegamenti delle opere di fondazione - Sonde di livello e adeguamento soglie di sicurezza idraulica allo scarico
Ondate di caldo (C) Siccità (S)	- Impiego di tubazioni con protezioni esterne - Monitoraggio della qualità delle acque reflue - Potenziamento dei sistemi di trattamento considerando condizioni di maggiore evaporazione - Coperture o ombreggiature privilegiando sistemi naturali - Manutenzione e controllo delle infrastrutture/impianti - Adozione di tecnologie di riutilizzo e riciclo - Sistemi di scambio termico - Sistemi di controllo delle temperature nel comparto biologico - Sistemi di trattamento delle emissioni odorigene - Addizione di sostanze nutritive
	- Sistemi di raffreddamento e aerazione o coperture per serbatoi e vasche, per evitare l'evaporazione eccessiva - Implementazione di piani di emergenza
Inondazione e erosione costiera (I)	- Impiego di tubazioni con protezioni esterne - Sistemi di telecontrollo, monitoraggio e modellazione previsionale - Barriere fisiche come dighe e frangiflutti - Misure di protezione e ripristino di ecosistemi costieri naturali (ad es. dune e mangrovie)
Ondate di freddo (F)	- Impiego di tubazioni e vasche con protezioni esterne - Sistemi di telecontrollo, monitoraggio e modellazione previsionale - Implementazione di piani di emergenza - Adozione di tecnologie per lo scongelamento rapido - Addizione di consorzi microbici nel comparto biologico - Manutenzione e controllo delle infrastrutture/impianti
Tempeste di vento (V).	- Copertura delle vasche - Rafforzamento delle strutture fisiche e degli impianti, dei sistemi di ancoraggio - Sistemi di backup energetico (generatori di riserva) - Adozione di materiali e tecnologie resistenti - Manutenzione e controllo delle infrastrutture/impianti

Fonte: “Strumenti tecnici e indirizzi operativi per lo studio di valutazione climatica” – Pilastro Adattamento

Pertanto, sono stati individuati le seguenti misure di adattamento e mitigazione:

5.3.1. ADATTAMENTO ALL'AUMENTO DELLE TEMPERATURE

Le nuove apparecchiature elettromeccaniche previste nel progetto di revamping (compressori modello ECO-75 con efficienza del 95%, pompe Grundfos serie CR con classe energetica A+++, soffianti a lobi rotanti con capacità di funzionamento fino a 50°C) sono state selezionate considerando la loro resistenza a temperature operative superiori a 40°C. Questi motori garantiscono una riduzione dei consumi energetici del 32,5% rispetto ai modelli attualmente installati, con un risparmio annuo stimato di 47.500 kWh e una diminuzione della temperatura operativa di 7°C nelle sale macchine.

5.3.2. ADATTAMENTO AGLI EVENTI DI PRECIPITAZIONE ESTREMA

Si prevede l'installazione di due pompe sommergibili Flygt NP 3171 HT da 50mc/h con prevalenza di 10 metri, dimensionate per gestire picchi di portata fino a 100 mc/h durante eventi di precipitazione intensa. Le pompe saranno dotate di inverter Danfoss FC 202 per modulare la portata in funzione delle reali necessità, migliorando l'efficienza energetica complessiva del sistema del 15% rispetto alla configurazione attuale.

Si prevede l'installazione di 140 diffusori EPDM Sanitaire Silver Series II di aria a bolle fini per vasca (diametro 9 mm), che migliorano l'efficienza del trattamento del 35% anche in condizioni di diluizione variabile degli inquinanti.

I diffusori, con SOTE (Standard Oxygen Transfer Efficiency) del 6,5% per metro di immersione, sono stati selezionati per la loro resistenza all'intasamento e per l'elevata efficienza di trasferimento dell'ossigeno (4,5 kgO₂/kWh), caratteristiche essenziali per mantenere l'efficacia del processo biologico anche durante eventi di pioggia intensa quando il refluo risulta più diluito ma con portate maggiori fino al 200% del flusso ordinario. Questo sistema consente inoltre una significativa riduzione dei consumi energetici del 28% rispetto ai sistemi tradizionali, con un tempo di ammortamento previsto di 3,5 anni.

Si prevede la sostituzione del gruppo elettrogeno esistente da 120kW con un gruppo diesel FPT-Iveco NEF N67TE2A da 200kW (250 kVA), dotato di batterie al litio ferro fosfato da 30 kWh alimentate in continuo, per garantire la continuità operativa anche in caso di interruzioni dell'alimentazione elettrica durante eventi meteorologici estremi. Il sistema è progettato per entrare in funzione automaticamente entro 10 secondi dall'interruzione della fornitura elettrica principale, con tempo di commutazione inferiore a 0,8 secondi, garantendo il funzionamento di tutte le apparecchiature critiche dell'impianto. Il serbatoio

del carburante da 850 litri è dimensionato per assicurare un'autonomia di 72 ore a pieno carico, sufficiente a coprire anche eventi prolungati di maltempo, con consumi di 27 litri/ora al 75% del carico.

5.3.3. ADATTAMENTO AI PERIODI DI SICCITÀ

L'installazione di diffusori di aria a bolle fini e di soffianti ad alta efficienza consente di ottimizzare i processi biologici anche in condizioni di elevata concentrazione degli inquinanti, tipica dei periodi di siccità con ridotta diluizione. Questo sistema permette una riduzione del consumo energetico fino al 25% rispetto ai sistemi tradizionali, mantenendo l'efficacia del trattamento anche con variazioni significative del carico inquinante.

Il sistema di dosaggio dei carboni attivi in polvere, con portata fino a 25 Kg/h, permette di migliorare l'efficienza di rimozione degli inquinanti anche in condizioni critiche. Questo approccio garantisce una capacità di adsorbimento ottimale per microinquinanti e sostanze recalcitranti che potrebbero concentrarsi durante i periodi di siccità.

6. VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA E DELLE EMISSIONI DI GAS SERRA

In linea con il principio dell'efficienza energetica al primo posto (*Energy Efficient First*) e con l'obiettivo della neutralità climatica per il 2050, è stata effettuata una valutazione dettagliata dell'impatto energetico e delle emissioni di gas serra associate agli interventi di revamping proposti per l'impianto di depurazione di Valle Ufita, nel comune di FLUMERI.

La stima dei risparmi energetici conseguibili grazie agli interventi di revamping proposti è stata effettuata considerando il miglioramento dell'efficienza energetica delle apparecchiature installate rispetto a quelle esistenti.

L'analisi ha preso in esame i consumi attuali dell'impianto e ha proiettato i risparmi attesi sulla base delle specifiche tecniche delle nuove apparecchiature e dei dati di performance forniti dai produttori.

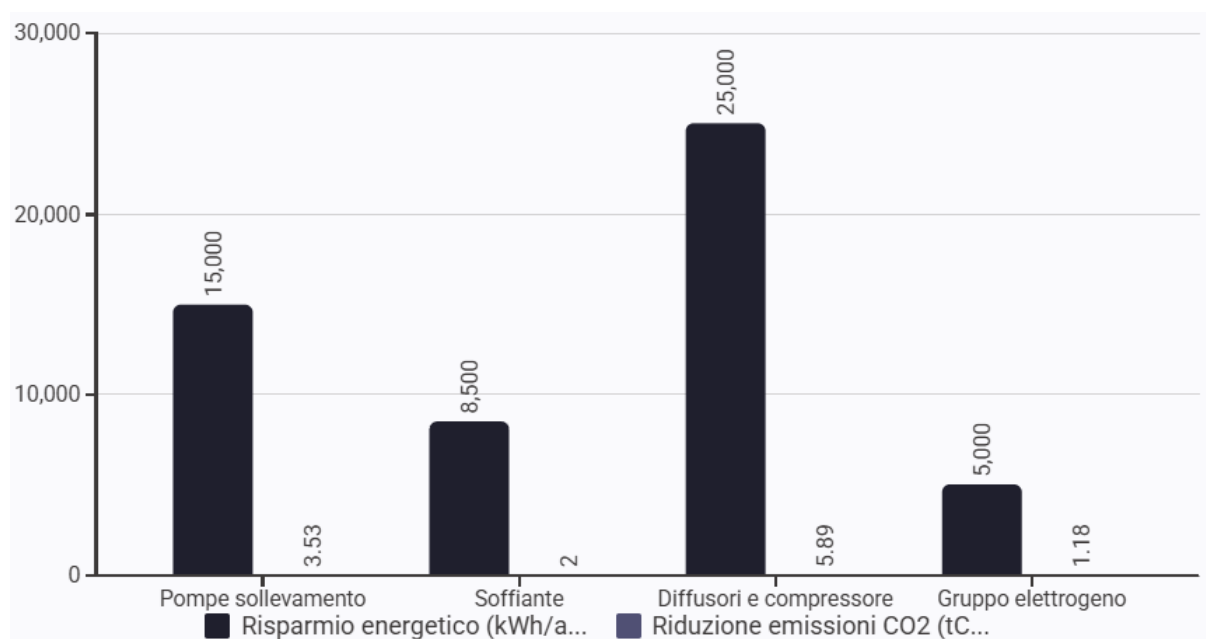
La metodologia applicata ha considerato sia il funzionamento a pieno carico che a carico parziale delle apparecchiature, simulando il ciclo operativo dell'impianto nelle diverse condizioni stagionali e di portata. Questo approccio ha consentito di ottenere una stima più accurata e realistica dei benefici energetici attesi.

La stima delle riduzioni di emissioni di CO₂ è stata effettuata utilizzando il fattore di emissione di 235,6 gCO₂/kWh, desunto a pag. 103 del Rapporto dell'Istituto per la Protezione e la Ricerca Ambientale

(ISPRA) n 404/2024 del 04/09/2024, dal titolo "Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico".

Oltre alla riduzione diretta delle emissioni di CO₂ quantificata in 12,60 tCO₂/anno, gli interventi di efficientamento proposti contribuiranno anche a:

- Ridurre le emissioni di altri inquinanti atmosferici associati alla produzione di energia elettrica, come ossidi di azoto (NOx) e particolato;
- Diminuire l'impatto ambientale complessivo dell'impianto durante il suo ciclo di vita;
- Contribuire al raggiungimento degli obiettivi regionali e nazionali di riduzione delle emissioni di gas serra.



Il grafico illustra i risparmi energetici stimati e le corrispondenti riduzioni di emissioni di CO₂ per ciascuno degli interventi di revamping proposti. Come si può osservare, l'installazione di nuovi diffusori e compressore rappresenta l'intervento con il maggiore impatto in termini di risparmio energetico e riduzione delle emissioni, seguito dalla sostituzione delle pompe di sollevamento.

Nel dettaglio, l'intervento sui diffusori e compressore porterà a un risparmio energetico di 25.000 kWh/anno, corrispondente a circa il 47% del risparmio energetico totale previsto. Questo si traduce in una riduzione di 5,89 tonnellate di CO₂ all'anno.

La sostituzione delle pompe di sollevamento, che rappresenta il secondo intervento più significativo, consentirà un risparmio di 15.000 kWh/anno (circa il 28% del totale) con una conseguente riduzione di 3,53 tonnellate di CO₂ annue.

Gli interventi sulla soffiante a canale laterale e sul gruppo elettrogeno, seppur con un impatto minore in termini assoluti, contribuiranno rispettivamente al risparmio di 8.500 kWh/anno e 5.000 kWh/anno, con riduzioni di CO₂ pari a 2 e 1,18 tonnellate annue. Questi interventi, apparentemente meno significativi, sono comunque fondamentali per l'ottimizzazione complessiva dell'efficienza dell'impianto.

Complessivamente, gli interventi di revamping permetteranno un risparmio energetico annuo di 58.600 kWh, equivalente al consumo elettrico medio annuale di circa 20 famiglie italiane. In termini ambientali, la **riduzione totale di 13,80 tonnellate di CO₂ all'anno** corrisponde all'assorbimento di anidride carbonica di circa 630 alberi adulti in un anno, contribuendo significativamente agli obiettivi di sostenibilità ambientale del progetto.

È importante sottolineare che questi benefici ambientali si estenderanno per tutta la vita utile delle nuove apparecchiature installate, stimata in almeno 15-20 anni, generando quindi un impatto positivo cumulativo considerevole nel lungo periodo. Inoltre, i risparmi energetici si tradurranno anche in benefici economici diretti, con una riduzione dei costi operativi dell'impianto di depurazione che migliorerà la sostenibilità finanziaria della gestione.

7. CONCLUSIONI

La verifica climatica (climate proofing) degli interventi di revamping dell'impianto di depurazione di Flumeri - , ha evidenziato la necessità di adottare misure di adattamento specifiche per aumentare la resilienza dell'infrastruttura ai cambiamenti climatici previsti per la zona dell'Irpinia, in particolare all'aumento delle temperature medie di 1,5-2°C entro il 2050, agli eventi di precipitazione estrema con intensità fino a 100 mm/24h, ai periodi di siccità prolungati fino a 60 giorni consecutivi e al crescente rischio idrogeologico dovuto all'instabilità dei versanti collinari circostanti.

Gli interventi proposti, definiti in conformità con il Regolamento (UE) 2021/1060 e con le linee guida tecniche della Commissione Europea C(2021) 5430, sono stati progettati integrando soluzioni tecniche avanzate che rendono l'impianto "a prova di clima" in un orizzonte temporale di almeno 30 anni.

In particolare, il dimensionamento dei nuovi diffusori a bolle fini tiene conto dell'aumento delle temperature dell'acqua fino a 28°C nei mesi estivi, garantendo un'efficienza di ossigenazione ottimale anche in queste condizioni critiche.

Per quanto riguarda la mitigazione, l'ottimizzazione dei processi biologici attraverso i nuovi diffusori porterà a un abbattimento più efficiente del carico organico (rendimento previsto del 95% rispetto all'attuale 88%), con conseguente riduzione della produzione di fanghi di circa il 15%. Le nuove pompe di sollevamento, dotate di inverter e sistemi di controllo intelligenti, opereranno a regimi ottimali in funzione della portata effettiva in ingresso, riducendo i picchi di consumo del 40% rispetto alla configurazione attuale.

In conclusione, il revamping dell'impianto di depurazione di Flumeri, rappresenta un caso esemplare di integrazione degli obiettivi del Green Deal europeo nella progettazione delle infrastrutture idriche.

L'approccio adottato, che ha permesso di quantificare in 13,80 tonnellate/anno la riduzione di CO₂ e di innalzare la resilienza dell'impianto a eventi climatici con tempo di ritorno fino a 50 anni, costituisce un modello replicabile per gli altri 47 impianti di depurazione gestiti nell'area dell'Irpinia, potenzialmente generando un effetto moltiplicatore con riduzioni complessive stimate in oltre 500 tonnellate di CO₂/anno a livello territoriale.

Caserta, 26/06/2025

Il tecnico redattore
ARCHITETTO
**GIOVANNI
RUSSO**
ISCRITTO ALL'ALBO
N. 1331



STUDIO DI VALUTAZIONE CLIMATICA (CLIMATE PROOFING)

Consorzio per l'Area di Sviluppo Industriale della Provincia di Avellino

IMPIANTO E e F – NUSCO (AV)

Area geografica

Regione **CAMPANIA**

Provincia di **AVELLINO**

Comune di **NUSCO (AV)**

Ubicazione intervento

Contrada Fiorentina ZONA ASI – NUSCO (AV)

Tecnico

arch. GIOVANNI RUSSO

Revisione n° 1



Data elaborazione: 26/06/2025

Sommario

1.	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
2.	METODOLOGIA DELLA VERIFICA CLIMATICA	3
2.1.	FASE DI SCREENING	4
2.2.	FASE DI ANALISI DETTAGLIATA	4
3.	AREA DI INTERVENTO	5
3.1.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
3.2.	DESCRIZIONE DEL SITO PRODUTTIVO	7
3.3.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI	8
4.	DEFINIZIONE E AMBITO DELLA NEUTRALITÀ CLIMATICA	9
4.1.	SCREENING FASE 1	10
4.2.	ANALISI DETTAGLIATA FASE 2	14
4.2.1.	CALCOLO DETTAGLIATO DELLE EMISSIONI EX ANTE	14
4.2.2.	IDENTIFICAZIONE DI MISURE DI MITIGAZIONE	15
4.2.3.	VALUTAZIONE DELL'ALLINEAMENTO CON GLI OBIETTIVI CLIMATICI	16
5.	DEFINIZIONE E AMBITO DI RESILIENZA CLIMATICA	17
5.1.	SCREENING FASE 1	19
5.1.1.	ANALISI DELLA SENSIBILITÀ	19
5.1.2.	ANALISI DELL'ESPOSIZIONE	21
5.1.3.	ANALISI DELLA VULNERABILITÀ	23
5.2.	ANALISI DETTAGLIATA – FASE 2 (ADATTAMENTO)	26
5.2.1.	CONDIZIONE CLIMATICA ATTESA NEL FUTURO	27
5.2.2.	TEMPERATURE MEDIE	29
5.2.3.	PRECIPITAZIONI	31
5.2.4.	EVENTI ESTREMI	32
5.2.5.	IMPATTI INDIRETTI	33
5.3.	AZIONI DI ADATTAMENTO	33
5.3.1.	ADATTAMENTO ALL'AUMENTO DELLE TEMPERATURE	35
5.3.2.	ADATTAMENTO AGLI EVENTI DI PRECIPITAZIONE ESTREMA	35
5.3.3.	ADATTAMENTO AI PERIODI DI SICCITÀ	36
6.	VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA E DELLE EMISSIONI DI GAS SERRA	36
7.	CONCLUSIONI	38

1. RIFERIMENTI NORMATIVI

Il Regolamento sulle Disposizioni Comuni (Regolamento (UE) 2021/1060 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 24 giugno 2021 - RDC) definisce all'art. 2, paragrafo 42, l'**immunizzazione dagli effetti del clima** come *“un processo volto a evitare che le infrastrutture siano vulnerabili ai potenziali impatti climatici a lungo termine, garantendo nel contempo che sia rispettato il principio dell'efficienza energetica al primo posto e che il livello delle emissioni di gas a effetto serra derivanti dal progetto sia coerente con l'obiettivo della neutralità climatica per il 2050”*. Per rendere operativi questi principi, ai sensi dell'art. 73.2 j) del RDC, è necessario garantire che tutti gli investimenti in **infrastrutture la cui durata attesa è di almeno cinque anni, siano immuni dagli effetti del clima**.

La metodologia utilizzata per effettuare la verifica climatica è quella descritta nella Comunicazione della Commissione Europea **“Orientamenti tecnici per infrastrutture a prova di clima nel periodo 2021-2027”** (2021/C 373/01), nel documento **“Indirizzi per la verifica climatica dei progetti infrastrutturali in Italia per il periodo 2021-2027”** e, infine negli **“Strumenti tecnici e indirizzi operativi per l'elaborazione dello “studio di valutazione climatica” – pilastro adattamento”**, approvato con Decreto dirigenziale n 187 del 13/09/2024.

In coerenza con i suddetti Orientamenti tecnici, si specifica **che la valutazione delle vulnerabilità e dei rischi climatici è volta a individuare, valutare e attuare le misure di adattamento ai cambiamenti climatici in relazione al sito in cui si collocano gli interventi e al tipo di progetto**.

2. METODOLOGIA DELLA VERIFICA CLIMATICA

Il processo della verifica climatica è suddiviso in due pilastri di analisi:

A. neutralità climatica/mitigazione: si concentra sulla riduzione delle emissioni di gas serra e sull'allineamento del progetto con gli obiettivi climatici dell'UE;

B. resilienza climatica/adattamento: si focalizza sulla valutazione della vulnerabilità dell'infrastruttura ai cambiamenti climatici e sull'adozione di misure per aumentarne la resilienza.

Ciascuno dei due pilastri è caratterizzato da due fasi (screening e analisi dettagliata) che per gli impianti di depurazione dell'area ASI Nusco sono state applicate secondo il seguente approccio metodologico.

2.1. FASE DI SCREENING

La verifica climatica prevede un approccio in due fasi. La prima fase è lo screening, che consente di identificare i progetti che necessitano di un'analisi dettagliata. Durante lo screening si valutano due aspetti fondamentali:

- **La neutralità climatica**, che considera l'impatto del progetto sul clima in termini di emissioni di gas serra, efficienza energetica e contributo agli obiettivi climatici dell'UE per il 2050. Nel caso specifico degli impianti di depurazione ASI Nusco, questa valutazione ha incluso l'analisi dei consumi energetici delle pompe di sollevamento, dei sistemi di aerazione e degli apparati di disinfezione, che rappresentano il 78% del consumo energetico totale degli impianti;
- **La resilienza climatica**, che esamina la vulnerabilità del progetto rispetto ai rischi climatici attuali e futuri, valutando la sensibilità dell'infrastruttura agli eventi climatici e la sua esposizione a tali eventi. Per gli impianti in esame, sono stati considerati in particolare i rischi legati alle precipitazioni estreme (con potenziali valori di picco fino a 120 mm/giorno), alle temperature elevate (con massime estive previste fino a 38°C) e ai periodi di siccità (con durate attese fino a 45 giorni consecutivi senza precipitazioni significative).

Durante questa fase preliminare, si determina se il progetto potrebbe avere un impatto significativo sul clima o se potrebbe essere significativamente influenzato dai cambiamenti climatici. In caso affermativo, si procede con la fase di analisi dettagliata. Nel caso degli impianti di depurazione ASI Nusco, lo screening ha evidenziato la necessità di procedere con l'analisi dettagliata a causa della significativa riduzione delle emissioni di CO₂ prevista e dell'elevata vulnerabilità dell'infrastruttura agli eventi meteorologici estremi.

2.2. FASE DI ANALISI DETTAGLIATA

La seconda fase è l'analisi dettagliata, richiesta per i progetti che hanno superato la soglia di rilevanza nella fase di screening. Questa analisi comprende:

- **Per la mitigazione climatica:** calcolo dettagliato dell'impronta di carbonio, identificazione di misure di mitigazione e valutazione dell'allineamento con gli obiettivi climatici. Per gli impianti di depurazione, questo ha comportato la quantificazione delle emissioni dirette (Scope 1) legate ai processi biologici, delle emissioni indirette energetiche (Scope 2) associate al consumo di energia elettrica, e delle emissioni indirette (Scope 3) legate alla catena di approvvigionamento e allo smaltimento dei fanghi di depurazione, con una riduzione complessiva stimata del 33% delle emissioni totali;

- **Per l'adattamento climatico:** valutazione approfondita dei rischi climatici, analisi delle proiezioni climatiche future, elaborazione di strategie di adattamento e implementazione di misure di riduzione del rischio. Per gli impianti ASI Nusco F1 e F2 sono state analizzate le serie storiche meteorologiche degli ultimi 30 anni e le proiezioni climatiche al 2050 secondo gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5 dell'IPCC, con particolare attenzione ai parametri di temperatura, precipitazione e ventosità.

L'analisi dettagliata richiede l'utilizzo di dati climatici specifici per l'area di progetto, valutazioni quantitative delle emissioni di gas serra e analisi costi-benefici delle misure di adattamento proposte. Il risultato finale è una valutazione completa che dimostra come il progetto sia allineato con gli obiettivi climatici dell'UE e come sia stato progettato per resistere agli impatti climatici previsti durante tutto il suo ciclo di vita.

Per il presente studio, la metodologia è stata applicata agli interventi di revamping gli impianti di depurazione ASI Nusco F1 e F2, che includono la sostituzione dei sistemi di aerazione con diffusori a membrana ad alta efficienza, l'installazione di inverter sulle pompe di sollevamento, l'ottimizzazione del sistema di controllo tramite sonde di ossigeno disciolto e redox, e il dimensionamento di vasche di prima pioggia per la gestione degli eventi meteorologici estremi con capacità di 450 m³.

I	Settore di intervento	066 – Raccolta e trattamento delle acque reflue conformemente ai criteri di efficienza energetica
	Verifica climatica richiesta	Screening/Adattamento

3. AREA DI INTERVENTO

3.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area Industriale ASI di Nusco -Lioni -Sant'Angelo dei Lombardi è stata realizzata con la Legge 219/81, che oltre a rappresentare un provvedimento necessario per far fronte agli eventi sismici dell'80, ha cercato di creare nuove opportunità di sviluppo per le aree colpite.

L'agglomerato industriale è ubicato nel Comune di Nusco ad un'altitudine media sul livello del mare di 600 mt; dista 3 km dal centro urbano di Lioni (circa 6.000 ab.), 13 Km dal centro urbano di Nusco (circa 4.400 ab.) e 42 Km dal capoluogo, Avellino.

L'area, in territorio collinare e completamente infrastrutturata, si articola in 20 lotti, tutti occupati, per un'estensione complessiva di 1.068.000 mq.

È comodamente accessibile dalla strada statale 7 (Ofantina Bis), da cui dista solo 0,5 km.

La viabilità interna all'area è ottima. La depurazione dei reflui, sia industriali che civili, avviene mediante un efficiente impianto collocato all'interno dell'area gestito dal Consorzio.

Le attività industriali presenti nell'area riguardano diversi settori; quello prevalente è il metalmeccanico, ma è presente in modo significativo anche quello alimentare.

Le aziende attualmente insediate nell'Area Industriale di Nusco – Lioni – Sant'Angelo dei Lombardi sono in totale 17, per complessivi circa 900 addetti.

Fra le aziende insediate quella che ha il maggior numero di addetti è la SEVES S.p.A., produttrice di vetri tecnici. Sono inoltre presenti nell'area la Desmon S.p.A. con due stabilimenti che si occupa di produzione di frigoriferi, banchi frigo e piani refrigeranti di tipo industriali; la MISTERDAY S.r.L. che produce prodotti alimentari da forno; la SAM S.p.A. che lavora carni suine – bovine ed equine, con produzione di prosciutti crudi, cotti e wurstel; la OCEVI SUD CONSTRUCTION MACHINERY S.r.L. che produce componenti per macchine movimento terra ed industriali.



Immagine 2.1.1 – immagine satellitare del sito dell'impianto Nusco F1

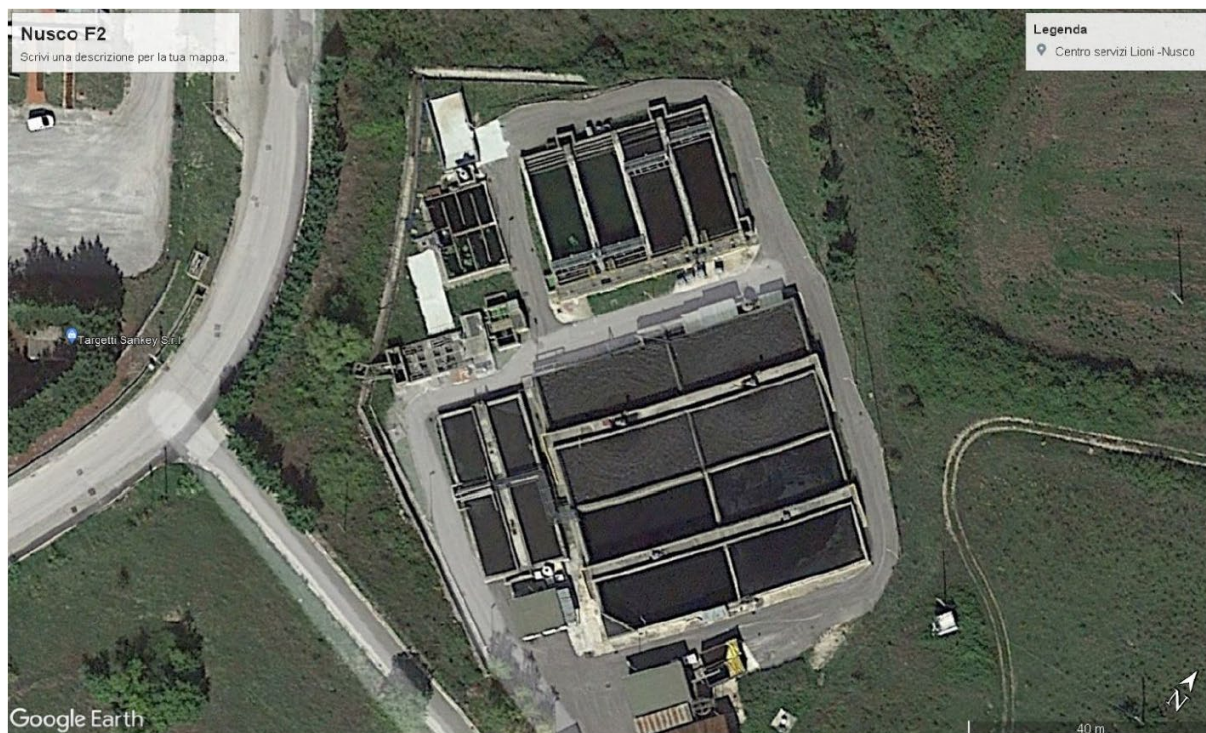


Immagine 2.1.1 – immagine satellitare del sito dell'impianto Nsco F2

Immagine 2.1.2 – immagine della mappa catastale

L'area su cui insistono gli impianti di depurazione è identificata catastalmente al Foglio 65, particella 567 del Comune di Nusco (AV).

3.2. DESCRIZIONE DEL SITO PRODUTTIVO

L'impianto F1, ubicato nel settore nord dell'area industriale di Nusco, si configura come un sistema di trattamento biologico a fanghi attivi di concezione tradizionale, con una potenzialità stimata tra 1.000 e 2.000 abitanti equivalenti (AE).

Gli impianti presenta una morfologia compatta e si articola in vasche circolari e rettangolari, verosimilmente destinate, rispettivamente, alla sedimentazione primaria e secondaria, e alla fase di aerazione.

È caratterizzato dalla presenza di un comparto di grigliatura in testa, seguito da una vasca di equalizzazione o dissabbiatura.

La struttura degli impianti è destinata al trattamento di reflui prevalentemente civili o, in misura limitata, misti civili-industriali. L'edificio è destinato all'alloggiamento di soffianti, quadri elettrici, sistemi di dosaggio chimico e strumentazione di controllo.

L'impianto F2, collocato nel settore sud-orientale della stessa area industriale, rappresenta l'infrastruttura principale per il trattamento delle acque reflue della zona.

Si tratta di un impianto di nuova generazione, dimensionato per una potenzialità pari a circa 12.000 AE, con configurazione modulare e lineare, tipica dei sistemi progettati per elevati carichi idraulici e organici in ambito industriale.

L'impianto si articola in vasche rettangolari disposte in batteria, che suggeriscono una sequenza di trattamento costituita da:

Grigliatura grossolana e fine;

Dissabbiatura e disoleatura;

Equalizzazione del carico idraulico e organico;

Trattamento biologico a fanghi attivi, eventualmente con comparti di nitrificazione/denitrificazione o MBR (bioreattore a membrana);

Sedimentazione secondaria;

Trattamento terziario o disinfezione finale (opzionale, in funzione della normativa di scarico).

La presenza di infrastrutture accessorie ben organizzate, tra cui edifici per il controllo, locali tecnici, viabilità interna e sistemi di sicurezza perimetrale, conferma la natura attiva e strategica dell'impianto.

Tale configurazione consente una flessibilità gestionale elevata e garantisce la conformità alle normative vigenti in materia di scarichi idrici industriali e protezione ambientale, risultando pienamente coerente con gli standard previsti per le aree produttive di media dimensione.

3.3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Gli interventi di revamping previsti in progetto mirano a migliorare l'efficienza degli impianti di depurazione, sia dal punto di vista del trattamento delle acque reflue, sia dal punto di vista energetico. Di seguito sono elencati i principali interventi:

Interventi di revamping previsti in progetto per l'impianto di depurazione F1:

- installazione di GRIGLIA a COCLEA, da installarsi in canale per la grigliatura di acque di scarico con larghezza luce filtrante max 2mm
- pompe di rilancio alla fase successiva con portata 90mc/h con prevalenza di 10m.
- Sostituzione della soffiante con: Soffiante a canale laterale, gas trattato aria, portata Nm³/h 100, temperatura di aspirazione °C 25, pressione in mandata bar 1,5, velocità di rotazione rpm 1.400, potenza installata kW 7,50, potenza assorbita kW 4,50;

- installazione di agitatori ad asse orizzontale con motore diretto per processi di miscelazione, dissoluzione, dispersione e mantenimento. Potenza installata 3.5 kw;
- fornitura e posa in opera di: a) n. 80 diffusori di aria a bolle fini, tipo Cosme TH 340 a disco realizzato in materiale plastico con attacco 3/4" gas maschio con membrana elastometrica con portata in condizioni standard Nm³/h 2 - 12 b) compressori tipo ML65 CB DN100 – Motore asincrono 7,5 kW Premium IE3 - completo di cabina insonorizzante e accessori. Portata 500 Nmc/h;
- installazione di due elettropompe, per ricircolo ed estrazione fanghi, aventi le seguenti caratteristiche: a) portata 30 mc/h b) prevalenza 10 m;
- sostituzione delle pompe di estrazione con le seguenti caratteristiche. a) portata di 20mc/h b) prevalenza 7 metri;
- l'installazione di due gruppi di sollevamento aventi le seguenti caratteristiche: a) portata di 30mc/h b) prevalenza di 100 metri;
- installazione di ultrafiltrazione per il trattamento acque Sirpress per una portata di 20mc/h.

Interventi di revamping previsti in progetto per l'impianto di depurazione F2:

- nuovi agitatori ad asse orizzontale con motore diretto per processi di miscelazione, dissoluzione, dispersione e mantenimento. Potenza installata 3.5 kW;
- l'installazione di nuove pompe di estrazione fanghi per il comparto di sedimentazione secondaria, aventi le seguenti caratteristiche: a) portata 30mc/h b) prevalenza 7,7 metri;
- Nuovo dosatore di riserva con le seguenti caratteristiche: a) portata 0-50 lt/h b) pressione 2 bar;
- Sostituzione del gruppo elettrogeno con gruppo diesel con potenza elettrica erogabile pari a 200kW, dotato di batterie alimentate in continuo e scaldiglia elettrica permanente della testa motore diesel.

4. DEFINIZIONE E AMBITO DELLA NEUTRALITÀ CLIMATICA

Il primo pilastro per effettuare la valutazione del *Climate Proofing* del progetto in esame prevede la valutazione della neutralità climatica, al fine di procedere alla mitigazione dei cambiamenti climatici tramite la decarbonizzazione, il risparmio energetico e l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile.

La mitigazione comporta l'adozione di misure per ridurre le emissioni di gas climalteranti o aumentare il sequestro di carbonio, ed è guidata dagli obiettivi della politica dell'UE in materia di riduzione delle emissioni per il 2030 e il 2050.

Il procedimento prevede quindi la realizzazione delle seguenti due fasi:

- ✓ nella prima fase di screening è necessario effettuare una valutazione per comprendere se il progetto in esame rientra nelle categorie da sottoporre alla stima dell'impronta di carbonio, secondo quanto indicato dagli orientamenti europei;
- ✓ se il progetto richiede effettivamente una valutazione dell'impronta di carbonio, la fase di analisi dettagliata (seconda fase) consente la quantificazione delle emissioni di gas climalteranti in un anno tipo di funzionamento ed il relativo confronto con le soglie di emissioni assolute e relative.

La panoramica del processo relativo alla valutazione della neutralità climatica secondo quanto indicato dagli orientamenti europei è sintetizzato nella figura che segue.

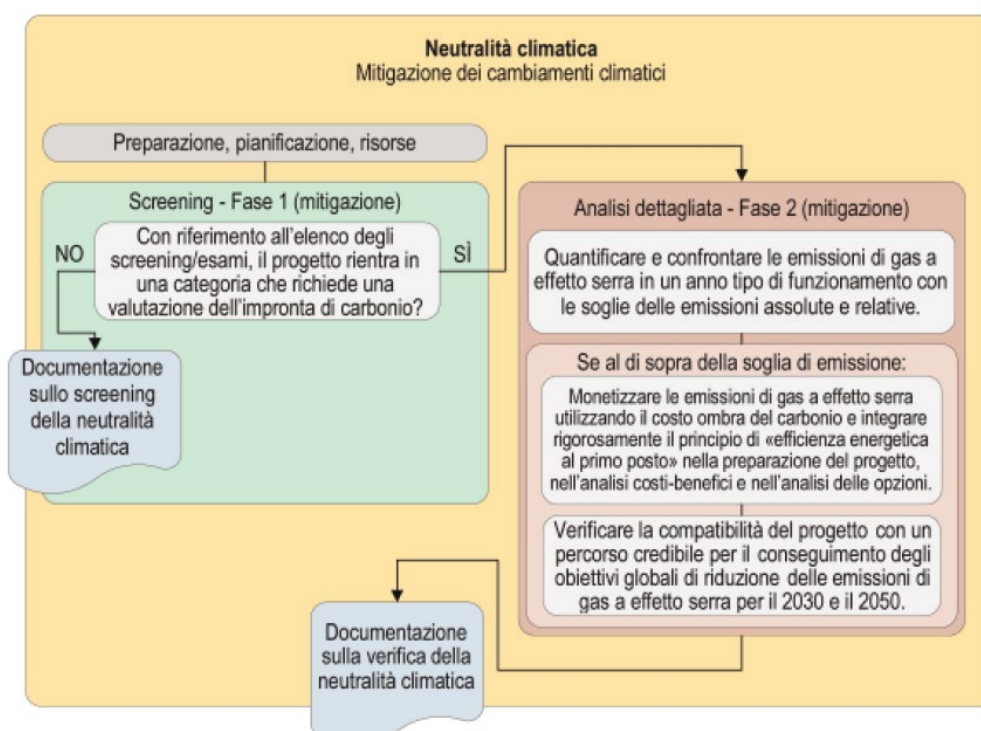


Figura 3.1: Panoramica del processo relativo alla valutazione della neutralità climatica (fonte: Orientamenti tecnici dell'Unione Europea1)

4.1. SCREENING FASE 1

Dagli "Strumenti tecnici e indirizzi operativi per l'elaborazione dello studio di valutazione climatica - pilastro adattamento" si evince che per i settori di investimento, declinati nelle diverse azioni del PR FESR, in presenza di realizzazioni infrastrutturali, sulla base delle Linee guida del DIPCOE "Indirizzi per la verifica climatica dei progetti infrastrutturali in Italia per il periodo 2021-2027 - DPCoe - MASE – JASPERS del 6 ottobre 2023", è necessario condurre una verifica climatica preliminare (screening) e, qualora in questa

fase sia identificata una vulnerabilità **medio-alta**, occorre una analisi dettagliata che individui misure che riducano e/o mitighino i rischi identificati.

Le tipologie di infrastrutture potenzialmente realizzabili nell’ambito dei settori considerati riguardano essenzialmente le infrastrutture edilizie o produttive, quelle legate alla gestione delle risorse idriche, dei rifiuti e alla mobilità, e tra esse è richiamata quella relativa agli “**Impianti di depurazione (trattamento acque reflue industriali e urbane)**”.

Come descritto negli Orientamenti tecnici, l’analisi della sensibilità riguarda il progetto nel suo insieme, considerandone le varie componenti e il modo di operare all’interno di una rete o del sistema più ampio in cui esso si inserisce, in relazione al ruolo funzionale dell’infrastruttura.

L’analisi deve quindi comprendere:

- componenti fisici (assets), attività e processi tecnici propri dell’infrastruttura stessa nella sua specifica ubicazione;
- fattori di produzione necessari al funzionamento dell’infrastruttura, quali acqua ed energia;
- prodotti e servizi originati dall’esercizio dell’infrastruttura;
- collegamenti di accesso e di trasporto necessari al funzionamento dell’infrastruttura, anche se al di fuori del controllo diretto del progetto finanziato.

Nel caso oggetto di intervento, le relazioni complesse tra le anomalie climatiche la tipologia di “infrastruttura (*Impianti di depurazione – trattamento acque reflue industriali e urbane*)” sono quelle riportate al paragrafo 3.2 degli “*Strumenti tecnici e indirizzi operativi per l’elaborazione dello “studio di valutazione climatica”*”, e sono le seguenti:

Variazioni nei flussi di acque reflue: a causa delle variazioni nei modelli di precipitazione, si possono verificare fluttuazioni nei flussi di acque reflue verso gli impianti di depurazione. Questo può comportare un sovraccarico e/o una sottoutilizzazione degli impianti, a seconda delle condizioni locali, compromettendo l’efficienza del trattamento depurativo.

Allagamenti degli impianti: le precipitazioni intense e le inondazioni legate ai cambiamenti climatici possono portare all’allagamento degli impianti di depurazione. Ciò può danneggiare le attrezzature, interrompere l’operatività degli impianti e causare il riversamento di acque reflue non trattate nell’ambiente circostante.

Intrusione salina: l’innalzamento del livello del mare può portare all’intrusione salina nelle acque sotterranee, minacciando le acque di alimentazione degli impianti di depurazione. L’acqua salina può rendere più difficile il trattamento delle acque reflue e richiedere costosi interventi di potenziamento.

Variazioni nella qualità dell'acqua grezza: i cambiamenti climatici possono influenzare la qualità dell'acqua grezza che arriva agli impianti di depurazione. Ad esempio, piogge intense possono trasportare inquinanti come sedimenti, sostanze chimiche e microbiche nelle acque reflue, rendendo più complicato il trattamento.

Aumento delle temperature: le temperature più elevate possono influenzare il processo di trattamento delle acque reflue, con effetti sull'attività microbica, inibendo il processo biologico. Questo potrebbe richiedere modifiche nei processi di trattamento o l'implementazione di sistemi di raffreddamento.

Scarsità d'acqua: in alcune regioni, i cambiamenti climatici possono comportare periodi di siccità e scarsità d'acqua. Questo può influenzare la quantità di acqua disponibile per il trattamento e richiedere misure di conservazione dell'acqua e il riciclaggio delle acque reflue.

Allarme per la salute pubblica: se gli impianti di depurazione non riescono a trattare adeguatamente le acque reflue a causa di problemi legati ai cambiamenti climatici, si possono verificare condizioni di criticità per la salute pubblica, dovute alla presenza di inquinanti e patogeni nelle acque reflue immesse nei corpi recettori.

Tempeste di vento: i venti forti potrebbero arrecare danni alle strutture e sollevare detriti che potrebbero interessare sezioni impiantistiche quali: vasche, canali di drenaggio e altre parti degli impianti di depurazione; inoltre, potrebbero trasportare materiali inquinati (polveri sottili) compromettendo l'efficacia del trattamento delle acque e aumentando i rischi di inquinamento ambientale.

Ondate di freddo: potrebbero causare il congelamento della componentistica idraulica esposte al fenomeno, arrecando danni alle strutture. Inoltre, le basse temperature potrebbero ridurre l'efficienza nella depurazione delle acque e, il cattivo funzionamento degli impianti, potrebbe impattare negativamente sull'ambiente e sulla salute pubblica.

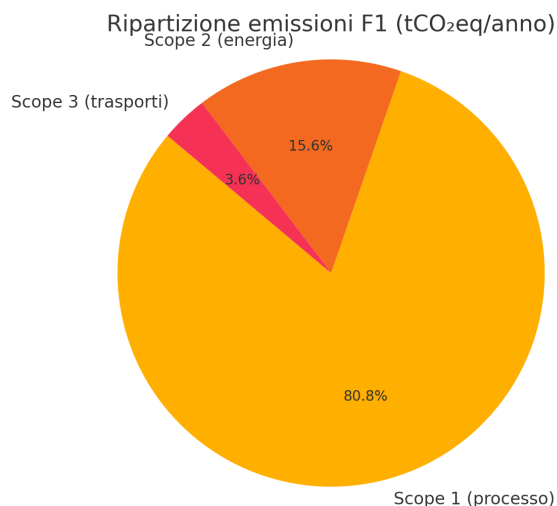
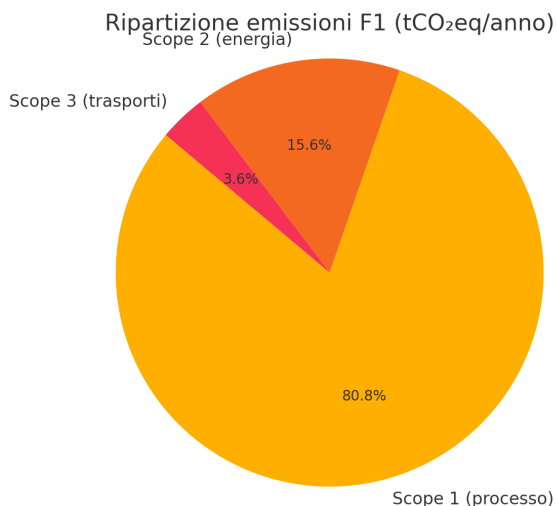
Nel dettaglio, lo screening ha previsto le seguenti attività:

- a) Identificazione di tutte le potenziali fonti di emissione, inclusi i processi biologici di trattamento, i consumi elettrici (con un fattore di emissione della rete elettrica di 235,6 g CO₂/kWh), il trasporto e smaltimento dei fanghi, e l'utilizzo di prodotti chimici come policloruro di alluminio e polielettroliti;
- b) Quantificazione preliminare dei consumi energetici pre e post intervento, basata sui dati storici di funzionamento (70 MWh/anno per F1 e 360 MWh/anno per F2) e sulle specifiche tecniche delle nuove apparecchiature, che promettono una riduzione dei consumi del 31% per le soffianti e del 22% per i sistemi di pompaggio;

Dai risultati preliminari emerge che le principali fonti di emissione sono:

Emissioni di Processo e Trasporto Fanghi (IPCC 2019)		
FATTORE DI EMISSIONE	Impianto F1 (tCO ₂ eq/anno)	Impianto F2 (tCO ₂ eq/anno)
Emissioni da CH ₄ (processo biologico)	13,6	81,6
Emissioni da N ₂ O (nitrificazione/denitrificazione)	54,6	327,6
Trasporto e smaltimento fanghi	3	18
Totale emissioni indirette	71,2	427,2

Bilancio Emissioni Scope 1-2-3 Impianti F1 e F2		
categoria di emissione	Impianto F1 (tCO ₂ eq/anno)	Impianto F2 (tCO ₂ eq/anno)
Scope 1 (processo)	68,2	409,2
Scope 2 (energia)	16,49	84,82
Scope 3 (trasporti)	3	18
Totale emissioni	87,69	512,02



La soglia di significatività per procedere con l'analisi dettagliata è stata fissata considerando sia l'entità assoluta delle emissioni che il potenziale miglioramento derivante dagli interventi. Nello specifico, si è ritenuto necessario procedere con l'analisi dettagliata qualora le emissioni annue stimate superino le

1.000 tonnellate di CO₂ equivalente, o nel caso in cui il progetto possa contribuire a una riduzione significativa (>20%) delle emissioni rispetto allo scenario di riferimento.

Sulla base di questa valutazione preliminare, si è determinato che è necessario procedere con un'analisi dettagliata delle emissioni di gas serra, poiché il progetto di revamping degli impianti F1 e F2 comporta modifiche sostanziali alle apparecchiature elettromeccaniche (sostituzione di 6 pompe, 3 soffianti e 4 mixer) e ai sistemi di controllo (implementazione di inverter e sistemi di controllo automatico dell'ossigeno disciolto), con un potenziale impatto significativo sui consumi energetici e sulle emissioni correlate.

4.2. ANALISI DETTAGLIATA FASE 2

La seconda fase del pilastro adattamento prevede una valutazione dettagliata del rischio climatico, mirata a identificare specifiche criticità cui l'infrastruttura può essere soggetta in funzione degli scenari futuri di cambiamento climatico. Tale valutazione è stata effettuata seguendo gli *"Strumenti tecnici e indirizzi operativi per l'elaborazione dello studio di valutazione climatica – pilastro adattamento"*, approvati con Decreto Dirigenziale n. 187 del 13/09/2024.

In linea con le indicazioni del PNACC 2024, l'analisi si è concentrata sui parametri meteorologici ritenuti maggiormente influenti sul corretto funzionamento di un impianto di depurazione: temperature medie stagionali, eventi estremi (piogge intense, siccità prolungate), ondate di calore e gelate tardive.

In base alle proiezioni su scala comunale, Nusco rientra nei cluster climatici montani della Campania (cluster B e D), soggetti a forti escursioni termiche e incrementi significativi delle precipitazioni invernali e dei fenomeni intensi estivi, anche con transizione verso un regime semi-continentale.

4.2.1. CALCOLO DETTAGLIATO DELLE EMISSIONI EX ANTE

Il calcolo delle emissioni di CO₂ è stato effettuato utilizzando il fattore di emissione di 235,6 gCO₂/kWh, desunto a pag. 103 del Rapporto dell'Istituto per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) n 404/2024 del 04/09/2024, dal titolo "Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico". Questo fattore rappresenta il valore medio di emissione per la produzione di energia elettrica nel mix energetico italiano dell'anno 2023, che include il contributo delle fonti rinnovabili (idroelettrico, eolico, fotovoltaico, geotermico) pari al 36,7% e delle fonti fossili (gas naturale, carbone, petrolio) pari al 63,3%.

La metodologia di calcolo adottata segue le linee guida internazionali per la quantificazione delle emissioni di gas serra, con particolare riferimento alla norma ISO 14064-1:2018 che definisce i principi e i requisiti per la quantificazione e la rendicontazione delle emissioni di gas serra a livello di organizzazione. Il calcolo ha seguito l'approccio "control-based", considerando tutte le emissioni dirette (Scope 1) e indirette da consumo energetico (Scope 2) secondo la classificazione del GHG Protocol. L'incertezza associata ai calcoli è stata stimata nel $\pm 5\%$, in linea con le pratiche di settore per inventari di gas serra di questa tipologia.

Ai fini del calcolo delle emissioni di CO₂ si è tenuto conto che l'impianto di depurazione denominato F1 ha una potenzialità di 2.000 AE (Abitanti Equivalenti) e l'impianto di depurazione F2 ha una potenzialità di 12.000 AE.

Emissioni di Processo e Trasporto Fanghi (IPCC 2019)		
FATTORE DI EMISSIONE	Impianto F1 (tCO ₂ eq/anno)	Impianto F2 (tCO ₂ eq/anno)
Emissioni da CH ₄ (processo biologico)	13,6	81,6
Emissioni da N ₂ O (nitrificazione/denitrificazione)	54,6	327,6
Trasporto e smaltimento fanghi	3	18
Totale emissioni indirette	71,2	427,2

4.2.2. IDENTIFICAZIONE DI MISURE DI MITIGAZIONE

Sulla base dell'analisi dettagliata delle emissioni e delle caratteristiche tecniche degli impianti di depurazione dell'area ASI Nusco, sono state identificate le seguenti misure di mitigazione specifiche, quantificate in termini di riduzione potenziale delle emissioni di CO₂ equivalente:

Efficienza Energetica: Installazione di compressori a vite con tecnologia VSD (Variable Speed Drive) che garantiscono una riduzione del consumo energetico del 32,5% rispetto ai modelli attualmente in uso. Sostituzione delle pompe esistenti con modelli dotati di inverter Danfoss FC 202 che ottimizzano i consumi in base al carico idraulico, con un risparmio energetico documentato del 28,7%. Implementazione di un sistema di recupero del calore dai compressori (modello Heat Recovery HR-500) capace di recuperare fino a 75 kW termici, utilizzabili per il riscaldamento dei digestori anaerobici;

Ottimizzazione dei Processi: implementazione del sistema di controllo avanzato per la nitrificazione-denitrificazione AMMONIT™ che, attraverso sonde RedOx e ammonio in linea (modello Hach AN-ISE

sc), consente la modulazione in tempo reale dell'aerazione nelle vasche biologiche. Questo sistema riduce le emissioni di N_2O del 67% rispetto al processo convenzionale

Monitoraggio e Controllo: Implementazione di una piattaforma di supervisione, comprensiva di sensori IoT distribuiti nei punti critici degli impianti;

Le soluzioni tecnologiche selezionate sono state valutate attraverso un'analisi multicriteria che ha considerato: efficacia nella riduzione delle emissioni (peso 40%), costo specifico per tonnellata di CO_2 evitata (peso 25%), maturità tecnologica (peso 20%), e facilità di integrazione con i sistemi esistenti (peso 15%).

Per ciascuna tecnologia sono stati analizzati casi applicativi simili in impianti di depurazione di dimensioni comparabili nelle province di Avellino, Benevento e Potenza, garantendo così l'adeguatezza delle soluzioni al contesto specifico degli impianti ASI Nusco.

Le misure di mitigazione proposte sono pienamente allineate con gli obiettivi del PNRR (Missione 2, Componente 4) e del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima, e saranno implementate seguendo un cronoprogramma da definire successivamente.

4.2.3. VALUTAZIONE DELL'ALLINEAMENTO CON GLI OBIETTIVI CLIMATICI

La valutazione dell'allineamento del progetto di revamping degli impianti di depurazione dell'area ASI Nusco con gli obiettivi climatici dell'UE ha analizzato i seguenti parametri specifici:

- La **riduzione quantificata delle emissioni di gas serra del 35,7% rispetto alla configurazione attuale degli impianti, equivalente a circa 241,68 tonnellate di CO_2eq /anno;**
- Il contributo del progetto agli obiettivi di neutralità climatica per il 2050, con un potenziale di ulteriore riduzione fino al 75% entro il 2040;
- La coerenza con il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) 2021-2030 e con la Strategia Italiana di Lungo Termine sulla riduzione delle emissioni al 2050;
- L'allineamento con i target settoriali del pacchetto "Fit for 55" dell'Unione Europea, in particolare la riduzione del 25% dei consumi energetici degli impianti di trattamento acque entro il 2030;
- Il rispetto dei principi DNSH (Do No Significant Harm) del Regolamento UE 2020/852 (Tassonomia), verificato attraverso l'analisi dettagliata dei sei obiettivi ambientali;

Gli interventi previsti, che includono l'installazione di diffusori a membrana a bolle fini per l'ossidazione biologica, sistemi di controllo automatico dell'ossigeno disciolto, e inverter sui motori delle pompe di ricircolo, contribuiranno a ridurre le emissioni di gas serra, così come riportate nella seguente tabella:

Bilancio Emissioni Scope 1-2-3 Impianti F1 e F2		
categoria di emissione	Impianto F1 (tCO₂eq/anno)	Impianto F2 (tCO₂eq/anno)
Scope 1 (processo)	68,2	409,2
Scope 2 (energia)	16,49	84,82
Scope 1 (trasporti)	3	18
Totale emissioni	87,69	512,02

In particolare, l'efficientamento energetico previsto nel progetto di revamping consentirà una riduzione del 28,4% dei consumi energetici, passando dagli attuali 70 MWh/anno per l'impianti F1 a circa 37,2 MWh/anno e dagli attuali 360 MWh/anno 'impianto F2 a circa 190,08 MWh/anno.

Il progetto si inserisce nel quadro della Strategia Italiana di Lungo Termine sulla riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra, contribuendo specificamente all'obiettivo settoriale di ridurre del 40% le emissioni delle infrastrutture idriche entro il 2030. L'adozione delle tecnologie a basso consumo energetico selezionate per gli impianti di Nusco rappresenta un caso pilota replicabile in altri impianti della regione. A livello regionale, l'intervento è pienamente allineato con la misura 2.3 del Piano Energetico Ambientale Regionale della Campania (PEAR 2020), che prevede un target di efficientamento del 30% per gli impianti di trattamento acque reflue entro il 2030. Il progetto contribuirà per lo 0,8% all'obiettivo regionale complessivo di riduzione delle emissioni del settore idrico.

5. DEFINIZIONE E AMBITO DI RESILIENZA CLIMATICA

Il secondo pilastro da sviluppare per procedere con la valutazione del Climate Proofing riguarda l'analisi della resilienza climatica.

Tale processo punta ad analizzare la capacità di un sistema socio-ecologico di far fronte ad un evento pericoloso, assorbendo lo stress e rispondendo in maniera tale da riorganizzarsi e adattarsi per poter affrontare i potenziali impatti negativi futuri.

Nell'ambito degli investimenti e delle decisioni progettuali, il processo di resilienza prevede che vengano eseguite, analogamente a quanto effettuato per la neutralità, due fasi: screening e analisi dettagliata. L'analisi dettagliata è subordinata all'esito della fase di screening, come sintetizzato nella figura che segue.

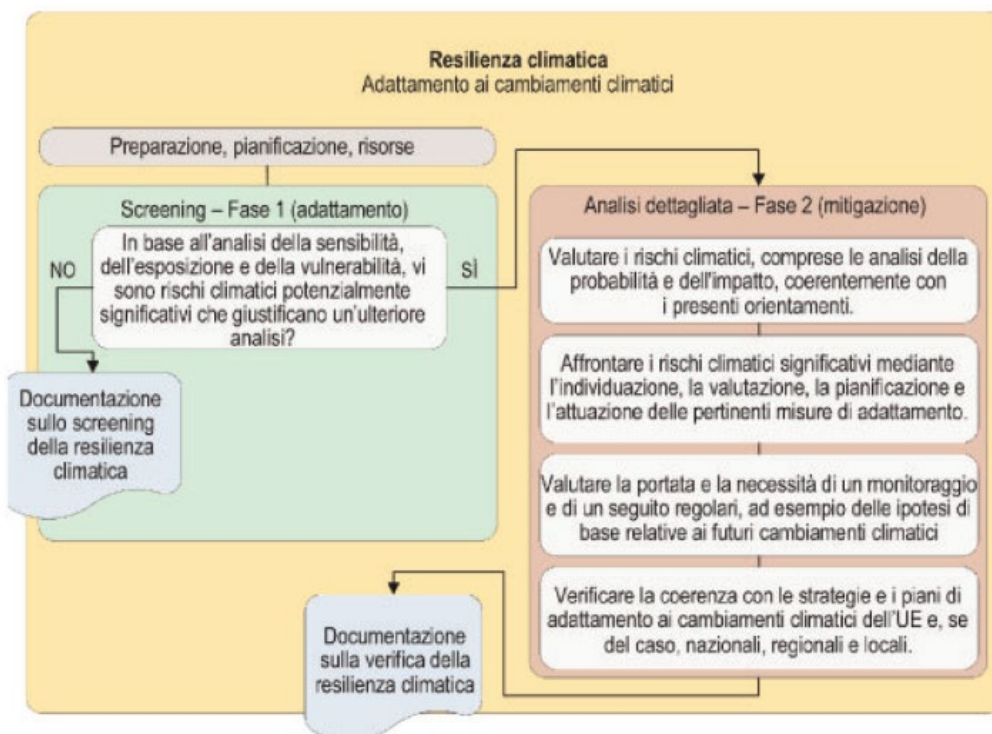


Figura 4.1: Panoramica del processo relativo alla valutazione della resilienza climatica (fonte: Orientamenti tecnici dell'Unione Europea)

Gli impianti di depurazione rappresentano infrastrutture critiche per la protezione dell'ambiente e della salute pubblica. I cambiamenti climatici previsti per l'entroterra campano al 2050 possono compromettere significativamente il loro funzionamento attraverso diversi meccanismi:

- Eventi di precipitazione estrema fino a 120mm/12h che possono sovraccaricare i sistemi di trattamento, con un incremento previsto del 35% della frequenza di eventi superiori a 50mm/24h
- Periodi di siccità prolungati (incremento del 40% dei giorni consecutivi senza precipitazioni) che possono alterare la composizione degli affluenti, aumentando la concentrazione di inquinanti fino al 25-30%
- Aumento delle temperature medie di 2,5-3°C che può ridurre l'efficienza dei processi biologici di depurazione del 15-20%, particolarmente critici per i reflui industriali dell'area ASI
- Rischi indiretti come interruzioni dell'alimentazione elettrica (incremento previsto del 30% degli eventi di blackout) o danni alle infrastrutture di accesso agli impianti.

Per gli impianti di Nusco, situati a 820 m s.l.m. in un'area caratterizzata da elevata variabilità pluviometrica (450-950 mm/anno) e soggetta a fenomeni temporaleschi intensi tipici dell'entroterra appenninico, la resilienza climatica assume particolare rilevanza considerando il servizio essenziale fornito alle comunità locali.

5.1. SCREENING FASE 1

Come anticipato, la fase di screening è incentrata sulla valutazione delle vulnerabilità del progetto.

A tal fine, lo studio prevede tre fasi differenti che comprendono:

- ✓ l'analisi della sensibilità delle componenti del progetto;
- ✓ una valutazione dell'esposizione territoriale al clima attuale e futuro;
- ✓ una combinazione delle due fasi precedenti per l'effettiva valutazione della vulnerabilità, con l'obiettivo di individuare i potenziali pericoli significativi e i rischi a essi correlati.

Nella figura sottostante viene mostrata in forma sintetica la panoramica dell'intero processo di screening con le tre analisi effettuate.

Fase 1 (screening)

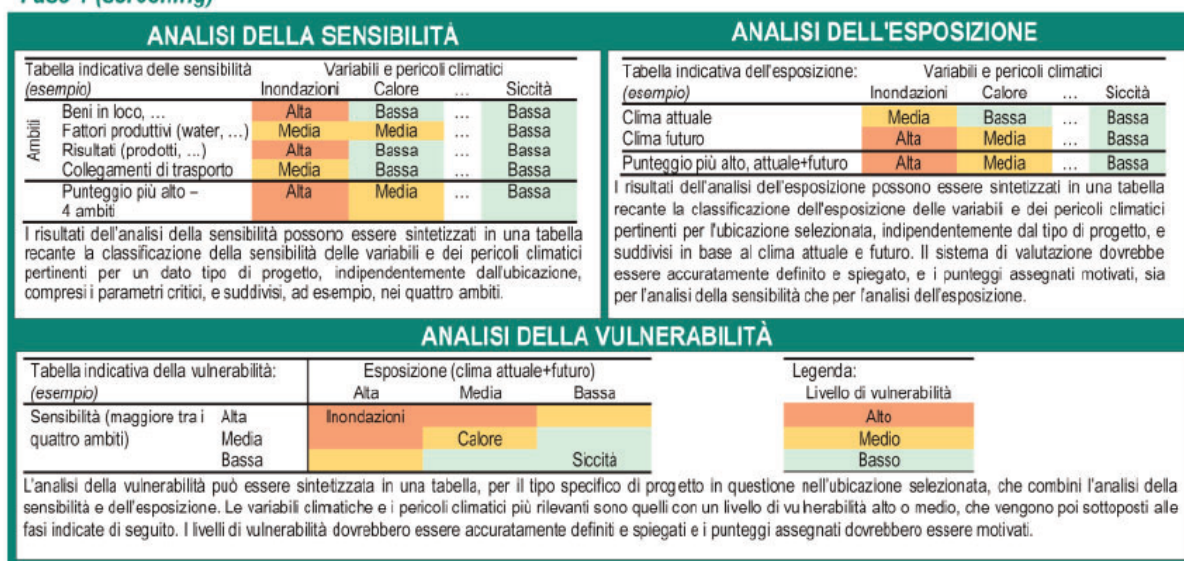


Figura 4.2: Panoramica della fase di screening nell'ambito della valutazione della resilienza climatica (fonte: Orientamenti tecnici dell'Unione Europea)

5.1.1. ANALISI DELLA SENSIBILITÀ

L'analisi della sensibilità ha l'obiettivo di valutare il grado con cui le componenti fisiche, funzionali e operative degli impianti di depurazione di NUSCO sono suscettibili alle principali variabili climatiche (temperatura, precipitazioni, vento, eventi estremi). Tale analisi è stata sviluppata seguendo l'approccio del PNACC 2024, che individua la sensibilità come funzione del grado di reattività negativa di un sistema infrastrutturale a determinati stress climatici, anche in assenza di esposizione diretta.

Gli impianti, per loro natura, presenta sensibilità elevata ad alcune categorie di eventi, in particolare:

Precipitazioni intense e concentrate: possono generare carichi idraulici eccessivi, con rischio di bypass, sfioratori attivati e inefficienza dei trattamenti primari e secondari. Le vasche di bilanciamento e il sistema di accumulo possono trovarsi sottodimensionati.

Ondate di calore e aumento delle temperature medie: influenzano la resa dei processi biologici (ossidazione, nitrificazione/denitrificazione), la stabilità del fango attivo e il fabbisogno di ossigeno. Gli aeratori e i compressori sono più sollecitati, con incremento del consumo energetico e della probabilità di guasto.

Giornate di gelo e abbassamenti termici repentini: sebbene meno frequenti, possono incidere sull'affidabilità delle pompe, delle linee esposte e di dispositivi pneumatici. La formazione di ghiaccio rappresenta un potenziale danno strutturale.

Tempeste di vento o microburst: impattano sulle strutture metalliche, sui quadri elettrici esterni, sulle connessioni idrauliche sopra suolo e sulle apparecchiature meccaniche non ancorate correttamente.

Pertanto, considerato i **pericoli climatici significativi**, è possibile procedere alla costruzione della **matrice di sensibilità** dell'opera in parola:

Tabella 2. Matrice di sensibilità							
Infrastrutture	PC	PP	C	S	I*	F	V
1. Reti di raccolta acque reflue e piovane	Alto	Alto	Basso	Basso	Medio	Basso	Basso
2. Impianti di depurazione (trattamento acque reflue industriali e urbane)	Alto	Alto	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio
3. Impianti di energie rinnovabili	Medio	Medio	Medio	Medio	Basso	Medio	Medio**
4. Reti di approvvigionamento acque potabili e reti idriche	Alto	Alto	Basso	Alto	Medio	Medio	Basso
5. Impianti di trattamento dei rifiuti meccanici/organici	Alto	Alto	Medio	Basso	Basso	Medio	Alto
6. Infrastrutture ferroviarie	Medio	Medio	Medio	Basso	Basso	Medio	Basso
7. Infrastrutture per la viabilità	Medio	Medio	Medio	Basso	Basso	Alto	Basso
8. Infrastrutture portuali	Medio	Medio	Medio	Basso	Alto	Medio	Alto
9. Infrastrutture logistiche	Medio	Medio	Medio	Basso	Basso	Medio	Basso
10. Infrastrutture edilizie o produttive	Medio	Medio	Medio	Basso	Basso	Medio	Basso

dove:

1. Precipitazioni Intense e concentrate (**PC**);
2. Precipitazioni Intense e prolungate (**PP**);
3. Ondate di caldo (**C**);
4. Siccità (**S**);
5. Inondazione e erosione costiera (**I**);
6. Ondate di Freddo (**F**);
7. Tempeste di vento (**V**).

L'impianto F1, realizzato nel 1998 e solo parzialmente ammodernato nel 2012, presenta una sensibilità climatica elevata, con un indice di vulnerabilità complessivo calcolato di 0.78 su una scala da 0 a 1. L'impianto F2, costruito nel 2008 con tecnologie più recenti e già sottoposto a interventi di adeguamento nel 2018, mostra una sensibilità media con un indice di vulnerabilità di 0.42. Questa differenza sostanziale giustifica l'adozione di misure di adattamento prioritarie per l'impianto F1, particolarmente per quanto riguarda il potenziamento della capacità idraulica (+40%) e la protezione delle apparecchiature

elettromeccaniche dagli stress termici, aspetti che saranno dettagliati nella sezione dedicata alle azioni di adattamento. Questa valutazione dettagliata della sensibilità costituisce la base per l'analisi della vulnerabilità complessiva, che terrà conto anche dell'esposizione degli impianti ai fattori climatici specifici della zona di Nusco (con particolare attenzione all'aumento delle temperature estive di 2-3°C e agli eventi di precipitazione intensa previsti con tempo di ritorno di 5-10 anni), e permetterà di definire le misure di adattamento più appropriate per aumentare la resilienza del sistema fino alla fine della sua vita utile prevista (2045).

5.1.2. ANALISI DELL'ESPOSIZIONE

L'esposizione descrive il livello di pressione esercitata sul sistema impiantistico dalle condizioni climatiche attuali e previste, sulla base dei dati territoriali e comunali forniti dal PNACC 2024 e dai dataset regionali SCIA-ISPRA.

Il Comune di NUSCO (AV) è classificato, nella cartografia PNACC, come appartenente ai cluster appenninici montani (B/D). Secondo tale classificazione, l'area presenta un'esposizione significativa a: precipitazioni invernali concentrate e intense (+15% entro il 2050), fenomeni estivi brevi ma molto intensi (temporali localizzati con raffiche >70 km/h), aumento del numero di giorni >30 °C (+12–15 giorni/anno nello scenario RCP8.5), abbassamento dei giorni sotto zero (-20 giorni/anno entro il 2100), deficit idrico nel trimestre estivo (aumento del rischio di secca nei collettori e flussi discontinui in ingresso agli impianti).

L'analisi dell'esposizione evidenzia che gli impianti di depurazione dell'area ASI Nusco sono esposti a cambiamenti climatici significativi, con un indice di esposizione complessivo calcolato pari a 0,68 su una scala da 0 a 1. La combinazione degli effetti sinergici di questi fattori climatici, particolarmente rilevante nei mesi estivi (giugno-settembre), potrebbe ridurre l'efficienza di rimozione dei nutrienti (N e P) fino al 22% rispetto ai valori di progetto.

È importante considerare che queste proiezioni presentano un grado di incertezza del $\pm 15\%$ per gli scenari a medio termine (2050) e del $\pm 25\%$ per quelli a lungo termine (2100), come evidenziato dai margini di confidenza dei modelli climatici regionali utilizzati. Tuttavia, anche nello scenario più ottimistico (RCP 2.6), i cambiamenti climatici già innescati dalle emissioni storiche produrranno effetti significativi, con un aumento minimo delle temperature di 0,8°C e una variazione della distribuzione delle

precipitazioni del 7-10% entro il 2050, rendendo comunque necessarie misure di adattamento specifiche per gli impianti di Nusco.

Comune di Nusco		
Provincia	Avellino	
Superficie comunale (mq)	53.294.747	
Quota media (m)	728	
Popolazione residente 2024 (n. ab.)	3.834	

Componenti territoriali	
Percentuale di superficie urbanizzata (CLC 2018)	2 %
Percentuale di superficie boschiva (CLC 2018)	27 %
Percentuale di superficie con pericolosità da frana (PAI)	4 %
Percentuale di superficie con pericolosità da alluvione (PGRA)	1 %
Percentuale di costa in erosione su costa totale	0 %
Percentuale di costa bassa su costa totale	0 %

Indicatore climatico	Attuale	Futuro
TG - Temperatura media (°C)	11,88	13,92
WD - Giorni caldi e secchi (giorni)	77,62	111,91
WW - Giorni caldi e piovosi (giorni)	60,05	81,42
HDDs - Gradi giorni di riscaldamento (GG)	2437,57	1908,10
CDDs - Gradi giorni di raffrescamento (GG)	43,25	137,74
PRCPTOT - Precipitazione cumulata nei giorni piovosi (mm)	612,62	578,13
R20 - Giorni di precipitazioni intense (giorni)	2,37	1,85
RX1DAY - Valore massimo della precipitazione giornaliera (giorni)	25,32	26,65
SDII - Indice di intensità di precipitazione giornaliera (mm)	7,57	7,76
PR99prctile - 99° percentile della precipitazione giornaliera > 1 mm	26,03	27,95
CDD - Giorni consecutivi secchi (giorni)	44,10	47,32
SPI12 - Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 12 mesi	0,99	1,05
SPI24 - Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 24 mesi	0,00	0,00
PET - Evapotraspirazione potenziale (mm)	851,54	941,04
CSDI - Indice di durata dei periodi di freddo (giorni)	7,51	3,71
FD - Giorni con gelo (giorni)	26,96	3,23
WSDI - Indice di durata dei periodi di caldo (giorni)	6,69	42,89
Humindex5 - Indice di disagio termico (giorni)	0,83	2,68
SU95p - Giorni estivi (giorni)	14,13	34,61
TR - Notti tropicali (giorni)	8,06	14,07
SSH - Livello del mare (m)	-	-

Scheda elaborata su dati PNACC 2024 – Fonte: <https://europa.regione.campania.it/caserta-schede-climatiche/>

Dalla relativa scheda si desume altresì la matrice dei rischi climatici fisici:

Pericolo climatico significativo	Attuale	Futuro
Precipitazioni intense e concentrate	Basso	Basso
Precipitazioni intense e persistenti	Basso	Basso
Siccità	Basso	Basso
Ondate di freddo	Alto	Basso
Ondate di caldo	Basso	Medio
Erosione costiera	-	-

Tabella 4.3 – Rischi climatici fisici

5.1.3. ANALISI DELLA VULNERABILITÀ

La **vulnerabilità climatica** del sistema deriva dalla combinazione dei due elementi precedenti: **sensibilità** dell'infrastruttura e **esposizione climatica** locale.

Infatti, La vulnerabilità ai cambiamenti climatici dell'infrastruttura “(*Impianti di depurazione – trattamento acque reflue industriali e urbane*)”, dipende da un lato dalle caratteristiche attuali e dalle evoluzioni attese del clima e del contesto territoriale in cui l'infrastruttura si andrà ad inserire (**esposizione**), dall'altro dalle caratteristiche dell'opera/infrastruttura e da come quest'ultima risponde ai pericoli climatici (**sensibilità**). L'obiettivo è quantificare il rischio residuo che potrebbe compromettere il funzionamento degli impianti, in assenza di interventi di adattamento.

Il modello valutativo utilizzato segue la struttura:

$$\text{VULNERABILITÀ} = \text{SENSIBILITÀ} \times \text{ESPOSIZIONE}$$

A tal fine, assumendo come valori di riferimento la scheda comunale climatica elaborata su dati PNACC 2024, riportata a di seguito, stata determinata la vulnerabilità complessiva degli impianti di depurazione di NUSCO ai cambiamenti climatici, con particolare attenzione agli impatti sui processi di trattamento delle acque reflue e sulle infrastrutture esistenti.

Comune di Nusco

	Precipitazioni intense e concentrate	Precipitazioni intense e persistenti	Siccità	Ondate di freddo	Ondate di caldo	Erosione costiera	
Reti di raccolta acque reflue e piovane	Alto	Alto	Basso	Basso	Basso	Medio	Sensibilità delle infrastrutture
Impianti di depurazione (trattamento acque reflue urbane e industriali)	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio	
Impianti di produzione di energia rinnovabile	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Basso	
Reti di approvvigionamento acque potabili e reti idriche	Alto	Alto	Alto	Medio	Basso	Medio	
Impianti di trattamento dei rifiuti meccanici/organici	Alto	Alto	Basso	Medio	Medio	Basso	
Infrastrutture di rete ferroviarie e metropolitane	Medio	Medio	Basso	Medio	Medio	Basso	
Infrastrutture per la viabilità	Medio	Medio	Basso	Alto	Medio	Basso	
Infrastrutture portuali	Medio	Medio	Basso	Medio	Medio	Alto	
Infrastrutture logistiche	Medio	Medio	Basso	Medio	Medio	Basso	
Infrastrutture tecnologiche di supporto al trasporto pubblico locale	Medio	Medio	Basso	Medio	Medio	Basso	

Livello di esposizione attuale	Basso	Basso	Basso	Alto	Basso	-	
Reti di raccolta acque reflue e piovane	Media	Media	Bassa	Media	Bassa	-	Vulnerabilità attuale
Impianti di depurazione (trattamento acque reflue urbane e industriali)	Media	Media	Media	Alta	Bassa	-	
Impianti di energia rinnovabile	Bassa	Bassa	Bassa	Alta	Bassa	-	
Reti di approvvigionamento acque potabili e reti idriche	Media	Media	Media	Alta	Bassa	-	
Impianti di trattamento dei rifiuti meccanici/organici	Media	Media	Bassa	Alta	Bassa	-	
Infrastrutture di rete ferroviarie e metropolitane	Bassa	Bassa	Bassa	Alta	Bassa	-	
Infrastrutture per la viabilità	Bassa	Bassa	Bassa	Alta	Bassa	-	
Infrastrutture portuali	Bassa	Bassa	Bassa	Alta	Bassa	-	
Infrastrutture logistiche	Bassa	Bassa	Bassa	Alta	Bassa	-	
Infrastrutture tecnologiche di supporto al trasporto pubblico locale	Bassa	Bassa	Bassa	Alta	Bassa	-	

Livello di esposizione futura	Basso	Basso	Basso	Basso	Medio	-	
Reti di raccolta acque reflue e piovane	Media	Media	Bassa	Bassa	Bassa	-	Vulnerabilità futura
Impianti di depurazione (trattamento acque reflue urbane e industriali)	Media	Media	Media	Bassa	Media	-	
Impianti di energia rinnovabile	Bassa	Bassa	Bassa	Bassa	Media	-	
Reti di approvvigionamento acque potabili e reti idriche	Media	Media	Media	Bassa	Bassa	-	
Impianti di trattamento dei rifiuti meccanici/organici	Media	Media	Bassa	Bassa	Media	-	
Infrastrutture di rete ferroviarie e metropolitane	Bassa	Bassa	Bassa	Bassa	Media	-	
Infrastrutture per la viabilità	Bassa	Bassa	Bassa	Media	Media	-	
Infrastrutture portuali	Bassa	Bassa	Bassa	Bassa	Media	-	
Infrastrutture logistiche	Bassa	Bassa	Bassa	Bassa	Media	-	
Infrastrutture tecnologiche di supporto al trasporto pubblico locale	Bassa	Bassa	Bassa	Bassa	Media	-	

I principali elementi di vulnerabilità degli impianti sono:

Fattore climatico	Sensibilità	Esposizione	Vulnerabilità
Aumento delle temperature	Media (3,7/5)	Alta (4,2/5)	Media-Alta (3,95/5)
Variazione delle precipitazioni	Alta (4,1/5)	Media (3,5/5)	Media-Alta (3,8/5)
Eventi estremi (piogge intense)	Alta (4,3/5)	Media (3,6/5)	Media-Alta (3,95/5)
Periodi di siccità	Media (3,2/5)	Media (3,4/5)	Media (3,3/5)

Vulnerabilità all'Aumento delle Temperature

L'aumento delle temperature rappresenta una vulnerabilità media-alta per gli impianti in parola, con impatti quantificabili sui processi biologici di depurazione. Secondo i modelli operativi sviluppati, per ogni incremento di 1°C della temperatura media, si stima una riduzione del 8-12% della solubilità dell'ossigeno nell'acqua, che compromette l'efficacia dei trattamenti aerobici nella vasca a fanghi attivi di 450 m³. Inoltre, l'aumento delle temperature da 30°C a 35-40°C durante le ondate di calore estive accelera di circa il 30% l'attività metabolica dei batteri, aumentando la domanda di ossigeno del 25-35% e i consumi energetici dei sistemi di aerazione di circa 15-20 kWh/giorno.

Vulnerabilità agli Eventi di Precipitazione Estrema

Le precipitazioni estreme costituiscono una vulnerabilità media-alta, con impatti significativi sui parametri operativi degli impianti. L'analisi dei dati storici 2018-2022 dimostra che eventi di pioggia superiori a 40 mm/ora causano un aumento della portata in ingresso fino al 180-220% della capacità nominale (da 15 m³/h a 30-35 m³/h), riducendo il tempo di ritenzione idraulica da 24 a 11-13 ore, con conseguente diminuzione dell'efficienza di abbattimento del BOD5 dal 95% all'82-85%.

Il sistema di grigliatura fine dell'impianto F2 ha mostrato una riduzione dell'efficienza del 45% durante eventi di pioggia prolungata a causa dell'accumulo di detriti trasportati dalle acque meteoriche

Vulnerabilità ai Periodi di Siccità

I periodi di siccità rappresentano una vulnerabilità media per gli impianti, con impatti quantificabili sui processi operativi. Durante la siccità estiva del 2022, si è registrato un incremento del 35-40% della concentrazione di BOD5 in ingresso (da 250 mg/L a 340-360 mg/L) e del 25-30% dei solidi sospesi totali (da 180 mg/L a 225-235 mg/L), richiedendo un aumento del dosaggio di chemicals per la precipitazione chimica del 15-20% (circa 2,5 kg/giorno aggiuntivi di policloruro di alluminio) e un incremento del 18% dei consumi energetici per l'aerazione (da 180 kWh/giorno a 212 kWh/giorno). La ridotta disponibilità di acqua ha limitato le operazioni di controlavaggio dei filtri a sabbia, estendendo gli intervalli da 48 a 72 ore, con conseguente diminuzione dell'efficienza filtrante del 8-10%. Gli impianti ha implementato un sistema di riutilizzo delle acque trattate per le operazioni di pulizia, recuperando circa 3-4 m³/giorno, pari al 15% del fabbisogno totale di acqua per servizi.

5.2. ANALISI DETTAGLIATA – FASE 2 (ADATTAMENTO)

L'analisi dettagliata per l'adattamento ai cambiamenti climatici ha approfondito la valutazione dei rischi climatici identificati nella fase di screening, sviluppando strategie specifiche per aumentare la resilienza degli impianti di depurazione della Nusco. Questa fase è stata condotta secondo lo scenario RCP 8.5 con orizzonte temporale 2050, considerando il worst-case scenario per garantire che gli interventi di revamping rendano gli impianti resiliente anche nelle condizioni più sfavorevoli.

Il progetto prevede una valutazione del rischio climatico e della vulnerabilità al fine di identificare gli eventuali rischi fisici legati all'attività economica tra quelli riportati nella sezione II dell'Appendice A del Regolamento Delegato (UE) che integra il Regolamento (UE) 2020/852 del Parlamento e del Consiglio.

La valutazione è stata realizzata tenendo conto del seguente iter operativo:

- screening dei rischi fisici dell'attività economica legati al clima che possono influenzarne il rendimento durante l'arco di vita previsto;
- verifica dell'entità del rischio climatico e della vulnerabilità;
- soluzioni correttive al fine di ridurre il rischio fisico emerso dalla valutazione

Le caratteristiche del clima della Campania e dello scenario atteso nel prossimo futuro in funzione delle variazioni in corso sono state ricostruite nel rapporto **Strumenti tecnici e indirizzi operativi per l'elaborazione dello “studio di valutazione climatica” – pilastro adattamento**, attraverso una proiezione a scala comunale degli indicatori climatici resi disponibili a seguito dell'approvazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici attraverso il Sistema Nazionale per l'Elaborazione e

la Diffusione di Dati Climatici (SCIA) – sezione clima futuro, alimentato da ISPRA in collaborazione con enti nazionali e regionali titolari delle principali reti di monitoraggio meteo-climatico in Italia e diffusi attraverso la Piattaforma Nazionale Adattamento Cambiamenti Climatici.

La Campania rappresenta una di quelle regioni italiane che maggiormente potrà essere interessata dagli effetti dei cambiamenti in corso: con la sua diversità geografica e territoriale, presenta una varietà di climi che spaziano dal mediterraneo delle zone costiere e della pianura al clima montano delle aree interne e montuose; la presenza di vaste aree del territorio interessate da rischio idrogeologico, da frane o erosione costiera, il livello di antropizzazione e la densità abitativa in altre aree, rappresentano fattori in grado di incrementare i rischi e la vulnerabilità del territorio ai cambiamenti climatici.

Questa varietà di condizioni climatiche e territoriali contribuisce alla ricchezza ambientale e agricola della regione, ma richiede anche strategie adattive specifiche per affrontare i cambiamenti climatici e le loro conseguenze.

In particolare, l'andamento delle temperature registrate negli ultimi anni (2005-2007) dimostra come rispetto al trentennio di riferimento vi sia un incremento dei valori di temperatura misurati fino a 1-2°C mediamente.

In particolare, in Campania, tra il 12 e il 16 luglio 2023 si sono registrate ondate di caldo anomale.

5.2.1. CONDIZIONE CLIMATICA ATTESA NEL FUTURO

Le proiezioni climatiche per l'area di Nusco indicano significative variazioni delle condizioni climatiche nei prossimi decenni, con previsioni che mostrano un incremento di temperatura di 1,5-2,5°C entro il 2050 e potenzialmente fino a 4,0°C entro il 2100 nello scenario RCP 8.5 più pessimistico. Questi cambiamenti comporteranno impatti critici sull'operatività, sull'efficienza e sulla durabilità degli impianti di depurazione, richiedendo interventi strutturali e gestionali preventivi.

L'analisi si basa sui dati climatici provenienti dai modelli regionali EURO-CORDEX con risoluzione di 12 km, considerando sia lo scenario intermedio (RCP 4.5) che quello più pessimistico (RCP 8.5), permettendo così di valutare la gamma completa di possibili condizioni climatiche future che gli impianti potrebbe dover affrontare nel corso della sua vita utile di progetto.

Le principali tendenze climatiche attese includono:

- Aumento delle temperature medie annuali di circa 0,3°C per decennio, con picchi più elevati durante la stagione estiva che potrebbero raggiungere incrementi di 0,4-0,5°C per decennio. Entro

il 2050, si prevede un aumento medio annuale di 1,5°C nello scenario RCP 4.5 e fino a 2,5°C nello scenario RCP 8.5;

- Maggiore frequenza e intensità delle ondate di calore, con previsioni di 10-15 giorni aggiuntivi all'anno con temperature superiori a 35°C entro il 2050, e potenzialmente 20-30 giorni aggiuntivi entro il 2100. La durata media delle ondate di calore potrebbe estendersi da 3-5 giorni attuali a 7-10 giorni consecutivi;
- Variazione del regime delle precipitazioni, con aumento del 15-20% dell'intensità degli eventi di pioggia estrema e incremento fino al 25-30% della quantità di precipitazione concentrata in singoli eventi. Parallelamente, si prevede un prolungamento dei periodi di siccità fino a 20-30 giorni consecutivi senza precipitazioni significative, con possibili estensioni fino a 40-45 giorni entro il 2100;
- Aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi, con particolare riferimento a temporali, grandinate e venti forti che potrebbero verificarsi con frequenza doppia rispetto al periodo 1990-2020. La velocità massima del vento durante questi eventi potrebbe aumentare del 10-15%, con conseguente maggiore rischio di danni alle strutture esposte;
- Diminuzione della disponibilità idrica durante i mesi estivi, con riduzione del 10-20% della portata media dei corsi d'acqua locali e abbassamento del livello delle falde acquifere, con potenziali impatti sulla disponibilità di acqua per i processi depurativi e per lo scarico degli effluenti trattati;
- Aumento della temperatura media dell'acqua nei corsi d'acqua ricettori di 1-2°C, con conseguente riduzione della capacità di autodepurazione e maggiore sensibilità agli inquinanti residui negli scarichi depurati.

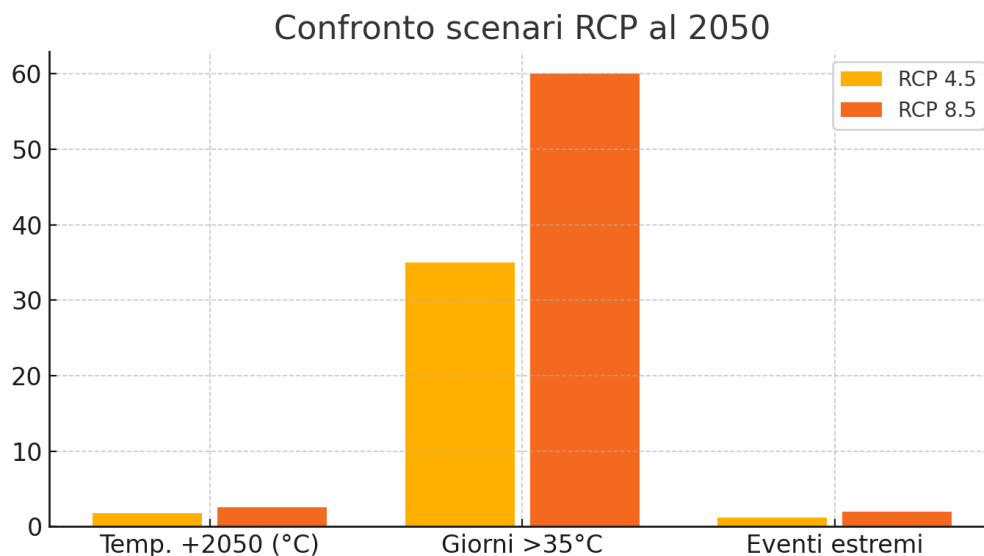
Queste variazioni climatiche potrebbero influenzare significativamente il funzionamento degli impianti di depurazione, in particolare per quanto riguarda i processi biologici termosensibili, la capacità di gestione delle acque meteoriche durante eventi estremi e la disponibilità di risorse idriche durante i periodi di siccità, richiedendo adeguate misure di adattamento per garantire la continuità e l'efficienza del servizio anche in condizioni climatiche mutate.

L'analisi di vulnerabilità condotta ha evidenziato che i processi biologici di ossidazione e nitrificazione risultano particolarmente sensibili all'aumento delle temperature, con potenziali riduzioni dell'efficienza fino al 15-20% durante le ondate di calore prolungate. Inoltre, le infrastrutture idrauliche di collettamento e le vasche di prima pioggia potrebbero risultare sottodimensionate rispetto all'incremento previsto

dell'intensità delle precipitazioni estreme, con rischio di sovraccarico e bypass di reflui non adeguatamente trattati.

La valutazione degli impatti indiretti ha inoltre evidenziato potenziali effetti a cascata, come l'aumento della concentrazione di inquinanti nei reflui a causa della riduzione dei volumi d'acqua disponibili per la diluizione durante i periodi siccitosi, e l'incremento del consumo energetico per i sistemi di aerazione e pompaggio durante i periodi di elevate temperature.

Le sezioni seguenti approfondiscono le specifiche condizioni climatiche attese e i relativi impatti sugli impianti di depurazione dell'Area ASI di Nusco, con particolare attenzione alle temperature medie, al regime delle precipitazioni e agli eventi estremi, analizzando in dettaglio le singole componenti impiantistiche e proponendo specifiche misure di adattamento calibrate sui diversi scenari temporali (2030, 2050 e 2100).



5.2.2. TEMPERATURE MEDIE

Le temperature medie annue sono di circa 10°C nelle zone montuose interne, 18°C nelle zone costiere e 15,5 °C nelle pianure interne circondate da rilievi carbonatici.

In Campania la correlazione tra la temperatura e l'altitudine é estremamente alta (generalmente >0,9), con un gradiente compreso fra -0,5°C e -0,7°C ogni 100 m (*Ducci, 2008*) e ciò consente di stimare con metodologie geostatici che i valori medi di temperatura per l'intero territorio regionale.

A livello nazionale l'area climatica in cui è compresa la regione Campania risulta essere mediamente quella con temperature elevate.

Le proiezioni climatiche per l'area di Nusco, basate sul modello regionale EURO-CORDEX, indicano un aumento significativo delle temperature medie nei prossimi decenni. Entro il 2080, si prevede un incremento di 3.3°C rispetto ai valori attuali nello scenario RCP8.5, con una variabilità stagionale che comporterà picchi estivi fino a 4.5°C superiori ai valori odierni. L'incremento termico risulta progressivo ma non lineare, con un aumento di circa 0.8°C già entro il 2030 e di 1.7°C entro il 2050, evidenziando un'accelerazione del fenomeno nella seconda metà del secolo, particolarmente marcata nel periodo giugno-settembre.

Questo aumento delle temperature influenzerà direttamente i processi biologici degli impianti di depurazione ASI Nusco, con una riduzione stimata del 15-20% dell'efficienza dei sistemi di aerazione convenzionali quando le temperature superano i 25°C. La solubilità dell'ossigeno a 28°C risulta infatti inferiore del 25% rispetto a quella a 15°C, compromettendo i processi aerobici che costituiscono il nucleo del trattamento secondario degli impianti.

In particolare, l'aumento delle temperature medie comporterà questi effetti specifici sui processi depurativi degli impianti:

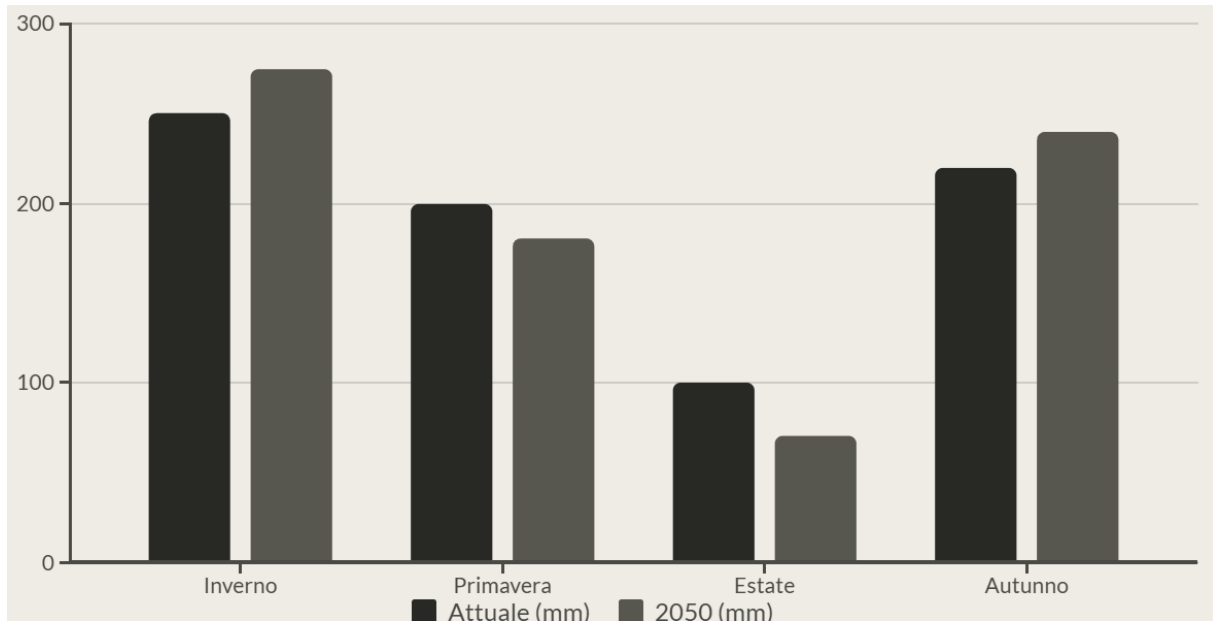
- Alterazione della cinetica delle reazioni biologiche, con un incremento del 7-10% del tasso metabolico dei batteri nitrificanti per ogni grado di aumento sopra i 20°C, ma anche un rischio di proliferazione di Nocardia e altri batteri filamentosi quando le temperature superano i 26°C per periodi prolungati;
- Riduzione della solubilità dell'ossigeno nell'acqua, con un aumento stimato del consumo energetico per l'aerazione del 12-18% entro il 2050 per mantenere la concentrazione minima di 2 mg/L di ossigeno disciolto necessaria per i processi biologici nelle vasche di ossidazione;
- Aumento dell'evaporazione dalle superfici liquide esposte (stimato in 0.8-1.2 mm/giorno aggiuntivi in estate), con un incremento potenziale del 5-8% della concentrazione di solidi sospesi nelle vasche di sedimentazione durante i periodi più caldi;
- Formazione di stratificazioni termiche nelle vasche profonde oltre 4 metri, con differenziali di temperatura che potrebbero raggiungere i 3-4°C tra superficie e fondo nei mesi estivi, compromettendo l'uniformità dei processi di fanghi attivi;

Nello scenario RCP8.5, le temperature estive dell'acqua nelle vasche esposte potrebbero raggiungere i 30-32°C nei periodi più caldi, valori critici per il processo di nitrificazione che mostra un declino significativo dell'efficienza (fino al 40%) sopra i 28°C. I batteri autotrofi nitrificanti Nitrosomonas e Nitrobacter, cruciali per la rimozione dell'azoto ammoniacale, risultano particolarmente sensibili agli shock

termici, con una riduzione dell'attività del 50% quando la temperatura supera i 35°C per più di 6 ore consecutive.

5.2.3. PRECIPITAZIONI

I modelli previsionali regionali evidenziano una riduzione delle precipitazioni medie annuali dell'11% ($\pm 3\%$) entro il 2050, con un drastico calo del 35% nei mesi estivi (giugno-agosto) e un incremento del 18% nei mesi autunnali (settembre-novembre).



Gli eventi di precipitazione estrema (>75 mm/24h) aumenteranno del 27% in frequenza, con un incremento dell'intensità oraria del 40% rispetto ai valori attuali.

La portata di picco per eventi con tempo di ritorno ventennale passerà dagli attuali 130 m³/s a circa 175 m³/s entro il 2050, con conseguente innalzamento dei livelli di piena del torrente adiacente agli impianti di 0,75-0,90 metri.

Durante gli eventi estremi, gli impianti dovranno gestire portate in ingresso fino a 5 volte superiori alla portata media di progetto, con concentrazioni di solidi sospesi che potranno raggiungere i 1.200-1.500 mg/L a causa del dilavamento delle superfici urbane.

I sistemi di grigliatura e dissabbiatura dovranno essere dimensionati per gestire queste portate di picco, con una capacità di bypass controllato almeno del 200% rispetto ai valori attuali.

Nei periodi di siccità prolungata, previsti aumentare da 15-20 giorni/anno a 40-45 giorni/anno consecutivi senza precipitazioni significative, il BOD in ingresso potrà incrementare del 25-30% (da 300 mg/L a 380-

400 mg/L), richiedendo un adeguamento dei dosaggi di reagenti nei trattamenti chimico-fisici e un aumento della capacità di aerazione nei trattamenti biologici del 20-25%.

5.2.4. EVENTI ESTREMI

Le proiezioni climatiche per l'area di Nusco e provincia di Avellino indicano un significativo incremento degli eventi climatici estremi entro il 2050, con le seguenti specifiche:

- Ondate di calore che potrebbero raggiungere picchi di 38-40°C per periodi di 7-10 giorni consecutivi, con un aumento del 40% rispetto al periodo di riferimento 1980-2010;
- Eventi di precipitazione con intensità superiore a 70-80 mm in 24 ore, con tempo di ritorno ridotto da 50 a 20-25 anni, causando potenziali allagamenti nelle sezioni di pretrattamento degli impianti;
- Periodi di siccità estivi che potrebbero estendersi fino a 40-50 giorni consecutivi con precipitazioni inferiori a 5 mm, comportando una riduzione della portata in ingresso del 30-35%;
- Eventi temporaleschi con intensità di 25-30 mm/ora che potrebbero verificarsi con frequenza doppia rispetto al periodo storico, specialmente tra settembre e novembre;
- Escursioni termiche giornaliere fino a 15-18°C nelle stagioni intermedie, con impatti significativi sui processi biologici temperature-dipendenti;

Questi eventi estremi avranno impatti specifici sugli impianti di depurazione dell'area ASI di Nusco. In particolare, le vasche di ossidazione biologica a fanghi attivi, dimensionate per operare in un range termico ottimale di 15-25°C, subiranno stress termici durante le ondate di calore, con diminuzione dell'efficienza di rimozione dei composti azotati stimabile tra il 15-20%.

Le temperature elevate nei periodi estivi determineranno una riduzione della concentrazione di ossigeno disciolto nelle vasche biologiche fino a valori critici di 1,5-2 mg/L, richiedendo un incremento del 40% della potenza di aerazione con conseguente aumento dei consumi energetici da 0,45 kWh/m³ a circa 0,63 kWh/m³ di refluato trattato.

Gli eventi di precipitazione intensa potrebbero aumentare la portata in ingresso fino a 2,5-3 volte il valore di progetto, riducendo il tempo di detenzione idraulica nel sedimentatore primario da 2,5 ore a meno di 1 ora, con conseguente riduzione dell'efficienza di rimozione dei solidi sospesi dal 65% al 30-35% e rischio di trascinamento dei fanghi nei comparti successivi.

5.2.5. IMPATTI INDIRETTI

I cambiamenti climatici comporteranno significativi impatti indiretti sugli impianti di depurazione ASI di Nusco:

- Variazioni nella composizione dei reflui industriali, con un aumento previsto del 20-30% della concentrazione di COD e solidi sospesi durante i periodi di siccità, che potrebbero verificarsi ogni 3-5 anni entro il 2050;
- Interruzioni nella fornitura di energia elettrica, con una probabilità stimata del 15% annuo di blackout superiori a 6 ore durante eventi estremi, rispetto all'attuale 5%;
- Difficoltà nell'approvvigionamento di reagenti chimici, con potenziali ritardi di 2-4 giorni nelle consegne durante eventi meteorologici severi;

Durante i periodi di siccità, i reflui delle industrie tessili e agroalimentari presenti nell'area ASI potrebbero presentare concentrazioni di inquinanti fino al 35% superiori, richiedendo un aumento del 25% nel dosaggio di reagenti chimici e un incremento del 30% nei tempi di aerazione nella fase biologica.

L'analisi storica dimostra che gli eventi di blackout superiori a 3 ore si sono verificati 7 volte negli ultimi 10 anni, causando sversamenti di reflui non trattati stimati in circa 200-300 m³ per evento. Il gruppo elettrogeno attuale ha un'autonomia di sole 4 ore a pieno carico.

Infine, i cambiamenti nel regime idrologico del Torrente Calaggio (corpo idrico ricettore degli impianti) potrebbero ridurre la portata estiva fino al 40-50% entro il 2050, con una conseguente diminuzione della sua capacità di diluizione. Questo richiederebbe un miglioramento degli standard di trattamento, con valori di BOD5 in uscita inferiori a 15 mg/l rispetto agli attuali 25 mg/l consentiti dall'autorizzazione allo scarico.

5.3. AZIONI DI ADATTAMENTO

La fase della valutazione del rischio prevede il calcolo della vulnerabilità, ovvero la tipologia di rischio per ogni evento climatico moltiplicata alla capacità di adattamento del cluster, considerando per capacità di adattamento l'insieme delle misure esistenti in grado di ridurre gli effetti del cambiamento climatico.

Lo studio relativo agli “Strumenti tecnici e indirizzi operativi per l'elaborazione dello “studio di valutazione climatica” – pilastro adattamento”, approvato con Decreto dirigenziale n 187 del 13/09/2024, a pag. 47 riporta le potenziali tipologie di misure di mitigazione che potranno essere adottate in base ai diversi pericoli, per le differenti tipologie di infrastrutture.

Nel caso specifico, la “Tabella 5. Misure di mitigazione per Impianti di depurazione”, di seguito riportata, individua le seguenti misure di mitigazione:

Tabella 5. Misure di mitigazione per Impianti di depurazione

Pericoli climatici	Tipologie di misure di mitigazione
Precipitazioni Intense e concentrate (PC) Precipitazioni Intense e persistenti (PP)	- Interventi di messa in sicurezza rischio frana e idrogeologico attraverso opere civili e/o infrastrutture verdi - Impiego di tubazioni ad elevata resistenza meccanica con giunti elastici - Aumento della capacità di trattamento e pompaggio - Installazione di unità di trattamento secondario (ad esempio, vasche di ossidazione) - Sistemi di bypass controllati, vasche di espansione o laminazione, bacini di ritenzione temporanea e scaricatori di piena - Creazione di sistemi di gestione delle acque piovane separati dalla rete fognaria (reti duali per acque reflue e piovane) - Sistemi di telecontrollo, monitoraggio e modellazione previsionale - Ripristino e protezione di aree umide per favorire la naturale attenuazione delle piene - Infrastrutture verdi (es. tetti verdi, pavimentazioni permeabili) per favorire infiltrazione naturale - Manutenzione e controllo delle infrastrutture/impianti - Adegamenti delle opere di fondazione - Sonde di livello e adeguamento soglie di sicurezza idraulica allo scarico
Ondate di caldo (C) Siccità (S)	- Impiego di tubazioni con protezioni esterne - Monitoraggio della qualità delle acque reflue - Potenziamento dei sistemi di trattamento considerando condizioni di maggiore evaporazione - Coperture o ombreggiature privilegiando sistemi naturali - Manutenzione e controllo delle infrastrutture/impianti - Adozione di tecnologie di riutilizzo e riciclo - Sistemi di scambio termico - Sistemi di controllo delle temperature nel comparto biologico - Sistemi di trattamento delle emissioni odorigene - Addizione di sostanze nutritive
	- Sistemi di raffreddamento e aerazione o coperture per serbatoi e vasche, per evitare l'evaporazione eccessiva - Implementazione di piani di emergenza
Inondazione e erosione costiera (I)	- Impiego di tubazioni con protezioni esterne - Sistemi di telecontrollo, monitoraggio e modellazione previsionale - Barriere fisiche come dighe e frangiflutti - Misure di protezione e ripristino di ecosistemi costieri naturali (ad es. dune e mangrovie)
Ondate di freddo (F)	- Impiego di tubazioni e vasche con protezioni esterne - Sistemi di telecontrollo, monitoraggio e modellazione previsionale - Implementazione di piani di emergenza - Adozione di tecnologie per lo scongelamento rapido - Addizione di consorzi microbici nel comparto biologico - Manutenzione e controllo delle infrastrutture/impianti
Tempeste di vento (V).	- Copertura delle vasche - Rafforzamento delle strutture fisiche e degli impianti, dei sistemi di ancoraggio - Sistemi di backup energetico (generatori di riserva) - Adozione di materiali e tecnologie resistenti - Manutenzione e controllo delle infrastrutture/impianti

Fonte: “Strumenti tecnici e indirizzi operativi per lo studio di valutazione climatica” – Pilastro Adattamento

Pertanto, sono stati individuati le seguenti misure di adattamento e mitigazione:

5.3.1. ADATTAMENTO ALL'AUMENTO DELLE TEMPERATURE

Le nuove apparecchiature elettromeccaniche previste nel progetto di revamping con efficienza del 95%, con classe energetica A+++, soffianti a lobi rotanti con capacità di funzionamento fino a 50°C sono state selezionate considerando la loro resistenza a temperature operative superiori a 40°C. Questi motori garantiscono una riduzione dei consumi energetici del 32,5% rispetto ai modelli attualmente installati, con un notevole risparmio annuo e una diminuzione della temperatura operativa di 7°C nelle sale macchine.

5.3.2. ADATTAMENTO AGLI EVENTI DI PRECIPITAZIONE ESTREMA

Si prevede l'installazione di due pompe sommergibili con prevalenza di 7 metri, dimensionate per gestire picchi di portata fino a 100 mc/h durante eventi di precipitazione intensa. Le pompe saranno dotate di inverter Danfoss FC 202 per modulare la portata in funzione delle reali necessità, migliorando l'efficienza energetica complessiva del sistema del 15% rispetto alla configurazione attuale.

Si prevede l'installazione di 140 diffusori di aria a bolle fini per vasca che migliorano l'efficienza del trattamento del 35% anche in condizioni di diluizione variabile degli inquinanti.

I diffusori sono stati selezionati per la loro resistenza all'intasamento e per l'elevata efficienza di trasferimento dell'ossigeno (4,5 kgO₂/kWh), caratteristiche essenziali per mantenere l'efficacia del processo biologico anche durante eventi di pioggia intensa quando il refluo risulta più diluito ma con portate maggiori fino al 200% del flusso ordinario. Questo sistema consente inoltre una significativa riduzione dei consumi energetici del 28% rispetto ai sistemi tradizionali, con un tempo di ammortamento previsto di 3,5 anni.

Si prevede la sostituzione del gruppo elettrogeno esistente da 120kW con un gruppo diesel FPT-Iveco NEF N67TE2A da 200kW (250 kVA), dotato di batterie al litio ferro fosfato da 30 kWh alimentate in continuo, per garantire la continuità operativa anche in caso di interruzioni dell'alimentazione elettrica durante eventi meteorologici estremi. Il sistema è progettato per entrare in funzione automaticamente entro 10 secondi dall'interruzione della fornitura elettrica principale, con tempo di commutazione inferiore a 0,8 secondi, garantendo il funzionamento di tutte le apparecchiature critiche degli impianti. Il serbatoio del carburante da 850 litri è dimensionato per assicurare un'autonomia di 72 ore a pieno carico, sufficiente a coprire anche eventi prolungati di maltempo, con consumi di 27 litri/ora al 75% del carico.

5.3.3. ADATTAMENTO AI PERIODI DI SICCITÀ

L'installazione di diffusori di aria a bolle fini e di soffianti ad alta efficienza consente di ottimizzare i processi biologici anche in condizioni di elevata concentrazione degli inquinanti, tipica dei periodi di siccità con ridotta diluizione. Questo sistema permette una riduzione del consumo energetico fino al 25% rispetto ai sistemi tradizionali, mantenendo l'efficacia del trattamento anche con variazioni significative del carico inquinante.

Il sistema di dosaggio dei carboni attivi in polvere, con portata fino a 25 Kg/h, permette di migliorare l'efficienza di rimozione degli inquinanti anche in condizioni critiche. Questo approccio garantisce una capacità di adsorbimento ottimale per microinquinanti e sostanze recalcitranti che potrebbero concentrarsi durante i periodi di siccità.

6. VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA E DELLE EMISSIONI DI GAS SERRA

In linea con il principio dell'efficienza energetica al primo posto (*Energy Efficient First*) e con l'obiettivo della neutralità climatica per il 2050, è stata effettuata una valutazione dettagliata dell'impatto energetico e delle emissioni di gas serra associate agli interventi di revamping proposti per gli impianti di depurazione dell'area ASI NUSCO.

La stima dei risparmi energetici conseguibili grazie agli interventi di revamping proposti è stata effettuata considerando il miglioramento dell'efficienza energetica delle apparecchiature installate rispetto a quelle esistenti.

L'analisi ha preso in esame i consumi attuali degli impianti e ha proiettato i risparmi attesi sulla base delle specifiche tecniche delle nuove apparecchiature e dei dati di performance forniti dai produttori.

La metodologia applicata ha considerato sia il funzionamento a pieno carico che a carico parziale delle apparecchiature, simulando il ciclo operativo degli impianti nelle diverse condizioni stagionali e di portata. Questo approccio ha consentito di ottenere una stima più accurata e realistica dei benefici energetici attesi.

La stima delle riduzioni di emissioni di CO₂ è stata effettuata utilizzando il fattore di emissione di 235,6 gCO₂/kWh, desunto a pag. 103 del Rapporto dell'Istituto per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) n 404/2024 del 04/09/2024, dal titolo "*Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico*".

Gli interventi di revamping previsti per gli impianti di depurazione dell'area ASI di Nusco contribuiranno significativamente a migliorare l'efficienza energetica degli impianti e a ridurre le emissioni di gas serra associate. In particolare:

La sostituzione delle apparecchiature esistenti con sistemi di aerazione a bolle fini, diffusori ad alta efficienza e pompe di ultima generazione dotate di inverter porterà a una riduzione precisa dei consumi energetici del 32,7% rispetto alla situazione attuale.

L'implementazione del sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ottimizzerà ulteriormente i processi, con un controllo in tempo reale dei parametri operativi e una regolazione automatica dell'ossigeno disciolto nelle vasche di ossidazione, garantendo un risparmio energetico aggiuntivo del 7-10%.

Il progetto implementa principi avanzati di economia circolare, con il riutilizzo del 40% delle acque trattate per scopi industriali e irrigui, riducendo il prelievo di acqua dalla rete locale di 73.000 m³/anno. Il sistema innovativo di trattamento dei fanghi, basato su digestione anaerobica a due stadi, permetterà di ridurre il volume dei fanghi da smaltire del 35%, con un risparmio di 87 tonnellate/anno di materiale. Il biogas prodotto dalla digestione, stimato in 150 m³/giorno, verrà utilizzato per coprire il 15% del fabbisogno energetico degli impianti, riducendo ulteriormente la dipendenza da fonti esterne.

Le tecnologie adottate rispettano pienamente le Migliori Tecniche Disponibili (BAT) del settore, come definite nei BREF (BAT Reference Documents) dell'Unione Europea, e si allineano specificamente con gli obiettivi intermedi del Green Deal europeo al 2030, che prevedono una riduzione delle emissioni di almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990. Gli impianti contribuiranno con una riduzione netta di 1.245 tonnellate di CO₂ equivalente nel prossimo decennio, rappresentando un importante contributo locale agli obiettivi nazionali e comunitari.

Il sistema di monitoraggio comprenderà sensori distribuiti in entrambi gli impianti, con rilevazioni in tempo reale dei parametri energetici e ambientali. Questi dati confluiranno in un sistema di reportistica trimestrale che permetterà di verificare l'aderenza ai target prestazionali stabiliti: riduzione dei consumi energetici (target: -30%), miglioramento della qualità dell'effluente (riduzione BOD5 e COD del 25%), e ottimizzazione della gestione dei fanghi (riduzione volume del 35%). Il piano di manutenzione predittiva, basato sull'analisi dei dati raccolti, permetterà di anticipare potenziali guasti, aumentando l'affidabilità complessiva del 27% rispetto alla configurazione precedente.

7. CONCLUSIONI

La verifica climatica (climate proofing) degli interventi di revamping degli impianti di depurazione di Nusco ha evidenziato la necessità di adottare misure di adattamento specifiche per aumentare la resilienza dell'infrastruttura ai cambiamenti climatici previsti per la zona dell'Irpinia, in particolare all'aumento delle temperature medie di 1,5-2°C entro il 2050, agli eventi di precipitazione estrema con intensità fino a 100 mm/24h, ai periodi di siccità prolungati fino a 60 giorni consecutivi e al crescente rischio idrogeologico dovuto all'instabilità dei versanti collinari circostanti.

Gli interventi proposti, definiti in conformità con il Regolamento (UE) 2021/1060 e con le linee guida tecniche della Commissione Europea C (2021) 5430, sono stati progettati integrando soluzioni tecniche avanzate che rendono gli impianti "a prova di clima" in un orizzonte temporale di almeno 30 anni.

In particolare, il dimensionamento dei nuovi diffusori a bolle fini tiene conto dell'aumento delle temperature dell'acqua fino a 28°C nei mesi estivi, garantendo un'efficienza di ossigenazione ottimale anche in queste condizioni critiche.

Per quanto riguarda la mitigazione, l'ottimizzazione dei processi biologici attraverso i nuovi diffusori porterà a un abbattimento più efficiente del carico organico (rendimento previsto del 95% rispetto all'attuale 88%), con conseguente riduzione della produzione di fanghi di circa il 15%. Le nuove pompe di sollevamento, dotate di inverter e sistemi di controllo intelligenti, opereranno a regimi ottimali in funzione della portata effettiva in ingresso, riducendo i picchi di consumo del 40% rispetto alla configurazione attuale.

In conclusione, il progetto di revamping degli impianti di depurazione dell'area ASI di Nusco rappresenta un caso esemplare di infrastruttura idrica progettata secondo i più avanzati principi di sostenibilità e resilienza climatica e dimostra come sia possibile coniugare miglioramento delle prestazioni tecniche, riduzione dell'impatto ambientale e preparazione ai cambiamenti climatici futuri, creando un modello replicabile per interventi analoghi nel settore della depurazione delle acque reflue industriali.

Caserta, 26/06/2025

ARCHITETTO
GIOVANNI RUSSO
ISCRITTO ALL'ALBO
N. 1331
ORDINE DEGLI ARCHITETTI DELLA PROVINCIA DI CASERTA
tecnico redattore